

Západočeská univerzita v Plzni  
Fakulta aplikovaných věd  
Katedra informatiky a výpočetní techniky

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

# **Vytvoření modelu pro měření rizika metodou Cash Flow at Risk s využitím Monte Carlo simulací**

Plzeň, 2012

Bc. Štěpán Radek

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v literatuře.

V Plzni dne 17. 5. 2012

Štěpán Radek

## **Poděkování**

Velmi rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce, kterým byl Ing. Patrice Marek, za jeho vstřícný přístup, odborné vedení, užitečné rady, připomínky a čas, který strávil korekcí této práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Kozmérovi za poskytnutí stěžejních podkladů a cenných rad při zpracování diplomové práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou rizik působících na vybranou společnost ŠKODA AUTO a.s., zejména pak tržních rizik ovlivňujících peněžní toky společnosti.

První část práce se věnuje popisu rizika, oblasti působení oddělení Treasury a jsou popsány možné nástroje pro měření rizika. V této části je vysvětlen základní přístup modelu Cash Flow at Risk a metody jeho zpracování s ohledem na prostředí, ve kterém se model bude vyskytovat.

V další části práce jsou analyzovány rizikové faktory vstupující do komplexního modelu. Na základě těchto analýz jsou stanoveny charakteristiky zkoumaných dat a vztahy mezi jednotlivými vstupními veličinami.

Poslední kapitola diplomové práce je věnována softwarovému zpracování modelu pomocí zjištěných informací. Celkový pohled na výsledné cash flow je ukázán v různých formách výsledků s příkladem možné interpretace.

## **Abstract**

The diploma thesis provides risk issues affecting ŠKODA AUTO corp, especially market risks influencing company's cash flow.

The first part of the diploma thesis mentions a description of risks, Treasury department sphere of activity and possible risk measurement tools. In this part, a basic approach to the Cash Flow at Risk model and its process methods considering the economic environment, which the model will be placed in, have been explained.

In the next part of the diploma thesis, risk factors in the complex model have been analysed. Based on these analyses, characteristics of researched data and relationships between each input have been defined.

The last chapter of the diploma thesis contains a software process of the model by the help of gathered information. The general view of the final cash flow is showed in different result forms with examples of possible interpretation.

## **Klíčová slova**

riziko, cash flow, Cash Flow at Risk, Value at Risk, Monte Carlo, simulace, devizové kurzy, komodity, úrokové míry, výnosová křivka, Treasury, Front office, Back office, Trade finance, spotový kurz, forwardový obchod, zajištění, korelace, normální rozdělení, histogram, intervalové odhady, střední hodnota, směrodatná odchylka, kvantily

## **Keywords**

risk, cash flow, Cash Flow at Risk, Value at Risk, Monte Carlo, simulations, exchange rates, commodities, rates of interest, yield curve, Treasury, Front office, Back office, Trade finance, spot exchange rate, forward rate, hedging, correlation, normal distribution, histogram, interval estimations, mean, standard deviation, quantiles

---

**Obsah**

1	Úvod.....	1
2	Organizace řízení rizik.....	2
2.1	Riziko a jeho členění .....	2
2.2	Treasury.....	3
2.2.1	Front office .....	4
2.2.2	Back office .....	4
2.2.3	Trade finance.....	5
2.2.4	Systémová podpora .....	5
2.3	Funkce Treasury.....	6
3	Činnosti spojené s eliminací rizika.....	7
3.1	Spotové kontrakty .....	8
3.2	Termínové kontrakty .....	8
3.2.1	Forwardové obchody.....	8
3.2.2	Swapové kontrakty .....	10
4	Metody používané pro měření rizika .....	12
4.1	Číselné charakteristiky rizika .....	12
4.2	Value at Risk (VaR).....	13
4.2.1	Metoda variancí a kovariancí .....	14
4.2.2	Metoda historické simulace .....	14
4.2.3	Metoda Monte Carlo .....	14
4.3	Modifikace VaR.....	15
5	Cash Flow at Risk (CFaR) .....	16
5.1	Cíle .....	17
5.2	Data.....	17
5.3	Postup výpočtu CFaR .....	18
5.4	Simulace Monte Carlo.....	19
6	Devizové kurzy.....	20
6.1	Linearizace modelu .....	21
6.2	Model normálního rozdělení.....	23
6.2.1	Parametrický odhad.....	23

---

6.2.2	Testování normality .....	27
6.3	Aproximace distribuční funkce .....	28
6.3.1	Intervalové odhady .....	29
6.4	Výběr parametrů .....	30
6.5	Srovnání distribučních funkcí .....	31
6.6	Simulace Monte Carlo .....	33
6.7	Histogram simulací v posledním období .....	36
7	Komodity .....	38
7.1	Parametrický odhad .....	38
7.2	Testování normality .....	40
7.3	Aproximace distribuční funkce .....	40
7.4	Srovnání distribučních funkcí .....	41
7.5	Závislost mezi rizikovými faktory .....	43
7.5.1	Korelace .....	43
7.5.2	Vztah USD a zkoumaných komodit .....	44
7.5.3	Modelování závislých veličin .....	46
7.5.4	Modelování závislosti USD a zkoumaných komodit .....	47
7.6	Simulace vývoje cen komodit metodou Monte Carlo .....	48
7.7	Histogram simulací v posledním období .....	50
8	Úrokové míry .....	51
8.1	Výnosové křivky .....	51
8.2	Področní složené úročení a diskontování .....	53
8.3	Výpočet současné hodnoty .....	54
8.3.1	Úročení .....	55
8.3.2	Diskontování .....	55
8.3.3	Současná hodnota .....	55
9	Výpočet cash flow .....	56
9.1	Cash flow v zahraniční měně .....	56
9.2	Nezajištěné cash flow .....	58
9.2.1	Histogram nezajištěného cash flow .....	60
9.3	Zajištěná část .....	61
9.3.1	Histogram .....	64

---

9.4	Dodatečné zajištění .....	65
9.4.1	Histogram .....	69
10	Softwarové zpracování CFaR.....	70
10.1	Vstupní data .....	70
10.2	Propojení souborů .....	72
10.2.1	„souhrn.xlsx“ .....	72
10.2.2	„souhrn_USD.xlsx“ .....	73
10.2.3	„komodity.xlsx“ .....	73
10.2.4	„generování_kurzu.xlsm“ .....	74
10.2.5	„cash_flow.xlsm“ .....	75
10.2.6	„CFaR_USD.xlsm“ .....	75
10.3	Uživatelské rozhraní.....	77
10.3.1	Výběr parametrů.....	78
10.3.2	Porovnání s historickým obdobím .....	79
10.3.3	Přehled vývoje rizikových faktorů.....	80
10.3.4	Dodatečné zajištění.....	81
10.3.5	Změna plánovacího kola.....	82
10.3.6	Doplnění historického kurzu a změna diskontování .....	82
10.4	Výstupy.....	84
10.4.1	Numerické vyjádření výsledného cash flow .....	84
10.4.2	Grafické vyjádření výsledného cash flow .....	87
10.4.3	Detailní znázornění po rocích .....	88
11	Závěr .....	92
	Seznam používaných zkratk .....	94
	Literatura .....	95
	Příloha 1 .....	I
	Příloha 2 .....	II
	Příloha 3 .....	III
	Příloha 4 .....	IV



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma rozdělení finančního rizika. ....	7
Obrázek 2: Grafické znázornění VaR v rozdělení zisků a ztrát portfolia. ....	13
Obrázek 3: Grafické znázornění <i>CFaR</i> .....	16
Obrázek 4: Stávající model cash flow se skokovými scénáři .....	17
Obrázek 5: Aproximace křivky přirozeného logaritmu v okolí bodu $x_0 = 1$ .....	22
Obrázek 6: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce relativních změn kurzu USD v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010. ....	25
Obrázek 7: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce s parametrickými odhady pro relativní změny kurzu USD v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010. ....	27
Obrázek 8: Oblast procházení a nalezení parametrů v šestiletém období. ....	30
Obrázek 9: Grafické znázornění rozdílu mezi jednotlivými distribučními funkcemi. ....	32
Obrázek 10: Výběr vygenerovaných scénářů a 90%, 70%, 50% a 30% pásy spolehlivosti pro parametry aproximované distribuční funkce za období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010 .....	35
Obrázek 11: Výběr vygenerovaných scénářů a jednotlivé pásy spolehlivosti pro parametry aproximované distribuční funkce za období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010. ....	36
Obrázek 12: Srovnání histogramů posledního období.....	37
Obrázek 13: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce pro relativní změnu ceny hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010. ....	39
Obrázek 14: Oblast procházení a nalezení parametrů pro hliník. ....	41
Obrázek 15: Grafické znázornění rozdílu mezi jednotlivými distribučními funkcemi. ....	42
Obrázek 16: Závislost měsíčních relativních změn kurzu USD a cen hliníku. ....	44
Obrázek 17: Závislost měsíčních relativních změn kurzu USD a cen mědi.....	45
Obrázek 18: Závislosti relativních změn USD a cen hliníku s vygenerováním 2000 simulací pro vstupní korelaci $r = -0,548$ .....	47
Obrázek 19: Výběr vygenerovaných scénářů ceny hliníku a 90%, 70%, 50% a 30% pásy spolehlivosti pro parametry s nejvyšší p-hodnotou za šestileté období.....	49
Obrázek 20: Výběr vygenerovaných scénářů ceny hliníku a jednotlivé pásy spolehlivosti pro parametry z distribuční funkce se střední hodnotou 1.....	50
Obrázek 21: Srovnání histogramů posledního období.....	50
Obrázek 22: Ukázka výnosové křivky pro USD při ročních intervalech doby splatnosti. ....	52
Obrázek 23: Ukázka výnosové křivky pro USD s kratší dobou splatnosti.....	53
Obrázek 24: Graf měsíčního očekávaného cash flow USD pro šestileté období. ....	56
Obrázek 25: Struktura cash flow v čase $t$ ve zkoumaných situacích.....	57
Obrázek 26: Histogram celkové nezajištěné zahraniční expozice USD vyjádřené v současné hodnotě referenční měny.....	60
Obrázek 27: Histogram celkové zkoumané zahraniční expozice USD se zajištěním vyjádřené v současné hodnotě referenční měny .....	64

---

Obrázek 28: Histogram celkové zkoumané zahraniční expozice USD s dodatečným zajištěním vyjádřené v současné hodnotě referenční měny. ....	69
Obrázek 29: Schéma propojení excelových souborů v modelu Cash Flow at Risk. ....	77
Obrázek 30: Přehled vývoje kurzu USD při zadaných vstupních parametrech.. ....	81
Obrázek 31: Srovnání histogramů celkového cash flow pro zkoumané situace .....	87
Obrázek 32: Srovnání distribučních funkcí jednotlivých případů cash flow.....	88
Obrázek 33: Odkazy na analýzu jednotlivých roků umístěné ve výstupu řídicího listu. ....	90
Obrázek 34: Srovnání histogramů cash flow pro zkoumané situace pro rok 2012 .....	91
Obrázek 35: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce relativních změn cen hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010 .....	II
Obrázek 36: Závislosti relativních změn kurzu USD a ceny mědi s vygenerováním dvou tisíc simulací pro vstupní korelaci $r = -0,49$ .....	III
Obrázek 37: Závislosti relativních změn kurzu USD a ceny olova s vygenerováním dvou tisíc simulací pro vstupní korelaci $r = -0,38,$ .....	III

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Obecné rozdělení oddělení Treasury. ....	3
Tabulka 2: Rozdělení oddělení Treasury ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. ....	4
Tabulka 3: Tabulka s odchylkami logaritmických výnosů a Taylorova polynomu řádu 1. ..	21
Tabulka 4: Souhrn odhadnutých parametrů pro všechny zkoumané měny v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010. ....	24
Tabulka 5: Srovnání charakteristik empirické a modelové distribuční funkce s parametrickými odhady relativních změn kurzu USD v šestiletém období.....	25
Tabulka 6: Souhrn odhadnutých parametrů pro tříleté období.....	26
Tabulka 7: Srovnání charakteristik empirické a modelové distribuční funkce pro relativní změny kurzu USD v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.....	26
Tabulka 8: Souhrn vypočítaných hodnot Lillieorsova testu pro všechny měny .....	28
Tabulka 9: Souhrn vypočítaných hodnot Kolmogorova-Smirnova testu .....	31
Tabulka 10: Porovnání hodnot RSS pro odhady parametrů v šestiletém období .....	32
Tabulka 11: Souhrn odhadnutých parametrů pro zkoumané komodity.....	38
Tabulka 12: Srovnání parametrů empirické a modelové distribuční funkce pro relativní změny cen hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010. ....	39
Tabulka 13: Výpočet Lillieforsova testu pro komodity ve sledovaných obdobích. ....	40
Tabulka 14: Souhrn vypočtených p-hodnot Kolmogorova-Smirnova testu pro komodity. ....	41
Tabulka 15: Nalezené parametry distribučních funkcí s nejvyšší p-hodnotou.....	42
Tabulka 16: Nalezené parametry distribučních funkcí se střední hodnotou 1. ....	42
Tabulka 17: Porovnání hodnot RSS pro jednotlivé odhady parametrů zkoumaných komodit.....	43
Tabulka 18: Souhrn vypočítaných výběrových korelačních koeficientů .....	45
Tabulka 19: Struktura vstupní měnové expozice z interních souborů ŠKODA AUTO a.s. ....	70
Tabulka 20: Struktura očekávaných spotřeb komodit .....	71
Tabulka 21: Struktura reálných průměrných forwardových obchodů .....	71
Tabulka 22: Ukázka uživatelského rozhraní pro souhrn vstupních požadavků.....	78
Tabulka 23: Tabulka pro nastavení modelových parametrů distribuční funkce .....	78
Tabulka 24: Souhrn parametrů modelových distribučních funkcí USD. ....	79
Tabulka 25: Výpočet RSS reálných kurzů v porovnání se středními hodnotami jednotlivých měn při zadaných parametrech modelových distribučních funkcí.....	80
Tabulka 26: Souhrnná tabulka, kde se nastavuje dodatečné zajištění .....	82
Tabulka 27: Nastavení historických kurzů podle data začátku simulace .....	83
Tabulka 28: Nastavení měsíců po přidání nových historických kurzů .....	83
Tabulka 29: Souhrn výsledků požadovaných ukazatelů pro zkoumané varianty zajištění v období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016. ....	86
Tabulka 30: Zastoupení rizik v jednotlivých letech při aktuálním zajištění.....	89
Tabulka 31: Zastoupení rizik v jednotlivých letech při dodatečném zajištění.....	89

Tabulka 32: Souhrn výsledků požadovaných ukazatelů pro zkoumané varianty zajištění v období 1. 1. 2012 – 31. 12. 2012.....	90
Tabulka 33: Porovnání kritických hodnot Kolmogorova-Smirnova testu a hodnot kritéria pro parametrický odhad.....	I
Tabulka 34: Kolmogorův-Smirnův test s distribuční funkcí se střední hodnotou 1.....	I
Tabulka 35: Souhrn odhadnutých parametrů pro všechny zkoumané měny v tříletém období.....	II
Tabulka 36: Srovnání parametrů empirické a modelové distribuční funkce relativních změn cen hliníku v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.....	II

# 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je sestavení modelu pro zkoumání zajištění rizikové pozice na finančních trzích. Práce byla navržena na základě požadavku oddělení Treasury společnosti ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Téma je zaměřeno na řízení rizik jednotlivých trhů, kde společnost ŠKODA AUTO a.s. působí a má zájem o zajištění části rizikové pozice. Jednotlivé měny, jmenovitě: australský dolar (AUD), dánská koruna (DKK), společná evropská měna ve členských zemích eurozóny (EUR), britská libra (GBP), švýcarský frank (CHF), japonský jen (JPY), norská koruna (NOK), polský zlotý (PLN), ruský rubl (RUB), švédská koruna (SEK) a americký dolar (USD) jsou analyzovány samostatně, přičemž na základě odhadnutých statistických parametrů je provedena simulace možných scénářů metodou Monte Carlo. Z vygenerovaných scénářů lze vytvořit pravděpodobnostní model peněžních toků při určitém zajištění.

Hlavním důvodem požadavku této práce je zlepšení stávajícího modelu, který pracuje pouze se skokovými scénáři změn aktuálního kurzu jednotlivých měn. V tomto modelu se nevyskytují žádné váhy a maximální vychýlení od spotového<sup>1</sup> kurzu je pro všechny měny uměle nastaveno na 15 %. Metoda Monte Carlo pomůže vytvořit model vývoje tržních cen založený na reálných historických datech. V případě velkého počtu simulací lze mluvit o spojitým vyjádření tohoto vývoje.

První kapitoly se věnují popisu rizika, oblasti působení oddělení Treasury a nástrojům sloužícím k měření rizika. V této části je kladen důraz na stručné seznámení s prostředím, ve kterém se bude model vyskytovat.

V další části diplomové práce je detailní zpracování komplexního modelu Cash Flow at Risk (CFaR), který pracuje s rizikovými faktory působící na očekávané cash flow<sup>2</sup> společnosti. Jednotlivé rizikové faktory jsou zpracovány samostatně a na základě určitých vztahů vstupují do modelu.

Na základě analyzovaných rizikových faktorů je zpracován model CFaR ve zvoleném softwaru, který je dostupný pro společnost. V poslední části práce je popsán tento program s ukázkami vstupů a výstupů. Na vzorovém příkladě je také ukázána interpretace výsledků. Z důvodu velkého počtu analyzovaných zahraničních trhů nebudou v práci ukázány všechny zkoumané měny, nicméně bude zvolen vzorový příklad USD, na kterém bude ukázán zpracovaný model. Veškeré výpočty budou přiloženy na datovém DVD.

---

<sup>1</sup> **Spotovým kurzem** se rozumí aktuální měnový kurz dostupný na trhu. Vyjadřuje hodnotu jednotky cizí měny v měně referenční (Cipra, 2005, str. 128).

<sup>2</sup> **Cash flow**, nebo také peněžní tok, představuje rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za určité období.

## 2 Organizace řízení rizik

Před popisem organizace rizik a struktury oddělení Treasury, kterému bude věnována tato kapitola, je vhodné vysvětlit pojem riziko a jeho vnímání ve společnosti. Riziko je velmi komplikovaný výraz z důvodu značného množství nesteroidných interpretací. V kapitole je vysvětleno obecné pojetí rizika a jeho členění podle určitých kritérií. Na základě popisu oddělení Treasury jsou dále popsány jednotlivé rizikové oblasti, nicméně detailní interpretace rizika chápaného zkoumaným modelem bude uvedena později v práci.

### 2.1 Riziko a jeho členění

Riziko představuje významný faktor ovlivňující většinu lidských činností, nicméně je velice složité definovat jeho přesný význam. Jak uvádí Hlinica (2009), pojetí rizika prošlo určitým historickým vývojem, přičemž převažovalo chápání rizika jako určitého nebezpečí možnosti vzniku ztráty nebo odchylek od stanovených cílů. Riziko je většinou spojeno s procesem či aktivitou s nejistými výsledky. Nejistota je pak spojena především neschopností spolehlivého odhadu budoucího vývoje faktorů, které mají vliv na výsledky zkoumaného procesu či aktivity (Hlinica, 2009, str. 26).

V dnešní době neexistuje obecná definice, která by se dala použít pro všechna vyjádření tohoto pojmu. V následujících bodech jsou příklady možných interpretací rizika (Kurzweilová, 2008, str. 12):

- ❖ Pravděpodobnost vzniku ztráty nebo zisku.
- ❖ Odchýlení skutečných od očekávaných výsledků.
- ❖ Variabilita možných výsledků a nejistota jejich dosažení.
- ❖ Nebezpečí chybného rozhodnutí.
- ❖ Neurčitost spojená s vývojem sledovaného rizikového faktoru.

Jelikož není přesně stanovena obecná definice, lze riziko klasifikovat z mnoha hledisek. Například (Hlinica, 2009, str. 27) uvádí tyto základní způsoby členění:

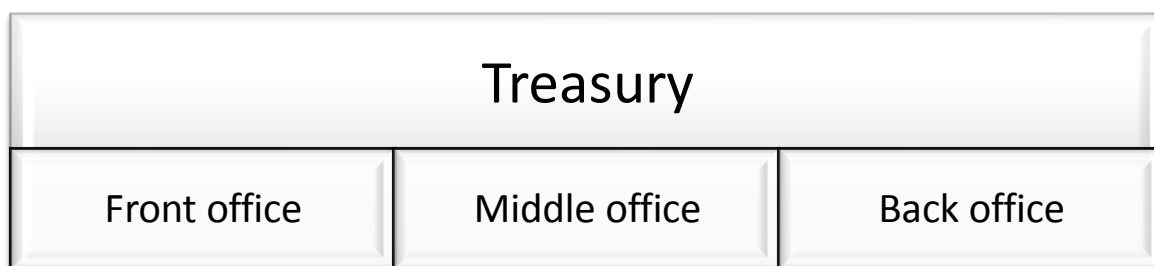
- ❖ **Podnikatelské** (má negativní i pozitivní stránku) a **čisté** (má pouze negativní stránku).
- ❖ **Systematické** (je vyvoláno společnými faktory a postihuje v různé míře všechny jednotky z daného odvětví) a **nesystematické** (je specifické pro jednotlivé podniky).

- ❖ **Vnitřní** (vztahuje se k faktorům uvnitř podniku) a **vnější** (vztahuje se k externím faktorům podnikatelského okolí).
- ❖ **Ovlivnitelné** (existuje možnost jeho eliminace či oslabení působením na příčiny) a **neovlivnitelné** (existuje pouze možnost oslabení jeho negativních dopadů).
- ❖ Členění **rizika podle věcné náplně** (výrobní, operační, obchodní, tržní, politická, informační).

Existuje celá řada dalších členění rizik, které jdou napříč zmíněného výčtu rozdělení. Každý subjekt, který pracuje s rizikem, by měl zvolit optimální pohled vzhledem k jeho oblasti působení. Pro zjištění rizikové oblasti oddělení Treasury je důležité vysvětlit strukturu a hlavní funkce zkoumaného oddělení.

## 2.2 Treasury

Dle Kurzweilové (2008) je pojem Treasury je vykládán jednotlivými slovníky různě. Nejčastěji vyskytovaná definice zní, že Treasury je jakási finanční správa podniku. V současné době je těžké odpovědět na otázku, jaká je optimální organizace a struktura oddělení Treasury, protože se v konkrétních firmách liší. Některé firmy mají centralizované oddělení Treasury, jiné mají decentralizovanou organizační strukturu. Jedná se především o podniky ve skupině, kdy záleží na mateřské společnosti, zda bude mít globální Treasury či nikoliv. Současné trendy se přiklání spíše k centralizované formě uspořádání (Kurzweilová, 2008, str. 6). Ve většině podniků se oddělení Treasury dělí na tři pododdělení (Front office, Back office a Middle office).



**Tabulka 1: Obecné rozdělení oddělení Treasury.**

V případě, že firma je exportérem, často dochází k záměně oddělení Middle office za oddělení Trade finance. Toto oddělení finančně zajišťuje export firmy, platby do zahraničí, vedení zahraničních kont a řízení pohledávek. Oddělení Front office se zaměřuje na řízení rizik a Back office spravuje hotovost. Jelikož společnost ŠKODA AUTO a.s. působí jako exportní firma, má ve zmíněném modelu místo Middle office oddělení Trade finance. V dalším popisu budou shrnuty činnosti a oblasti působení jednotlivých oddělení.



Tabulka 2: Rozdělení oddělení Treasury ve společnosti ŠKODA AUTO a.s.

### 2.2.1 Front office

Náplní tohoto oddělení je sledování a zpracovávání analýz z finančních a devizových trhů. Na základě těchto informací potom hledá vhodné formy finančních nástrojů. V případě exportní společnosti se toto oddělení zaměřuje na makroekonomické indikátory, vývoj směnných kurzů, úrokových sazeb a cen komodit. K uvedeným informacím vytváří databáze pro přípravu reportů a analýz pro vedení společnosti. Oddělení také analyzuje vývoj likvidity<sup>3</sup> společnosti a připravuje podklady pro přípravu finančních plánů a bankovního výsledku. Hlavní aktivitou v rámci společnosti je řízení rizik, především finančních rizik. Front office proto vyhledává na základě zjištěných informací vhodné finanční instrumenty, kterými lze zajistit tato rizika. Mezi speciální činnosti patří výběr leasingových partnerů a spolupráce na vyhodnocování obchodních případů leasingu.

### 2.2.2 Back office

Oddělení Back office plánuje a analyzuje krátkodobé, střednědobé i dlouhodobé požadavky finančních prostředků. Cílem je zajištění platební schopnosti společnosti tak, aby byla schopná dostát svým závazkům. Důležitou úlohou tohoto oddělení je tedy sledování denní finanční dispozice. Další z činností spadající do kompetence Back office je realizace a kontrola platebního styku, zpracování a zaúčtování bankovních výpisů. Platební styk probíhá většinou bezhotovostní formou, nicméně společnosti mají své vlastní pokladny, a to jak korunové tak valutové. Back office rovněž provádí metodické vedení těchto pokladen.

Platební styk je metodicky řízen Českou národní bankou (ČNB). Podle formy použití peněžních prostředků ho dělíme na hotovostní a bezhotovostní. Hotovostní styk je prováděn prostřednictvím vlastních pokladen. Bezhotovostní platební styk se provádí pomocí účtů, které má společnost otevřené u bank, ať už jde o účty v domácí nebo zahraniční měně.

<sup>3</sup> **Likvidita** je finanční termín, který lze definovat jako momentální schopnost přeměnit svá aktiva a dostát svým závazkům.



V posledních letech získává větší význam elektronické bankovníctví, které představuje určitou formu elektronické komunikace mezi bankou a klienty. Transakce jsou prováděny pomocí terminálu nebo jiného technického zařízení dostupného pro klienty. Na druhé straně funguje plně automatizovaný systém banky nebo pracovník, který tento systém obsluhuje.

Pokud má společnost krátkodobý přebytek finančních prostředků, investuje nejčastěji na peněžním trhu s instrumenty se splatností kratší než jeden rok. V případě dlouhodobého přebytku společnost investuje do instrumentu se splatností delší než jeden rok, který se obchoduje na kapitálovém trhu. Rozhodování probíhá pomocí efektivního výnosu, míry rizika a pojištění vkladů.

### 2.2.3 Trade finance

Již bylo zmíněno, že toto oddělení v případě exportních společností často nahrazuje Middle office v klasickém pojetí Treasury. Hlavní náplní tohoto oddělení je zajištění finančního krytí exportních obchodů. Tedy zajišťuje platby se zahraničím, zřizuje nová bankovní konta v zahraničí a sleduje stávající zahraniční konta. Trade finance zároveň zprostředkovává proplacení došlých šeků zejména od zahraničních subjektů, šeky od tuzemských subjektů jsou většinou zpracovány v oddělení Back office. Do kompetencí oddělení patří evidence platebních a zajišťovacích prostředků, ale také specifické aktivity v podobě faktoringu<sup>4</sup>. Výhradní činností Trade finance jsou celní záruky a zajištění účasti ve veřejných soutěžích.

### 2.2.4 Systémová podpora

Cílem systémové podpory je zajištění správné funkčnosti a bezproblémového provozu systému. Systémovou podporou se také rozumí správa systémových a aplikačních služeb včetně databáze. Důležité jsou pravidelné aktualizace, údržba a zabezpečení celkového aplikačního prostředí. Ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. je používán systém od společnosti SAP<sup>5</sup>, který představuje komplexní soubor podnikových aplikací a obchodních řešení. Zmíněný systém pracuje s interními i externími daty (např. z ČNB). Se získanými daty společnost ŠKODA AUTO a.s. pracuje téměř ve všech oblastech a považuje zjištěné informace za důvěryhodné.

---

<sup>4</sup> **Faktoring** je odkup krátkodobých pohledávek specializovanou finanční institucí (samostatnou faktoringovou firmou, bankou apod.) za určitou provizi. Nejčastěji se jedná o pohledávky za zboží vyvezené do zahraničí (Cipra, 2005, str. 27).

<sup>5</sup> Společnost **SAP** (zkratka pro „Systémy, Aplikace a Produkty v oblasti zpracování dat“) je předním dodavatelem podnikových aplikací, které přispívají lepšímu řízení firem. Společnost byla založena v roce 1972 a řadí se mezi největší softwarové společnosti na světě.

## 2.3 Funkce Treasury

Všechna tři popsaná oddělení působí jako komplexní celek, který řídí finanční správu společnosti. Jak uvádí Kurzweilová (2008), cílem společnosti je vytvářet predikovatelný zisk a plnit požadovanou návratnost kapitálu realizací podnikatelského plánu, přičemž prováděné aktivity jednotlivých oddělení lze shrnout do souboru základních funkcí oddělení Treasury (Kurzweilová, 2008, str. 7):

- ❖ Zajištění.
  - Dlouhodobé finanční krytí podnikání společnosti.
  - Krátkodobé a dlouhodobé financování.
- ❖ Řízení hotovostních a investičních aktivit.
- ❖ Minimalizace nákladů na zajištění pracovního kapitálu.
- ❖ Technické zajištění transakcí a jejich vypořádání.
- ❖ Řízení finančních toků.
- ❖ Řízení likvidity.
- ❖ Řízení vztahů s bankami.
- ❖ Řízení finančních rizik.
  - Řízení měnových rizik.
  - Řízení úrokových rizik.
  - Řízení komoditních rizik.

### 3 Činnosti spojené s eliminací rizika

Z předchozí kapitoly vyplývá, že hlavní činnosti oddělení Treasury jsou řízení rizik, likvidity, pohledávek a vztahu s bankami. V případě analýzy řízení rizik je tématicky nejbližší oddělení Front office, které na základě zjištěných informací z trhu hledá vhodné finanční instrumenty, jimiž lze zajistit tato rizika. Hlavní důraz je kladen na tržní riziko, ve kterém má oddělení Treasury největší zastoupení činností.

Tržní riziko (někdy nazývané jako cenové) patří do skupiny finančních rizik. Jedná se o riziko ztráty ze změn tržních cen neboli změny hodnoty určitého finančního nebo komoditního nástroje, ať na straně aktiv<sup>6</sup> či pasiv<sup>7</sup>. Dle Smejkal (2003) riziko ztráty vzniká v důsledku nepříznivých změn na trzích. Jedná o nepříznivý vývoj úrokových měr, měnového kurzu, cen akcií či jiných komodit (Smejkal, 2003). V následujícím schématu je zobrazena struktura tržního rizika:



Obrázek 1: Schéma rozdělení finančního rizika se zaměřením na hlavní faktory oddělení Treasury. Získáno ze zdroje: Jílek (2000, str. 16).

V následujících kapitolách budou probrány činnosti spojené s rizikem, které jsou prováděny v oddělení Treasury ve společnosti ŠKODA AUTO a.s.

<sup>6</sup> „**Aktiva** lze charakterizovat jako majetek podniku vyjádřený v penězích. V podnikovém sektoru aktiva představují zejména továrny a strojní zařízení, které se používá k výrobě, dále zásoby surovin a dokončeného zboží“ (Jílek, 1997, str. 20).

<sup>7</sup> „**Pasiva** jsou složena z vlastního jmění a různých forem dluhu. Tradičně se pasivum definuje jako zdroj krytí majetku“ (Jílek, 1997, str. 20).

### 3.1 Spotové kontrakty

Významnou složku činností prováděných oddělením Treasury tvoří spotové operace (tzv. promptní obchody). Jak uvádí Jílek (2000), příslušné zboží je okamžitě zapláceno a dodáno. Výraz „okamžitě“ se však musí brát s určitou tolerancí, podle daných zvyklostí. Pro měny je nastaven režim T+2, který říká, že vypořádání proběhne do dvou pracovních dnů. V tomto případě se jedná o měnové vypořádací riziko poskytnutí jedné měny, aniž dojde k přijetí druhé měny (Jílek, 2000, str. 44).

### 3.2 Termínové kontrakty

Další skupinu operací prováděných v oddělení Treasury tvoří termínované kontrakty. Motivací termínovaných obchodů může být například spekulace na kurzový pohyb či zajištění měnového kurzu proti kurzovému riziku. Cílem společnosti je vytvářet predikovatelný zisk a plnit požadovanou návratnost kapitálu realizací nastaveného plánu, nikoli spekulovat na růst, resp. pokles na finančních trzích. Proto je kladen důraz na zajištění proti cenovému riziku.

#### 3.2.1 Forwardové obchody

Forwardové trhy existují po staletí a používají se k zajišťování proti nejistotě. První takové kontrakty se týkaly komodit. Cílem bylo zajistit se proti možným změnám cen mezi datem účinnosti kontraktu a datem dodávky. Jílek (1997) uvádí, že v posledních desetiletích aktivita obchodování silně vzrostla a vzniklo mnohem více druhů forwardů. Základem všech těchto obchodů je dohoda mezi dvěma stranami. Jedna smluvní strana se zavazuje nakoupit podléhající aktivum v budoucnosti, čímž zaujímá dlouhou pozici, a druhá strana se zavazuje prodat podléhající aktivum ke stejnému datu, čímž zaujímá krátkou pozici. Formálně neexistuje k obchodování s forwardy žádné místo. K dohodám dochází přímo mezi stranami, přičemž v případě finančních kontraktů bývá jednou stranou většinou banka nebo jiná finanční instituce (Jílek, 1997, str. 389).

Jak uvádí Marek (2012, str. 2), druhy forwardů jsou:

- ❖ Měnové.
- ❖ Komoditní.
- ❖ Úrokové (FRA).
- ❖ Akciové.

V českém bankovním sektoru jsou nejrozšířenější měnové forwardy. Společnost ŠKODA AUTO a.s. má také největší zastoupení měnových forwardových obchodů. Druhou skupinu prováděných obchodů tvoří komoditní forwardy. Další typy termínovaných obchodů jsou uvedeny pouze pro informaci.

### 3.2.1.1 Měnové forwardy

Tento druh obchodů představuje termínovaný nákup či prodej zahraniční měny. Měnový forward sjednává s bankou klient, který si chce zajistit přijatelný měnový kurz pro zamýšlený budoucí nákup nebo prodej určité cizí měny. Dle Marka (2012) lze forwardový kurz obecně stanovit podle vztahu:

$$FW_m(t, T) = SK(t) \cdot e^{(r_d - r_f) \cdot (T - t)}, \quad (3.1)$$

kde  $SK(t)$  je současný měnový kurz,  $r_d$  je domácí bezriziková úroková míra,  $r_f$  je zahraniční bezriziková úroková míra,  $t$  značí současné datum a  $T$  je datum splatnosti, přičemž rozdíl  $T - t$  je vyjádřen v rocích (Marek, 2012, str. 3).

Jak již bylo zmíněno, forwardové obchody se rozdělují na nákupní a prodejní. Dle Cipry (2005) se velmi často v praxi pro nákupní termínovaný kurz používá aproximace, která počítá s dostupnými úrokovými mírami a časovou diferencí ve dnech. Tento vztah se v praxi běžně používá z důvodu snadného použití:

$$TK_N = SK_N \cdot \left[ 1 + (i_d^V - i_f^U) \cdot \frac{T - t}{360} \right], \quad (3.2)$$

kde  $SK_N$  značí nákupní spotový kurz,  $i_d^V$  je úroková míra pro vklad v domácí měně,  $i_f^U$  vyjadřuje úrokovou míru pro úvěr v cizí měně,  $t$  značí současné datum a  $T$  je datum splatnosti, přičemž rozdíl  $T - t$  je vyjádřen ve dnech.

Analogicky pro termínovaný prodej je uváděna následující rovnost:

$$TK_P = SK_P \cdot \left[ 1 + (i_d^U - i_f^V) \cdot \frac{T - t}{360} \right], \quad (3.3)$$

kde  $SK_P$  značí prodejní spotový kurz,  $i_d^U$  je úroková míra pro úvěr v domácí měně,  $i_f^V$  vyjadřuje úrokovou míru pro vklad v cizí měně,  $t$  značí současné datum a  $T$  je datum splatnosti a rozdíl  $T - t$  je vyjádřen ve dnech (Cipra, 2005, str. 129).

Spotový měnový kurz vyjadřuje aktuální měnový kurz kótovaný bankou pro nákup nebo prodej zahraniční měny.

### 3.2.1.2 Komoditní forwardy

Komoditou je myšleno určité fyzické zboží, které je na trhu obchodováno. Komodit existuje celá řada, například pšenice, ropa, měď, zlato, kakao atd. Aby bylo možné s komoditami obchodovat, jsou vždy určeny vlastnosti a obchodovatelné množství komodity. Komoditní forwardy představují kontrakty, které se týkají nákupu nebo prodeje určitých fyzických komodit v budoucnosti (Jílek, 1997, str. 361). Společnost ŠKODA AUTO

a.s. provádí tyto obchody pouze u průmyslových kovů, jako jsou hliník (aluminium), měď (copper) a olovo (lead). V ceně komoditních forwardů se musí také počítat se skladovacími náklady a pojištěním. Jak uvádí Marek (2012), forwardová cena je určena rovností:

$$FW_K(t, T) = [S(t) + I(t, T)] \cdot e^{r_f \cdot (T-t)}, \quad (3.4)$$

kde  $S(t)$  je současná cena komodity,  $I(t, T)$  značí současnou hodnotu skladovacích nákladů a pojištění,  $r_f$  vyjadřuje intenzitu úročení bezrizikových aktiv,  $t$  je současné datum a  $T$  označuje datum splatnosti, přičemž rozdíl  $T - t$  je vyjádřen v rocích (Marek, 2012, str. 3).

Na trhu lze vidět standardizované forwardy, které jsou obchodovány na termínových burzách. Tyto standardizované obchody se nazývají futures a odlišují se od klasických forwardů v řadě hledisek. Odlišnosti jsou např. v zúčtování zisků a ztrát každý obchodní den bez nutnosti čekat na den splatnosti, standardizovaném datumu splatnosti či standardizovaném množství podléhajícího aktiva. Dalším rozdílem je odstoupení od sjednaného kontraktu v libovolném čase jeho odprodejem na sekundárním trhu nebo případně vyrovnání dané pozice prostřednictvím vstupu do pozice k ní opačné (Jílek, 1997, str. 134). Futures obchody jsou ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. zakázané, proto budeme v práci předpokládat pouze klasické forwardové obchody.

### 3.2.1.3 Úrokové a akciové forwardy

Cipra (2005) uvádí, že úrokový forward umožňuje zajistit pro určité budoucí období pevnou úrokovou míru ze získaného úvěru nebo investovaného depozita. Subjekt, který za určitou dobu získá úvěr (resp. bude investovat depozitum) za pohyblivou úrokovou míru související s tržní úrokovou mírou, se může zajistit vůči vzestupu (resp. poklesu) takové úrokové míry (Cipra, 2005, str. 131). Akciové forwardy představují kontrakty na nákup a prodej akcií v budoucnosti. Spolu s úrokovými forwardy se tyto obchody ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. neprovádí, proto této podkapitole není věnována větší pozornost.

### 3.2.2 Swapové kontrakty<sup>8</sup>

Swapy jsou označovány za nejmladší deriváty, přičemž na trhu fungují od počátku 80. let. Na rozdíl od forwardů není plnění ze swapů jednorázové, ale opakované. Velmi významné postavení získaly swapy jako nástroj řízení firemních aktiv a pasiv. Nejběžnější jsou měnové a úrokové swapy, i když lze nalézt také akciové nebo komoditní swapy.

<sup>8</sup> Kapitola Swapové kontrakty s jednotlivými podkapitolami je inspirována ze zdroje (Cipra, 2005, str. 137).

### 3.2.2.1 Úrokové swapy

Úrokové swapy představují dohodu o budoucí směně úrokových plateb vztahujících se ke stejné kapitálové částce, ale definovaných odlišným způsobem. Oba toky úrokových plateb jsou odvozeny od téže nominální kapitálové částky stanovené ve swapovém kontraktu, která má pouze pomyslný význam pro určení výše úrokových plateb.

### 3.2.2.2 Měnové swapy

V případě měnových swapů dochází nejen ke směně úrokových plateb, ale také příslušných kapitálových částek denominovaných v různých měnách. Úrokové swapy lze zřejmě považovat za speciální případ měnových swapů s totožnými měnami, takže výměna nominálních kapitálových částek pozbývá smyslu.

### 3.2.2.3 Devizové swapy

V českém bankovním sektoru jsou zatím nepoužívanější devizové<sup>9</sup> swapy (FX-swapy), které nesmí být zaměňovány s měnovými swapy. FX-swap je tvořen spotovou a termínovou měnovou transakcí, které jsou navzájem opačné, ale při odlišných kurzech. Všechny cenové podmínky jsou zafixovány v okamžiku sjednání kontraktu. Následně je vypořádána spotová a forwardová část zvlášť.

---

<sup>9</sup> **Devizový kurz** je výraz pro měnový kurz. V práci je uvažován kurz české koruny vůči světovým měnám, který každý den stanovuje ČNB.

## 4 Metody používané pro měření rizika

Základem měření rizika je stanovení jeho číselných charakteristik. To však vyžaduje kvantitativní charakter veličiny, ke které se riziko určuje, a znalost jejího rozdělení pravděpodobnosti. V případě, že není možné vyjádření těchto číselných charakteristik, lze uplatnit určité verbální charakteristiky.

### 4.1 Číselné charakteristiky rizika

Měření rizika lze rozumět číselné stanovení velikosti rizika určité aktivity, firemního aktiva či firmy jako celku. Toto číselné vyjádření je možné pouze v případě porovnání s určitým kritériem kvantitativní povahy. Dle Hlinici (2009) mohou jako číselné míry rizika sloužit:

- ❖ **Pravděpodobnosti nedosažení (případně překročení) zvolené hodnoty kritéria.**
  - Příkladem uplatnění této charakteristiky může být pravděpodobnost, že zisk firmy či určitého projektu nebude v daném období záporný.
  - Předpokladem pro stanovení této pravděpodobnosti je znalost rozdělení zkoumané veličiny (v předchozím příkladě je zkoumanou veličinou zisk).
- ❖ **Statistické charakteristiky variability** kritéria, zahrnující odhad rozptylu, směrodatné odchylky a variačního koeficientu.
  - S těmito charakteristikami se setkáváme ve finančním managementu.
  - Odhady charakteristik variability jsou provedeny na základě historických hodnot.
  - Všechny tyto charakteristiky vyjadřují, do jaké míry jsou jednotlivé hodnoty kritéria vzdálené od střední hodnoty rozdělení.
- ❖ **Hodnoty kritéria, které budou překročeny (či nedosaženy) se zvolenou pravděpodobností.**
  - Základem této charakteristiky je stanovení hodnoty kritéria, která bude překročena či nedosažena s předem danou pravděpodobností.
  - Opět předpokládáme znalost rozdělení zkoumané veličiny.
  - Do této skupiny charakteristik patří modely Value at Risk, Cash Flow at Risk, Earnings at Risk, atd.



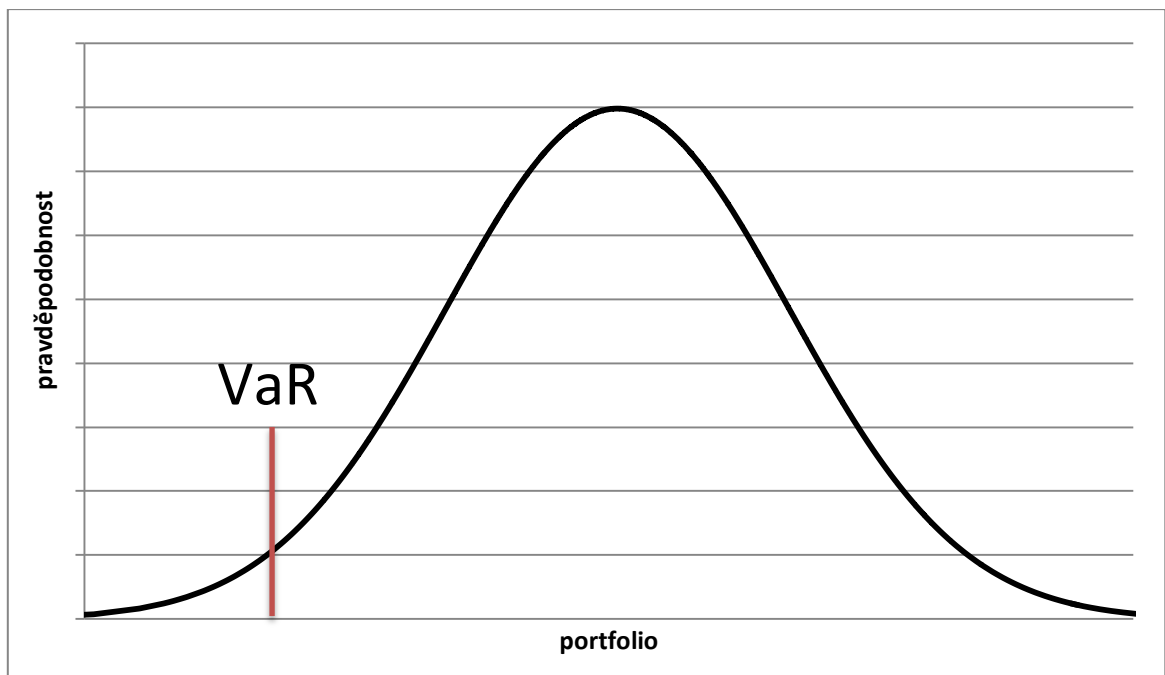
Velmi často se pro vyjádření rizika používá právě poslední skupina, která bude v práci důkladně probrána. Model Value at Risk lze považovat za tzv. „základní kámen“ této skupiny (Hlinica, 2009, str. 20).

## 4.2 Value at Risk (VaR)<sup>10</sup>

S modely VaR začaly v 80. letech velké americké banky tak, jak se rozvíjel derivátový trh. Počátkem 90. let se rozšířil do mnoha dalších bankovních institucí a sloužil ke kvantifikaci rizika z hlediska hodnoty určitých aktiv. Tyto modely počítají ekonomické ztráty na portfoliovém základě, přičemž použití modelů je omezeno vzhledem k předpokladu, že budoucí riziko je možné odvodit z historie.

Obecný význam VaR je označen za potenciální ztrátu s určitou pravděpodobností během následující doby držení, stanovenou na základě určitého historického období, kterou instituce může mít u svého portfolia při nepříznivých tržních cenách.

Matematicky se definuje jako jednostranný kvantil (např. 99%) z rozdělení zisků a ztrát portfolia během určité doby držení (např. deset dnů), stanovený na základě určitého historického období (např. jeden rok).



Obrázek 2: Grafické znázornění VaR v rozdělení zisků a ztrát portfolia.

<sup>10</sup> Kapitola Value at Risk (VaR) je inspirována ze zdroje (Jílek, 2000, str. 411).

Předností metody VaR je možnost jejího použití v institucích na různých úrovních. Podle požadované rizikové oblasti se rozšiřuje i na nefinanční instituce, což vyústilo v nové míry rizika, jako jsou výnosy v riziku (Earnings at risk), zisk v riziku (Profit at Risk) či peněžní tok v riziku (Cash Flow at Risk).

V praxi lze nalézt různé metody odhadu VaR a banky mají poměrně velkou flexibilitu v používání těchto modelů. Existují tři hlavní metody stanovení VaR:

- ❖ Metoda variancí a kovariancí.
- ❖ Metoda historické simulace.
- ❖ Metoda Monte Carlo.

#### **4.2.1 Metoda variancí a kovariancí**

Tato metoda, která je často označovaná také jako parametrická metoda, využívá k odhadu potenciálních ztrát portfolia v budoucnosti statistiky o volatilitách rizikových faktorů v minulosti a korelací mezi nimi. Parametrický přístup je založen na předpokladu, že rozdělení budoucích výnosů náleží do určité parametrické skupiny. Nejjednodušší forma parametrické simulace předpokládá, že změny rizikových faktorů mají normální rozdělení a korelace změn rizikových parametrů jsou stabilní.

#### **4.2.2 Metoda historické simulace**

Druhou metodou je metoda historické simulace, kdy se počítají potenciální budoucí ztráty na základě údajů o minulých hodnotách, konkrétně na základě údajů z historického období. V případě historické simulace se modelují potenciální ztráty bez zavádění předpokladů o rozdělení, tj. pro určitý historický scénář bez ohledu na jeho pravděpodobnost. Nevýhodou této metody je potřeba dostatečného počtu historických simulací.

#### **4.2.3 Metoda Monte Carlo**

Třetí skupinu tvoří metoda Monte Carlo, která k odhadu VaR používá velký počet simulací vývoje hodnoty portfolia. Jednotlivé rizikové faktory jsou generovány náhodně, přičemž u každého z nich existuje známé rozdělení. Historické údaje lze použít jako vstupní data. Metoda historické simulace je s metodou Monte Carlo velice podobná. Rozdíl je pouze v tom, jak jsou generovány rizikové faktory. Metoda Monte Carlo modeluje náhodné scénáře, zatímco historická simulace vychází ze scénářů v minulosti.

V současné době neexistuje jednoznačný názor o nejlepší metodě.

### **4.3 Modifikace VaR**

Z modelu VaR začaly postupem času vznikat nové míry rizika, které byly více zaměřené i pro nefinanční instituce. Základ všech vzniklých metod byl téměř shodný s modelem VaR, a využíval stejných číselných charakteristik míry rizika. V nefinanční sféře bylo potřeba vyjádřit riziko různých podnikatelských aktivit, investičních projektů aj. Hlavní požadované vyjádření bylo obvykle v podobě zisku v riziku (Profit at Risk, Earnings at Risk) a peněžního toku v riziku (Cash Flow at Risk). Všechny metody jsou založeny na zpracování rizikových faktorů a následném modelování scénářů. Na základě vymodelovaného rozdělení zkoumané veličiny lze interpretovat výsledky kvantitativního vyjádření rizika pomocí statistických charakteristik.

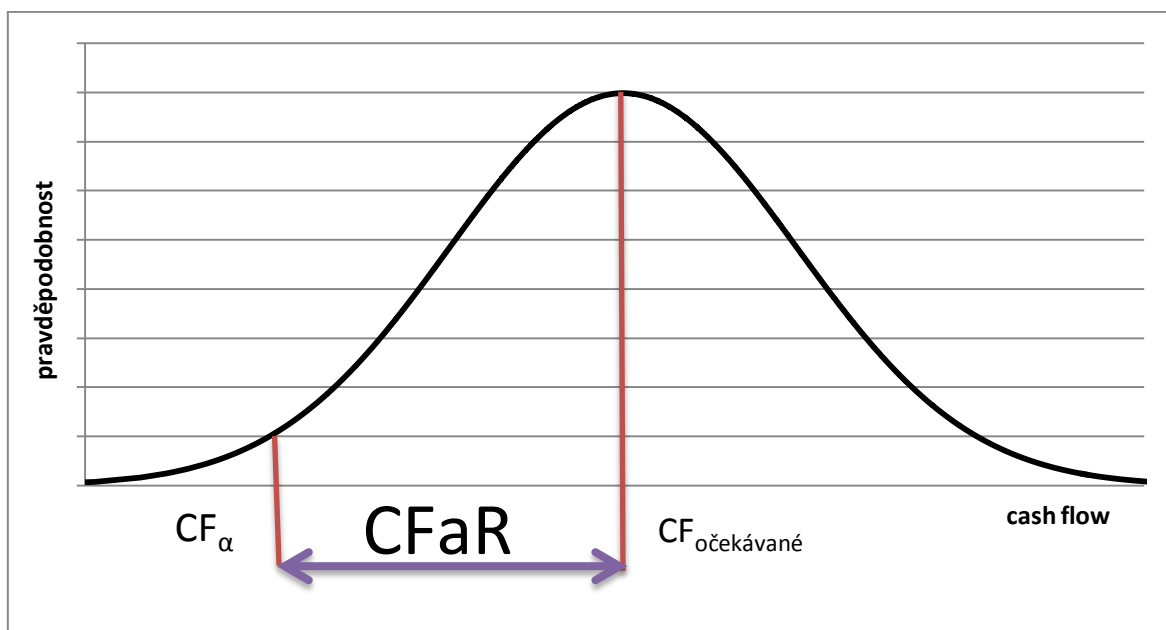
## 5 Cash Flow at Risk (CFaR)

S rostoucím zájmem analýzy peněžních toků vznikl z metody VaR model Cash Flow at Risk, který vyjadřuje riziko cash flow v určitém časovém období. Zejména nefinanční společnosti tento komplexní nástroj začaly využívat pro jednotlivé analýzy. Základem je vytvoření mapy klíčových rizik, která ovlivňují celkové cash flow (nejen negativně, ale také pozitivně). Jednotlivé rizikové faktory jsou simulovány podle určitého počtu odlišných scénářů a vstupují do modelu na základě vzájemných vztahů. Klíčová rizika jsou například nejisté očekávané cash flow nebo změny tržních cen (devizových kurzů, úrokových sazeb a komodit). Jednotlivé rizikové faktory vstupují do modelu CFaR, přičemž pomocí vzájemných vztahů lze přepočítat očekávané cash flow v cizí měně na měnu referenční. Na základě vygenerovaných simulací je analyzováno výsledné modelové rozdělení pravděpodobnosti.

Jak uvádí Wiedemann (2006), velikost Cash Flow at Risk ( $CFaR$ ) je definováno jako rozdíl očekávané hodnoty peněžních toků ( $CF_{\text{očekávané}}$ ) od velikosti cash flow, která nastane s  $\alpha\%$  pravděpodobností ( $CF_{\alpha}$ ). Řada analytiků používá pro své výpočty různé hladiny  $\alpha$ , nicméně nejčastěji se udávají hodnoty kvantilů ( $\alpha = 5\%$ ,  $\alpha = 1\%$ ). Wiedemann ve své práci používá pro své výpočty hodnotu 5% kvantilu. Rovnice (5.1) popisuje matematický zápis  $CFaR$ . Grafické vyjádření lze vidět na obrázku 3.

$$CFaR = CF_{\text{očekávané}} - CF_{\alpha} \quad (5.1)$$

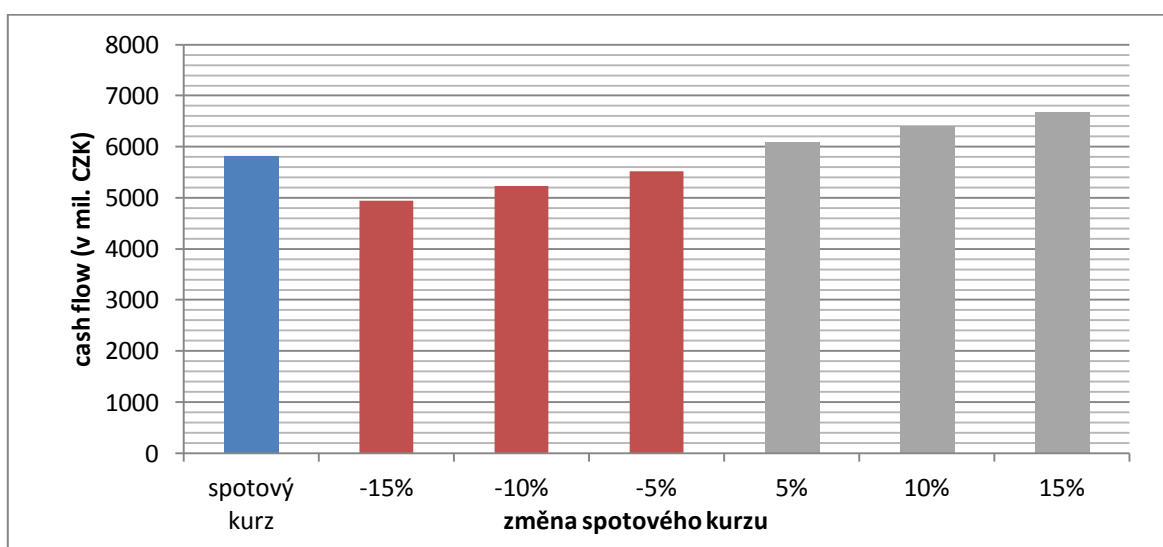
kde  $CF_{\text{očekávané}}$  značí očekávanou hodnotu cash flow a  $CF_{\alpha}$  vyjadřuje hodnotu  $\alpha\%$  kvantilu modelového rozdělení cash flow (Wiedemann, 2006, str. 9).



Obrázek 3: Grafické znázornění velikosti  $CFaR$  pro rozdělení modelového cash flow.

## 5.1 Cíle

Cílem zpracování modelu CFaR je komplexní rozbor rizikových faktorů ovlivňující cash flow společnosti. Již bylo zmíněno, že společnost ŠKODA AUTO a.s. patří do nefinančních institucí, které tento model často využívají. Hlavním cílem je zlepšení stávajícího modelu vyjádření peněžních toků, který pracuje pouze se skokovými scénáři změn spotového kurzu jednotlivých měn. V tomto modelu se nevyskytují žádné váhy a maximální vychýlení od spotového kurzu bylo pro všechny měny nastaveno na 15 % (viz obrázek 4). Komplexní model CFaR pracuje s vývoji tržních cen založený na reálných historických datech, přičemž v případě velkého počtu simulací lze mluvit o spojitém vyjádření tohoto vývoje.



Obrázek 4: Stávající model cash flow se skokovými scénáři pro vzorový příklad USD v období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2011.

## 5.2 Data

Data byla získána z interních souborů ŠKODA AUTO a.s., které jsou spravovány a aktualizovány systémem SAP (viz kapitolu 2.2.4). Z důvodu důvěrnosti zkoumaných dat jsou jednotlivé hodnoty peněžních toků degenerovány na základě nezveřejněných postupů. Tržní rizika, jako jsou měnové kurzy, ceny komodit či úrokové míry, jsou již reálné. Databáze tržních faktorů je díky softwarové podpoře společnosti ŠKODA AUTO a.s. dostupná, přičemž souvislou časovou řadu máme k dispozici od začátku roku 2005. Zkoumaná data jsou vztažena ke dni 1. 1. 2011, od kterého provádíme analýzu jednotlivých tržních rizik. Metody výpočtů získaných dat budou vysvětleny později v průběhu této práce. Degenerovaná data jednotlivých peněžních toků jsou vztažena k celému plánovacímu kolu, které ve společnosti představuje šestileté období, tj. 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016.

### 5.3 Postup výpočtu CFaR<sup>11</sup>

Pro měření rizika metodou Cash Flow at Risk je třeba dodržovat určitá pravidla a držet se stanoveného postupu. Nejprve je zvolena referenční měna, ve které se bude dané cash flow počítat. Na základě znalosti společnosti a jejího působení je provedena identifikace rizikových faktorů vstupujících do modelu. Dále musí být zmapována expozice společnosti vzhledem k jednotlivým rizikům. Pomocí historických dat jsou zkoumána dílčí rizika, přičemž pro sestavení simulací je potřeba nalézt pravděpodobnostní rozdělení ke každému rizikovému faktoru. Pro výpočet cash flow je nutné zvolit určitý časový horizont, pro který je dále zkoumáno CFaR. Na základě zjištěných rozdělení je provedena simulace všech rizikových faktorů. Ze vztahu (5.1) musíme také zvolit hladinu významnosti  $\alpha$ . Velmi důležitým posledním krokem je interpretace získaných výsledků.

#### Shrnutí:

- ❖ Zvolení referenční měny.
- ❖ Identifikace rizikových faktorů.
- ❖ Zmapování expozice společnosti vzhledem k faktorům.
- ❖ Určení časového horizontu.
- ❖ Určení hladiny významnosti.
- ❖ Nalezení pravděpodobnostního rozdělení rizikových faktorů.
- ❖ Opakované generování rizikových faktorů.
- ❖ Výpočet CFaR.
- ❖ Interpretace výsledků.

Společnost ŠKODA AUTO a.s. je český výrobce, který je součástí koncernu Volkswagen Group. Referenční měnou v tomto modelu je díky sídlu společnosti česká koruna (CZK). Před tím než budou analyzovány jednotlivé rizikové faktory, bude nastaven časový horizont modelu. Jelikož je model CFaR zpracováván pro oddělení Front office, které je zaměřeno na finanční plánování, je pracováno s měsíčními hodnotami jednotlivých peněžních toků a celým plánovacím kolem, tj. 1. 1. 2011 – 31. 12. 2012. Z důvodu měsíčních pozorování je prováděna analýza jednotlivých rizikových faktorů pomocí měsíčních tržních hodnot, které budou vysvětleny později v práci. Historický časový horizont je nastaven na střednědobé období (1. 1. 2008 – 31. 12. 2010) a dlouhodobé období (1. 1. 2005 – 31. 12. 2010). Tříletý interval bude nazýván střednědobé období a je zvolen na základě skutečnosti, že nejvíce zajišťovacích obchodů je prováděno právě v tomto časovém horizontu. Naopak šestileté období je označováno za dlouhodobé a je voleno z důvodu vyšší četnosti dat, dlouhodobé tendence chování zkoumaného faktoru nebo stejného intervalu časové historie vzhledem k simulovanému období.

---

<sup>11</sup> Kapitola Postup výpočtu CFaR je inspirována zdroji (Hlinica, 2009), (Wiedemann, 2006).

Z předchozího postupu víme, že k výpočtu CFaR potřebujeme znát jednotlivé rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů vstupujících do modelu. Mezi významné nástroje umožňující stanovit toto rozdělení patří především pravděpodobně ohodnocené scénáře a simulace Monte Carlo. Stejně jako v případě modelu VaR existuje více metod pro vytváření simulací, jako například metoda historické simulace nebo Metoda variancí a kovariancí. Nejčastěji používaná metoda simulace rizikových faktorů je zmíněná Monte Carlo simulace, proto bude v práci rozebrána právě tato metoda.

## 5.4 Simulace Monte Carlo

Tato metoda má široké uplatnění v simulaci řady experimentů. Její předností je dle Hlinici (2009) především to, že nutí manažery, resp. další subjekty analyzující a hodnotící zkoumanou veličinu hlouběji přemýšlet nad jednotlivými faktory rizika než v případě předem známého rozdělení. Vede tedy k hlubšímu poznání rizikových faktorů. Nejdůležitější částí této metody je stanovení rozdělení pravděpodobnosti daných rizikových faktorů, které je často velmi obtížné. Většinou je založeno na expertních analýzách či obecně předpokládaných vlastnostech. Řada analytiků nemá jednotný názor o rozdělení stejných rizikových faktorů, proto existuje více odlišných zpracování stejného faktoru.

Společnou vlastností simulací Monte Carlo je generování jednotlivých scénářů pomocí pseudonáhodných čísel. Tato pseudonáhodná čísla jsou generována na základě pravděpodobnostního rozdělení, které je zjištěno pomocí historických dat. Největší výhradou k simulaci je námitka, že nejvýznamnější klíčová rizika jsou často na základě hodnocení současnosti a minulosti nepředvídatelná, nicméně i přes tuto námitku se metoda hojně používá. Po proběhnutí dostatečného množství simulací se mohou data zpracovávat klasickými statistickými metodami (Hlinica, 2009, str. 80).

V následujících kapitolách budou zkoumány tržní rizikové faktory na základě dvou historických intervalů, jak bylo popsáno v kapitole 5.3. Cílem každé kapitoly je popis daného rizikového faktoru a nalezení modelového rozdělení, které je použito v následné simulaci. Testy historických dat s modelovými protějšky jsou prováděny pomocí statistických metod.

## 6 Devizové kurzy

Jak uvádí Jílek (1997), základním faktorem, který ovlivňuje český mezibankovní devizový trh, je měnový kurz české koruny vůči hlavním světovým měnám, který každý den stanovuje ČNB. Podle tohoto kurzu se tentýž den provádí obchody na devizovém fixingu ČNB<sup>12</sup> a tento kurz je také oficiálním kurzem v následujícím dni pro účely účetnictví (Jílek, 1997, str. 143).

Díky dostatečným informacím lze analyzovat tento rizikový faktor, který je představitelem tržního rizika. Kurzy stanovené ČNB mají dlouholetou historickou databázi a pomocí nich je modelován budoucí vývoj. Popis náhodného vývoje devizových kurzů je prováděn pomocí metody Monte Carlo. Z předchozí kapitoly je známo, že před samotnou simulací musíme vyšetřit chování tohoto rizikového faktoru a stanovit jeho modelové rozdělení. V práci budeme předpokládat, že „*logaritmické měsíční výnosy jsou charakterizovány normálním rozdělením*“ (Liščinský, 2008, str. 12). Tento předpoklad je uváděn i v případě denních logaritmických výnosů, nicméně zde se často volí metody jiných časových řad, např. model ARCH<sup>13</sup>. „*Většina ekonomů se shoduje, že pro měsíční a delší intervaly měření se rozdělení výnosů blíží k normálnímu rozdělení*“ (Cont, 2001, str. 224). Měsíční logaritmické výnosy jsou oproti denním logaritmickým výnosům méně náchylné na krátkodobé extrémní výkyvy. Měsíční logaritmické výnosy jsou vyjádřeny pomocí následujícího vztahu:

$$v_t = \ln\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right), \quad (6.1)$$

kde  $v_t$  značí logaritmický výnos v čase  $t$ ,  $X_t$  je měsíční kurz<sup>14</sup> v čase  $t$ ,  $X_{t-1}$  značí měsíční kurz v čase  $t - 1$ .

<sup>12</sup> **Fixing ČNB** je výraz pro kurzy měn, které jsou stanovovány a následně zveřejňovány Českou národní bankou každý pracovní den v 14:30 s platností na daný den (Česká národní banka).

<sup>13</sup> **ARCH** (AutoRegressive Conditional Heteroscedasticity) je označení modelů časových řad s podmíněným rozptylem.

<sup>14</sup> **Měsíční kurz** je v našem případě aritmetický průměr denních devizových kurzů za daný měsíc. Tento měsíční kurz používá společnost ŠKODA AUTO a.s. pro roční analýzy, přičemž jednotlivé hodnoty jsou počítány a aktualizovány v systému SAP.



## 6.1 Linearizace modelu

Z naměřených hodnot měsíčních logaritmických výnosů lze vypočítat, že se nacházejí v okolí bodu 1 (ve vzorovém příkladu kurzu USD/CZK, dále jen kurzu USD, je nejvychýlenější měření přibližně rovno 1,093). V tomto případě lze využít aproximaci Taylorovým polynomem, který bude hledané funkci podobný v okolí tohoto bodu. Předpokládáme, že daná funkce má v daném bodě  $x_0$  alespoň  $n$  derivací a hodnoty těchto derivací známe. Jak uvádí Příkryl a Brantner (2000), matematický zápis aproximační funkce Taylorovým polynomem je následující:

$$T_n(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!}(x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!}(x - x_0)^2 + \dots + \frac{f^n(x_0)}{n!}(x - x_0)^n, \quad (6.2)$$

kde  $f(x_0)$  je funkční hodnota v bodě  $x_0$ ,  $f'(x_0)$  značí první derivaci funkce v bodě  $x_0$ ,  $f''(x_0)$  značí druhou derivaci funkce v bodě  $x_0$ ,  $f^n(x_0)$  je  $n$ -tá derivace funkce v bodě  $x_0$ ,  $n!$  značí faktoriál čísla  $n$ , pro který platí vztah:  $n! = n \cdot (n - 1) \cdot \dots \cdot 1$  (Příkryl a Brantner, 2000, str. 16).

V našem případě budeme uvažovat lineární aproximaci na okolí bodu  $x_0 = 1$ , přičemž stačí vypočítat pouze první derivaci:

$$T_1(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0), \quad (6.3)$$

kde  $x_0 = 1$ ,  $f(x) = \ln(x)$ ,  $f'(x) = \frac{1}{x}$ ,  $f(x_0) = 0$ ,  $f'(x_0) = 1$ .

Z konstrukce Taylorova polynomu vyplývá, že chyba aproximace  $\varepsilon(x)$  je rovna:

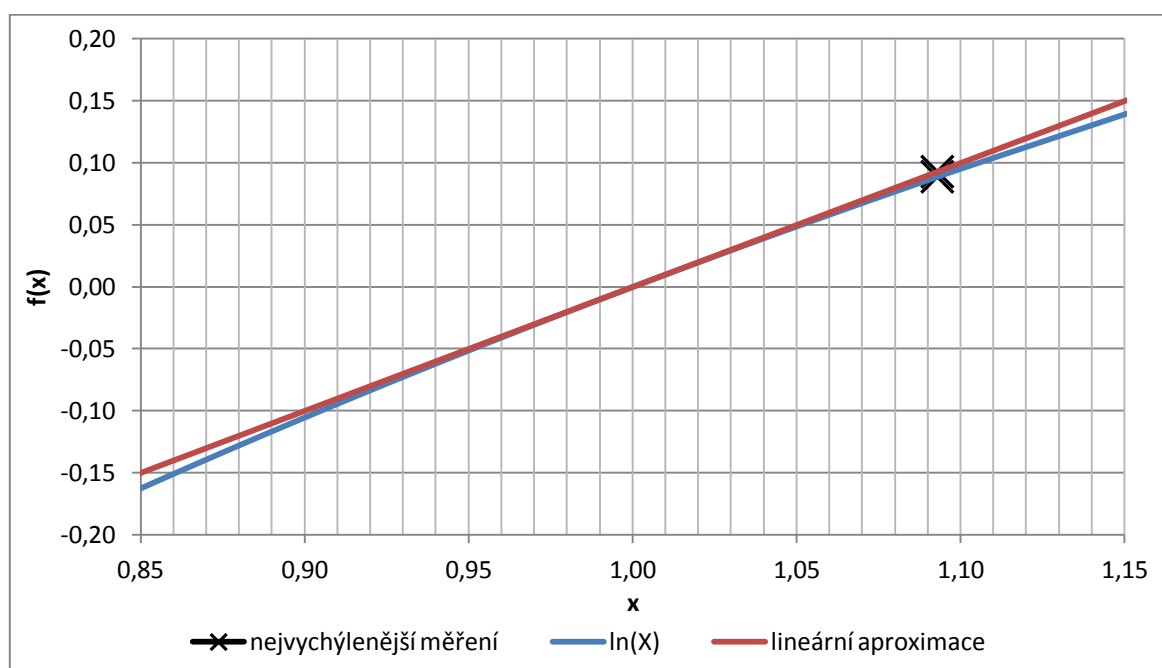
$$\varepsilon(x) = T_1(x) - f(x). \quad (6.4)$$

	x	logaritmické výnosy	Taylorův polynom	chyba aproximace	chyba aproximace / logaritmické výnosy
<b>nejvychýlenější měření</b>	1,0930	0,0889	0,0930	0,0041	4,58%
<b><math>x_{0,25}</math></b>	0,9707	-0,0297	-0,0293	0,0004	-1,47%
<b><math>x_{0,75}</math></b>	1,0187	0,0185	0,0187	0,0002	0,93%
<b>průměr</b>	0,9979	-0,0021	-0,0021	0,0000	-0,10%

Tabulka 3: Tabulka s odchylkami logaritmických výnosů a Taylorova polynomu řádu 1.  $x_{0,25}$  značí 25% kvantil a  $x_{0,75}$  značí 75% kvantil.

Finální aproximační funkce má tvar:

$$T_1(x) = x - 1. \quad (6.5)$$



Obrázek 5: Aproximace křivky přirozeného logaritmu relativních přírůstků v okolí bodu  $x_0 = 1$  pro USD v historickém období šesti let.

Při zavedení lineární aproximace platí pro pozorování v okolí bodu  $x_0 = 1$  následující vztahy:

$$v_t = \ln\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right) \approx \frac{X_t}{X_{t-1}} - 1, \quad (6.6)$$

$$v_t \sim N(\mu_0, \sigma_0^2), \quad (6.7)$$

$$\frac{X_t}{X_{t-1}} \sim N(\mu_1, \sigma_0^2). \quad (6.8)$$

Přechod výrazu (6.7) na vztah (6.8) je proveden na základě vlastností normálního rozdělení o lineární transformaci náhodné veličiny, které uvádí Forbelská (2006, str. 1).  $\frac{X_t}{X_{t-1}}$  značí relativní změnu kurzu v čase  $t$  ( $X_t$ ) vzhledem ke kurzu v čase  $t - 1$  ( $X_{t-1}$ ).

V práci je předpokládáno, že jsou logaritmické měsíční výnosy nezávislé a stejně rozdělené. Jak uvádí Cont (2001), tento fakt není v praxi vždy splněn, nicméně pro zpracování zvolenou metodou je tento předpoklad nutný. Cont ve své práci uvádí, že v případě výnosů aktiva se tato skutečnost často objevuje (Cont, 2001, str. 224).

## 6.2 Model normálního rozdělení

V předchozích předpokladech vycházíme z toho, že se naše data řídí normálním rozdělením  $N(\mu, \sigma^2)$  se střední hodnotou  $\mu$  a rozptylem  $\sigma^2$ . Normální rozdělení je jedno z nejdůležitějších rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny. Jeho význam spočívá rovněž v aproximaci jiných pravděpodobnostních rozdělení. Veličina má hustotu pravděpodobnosti  $f(x)$  zvonovitého tvaru (Reif, 2004, str. 16):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, x \in \mathbb{R}. \quad (6.9)$$

### 6.2.1 Parametrický odhad

Jak uvádí Reif (2004), průměr  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  pozorovaných dat je nestranným odhadem střední hodnoty  $E(x)$ . Výběrový rozptyl  $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$  je nestranným odhadem rozptylu  $D(x)$ . Hodnoty kvantilů se vypočítají pomocí vztahu  $x_p = \sigma u_p + \mu$ , přičemž  $u_p$  je kvantil normovaného normálního rozdělení<sup>15</sup> (Reif, 2004, str. 22).

Dle Šedivé (2008), šikmost a špičatost jsou další zkoumané charakteristiky, které pomáhají vyšetřit vlastnosti dat. Šikmost pomáhá rozhodnout o shodě s normálním rozdělením z hlediska symetrie kolem průměru  $\bar{x}$ . Pomocí centrálních momentů lze šikmost vyjádřit jako  $\gamma_3 = \frac{m_3}{\sigma^3}$ , kde  $m_3 = E(X - E(X))^3$ ,  $\sigma$  značí směrodatnou odchylku.

Výběrovou šikmost  $\alpha_3$  počítáme nejčastěji podle vztahu:

$$\alpha_3 = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3, \quad (6.10)$$

kde  $n$  je rozsah výběru,  $x_i$  vyjadřuje jednotlivá pozorování,  $\bar{x}$  je průměr a  $s$  značí výběrovou směrodatnou odchylku (Šedivá, 2008, str. 10).

Kladná šikmost vyjadřuje, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší pozorování nežli vlevo. U záporné šikmosti je tomu naopak. Šikmost normálního rozdělení je rovna 0.

Špičatost je charakteristika, která se zaměřuje na strmost dat v porovnání s normálním rozdělením. Pomocí centrálních momentů lze špičatost vyjádřit také jako  $\vartheta_4 = \frac{m_4}{\sigma^4}$

<sup>15</sup> **Normované** (nebo standardizované) **normální rozdělení** je normální rozdělení s parametry  $\mu = 0$ ,  $\sigma^2 = 1$ , tj.  $N(0, 1)$ . Kvantil  $u_p$  se nazývá  $p$ -procentní kvantil, který rozděluje hodnoty do dvou částí, přičemž v případě uspořádání dat podle velikosti, je  $100p$  procent hodnot menší než kvantil  $u_p$  a  $100(1-p)$  procent hodnot je větší než zmíněný kvantil. Kvantily normovaného normálního rozdělení lze nalézt v tabulkách.

nebo počítáme koeficient špičatosti  $\gamma_4 = \frac{m_4}{\sigma^4} - 3$ , kde  $m_4 = E(X - E(X))^4$  a  $\sigma$  značí směrodatnou odchylku.

Výběrový koeficient špičatosti je v řadě softwarů počítán podle následujícího vztahu:

$$\alpha_4 = \left( \frac{n \cdot (n + 1)}{(n - 1) \cdot (n - 2) \cdot (n - 3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right) - 3 \cdot \frac{(n - 1)^2}{(n - 2) \cdot (n - 3)}, \quad (6.11)$$

kde  $n$  je rozsah výběru,  $x_i$  vyjadřuje jednotlivá pozorování,  $\bar{x}$  je průměr a  $s$  značí výběrovou směrodatnou odchylku (Microsoft Office, 2012).

Pokud je koeficient špičatosti dat kladný, jsou naměřené hodnoty strmější oproti normálnímu rozdělení, pokud je hodnota koeficientu špičatosti záporná, mají data plošší charakter. Koeficient špičatosti  $\gamma_4$  je v případě normálního rozdělení roven 0.

Parametrické odhady byly provedeny pro obě zkoumaná období (dlouhodobé i střednědobé), přičemž jednotlivé odhady parametrů jsou v tabulkách 4, 6. Srovnání empirické distribuční funkce a modelové distribuční funkce s parametrickými odhady se nacházejí na obrázcích 6, 7.

#### ❖ Dlouhodobé období.

V tomto období je prováděna analýza relativních změn kurzu u jednotlivých měn vzhledem k CZK<sup>16</sup> v historickém období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Parametrické odhady pro všechny zkoumané země v období 6 let		
	Průměr	Výběrová směrodatná odchylka
AUD	1,0013	0,0278
DKK	0,9975	0,0163
EUR	0,9975	0,0163
GBP	0,995	0,0265
CHF	1,0003	0,0227
JPY	1,0011	0,0403
NOK	0,9983	0,0263
PLN	0,9978	0,0184
RUB	0,9962	0,0253
SEK	0,9976	0,0207
USD	0,9979	0,0369

Tabulka 4: Souhrn odhadnutých parametrů pro všechny zkoumané měny v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z tabulky je vidět, že většina průměrů jednotlivých relativních změn kurzů je v dlouhodobém období menší než 1. To znamená, že lze potvrdit dlouhodobé posilování české koruny vůči většině zkoumaných měn. Z velikosti výběrové směrodatné odchylky můžeme vidět, že v případě evropských měn je volatilita kurzů nižší než v případě

<sup>16</sup> Všechny zahraniční kurzy jsou v práci uvažovány vzhledem k CZK, proto se vždy v případě zmínky o kurzu zahraniční měny myslí právě kurz vzhledem k české koruně.

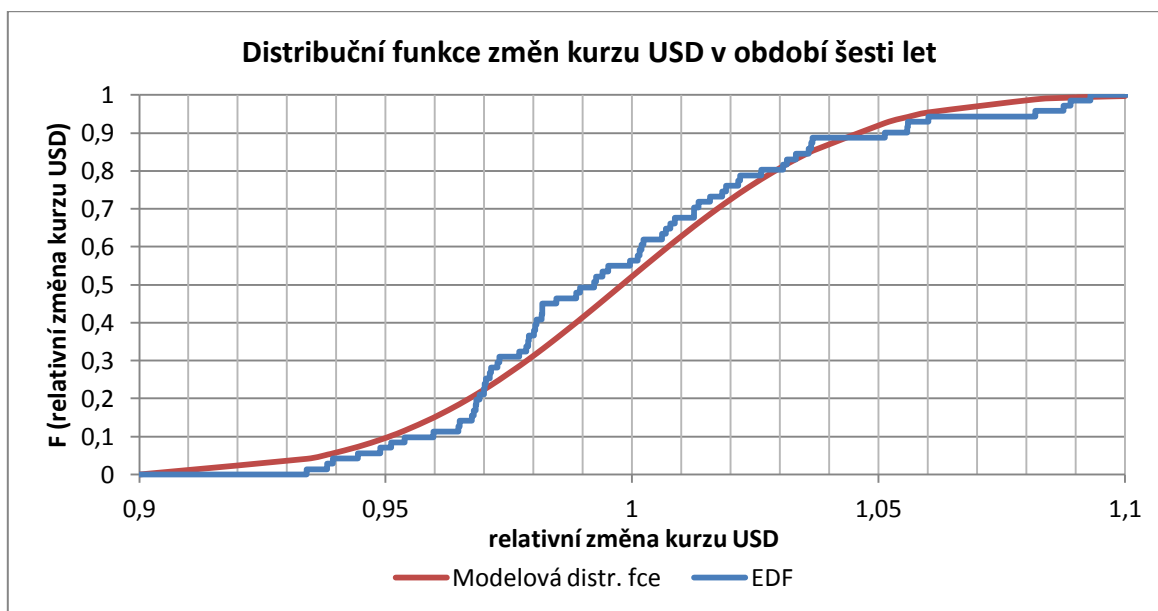
ostatních světových měn (např. JPY nebo USD). Tato skutečnost může být způsobena určitými událostmi ovlivňující pohled na ekonomiku většiny evropských států.

Pro vzorovou měnu USD je v následující tabulce podrobné srovnání empirické a modelové distribuční funkce s parametrickými odhady.

Srovnání výběrových a modelových charakteristik pro USD			
Parametr	Výběrový	Modelový	Diference
Minimum	0,9340	---	---
Průměr	0,9979	0,9979	0,0000
Medián	0,9923	0,9979	-0,0056
Maximum	1,0930	---	---
StD	0,0369	0,0369	---
10% kvantil	0,9597	0,9507	0,0090
25% kvantil	0,9707	0,9731	-0,0024
75% kvantil	1,0187	1,0228	-0,0041
90% kvantil	1,0513	1,0452	0,0061
Koeficient špičatosti	0,2344	0	0,2344
Šikmost	0,7302	0	0,7302
Počet	71	---	---

Tabulka 5: Srovnání charakteristik empirické a modelové distribuční funkce s parametrickými odhady relativních změn kurzu USD v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

V tabulce 5 je vidět, že nedochází k výrazným odchylkám od modelového rozdělení. Kladná šikmost vyjadřuje, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší pozorování nežli vlevo.



Obrázek 6: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce relativních změn kurzu USD v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Na obrázku 6 je vidět grafické znázornění distribučních funkcí, které reflektuje jednotlivé hodnoty charakteristik v tabulce 5. Z vizuálního hlediska lze říci, že distribuční funkce nabývají podobných hodnot v celé pozorovací škále.

❖ **Střednědobé období.**

Pro střednědobé období je uvažováno historické období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

<b>Parametrické odhady pro všechny zkoumané země v období tří let</b>		
	<b>Průměr</b>	<b>Výběrová směrodatná odchylka</b>
<b>AUD</b>	1,006	0,0329
<b>DKK</b>	0,9992	0,0212
<b>EUR</b>	0,9992	0,0211
<b>GBP</b>	0,996	0,0343
<b>CHF</b>	1,0062	0,0299
<b>JPY</b>	1,0109	0,0534
<b>NOK</b>	0,9997	0,0331
<b>PLN</b>	0,9963	0,0219
<b>RUB</b>	0,996	0,0323
<b>SEK</b>	1,0005	0,0266
<b>USD</b>	1,0031	0,0468

Tabulka 6: Souhrn odhadnutých parametrů pro všechny zkoumané měny v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

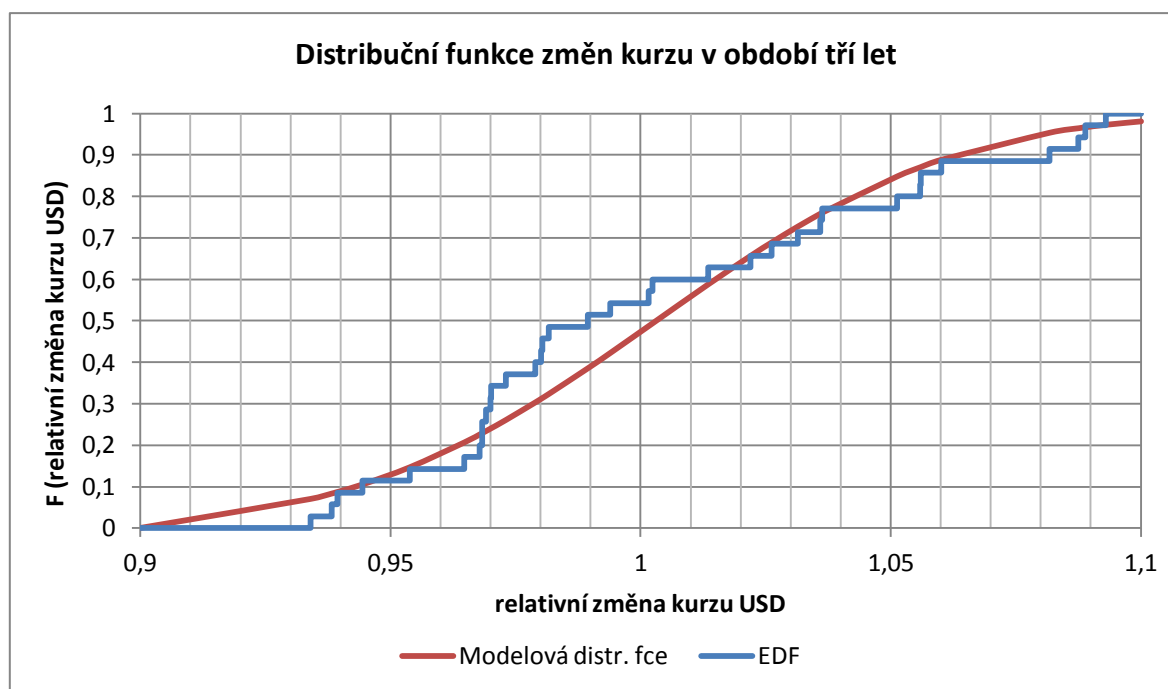
Z tabulky 6 lze vidět, že jednotlivé průměry u většiny zkoumaných měn vyšly vyšší než v případě šestiletého období. Vyšší hodnoty byly naměřeny i v případě výběrových směrodatných odchylek, u kterých stále platí vyšší rozdíly u evropských a světových měn.

Pro vzorovou měnu USD je v tabulce 7 podrobné srovnání empirické a modelové distribuční funkce pro střednědobé období.

<b>Srovnání výběrových a modelových charakteristik pro USD ve střednědobém období</b>			
<b>Parametr</b>	<b>Výběrový</b>	<b>Modelový</b>	<b>Diference</b>
<b>Minimum</b>	0,9340	---	---
<b>Průměr</b>	1,0031	1,0031	0,0000
<b>Medián</b>	0,9895	1,0031	-0,0136
<b>Maximum</b>	1,0930	---	---
<b>StD</b>	0,0468	0,0468	---
<b>10% kvantil</b>	0,9482	0,9431	0,0051
<b>25% kvantil</b>	0,9687	0,9716	-0,0028
<b>75% kvantil</b>	1,0361	1,0347	0,0014
<b>90% kvantil</b>	1,0731	1,0632	0,0010
<b>Koeficient špičatosti</b>	-0,8713	0	-0,8713
<b>Šikmost</b>	0,4825	0	0,4825
<b>Počet</b>	35	---	---

Tabulka 7: Srovnání charakteristik empirické a modelové distribuční funkce pro relativní změny kurzu USD v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

Z naměřených hodnot jednotlivých kvantilů vidíme velký rozdíl pouze v případě mediánu, nicméně diference je celkem markantní. Oproti předchozímu šestiletému období byl naměřen záporný koeficient špičatosti, který značí, že zkoumaná data mají plošší charakter než normální rozdělení.



Obrázek 7: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce s parametrickými odhady pro relativní změny kurzu USD v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

V grafickém znázornění je vidět rozdíl naměřených mediánů, nicméně na první pohled opět křivky kopírují podobné hodnoty.

Po provedení základních statistik nyní přistoupíme k testování modelového rozdělení rizikového faktoru, které potřebujeme pro sestavení modelu CFaR. Již bylo zmíněno, že se řada ekonomů přiklání k názoru, že se měsíční výnosy blíží k normálnímu rozdělení, proto budeme testovat shodu s normálním rozdělením. V našem případě pracujeme s upravenými relativními změnami kurzů jednotlivých měn.

### 6.2.2 Testování normality

Pro testování normality při odhadnutých parametrech je použit Lillieforsův test, který je založený na porovnání distribučních funkcí. Zvolíme nulovou hypotézu, že se data řídí normálním rozdělením s odhadnutými parametry  $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$ . V testech požadujeme chybu prvního druhu  $\alpha = 5\%$ , která se nazývá hladina významnosti a zpravidla bývá nastavena na tuto hodnotu při základních statistických testech. Většina softwarů vypočítá  $p$ -hodnotu, která udává mezní hladinu významnosti, při které bychom nulovou hypotézu ještě zamítali. Dle Friesla (2004) nulovou hypotézu zamítáme na hladině významnosti  $\alpha$ , právě když  $p$ -hodnota je menší než  $\alpha$  (Friesl, 2004, str. 84). Postup výpočtu testovacího kritéria je uveden v následujícím postupu (Reif, 2004, str. 63):

$$D = \max\{D^+, D^-\}, \quad (6.12)$$

$$\text{kde} \quad D^- = \max \left\{ \frac{i}{n} - F(x_{(i)}) : i = 1, \dots, n-1 \right\}, \quad (6.13)$$

$$D^+ = \max \left\{ F(x_{(i)}) - \frac{i-1}{n} : i = 1, \dots, n \right\}, \quad (6.14)$$

$x_{(i)}$  značí seřazené naměřené hodnoty relativních změn kurzů.

Testování normality						
	6let			3 roky		
	kriterium	krit. hodnota	p-hodnota	kriterium	krit. hodnota	p-hodnota
<b>AUD</b>	0,0607	0,1056	0,5000	0,0979	0,1504	0,5000
<b>DKK</b>	0,1188	0,1056	<b>0,0145</b>	0,1079	0,1504	0,3670
<b>EUR</b>	0,1101	0,1056	<b>0,0324</b>	0,0929	0,1504	0,5000
<b>GBP</b>	0,0672	0,1056	0,5000	0,1213	0,1504	0,2710
<b>CHF</b>	0,1103	0,1056	<b>0,0134</b>	0,0908	0,1504	0,5000
<b>JPY</b>	0,1501	0,1056	<b>0,0001</b>	0,1337	0,1504	0,1103
<b>NOK</b>	0,1034	0,1056	0,0576	0,1632	0,1504	<b>0,0184</b>
<b>PLN</b>	0,0731	0,1056	0,4491	0,1380	0,1504	0,0876
<b>RUB</b>	0,0668	0,1056	0,5000	0,1124	0,1504	0,3069
<b>SEK</b>	0,1021	0,1056	0,0641	0,0687	0,1504	0,5000
<b>USD</b>	0,1200	0,1056	<b>0,0130</b>	0,1626	0,1504	<b>0,0192</b>

Tabulka 8: Souhrn vypočítaných hodnot Lillieforsova testu pro všechny měny v různých obdobích.

Kritická hodnota tohoto testu je závislá na počtu pozorování. V našem případě při  $\alpha = 5\%$  lze použít přibližnou kritickou hodnotu  $\frac{0,89}{\sqrt{n}}$ . Pomocí programu Matlab R2009b byly vypočítány přesné p-hodnoty, podle kterých je vyhodnocen Lillieforsův test. Z tohoto důvodu jsou kritické hodnoty na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$  pouze pro informaci. V tabulce 5 jsou červeně vyznačeny případy, kdy Lillieforsův test zamítl nulovou hypotézu, že se hledaná data řídí normálním rozdělením na zvolené hladině významnosti. Při snížení hladiny významnosti  $\alpha = 1\%$  bychom nulovou hypotézu zamítali pouze v případě JPY v dlouhodobém období. Pro střednědobé období by tato hladina významnosti byla pro všechny zkoumané měny dostačující. Dle Bednaříka (2009) se data z finanční oblasti ve většině případů blíží normálnímu rozdělení, nicméně je hledané rozdělení charakterizováno vyšší špičatostí a má „těžší“ konce (Bednařík, 2009, str. 84).

### 6.3 Aproximace distribuční funkce

V předchozí kapitole je ukázáno, že v některých případech je hypotéza o normalitě dat zamítnuta. Proto se nyní zaměříme pouze na distribuční funkci a budeme se snažit dosáhnout vhodné aproximace. Distribuční funkce může sloužit jako reprezentace modelového rozdělení při vstupu rizikového faktoru do simulací Monte Carlo. Testovat budeme shodu s distribuční funkcí normálního rozdělení s různými parametry, které budou hledány v oblasti  $(\mu_d; \mu_h) \times (\sigma_d; \sigma_h)$ , přičemž tyto meze budou zjištěny pomocí intervalových odhadů parametrů.



### 6.3.1 Intervalové odhady

Kromě konkrétních bodových odhadů se ve statistice často používají intervalové odhady, pokud nás zajímá interval, ve kterém bude hodnota parametru ležet s určitou pravděpodobností  $p = 1 - \alpha$ . Jak uvádí Reif (2004), koeficient  $\alpha$  se nazývá hladina významnosti a nabývá zpravidla hodnoty  $\alpha = 0,05$  nebo  $\alpha = 0,01$ . Intervalovým odhadem parametru  $\theta$  o spolehlivosti  $1 - \alpha$  je takový interval  $(a, b)$ , který obsahuje  $\theta$  s pravděpodobností  $1 - \alpha$ , tj.  $P(a < \theta < b) = 1 - \alpha$ . Je-li  $a = -\infty$  nebo  $b = \infty$ , tak hovoříme o jednostranném intervalu spolehlivosti. V případě, že  $a, b \in \mathbb{R}$ , tak jde o oboustranný interval spolehlivosti (Reif, 2004, str. 40).

Testovat budeme intervaly s hladinou významnosti  $\alpha = 0,01$  pro získání širšího prohledávacího pásma. Modelová střední hodnota  $\mu$  bude vyhledávána z oboustranného intervalu  $(\mu_d; \mu_h)$ . Tento interval je symetrický z hlediska pravděpodobnosti, tj. bude platit  $P(\mu < \mu_d) = P(\mu > \mu_h) = \frac{\alpha}{2}$ . Z důvodu očekávané vyšší špičatosti zkoumaných dat bude parametr  $\sigma$  prohledáván v oblasti  $(\sigma_d; \sigma_h)$  pomocí jednostranného intervalu  $(0; \sigma_h)$ , přičemž v obou případech předpokládáme, že má soubor normální rozdělení  $N(\mu, \sigma^2)$ . Jednotlivé vzorce jsou dle Průchy (2010):

❖ **Intervaly spolehlivosti pro střední hodnotu při neznámém rozptylu.**

Zde je uvažován oboustranný  $100(1-\alpha)\%$  interval pro  $\mu$  s předpokladem, že základní soubor má normální rozdělení s neznámou hodnotou rozptylu  $\sigma^2$ .

$$(\mu_d; \mu_h) = \left( \bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \right), \quad (6.15)$$

kde  $\bar{x}$  je aritmetický průměr relativních změn kurzu zkoumané měny,  $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)$  je kvantil Studentova rozdělení se stupni volnosti  $n-1$ ,  $s$  je výběrová směrodatná odchylka  $\left( s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)$  a  $n$  je rozsah výběru.

❖ **Intervaly spolehlivosti pro rozptyl při neznámé střední hodnotě.**

Z důvodu zmíněné očekávané vyšší špičatosti je zkoumán jednostranný  $100(1-\alpha)\%$  interval pro  $\sigma$ . Za předpokladu, že má základní soubor normální rozdělení, se meze  $(\sigma_d; \sigma_h)$  vypočítají pomocí vzorce:

$$(\sigma_d; \sigma_h) = \left( 0; \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi_{\alpha}^2(n-1)}} \right), \quad (6.16)$$

kde  $\chi_{\alpha}^2(n-1)$  je kvantil  $\chi^2$  rozdělení se stupni volnosti  $(n-1)$ ,  $s^2$  je výběrový rozptyl a  $n$  je rozsah výběru.

### ❖ Intervaly spolehlivosti pro rozptyl při známé střední hodnotě.

Ve speciálním případě si management může zvolit variantu, že data nebudou ovlivněna rostoucím, resp. klesajícím trendem. V této variantě je střední hodnota rovna 1 a hledáme aproximaci distribuční funkce  $N(1, \sigma_1)$ , kde  $\sigma \in (\sigma_{1d}; \sigma_{1h})$ .

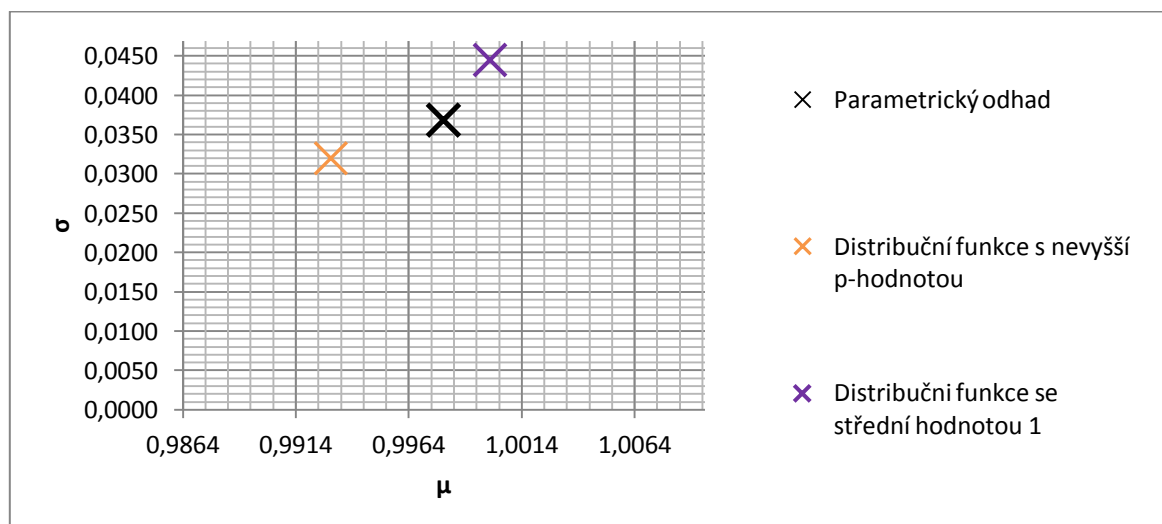
Jednostranný  $100(1-\alpha)\%$  interval pro  $\sigma_1$  má za předpokladu normality meze:

$$(\sigma_{1d}; \sigma_{1h}) = \left( 0; \sqrt{\frac{ns^2}{\chi_\alpha^2(n-1)}} \right), \quad (6.17)$$

kde  $\chi_\alpha^2(n-1)$  je kvantil  $\chi^2$  rozdělení se stupni volnosti  $(n-1)$ ,  $s^2$  je výběrový rozptyl a  $n$  je rozsah výběru (Průcha, 2010, str. 39).

## 6.4 Výběr parametrů

V oblasti  $(\mu_d; \mu_h) \times (\sigma_d; \sigma_h)$  procházíme každou kombinaci s krokem 0,0001. Modelovou distribuční funkci  $F(x) = N(\mu, \sigma)$  volíme takovou, pro kterou platí, že p-hodnota Kolmogorova-Smirnova testu je nejvyšší. Na obrázku 8 je znázorněna oblast procházení a výběr parametrů podle zvoleného kritéria pro USD v dlouhodobém období. Výpočet těchto parametrů se provádí v programu Matlab R2009b v příloženém DVD.



Obrázek 8: Oblast procházení a nalezení parametrů pro nejvyšší p-hodnotu Kolmogorova-Smirnova testu pro USD v šestiletém období.

Na obrázku 8 lze vidět rozdíly mezi jednotlivými kombinacemi nalezených parametrů. Kombinace parametrů distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou má nejnížší směrodatnou odchylku, nicméně modelová střední hodnota je nejdále od hodnoty 1.

V tabulce 9 je souhrn vypočítaných hodnot Kolmogorova-Smirnova testu pro distribuční funkci s nejvyšší p-hodnotou.

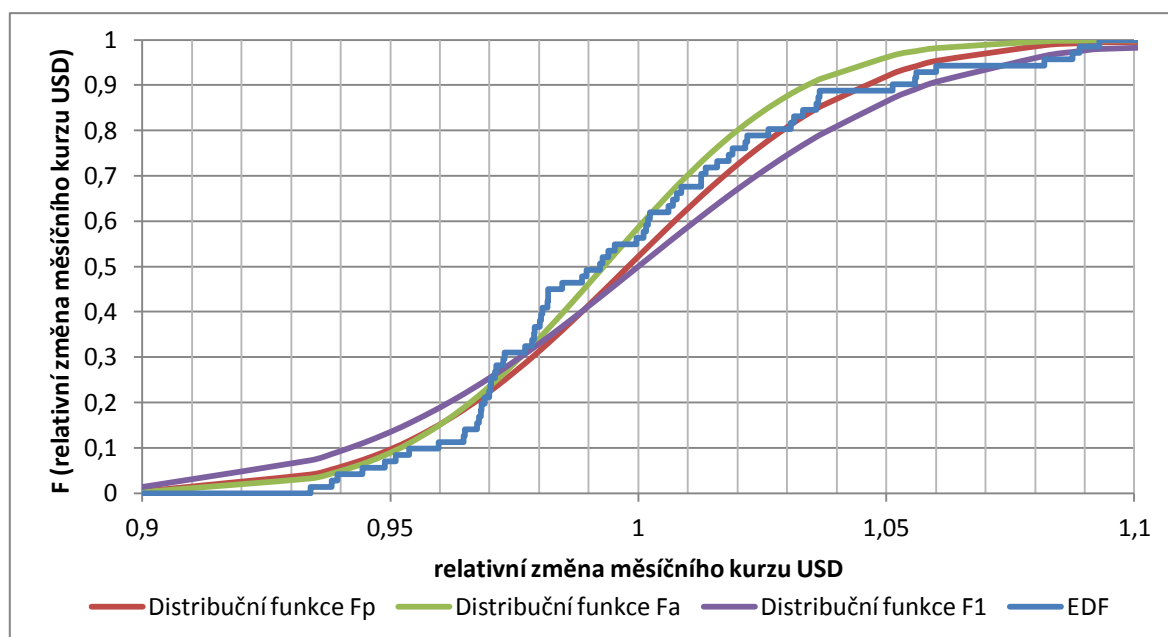
Testování distribučních funkcí pomocí Kolmogorova-Smirnova testu						
	6let			3 roky		
	kritérium	krit. hodnota	p-hodnota	kritérium	krit. hodnota	p-hodnota
<b>AUD</b>	0,16	0,05	1,00	0,23	0,09	1,00
<b>DKK</b>	0,16	0,09	0,95	0,23	0,09	0,99
<b>EUR</b>	0,16	0,08	0,94	0,23	0,08	1,00
<b>GBP</b>	0,16	0,06	1,00	0,23	0,10	0,98
<b>CHF</b>	0,16	0,07	0,97	0,23	0,08	1,00
<b>JPY</b>	0,16	0,09	0,88	0,23	0,10	0,99
<b>NOK</b>	0,16	0,06	1,00	0,23	0,09	0,97
<b>PLN</b>	0,16	0,06	1,00	0,23	0,09	0,99
<b>RUB</b>	0,16	0,06	1,00	0,23	0,08	1,00
<b>SEK</b>	0,16	0,06	1,00	0,23	0,07	1,00
<b>USD</b>	0,16	0,09	0,93	0,23	0,11	0,91

Tabulka 9: Souhrn vypočítaných hodnot Kolmogorova-Smirnova testu pro nalezené parametry všech měn.

Z tabulky 9 lze vidět, že pro všechny případy vyšlo testovací kritérium menší než kritická hodnota a nezamítáme hypotézu, že se zkoumaná empirická distribuční funkce rovná modelové. Jednotlivé p-hodnoty jsou dostatečně vysoké (nejnižší p-hodnota je v případě JPY rovna 0,88). Kolmogorův-Smirnův test nezamítá nulovou hypotézu ani v případě parametrického odhadu z důvodu vyšší kritické hodnoty. Ve speciálním případě s nastavenou střední hodnotou 1 Kolmogorův-Smirnův test opět nezamítá nulovou hypotézu. Oba zkoumané případy v dlouhodobém i střednědobém období jsou uvedeny v příloze 1.

## 6.5 Srovnání distribučních funkcí

V grafickém srovnání (obrázek 9) jsou vidět rozdíly mezi jednotlivými distribučními funkcemi u vzorového příkladu USD. Zavedli jsme jednoduché značení, kde  $F_p$  je distribuční funkce s parametrickými odhady,  $F_a$  značí nalezenou distribuční funkci s nejvyšší p-hodnotou a  $F_1$  je distribuční funkce se střední hodnotou 1.



Obrázek 9: Grafické znázornění rozdílů mezi jednotlivými distribučními funkcemi pro USD v období šesti let. Jednotlivé distribuční funkce jsou z následujících rozdělení:  $F_p \sim N(\bar{x}, s^2)$ ,  $F_a \sim N(\mu, \sigma^2)$ ,  $F_1 \sim N(1, \sigma_1)$ .

Z obrázku 9 není příliš prokazatelné, která distribuční funkce nejlépe napodobuje zkoumanou empirickou distribuční funkci. Každá modelová funkce je v určitých intervalech nejbližší svému historickému protějšku.

Jak uvádí (Reif, 2004, str. 91), „jednotlivé distribuční funkce můžeme srovnat také pomocí reziduálních součtů čtverců (RSS)“. RSS lze vypočítat podle vzorce (6.18), v tabulce 10 jsou vypočteny jednotlivé RSS pro všechny měny v dlouhodobém období.

$$RSS = \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2, \quad (6.18)$$

kde  $y_t$  značí hodnoty EDF a  $\hat{y}_t$  značí modelové hodnoty aproximované distribuční funkce.

	AUD	DKK	EUR	GBP	CHF	JPY	NOK	PLN	RUB	SEK	USD
RSS pro $F_a \sim N(\mu, \sigma^2)$	0,04	0,10	0,09	0,05	0,08	0,19	0,03	0,04	0,17	0,06	0,16
RSS pro $F_p \sim N(\bar{x}, s^2)$	0,02	0,15	0,14	0,04	0,24	0,43	0,11	0,08	0,59	0,13	0,30
RSS pro $F_1 \sim N(1, \sigma_1^2)$	0,05	0,52	0,52	0,29	0,17	0,31	0,21	0,05	0,33	0,23	0,28

Tabulka 10: Porovnání hodnot RSS pro jednotlivé odhady parametrů v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z tabulky 10 lze vidět, že ve většině případů vyšel nejnižší RSS pro distribuční funkci s nejvyšší p-hodnotou. Pouze v případě AUD a GBP vyšel nižší RSS u parametrického odhadu než u obou zbývajících distribučních funkcí. V případě AUD a GBP není rozdíl RSS příliš vysoký, proto z hlediska RSS vyšla nejlépe distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou.

Naopak distribuční funkce s uměle nastavenou střední hodnotou 1 dopadla podle očekávání z hlediska RSS nejhůře. Z důvodu, že byla poslední varianta uměle nastavená, nejnižší RSS byl očekáván.

## 6.6 Simulace Monte Carlo

Pomocí vybrané odhadnuté distribuční funkce, kterou aproximujeme zkoumaný rizikový faktor, budeme modelovat možný vývoj změn kurzu metodou Monte Carlo. Jak uvádí Hlinica (2009), cílem této metody je vygenerovat  $N$  možných scénářů (řádově stovky až desítek tisíců). Z těchto simulací je vytvořeno rozdělení pravděpodobnosti a jsou vypočítány základní statistické charakteristiky k celému souboru scénářů (Hlinica, 2009, str. 71). Scénáře jsou generovány na základě Brownova pohybu<sup>17</sup> metodou náhodné procházky. Jak uvádí Štěpán (1987), z matematického hlediska je náhodná procházka posloupnost částečných součtů:

$$S_n = \sum_{j=1}^n X_j, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (6.19)$$

kde  $X_1, X_2, \dots, X_n$  jsou nezávislé stejně rozdělené veličiny (Štěpán, 1987, str. 291). Z předchozích výpočtů známe parametry modelové distribuční funkce a v následujícím postupu budeme aplikovat metodu Monte Carlo.

Nejprve je vygenerována posloupnost náhodných vektorů  $\{\mathbf{U}_1, \dots, \mathbf{U}_m\}$  standardizovaného normálního rozdělení, tj.  $\mathbf{U}_i \sim N(0, 1)$ , kde  $i = 1, \dots, m$ , přičemž  $m$  značí počet simulovaných měsíců. Jednotlivé vektory vypadají následovně:

$$\mathbf{U}_i = \begin{pmatrix} u_{i,1} \\ \vdots \\ u_{i,N} \end{pmatrix}, \quad (6.20)$$

kde  $u_{i,j}$  značí  $j$ -tý vygenerovaný prvek z  $i$ -tého náhodného vektoru,  $N$  značí počet prvků v náhodném vektoru.

Většina výpočetních softwarů je schopná vygenerovat náhodný vektor standardizovaného normálního rozdělení. V případě, že generátor pseudonáhodných čísel umí generovat pouze náhodný vektor z rovnoměrného rozdělení, lze vhodnou transformací data upravit na standardizované normální rozdělení.

---

<sup>17</sup> **Brownův pohyb** je náhodný pohyb částic, který poprvé zaznamenal v roce 1827 biolog Robert Brown. V našem případě budeme tento pohyb aplikovat na vývoj změn měnového kurzu.

Pro modelování náhodných scénářů metodou Monte Carlo potřebujeme zavést posloupnost náhodných vektorů  $\{\mathbf{V}_1, \dots, \mathbf{V}_m\}$  při modelové střední hodnotě a rozptylu, tj.  $E(\mathbf{V}_i) = \mu$ ,  $var(\mathbf{V}_i) = \sigma^2$ ,  $i = 1, \dots, m$ .

$$\mathbf{V}_i = \mu \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{N \times 1} + \mathbf{U}_i \cdot \sigma = \begin{pmatrix} \mu \\ \vdots \\ \mu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{i,1} \\ \vdots \\ u_{i,N} \end{pmatrix} \cdot \sigma = \begin{pmatrix} v_{i,1} \\ \vdots \\ v_{i,N} \end{pmatrix}. \quad (6.21)$$

V případě sloučení jednotlivých vektorů dostáváme matici  $\mathbf{V}$  celkového vygenerovaného vývoje kurzu v požadovaném období.

$$\mathbf{V} = (\mathbf{V}_1, \dots, \mathbf{V}_m) = \begin{pmatrix} v_{1,1} & \dots & v_{m,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{1,N} & \dots & v_{m,N} \end{pmatrix}, \quad (6.22)$$

kde  $v_{i,j}$  vyjadřuje změnu kurzu  $j$ -té simulace v  $i$ -tém období.

Pokud požadujeme vyjádření simulace ve skutečné hodnotě devizového kurzu, musíme vygenerovanou změnu aplikovat na hodnotu kurzu z předcházejícího období. Nejprve se vypočítá  $N$  možných scénářů vývoje kurzu v prvním období (první měsíc).  $X_0$  je aktuální spotový kurz v čase  $t = 0$ , od kterého provádíme analýzu. Počáteční simulace pohybu kurzu v prvním měsíci je vyjádřena pomocí následujícího vzorce:

$$\mathbf{X}_1 = X_0 \cdot \mathbf{V}_1 = \begin{pmatrix} x_{1,1} \\ \vdots \\ x_{1,N} \end{pmatrix}, \quad (6.23)$$

kde  $x_{1,j}$  je kurz  $j$ -té simulace v prvním období.

Vektor pohybů kurzu v čase  $t + 1$  ( $\mathbf{X}_{t+1}$ ) bude počítán pomocí rekurentního vztahu:

$$\mathbf{X}_{t+1} = \text{diag}(\mathbf{X}_t \cdot (\mathbf{V}_{t+1})^T) = \begin{pmatrix} x_{t+1,1} \\ \vdots \\ x_{t+1,N} \end{pmatrix}, \quad (6.24)$$

kde

$(\mathbf{V}_{t+1})^T = (v_{t+1,1}, \dots, v_{t+1,N})$  a označuje transponovaný<sup>18</sup> vektor simulovaných změn v čase  $t + 1$ ,

$\text{diag}(\mathbf{A})$  separuje z matice  $\mathbf{A}$  o rozměru  $N \times N$  hlavní diagonálu<sup>19</sup> o rozměru  $N \times 1$ ,

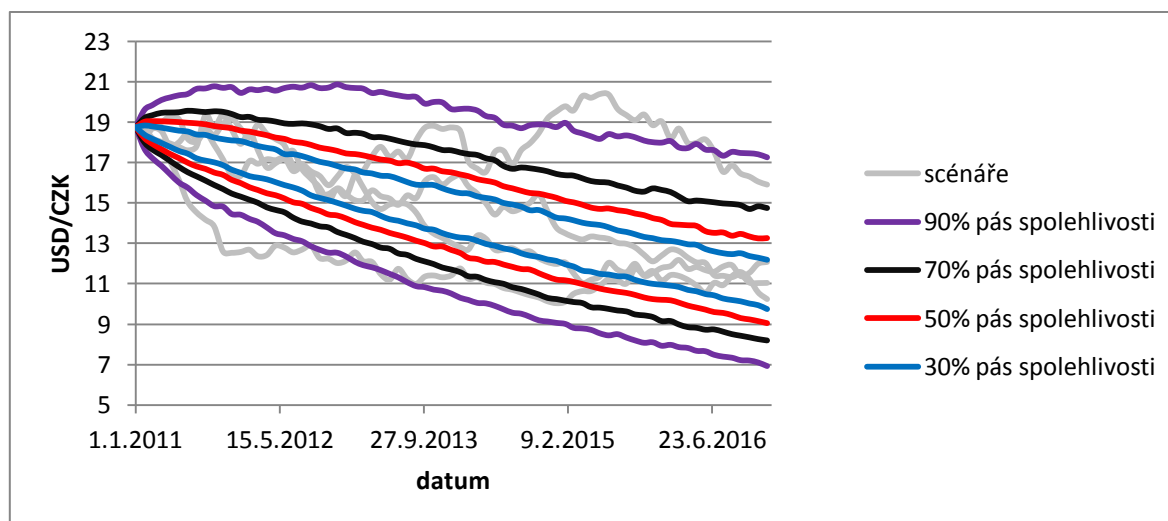
$x_{t+1,j}$  je kurz  $j$ -té simulace v období  $t + 1$ , při  $t = 1, \dots, m - 1$ .

<sup>18</sup> **Transponovaný vektor** (nebo matice)  $V^T$  je označení pro vektor, který vznikne vzájemnou výměnou řádků a sloupců.

<sup>19</sup> **Hlavní diagonála** je označení pro prvky matice, které leží na „uhlopříčce“ jdoucí z levého horního rohu do pravého dolního rohu.

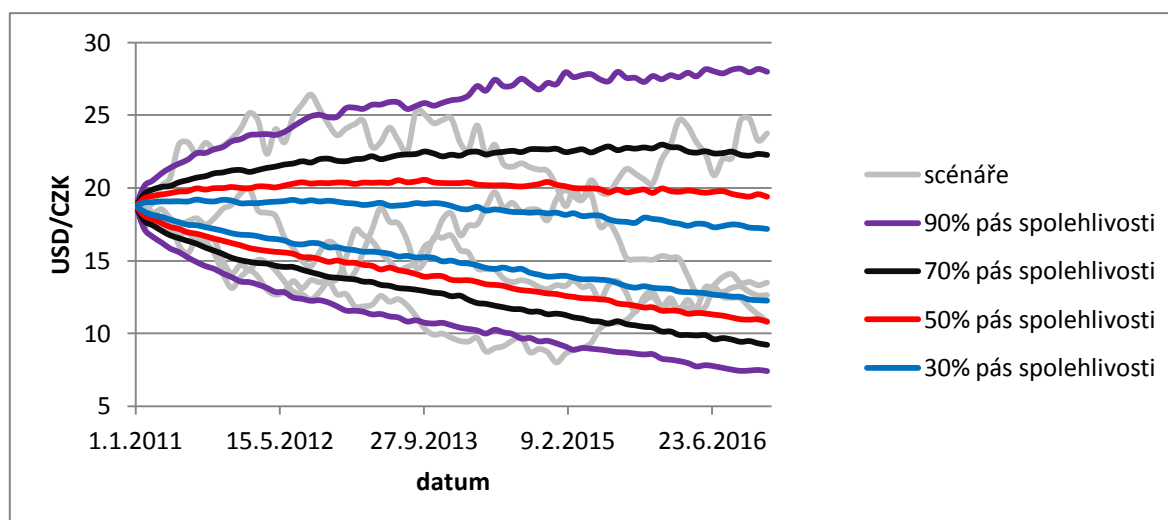
Po vygenerování všech vektorů  $(X_1, \dots, X_m)$  získáme jednotlivé scénáře pro každý úsek zvoleného období. Možné vývoje budoucího kurzu jsou tvořeny posloupnostmi  $\{x_{1,i}, \dots, x_{m,i}\}$ , kde  $i = 1, \dots, N$ . Parametry modelové distribuční funkce  $E(V_i) = \mu$ ,  $var(V_i) = \sigma^2$  jsou voleny na základě nalezených parametrů (viz kapitolu 6.4).

Výpočet náhodné procházky je pro vzorový příklad USD prováděn s modelovými parametry distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou v dlouhodobém období. Pro ukázkou bylo zvoleno 1 000 scénářů pro následujících šest let. Po vygenerování zvoleného množství scénářů lze v každém období vypočítat  $p\%$  a  $(1 - p)\%$  kvantily, které vymezují  $(1 - 2p)\%$  interval všech vymodelovaných simulací. V práci se důkladně zaměříme na 5% kvantily z důvodu, že budou použity v modelu CFaR pro získání celkového rizika. Zmíněné kvantily tedy vymezují 90% pás spolehlivosti. Jelikož jsou tyto pásy poměrně široké, jsou zpracovány také jiné intervaly spolehlivosti. Jednotlivé velikosti intervalů, tj. 70%, 50%, 30% pásy spolehlivosti jsou inspirovány ze zdroje (Česká národní banka, 2012). V následujícím obrázku jsou sestrojeny tyto intervaly spolehlivosti spolu s výběrem čtyř náhodných scénářů.



Obrázek 10: Výběr vygenerovaných náhodných scénářů z aktuálního spotového kurzu USD z 1. 1. 2011 a 90%, 70%, 50% a 30% pásy spolehlivosti. Parametry  $\mu, \sigma$  byly použity z distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou za období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z grafu je vidět silná sestupná tendence, proto bychom měli být opatrní při volbě parametrů. V případě pochybností je lepší zvolení jiného historického období. V případě tříletého období vychází parametry se slabší klesající tendencí (Obrázek 11).



Obrázek 11: Výběr vygenerovaných náhodných scénářů z aktuálního spotového kurzu USD z 1. 1. 2011 a jednotlivé pásy spolehlivosti. Parametry  $\mu, \sigma$  byly použity z aproximované distribuční funkce za tří roční období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

Z obrázku 11 lze spatřit slabší klesající tendenci, nicméně je stále viditelná. Tato skutečnost je potvrzena modelovou střední hodnotou, která je v případě zkoumaného grafu  $\mu = 0,997$ .

## 6.7 Histogram simulací v posledním období

V předchozích obrázcích jsou ukázány vývoje pohybu kurzu za celé sledované období. Z grafů lze vypočítat velké rozdíly při zvolení parametrů z rozdílného historického období. Z vymodelovaných simulací lze vytvořit histogram, pomocí kterého můžeme určit očekávané pravděpodobnosti jednotlivých oblastí kurzu v posledním sledovaném období. Při konstrukci histogramu je důležité, aby byl zvolen vhodný počet intervalů. Zde je často volen subjektivní přístup pro získání přehledných výsledků. Dle Cihelského (2009) existují pro odstranění subjektivnosti četná pravidla, která vyjadřují počet intervalů  $K$  jako rostoucí funkci rozsahu souboru  $N$ . Používají se například tři následující vyjádření (Cihelský, 2009, str. 329):

$$K_1 \approx \sqrt{N}, \quad (6.25)$$

$$K_2 \approx 5 \cdot \log_{10} N, \quad (6.26)$$

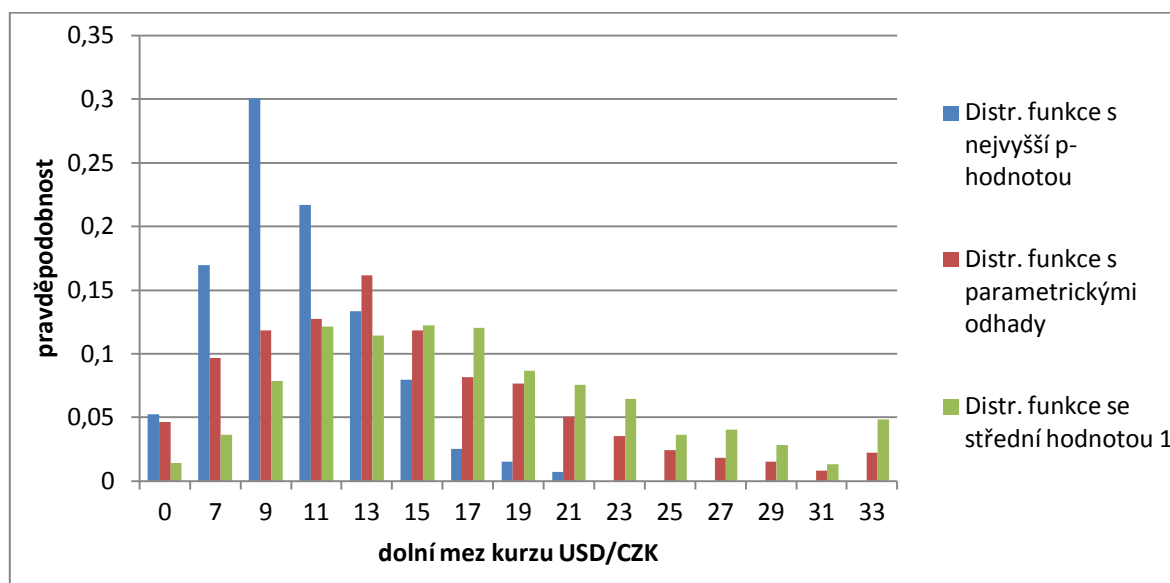
$$K_3 \approx 1 + 3,322 \cdot \log_{10} N, \quad (6.27)$$

kde  $K_i$  značí počet intervalů na základě zvoleného pravidla,  $N$  je rozsah výběru,  $i = 1, 2, 3$ .

V našem případě bylo simulováno 1 000 scénářů, takže při vypočítání jednotlivých pravidel vychází  $K_1 \approx 32, K_2 \approx 15, K_3 \approx 11$ .



Pro zpracování histogramů bylo zvoleno druhé pravidlo na základě přehledných výstupů zkoumaných modelových rozdělení. Pokud nebude řečeno jinak, všechny histogramy v práci budou mít počet intervalů stanovený vztahem 6.26.



Obrázek 12: Srovnání histogramů posledního období při aproximaci distribučních funkcí s nejvyšší p-hodnotou v různých obdobích a distribuční funkce se střední hodnotou 1 v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

Z obrázku 12 je vidět rozdíl simulací v posledním období (prosinec 2016) při aproximaci distribučních funkcí s nejvyšší p-hodnotou v různých obdobích a distribuční funkce se střední hodnotou 1. Při zvolení delšího historického intervalu je ve vzorovém příkladu znázorněn menší rozptyl s nižší střední hodnotou. Při pochybnostech, zda bude mít kurz tak silnou klesající tendenci, je vhodnější zvolit jiné historické období. V našem případě je distribuční funkce se střednědobou historií charakterizována vyšším rozptylem a střední hodnotu bližší k hodnotě 1. V případě, že neočekáváme v dlouhodobém období růst ani pokles zkoumaného kurzu, je vhodné použít modelovou distribuční funkci se střední hodnotou 1. Zde může být promítnuto očekávání managementu, které se nemusí shodovat s výsledky statistického zpracování.

## 7 Komodity

Již z předchozích kapitol je známo, že kromě devizových kurzů existuje celá řada jiných rizik. K dalšímu zastoupení tržních rizik lze považovat ceny komodit, které jsou v posledních letech velmi volatilní. V prvních kapitolách bylo zmíněno, že společnost ŠKODA AUTO a.s. působí na trhu s komoditami jako aktivní účastník, přičemž oblastí zájmu jsou pouze průmyslové kovy (hliník, měď a olovo)<sup>20</sup>. Ceny komodit budou představovat druhý rizikový faktor, který vstupuje do modelu Cash Flow at Risk. Vybrané tři druhy komodit jsou obchodovány pouze na americkém trhu v USD, přičemž jsou vždy určeny vlastnosti a obchodovatelné množství komodity.

Stejně jako v případě devizových kurzů bude pro popis náhodného vývoje sloužit metoda Monte Carlo. Opět budeme vycházet z předpokladu, že jsou logaritmické měsíční výnosy charakterizovány normálním rozdělením (viz kapitola 6). Jak uvádí Cont (2001), předpoklad normality se vztahuje k obecnému pohledu na výnosy aktiv, kterými jsou také komodity (Cont, 2001, str. 224). Na základě metodiky v 6.2.1 byla jako v případě devizových kurzů provedena linearizace modelu a následně testována normalita.

### 7.1 Parametrický odhad

Při analýze komodit budeme postupovat stejně jako v případě devizových kurzů. Pohyb cen komodit je v posledních letech charakterizován vysokou volatilitou, takže ve srovnání s výsledky měsíčních výnosů devizových kurzů očekáváme vyšší směrodatné odchytky. V tabulce 11 jsou zobrazeny hodnoty parametrických odhadů jednotlivých komodit za sledované období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Parametrické odhady pro komodity						
	Hliník		Měď		Olovo	
	6 let	3 roky	6 let	3 roky	6 let	3 roky
<b>průměr</b>	1,0058	1,0022	1,0198	1,0132	1,0189	1,0046
<b>výběrová směrodatná odchytky</b>	0,0674	0,0818	0,0954	0,1022	0,1047	0,1130

Tabulka 11: Souhrn odhadnutých parametrů pro všechny zkoumané komodity za sledované období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

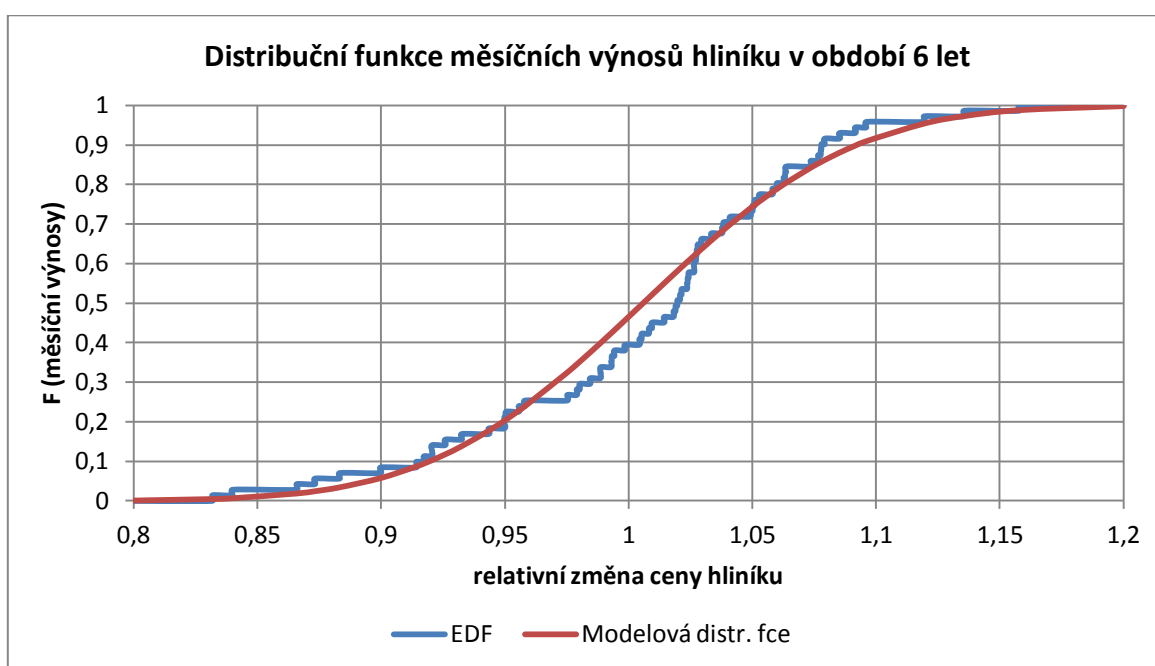
Z naměřených hodnot lze potvrdit vyšší volatilitu vzhledem ke zkoumaným měnám. Hodnoty jednotlivých průměrů ukazují, že ve sledovaných historických obdobích měly zkoumané komodity růstovou tendenci. Charakteristiky empirické distribuční funkce a teoretické distribuční funkce s parametrickými odhady jsou pro vzorový příklad hliníku v tabulce 12. Grafické srovnání distribučních funkcí lze vidět na obrázku 15.

<sup>20</sup> V práci je pracováno pouze s komoditami zmíněných kovů. Pokud jsou v textu zmínky o mědi, hliníku či olovu, máme na mysli právě komodity těchto kovů.

Srovnání výběrových a modelových parametrů pro hliník			
Parametr	Výběrový	Modelový	Diference
Minimum	0,832	---	---
Průměr	1,006	1,006	0,000
Medián	1,020	1,006	0,014
Maximum	1,158	---	---
StD	0,067	0,067	0,000
10% kvantil	0,917	0,919	-0,002
25% kvantil	0,967	0,960	0,006
75% kvantil	1,050	1,051	-0,001
90% kvantil	1,078	1,092	-0,014
Špičatost	0,204	0,000	0,204
Šikmost	-0,498	0,000	-0,498
Počet	71	---	---

Tabulka 12: Srovnání parametrů empirické a modelové distribuční funkce pro relativní změny cen hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z tabulky lze vidět, že oproti zkoumané měně USD jsme získali vzdálenější extrémní hodnoty od průměru. V případě mediánu a 90% kvantilu byl naměřen největší rozdíl mezi výběrovými a modelovými kvantily. Záporná hodnota špičatosti ukazuje, že vlevo od průměru se vyskytuje více odlehlých pozorování nežli vpravo.



Obrázek 13: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce pro relativní změnu ceny hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z grafu lze potvrdit vyšší volatilitu spolu se vzdálenějšími extrémními hodnotami od střední hodnoty. Při vizuálním zkoumání lze tvrdit, že obě křivky kopírují na celém intervalu přibližně stejné hodnoty.

Výsledky vzorového příkladu hliníku ve střednědobém období jsou zobrazeny v příloze 2.

## 7.2 Testování normality

Testování normality je stejně jako v případě devizových kurzů prováděno pomocí Lillieforsova testu. Metodika výpočtu je zpracována v kapitole 6.2.2. V tabulce 13 jsou výsledky s jednotlivými p-hodnotami. Červeně jsou vyznačeny hodnoty, které jsou menší než požadovaná hladina významnosti 5 %.

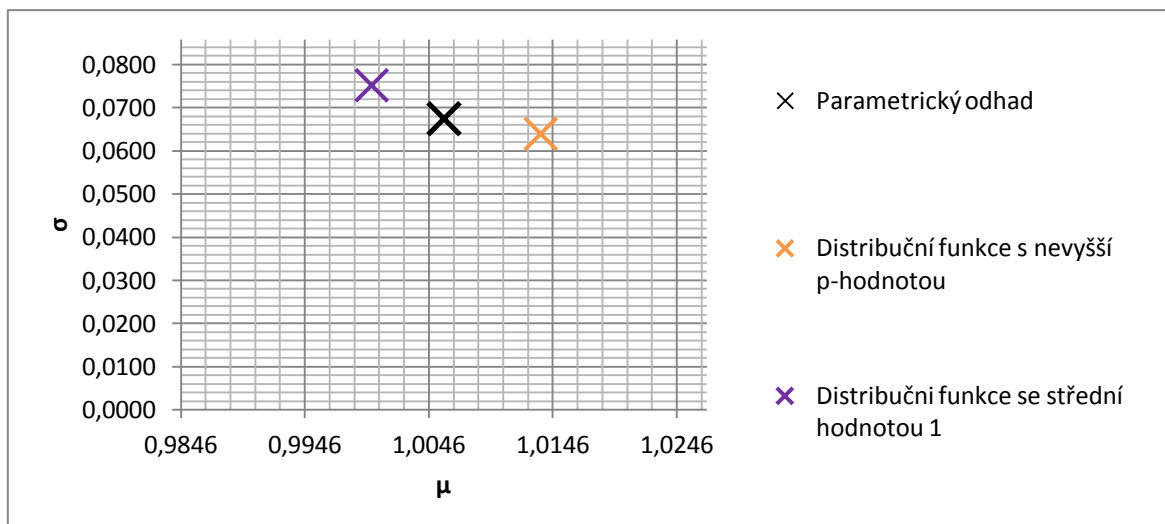
		Lillieforsův test		
		Hliník	Měď	Olovo
6let	kriterium	0,1073	0,1105	0,1071
	krit. hodnota	0,1056	0,1056	0,1056
	p-hodnota	0,0413	0,0313	0,0421
3 roky	kriterium	0,1270	0,1782	0,1037
	krit. hodnota	0,1504	0,1504	0,1504
	p-hodnota	0,1566	0,0063	0,4304

Tabulka 13: Výpočet Lillieforsova testu pro zkoumané komodity ve sledovaných obdobích.

V této kapitole testujeme nulovou hypotézu, že mají data normální rozdělení s parametrickými odhady. V označených případech, kdy je p-hodnota nižší než požadovaná hladina významnosti 5 %, zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu, že data nepochází z normálního rozdělení. Můžeme poukázat na skutečnost, že v případě zvolení nižší hladiny významnosti 1 % bychom v dlouhodobém období nezamítali nulovou hypotézu ani u jedné zkoumané komodity. Stejně jako v případě devizových kurzů se nyní zaměříme pouze na modelovou distribuční funkci, pomocí které budeme zkoumaná data aproximovat.

## 7.3 Aproximace distribuční funkce

Z výsledku předchozího testu lze vidět, že normalita dat byla ve většině případů zamítnuta na hladině významnosti 5 %. Nyní se zaměříme pouze na distribuční funkci a budeme se snažit dosáhnout vhodné aproximace. Testována bude shoda distribučních funkcí normálního rozdělení s různými parametry, které budou hledány v oblasti  $(\mu_d; \mu_h) \times (\sigma_d; \sigma_h)$ . Mezní hodnoty těchto intervalů jsou zjištěny pomocí intervalových odhadů (viz kapitolu 6.3.1). V oblasti  $(\mu_d; \mu_h) \times (\sigma_d; \sigma_h)$  procházíme každou kombinaci s krokem 0,0001. Modelovou distribuční funkci  $F(x) = N(\mu, \sigma)$  volíme takovou, pro kterou platí, že p-hodnota Kolmogorova-Smirnova testu je nejvyšší. Podle tohoto kritéria je zvolena distribuční funkce i v případě nastavení střední hodnoty na požadovanou hodnotu (v práci je uvažována pouze varianta, kdy není očekáván růst ani pokles ceny sledovaného aktiva a střední hodnota je tak nastavena na 1). Vypočítané parametry jsou spolu s oblastí prohledávání zobrazeny na obrázku 13.



Obrázek 14: Oblast procházení a nalezení parametrů pro nejvyšší p-hodnotu Kolmogorova-Smirnova testu pro vybranou komoditu hliník v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

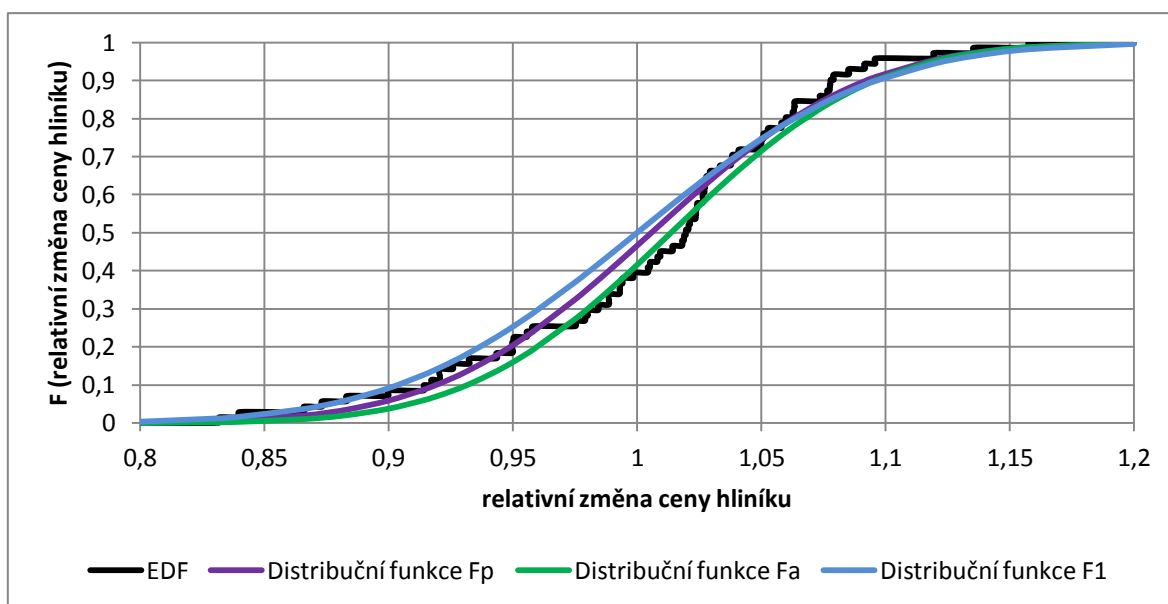
Pro testování shodnosti distribučních funkcí je používán Kolmogorův-Smirnovův test. V tabulce 14 je ukázáno, že pro žádný zkoumaný případ nezamítl Kolmogorův-Smirnovův test nulovou hypotézu, že se zkoumaná empirická distribuční funkce rovná modelové.

P-hodnota Kolmogorova-Smirnova testu				
		Hliník	Měď	Olovo
6let	distr. funkce s nejvyšší p-hodnotou	0,993	0,984	0,987
	distr. funkce s parametrickými odhady	0,613	0,599	0,640
	distr. funkce se střední hodnotou 1	0,403	0,089	0,120
3 roky	distr. funkce s nejvyšší p-hodnotou	0,972	0,941	0,993
	distr. funkce s parametrickými odhady	0,719	0,293	0,927
	distr. funkce se střední hodnotou 1	0,803	0,162	0,895

Tabulka 14: Souhrn vypočtených p-hodnot Kolmogorova-Smirnova testu pro komodity ve sledovaných obdobích.

#### 7.4 Srovnání distribučních funkcí

V grafickém srovnání (obrázek 15) jsou vidět rozdíly mezi jednotlivými distribučními funkcemi pro vzorový příklad komodity hliníku. Opět je zavedeno jednoduché značení, kde  $F_p$  je distribuční funkce s parametrickými odhady,  $F_a$  značí nalezenou distribuční funkci s nejvyšší p-hodnotou a  $F_1$  je distribuční funkce se střední hodnotou 1.



Obrázek 15: Grafické znázornění rozdílů mezi jednotlivými distribučními funkcemi pro USD v období šesti let. Jednotlivé distribuční funkce jsou z následujících rozdělení:  $F_p \sim N(\bar{x}, s^2)$ ,  $F_a \sim N(\mu, \sigma^2)$ ,  $F_1 \sim N(1, \sigma_1)$ .

V následujících tabulkách 15, 16 je souhrn nalezených parametrů pro všechny zkoumané komodity:

Parametry distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou						
	Hliník		Měď		Olovo	
<b>období</b>	6 let	3 roky	6 let	3 roky	6 let	3 roky
<b>střední hodnota</b>	1,014	1,01	1,026	1,03	1,03	1,02
<b>směrodatná odchylka</b>	0,064	0,079	0,071	0,077	0,1	0,12

Tabulka 15: Nalezené parametry distribučních funkcí s nejvyšší p-hodnotou.

Z nalezených parametrů lze vidět, že všechny distribuční funkce mají vyšší střední hodnotu než 1. V případě mědi a olova nalezené střední hodnoty signalizují silný růst zkoumaných dat.

Parametry distribuční funkce se střední hodnotou 1						
	Hliník		Měď		Olovo	
<b>období</b>	6 let	3 roky	6 let	3 roky	6 let	3 roky
<b>střední hodnota</b>	1	1	1	1	1	1
<b>směrodatná odchylka</b>	0,075	0,103	0,094	0,134	0,086	0,1

Tabulka 16: Nalezené parametry distribučních funkcí s nastavenou střední hodnotou na hodnotu 1.

Tabulka 16 ukazuje, že uměle nastavená střední hodnota mění poměrně výrazně velikost směrodatné odchylky. Ta se v případě hliníku a mědi zvýšila, naopak u nalezené distribuční funkce pro olovo její hodnota klesla.

Jednotlivé distribuční funkce jsou stejně jako v případě devizových kurzů také srovnány pomocí reziduálních součtů čtverců (RSS). Metodika výpočtu je popsána v kapitole 6.5.

	Celkové RSS zkoumaných komodit					
	Hliník		Měď		Olovo	
	6 let	3 roky	6 let	3 roky	6 let	3 roky
RSS (parametrický odhad)	0,1347	0,0799	0,2240	0,1824	0,1323	0,0572
RSS (distr. fce s nejvyšší p-hodnotou)	0,1204	0,0898	0,1078	0,1141	0,1033	0,0724
RSS (distr. fce se střední hodnotou 1)	0,2650	0,1120	0,6052	0,3835	0,6465	0,0877

Tabulka 17: Porovnání hodnot RSS pro jednotlivé odhady parametrů zkoumaných komodit.

Z tabulky 17 lze vidět, že ve většině případů vyšla z hlediska RSS nejlépe distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou. Distribuční funkce se střední hodnotou 1 dopadla naopak z hlediska RSS nejhůře. Z důvodu, že byla tato poslední varianta uměle nastavená, tak byl nejvyšší RSS očekáván.

## 7.5 Závislost mezi rizikovými faktory

Rizikové faktory, které jsou modelovány nejčastěji pomocí pravděpodobnostních rozdělení, mohou být na sobě různě závislé. Již v úvodu kapitoly bylo zmíněno, že jsou komodity obchodovány v USD. Musíme tedy zohlednit možný vliv této měny na cenu zkoumaných komodit. Teoreticky existuje nekonečně mnoho různých forem závislostí, nicméně nejčastěji se používají lineární závislosti definované přes korelace.

### 7.5.1 Korelace

Jak uvádí Hlinica (2009), korelace vystihují lineární typy závislostí, proto jsou vhodné k modelování pouze tehdy, pokud jsou „přibližně“ lineární<sup>21</sup>. Jak uvádí (Reif, 2004), korelační koeficient  $\rho = \rho(X, Y)$ , který vyjadřuje míru statistické lineární závislosti veličin  $X, Y$  je definován vztahem:

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{D(X) \cdot D(Y)}} \quad (7.1)$$

kde  $D(X)$  je kladný rozptyl veličiny  $X$ ,  $D(Y)$  značí kladný rozptyl veličiny  $Y$  a  $\text{cov}(X, Y)$  vyjadřuje kovarianci náhodných veličin danou předpisem:

$$\text{cov}(X, Y) = E([X - E(X)] \cdot [Y - E(Y)]), \quad (7.2)$$

kde  $E(X)$  značí střední hodnotu veličiny  $X$  a  $E(Y)$  vyjadřuje střední hodnotu veličiny  $Y$ .

<sup>21</sup> V případě dvouzměrného normálního rozdělení se jedná o závislost obecnou, ne pouze o lineární.

V případě náhodného výběru z nějakého dvourozměrného rozdělení se k vyjádření korelace využívá výběrový korelační koeficient:

$$r = r(X, Y) = r_{XY} = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S^2(X) \cdot S^2(Y)}} = \frac{S_{XY}}{S(X) \cdot S(Y)}, \quad (7.3)$$

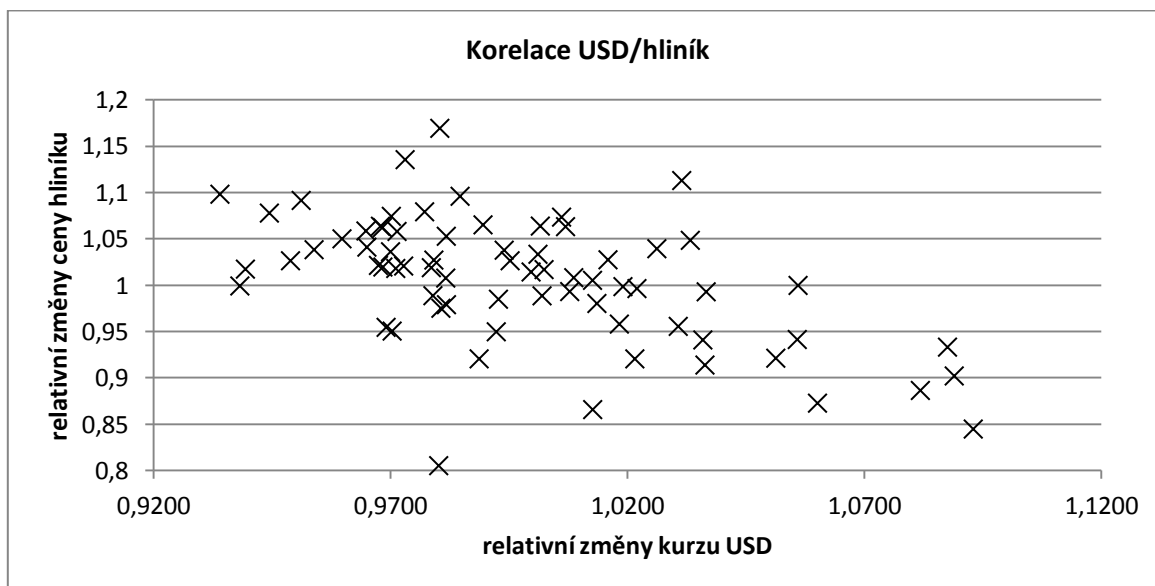
kde  $S(X), S(Y)$  jsou výběrové směrodatné odchylky a  $S_{XY}$  je výběrová kovariance definovaná předpisem:

$$S_{XY} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y}), \quad (7.4)$$

$i = 1, \dots, n$ ,  $\bar{X}$  značí průměr výběru  $X_i$  a  $\bar{Y}$  je průměr výběru  $Y_i$  (Hlinica, 2009, str. 143).

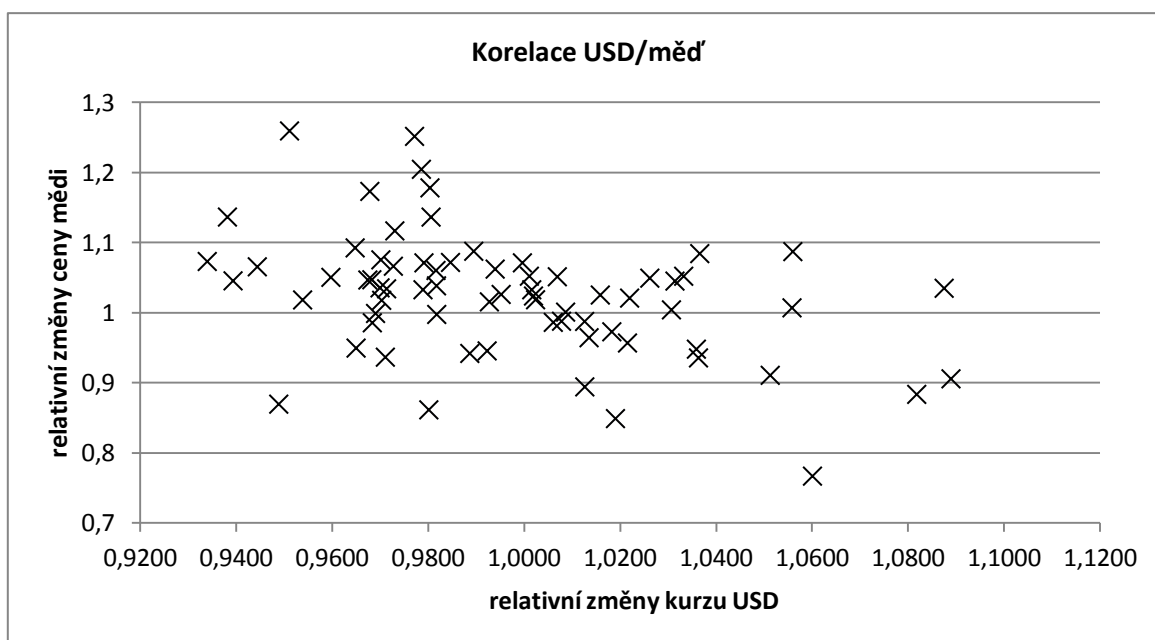
### 7.5.2 Vztah USD a zkoumaných komodit

Je zřejmé, že pokud jsou stejné komodity obchodovány na různých měnových trzích, bude změna kurzu amerického dolaru ovlivňovat cenu obchodovaných komodit. Tento vliv bude zkoumán na základě historických dat, přičemž budeme vycházet opět z měsíčních průměrných výnosů, které byly analyzovány v předchozích kapitolách. Na základě historické časové řady jsou ukázány závislosti měsíčních výnosů pro zkoumané komodity v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.



Obrázek 16: Závislost měsíčních relativních změn kurzu USD a cen hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.





Obrázek 17: Závislost měsíčních relativních změn kurzu USD a cen mědi v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z obrázků 16 a 17 lze vyzorovat, že určitá lineární závislost mezi zkoumanými rizikovými faktory pravděpodobně existuje. Lze nalézt dostatečné množství programů, které dokážou vypočítat výběrový korelační koeficient mezi dvěma množinami dat. Výběrové korelační koeficienty vypočítané pomocí programu MS Excel 2007 jsou uvedeny v následující tabulce.

	Korelace USD/Hliník	Korelace USD/Měď	Korelace USD/Olovo
<b>6 let</b>	-0,5481	-0,4895	-0,3756
<b>3 roky</b>	-0,6084	-0,6182	-0,4774

Tabulka 18: Souhrn vypočítaných výběrových korelačních koeficientů z historických období.

Před závěry vypočítaných výběrových korelačních koeficientů, které vyšly ve všech případech záporné, budeme nejprve testovat nezávislost. Nejprve je zvolena nulová hypotéza, že koeficient korelace je roven nule. Alternativní hypotéza říká, že je koeficient korelace nenulový. Jak uvádí Reif (2004), výpočet testovacího kritéria je určen dle následujícího vztahu:

$$T = \frac{r}{\sqrt{(1-r)^2}} \cdot \sqrt{n-2}, \quad (7.5)$$

kde  $r$  je výběrový korelační koeficient a dále  $n$  vyjadřuje počet pozorování.

Určení kritického oboru je dáno kvantily Studentova rozdělení, přičemž stejně jako ve většině předchozích testů je požadována hladina významnosti  $\alpha = 5\%$ . V případě oboustranného testu tedy testujeme, zda se testovací kritérium nachází v kritickém oboru:

$$t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \leq T \leq t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2}, \quad (7.6)$$

Kde  $t_{p,k}$  značí  $p\%$  kvantil Studentova rozdělení s  $k$  stupni volnosti.

V případě, že zkoumané testovací kritérium neleží v kritickém oboru, zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní (Reif, 2004, str. 85)

Ve všech případech zkoumaných vztahů USD s komoditami vyšlo testovací kritérium vně kritického oboru, takže jsme ukázali, že závislost mezi rizikovými faktory skutečně existuje. Z vypočítaných hodnot výběrových korelačních koeficientů vidíme, že závislost je vyjádřena pomocí záporného koeficientu. Záporný koeficient v tomto případě značí skutečnost, že růst měsíčního kurzu USD má negativní vliv na růst ceny komodity. Nejvyšší závislost je naměřena v případě tříletého historického období pro komoditu měď. Ze získaných výsledků závislosti USD a zkoumaných komodit jsme došli k závěru, že simulace cen komodit musí zohledňovat vývoj USD.

### 7.5.3 Modelování závislých veličin

Pro generování dvou korelovaných veličin použijeme postup, který popsal Menčík (2003). Zde je předpokládána normalita obou simulovaných veličin<sup>22</sup>.

Při generování dvou korelovaných veličin  $x_1, x_2$  využijeme skutečnosti, že  $x_2$  můžeme vyjádřit jako:

$$x_2 = f(x_1) + \Delta x_2, \quad (7.7)$$

kde  $f(x_1)$  značí regresní funkci vypočtenou pro náhodnou hodnotu první veličiny a  $\Delta x_2$  vyjadřuje náhodnou složku kolem této funkce. Při předpokladu normálního rozdělení jednotlivých hodnot  $x_2$  kolem regresní čáry lze použít následující vztah:

$$\Delta x_2 = u_2 \cdot \sigma_{2,res}, \quad (7.8)$$

kde  $u_2$  je náhodná hodnota veličiny s normovaným normálním rozdělením a  $\sigma_{2,res}$  značí reziduální směrodatnou odchylku, který lze dále vyjádřit pomocí předpisu:

$$\sigma_{2,res}^2 = \sigma_2^2 \cdot (1 - r^2), \quad (7.9)$$

kde  $\sigma_2^2$  je rozptyl veličiny  $x_2$  a  $r$  značí korelační koeficient.

---

<sup>22</sup> V předchozích analýzách rizikových faktorů byly nalezeny modelové distribuční funkce normálního rozdělení.

Jestliže mezi  $x_1, x_2$  existuje lineární regresní závislost a veličiny mají normální rozdělení, můžeme při generování užít závěrečné vztahy:

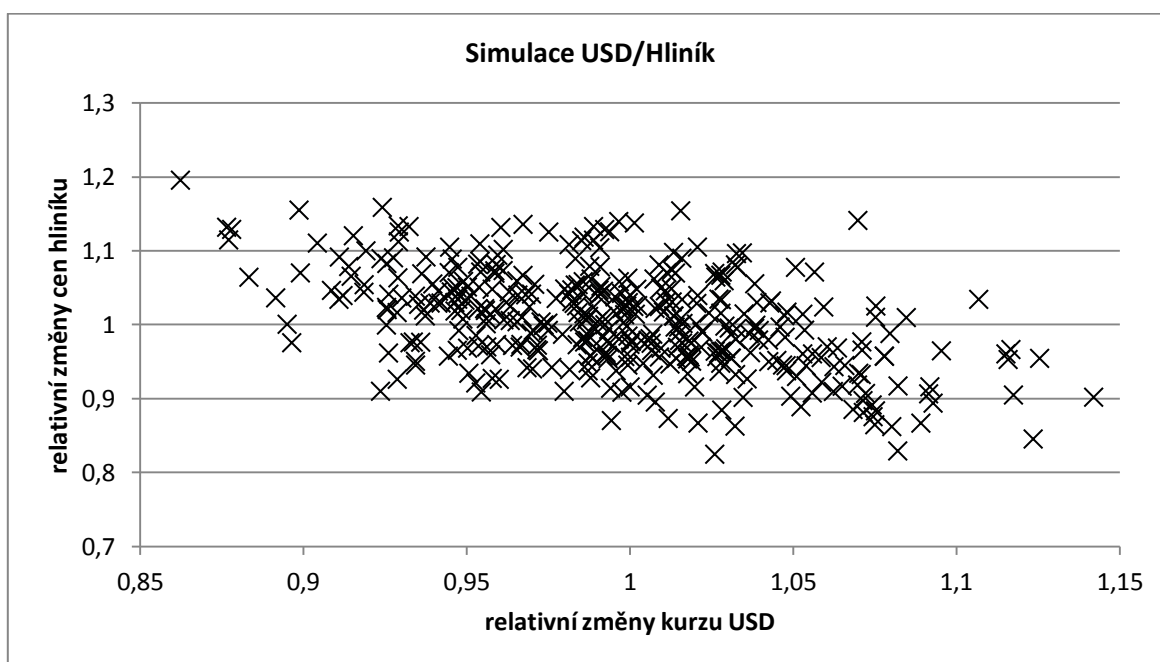
$$x_1 = \mu_1 + u_1 \cdot \sigma_1, \quad (7.10)$$

$$x_2 = \mu_2 + u_1 \cdot \sigma_2 \cdot r + u_2 \cdot \sigma_2 \cdot \sqrt{(1 - r^2)}, \quad (7.11)$$

kde  $\mu_1, \mu_2$  jsou střední hodnoty veličin  $x_1, x_2$ , dále  $u_1, u_2$  značí náhodné veličiny s normovaným normálním rozdělením a  $\sigma_1, \sigma_2$  jsou směrodatné odchylky veličin  $x_1, x_2$ .

#### 7.5.4 Modelování závislosti USD a zkoumaných komodit

Na základě zjištěných vztahů jsou simulovány závislosti zkoumaných rizikových faktorů. V našem případě jsou z relativních změn kurzu USD modelovány relativní změny cen jednotlivých komodit. Z vygenerovaných faktorů je vidět přehlednější závislost. Hodnoty výběrových korelačních koeficientů se skutečně pohybují kolem vstupních korelací, které jsou nastaveny před spuštěním simulace. V následujícím obrázku je vygenerovaná simulace měsíčních výnosů USD a hliníku.



Obrázek 18: Závislosti relativních změn kurzu USD a cen komodity hliníku s vygenerováním 2000 simulací pro vstupní korelaci  $r = -0,548$ , která odpovídá výběrovému korelačnímu koeficientu pro hliník v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

V příloze 3 se nachází ukázky simulovaných závislostí pro ostatní zkoumané komodity. Další závislosti zkoumaných komodit v práci nebudou uvažovány. V praxi dochází často k řadě jiných závislostí, nicméně je velice těžké stanovit obecný vztah. Nejčastěji lze pozorovat závislosti cen komodit na určité informaci, která většinou ovlivňuje celý sektor průmyslových kovů.

## 7.6 Simulace vývoje cen komodit metodou Monte Carlo

Na základě definovaných vztahů přejdeme k simulaci samotných cen komodit v celém zkoumaném období. Připomeňme, že v případě simulací devizových kurzů byl využit rekurentní předpis (6.24), který pracoval s vygenerovanými měsíčními vektory. Jelikož pro simulaci vývoje cen potřebujeme pouze analyzovat kurz měny USD, zavedeme si následující značení, které vyplývá z nadefinovaných vztahů v kapitole 6.6:

$$\mathbf{V}_i^{USD} = \mu^{USD} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{N \times 1} + \mathbf{U}_i^{USD} \cdot \sigma^{USD}, \quad (7.12)$$

kde  $\mathbf{V}_i^{USD}$  vyjadřuje vektor náhodných relativních změn kurzu USD v čase  $i$ ,  $\mu^{USD}$  značí modelovou střední hodnotu relativních změn kurzu USD v čase  $i$ ,  $\mathbf{U}_i^{USD}$  je náhodný vektor standardizovaného normálního rozdělení vygenerovaný pro USD,  $\sigma^{USD}$  označuje modelovou směrodatnou odchylku měsíčních výnosů USD,  $i = 1, \dots, m$ .

Nyní lze využít informace o závislosti USD a komodit a dle výrazu (7.9) bude vygenerovaný vektor náhodných měsíčních výnosů komodit následující:

$$\mathbf{V}_i^{kom} = \mu^{kom} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{N \times 1} + \mathbf{U}_i^{USD} \cdot \sigma^{kom} \cdot r + \mathbf{U}_i^{kom} \cdot \sigma^{kom} \cdot \sqrt{(1 - r^2)}, \quad (7.13)$$

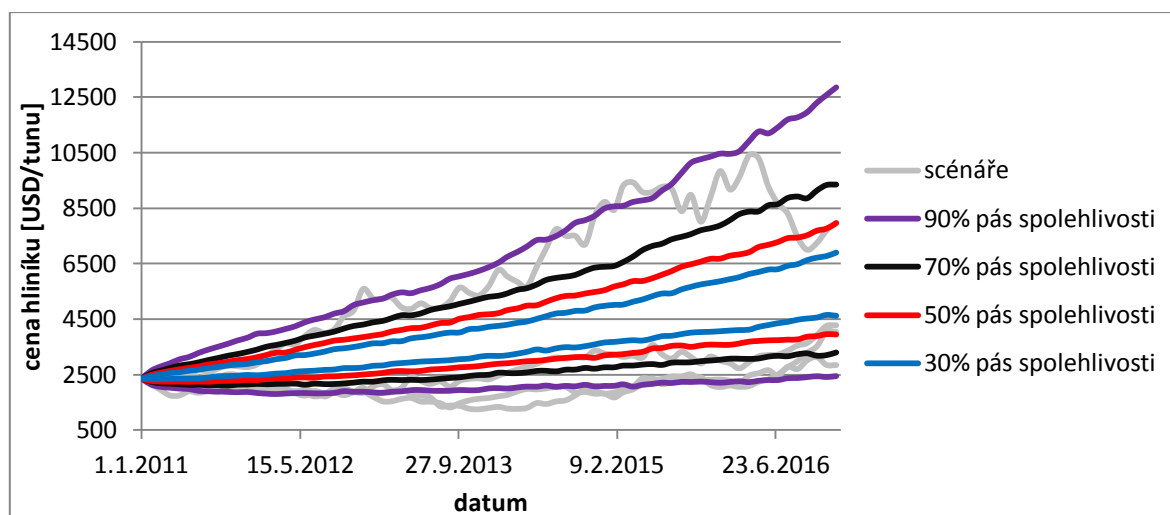
kde  $\mathbf{V}_i^{kom}$  vyjadřuje vektor náhodných měsíčních výnosů sledované komodity v čase  $i$ ,  $\mu^{kom}$  značí modelovou střední hodnotu měsíčních výnosů komodity v čase  $i$ ,  $\mathbf{U}_i^{kom}$  je náhodný vektor standardizovaného normálního rozdělení vygenerovaný pro komoditu,  $\sigma^{kom}$  označuje modelovou směrodatnou odchylku měsíčních výnosů komodity,  $r$  je modelový koeficient korelace mezi relativními změnami USD a komodit,  $i = 1, \dots, m$ .

Stejně jako v případě devizových kurzů bude pro simulace cen komodit ( $\mathbf{C}_t$ ) v čase  $t$  uvažován rekurentní vztah:

$$\mathbf{C}_t = \text{diag}(\mathbf{C}_{t-1} \cdot (\mathbf{V}_t^{kom})^T) = \begin{pmatrix} C_{t,1} \\ \vdots \\ C_{t,N} \end{pmatrix}, \quad (7.14)$$

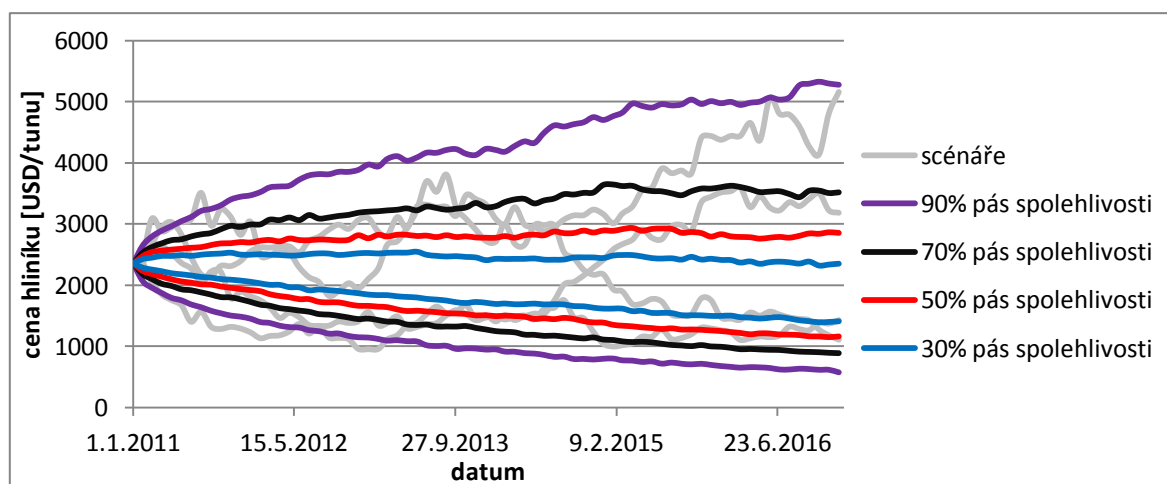
kde  $(\mathbf{V}_t^{kom})^T = (v_{t,1}^{kom}, \dots, v_{t,N}^{kom})$  a značí transponovaný vektor simulovaných změn v čase  $t$ ,  $\text{diag}(A)$  separuje z matice  $A$  o rozměru  $N \times N$  hlavní diagonálu jako sloupcový vektor  $N \times 1$ , přičemž  $\mathbf{C}_0 = \begin{pmatrix} c_0 \\ \vdots \\ c_0 \end{pmatrix}$ , kde  $c_0$  je aktuální tržní cena komodity v čase  $t = 0$ . Jednotlivé složky  $c_{t,i}$  značí cenu komodity  $i$ -tého scénáře v čase  $t$ , kde  $t = 1, \dots, m$ .

Po vygenerování všech vektorů ( $C_1, \dots, C_m$ ) získáme jednotlivé scénáře pro každý úsek zvoleného období. Možné vývoje budoucího kurzu jsou tvořeny posloupnostmi  $\{c_{1,i}, \dots, c_{m,i}\}$ , kde  $i = 1, \dots, N$ . Výpočet náhodné procházky je pro vzorový příklad hliníku prováděn s modelovými parametry distribuční funkce s nejvyšší  $p$ -hodnotou v dlouhodobém období. Pro simulaci bylo zvoleno 1 000 scénářů pro následujících šest let. Po vygenerování zvoleného množství scénářů lze v každém období vypočítat  $p\%$  a  $(1 - p)\%$  kvantily, které vymezují  $(1 - 2p)\%$  interval všech vymodelovaných simulací. V práci se důkladně zaměříme na 5% kvantily z důvodu, že budou použity v modelu CFaR pro získání celkového rizika. Zmíněné kvantily tedy vymezují 90% pás spolehlivosti. Jelikož jsou tyto pásy poměrně široké, jsou zpracovány také jiné intervaly spolehlivosti. Další velikosti intervalů, tj. 70%, 50%, 30% pásy spolehlivosti jsou inspirovány ze zdroje (Česká národní banka, 2012). V následujícím obrázku jsou sestrojeny tyto intervaly spolehlivosti spolu s výběrem čtyř náhodných scénářů.



Obrázek 19: Výběr vygenerovaných náhodných scénářů z aktuální ceny hliníku z 1. 1. 2011 a 90%, 70%, 50% a 30% pásy spolehlivosti. Parametry  $\mu, \sigma$  byly použity z distribuční funkce s nejvyšší  $p$ -hodnotou za období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

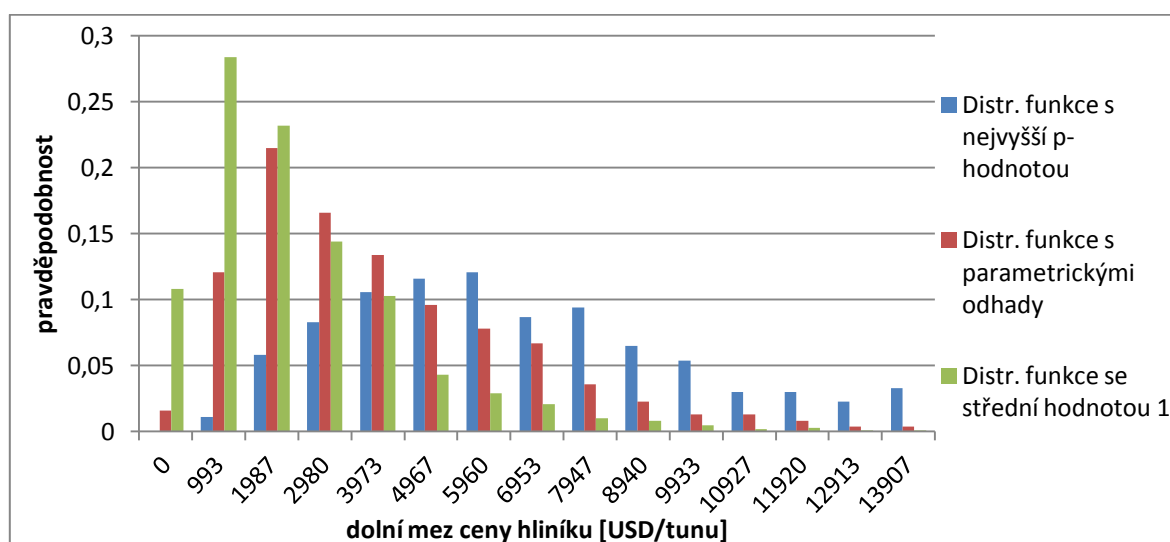
Z grafu je vidět vyšší volatilita než v případě měnových kurzů, která je dána vyšší modelovou směrodatnou odchylkou. Silná rostoucí tendence je naopak způsobena modelovou střední hodnotou. V posledních letech na komoditním trhu v sektoru průmyslových kovů převažoval růst cen, proto jsou ve všech případech parametrických odhadů i nalezených distribučních funkcí střední hodnoty vyšší než 1. V případě pochybností o pokračující růstové tendenci je vhodné zvolit modelovou střední hodnotu blíže hodnotě 1 nebo ji přímo nastavit na hodnotu 1. Na obrázku 19 jsou zobrazeny scénáře generované na základě distribuční funkce se střední hodnotou 1 v dlouhodobém historickém období.



Obrázek 20: Výběr vygenerovaných náhodných scénářů z aktuální ceny hliníku z 1. 1. 2011 a jednotlivé pásy spolehlivosti. Parametry  $\mu, \sigma$  byly použity z distribuční funkce se střední hodnotou 1 za období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

## 7.7 Histogram simulací v posledním období

Při srovnání předchozích vývoje s rozdílnými vstupními parametry lze pozorovat značné rozdíly. Pro analýzu rozdělení ceny komodity v koncovém období je stejně jako v případě prvního rizikového faktoru vytvořen histogram s 15 intervaly na základě zvoleného pravidla pro počet intervalů (vztah 6.26). Pomocí histogramu můžeme určit očekávané pravděpodobnosti jednotlivých oblastí cen.



Obrázek 21: Srovnání histogramů posledního období při aproximaci distribučních funkcí s parametry stanovenými nejvyšší p-hodnotou, parametrickým odhadem a střední hodnotou rovnou 1 v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

Z obrázku 21 je vidět rozdíl simulací v posledním období (prosinec 2016) při aproximaci různých distribučních funkcí. Při volbě parametrů je potřeba dbát zvýšené pozornosti, protože během sledovaného období může dojít k výrazným změnám očekávané ceny, zejména pokud se vzdalujeme od počátečního času simulace. Volbou parametrů se však budeme zabývat v další části práce.

## 8 Úrokové míry

Úrokové míry jsou další skupinou tržních rizik, které mohou být považovány za jeden z rizikových faktorů vstupujících do modelu. V tomto případě však nastává problém s určením délky intervalu, pro které by byly úrokové míry analyzovány, z důvodu měnících se úrokových sazeb. Na základě zmíněné komplikace nebudeme modelovat změny úrokových měr stejně jako v případě devizových kurzů či cen komodit, nicméně budeme pracovat s aktuálními úrokovými mírami a bude zohledněna časová hodnota peněz.

Jelikož pracujeme s měsíčními hodnotami cash flow v různých obdobích, je důležité přepočítat jednotlivé peněžní toky ke společnému času. Základním předpokladem je skutečnost, že jakákoliv peněžní jednotka v jednom období má jinou hodnotu než stejná jednotka v jiném období. V práci budeme uvažovat základní časovou jednotku 1 měsíc z důvodu, že známe pouze celkové měsíční peněžní toky. Jednotlivé hodnoty budou vždy vztaženy k poslednímu dni v měsíci (31. 1., ..., 31. 12.). V případě časové změny hodnoty peněz mluvíme o úročení nebo diskontování kapitálu.

### 8.1 Výnosové křivky<sup>23</sup>

Výpočet časové hodnoty peněz je společností ŠKODA AUTO a.s. prováděn pomocí výnosových křivek, které jsou používány pro dlouhodobé finanční kalkulace. Výnosová křivka ukazuje, jak se mění úrokový výnos s měnící se dobou splatnosti. Obvykle platí, že čím delší je splatnost, tím vyšší je očekávaný roční výnos. Hodnoty výnosů jsou vyjádřeny v roční efektivní úrokové míře. Pro výpočet úrokových měr se berou v úvahu shodné nástroje (většinou dluhopisy), přičemž uvažujeme změnu pouze v datu splatnosti. Systém SAP aktualizuje výnosové křivky podle aktuálního stavu na finančním trhu. Výnosové křivky mají pro každou měnu rozdílný tvar a jednotlivé hodnoty úrokových měr se mohou značně odlišovat v důsledku rizikovosti vybraného nástroje. Příkladem mohou být státní dluhopisy pro země s rozdílným ratingem<sup>24</sup>.

Ukázka výnosové křivky při různých dobách splatnosti je pro vzorový příklad USD znázorněna na obrázcích 22 a 23. Prvních šest písmen řetězce USDCBSM je označení nástroje, poslední tři písmena značí dobu splatnosti. Na obrázku 23 je ukázka výnosové křivky s ročními intervaly doby splatnosti (USCBSMOVN značí úrokovou míru s dobou splatnosti jeden den, dále jsou nástroje označovány 01Y- jeden rok, 02Y- dva roky, ..., 10Y- deset let).

<sup>23</sup> Kapitola Výnosové křivky je inspirována ze zdroje (Jílek, 1997, str. 217).

<sup>24</sup> Rating (v našem případě hovoříme o úvěrovém ratingu) je kód, který vyjadřuje bonitu či důvěryhodnost subjektu, že půjčka nebo cenný papír bude správně a včas splacen. Rating udělují renomované ratingové agentury na základě komplexního rozboru celého subjektu.

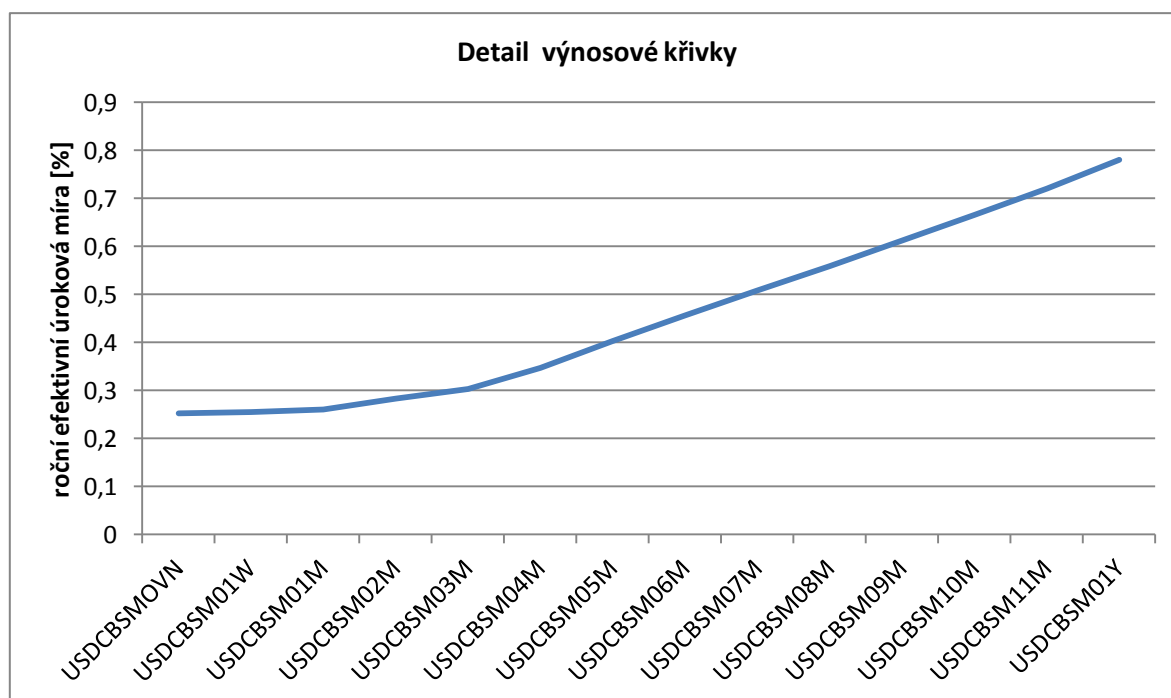


**Obrázek 22: Ukázka výnosové křivky pro USD při ročních intervalech doby splatnosti.**

Z grafu lze vidět růst úrokové míry vzhledem k délce splatnosti pro USD. V případě finančního instrumentu s desetiletou dobou splatnosti se nejvyšší naměřená roční efektivní úroková míra blíží k 3,5 %. Jelikož je v práci analyzováno šestileté období, nejvyšší možná efektivní úroková míra se bude v případě USD pohybovat okolo 2,5 %.

Jelikož v práci uvažujeme i kratší doby splatnosti, v následujícím obrázku je detailní zobrazení výnosové křivky pro dobu splatnosti kratší než jeden rok. Popisek různých dob splatnosti je zobrazen na základě počtu měsíců (01M- jeden měsíc, 02M- dva měsíce, ..., 11M- jedenáct měsíců). První dvě úrokové míry se vztahují na kratší dobu splatnosti než jeden měsíc (USCBSMOVN značí úrokovou míru s dobou splatnosti jeden den, USCBSM01W vyjadřuje úrokovou míru s dobou splatnosti jeden týden).





Obrázek 23: Ukázka výnosové křivky pro USD s kratší dobou splatnosti.

Z grafu lze vidět růst úrokové míry vzhledem k délce splatnosti pro USD. V případě finančního instrumentu s desetiletou dobou splatnosti se nejvyšší naměřená roční efektivní úroková míra blíží k 3,5 %. Jelikož je v práci analyzováno šestileté období, nejvyšší možná efektivní úroková míra se bude v případě USD pohybovat okolo 2,5 %.

## 8.2 Področní složené úročení a diskontování

Již v úvodu kapitoly 8 bylo zmíněno, že budou v práci uvažovány měsíční úrokové míry, které budou počítány z výnosových křivek. Přesně řečeno bude pracováno s področním složeným úročením, při němž se úroky připisují měsíčně, a to vždy na konci jednotlivých měsíců.

Nejprve musíme odlišit situace, kdy dochází k úročení peněžních toků a kdy provádíme diskontování. Úročení je způsob započítávání úroků k zapůjčenému kapitálu. My budeme používat úročení v případě, kdy jsou peněžní prostředky získány v minulosti a jsou přepočítávány ze základu k současnému datu. Naopak diskontování je používáno při očekávaných cash flow v budoucnosti a výpočet je založen na splatné částce, nikoliv na základu.

Dle Cipry (2005) zavedeme obecné vztahy mezi úrokovou a diskontní mírou, dále vyjádříme jejich měsíční ekvivalenty na základě obecně platných předpisů pro složené úročení:

Vztah mezi roční složenou úrokovou mírou ( $i$ ) a diskontní složenou mírou ( $d$ ) je následující:

$$d = \frac{i}{1+i}. \quad (8.1)$$

Obecný převod roční efektivní úrokové míry ( $i$ ) a efektivní diskontní míry ( $d$ ) na nominální úrokovou ( $i^{(p)}$ ) a diskontní míru ( $d^{(p)}$ ) je založen na následujících vztazích:

$$i + 1 = \left(1 + \frac{i^{(p)}}{p}\right)^p, \quad (8.2)$$

$$1 - d = \left(1 - \frac{d^{(p)}}{p}\right)^p, \quad (8.3)$$

kde  $p$  je frekvence připisování.

Z obecného vztahu si vyjádříme nominální úrokovou míru při měsíčním úročení (8.4) a nominální diskontní míru při měsíčním diskontování (8.5):

$$i^{(12)} = 12 \cdot \left(\sqrt[12]{1+i} - 1\right), \quad (8.4)$$

$$d^{(12)} = 12 \cdot \left(1 - \sqrt[12]{1+d}\right). \quad (8.5)$$

kde  $p$  je frekvence připisování (Cipra, 2005, str. 35).

### 8.3 Výpočet současné hodnoty

Pomocí výše vypočítaných měr jsou přepočítány jednotlivé měsíční peněžní toky k současnému datu. Přepočet bude prováděn na základě následujícího vztahu:

$$P_0 = S_t \cdot f_t, \quad (8.6)$$

kde  $P_0$  je současná hodnota cash flow,  $S_t$  je vypočítaná hodnota cash flow v čase  $t$  a  $f_t$  značí přepočítávací faktor k současnému datu.

Při přepočtu cash flow může dle Cipry (2005) dojít ke třem možným variantám:

- ❖ Úročení
- ❖ Diskontování.
- ❖ Současná hodnota.

### 8.3.1 Úročení

Tento případ nastává, pokud k peněžním tokům již došlo v předcházejících měsících. Výpočet současné hodnoty zkoumaného měsíčního toku je následující:

$$P_0 = S_t \cdot \left(1 + \frac{i^{(12)}}{12}\right)^n, t < 0, \quad (8.7)$$

kde  $P_0$  je současná hodnota měsíčního toku,  $S_t$  je skutečné cash flow v měsíci  $t$ ,  $i^{(12)}$  je nominální úroková míra s měsíčním úročením a  $n$  vyjadřuje počet měsíců skutečného toku od současnosti.

### 8.3.2 Diskontování

Druhý případ představuje skutečnost, že k peněžním tokům teprve dojde. Tedy uvažujeme očekávané cash flow v budoucích měsících. Výpočet současné hodnoty zkoumaného měsíčního toku lze zapsat podle vztahu:

$$P_0 = S_t \cdot \left(1 - \frac{d^{(12)}}{12}\right)^n, t > 0, \quad (8.8)$$

kde  $P_0$  je současná hodnota měsíčního toku,  $S_t$  je skutečné cash flow v měsíci  $t$ ,  $d^{(12)}$  je nominální diskontní míra s měsíčním diskontováním a  $n$  vyjadřuje počet měsíců očekávaného toku od současnosti (Cipra, 2005, str. 39).

### 8.3.3 Současná hodnota

Poslední případ nastává, pokud je analyzovaný měsíc současně měsícem, ke kterému počítáme současnou hodnotu. V tomto případě nedochází k úročení ani diskontování a cash flow v tomto měsíci je zároveň současnou hodnotou:

$$P_0 = S_t, t = 0, \quad (8.9)$$

kde  $P_0$  je současná hodnota měsíčního toku,  $S_t$  je skutečné cash flow v měsíci  $t$ .

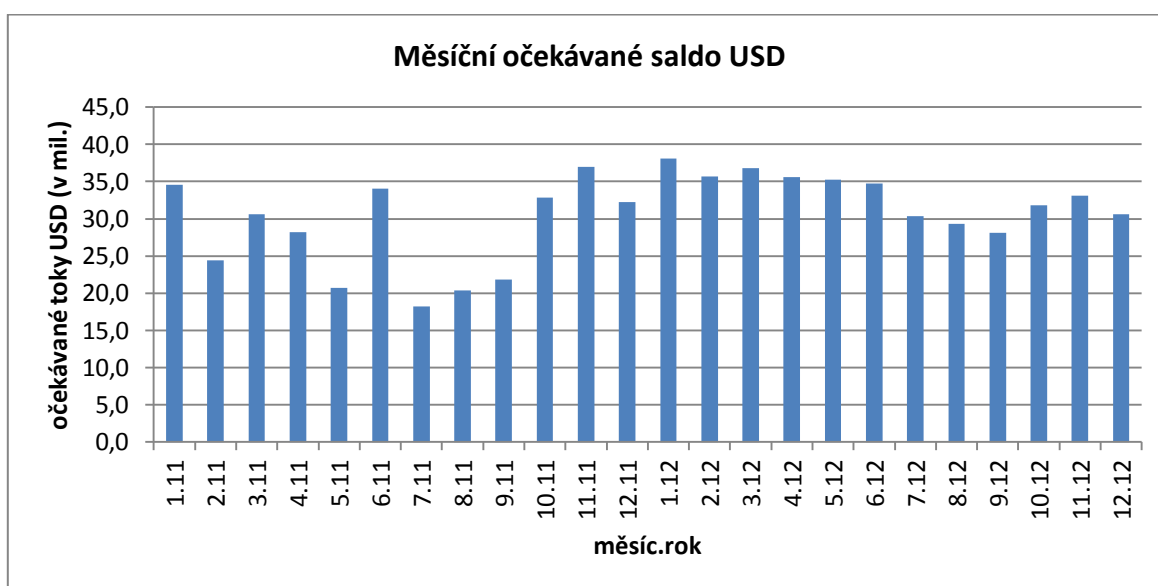
## 9 Výpočet cash flow

V páté kapitole již bylo ukázáno, že celkový zpracovávaný model hodnotí míru rizika na základě cash flow jednotlivých zahraničních expozic. Celkové peněžní toky jsou vždy přepočítány na referenční měnu pomocí analyzovaných rizikových faktorů. Referenční měnu společnosti ŠKODA AUTO a.s. představuje česká koruna (CZK). V této kapitole je zpracován výpočet cash flow pro tři možné případy, přičemž z vypočítaných hodnot lze analyzovat riziko spolu s výhodností zajištění. Jelikož se při výpočtu cash flow využívá mnoho proměnných, byla proto sestavena tabulka s přehledem všech používaných proměnných v této kapitole, která se nachází v příloze 4.

### 9.1 Cash flow v zahraniční měně

Peněžní tok v zahraniční měně představuje skutečný rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za sledované období. V práci bude tento rozdíl definován jako saldo dané zahraniční expozice. Skutečné saldo lze považovat za rizikový faktor, který se liší od očekávaných hodnot z důvodu nepřesných odhadů příjmů či výdajů. Společnost ŠKODA AUTO a.s. pro vyjádření rizika pracuje s měsíčními očekávanými saldy ve všech zahraničních expozicích a používá tyto hodnoty pro veškeré dlouhodobé analýzy. K detailnímu prozkoumání odchylek tohoto rizikového faktoru není dostatek informací o změnách očekávaných peněžních toků v zahraniční měně kvůli pravidelným aktualizacím. Proto je skutečné saldo nahrazeno očekávanými hodnotami a jako rizikové faktory jsou zpracovány pouze rizika tržní.

V následujícím grafu lze vidět příklad měsíčního očekávaného salda ve vybrané měně USD.

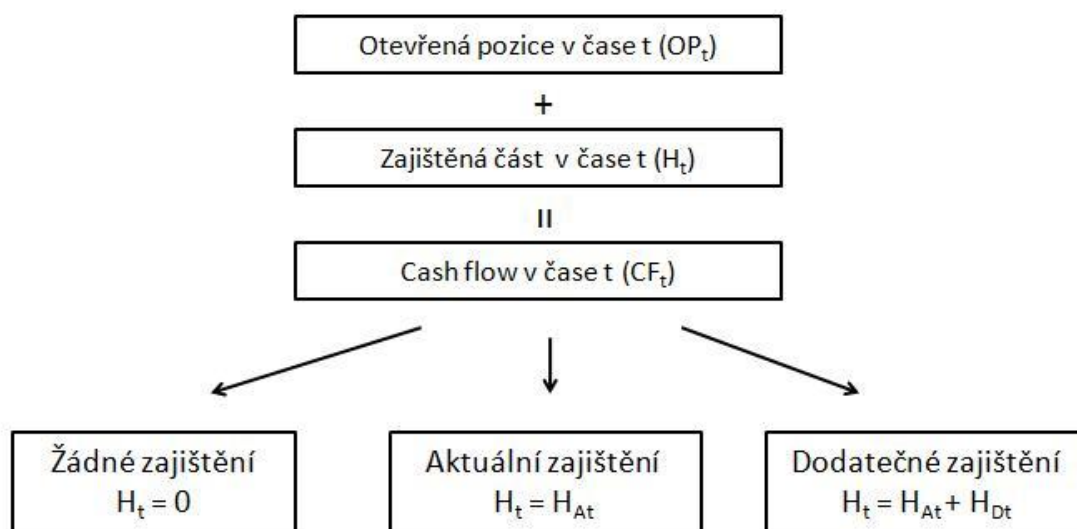


Obrázek 24: Graf měsíčního očekávaného cash flow USD pro období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2012.

V předchozích kapitolách byla probrána tržní rizika, která ovlivňují peněžní toky v referenční měně. Nyní můžeme přistoupit k samotnému výpočtu celkového očekávaného cash flow na základě analyzovaných faktorů a zkoumat rozdíly při různých situacích. Simulované vstupní faktory budou generovány na základě popsaných vztahů, přičemž z každého simulovaného scénáře lze vypočítat současnou hodnotu cash flow v referenční měně. V práci jsou uvažovány tři hlavní možnosti rozdělení cash flow:

- ❖ Nezajištěné cash flow.
- ❖ Zajištěné cash flow.
- ❖ Dodatečné zajištění cash flow.

V následujícím grafu (Obrázek 25) je zobrazena základní struktura cash flow v čase  $t$  ve všech zkoumaných situacích. Je zde uvažováno aktuální zajištění ( $H_{At}$ ) pomocí již sjednaných forwardových obchodů společnosti ŠKODA AUTO a.s., dále dvě hypotetické možnosti, tj. že není sjednané žádné zajištění, případně k aktuálnímu zajištění sjednáme další nové kontrakty ( $H_{Dt}$ ).



Obrázek 25: Struktura cash flow v čase  $t$  ve zkoumaných situacích, kde je uvažováno aktuální zajištění pomocí již sjednaných forwardových obchodů společnosti ŠKODA AUTO a.s.

## 9.2 Nezajištěné cash flow

První situací je skutečnost, že je očekávané cash flow závislé pouze na vývoji rizikových faktorů. V tomto případě nejsou uvažovány žádné zajišťovací instrumenty a celkové očekávané peněžní toky jsou přepočítány na referenční měnu pomocí simulovaných vstupních faktorů.

Nejprve jsou vypočítány celkové peněžní toky v zahraniční měně, následně je pomocí vygenerovaného kurzu přepočítáno cash flow na referenční měnu a posledním krokem je přepočítání cash flow na současnou hodnotu.

Vektor nezajištěného cash flow v zahraniční měně v čase  $t$  ( $\mathbf{CF}_t^N$ ) je tvořeno z rozdílu příjmů a výdajů, tj. salda ( $S_t$ ) v daném měsíci a očekávanou spotřebou komodit ( $AL_t, CU_t$  a  $PB_t$ ) pořízenou za vygenerované ceny jednotlivých komodit (hliníku, mědi a olova) v čase  $t$ . Připomeňme, že komodity jsou obchodovány pouze v případě USD, proto je pro ostatní měny výpočet jednodušší, tj. cash flow je rovno saldu v daném měsíci.

$$\mathbf{CF}_t^N = S_t \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} - (AL_t \cdot \mathbf{C}_t^{AL} - CU_t \cdot \mathbf{C}_t^{CU} - PB_t \cdot \mathbf{C}_t^{PB}) = \begin{pmatrix} CF_{1,t}^N \\ \vdots \\ CF_{N,t}^N \end{pmatrix}, \quad (9.1)$$

kde

$\mathbf{C}_t^{AL}$ ,  $\mathbf{C}_t^{CU}$  a  $\mathbf{C}_t^{PB}$  značí vygenerované vektory cen komodit (hliníku, mědi a olova) v čase  $t$ ,  $CF_{i,t}^N$  značí  $i$ -tou simulaci cash flow v zahraniční měně při žádném zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

Přepočet cash flow zahraniční měny na měnu referenční je následně prováděn pomocí vygenerovaného vektoru devizových kurzů v čase  $t$  ( $\mathbf{X}_t$ ). Vztah pro cash flow v referenční měně při žádném zajištění ( $\mathbf{CF}_t^{Nref}$ ) je následující:

$$\mathbf{CF}_t^{Nref} = \text{diag}(\mathbf{CF}_t^N \cdot \mathbf{X}_t^T) = \begin{pmatrix} CF_{1,t}^{Nref} \\ \vdots \\ CF_{N,t}^{Nref} \end{pmatrix}, \quad (9.2)$$

kde

$\mathbf{X}_t^T = (x_{t,1}, \dots, x_{t,N})$  je transponovaný vektor kurzů USD v čase  $t$ ,

$\text{diag}(A)$  separuje z matice  $A$  (rozměru  $N \times N$ ) hlavní diagonálu (vznikne vektor  $N \times 1$ ),

$CF_{i,t}^{Nref}$  značí  $i$ -tou simulaci cash flow v referenční měně při žádném zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

Při zohlednění časové hodnoty peněz musíme přepočítat cash flow pomocí diskontního nebo úrokového faktoru ( $f_t$ ) na současnou hodnotu cash flow v referenční měně při žádném zajištění ( $NCF_t^{Nref}$ ):

$$NCF_t^{Nref} = CF_t^{Nref} \cdot f_t = \begin{pmatrix} NCF_{1,t}^{Nref} \\ \vdots \\ NCF_{N,t}^{Nref} \end{pmatrix}, \quad (9.3)$$

kde

$NCF_{i,t}^{Nref}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty cash flow v čase  $t$  v referenční měně při žádném zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

Celková matice vygenerovaného cash flow ve zkoumaném období bude označována:

$$NCF^{Nref} = (NCF_{t_0}^{Nref}, \dots, NCF_m^{Nref}) = \begin{pmatrix} NCF_{1,t_0}^{Nref} & \dots & NCF_{1,m}^{Nref} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ NCF_{N,t_0}^{Nref} & \dots & NCF_{N,m}^{Nref} \end{pmatrix}, \quad (9.4)$$

kde

$NCF_{i,j}^{Nref}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty nezajištěného cash flow v referenční měně v  $j$ -tém období,  $i = 1, \dots, N$ , dále  $j = t_0, \dots, m$ .

Celkové cash flow za sledované období vyjádřené v současné hodnotě referenční měny se vypočítá podle vztahu:

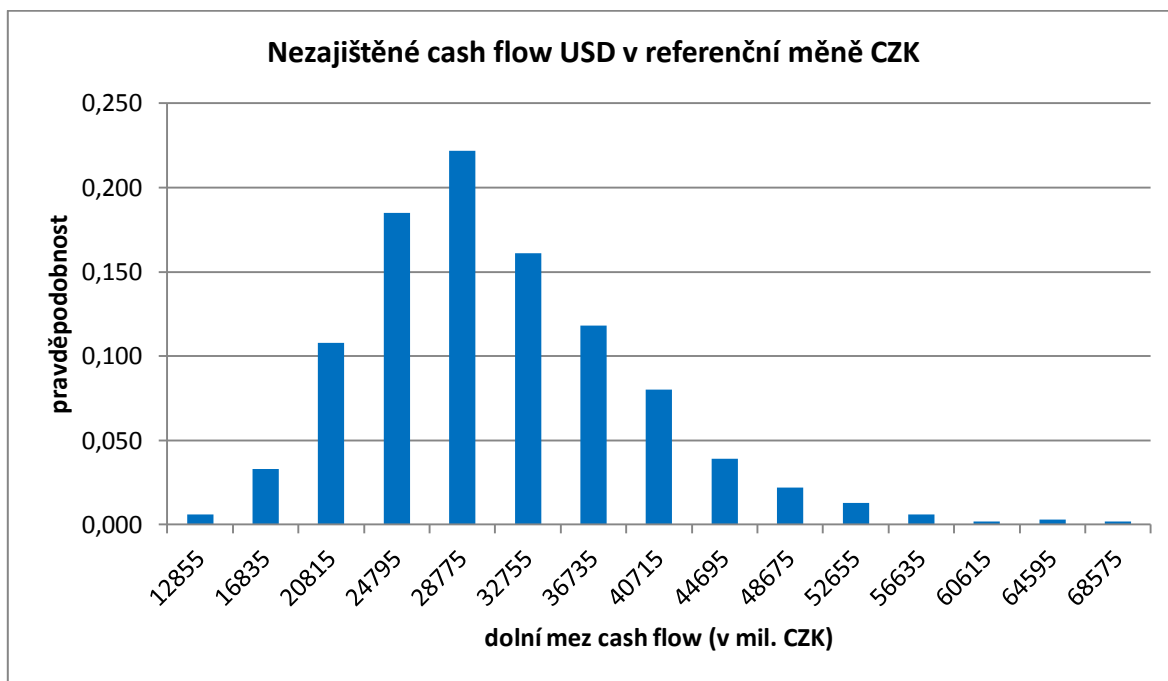
$$TNCF^{Nref} = \sum_{j=t_0}^m (NCF_j^{Nref}) = \begin{pmatrix} TNCF_1^{Nref} \\ \vdots \\ TNCF_N^{Nref} \end{pmatrix}, \quad (9.5)$$

kde

$TNCF_i^{Nref}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty celkového cash flow v referenční měně za sledované období při žádném zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

### 9.2.1 Histogram nezajištěného cash flow

Pro ukázkou simulací byl vytvořen histogram nezajištěného cash flow celého šestiletého období. Jednotlivé hodnoty peněžních toků jsou vztaženy k současnosti a jsou vyjádřeny v referenční měně CZK. Počet intervalů je stejně jako v předchozích histogramech určeno podle pravidla 6.26.



Obrázek 26: Histogram celkové nezajištěné zahraniční expozice USD vyjádřené v současné hodnotě referenční měny pro období 1. 1. 2011 – 31. 1. 2016.

Z grafu je patrné, že u celkového šestiletého období je velmi široké pásmo možného výskytu cash flow v současné hodnotě referenční měny. Extrémní hodnoty vyjadřují, že se výsledné cash flow bude pohybovat v rozmezí 12 855 – 72 555 mil. CZK. Z histogramu lze vidět, že při stejně velkých intervalech je výskyt cash flow blíže k hodnotám minima než maxima, což značí také kladná výběrová šikmost  $\alpha_3 = 0,888$ .



### 9.3 Zajištěná část

Druhou situaci představuje aktuální stav společnosti ŠKODA AUTO a.s., kde je uvažováno stávající zajištění. Sjednané zajištění je provedeno pomocí forwardových obchodů u zkoumaných měn i komodit. Zbytek cash flow tvoří otevřená pozice, která je přepočítána na referenční měnu pomocí nasimulovaných faktorů. Všechny sjednané forwardy stejného typu (musíme rozlišovat nákupní a prodejní forwardy) v čase  $t$  za sjednaný kurz, resp. cenu jsou přepočítávány systémem SAP na průměrné kurzy, resp. ceny ve sledovaném období vzhledem k objemu zajišťovaných částek:

$$AX_t = \frac{1}{H_{At}^{FX}} \cdot \sum_{i=1}^n VX_i \cdot KX_i, \quad (9.6)$$

kde

$AX_t$  značí průměrný kurz zajištěných měnových forwardů stejného typu v čase  $t$ ,

$H_{At}^{FX} = \sum_{i=1}^n VX_i$  je celkový objem zajištěných měnových forwardů stejného typu v čase  $t$ ,

$VX_i$  vyjadřuje objem  $i$ -tého sjednaného forwardu stejného typu,

$KX_i$  je kurz  $i$ -tého sjednaného forwardu stejného typu s datem splatnosti v  $t$ .

Pomocí stejného principu jsou vypočítány průměrné ceny komodit v čase  $t$  ( $AC_t$ ).

Nejprve si rozdělíme celkové simulace cash flow s aktuálním zajištěním v čase  $t$  v referenční měně ( $CF_t^{Href}$ ):

$$(CF_t^{Href}) = (H_t^{Href}) + (OP_t^{Href}), \quad (9.7)$$

kde

$$H_t^{Href} = ((1 - p) \cdot H_t^{Href,P} - (1 + p) \cdot H_t^{Href,N}) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix},$$

$H_t^{Href,P}$  zajištěnou část cash flow pomocí prodejních forwardů,

$H_t^{Href,N}$  zajištěnou část cash flow pomocí nákupních forwardů,

$OP_t^{Href}$  je simulace otevřené pozice referenční měny při aktuálním zajištění v  $t$ ,

$p$  značí poplatek za zprostředkování zajištění.

Poplatky jsou uvažovány v procentech ze zajišťované části, přičemž výše stanovených procent je zjištěna na základě vztahu banky a společnosti. V současné situaci vztahu Volkswagen Bank se společností ŠKODA AUTO a.s. je parametr  $p$  nastaven na hodnotu 0,002 %, nicméně v přiloženém programu je možné tento poplatek volně měnit na základě aktuálního stavu.

Zajištěnou část peněžních toků v referenční měně ( $H_t^{Href}$ ) tvoří sjednané forwardové obchody pro měny i zkoumané komodity:

$$H_t^{Href,P} = H_{At}^{FX,P} \cdot AX_t^P - H_{At}^{AL,P} \cdot AC_t^{AL,P} - H_{At}^{CU,P} \cdot AC_t^{CU,P} - H_{At}^{PB,P} \cdot AC_t^{PB,P}, \quad (9.8)$$

$$H_t^{Href,N} = H_{At}^{FX,N} \cdot AX_t^N - H_{At}^{AL,N} \cdot AC_t^{AL,N} - H_{At}^{CU,N} \cdot AC_t^{CU,N} - H_{At}^{PB,N} \cdot AC_t^{PB,N}, \quad (9.9)$$

kde

$H_{At}^{FX,P}$ ,  $H_{At}^{AL,P}$ ,  $H_{At}^{CU,P}$ ,  $H_{At}^{PB,P}$  značí objemy prodejních forwardů měny, hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$AX_t^P$ ,  $AC_t^{AL,P}$ ,  $AC_t^{CU,P}$ ,  $AC_t^{PB,P}$  jsou průměrné kurzy, resp. ceny zajištěných prodejních faktorů.

$H_{At}^{FX,N}$ ,  $H_{At}^{AL,N}$ ,  $H_{At}^{CU,N}$ ,  $H_{At}^{PB,N}$  značí objemy nákupních forwardů měny, hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$AX_t^N$ ,  $AC_t^{AL,N}$ ,  $AC_t^{CU,N}$ ,  $AC_t^{PB,N}$  vyjadřují průměrné kurzy, resp. ceny zajištěných nákupních faktorů.

Nyní vyjádříme vzorec pro simulaci otevřené pozice nezajištěné části peněžních toků v čase  $t$  pro cizí měnu:

$$(OP_t^H) = OP_t^{FX} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{N \times 1} - OP_t^{AL} \cdot C_t^{AL} - OP_t^{CU} \cdot C_t^{CU} - OP_t^{PB} \cdot C_t^{PB} = \begin{pmatrix} OP_{1,t}^H \\ \vdots \\ OP_{N,t}^H \end{pmatrix}, \quad (9.10)$$

kde

$OP_t^{FX}$ ,  $OP_t^{AL}$ ,  $OP_t^{CU}$ ,  $OP_t^{PB}$  značí dílčí otevřené pozice a vypočítají se dle vztahů:

$OP_t^{FX} = S_t - H_{At}^{FX,P} + H_{At}^{FX,N}$ , kde  $S_t$  je očekávané saldo zahraniční měny v čase  $t$ ,

$OP_t^{AL} = AL_t - H_{At}^{AL,P} + H_{At}^{AL,N}$ , kde  $AL_t$  je očekávaná spotřeba hliníku v čase  $t$ ,

$OP_t^{CU} = CU_t - H_{At}^{CU,P} + H_{At}^{CU,N}$ , kde  $CU_t$  je očekávaná spotřeba mědi v čase  $t$ ,

$OP_t^{PB} = PB_t - H_{At}^{PB,P} + H_{At}^{PB,N}$ , kde  $PB_t$  je očekávaná spotřeba olova v čase  $t$ ,

$C_t^{AL}$ ,  $C_t^{CU}$  a  $C_t^{PB}$  jsou vygenerované vektory cen hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$OP_{i,t}^H$  značí  $i$ -tou simulaci otevřené pozice cash flow zahraniční měny při aktuálním zajištění v čase  $t$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Z vektoru simulovaných otevřených pozic zahraniční měny v čase  $t$  ( $OP_t^H$ ) lze na základě vztahu (9.2) dospět k vyjádření tohoto protějšku v referenční měně ( $OP_t^{Href}$ ):

$$OP_t^{Href} = \text{diag}(OP_t^H \cdot X_t^T) = \begin{pmatrix} OP_{1,t}^{Href} \\ \vdots \\ OP_{N,t}^{Href} \end{pmatrix}, \quad (9.11)$$

kde

$X_t^T = (x_{t,1}, \dots, x_{t,N})$  a značí transponovaný vektor simulovaných kurzů USD v čase  $t$ ,

$\text{diag}(A)$  separuje z matice  $A$  (rozměru  $N \times N$ ) hlavní diagonálu (vznikne vektor  $N \times 1$ ),

$OP_{i,t}^{Href}$  vyjadřuje  $i$ -tou simulaci otevřené pozice referenční měny při aktuálním zajištění v čase  $t$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Nyní máme vyjádřeny všechny složky ze vztahu (9.7) určující simulované cash flow v referenční měně při aktuálním zajištění a můžeme přejít k časovému vyjádření:

Současná hodnota simulovaného cash flow referenční měny v čase  $t$  při aktuálním zajištění ( $NCF_t^{Href}$ ) je následující:

$$NCF_t^{Href} = CF_t^{Href} \cdot f_t = \begin{pmatrix} NCF_{1,t}^{Href} \\ \vdots \\ NCF_{N,t}^{Href} \end{pmatrix}, \quad (9.12)$$

kde

$f_t$  vyjadřuje faktor přepočítávající peněžní toky na současnou hodnotu,

$NCF_{i,t}^{Href}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty cash flow v čase  $t$  v referenční měně při aktuálním zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

Celková matice vygenerovaného cash flow ve zkoumaném období bude označována:

$$NCF^{Href} = (NCF_{t_0}^{Href}, \dots, NCF_m^{Href}) = \begin{pmatrix} NCF_{1,t_0}^{Href} & \dots & NCF_{1,m}^{Href} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ NCF_{N,t_0}^{Href} & \dots & NCF_{N,m}^{Href} \end{pmatrix}, \quad (9.13)$$

kde

$NCF_{i,j}^{Href}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty zajištěného cash flow v referenční měně v  $j$ -tém období,  $j = t_0, \dots, m$ .

Celkové cash flow za sledované období vyjádřené v současné hodnotě referenční měny se vypočítá podle vztahu:

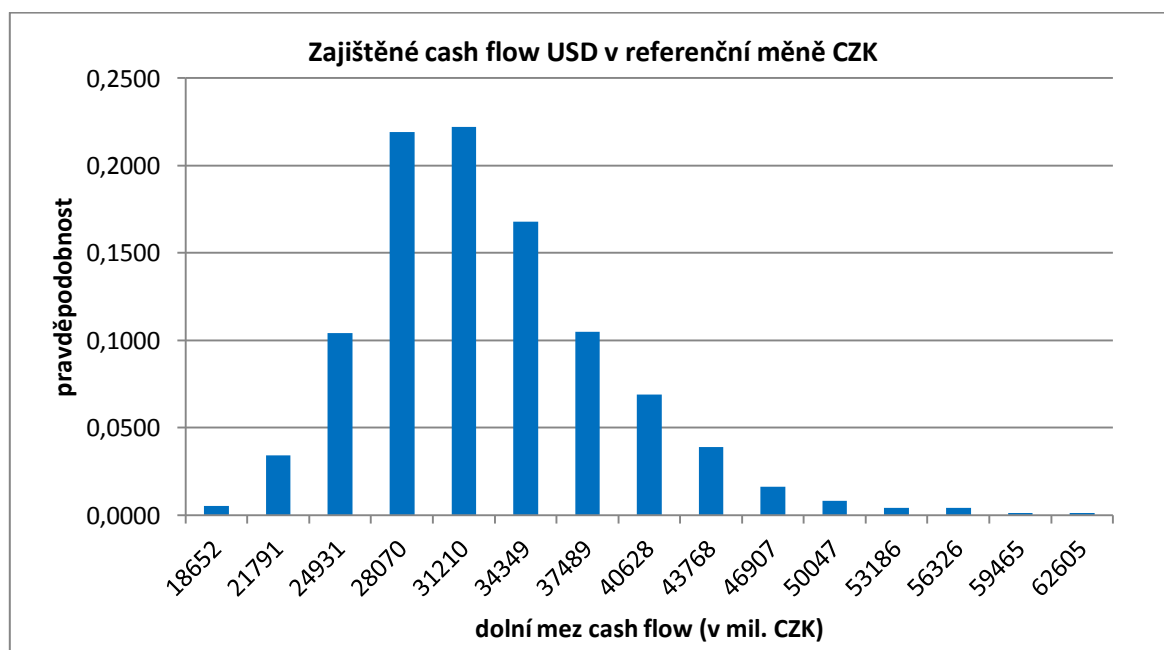
$$TNCF^{Href} = \sum_{j=t_0}^m (NCF_j^{Href}) = \begin{pmatrix} TNCF_1^{Href} \\ \vdots \\ TNCF_N^{Href} \end{pmatrix}, \quad (9.14)$$

kde

$TNCF_i^{Href}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty celkového cash flow v referenční měně za sledované období  $(t_0 - m)$  při aktuálním zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

### 9.3.1 Histogram

Stejně jako v případě nezajištěného cash flow je zkoumán histogram výskytu cash flow v současné hodnotě referenční měny CZK za celé šestileté období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016.



Obrázek 27: Histogram celkové zkoumané zahraniční expozice USD se zajištěním vyjádřené v současné hodnotě referenční měny pro období 1. 1. 2011 – 31. 1. 2016.

Z grafu je viditelná redukce celkového pásma naměřeného výsledného cash flow. Extrémní hodnoty peněžních toků zahraniční expozice vyjadřují, že se výsledné cash flow bude pohybovat v rozmezí 21 791 – 65 744 mil. CZK. Z histogramu je opět viditelná kladná výběrová šikmost, která je v tomto případě  $\alpha_3 = 0,997$ .

## 9.4 Dodatečné zajištění

Třetí možnost představuje situaci, ve které jsou k aktuálnímu zajištění přidány nové forwardové obchody, které jsou dostupné ve zkoumaném okamžiku na trhu. Toto dodatečné zajištění lze provádět u všech zkoumaných forwardů, tj. všech zkoumaných měn a komodit. Otevřená pozice cash flow se přidáním nových termínových obchodů snižuje, naopak objem zajištěné části roste. Mezní objem čistého zajištění<sup>25</sup> měn v jednotlivých obdobích shora omezen hodnotou salda v období  $t$ . Analogicky mezní objem zajištěných komodit je omezen jejich očekávanou spotřebou v čase  $t$ . Plné zajištění v práci nebude uvažováno na základě vztahu banky se společnostmi. Z důvodu nejistých budoucích peněžních toků zahraničních měn je mezní zajištění dle smlouvy banky se společnostmi nastaveno na 80 % z celkové očekávané expozice. V případě přesáhnutí mezního zajištění jsou společnosti pozastaveny další peněžní operace. Pakliže nastane tato situace, musí být v kritickém období provedeny prolongace<sup>26</sup>. V krátkodobém horizontu může nastat situace, že bude zajištěna větší část než mezní objem, nebude však provedena prolongace. Tento případ je povolen pouze po vzájemné domluvě banky se společnostmi a kritické období je důkladně monitorováno.

Celkovou simulaci cash flow s dodatečným zajištěním v čase  $t$  v referenční měně ( $CF_t^{Dref}$ ) si opět vyjádříme pomocí zajištěné části a otevřené pozice:

$$CF_t^{Dref} = H_t^{Href} + H_t^{Dref} + OP_t^{Dref}, \quad (9.15)$$

kde

$H_t^{Href}$  značí aktuální zajištění v čase  $t$ , které se vypočítá na základě vztahu (9.7),

$H_t^{Dref}$  vyjadřuje dodatečné zajištění cash flow,

$OP_t^{Href}$  je simulace otevřené pozice referenční měny při dodatečném zajištění v  $t$ ,

<sup>25</sup> Čistým zajištěním budeme označovat rozdíl objemů prodejních a nákupních forwardů.

<sup>26</sup> Prolongace je v našem případě výraz pro obchod, u kterého společnost požaduje prodloužení splatnosti. Realizace spočívá v tom, že na daný obchod, který je prolongován, je vytvořen protiobchod ve stejném období (například prodejní forward je zpátky nakoupen společností), přičemž původní forwardový obchod se posune k datu s pozdějším datem splatnosti.

Simulace dodatečného zajištění ( $H_t^{Dref}$ ) se vypočítá pomocí aktuálních tržních kurzů nebo cen pomocí následujících vztahů:

$$H_t^{Dref} = ((1 - p) \cdot H_t^{Dref,P} - (1 + p) \cdot H_t^{Dref,N}) \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (9.16)$$

kde

$H_t^{Dref,P}$  značí dodatečně zajištěnou část cash flow pomocí prodejních forwardů,

$H_t^{Dref,N}$  je dodatečně zajištěná část cash flow pomocí nákupních forwardů,

$p$  je poplatek za zprostředkování zajištění.

Poplatky, které jsou uvažovány v procentech ze zajišťované částky, vychází ze smlouvy banky se společností a jsou již vysvětleny v kapitole 9.3. Dozajištění lze provést pro měnové forwardy i zkoumané komodity:

$$H_t^{Dref,P} = H_{Dt}^{FX,P} \cdot FX_t^P - H_{Dt}^{AL,P} \cdot FC_t^{AL,P} - H_{Dt}^{CU,P} \cdot FC_t^{CU,P} - H_{Dt}^{PB,P} \cdot FC_t^{PB,P}, \quad (9.17)$$

$$H_t^{Dref,N} = H_{Dt}^{FX,N} \cdot FX_t^N - H_{Dt}^{AL,N} \cdot FC_t^{AL,N} - H_{Dt}^{CU,N} \cdot FC_t^{CU,N} - H_{Dt}^{PB,N} \cdot FC_t^{PB,N}, \quad (9.18)$$

kde

$H_{Dt}^{FX,P}$ ,  $H_{Dt}^{AL,P}$ ,  $H_{Dt}^{CU,P}$ ,  $H_{Dt}^{PB,P}$  značí objemy nově sjednaných prodejních forwardů měny, hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$FX_t^P$ ,  $FC_t^{AL,P}$ ,  $FC_t^{CU,P}$ ,  $FC_t^{PB,P}$  vyjadřují aktuální tržní kurzy, resp. ceny prodejních forwardů měny, hliníku, mědi a olova,

$H_{Dt}^{FX,N}$ ,  $H_{Dt}^{AL,N}$ ,  $H_{Dt}^{CU,N}$ ,  $H_{Dt}^{PB,N}$  jsou objemy nových nákupních forwardů měny, hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$FX_t^N$ ,  $FC_t^{AL,N}$ ,  $FC_t^{CU,N}$ ,  $FC_t^{PB,N}$  jsou aktuální tržní kurzy, resp. ceny nákupních forwardů.

Nyní vyjádříme vzorec pro simulaci otevřené pozice nezajištěné části peněžních toků v čase  $t$  v případě třetí varianty dozajištění:

$$(\mathbf{OP}_t^D) = OP_{Dt}^{FX} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{N \times 1} - (OP_{Dt}^{AL} \cdot \mathbf{C}_t^{AL} - OP_{Dt}^{CU} \cdot \mathbf{C}_t^{CU} - OP_{Dt}^{PB} \cdot \mathbf{C}_t^{PB}) = \begin{pmatrix} OP_{1,t}^D \\ \vdots \\ OP_{N,t}^D \end{pmatrix}, \quad (9.19)$$

při

$OP_{Dt}^{FX} = OP_{At}^{FX} - H_{Dt}^{FX,P} + H_{Dt}^{FX,N}$ , kde  $OP_{At}^{FX}$  je otevřená pozice zahraniční měny v čase  $t$  při aktuálním zajištění,  $H_{Dt}^{FX,P}$ ,  $H_{Dt}^{FX,N}$  jsou objemy nových měnových forwardů.

$OP_{Dt}^{AL} = OP_{At}^{AL} - H_{Dt}^{AL,P} + H_{Dt}^{AL,N}$ , kde  $OP_{At}^{AL}$  je otevřená pozice spotřeby hliníku v čase  $t$  při aktuálním zajištění,  $H_{Dt}^{AL,P}$ ,  $H_{Dt}^{AL,N}$  jsou objemy nových forwardů zkoumané komodity.

$OP_{Dt}^{CU} = OP_{At}^{CU} - H_{Dt}^{CU,P} + H_{Dt}^{CU,N}$ , kde  $OP_{At}^{CU}$  je otevřená pozice spotřeby mědi v čase  $t$  při aktuálním zajištění,  $H_{Dt}^{CU,P}$ ,  $H_{Dt}^{CU,N}$  jsou objemy nových forwardů zkoumané komodity.

$OP_{Dt}^{PB} = OP_{At}^{PB} - H_{Dt}^{PB,P} + H_{Dt}^{PB,N}$ , kde  $OP_{At}^{PB}$  je otevřená pozice spotřeby olova v čase  $t$  při aktuálním zajištění,  $H_{Dt}^{PB,P}$ ,  $H_{Dt}^{PB,N}$  jsou objemy nových prodejních a nákupních forwardů.

$\mathbf{C}_t^{AL}$ ,  $\mathbf{C}_t^{CU}$  a  $\mathbf{C}_t^{PB}$  jsou vygenerované vektory cen hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$OP_{i,t}^D$  značí  $i$ -tou simulaci otevřené pozice cash flow zahraniční měny při aktuálním zajištění v čase  $t$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Z vektoru simulovaných otevřených pozic zahraniční měny v čase  $t$  ( $\mathbf{OP}_t^D$ ) lze na základě vygenerovaných kurzů ze vztahu (9.2) dospět k vyjádření tohoto protějšku v referenční měně ( $\mathbf{OP}_t^{Dref}$ ):

$$\mathbf{OP}_t^{Dref} = \text{diag}(\mathbf{OP}_t^D \cdot \mathbf{X}_t^T) = \begin{pmatrix} OP_{1,t}^{Dref} \\ \vdots \\ OP_{N,t}^{Dref} \end{pmatrix}, \quad (9.20)$$

kde

$\mathbf{X}_t^T = (x_{t,1}, \dots, x_{t,N})$  a značí transponovaný vektor simulovaných kurzů USD v čase  $t$ ,  $\text{diag}(A)$  separuje z matice  $A$  (rozměru  $N \times N$ ) hlavní diagonálu (vznikne vektor  $N \times 1$ ),

$OP_{i,t}^{Dref}$  vyjadřuje  $i$ -tou simulaci otevřené pozice referenční měny při aktuálním zajištění v čase  $t$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Nyní máme vyjádřeny všechny složky ze vztahu (9.15) určující simulované cash flow v referenční měně při aktuálním zajištění v čase  $t$  a můžeme přejít k časovému vyjádření.

Současná hodnota simulovaného cash flow referenční měny v čase  $t$  při dodatečném zajištění ( $NCF_t^{Dref}$ ) je následující:

$$NCF_t^{Dref} = CF_t^{Dref} \cdot f_t = \begin{pmatrix} NCF_{1,t}^{Dref} \\ \vdots \\ NCF_{N,t}^{Dref} \end{pmatrix}, \quad (9.21)$$

kde

$f_t$  vyjadřuje faktor, přepočítávající peněžní toky na současnou hodnotu,

$NCF_{i,t}^{Dref}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty cash flow v čase  $t$  v referenční měně při dodatečném zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .

Celková matice vygenerovaného cash flow ve zkoumaném období bude označována:

$$NCF^{Dref} = (NCF_{t_0}^{Dref}, \dots, NCF_m^{Dref}) = \begin{pmatrix} NCF_{1,t_0}^{Dref} & \dots & NCF_{1,m}^{Dref} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ NCF_{N,t_0}^{Dref} & \dots & NCF_{N,m}^{Dref} \end{pmatrix}, \quad (9.22)$$

kde

$NCF_{i,j}^{Dref}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty zajištěného cash flow v referenční měně v  $j$ -tém období,  $j = t_0, \dots, m$ .

Celkové cash flow za sledované období vyjádřené v současné hodnotě referenční měny se vypočítá podle vztahu:

$$TNCF^{Dref} = \sum_{j=t_0}^m (NCF_j^{Dref}) = \begin{pmatrix} TNCF_1^{Dref} \\ \vdots \\ TNCF_N^{Dref} \end{pmatrix}, \quad (9.23)$$

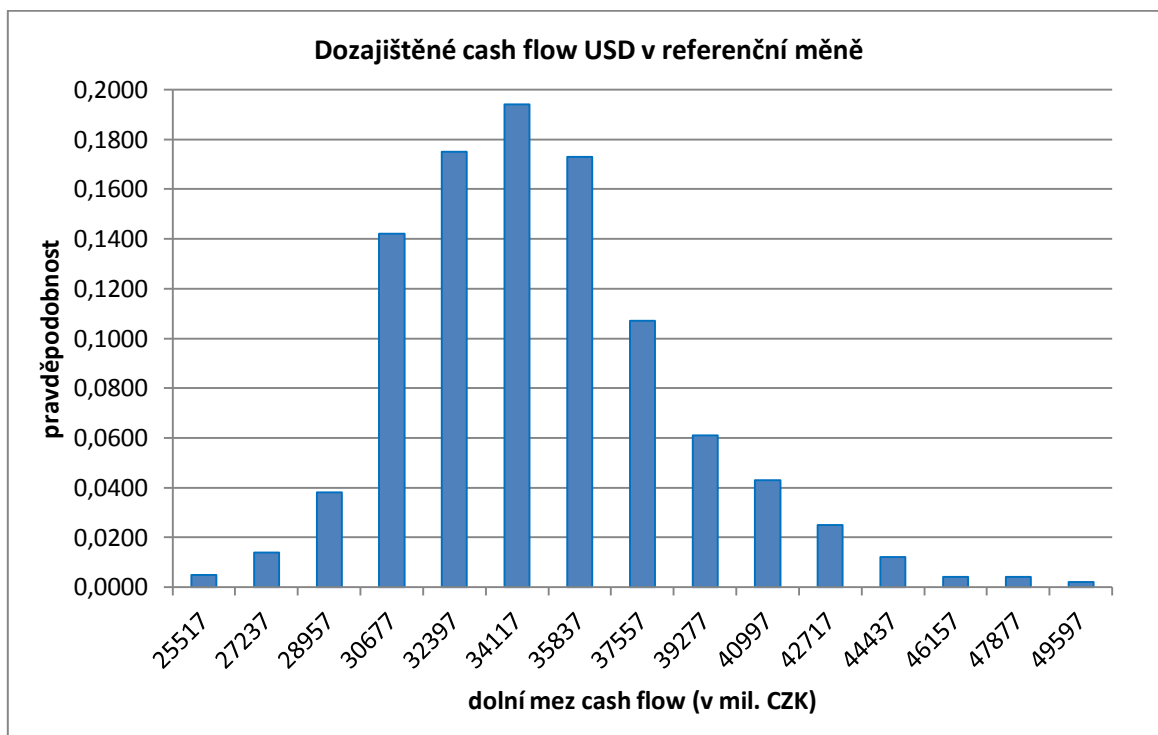
kde

$TNCF_i^{Dref}$  značí  $i$ -tou simulaci současné hodnoty celkového cash flow v referenční měně za sledované období  $(t_0 - m)$  při dodatečném zajištění,  $i = 1, \dots, N$ .



### 9.4.1 Histogram

Poslední zkoumaný případ s dozajištěním byl nastaven tak, že zajišťoval v každém období alespoň 50 % očekávaného salda. Tento vzorový příklad byl zvolen na žádost oddělení Treasury a prováděl přizajištění USD na celkových 50 % v obdobích, kde bylo aktuální zajištění menší než toto procento. Na obrázku 28 je zobrazen zkoumaný histogram.



Obrázek 28: Histogram celkové zkoumané zahraniční expozice USD s dodatečným zajištěním vyjádřené v současné hodnotě referenční měny pro období 1. 1. 2011 – 31. 1. 2016.

Z vymodelovaného histogramu lze vidět výrazné přiblížení extrémních hodnot ke středu rozdělení. Vypočítané extrémy udávají meze 25 517 – 51 317 mil. CZK. Výběrová šikmost na první pohled není tak výrazná jako v předchozích případech a její hodnota se rovná  $\alpha_3 = 0,749$ .

Nyní jsme ukázali příklady histogramů všech situací, které slouží jako přehledné znázornění cash flow ve sledovaném období. Celková analýza jednotlivých případů bude provedena v následující kapitole na základě vypočítaných statistických parametrů. Bude ukázána práce s výpočetním nástrojem a jednotlivé vstupy, výstupy celkového modelu, případně doporučení volby parametrů.

## 10 Softwarové zpracování CFaR

V předchozích kapitolách byla ukázána metodika a příklady zpracování dílčích složek modelu CFaR. Jelikož se jedná o komplexní nástroj popisující všechny tyto zkoumané faktory dle určitých vztahů (jak bylo ukázáno v kapitole 9), je nutné vytvořit uživatelské rozhraní, které bude sloužit k nastavení vstupních parametrů. Simulace rizikových faktorů pomocí metody Monte Carlo jsou velmi náročné na paměť z důvodu velkého množství generovaných dat. Pro zpracování modelu byl na základě domluvy s oddělením Treasury společnosti ŠKODA AUTO a.s. použit software Microsoft Office EXCEL 2007. Pro modelování náhodných simulací lze využít řadu různých softwarů, nicméně MS EXCEL byl zvolen kvůli všeobecné gramotnosti tohoto programu ve společnosti. Další výhodou je kompatibilita s databázemi, ve kterých jsou pravidelně aktualizována potřebná vstupní data. Nevýhodou zvoleného softwaru je relativně značná náročnost na paměť nebo čas výpočtu. Při překročení určitého počtu simulací software přestane správně fungovat. Při testování mezního počtu simulací se již u případu 10 000 simulací všech faktorů začaly objevovat problémy s výpočtem. Proto bylo pro zpracování modelu simulováno pouze 1 000 scénářů. Pro analýzu celého modelu bylo vytvořeno několik excelových souborů, které spolu komunikují a zároveň přijímají data z interních souborů ŠKODA AUTO a.s. V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé soubory, jejich struktura, funkčnost, případně propojení s dalšími soubory.

### 10.1 Vstupní data

Před popisem jednotlivých zpracovaných souborů ukážeme strukturu vstupních dat, která byla popsána v kapitole. Již bylo řečeno v kapitole 5.2, že data týkající se jednotlivých hodnot peněžních toků jsou degenerována pomocí několika koeficientů z důvodu důvěrnosti očekávaných hodnot budoucích cash flow. V následující tabulce je struktura dat aktualizovaných systémem SAP pro měnovou expozici USD.

Vstupní data měnové expozice pro USD (v mil. USD)												
datum	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11	8.11	9.11	10.11	11.11	12.11
příjmy	34,6	24,4	30,6	28,2	20,7	34,1	18,2	20,4	21,8	32,8	36,9	32,2
výdaje	2,1	3,5	3,7	1,4	0,2	1,6	0,7	1,9	0,3	3,2	2,9	3,4
saldo	32,5	20,9	26,9	26,8	20,5	32,5	17,5	18,4	21,5	29,6	34,0	28,8
objem nák. forwardů	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
objem prod. forwardů	17,3	16,1	19,0	16,0	16,8	19,3	14,4	12,9	18,5	14,0	18,0	16,6
procento zajištění	53%	77%	70%	60%	82%	59%	82%	70%	86%	47%	53%	58%

Tabulka 19: Struktura vstupních dat z interních souborů ŠKODA AUTO a.s. V tabulce jsou degenerovaná data týkající se měnové expozice vzorového příkladu měsíčních toků USD v roce 2011.

Z tabulky je vidět struktura pravidelně aktualizovaných hodnot očekávaných toků USD. U několika měsíců lze vidět vyšší procento zajištění než dovoluje smlouva banky se společností. V tomto případě by muselo dojít k prolongacím některých prodejních forwardů v kritických měsících, nicméně z důvodu degenerovaných hodnot nelze provádět přesné závěry.

Vstupní data pro komodity (v tunách)												
datum	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11	8.11	9.11	10.11	11.11	12.11
spotřeba hliníku	788	788	668	728	808	876	588	655	727	809	849	841
spotřeba mědi	178	156	184	173	167	162	161	165	176	166	180	142
spotřeba olova	339	286	284	350	409	364	347	400	452	349	430	405
zajištění hliníku	300	300	300	300	400	300	200	200	300	400	500	300
zajištění mědi	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
zajištění olova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 20: Struktura vstupních dat z interních souborů ŠKODA AUTO a.s. V tabulce jsou degenerovaná data týkající se měsíčních očekávaných hodnot spotřeby komodit a jejich zajištěné objemy v roce 2011.

Tabulka má stejnou strukturu jako v případě měsíčních toků USD. Společnost ŠKODA AUTO a.s. doposud nemá sjednané žádné forwardové obchody pro komoditu olovo, proto je ve všech zkoumaných obdobích toto zajištění nulové.

U sjednaných forwardových obchodů se pro jednotlivé případy pravidelně vypočítává průměrný kurz nebo cena komodity v každém sledovaném období. Hodnoty těchto průměrných kurzů, resp. cen komodit, které jsou aktualizovány systémem SAP pomocí vztahu (9.6), jsou v následující tabulce 21. Zde již data nejsou degenerována jako v případě peněžních toků.

Průměrné kurzy, resp. ceny sjednaných forwardových obchodů							
datum	1.11	2.11	3.11	...	10.11	11.11	12.11
nákupní FX kurz	19,95	20,09	20,25	...	20,56	20,24	20,64
prodejní FX kurz	0	0	0	...	0	0	0
forwardová cena hliníku	2891,22	2914,07	2931,87	...	3068,70	3096,60	3118,57
forwardová cena mědi	6645,46	6726,94	6735,90	...	7057,88	6916,12	6889,54
forwardová cena olova	0	0	0	...	0	0	0

Tabulka 21: Struktura reálných průměrných forwardových obchodů ve sledovaném období 2011 pro zkoumaná aktiva.

Tabulka 21 ukazuje průměrné kurzy nebo ceny sjednaných forwardových obchodů. Pokud nedojde ve sledovaném období k žádnému forwardu, je tato hodnota nulová.

V této kapitole jsme ukázali strukturu vstupních dat pro vybrané období, nicméně jednotlivé hodnoty měsíčních peněžních toků, případně kurzů či cen jsou zpracovány do konce plánovacího kola, tj. do konce roku 2016. Nyní přistoupíme k popisu jednotlivých souborů, které v celkovém pohledu tvoří zpracovaný model CFaR.

## 10.2 Propojení souborů

V úvodu kapitoly 10 byly zmíněny výhody i nevýhody softwarového zpracování zkoumaného modelu. Z důvodu náročnosti výpočtů na paměť a čas je model rozdělen do několika částí, které jsou datově propojeny. Ke každé zkoumané měně je vytvořeno šest excelových souborů, které analyzují CFaR na základě nadefinovaných vlastností z předcházejících kapitol. V následujícím výčtu jsou uvedeny soubory pro zpracovanou expozici cash flow v měně USD:

- ❖ „souhrn.xlsx“
- ❖ „souhrn\_USD.xlsx“
- ❖ „komodity.xlsx“
- ❖ „generování\_kurzu.xlsm“
- ❖ „cash\_flow.xlsm“
- ❖ „CFaR\_USD.xlsm“

Nyní bude rozebrán každý soubor, který se podílí na celkové funkčnosti zpracovaného nástroje. Důležitým faktem je, že **model je plně funkční pouze za podmínky, že jsou všechny soubory otevřené.**

### 10.2.1 „souhrn.xlsx“

Tento soubor lze označit za tzv. „pracovní databázi“, která obsahuje všechna potřebná data z interních souborů ŠKODA AUTO a.s. Veškeré tabulky z kapitoly 10.1. jsou právě v tomto souboru, přičemž jsou zde obsaženy informace pro všechny zkoumané měnové expozice. Soubor obsahuje pět listů:

- ❖ **summary\_CF&hedging\_t0**
  - V tomto listu jsou zobrazeny hodnoty očekávaných příjmů, výdajů, objemy prodejních i nákupních forwardů spolu s procentním vyjádřením zajištěné pozice z očekávaného salda pro všechny zahraniční expozice.
- ❖ **forward\_t0**
  - Zde se nalézají průměrné kurzy, resp. ceny sjednaných forwardů pro všechny sledované měny.
- ❖ **summary\_CF&hedging\_t1**
  - V tomto listu je pouze zobrazena informace o dodatečném zajištění, které se nastavuje v řídicím listu hlavního souboru.
- ❖ **forward\_t1**
  - Zde jsou zobrazeny aktuální tržní forwardové kurzy, resp. ceny komodit získané z aktivní databáze společnosti Thomson Reuters.
- ❖ **spotřeba komodit**
  - V tomto listu jsou veškeré informace týkající se komodit.

### 10.2.2 „souhrn\_USD.xlsx“

Soubor „souhrn\_USD.xlsx“ analyzuje rizikový faktor pohybu kurzu USD, přičemž hledá vhodnou modelovou distribuční funkci. Je zde zobrazen historický vývoj měsíčních relativních změn spolu s databází historického vývoje denních kurzů všech zkoumaných měn. V souboru se nachází pět listů:

- ❖ **vyvoj\_spotoveho\_kurzu**
  - V tomto listu je zobrazena dlouholetá historie vývoje všech sledovaných kurzů.
- ❖ **USD**
  - Zde jsou provedeny parametrické odhady, dále jsou testovány modelové distribuční funkce relativních změn měsíčních kurzů pro obě zkoumaná období (1. 1. 2008 – 31. 12. 2010, 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010). V listu se také nachází souhrn nalezených parametrů z programu Matlab.
- ❖ **srovnání distr. fcí- 6let**
  - V tomto listu je znázorněno grafické srovnání nalezených distribučních funkcí a výpočet RSS pro dlouhodobé období.
- ❖ **srovnání distr. fcí-3roky**
  - Stejně jako v předchozím listu je provedeno srovnání modelů pro krátkodobé období.
- ❖ **vzorová EDF**
  - Zde je proveden výpočet empirické distribuční funkce.

### 10.2.3 „komodity.xlsx“

V tomto souboru jsou analyzovány všechny komodity jako další rizikové faktory. Je zde volena stejná struktura jako v případě předchozího souboru. Rozdíl spočívá pouze v tom, že je každá komodita analyzována zvlášť. Soubor se dělí do následujících listů:

- ❖ **historie**
  - V tomto listu je zobrazena dlouholetá historie vývoje daných komodit.
- ❖ **Alu; Copper; Lead**
  - Zde jsou provedeny parametrické odhady, dále jsou testovány modelové distribuční funkce relativních změn jednotlivých komodit pro obě období (1. 1. 2008 – 31. 12. 2010, 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010). V listech se také nachází souhrn nalezených parametrů z programu Matlab.
- ❖ **RSS-Alu,6let; RSS-Cu,6let; RSS-Pb,6let**
  - V tomto listu je znázorněno grafické srovnání nalezených distribučních funkcí spolu s výpočtem RSS pro dlouhodobé období.

- ❖ **srovnání distr. fcí-3roky**
  - Stejně jako v předchozím listu je provedeno srovnání modelů pro krátkodobé období.
- ❖ **vzorová EDF**
  - Zde je proveden výpočet empirické distribuční funkce.
- ❖ **korelace**
  - Oproti předchozímu souboru je v případě komodit zkoumán výběrový korelační koeficient měsíčních relativních změn pro obě zkoumaná období (viz kapitolu 7.5.2).
- ❖ **modelování korelací**
  - V tomto listu je ukázáno modelování závislých veličin normálního rozdělení na příkladu závislosti USD a zkoumaných komodit.
- ❖ **celkové RSS**
  - Zde jsou pouze shrnuty výsledky RSS všech komodit ve zkoumaných obdobích.

#### 10.2.4 „generování\_kurzu.xlsm“

V tomto souboru je prováděna simulace rizikových faktorů pomocí metody Monte Carlo. Na základě zvolených parametrů modelové distribuční funkce je generováno 1 000 náhodných scénářů zkoumaných faktorů pro každý měsíc v období (1. 1. 2011 – 31. 12. 2012). Pomocí vygenerovaných simulací jsou sestrojeny pásy spolehlivosti a histogramy v posledním sledovaném období (viz kapitolu 6, 7). Tento soubor je připraven pro doplnění historických kurzů. Pokud je soubor doplněn o hodnoty předešlých kurzů, náhodné scénáře začnou být generovány od prvního měsíce s neznámým měsíčním kurzem. Soubor obsahuje následující listy:

- ❖ **generování náhodného vektoru**
  - V tomto listu je vygenerováno 1 000 pseudonáhodných čísel normovaného normálního rozdělení pro každý měsíc sledovaného období. Pomocí těchto simulací je počítán výsledný kurz USD pomocí vztahů z kapitoly 6.6.
- ❖ **USD, Aluminium; Copper; Lead**
  - V těchto listech je generován vždy daný rizikový faktor (USD, hliník, měď, olovo) dle nadefinovaných vztahů z předcházejících kapitol 6, 7. U každého zkoumaného příkladu lze doplnit historický kurz do páté řádky, označené oranžově.
- ❖ **pásy spolehlivosti**
  - Zde jsou vypočítány různě široké (90%, 70%, 50%, 30%) pásy spolehlivosti pro vybraný rizikový faktor.
- ❖ **vzorové pásy**
  - Tento list slouží ke grafickému zobrazení pásů spolehlivosti vybraných dat.

- ❖ **porovnání modelů s historií**
  - V tomto listu je provedeno srovnání známých historických dat s modelovými protějšky na základě reziduálních součtů čtverců.
- ❖ **histogramy**
  - Z vygenerovaných simulací různě zvolených modelových parametrů je v tomto listu vytvořen histogram zkoumaného rizikového faktoru v posledním období.

### 10.2.5 „cash\_flow.xlsm“

Tento soubor slouží jako hlavní výpočetní složka celého modelu. Zde se střetnou všechny vstupní veličiny, na základě kterých je vypočteno cash flow pro každou simulaci ve sledovaných měsících. Jak bylo ukázáno v kapitole 9, jednotlivé peněžní toky jsou uvažovány ve třech různých situacích (nezajištěné cash flow, cash flow s aktuálním zajištěním a s požadovaným dodatečným zajištěním). Je zde vyjádřeno celkové cash flow pro sledované období i roční peněžní toky, které jsou často používány pro různé finanční analýzy. V souboru se nachází tři listy:

- ❖ **USD**
  - V tomto listu je prováděn výpočet jednotlivých měsíčních toků pro všechny zkoumané situace na základě závislosti vstupních rizikových faktorů. Je zde zobrazena celková současná hodnota cash flow za sledované období (1. 1. 2011 – 31. 12. 2016). Spolu s výpočtem toků analyzovaných situací je ukázáno také rozpočtové cash flow.
- ❖ **diskontování**
  - Tento list slouží k výpočtu diskontního faktoru na základě známých úrokových měr výnosové křivky získané z interních souborů společnosti ŠKODA AUTO a.s.
- ❖ **jednotlivé roky**
  - Hodnoty cash flow jsou vyjádřeny také po rocích, které jsou užitečné pro dlouhodobé analýzy. V tomto listu je souhrn ročních peněžních toků pro všechny sledované situace.

### 10.2.6 „CFaR\_USD.xlsm“

Tento soubor lze považovat za hlavní z hlediska uživatelského prostředí. Nastavují se zde všechny modelové parametry spolu s návrhem na dodatečné zajištění. Tyto informace se zpracovávají a vstupují do modelu v příslušných souborech, kde jsou použity. Důležitou složkou tohoto souboru je zpracování výsledků, které jsou shrnuty do přehledných tabulek a grafů. Je zde snaha zobrazit všechny základní informace, které by management mohl užít při aktivním rozhodování a vykazování zajišťovacích obchodů. Soubor je stejně jako v předchozích příkladech rozdělen do několika listů:

- ❖ **CF + plánovací kolo**
  - V tomto listu jsou zobrazeny výsledky celkového cash flow pro všechny sledované situace ze souboru „cash\_flow.xlsx“. Důležitou informací tvoří souhrnná tabulka ročních rozpočtových kurzů, resp. cen komodit, pomocí kterých je vypočítán celkový rozpočet.
- ❖ **zpracování informací**
  - Tento list slouží pouze k převádění informací mezi uživatelským rozhraním a samotným vstupem do ostatních souborů.
- ❖ **řídící list**
  - Jelikož je tento list zároveň hlavním uživatelským rozhraním, bude probrán v následující kapitole 10.3. Tento list je spolu s aktivním propojením hypertextových odkazů dostačující k obsluze celého modelu.
- ❖ **nastavení dozajištění**
  - Zde je uživatelem nastaveno požadované dodatečné zajištění za aktuálních tržních kurzů, resp. cen komodit. K zadání požadovaných objemů nových zajišťovacích obchodů slouží buňky označené oranžově.
- ❖ **nastavení parametrů**
  - V tomto listu jsou voleny vstupní parametry modelových distribučních funkcí rizikových faktorů. Parametry jsou vybírány z přehledné tabulky, která obsahuje nalezené kombinace modelových středních hodnot, modelových směrodatných odchylek, případně modelového korelačního koeficientu (viz kapitoly 6, 7).
- ❖ **analýza celkového cash flow**
  - Tento list obsahuje vypočítané ukazatele celkového cash flow a rozdíly mezi zkoumanými případy zajištění. Získané výsledky se promítají do řídicího listu, kde jsou interpretovány. Pomocí nich jsou dále provedeny závěry o výhodnosti zajištění. Vysvětlení jednotlivých hodnot a možná interpretace bude ukázána v kapitole 10.4.
- ❖ **histogramy**
  - Zde je pomocí histogramů provedeno grafické srovnání všech tří pohledů na cash flow (nezajištěné, při aktuálním zajištění a s požadovaným dozajištěním).
- ❖ **grafy vývoje**
  - V tomto listu je ukázán očekávaný vývoj rizikových faktorů na základě modelových parametrů. V grafech jsou zobrazeny aktuální tržní forwardové kurzy, resp. ceny, rozpočtové hodnoty, 90% pásy spolehlivosti a historie daného rizikového faktoru.
- ❖ **2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016**
  - V těchto listech je zpracován detail všech zkoumaných situací cash flow z výpočetního i grafického hlediska. Obsahuje stejné ukazatele jako

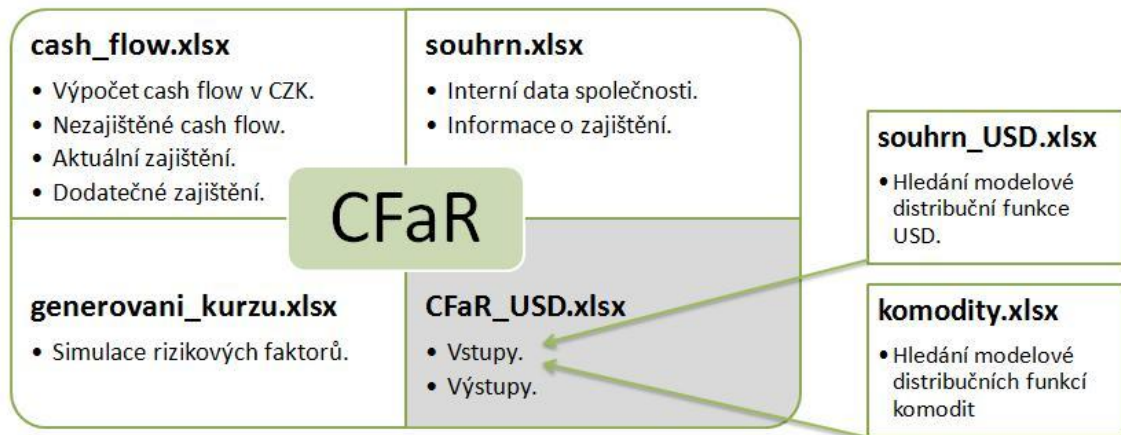


v případě „analýzy celkového cash flow“ spolu s histogramy modelových cash flow.

❖ **Distribuční funkce**

- Ze statistického hlediska je často přehlednější srovnání distribučních funkcí než histogramů. Proto je v práci tato skutečnost také zohledněna a je provedeno srovnání distribučních funkcí právě v tomto listu.

Nyní jsme popsali všechny dílčí soubory a jejich funkce. V názorném obrázku lze vidět propojení informací mezi jednotlivými soubory a jejich využití.



Obrázek 29: Schéma propojení excelových souborů v modelu Cash Flow at Risk pro vybranou měnu USD.

Již bylo zmíněno, že základní uživatelská obsluha modelu je prováděna prostřednictvím souboru „CFaR\_USD“. Pro ostatní měny bude soubor pojmenován analogicky dle měnové zkratky na konci („CFaR\_AUD“, „CFaR\_EUR“, ...). V následující kapitole bude ukázáno uživatelské prostředí, obsluha programu, zadávání vstupních parametrů a interpretace získaných výsledků.

### 10.3 Uživatelské rozhraní

Každý program, který je určitým způsobem obsluhován společnostmi, by měl obsahovat prostředí, které je v přehledné formě a umožňuje ovládat program s plnou funkcí. Mnoho softwarů nazývá toto prostředí uživatelským rozhraním, proto je v práci použit právě tento výraz. Naším uživatelským rozhraním je „řídící list“ v souboru „CFaR\_USD.xlsx“, který splňuje požadavky kladené společností ŠKODA AUTO a.s. Tento list se primárně skládá ze dvou částí, tj. vstupů a výstupů. Pomocí hypertextových odkazů je řídící list odkazován na další listy, případně jiné soubory. Ukázka vstupní části uživatelského rozhraní je znázorněna v následujícím obrázku.

Analýza Cash Flow at Risk					
Vstupy:					
Nastavení modelu:	Zvolení parametrů:	<a href="#">USD</a>	<a href="#">Hliník</a>	<a href="#">Měď</a>	<a href="#">Olovo</a>
	Dodatečného zajištění:	<a href="#">USD</a>	<a href="#">Komodity</a>		
	Změna plánovacího kola:	<a href="#">Kurzy měn</a>	<a href="#">Ceny komodit</a>		
	Doplnění historického kurzu:	<a href="#">USD</a>	<a href="#">Hliník</a>	<a href="#">Měď</a>	<a href="#">Olovo</a>
	Diskontování:	<a href="#">Diskontování</a>			
Přehledy:	Vývoje rizikových faktorů:	<a href="#">USD</a>	<a href="#">Měď</a>	<a href="#">Hliník</a>	<a href="#">Olovo</a>

Tabulka 22: Ukázka uživatelského rozhraní pro souhrn vstupních požadavků. Jednotlivé nastavení probíhá v jiných listech, které jsou pomocí hypertextových odkazů propojeny na tento přehledný soubor.

Z tabulky lze vidět, že jsou vstupy rozděleny do dvou oblastí. První částí je „Nastavení modelu“, která slouží k nastavení vstupních modelových parametrů zkoumaných rizikových faktorů. Druhou složku tvoří přehled vývoje faktorů při zadaných vstupních parametrech. V první řadě se nastavují parametry simulovaných veličin, tj. parametry zkoumané měny a jednotlivých komodit. V případě požadavku nastavení modelových parametrů distribuční funkce USD je potřeba potvrdit hypertextový odkaz (v tabulce 22 označeno červeně), který automaticky změní uživatelské prostředí do listu „nastavení parametrů“, kde jsou zvoleny požadované parametry na základě subjektivního posouzení. V následující kapitole je ukázáno prostředí volby parametrů pro vzorovou měnu USD.

### 10.3.1 Výběr parametrů

Při zvolení hypertextového odkazu pro nastavení modelových parametrů je zobrazena tabulka v listu „nastavení parametrů“, kde uživatel vkládá vstupní parametry požadovaného rizikového faktoru spolu s aktuální hodnotou spotového kurzu a data. V případě změny aktuálního kurzu musí být doplněny historické kurzy. Buňky označené oranžově jsou volně přístupné pro úpravy. Tento list obsahuje dva hypertextové odkazy, přičemž první vrací obsluhu programu opět na „řídící list“ (hlavní uživatelské rozhraní). Druhý odkaz znázorňuje grafický vývoj rizikového faktoru při zvolených vstupních parametrech. Prostor pro nastavení parametrů je zobrazeno v následující tabulce.

Nastavení parametrů:	
<a href="#">Zpět na řídící list</a>	
<a href="#">Grafy vývoje rizikového faktoru dle zadaných parametrů</a>	
počítané parametry USD	
střední hodnota	0,9973
směrodatná odchylka	0,0478
spotový kurz	18,75
datum	1. 1. 2011

Tabulka 23: Tabulka pro nastavení modelových parametrů distribuční funkce relativních změn kurzu USD a aktuálního spotového kurzu.

Z šesté kapitoly víme, že bylo nalezeno několik různých modelových distribučních funkcí, které lze použít pro vstup rizikového faktoru. V sedmé kapitole jsme analogicky získali různé kombinace parametrů distribuční funkce relativních změn komodit, které mají stejnou strukturu nastavení vstupních parametrů jako v případě měn. Získané výsledky jsou vždy v souhrnné tabulce, z které jsou vybrány modelové hodnoty. Pro zadání vstupních parametrů je zapotřebí rozhodnout, která kombinace statistických výsledků je vhodná pro aktuální sledované období. Tato fáze bude zohledňovat subjektivní názor uživatele. Existují různé teorie pro volbu těchto parametrů, např. že devizový kurz se bude vyvíjet stejným směrem jako aktuální forwardová křivka či bude předpokládat stejný charakter dat jako v předchozích obdobích. Velmi často se však využívá pohledu, který neočekává růst ani pokles kurzu ve sledovaném období. Tato varianta je v práci uvažována jako speciální případ distribuční funkce se střední hodnotou 1. V následující tabulce je ukázán souhrn zpracovaných výsledků pro vzorový příklad USD.

Odhadnuté parametry MATLAB pro USD		3 roky	6 let
distr. fce s nejvyšší p-hodnotou	střední hodnota	0,997	0,993
	směrodatná odchylka	0,048	0,032
distr. fce se střední hodnotou 1	střední hodnota	1,000	1,000
	směrodatná odchylka	0,054	0,045
parametrický odhad	střední hodnota	1,003	0,998
	směrodatná odchylka	0,047	0,037

Tabulka 24: Souhrn parametrů modelových distribučních funkcí USD.

Z tabulky jsou vidět velké rozdíly mezi jednotlivými modelovými parametry, proto bychom měli být opatrní při volbě tohoto vstupu (jak již bylo ukázáno v kapitole 6). Jelikož je výpočet parametrů distribuční funkce prováděn v historickém období do data 1. 1. 2011, můžeme provést srovnání jednotlivých přístupů na základě reálných dat. V následující kapitole se tedy budeme zabývat rozdíly odhadnutých modelových parametrů se skutečnými měsíčními kurzy z ČNB.

### 10.3.2 Porovnání s historickým obdobím

Abychom ukázali vhodnost použití jednotlivých odhadů modelových parametrů, jsou testovány střední hodnoty simulovaných parametrů se skutečnými historickými kurzy. Toto porovnání je prováděno stejně jako v předchozím případě pomocí reziduálního součtu čtverců (RSS). Jelikož v práci provádíme analýzu modelu vztahenou k datu 1. 1. 2011, máme k dispozici reálnou časovou řadu šestnácti měsíců (leden 2011, ..., duben 2012), pro kterou lze vypočítat RSS pro všechny modelové parametry. V následující tabulce jsou vypočítané tyto hodnoty pro všechny měny.

<b>Souhrnná analýza reálných kurzu s modelovými parametry za období 1. 1. 2011 - 31. 4. 2012</b>						
<b>Období</b>	<b>3 roky</b>			<b>6 let</b>		
<b>Vstupní parametry</b>	distr. fce s nejvyšší p-hodnotou	param. odhad	střední hodnota=1	distr. fce s nejvyšší p-hodnotou	param. odhad	střední hodnota=1
AUD	18,90	16,88	16,13	48,56	35,95	16,13
DKK	0,33	0,15	0,10	0,13	0,09	0,10
EUR	14,90	7,59	5,37	5,39	4,86	5,37
GBP	40,34	53,17	20,51	51,07	42,55	20,51
CHF	19,89	11,62	12,31	16,85	20,58	12,31
JPY	2,89	19,74	12,76	90,29	183,94	12,76
NOK	0,32	0,19	0,12	0,61	0,13	0,12
PLN	1,94	1,20	2,42	2,04	0,68	2,42
100 RUB	168,83	139,80	52,15	235,94	149,50	52,15
SEK	0,13	0,12	0,10	0,11	0,11	0,10
USD	33,00	20,47	22,21	20,81	33,61	22,21
<b>Celková suma</b>	<b>301,5</b>	<b>270,9</b>	<b>144,2</b>	<b>471,8</b>	<b>472,0</b>	<b>144,2</b>

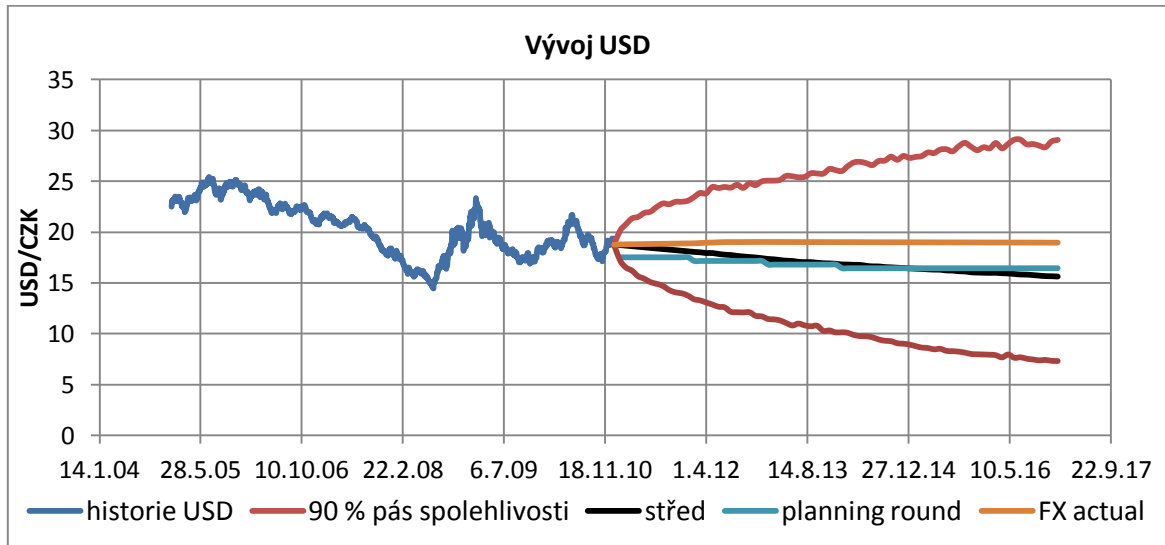
Tabulka 25: Výpočet RSS reálných kurzů v porovnání se středními hodnotami jednotlivých měn při zadaných parametrech modelových distribučních funkcí.

V tabulce je vidět, že v případě zadání různých modelových parametrů dostáváme odlišné výsledky RSS. Je zajímavé, že modelová distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou vychází ve většině případů z hlediska RSS nejhůře. Naopak distribuční funkce se střední hodnotou 1 je ve většině případů charakterizována nejnižším RSS. Tato skutečnost ukazuje, že nalezené distribuční funkce z historických období nemusí být vždy vhodnými kandidáty pro vstupní parametry modelu. Řada ekonomů poukazuje na to, že právě spotový kurz je nejvhodnějším odhadem budoucího kurzu. Tato myšlenka je reprezentována distribuční funkcí se střední hodnotou 1. Na vzorovém příkladě jsme ukázali, že tento názor ve skutečnosti může zastávat vhodný výběr vstupních parametrů, nicméně je nutno podotknout, že při analýze jiného období lze získat odlišné výsledky. Volba parametrů je však závislá na subjektivním názoru uživatele. Pokud uživatel nemá žádnou představu možném vývoji kurzu, je doporučováno použít vstupní parametry reprezentované distribuční funkcí se střední hodnotou 1. Tento fakt lze podpořit na základě vzorového příkladu a expertních názorů ekonomů.

### 10.3.3 Přehled vývoje rizikových faktorů

Při zadání vstupních parametrů je důležité ukázat, jak bude vypadat vývoj kurzu za zvolených podmínek. Grafické znázornění přehledně ukazuje zkoumaný vývoj faktorů dle zadaných vstupních parametrů. Na základě obrázku tohoto vývoje lze potvrdit subjektivní očekávání uživatele při zadaných parametrech. V grafickém přehledu je ukázána historie faktoru, 90% pás spolehlivosti výskytu faktoru, střední hodnota faktoru v každém období (střed), dále je v přehledu zobrazeno očekávání managementu pomocí rozpočtových kurzů či cen komodit (planning round). Důležitou složku tvoří aktuální forwardová křivka (FX actual), která ukazuje kurzy měny, resp. ceny komodity, jež jsou

dostupné na trhu pro účely zajištění. V následujícím obrázku je ukázán vzorový příklad vývoje kurzu USD.



Obrázek 30: Přehled vývoje kurzu USD při zadaných vstupních parametrech. V grafu je ukázán také rozpočtový kurz (planning round) a aktuální tržní forwardová křivka (FX actual). Pro názorný obrázek byly použity parametry z modelové distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou pro tříleté období.

Na základě obrázku 30 lze posoudit výhodnost sjednání nových forwardových obchodů vzhledem k vývoji, který je určen vstupními parametry. V případě, že aktuální tržní forwardová křivka (FX actual) dosahuje vyšších hodnot než očekávaná střední hodnota vývoje kurzu (střed), je vhodné provést nové zajišťovací obchody<sup>27</sup>. Tato skutečnost platí pouze za podmínky dobře zvolených vstupních parametrů. Rozpočtové kurzy zde působí pouze pro informaci, nicméně ve společnosti platí nepsané pravidlo, že jsou zajišťovány pouze obchody, které jsou s výhodnějším kurzem než je ten rozpočtový. Nyní přejdeme k samotnému nastavení případných dodatečných zajišťovacích obchodů.

### 10.3.4 Dodatečné zajištění

Jelikož společnost ŠKODA AUTO a.s. sjednává pravidelné zajišťovací obchody z důvodu snížení rizikové pozice očekávaného cash flow, je v modelu uvažováno hypotetické sjednání nových forwardových obchodů za aktuální tržní kurzy, resp. ceny komodit. Tyto sjednané obchody vstupují do modelu s cílem přinést společnosti zmíněné snížení rizika ztráty a zvýšení očekávané střední hodnoty cash flow za očekávané období.

Objemy dodatečných zajišťovacích obchodů jsou nastaveny uživatelem, přičemž jak bylo zmíněno v kapitole 9.4, nemělo by celkové zajištění přesáhnout 80 % z důvodu dohody banky se společností. Uživatelské prostředí nastavení zajištění je opět propojeno hypertextovým odkazem s řídicím listem a je zobrazeno v následující tabulce. Zde jsou

<sup>27</sup> Toto tvrzení platí jen pro prodejní forwardové obchody, kde se snažíme získat co nejvyšší kurz. V případě nákupních forwardů je situace obráceně.

zobrazeny základní informace o zkoumané zahraniční expozici, aktuálním zajištění a dostupné forwardové kurzy. Stejně jako v případě ostatních nastavení mění uživatel pouze oranžové buňky s celkovými objemy požadované zajištěné částky, tj. hodnota dodatečného zajištění se rovná součtu aktuálního a nově sjednaného zajištění.

<b>Nastavení dodatečného zajištění (v mil.USD):</b>								
<a href="#">Zpět na řídicí list</a>								
<b>SUMMARY</b>	datum	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	...	
	saldo	32,5	20,9	26,9	26,8	20,5	...	
<b>USD</b>	<b>aktuální zajištění</b>	prodejní forwardy	17,3	16,1	19,0	16,0	16,8	...
		nákupní forwardy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
		celkové forwardy	17,3	16,1	19,0	16,0	16,8	...
		celkové zajištění	53%	77%	70%	60%	82%	...
	<b>dodatečné zajištění</b>	prodejní forwardy	22,8	16,1	19,0	16,0	16,8	...
		nákupní forwardy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
		celkové forwardy	22,8	16,1	19,0	16,0	16,8	...
		celkové zajištění	70%	77%	70%	60%	82%	...
<b>FX</b>	FX sell_actual	18,77	18,77	18,78	18,79	18,79	...	
	FX buy_actual	18,67	18,67	18,67	18,68	18,68	...	

Tabulka 26: Souhrnná tabulka, kde se nastavuje dodatečné zajištění při známých informacích o zahraniční expozici a aktuálním zajištění.

V tabulce 26 je vidět přehled aktuálního zajištění a požadovaného dodatečného zajištění v jednotlivých měsících. Oranžové buňky lze měnit na základě požadavků oddělení Treasury. Jako příklad je uvedeno zvýšení požadovaného zajištění v prvním měsíci z 53 % na 70 % při změně objemu z 17,3 mil. USD na 22,8 mil.USD. V následující kapitole budou vysvětleny další možnosti úprav vstupního nastavení.

### 10.3.5 Změna plánovacího kola

Další možnost nastavení vstupních parametrů reprezentuje změna plánovacího kola, tj. rozpočtové kurzy měn, případně rozpočtové ceny komodit. Tento případ nastává vždy jednou ročně po domluvě managementu. V práci nebude ukázán tento přehled z důvodu důvěrnosti dat.

### 10.3.6 Doplnění historického kurzu a změna diskontování

V případě, že analyzujeme období, které je rozdělené současným datem na minulé a budoucí peněžní toky, je nutné doplnit do modelu měsíční historické kurzy, které jsou použity pro výpočet otevřené pozice minulých zahraničních expozic. V řídicím listu je opět funkční hypertextový odkaz, který uživateli zobrazí prostředí, kde je možné vkládat historické kurzy do vyznačených oranžových buněk. V tabulce je zobrazen příklad

rozhraní, které se nachází v listu „USD“ v souboru „generovani\_kurzu.xlsx“, pro doplnění historických kurzů. Historický kurz se doplňuje v případě, že je datum nastaveno na jinou než startovací pozici.

<b>střední hodnota</b>	0,997	<b>StD</b>	0,048	<b>datum</b>	1. 4. 2011	<b>spot</b>	17,34
------------------------	-------	------------	-------	--------------	------------	-------------	-------

historicky kurz	18,31	17,79	17,43						...
měsíc.rok	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11	8.11	...

Tabulka 27: Nastavení historických kurzů podle data, od kterého se provádí simulace kurzu USD spolu s vstupními modelovými parametry.

V tabulce 27 je vidět doplnění tří měsíčních historických kurzů. Vstupní hodnoty prováděné analýzy jsou nastaveny s datem 1. 4. 2011 a spotovým kurzem 17,34. Od čtvrtého měsíce je následně prováděna simulace zkoumaného rizikového faktoru.

Při zadání historických kurzů je nutné změnit diskontní faktor pro přepočítání současné hodnoty peněz. Změna přepočtu diskontního faktoru je nastavována pomocí změny měsíců. Výpočet je prováděn pomocí výnosové křivky, která je dostupná na trhu. Výnosová křivka je propojena s aktivní databází SAP. Uživatelem jsou nastaveny pouze měsíce od analyzovaného data, které jsou použity pro diskontování, resp. úročení jednotlivých toků. V následující tabulce jsou nastaveny měsíce pro předchozí příklad analýzy cash flow (1. 4. 2011).

<b>diskontní faktor:</b>	1,0005	1,0002	1	0,9998	0,9995	...
měsíc.rok	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	...
měsíce	-2	-1	0	1	2	...

Tabulka 28: Nastavení měsíců po přidání nových historických kurzů pro účely diskontování, resp. úročení peněžních toků.

V tabulce 28 je již provedená změna měsíců na základě nového analyzovaného data 1. 4. 2011. Diskontní faktor se automaticky přepočítává pomocí aktualizované výnosové křivky a zadaných hodnot měsíců od zvoleného data. Záporné hodnoty měsíců (1.11 a 2.11) značí minulé hodnoty, v tomto případě dochází k úročení, nikoliv k diskontování peněžních toků.

Nyní jsme dokončili popis jednotlivých vstupů a přejdeme k nasimulovaným výstupům modelu.

## 10.4 Výstupy

Celkový model je navržen pro zkoumání cash flow na základě vstupních rizikových parametrů, které dané peněžní toky ovlivňují. Aby byl model schopen analyzovat cash flow a riziko spojené s náhodným vývojem tržních faktorů, potřebuje zpracovávat získané výsledky v požadovaných ukazatelích. Hlavním cílem tohoto modelu je zjištění účinnosti aktuálního zajištění i hypotetického dodatečného zajištění. Jednou z funkcí oddělení Treasury je reporting stávající situace peněžních toků. Pomocí zpracovaného modelu lze vykazovat tyto požadované ukazatele. Získané výsledky jsou vyjadřovány v grafické i numerické formě, přičemž jednotlivé výstupy jsou zvoleny na základě požadavku managementu. Důležitou složkou modelu je také rozpočet, který představuje očekávání společnosti. Proto je ve výstupech často požadováno srovnání modelových výpočtů s hodnotami rozpočtu.

Výstupy jsou zpracovány pro různé časové období. Základní pohled na výsledky je zaměřen na hodnocení celkového cash flow za celé analyzované období, tj. 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016. Výsledky tohoto období budou ukázány na vzorových příkladech. Společnost ŠKODA AUTO a.s. dále požaduje detailnější časovou analýzu po rocích z důvodu používaných ročních analýz pro různé reporty.

### 10.4.1 Numerické vyjádření výsledného cash flow

Nejprve musíme nadefinovat jednotlivé požadované ukazatele, abychom byli schopni interpretovat získané výsledky. Výpočet jednotlivých ukazatelů je prováděn na základě statistických výpočtů simulovaného výsledného cash flow. Je potřeba zdůraznit, že veškeré výpočty jsou založeny na simulacích, které se při každém přepočtu mění, takže veškeré získané výsledky popsané v práci je vyjádření pouze určité simulace, která se již nemusí opakovat. Nicméně z důvodu značného počtu scénářů očekáváme podobný charakter výstupních dat i v dalších simulacích.

Nyní budou ukázány vztahy zkoumaných ukazatelů, které slouží k popisu modelového cash flow. Prvním reprezentantem je 90% rozpětí (bylo zvoleno rozpětí, které je symetrické z hlediska pravděpodobnosti) a je počítáno dle následujícího vztahu:

$$90\% \text{ rozpětí} = (CF_{0,05}; CF_{0,95}), \quad (10.1)$$

kde  $CF_{0,05}$  značí 5% kvantil a  $CF_{0,95}$  je 95% kvantil simulovaného rozdělení cash flow.

Střední hodnota ( $CF_{očekávané}$ ) je aritmetický průměr simulovaného vektoru zkoumaného zajištění.

Rozpočet ( $R$ ) vyjadřuje současnou hodnotu očekávaných peněžních toků při definovaných rozpočtových kurzech z plánovacího kola stanovených managementem.



Výpočet velikosti rizika v podobě Cash Flow at Risk (*CFaR*) je stanovený vztahem:

$$CFaR = CF_{očekávané} - CF_{0,05} \quad (10.2)$$

Výnos očekávané střední hodnoty vůči rozpočtu (*ZOCF*) je počítán pomocí vztahu:

$$ZOCF = \frac{CF_{očekávané}}{R} - 1, \quad (10.3)$$

kde

$CF_{očekávané}$  je očekávaná střední hodnota cash flow pro jednotlivé případy,  $R$  značí rozpočtové cash flow.

Snížení měnového rizika (*SMR*) je nadefinováno pomocí vztahu:

$$SMR = \frac{CFaR_{t_1}}{CFaR_{t_0}}, \quad (10.4)$$

kde

$CFaR_{t_1}$  značí rizikovou pozici cash flow po provedení zajištění,  $CFaR_{t_0}$  vyjadřuje rizikovou pozici před zajištěním, resp. dodatečným zajištěním.

Zvýšení očekávané střední hodnoty (*ZOCF*) je vyjádřeno pomocí rovnosti:

$$ZOCF = \frac{CF_{očekávané t_1}}{CF_{očekávané t_0}} - 1, \quad (10.5)$$

kde

$CF_{očekávané t_1}$  značí očekávanou střední hodnotu simulovaných toků po provedení zajištění,  $CF_{očekávané t_0}$  vyjadřuje očekávanou střední hodnotu toků před zajištěním, resp. dodatečným zajištěním.

Plán zajištění je pouze informace, která je stanovená na základě dohody managementu.

Posledním požadovaným ukazatelem je procentní vyjádření skutečného zajištění (*SZ*), které je vypočítáno na základě zajišťovaných objemů. Jelikož je zkoumaný vztah také závislý na cenách sjednaných obchodů komodit, budeme využívat různé vztahy pro aktuální zajištění ( $SZ_A$ ) i dodatečné zajištění ( $SZ_D$ ):

$$SZ_A = \frac{\sum_{t=t_0}^m H_{At}^{FX}}{\sum_{t=t_0}^m (S_t - H_{At}^{AL} \cdot AC_t^{AL} - H_{At}^{CU} \cdot AC_t^{CU} - H_{At}^{PB} \cdot AC_t^{PB})}, \quad (10.6)$$

kde

$H_{At}^{FX}, H_{At}^{AL}, H_{At}^{CU}, H_{At}^{PB}$  vyjadřují objemy<sup>28</sup> sjednaných forwardů měny, hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$AC_t^{AL}, AC_t^{CU}, AC_t^{PB}$  vyjadřují průměrné kurzy, resp. ceny zajištěných forwardů komodit.

$S_t$  vyjadřuje měnové saldo v období  $t$ .

U dodatečného zajištění je skutečné zajištění vyjádřeno vztahem:

$$SZ_D = \frac{\sum_{t=t_0}^m (H_{At}^{FX} + H_{Dt}^{FX})}{\sum_{t=t_0}^m (S_t - H_A^{kom} - H_{Dt}^{AL} \cdot FC_t^{AL} - H_{Dt}^{CU} \cdot FC_t^{CU} - H_{Dt}^{PB} \cdot FC_t^{PB})}, \quad (10.7)$$

kde

$H_A^{kom}$  je zajištěná expozice komodit  $H_A^{kom} = H_t^{AL} \cdot AC_t^{AL} - H_t^{CU} \cdot AC_t^{CU} - H_t^{PB} \cdot AC_t^{PB}$ .

$H_{Dt}^{FX}, H_{Dt}^{AL}, H_{Dt}^{CU}, H_{Dt}^{PB}$  značí objemy dodatečně sjednaných forwardů měny, hliníku, mědi a olova v čase  $t$ ,

$FC_t^{AL}, FC_t^{CU}, FC_t^{PB}$  vyjadřují aktuální tržní kurzy, resp. ceny zajištěných forwardů komodit.

Nyní jsme nadefinovali jednotlivé ukazatele, které jsou použity v analýzách a reportingu cash flow. Základním výstupem zpracovaného modelu je tabulka s výpočty ukazatelů celkového simulovaného cash flow pro všechna tři sledovaná období pro celkové šestileté období.

Souhrn celého období 1. 1. 2011 - 31. 12. 2016			
požadované ukazatele	Nezajištěné CF	Aktuální zajištění	Dodatečné zajištění
90% rozpětí [mil. CZK]	20 934	25 470	30 187
	49 517	46 329	42 953
střední hodnota [mil. CZK]	33 405	34 496	35 797
Rozpočet [mil. CZK]	32 819	32 819	32 819
CFaR [mil. CZK]	12 471	9 027	5 610
výnos očekávané střední hodnoty vůči rozpočtu	1,78%	5,11%	9,07%
snížení rizika		27,62%	37,85%
zvýšení očekávané střední hodnoty CF		3,27%	3,77%
plán zajištění		30,00%	50,00%
skutečně zajištěno		30,41%	53,55%

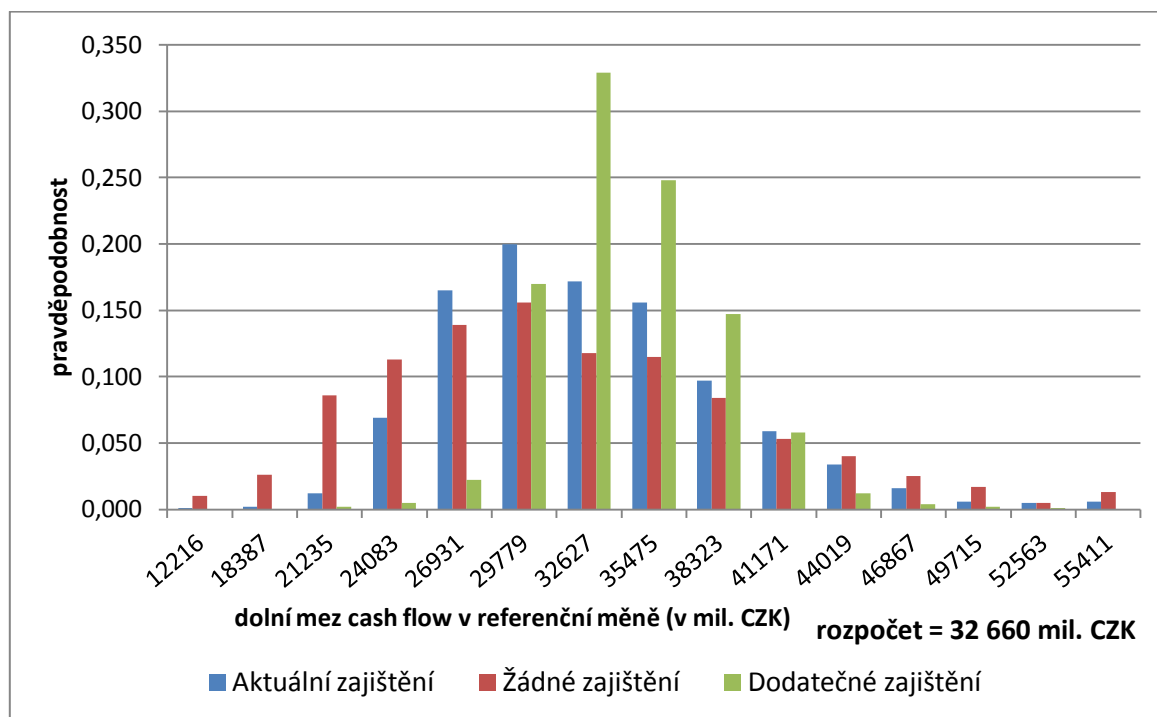
Tabulka 29: Souhrn výsledků požadovaných ukazatelů pro zkoumané varianty zajištění v období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016.

<sup>28</sup> V případě prolongací jsou tyto objemy rovny rozdílu prodejných a nákupních forwardů.

Z tabulky 29 jsou vidět rozdíly jednotlivých výsledků pro různé situace zajištěného cash flow. S devadesáti procentní pravděpodobností se při aktuálním zajištění bude výsledné cash flow pohybovat mezi hodnotami 25 470 – 46 329 mil. CZK. Hlavní ukazatel je zkoumaná velikost rizika v podobě *CFaR*, který ve vzorovém příkladě při aktuálním zajištění klesl na 9 027 mil. CZK z původního rizika 12 471 mil. CZK. Dodatečným zajištěním by hodnota *CFaR* klesla o dalších 37,85 % na hodnotu 5 610 mil. CZK. Z tabulky také vidíme zvýšení očekávané střední hodnoty díky zajištění prostřednictvím aktuálně sjednaných forwardových obchodů. Očekávaná střední hodnota je aktuálně 34 496 mil. CZK, přičemž je tato hodnota o 5,11 % vyšší než rozpočet, který byl stanoven managementem. Dodatečné zajištění zvýší očekávanou střední hodnotu o 3,77 % na hodnotu 35 797 mil. USD. Je tedy viditelné, že sjednáním nových forwardových obchodů dojde ke snížení rizikové pozice a zároveň zvýšení očekávaného zisku zkoumané zahraniční expozice. V tomto případě lze tvrdit, že uzavřením nových forwardových obchodů bude dosaženo požadovaných cílů, tj. snížení rizikové pozice a zároveň zvýšení očekávaného zisku společnosti.

#### 10.4.2 Grafické vyjádření výsledného cash flow

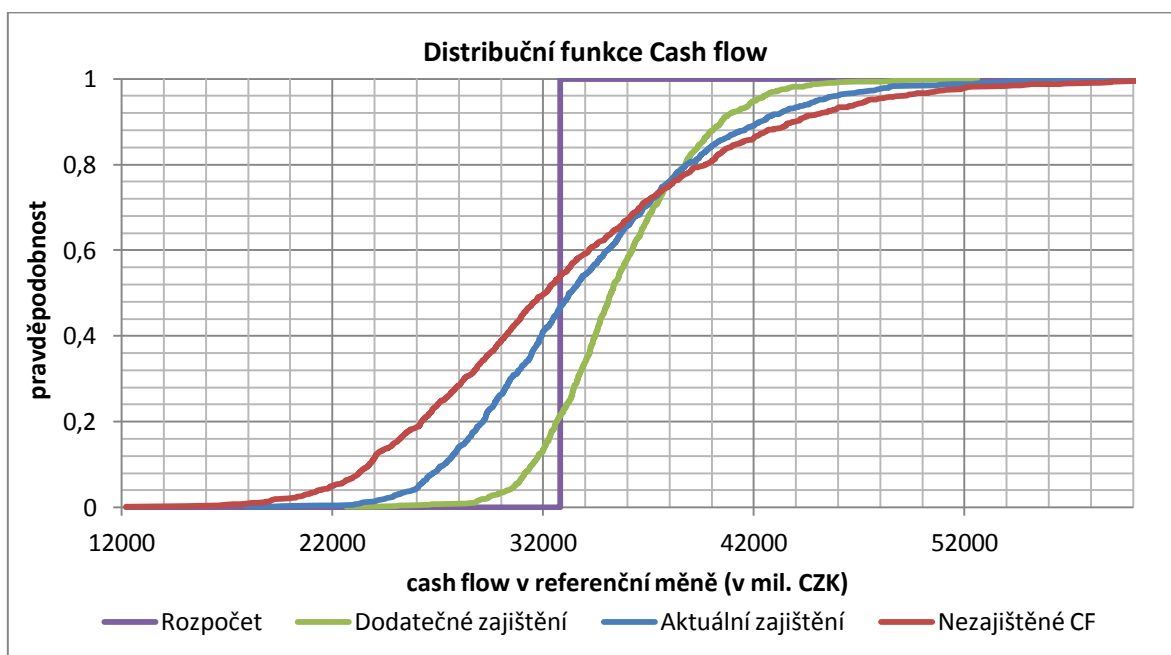
Dalším výstupem zpracovaného modelu je grafické vyjádření rozdělení cash flow pomocí histogramů. V následujícím obrázku jsou znázorněny všechny zkoumané možnosti zajištění v celém sledovaném šestiletém období.



Obrázek 31: Srovnání histogramů celkového cash flow pro zkoumané situace v období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016.

Z histogramů lze vidět rozdíly mezi jednotlivými situacemi zajištěných peněžních toků. Je zřejmé, že v případě dodatečného zajištění je viditelný nejmenší rozptyl zkoumaného

rozdělení. Naopak u nezajištěného cash flow je rozptyl největší. Z grafického znázornění nelze vyčíst přesné hodnoty naměřené v tabulce 28, nicméně graf je vhodný pro vytvoření představy o rozdělení jednotlivých peněžních toků na základě různých zajištění. Ze statistického hlediska je přehlednější srovnání jednotlivých případů pomocí distribučních funkcí, nicméně z důvodu požadavku společnosti ŠKODA AUTO a.s. jsou pro znázornění celkového rozdělení použity histogramy. Pro tuto práci je také zobrazeno srovnání pomocí distribučních funkcí.



Obrázek 32: Srovnání distribučních funkcí jednotlivých případů cash flow pro celé sledované období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016.

Z grafu distribučních funkcí jsou lépe čitelné velikosti kvantilů zkoumaných rozdělení než v grafech histogramů, které zobrazují pouze intervaly s určitou pravděpodobností. Stejně jako v předchozím případě jsou viditelné rozdíly v rozptylech. Další výhodnou informací zkoumaného grafu distribučních funkcí může být určení pravděpodobnosti, se kterou bude výsledné cash flow vyšší než hodnota rozpočtu (tu lze zjistit z průsečíku rozpočtové křivky s křivkou zkoumané situace zajištění).

### 10.4.3 Detailní znázornění po rocích

Jelikož je pro mnoho analýz požadováno roční vyjádření výstupních ukazatelů cash flow, je v práci zobrazeno také zpracování všech tří variant pro každý rok zkoumaného období. Nejprve je provedena analýza zastoupení rizika jednotlivých let v celkovém šestiletém období, dále jsou pro všechny roky vypočítány zmíněné ukazatele z kapitoly 10.4.1 a grafické znázornění rozdělení cash flow. Vyskytuje se zde nová míra, která vyjadřuje rozložení ročních rizik v celkovém plánovacím kole.

Tato míra je označována jako váha rizika v celém zajišťovaném období ( $VR_i$ ) a vypočítá se dle vztahu:

$$VR_i = \frac{CFaR_i}{\sum_{i=1}^n CFaR_i} \quad (10.8)$$

kde  $CFaR_i$  značí hodnotu Cash Flow at Risk v roce  $i$ , jednotlivé hodnoty  $i = 1, \dots, 6$  značí roky v plánovacím kole 2011, ..., 2016.

V následující tabulce je ukázáno toto rozložení rizika při aktuálním zajištění:

Zajištění a zastoupení rizika v jednotlivých letech při aktuálním zajištění						
jednotlivé roky	2011	1012	2013	2014	2015	2016
plán zajištění	65%	50%	50%	30%	10%	10%
skutečně zajištěno	68,44%	49,88%	49,57%	30,96%	10,21%	1,43%
snížení CFaR	71,75%	53,58%	52,20%	34,25%	10,63%	1,06%
váha snížení rizika z celého zajišťovaného období	15,05%	23,95%	25,86%	25,27%	8,95%	0,92%

Tabulka 30: Zastoupení rizik v jednotlivých letech při aktuálním zajištění za celé sledované období.

Z tabulky 30 lze vyzorovat zajímavou skutečnost, která ukazuje, že v případě vyššího zajištění nelze potvrdit vyšší váhu rizika z celého zajišťovacího období. Tento fakt je způsoben širšími pásy spolehlivosti v delším období než v kratším horizontu. Na základě získaných výsledků lze tvrdit, že zajištění v roce 2014 má vyšší váhu na snížení celkového rizika než rok 2011, kde je skutečně zajištěn větší objem.

V případě zkoumaného dodatečného zajištění získáváme následující výsledky:

Zajištění a zastoupení rizika v jednotlivých letech při dodatečném zajištění						
jednotlivé roky	2011	1012	2013	2014	2015	2016
plán zajištění	70%	50%	50%	50%	50%	50%
skutečně zajištěno	70,59%	52,26%	52,22%	51,67%	50,41%	50,00%
snížení CFaR	74,72%	57,34%	54,64%	55,99%	50,58%	48,98%
váha snížení rizika z celého zajišťovaného období	7,85%	13,61%	13,49%	21,51%	20,99%	22,57%

Tabulka 31: Zastoupení rizik v jednotlivých letech při dodatečném zajištění za celé sledované období.

Z tabulky 31 je viditelné snížení váhy rizika v prvních letech zkoumaného období z důvodu vyššího zajištění v dalších rocích. V obou tabulkách lze pozorovat, že ve většině případů dochází k vyššímu procentnímu snížení CFaR než je skutečně zajištěno.

V práci jsou pro každý rok analyzovány stejné ukazatele jako v případě šestiletého období zpracované v kapitolách 10.4.1 a 10.4.2. Aktivní odkazy na zpracované roky jsou umístěny v řídicím listu (viz obrázek 33).

Detailní rok
souhrn + histogramy
<a href="#">2011</a>
<a href="#">2012</a>
<a href="#">2013</a>
<a href="#">2014</a>
<a href="#">2015</a>
<a href="#">2016</a>

Obrázek 33: Odkazy na analýzu jednotlivých let umístěné ve výstupu řídicího listu.

Při spuštění odkazu prostřednictvím kliknutí myší je zobrazena tabulka výsledků požadovaných ukazatelů spolu s histogramy jednotlivých situací. Jako vzorový příklad je zobrazen rok 2012.

<a href="#">zpět na řídicí list</a>	žádné zajištění	aktuální zajištění	dozajištění
90% rozpětí [mil. CZK]	3 959	5 039	5 099
	7 537	6 683	6 643
střední hodnota [mil. CZK]	5 644	5 807	5 818
rozpočet [mil. CZK]	5 392	5 392	5 392
CFaR [mil. CZK]	1 684	767	719
snížení měnového rizika		54,44%	57,34%
zvýšení očekávané střední hodnoty		2,89%	0,18%
poměr střední hodnoty vůči rozpočtu		7,69%	7,89%
plán zajištění		50%	50%
skutečně zajištěno		49,88%	52,26%
váha snížení rizika z celého zajišťovaného období		24,60%	13,61%

Tabulka 32: Souhrn výsledků požadovaných ukazatelů pro zkoumané varianty zajištění v období 1. 1. 2012 – 31. 12. 2012.

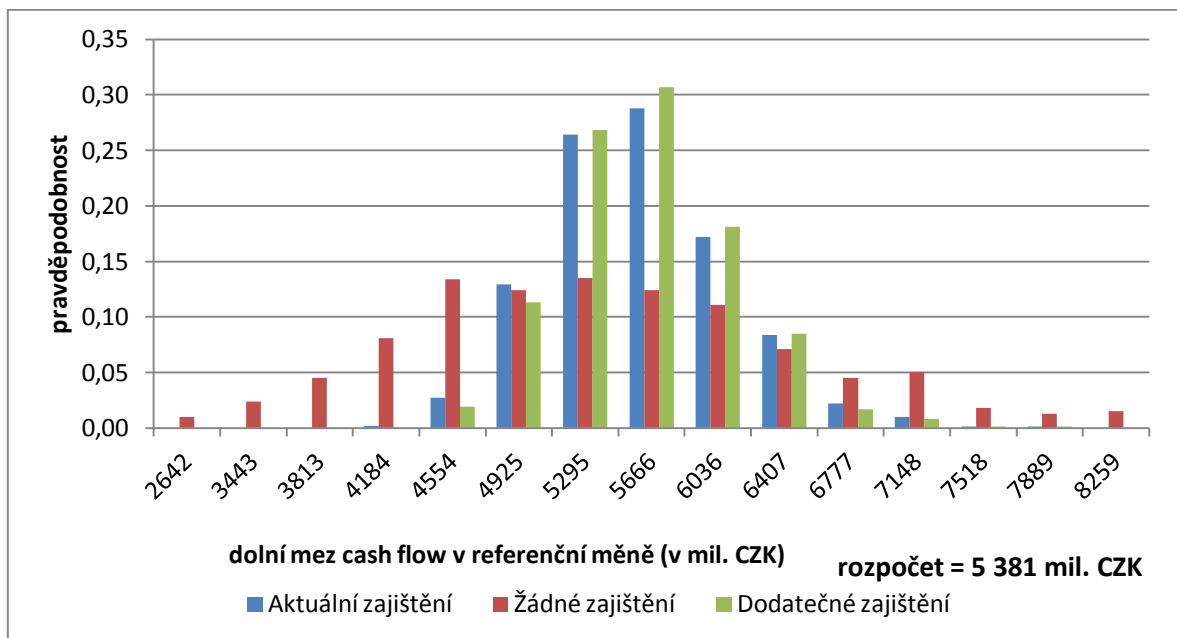
V tabulce 32 jsou zobrazeny numerické výsledky požadovaných parametrů pro rok 2012. Nyní bude probrána možná interpretace výsledků, která je podobná jako v případě celkového zkoumaného období. Při dokončení analýzy lze pomocí hypertextového odkazu opět přejít na řídicí list.

### Interpretace výsledků

Z nasimulovaných výsledků pro rok 2012 jsou vidět rozdíly jednotlivých výsledků pro různé situace zajištěného cash flow. S devadesáti procentní pravděpodobností se při aktuálním zajištění bude výsledné cash flow pohybovat mezi hodnotami 5 039 – 6 683 mil. CZK. Tento interval se značně zúžil díky sjednaným forwardům. Hlavní ukazatel snížení rizika je vyjádřen v podobě CFaR, který představuje riziko možné ztráty.

Při aktuálním zajištění tento ukazatel klesl o 54,44 % z 1 684 mil. CZK na hodnotu 767 mil. CZK. Očekávaná střední hodnota se prostřednictvím aktuálně sjednaných obchodů zvýšila o 2,89 % na hodnotu 5 807 mil. CZK. Tato hodnota převyšuje rozpočet o 7,69 %, přičemž hodnota rozpočtu je rovna 5 392 mil. CZK. Podle plánu zajištění již není příliš prostoru pro sjednání dalších forwardových obchodů, nicméně bylo provedeno dodatečné zajištění v měsících, kde nebylo zajištěno 50 %. Toto dodatečné zajištění nemá výrazný vliv na výsledky z důvodu nízkého objemu dodatečných obchodů, nicméně znovu došlo ke zvýšení střední hodnoty o 0,18 % a snížení ukazatele *CFaR* na hodnotu 719 mil. CZK. Při aktuálním zajištění tento rok snižoval celkové riziko z plánovacího kola o 24,40 %. Při dodatečném zajištění všech měsíců alespoň na 50 % však tato váha klesne na 13,61 %.

Celkové rozdělení cash flow lze pozorovat na následujícím obrázku zpracovaných histogramů:



Obrázek 34: Srovnání histogramů celkového cash flow pro zkoumané situace v období 1. 1. 2012 – 31. 12. 2012.

Z modelových histogramů lze pozorovat extrémy jednotlivých situací, přičemž je patrné snížení rizika prostřednictvím sjednaných forwardových obchodů. Jednotlivé intervaly cash flow nastávají s určitými pravděpodobnostmi a dávají přehledný obrázek o vývoji peněžních toků v roce 2012.

## 11 Závěr

Cílem diplomové práce bylo sestavení komplexního modelu pro zkoumání zajištění rizikové pozice na finančních trzích. Práce byla navržena na základě požadavku oddělení Treasury společnosti ŠKODA AUTO a.s. Hlavním důvodem tohoto požadavku byl nepropracovaný stávající model, který počítal pouze se skokovými scénáři změn měnových kurzů. Všechny měny měly uměle nastavenou maximální výchylku 15 % od spotového kurzu. Jelikož je tato nefinanční společnost založena na exportu v různých měnových expozicích, má zájem o vyjádření očekávaných peněžních toků ve všech sledovaných měnách. Zpracování modelu bylo požadováno u jedenácti měn, u kterých společnost provádí určitá zajištění. Jedná se o měny: australský dolar (AUD), dánská koruna (DKK), společná evropská měna ve členských zemích eurozóny (EUR), britská libra (GBP), švýcarský frank (CHF), japonský jen (JPY), norská koruna (NOK), polský zlotý (PLN), ruský rubl (RUB), švédská koruna (SEK) a americký dolar (USD).

První kapitoly byly věnovány popisu oddělení Treasury a základnímu pojetí rizika. Na základě těchto informací byly popsány rizikové činnosti spojené s prováděnými operacemi včetně nástrojů, které jsou používány k účelům zajištění peněžních toků. Před zpracováním samotného modelu byly ukázány různé metody popisující riziko a jejich aplikace v různých případech.

V další části práce byly popsány základní vlastnosti modelu, vstupní data a cíle celkového zpracování. Byl zde zobrazen postup výpočtu spolu s metodami použitými pro sestavení modelu. Základní kámen celého modelu byl nalezení rizikových faktorů, které ovlivňují zkoumané cash flow. Vybrané rizikové faktory byly analyzovány a na základě vzájemných vztahů bylo vypočítáno požadované cash flow v referenční měně. V práci byl kladen důraz na tržní rizika, přičemž simulovány byly pouze devizové kurzy a ceny komodit.

Pro simulaci devizových kurzů pomocí zvolené metody Monte Carlo bylo nutné najít modelové rozdělení tohoto rizikového faktoru na základě historických dat. Důkladná analýza těchto dat byla prováděna na měsíčních kurzech v obdobích 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010 a 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010. U všech zkoumaných měn bylo nalezeno několik modelových distribučních funkcí normálního rozdělení pomocí Kolmogorova-Smirnova testu. Nalezené parametry distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou ve většině případů upřednostňoval výpočet RSS, nicméně získaná střední hodnota vycházela často se silnou klesající nebo rostoucí tendencí. Pro vzorovou simulaci jednoho tisíce scénářů byly v práci zvoleny parametry distribuční funkce s nejvyšší p-hodnotou z tříletého období, nicméně zde je prostor pro subjektivní přístup uživatele. V případě neočekávaného růstu ani poklesu kurzu lze uměle nastavit střední hodnotu na velikost 1. Tato volba je doporučována, pokud uživatel nemá žádnou představu možném vývoji kurzu.



Analýza komodit byla prováděna stejným způsobem jako v případě devizových kurzů. Pomocí Kolmogorova-Smirnova testu byly nalezeny různé modelové parametry, přičemž většina z nich vykazovala silnou rostoucí tendenci. V případě pohybu cen komodit byla nalezena závislost na relativní změně kurzu USD. Simulace komodit tedy zohledňuje vývoj kurzu USD zadáním modelového korelačního koeficientu.

Úrokové míry byly v práci použity pouze pro určení časové hodnoty peněz, kde bylo pomocí výnosových křivek prováděno úročení či diskontování peněžních toků.

Výpočet cash flow byl prováděn na základě vzájemných vztahů vstupních faktorů pro tři různé situace zajištění (nezajištěné cash flow, aktuální zajištění a dodatečné zajištění). Na vzorovém příkladu expozice USD byly zobrazeny rozdíly v zajištění, přičemž byl ukázán pozitivní účinek zajištěných obchodů. Aktuální zajištění přináší zvýšení očekávané střední hodnoty a snížení rizikové pozice. V celém sledovaném období 1. 1. 2011 – 31. 12. 2016 se při stávajícím zajištění zvýšila očekávaná střední hodnota o 3,27 %, naopak velikost rizika *CFaR* klesla o 27,62 %. Dodatečným zajištěním došlo v modelu stejně jako v předchozím případě ke zvýšení očekávané střední hodnoty a snížení ukazatele *CFaR*.

Model byl zpracován pro všechny sledované měny jednotlivě. V některých výstupech se ukazuje, že na základě vstupních parametrů není vhodné provádět zajištění (například z důvodu klesající forwardové křivky či očekávanému růstu kurzu), nicméně ve většině případů dochází k pozitivnímu účinku. Analýza společného cash flow všech měn vyjádřené v referenční měně CZK v je velmi problematická kvůli vzájemným korelacím. Není proto v práci tento souhrnný model uvažován. Jako příklad lze uvést silnou závislost kurzu EUR/CZK s DKK/CZK.

Zpracování modelu jednotlivých měn bylo provedeno na základě požadovaných podmínek v softwaru přístupném pro zadávající společnost. Uživatel společnosti dokáže obsluhovat program pomocí zadaných parametrů a je schopen interpretovat získané výsledky. Zde je určitý prostor pro subjektivní přístup volby parametrů rizikových faktorů z různých historických intervalů. Díky výsledkům zpracovaného modelu je společnost schopna reportovat očekávané hodnoty a provádět dodatečné zajištění na základě očekávaných vývoju faktorů. V realitě se trh pohybuje velmi nevyzpytatelně a je velice složité předpovídat jeho budoucí vývoj. Proto musí být k veškerým modelům, popisujícím tento vývoj, přihlíženo s určitou mírou nejistoty.

**Seznam používaných zkratk**

ARCH.....	modely časových řad s podmíněným rozptylem
AUD.....	australský dolar
CFaR.....	Cash Flow at Risk
CZK.....	česká koruna
ČNB.....	česká národní banka
DKK.....	dánská koruna
EUR.....	společná evropská měna ve členských zemích eurozóny
FRA.....	forwardový úrokový kurz
FX kurz.....	forwardový měnový kurz
GBP.....	britská libra
CHF.....	švýcarský frank
JPY.....	japonský jen
NOK.....	norská koruna
PLN.....	polský zlotý
RSS.....	reziduální součet čtverců
SAP.....	systém podnikových aplikací ve společnosti
SEK.....	švédská koruna
StD.....	výběrová směrodatná odchylka
VaR.....	Value at Risk
T+2.....	režim, pro který proběhne vypořádání obchodu do dvou dnů
$N(\mu, \sigma^2)$ ....	normální rozdělení s parametry $\mu, \sigma^2$
$\mathbb{R}$ .....	množina reálných čísel
s.....	výběrová směrodatná odchylka
$\mu$ .....	modelová střední hodnota
$\sigma^2$ .....	modelový rozptyl
$\bar{x}$ .....	průměr

---

## Literatura

1. Bednařík, R. (2009). *Analýza volatility devizových kurzů vybraných ekonomik*. Ostrava: Ekonomická revue.
2. Česká národní banka. Získáno 22. 04 2012, z <http://cnb-ceska-narodni-banka.ic.cz/>
3. Česká národní banka (02. 02 2012). *Aktuální prognóza ČNB*. Získáno 02. 05 2012, z [http://www.cnb.cz/cs/menova\\_politika/prognoza/index.html#kurz](http://www.cnb.cz/cs/menova_politika/prognoza/index.html#kurz)
4. Cihelský, L. (2009). *K zjištění nejčtetnějších obměn hodnot numerického ukazatele*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze.
5. Cipra, T. (2005). *Praktický původce finanční a pojistnou matematikou*. Praha: Ekopress, s.r.o.
6. Cont, R. (2001). *Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues*. Palaiseau, France: Institute of Physics Publishing.
7. Forbelská, M. (2006). *Vlastnosti normálního rozdělení a odvozená rozdělení*. Získáno 01. 05 2012, z [http://www.math.muni.cz/~forbel/M3121/transformace\\_normal.pdf](http://www.math.muni.cz/~forbel/M3121/transformace_normal.pdf)
8. Friesl, M. (2004). *Pravděpodobnost a statistika hypertextově*. Plzeň. Získáno 02. 05 2012, z <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/tit.html>
9. Hlinica, J. (2009). *Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování*. Praha: Grada Publishing, a.s.
10. Jílek, J. (2000). *Finanční rizika*. Praha: Grada Publishing.
11. Jílek, J. (1997). *Finanční trhy*. Praha: Grada Publishing.
12. Hnilica, J. (2009). *Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování*. Praha: Grada Publishing, a.s.
13. Likeš J., Laga J. (1978). *Základní statistické tabulky*. Praha: SNTL.
14. Kurzweilová, J. (2008). *Treasury, Cash a Risk management*. Praha.
15. Liščinský, Z. (2008). *Jednorozměrné ARCH modely a jejich vybrané ekonomické aplikace*. Brno.
16. Marek, P. (2012). *Finanční matematika 2012 - Přednáška 4: Nepodmíněně termínované kontrakty*. Plzeň. Získáno 02. 05 2012, <http://home.zcu.cz/~patrke/WWW-KMA/FM/FM%2004%20-%20Forwardy%20a%20futures.pdf>
17. Menčík, J. (2003). *Simulační posuzování spolehlivosti při korelovaných veličinách. Spolehlivost konstrukcí*. Ostrava.

- 
18. Microsoft Office. (22. 04 2012). Získáno 22. 04 2012, z Microsoft Office, : <http://office.microsoft.com/cs-cz/excel-help/kurt-funkce-HP010342644.aspx?CTT=1>
  19. Příkryl, P. & Brantner, M. (2000). *Numerické metody 2*. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd.
  20. Průcha, L. (04. 03 2010). *Intervalové odhady parametrů rozdělení*. Získáno 08. 5. 2012, z <http://math.feld.cvut.cz/prucha/mstp/4pu.pdf>
  21. Reif, J. (2004). *Metody matematické statistiky*. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd
  22. Šedivá, B. (21. 02 2008). *Základní statistické zpracování dat*. Získáno 22. 04 2012, z <http://home.zcu.cz/~sediva/stav/kap01.pdf>
  23. Smejkal, V. K. (2003). *Řízení rizik*. Praha: Grada Publishing a.s.
  24. Štěpán, J. (1987). *Teorie pravděpodobnosti - Matematické základy*. Praha: Academia.
  25. Wiedemann, A. (2006). *Integrated Risk Managent with Cash Flow at Risk/Earning at Risk methods*. Získáno 30. 4 2012, z [http://www.risknet.de/uploads/tx\\_bxlibrary/Wiedemann-Cash-Flow-at-Risk.pdf](http://www.risknet.de/uploads/tx_bxlibrary/Wiedemann-Cash-Flow-at-Risk.pdf)

## Příloha 1

Tabulky pro Kolmogorův-Smirnovův test s modelovou distribuční funkcí s parametrickými odhady a modelovou distribuční funkcí se střední hodnotou 1 rozdělení  $N(1; \sigma_1)$ .

Testování distribučních funkcí pomocí Kolmogorova-Smirnova testu						
	6let			3 roky		
	kriterium	krit. hodnota	p-hodnota	kriterium	krit. hodnota	p-hodnota
<b>AUD</b>	0,16	0,06	1,00	0,23	0,10	1,00
<b>DKK</b>	0,16	0,12	0,57	0,23	0,11	0,95
<b>EUR</b>	0,16	0,11	0,68	0,23	0,09	0,94
<b>GBP</b>	0,16	0,07	0,98	0,23	0,12	1,00
<b>CHF</b>	0,16	0,12	0,56	0,23	0,09	0,97
<b>JPY</b>	0,16	0,15	0,28	0,23	0,13	0,88
<b>NOK</b>	0,16	0,10	0,81	0,23	0,16	1,00
<b>PLN</b>	0,16	0,07	0,96	0,23	0,14	1,00
<b>RUB</b>	0,16	0,07	0,99	0,23	0,11	1,00
<b>SEK</b>	0,16	0,10	0,81	0,23	0,07	1,00
<b>USD</b>	0,16	0,12	0,55	0,23	0,16	0,93

Tabulka 33: Porovnání kritických hodnot Kolmogorova-Smirnova testu a hodnot kritéria pro parametrický odhad.

Testování distribučních funkcí pomocí Kolmogorova-Smirnova testu						
	6let			3 roky		
	kriterium	krit. hodnota	p-hodnota	kriterium	krit. hodnota	p-hodnota
<b>AUD</b>	0,06	0,16	0,97	0,17	0,23	0,28
<b>DKK</b>	0,16	0,16	0,08	0,11	0,23	0,80
<b>EUR</b>	0,15	0,16	0,09	0,10	0,23	0,80
<b>GBP</b>	0,11	0,16	0,37	0,13	0,23	0,60
<b>CHF</b>	0,10	0,16	0,48	0,10	0,23	0,80
<b>JPY</b>	0,12	0,16	0,25	0,12	0,23	0,70
<b>NOK</b>	0,09	0,16	0,59	0,15	0,23	0,40
<b>PLN</b>	0,07	0,16	0,92	0,10	0,23	0,90
<b>RUB</b>	0,12	0,16	0,31	0,12	0,23	0,70
<b>SEK</b>	0,13	0,16	0,24	0,06	0,23	1,00
<b>USD</b>	0,11	0,16	0,42	0,12	0,23	0,70

Tabulka 34: Kolmogorův-Smirnovův test s modelovou distribuční funkcí rozdělení  $N(1; \sigma_1)$  pro obě zkoumaná období.

## Příloha 2

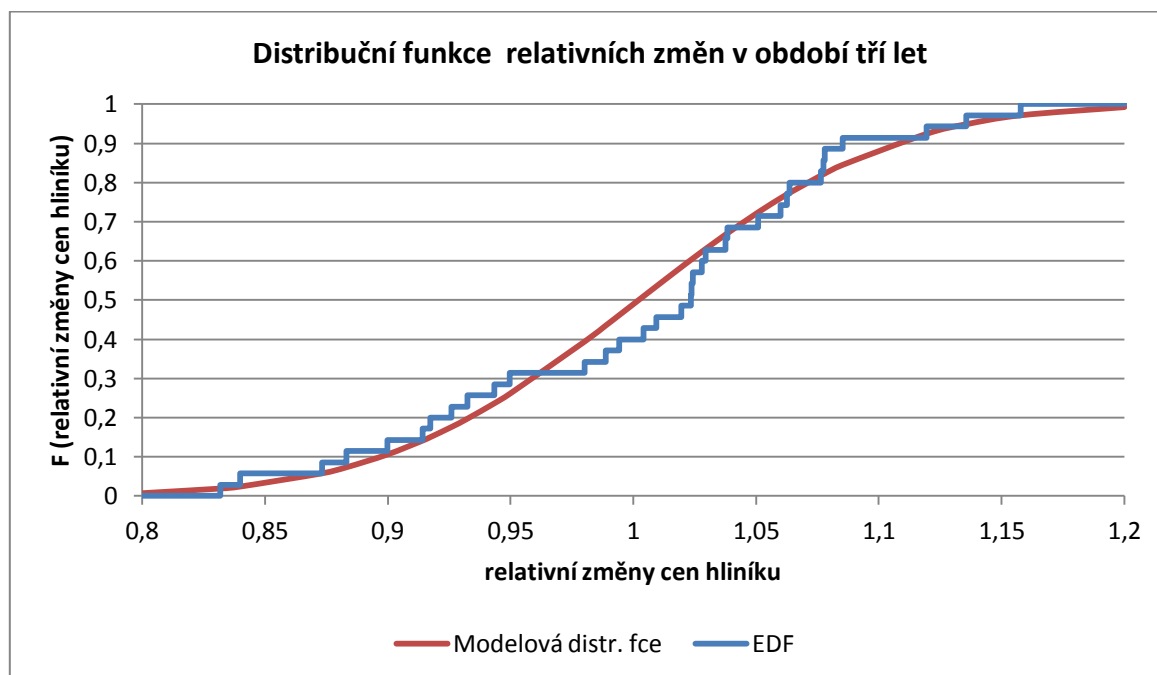
Porovnání empirické a modelové distribuční funkce pro střednědobé období spolu s vybraným vzorovým příkladem hliníku.

Parametrické odhady pro komodity v tříletém období			
	Aluminium	Copper	Lead
<b>průměr</b>	1,0022	1,0132	1,0046
<b>výběrová odchylka</b>	0,0818	0,1022	0,1130

Tabulka 35: Souhrn odhadnutých parametrů pro všechny zkoumané měny v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.

Srovnání výběrových a modelových parametrů pro hliník			
Parametr	Výběrový	Modelový	Diference
<b>Minimum</b>	0,8317	---	---
<b>Průměr</b>	1,0022	1,0022	0,0000
<b>Medián</b>	1,0235	1,0022	0,0213
<b>Maximum</b>	1,1578	---	---
<b>StD</b>	0,0818	0,0818	0,0000
<b>10% kvantil</b>	0,8898	0,8974	-0,0076
<b>25% kvantil</b>	0,9380	0,9471	-0,0091
<b>75% kvantil</b>	1,0612	1,0574	0,0038
<b>90% kvantil</b>	1,0823	1,1071	-0,0249
<b>Počet</b>	35	---	---
<b>Špičatost</b>	-0,4664	0	-0,4664
<b>Šikmost</b>	-0,3474	0	-0,3474

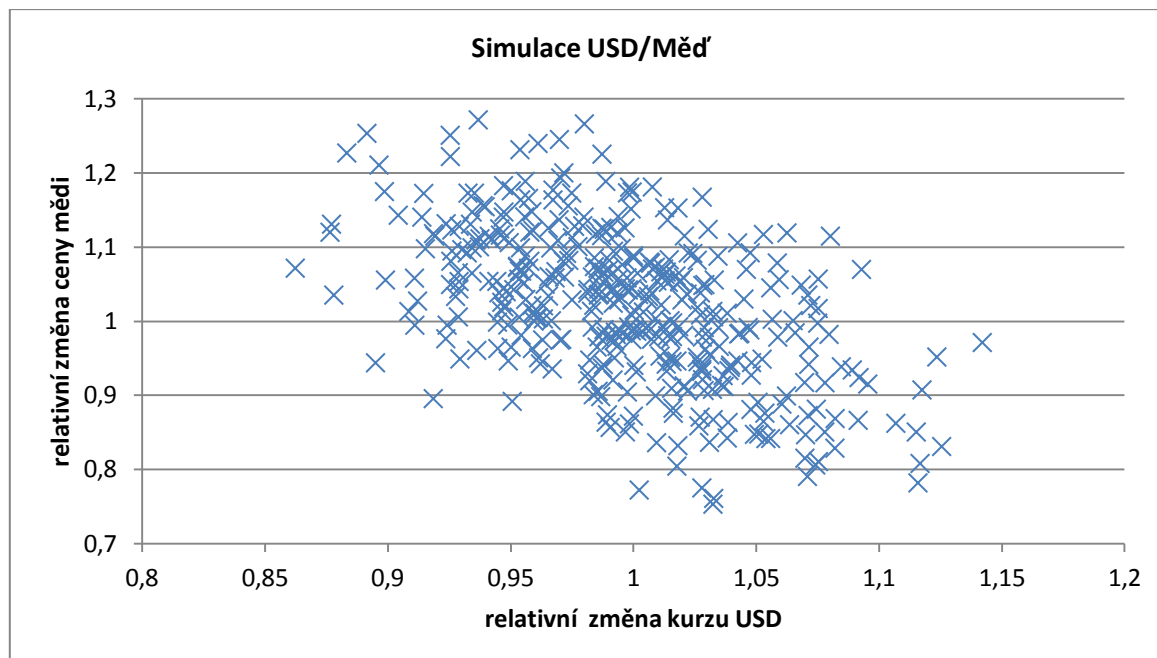
Tabulka 36: Srovnání parametrů empirické a modelové distribuční funkce relativních změn cen hliníku v období 1. 1. 2008 – 31. 12. 2010.



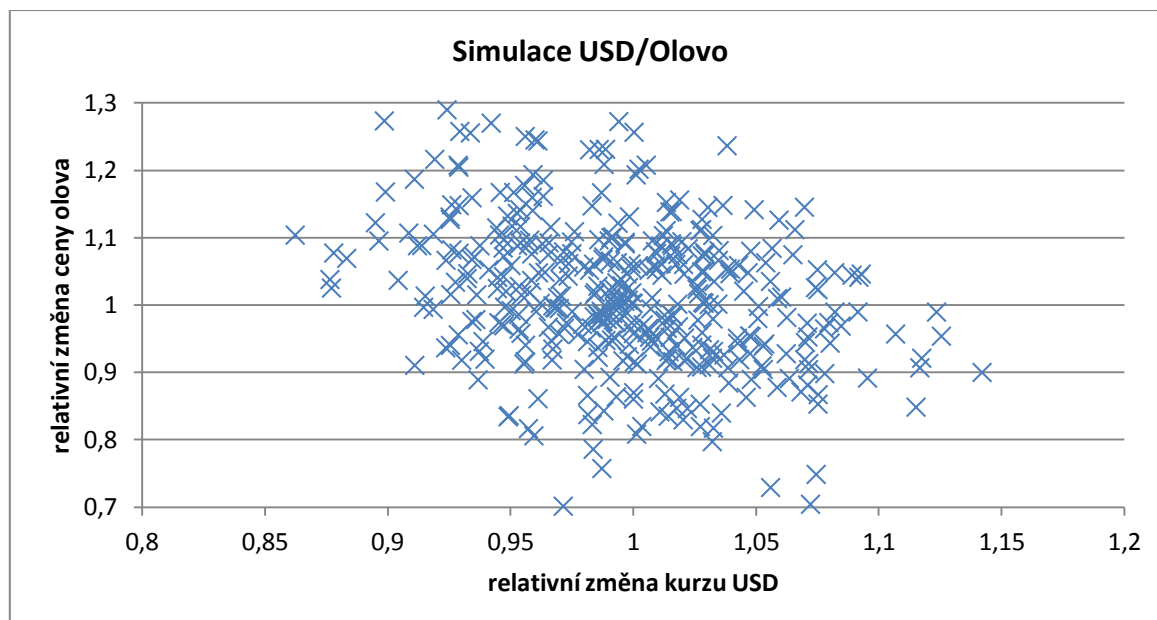
Obrázek 35: Grafické porovnání empirické a modelové distribuční funkce relativních změn cen hliníku v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

### Příloha 3

Simulace závislostí USD a dalších zkoumaných komodit.



Obrázek 36: Závislosti relativních změn kurzu USD a ceny mědi s vygenerováním dvou tisíc simulací pro vstupní korelaci  $r = -0,49$ , která odpovídá výběrovému korelačnímu koeficientu pro hliník v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.



Obrázek 37: Závislosti relativních změn kurzu USD a ceny olova s vygenerováním dvou tisíc simulací pro vstupní korelaci  $r = -0,38$ , která odpovídá výběrovému korelačnímu koeficientu pro hliník v období 1. 1. 2005 – 31. 12. 2010.

## Příloha 4

$P_t \dots$	Očekávané příjmy cizí měny v čase $t$ .
$V_t \dots$	Očekávané výdaje cizí měny v čase $t$ .
$S_t \dots$	Očekávané saldo cizí měny v čase $t$ .
$AL_t \dots$	Očekávaná spotřeba hliníku v čase $t$ .
$CU_t \dots$	Očekávaná spotřeba mědi v čase $t$ .
$PB_t \dots$	Očekávaná spotřeba olova v čase $t$ .
$H_{At}^{FX} \dots$	Aktuální zajištěná část měny pomocí forwardů v čase $t$ .
$H_{At}^{AL} \dots$	Aktuální zajištěná část hliníku pomocí forwardů v čase $t$ .
$H_{At}^{CU} \dots$	Aktuální zajištěná část mědi pomocí forwardů v čase $t$ .
$H_{At}^{PB} \dots$	Aktuální zajištěná část olova pomocí forwardů v čase $t$ .
$OP_t^{FX} \dots$	Otevřená pozice měny v čase $t$ .
$OP_t^{AL} \dots$	Otevřená pozice hliníku v čase $t$ .
$OP_t^{CU} \dots$	Otevřená pozice mědi v čase $t$ .
$OP_t^{PB} \dots$	Otevřená pozice olova v čase $t$ .
$X_t \dots$	Vektor vygenerovaných devizových kurzů měny v čase $t$ .
$C_t^{AL} \dots$	Vektor vygenerovaných cen hliníku v čase $t$ .
$C_t^{CU} \dots$	Vektor vygenerovaných cen mědi v čase $t$ .
$C_t^{PB} \dots$	Vektor vygenerovaných cen olova v čase $t$ .
$AX_t \dots$	Průměrný kurz zajištěných měnových forwardů v čase $t$ .
$AC_t^{AL} \dots$	Průměrná cena hliníku vzhledem k uzavřeným forwardům v čase $t$ .
$AC_t^{CU} \dots$	Průměrná cena mědi vzhledem k uzavřeným forwardům v čase $t$ .
$AC_t^{PB} \dots$	Průměrná cena olova vzhledem k uzavřeným forwardům v čase $t$ .
$FX_t \dots$	Aktuální forwardový kurz měny v čase $t$ .
$FC_t^{AL} \dots$	Aktuální forwardová cena hliníku v čase $t$ .
$FC_t^{CU} \dots$	Aktuální forwardová cena mědi v čase $t$ .
$FC_t^{PB} \dots$	Aktuální forwardová cena olova v čase $t$ .
$H_{Dt}^{FX} \dots$	Dozajišťovaná část měny v čase $t$ .
$H_{Dt}^{AL} \dots$	Dozajišťovaná část hliníku v čase $t$ .
$H_{Dt}^{CU} \dots$	Dozajišťovaná část mědi v čase $t$ .
$H_{Dt}^{PB} \dots$	Dozajišťovaná část olova v čase $t$ .
$CF_t^N \dots$	Vektor nezajištěného cash flow v zahraniční měně v čase $t$ .
$CF_t^{Nref} \dots$	Vektor nezajištěného cash flow v referenční měně v čase $t$ .
$f_t \dots$	Faktor přepočítávající peněžní toky na současnou hodnotu v čase $t$ .
$NCF_t^{Nref} \dots$	Vektor současné hodnoty cash flow v referenční měně bez zajištění v čase $t$ .
$TNCF_t^{Nref} \dots$	Vektor celkového cash flow za sledované období v současné hodnotě referenční měny v čase $t$ .
$VX_i \dots$	Vyjadřuje objem $i$ -tého sjednaného forwardu stejného typu v čase $t$ .
$KX_i \dots$	Kurz $i$ -tého sjednaného forwardu ke stejnému datu splatnosti v čase $t$ .
$AC_t \dots$	Průměrná cena komodity v čase $t$ v čase $t$ .
$H_t^{Href,P} \dots$	Zajištěná část cash flow pomocí prodejních forwardů v čase $t$ .
$H_t^{Href,N} \dots$	Zajištěná část cash flow pomocí nákupních forwardů v čase $t$ .
$OP_t^{Href} \dots$	Simulace otevřené pozice referenční měny při aktuálním zajištění v $t$ .
$p \dots$	Poplatek za zprostředkování zajištění v čase $t$ .
$H_t^{Href} \dots$	Zajištěná část cash flow v referenční měně v čase $t$ .



$H_{At}^{FX,P}$ ...	Objem prodejních forwardů měny v čase $t$ .
$H_{At}^{AL,P}$ ...	Objem prodejních forwardů hliníku v čase $t$ .
$H_{At}^{CU,P}$ ...	Objem prodejních forwardů mědi v čase $t$ .
$H_{At}^{PB,P}$ ...	Objem prodejních forwardů olova v čase $t$ .
$AX_t^P$ ...	Průměrný prodejní kurz z provedených forwardových obchodů v čase $t$ .
$AC_t^{AL,P}$ ...	Průměrná cena zajištěných prodejních forwardů hliníku v čase $t$ .
$AC_t^{CU,P}$ ...	Průměrná cena zajištěných prodejních forwardů mědi v čase $t$ .
$AC_t^{PB,P}$ ...	Průměrná cena zajištěných prodejních forwardů olova v čase $t$ .
$H_{At}^{FX,N}$ ...	Objem nákupních forwardů měny v čase $t$ .
$H_{At}^{AL,N}$ ...	Objem nákupních forwardů hliníku v čase $t$ .
$H_{At}^{CU,N}$ ...	Objem nákupních forwardů mědi v čase $t$ .
$H_{At}^{PB,N}$ ...	Objem nákupních forwardů olova v čase $t$ .
$AX_t^N$ ...	Průměrný nákupní kurz z provedených forwardových obchodů v čase $t$ .
$AC_t^{AL,N}$ ...	Průměrná cena zajištěných nákupních forwardů hliníku v čase $t$ .
$AC_t^{CU,N}$ ...	Průměrná cena zajištěných nákupních forwardů mědi v čase $t$ .
$AC_t^{PB,N}$ ...	Průměrná cena zajištěných nákupních forwardů olova v čase $t$ .
$OP_t^H$ ...	Otevřená pozice nezajištěné části peněžních toků v čase $t$ .
$OP_t^{Href}$ ...	Otevřená pozice nezajištěné části peněžních toků v čase $t$ pro referenční měnu.
$CF_t^{Href}$ ...	Celkové cash flow s aktuálním zajištěním v čase $t$ v referenční měně.
$NCF_t^{Href}$ ...	Současná hodnota simulovaného cash flow referenční měny v čase $t$ při aktuálním zajištění.
$TNCF_t^{Href}$ ...	Celkové cash flow za sledované období v současné hodnotě referenční měny v čase $t$ .
$CF_t^{Dref}$ ...	Vektor cash flow s dodatečným zajištěním v čase $t$ v referenční měně.
$H_t^{Dref}$ ...	Vektor dodatečného zajištění cash flow v čase $t$ .
$H_t^{Dref,P}$ ...	Dodatečně zajištěná část cash flow pomocí prodejních forwardů v čase $t$ .
$H_t^{Dref,N}$ ...	Dodatečně zajištěná část cash flow pomocí nákupních forwardů v čase $t$ .
$H_{Dt}^{FX,P}$ ...	Objem nově sjednaných prodejních forwardů měny v čase $t$ .
$H_{Dt}^{AL,P}$ ...	Objem nově sjednaných prodejních forwardů hliníku v čase $t$ .
$H_{Dt}^{CU,P}$ ...	Objem nově sjednaných prodejních forwardů mědi v čase $t$ .
$H_{Dt}^{PB,P}$ ...	Objem nově sjednaných prodejních forwardů olova v čase $t$ .
$FX_t^P$ ...	Aktuální tržní kurz prodejních forwardů měny v čase $t$ .
$FC_t^{AL,P}$ ...	Aktuální tržní cena prodejních forwardů hliníku v čase $t$ .
$FC_t^{CU,P}$ ...	Aktuální tržní cena prodejních forwardů mědi v čase $t$ .
$FC_t^{PB,P}$ ...	Aktuální tržní cena prodejních forwardů olova v čase $t$ .
$H_{Dt}^{FX,N}$ ...	Objem nových nákupních forwardů měny v čase $t$ .
$H_{Dt}^{AL,N}$ ...	Objem nových nákupních forwardů hliníku v čase $t$ .
$H_{Dt}^{CU,N}$ ...	Objem nových nákupních forwardů mědi v čase $t$ .
$H_{Dt}^{PB,N}$ ...	Objem nových nákupních forwardů olova v čase $t$ .
$FX_t^N$ ...	Aktuální tržní kurzy nákupních forwardů měny v čase $t$ .
$FC_t^{AL,N}$ ...	Aktuální tržní ceny nákupních forwardů hliníku v čase $t$ .
$FC_t^{CU,N}$ ...	Aktuální tržní ceny nákupních forwardů mědi v čase $t$ .
$FC_t^{PB,N}$ ...	Aktuální tržní ceny nákupních forwardů olova v čase $t$ .
$OP_t^D$ ...	Vektor otevřené pozice nezajištěné části peněžních toků v čase $t$ pro dodatečné zajištění.

$OP_{Dt}^{FX} \dots$	Otevřená pozice měny v čase $t$ při dozajištění.
$OP_{At}^{FX} \dots$	Otevřená pozice spotřeby hliníku v čase $t$ při aktuálním zajištění.
$OP_{Dt}^{AL} \dots$	Otevřená pozice hliníku v čase $t$ při dozajištění.
$OP_{At}^{AL} \dots$	Otevřená pozice spotřeby hliníku v čase $t$ při aktuálním zajištění.
$OP_{At}^{CU} \dots$	Otevřená pozice spotřeby mědi v čase $t$ při aktuálním zajištění.
$OP_{Dt}^{CU} \dots$	Otevřená pozice mědi v čase $t$ při dozajištění.
$OP_{Dt}^{PB} \dots$	Otevřená pozice olova v čase $t$ při dozajištění.
$OP_{At}^{PB} \dots$	Otevřená pozice spotřeby olova v čase $t$ při aktuálním zajištění.
$OP_t^{Dref} \dots$	Vektor otevřené pozice referenční měny v čase $t$ pro dodatečné zajištění.
$NCF_t^{Dref} \dots$	Vektor současné hodnoty simulovaného cash flow v referenční měně v čase $t$ při dodatečném zajištění.
$TNCF^{Dref} \dots$	Vektor celkového cash flow za sledované období vyjádřené v současné hodnotě referenční měny v čase $t$ .