Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta financí a účetnictví

Katedra bankovnictví a pojišťovnictví

Studijní obor: Bankovnictví a pojišťovnictví

Použití metody Value at Risk při řízení tržního rizika

Autor bakalářské práce: Jan Vostatek
Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jiří Witzany, Ph.D.
Rok obhajoby: 2010

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma použití metody Value at Risk jsem vypracoval samostatně a veškerou literaturu a další prameny jsem řádně označil a uvedl v přiloženém seznamu.

V Praze dne 24. května 2010

.....
podpis

Anotace

Práce se zaměřuje na metodu Value at Risk, která se široce používá k řízení tržních rizik a ve světě financí si vysloužila titul best practice. Metoda Value at Risk je zasazena do širšího rámce systému řízení rizik a je ukázáno její praktické použití i na výpočtu dvěma ze tří hlavních způsobů kalkulace Value at Risk. Dále se v práci autor zabývá zásadní rolí Value at Risk v regulatorním rámci pravidel Evropské unie a možným budoucím vývojem regulace finančních institucí v oblasti tržních rizik. Součástí práce je také použití metody při alokaci ekonomického kapitálu instituce a stanovení limitů pro jednotlivá oddělení finanční instituce. V závěru práce je metoda Value at Risk s přihlédnutím k relevantním argumentům objektivně zhodnocena.

Annotation

The bachelor´s thesis is focused on the Value at Risk method which is widely used for management of market risks and earned the best practice nickname. Value at Risk is put in the whole risk management framework and it is explained its application on two of three main ways of calculation. The thesis also deals with the role of Value at Risk in regulatory rules of European Union and possible future development of market risk regulation of financial institutions. Some chapters of the thesis describe the application of Value at Risk on economic capital allocation and setting limits on trading desks. At the end of the thesis Value at Risk is deeply evaluated in respect of all relevant information.

Poděkování

Velice rád bych poděkoval Jiřímu Witzany za cenné připomínky a odborné vedení při psaní této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Janu Šedivému, Michalu Němcovi a Petru Dvořákovi za jejich ochotu, věnovaný čas a hodnotné postřehy.

Obsah

Úvod 6
1. Finanční riziko 7
2. Selhání risk managementu 8
3. Tržní riziko 10
4. Měření tržního rizika 10
4.1. Gapová analýza 11
4.2. Durační analýza 12
4.3. Metoda simulace 13
4.4. Value at Risk 13
5. Value at Risk 14
5.1. Definice 14
5.2. Historie VaR 14
6. Metody výpočtu VaR 15
6.1. Analytický VaR 16
6.1.1. Normální rozdělení 17
6.1.2. Portfolio jako nástroj diverzifikace rizik 19
6.1.3. Výpočet VaR 21
6.1.3.1. Mapování portfolia 21
6.1.3.2. Určení/výpočet klíčových statistických parametrů 26
6.1.3.2.1. Testování předpokladu normality 26
6.1.3.2.2. Volatilita 26
6.1.3.2.3. Časové období 29
6.1.3.2.4. Interval spolehlivosti 30
6.1.3.3. Kalkulace VaR 30
6.2. Historický VaR 33
6.2.1. Kalkulace VaR 33
6.3. Simulační VaR 35
6.3.1. Modelové scénáře 36
6.3.2. Monte Carlo simulace 36
7. Backtesting 37
8. Právní úprava 38
8.1. Kapitálový požadavek 38
8.2. Možné změny regulatorních pravidel 42
8.2.1. Stresový VaR 42
8.2.2. CoVaR 43
9. Implementace VaR 44
10. VaR v životě finanční instituce 46
10.1. VaR jako limit 47
10.2. Risk adjusted performance 48
11. Zhodnocení VaR 50
Závěr 53
Seznam použité literatury a pramenů 54

Úvod

Subjekty finančního trhu by měly přemýšlet nejen nad výší výnosu, ale také nad rizikem, které při investici podstupují. Historie ukázala, že umět správně identifikovat a kvalitně řídit rizika, je nezbytná schopnost k přežití nejen ve vlastním životě, ale i na finančních trzích.

Řízení rizik nenabízí univerzální řešení pro všechny situace. Každý subjekt podstupuje jiná rizika a okolnosti jeho podnikání jsou tedy svým způsobem unikátní. Proto bychom měli vědět, které metody řízení rizik je vhodné v každé konkrétní situaci použít a jak jejich výsledky interpretovat.

Ve své práci se zaměřuji na metodu Value at Risk, která se široce používá k řízení tržních rizik a ve světě financí si vysloužila titul best practice. Metoda Value at Risk je zasazena do širšího rámce systému řízení rizik včetně jejího použití a komplexního zhodnocení.

Součástí této práce je i postup výpočtu dvěma ze tří hlavních způsobů výpočtů Value at Risk a vzájemné porovnání výsledků obou propočtů. Dále se v práci zabývám zásadní rolí Value at Risk v regulatorním rámci Evropské unie a možným budoucím vývojem regulace finančních institucí v oblasti tržních rizik. Nedílnou součástí mé práce je také použití metody při alokaci ekonomického kapitálu finanční instituce a stanovení limitů pro jednotlivá oddělení finanční instituce.

V závěru své práce pak po důkladném zvážení všech relevantních argumentů rozhodnu, zda Value at Risk je skutečně užitečným nástrojem řízení rizik či pouze matematickou hříčkou se slabou výpovědní schopností.

1. Finanční riziko

Teorie říká, že subjekty na trhu se rozhodují s přihlédnutím k výnosu, riziku a likviditě daných investičních příležitostí. Dosáhnout všech tří naráz je přitom nemožné. Ve své práci se zaměřím především na faktor rizika a jeho optimální řízení.

Na první pohled by se mohlo zdát, že každé riziko je špatné, a proto se jich musíme v našem zájmu zbavit co nejdříve. Eliminovat rizika je přitom tak snadné. Stačí nic nedělat. Jenže náš výnos je pak čistá nula, což je z hlediska podnikání k ničemu. Nějakou formu rizika tedy musíme podstoupit vždy. Při hledání výnosných investic si musíme být vědomi rizik, která podstupujeme, a umět se rozhodnout pro jejich vhodné kombinace. Jedním ze základních principů risk managementu je tak správná identifikace jednotlivých rizik a jejich faktorů.
Z hlediska tématického zaměření mé práce se budu dále zabývat pouze finančními riziky, která vyplývají z činnosti subjektů působících na finančních trzích. Finanční riziko pak představuje sumu dalších dílčích rizik. Tradiční model kategorizace finančních rizik vypadá následovně:

Obrázek 1 Dekompozice finančního rizika

Pramen: Vlastní tvorba

Jednotlivá rizika pak definuje literatura[1] následovně:

Tržní riziko

Tržní riziko se týká ztráty způsobené změnou tržních faktorů, které působí na hodnotu finančních instrumentů.

[1] DAS, Satyajit. *Risk management*. Third edition revised. Singapore : John Wiley & Sons, 2006. s 5. ISBN 978-0-470-82165-7.

Kreditní riziko

Kreditní riziko se týká ztráty způsobené selháním protistrany, která není schopna dostát svým právním závazkům, či kreditní událostí, která ovlivní hodnotu našeho finančního instrumentu.

Likviditní riziko

Likviditní riziko se týká ztráty způsobené neschopností zobchodovat instrument v důsledku nedostatku protistran, nedostatku hotovosti či jiných dostatečně likvidních peněžních prostředků.

Operační riziko

Operační riziko se týká ztráty způsobené právními, regulatorními, technologickými a operačními faktory. Osobně řadím do kategorie operačního rizika všechna ostatní rizika, která nepatří do prvních třech rizik zmíněných výše.

2. Selhání risk managementu

There are myriad ways to lose money. We will look at a few.

David Murphy

Realizace některého z finančních rizik může instituci velmi poškodit či dokonce zničit. Z tohoto důvodu je útvar řízení rizik nezbytnou součástí podnikové struktury a měl by disponovat výraznými pravomocemi nejen při určování strategie finanční instituce, ale i při denní operativní činnosti. Historie však ukázala, že kvalitní risk management je „nedostatkovým zbožím“. Uvádím proto několik učebnicových příkladů, kde řízení rizik selhalo.

Orange County 1994

Manažer municipálních fondů Bob Citron, který se o svých investicích radil s astrologem, vsadil na úrokové deriváty[2]. Rok po svém prohlášení „Jsem jeden z největších investorů v Americe. Vím, co dělám.[3]“ ztratil přes 1,5 miliardy dolarů.

[2] Převažovaly hlavně deriváty typu inverse floaters
[3] PARTNOY, Frank. *Fiasco*. New Yourk : Penguin, 1999. s. 163

Baring Brothers 1995

Trader Nick Leeson ztratil 900 milionů liber na obchodech s futures na Nikkei. Leeson sice nefalšoval ocenění svých obchodů, ale ztráty z nich účetně zapisoval na klientský účet s názvem 88888 místo na účet své banky.

LTCM 1998

Hedžový fond pod vedením hrdinů své doby[4] doplatil na ruskou finanční krizi a svými pákovými obchody poslal fond do hlubin historie a na stránky učebnic. Celková ztráta fondu za tři měsíce byla vyčíslena na 4,6 miliard dolarů.

Allfirst (Allied Irish Bank) 2003

Trader John Rusnak ztratil na obchodech s měnovými opcemi 690 milionů dolarů. Aby zakryl ztrátu, vlastní obchody si sám přeceňoval, a tedy účetně zkresloval. Své poznámky k falšování dokumentace dokonce nechal na svém počítači v souboru s názvem „Fake Docs“.[5]

National Australian Bank 2004

Skupina dealerů, která se zabývala obchodováním s měnovými opcemi, způsobila bance ztrátu přes 360 milionů dolarů. Sami obchodníci používali schválně chybná ocenění a vytvářeli fiktivní transakce k zakrytí ztráty.

Lehman Brothers 2008

Investiční banka Lehman Brothers se rozhodla vsadit na vysoce rizikové a neprůhledné kreditní deriváty s hypotéčními úvěry jako podkladovými aktivy. Splasknutí realitní bubliny a následná recese poslaly banku do insolvenčního řízení. Aby toho nebylo málo, tak banka těsně před svým pádem použila kličku v amerických účetních standardech, která papírově učinila banku v očích investorů zdravou a schopnou pokračovat v podnikání[6].

---

[4] Meriwether, Scholes, Merton, Rosenfeld, Haghani a další

[5] DAS, Satyajit. *Traders, Guns and Money : Knowns and unknowns in the dazzling world of derivatives*. Dorchester : FT Prentice Hall, 2006. s. 143. ISBN 978-0-273-70474-4.

[6] VALUKAS, Anton. *Examiner´s report on Lehman Brothers Holdings Inc.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-24].Dostupné z WWW: <http://lehmanreport.jenner.com/VOLUME%201.pdf>.

3. Tržní riziko

„In this world there exist arithmophobia (fear of numbers), chrematophobia (fear of money), plutophobia (fear of wealth) and phobophobia (fear of fear). Risk management is the sum of all these fears.“

Satyajit Das[7]

Pro účely řízení tržních rizik je nutná nezbytná dekompozice tržního rizika. Jen tímto způsobem jsme schopni poznat potenciální nebezpečí, která hrozí příslušnému portfoliu, a učinit opatření kvalitativního i kvantitativního charakteru.
Tržní riziko se dělí na:

Akciové riziko
Akciové riziko týká ztráty způsobené nepříznivým pohybem[8] hodnoty akciových instrumentů.

Úrokové riziko
Úrokové riziko týká ztráty způsobené nepříznivým pohybem úrokových měr.

Měnové riziko
Měnové riziko týká ztráty způsobené nepříznivým pohybem měnových kurzů.

Komoditní riziko
Komoditní riziko týká ztráty způsobené nepříznivým pohybem cen komodit.

4. Měření tržního rizika

Pro optimální řízení tržních rizik je nutné použít nástroje, které nám umožní měřit velikost a charakter[9] příslušného rizika. Nástrojů používaných pro měření a řízení tržního rizika existuje více. Každý z nich má své výhody a nevýhody a všechny je v určitých variantách můžeme potkat v praxi. Uvádím stručný přehled nejvýznamnějších z nich:

---

[7] DAS, Satyajit. *Traders, Guns and Money : Knowns and unknowns in the dazzling world of derivatives*. Dorchester : FT Prentice Hall, 2006. 319 s. ISBN 978-0-273-70474-4.
[8] Nemusí se vždy nutně jednat o pokles ceny akciových instrumentů.
[9] Tj. které faktory mají na riziko vliv

4.1. Gapová analýza

Gapová analýza byla vyvinuta pro měření úrokové expozice. Prostřednictvím ní lze vyčíslit dopad změny úrokových měr na úrokově citlivá aktiva a pasiva. Mechanismus analýzy spočívá ve správné identifikaci úrokově citlivých pasiv a aktiv a jejich následném přiřazení ke zvolenému časovému koši. Každý časový koš je pak ovlivněn úrokovou mírou příslušnou danému časovému horizontu. Gap vypočteme dle následujícího vzorce:

$$GAP = \sum A_c - \sum P_c \text{ , kde}$$

$\sum A_c$ odpovídá sumě úrokově citlivých aktiv,

$\sum P_c$ odpovídá sumě úrokově citlivých pasiv.

Dopad na finanční instituci měříme jako změnu čistého úrokové výnosu (ΔNII), která je dána vztahem:

$$\Delta NII = \Delta r \cdot GAP \text{ , kde}$$

Δr odpovídá průměrné změně tržní úrokové míry[10].

Pokud je hodnota GAP>0 a zároveň úrokové míry vzrostou, tak instituce vykáže kladnou změnu ΔNII , a tedy výnos. Podobně pro hodnotu GAP<0 vykáže instituce náklad.

Mezi výhody gapové analýzy patří jednoduchý výpočet a relativní srozumitelnost výstupu. Nicméně má i své nevýhody. Odborníci[11] uvádí, že ignoruje nestejnou citlivost aktiv a pasiv na změnu úrokové míry (bazické riziko), změny ve sklonu výnosové křivky a nesimultánní cashflow v rámci jednotlivých časových košů.

[10] Nezbytnou podmínkou vztahu je předpoklad, že změna úrokové sazba u pasiv je stejná jako změna úrokové sazby u aktiv

[11] DVOŘÁK, Petr . *Přednášky ke kurzu Bankovnictví II*. Vysoká škola ekonomická v Praze 2009

4.2. Durační analýza

Pojem durace vyjadřuje míru citlivosti aktiv/závazků na změnu úrokové sazby. Matematickou definice durace (D) můžeme vyjádřit následovně[12]:

$$D = -\frac{dP}{di} \cdot \frac{1-i}{P}, \text{ kde}$$

P odpovídá ceně úrokově citlivého aktiva/závazku,

i odpovídá úrokové sazbě.

Při znalosti durace nám pak nedělá problém vypočítat změnu ceny aktiva. Pro účely měření tržního rizika musíme vyjádřit duraci aktiv (D_a), duraci závazků (D_l) a dopočítat vliv změny úrokové míry na změnu hodnoty aktiv (A) a závazků (L). Pokud od sebe obě změny hodnot odečteme, tak dostáváme změnu vlastního kapitálu (ΔE), a tedy náš výnos nebo náklad.

Matematické vyjádření pak vypadá takto:

$$\Delta E = -D_a \cdot \frac{\Delta i_a}{1+i_a} \cdot A - \left(-D_l \cdot \frac{\Delta i_l}{1+i_l} \cdot L \right), \text{ kde}$$

i_a odpovídá průměrné tržní úrokové sazby aktiv,

Δi_a odpovídá změně průměrné tržní úrokové sazby aktiv,

i_l odpovídá průměrné tržní úrokové sazby závazků,

Δi_l odpovídá změně průměrné tržní úrokové sazby závazků.

Mezi výhody durační analýzy se řadí možnost agregace úrokového rizika finanční instituce a práce se současnou hodnotou každého cashflow[13]. Naproti tomu nevýhody jako nutná správná predikce budoucího cashflow, nutnost stálého přepočítávání durace a úzká možnost aplikace

[12] V příkladu je uváděna klasická Macaulayova durace
[13] DVOŘÁK, Petr . *Přednášky ke kurzu Bankovnictví II*. Vysoká škola ekonomická v Praze 2009

pouze na úrokové rizika činí z durační analýzy ne příliš vhodnou metodu k řízení tržního rizika[14].

4.3. Metoda simulace

Simulační metody slouží k lepšímu poznání rizik portfolia a umožňují se na základě jejich závěrů rozhodnout o opatřeních vedoucích ke správnému řízení rizik. Základem všech simulačních metod je definování výchozího stavu, určení rizikových faktorů a jejich předpokládané dráhy pohybu. Následně pak lze vyhodnotit možné dopady a pravděpodobnosti jednotlivých scénářů, což nám umožní zhodnotit únosnost rizikových expozic.

Simulace jsou metodou v praxi velmi používanou a relativně oblíbenou. Umožňují kvantifikovat budoucí situace a lze se na ně pak připravit. Bohužel každá simulace je jen tak dobrá, jako její vstupní parametry a interpretace. Špatné výchozí předpoklady[15]pak mohou výsledky celé simulace učinit bezcennými a manažerská rozhodnutí se s malou nadsázkou stávají věštěním z křišťálové koule.

Modelování scénářů je subjektivní věc každého risk manažera, proto hodně záleží na jeho úsudku, jakou situaci na trhu bude modelovat. Konstantní nastavování nereálných parametrů a modelování hrozeb katastrofických rozměrů může často místo cenných informací poskytnout jen kupu nesmyslných dat.

4.4. Value at Risk

Metody založeny na principu hodnoty v riziku jako Value at Risk se zaměřují na počítání maximální ztráty za určité období s určitou pravděpodobností. Value at Risk je možno aplikovat s různými úpravami na všechna tržní rizika.

[14] DOWD, Kevin . *Measuring market risk*. Chichester : Jonh Wiley & Sons, 2002. 339 s. ISBN 0-471-52174-4.
[15] Korelační koeficienty, zanedbání některého z rizik, ocenění instrumentů etc.

5. Value at Risk[16]

5.1. Definice

V současné době je metoda Value at Risk nejpoužívanějším nástroj k měření a řízení tržního rizika. VaR je široce používán nejen pro potřeby řízení rizika instituce, ale je i stanoven jako jeden z možných způsobů výpočtu potřebného regulatorního kapitálu. Pro někoho je VaR zrcadlem pravdy, pro někoho zase falešným prorokem. Jak se pokusím ukázat v mé práci, pravda je někde uprostřed. Jisté však je, že VaR se stal přelomovým nástrojem v oblasti řízení tržního rizika, který se na dlouhou dobu zabydlel na finančních trzích. Uvádím zde jednu definici VaR za všechny:

„VaR je maximální očekávaná ztráta způsobená nepříznivým pohybem tržních faktorů s danou pravděpodobností za určitý časový úsek.“[17]

Hodnotu VaR pak můžeme například interpretovat tak, že při držbě daného aktiva s jistotou 95 procent nemůžeme ztratit více než 5 milionů korun za deset dní. Matematické vyjádření a způsoby výpočtu budou podrobně rozebrány v dalších kapitolách.

5.2. Historie VaR

S trochu nadsázky se za „pradědečka“ VaR dá považovat Carl Frederich Gauss.[18] Právě Gauss *normálním rozdělením* a výzkumem měření chyb položil základy kvantitativnímu pojetí řízení rizik. Další pokrok se datuje do poloviny dvacátého století, kdy finanční věda zavolala na pomoc právě statistiku a obě dohromady začaly zkoušet kvantifikovat finanční riziko za pomocí směrodatné odchylky. Teorie optimálního portfolia Harryho Markowitze navždy změnila vnímání rizika a stala se základním kamenem kvantitativních financí.

Nejen kvůli rozpadu Bretton-Woodského systému pevných kurzů a zvýšené nejistotě na trzích začaly bankovní domy v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století zpracovávat své

[16] Pro označení Value at Risk budu v práci používat zkratku VaR
[17] DAS, Satyajit. *Risk management*. Third edition revised. Singapore : John Wiley & Sons, 2006. s. 45. ISBN 978-0-470-82165-7.
[18] 19. století

vlastní interní modely měření rizika a pokoušely se agregovat riziko napříč celou svou organizační strukturou. Některým se podařilo celý proces přežít a VaR byl v mnoha modifikacích použit jako jeden z hlavních pilířů, jehož úkolem je nenechat banku padnout.

Průkopníkem v oblasti VaR byla americká investiční banka JP Morgan. Její ucelený materiál RiskMetrics se stal ve světě risk manažerů a akademiků značně populárním dílem. RiskMetrics představuje manuál pro popis a implementaci VaR. Stejně dobře funguje i jako marketingový nástroj, protože položil základy stále platného best practice. Nejznámější legendou je pravděpodobně *4:15 Report*. JP Morgan CEO Dennis Weatherstone si podle tohoto mýtu nechával každý den v 4:15 PM New Yorkského času přinášet na stůl zprávu, kde na jednom papíře byla suma všech rizik, kterým banka byla vystavena. Cílem bylo zjednodušit všechna rizika instituce na jedno číslo. Skoro to vypadá, že zmáčknete knoflík, ozve se plop a vypadne zpráva. Realita už tak krásná nebyla. Jak někteří podotýkají[19], nikdo se už moc neptá na správnost onoho čísla. Byly všechny pozice zahrnuty? Co znamená to číslo? Jak ho interpretujeme? Stejně jako v náboženství, klíčem je víra. Weatherstone prostě nemohl vědět, zda není v *4:15 Reportu* chyba. Musel tomu prostě věřit.

6. Metody výpočtu VaR

Cílem výpočtu VaR je právě jedno číslo, které v sobě agreguje všechna tržní rizika. Samotný VaR může být ale počítán několika metodami a u každé metody ještě můžeme rozlišit desítky různých nastavení parametrů. Zkrátka se stejnými vstupními daty dokážeme spočítat různé výsledky. Který výsledek je ale ten správný? Již několik let stále otevřená otázka. Nejdříve tedy představím každou ze třech metod výpočtu, v dalších kapitolách pak uvedu jejich přednosti a nedostatky.

K výsledné hodnotě Value at Risk se můžeme dobrat třemi hlavními metodami výpočtu:

- **Analytický VaR**
- **Historický VaR**
- **Simulační VaR**

[19] DAS, Satyajit. *Traders, Guns and Money : Knowns and unknowns in the dazzling world of derivatives*. Dorchester : FT Prentice Hall, 2006. s. 160. ISBN 978-0-273-70474-4.

6.1. Analytický VaR

Analytický VaR[20] je metoda, která nám umožní agregovat tržní rizika za pomocí statistických předpokladů a zákonitostí. Prvním klíčovým požadavkem na správný výpočet je předpoklad určitého pravděpodobnostního rozdělení[21] výnosů/ztrát z aktiva. Druhým požadavkem je pak přesný výpočet korelačních koeficientů mezi rizikovými faktory a směrodatných odchylek. Obecná definice VaR jako maximální očekávané ztráty při daném intervalu spolehlivosti za daný časový úsek zůstává v platnosti. Matematicky pak definujeme hodnotu VaR[22]:

$$VaR = V_n \cdot \frac{dV}{dP} \cdot \sigma_{day} \cdot CF \cdot \sqrt{N} \text{ , kde}$$

V_n odpovídá současné hodnotě pozice,

$\frac{dV}{dP}$ odpovídá citlivosti hodnoty pozice na změnu rizikového faktoru ,

σ_{day} odpovídá směrodatné odchylce rizikového faktoru,

N odpovídá počtu dní, za které hodnotu VaR počítáme,

CF odpovídá vhodnému násobku směrodatné odchylky, dle intervalu spolehlivosti.

Počet dní opět určíme podle uživatelských preferencí. Platí, že čím vyšší počet dní, tím vyšší hodnota VaR. Interval spolehlivosti volíme s přihlédnutím k požadované výpovědní hodnotě VaR. Čím více je uživatel konzervativní, tím vyšší volí interval spolehlivosti. Například CF může nabývá hodnot 1,65 pro 95% či 2,33 pro 99% interval spolehlivosti. Číselné násobky směrodatné odchylky vycházejí právě z předpokladu normálního rozdělení, které je definováno níže.

[20] Někdy nazýván také varianční - kovarianční přístup
[21] Dále bude v práci aplikováno pouze normální rozdělení
[22] Zatím pro jedno aktivum

6.1.1. Normální rozdělení

Normální rozdělení je často používáno jako zásadní předpoklad analytického VaR, a proto pokládám za důležité ho ve své práci zmínit. Normální rozdělení je definováno jako pravděpodobnostní rozdělení náhodné veličiny splňující následující charakteristiku:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{, kde } -\infty < x < \infty$$

Normální rozdělení má dva parametry:

μ odpovídá střední hodnotě, charakterizující polohu tohoto rozdělení,

σ^2 odpovídá rozptylu, charakterizujícího rozptýlení hodnot kolem střední hodnoty.

Směrodatná odchylka σ je definována jako odmocnina z rozptylu, který můžeme vypočítat jako:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} \text{, kde}$$

n odpovídá počtu hodnot ve skupině.

Distribuční funkce rozdělení se rovná:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt .$$

Náhodná veličina x se obvykle transformuje na standardizovanou normální veličinu U, kde:

$$U = \frac{X - u}{\sigma} .$$

Pokud výraz dosadíme do hustoty pravděpodobnosti a distribuční funkce, tak dostáváme normované normální rozdělení s hustotou pravděpodobnosti:

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}$$

a distribuční funkci

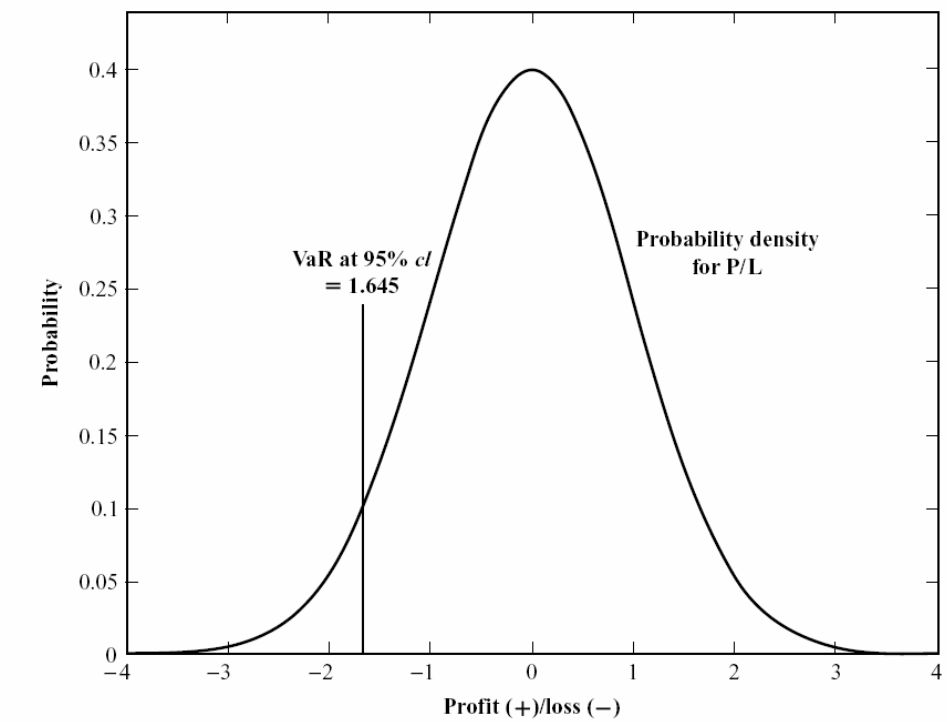
$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \, .$$

Parametry jsou pak určeny jako:

$$\sigma^2 = D(U) = 1 \qquad \mu = E(U) = 0 \, .$$

Promítnutí metodiky VaR do grafu normálního rozdělní pak vypadá takto:

Obrázek 2 Promítnutí VaR do normálního rozdělení



Pramen: Dowd (2008)

Na grafu pak vidíme hodnotu VaR při 95% hladině spolehlivosti, která je určena průnikem osy x a násobkem směrodatné odchylky.

6.1.2. Portfolio jako nástroj diverzifikace rizik

Vzhledem k faktu, že portfolio většinou netvoří jedno aktivum, tak si musíme být vědomi při výpočtu VaR vzájemných vazeb mezi nimi. Analytický VaR využívá teorii portfolia Henryho Markwitze, která popisuje efekt snižování rizika za pomoci diverzifikace aktiv.

K pochopení této teorie je nutné znát význam korelačního koeficientu. Korelační koeficient vyjadřuje míru vzájemného ovlivňování cen aktiv a jak rychle jejich ceny společně rostou či klesají. Čím více rizikových faktorů, tím více korelačních koeficientů.

Korelační koeficient mezi aktivy X a Y je definován jako:

$$\rho_{xy} = \frac{\operatorname{cov}(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y}, \text{ kde}$$

$\operatorname{cov}(X,Y)$ se nazývá kovariance, a odpovídá střední hodnotě součinu odchylek náhodných veličin X a Y od jejich středních hodnot.

Při korelačním koeficientu menším než jedna se tedy nepočítá riziko portfolia jako vážený součet jednotlivých rizik a musí se brát v úvahu vzájemná interakce aktiv v portfoliu. Pro účely VaR pak lze spočítat buď celkovou směrodatnou odchylku portfolia s aktivy o různých korelacích, nebo se VaR kalkuluje pro každou pozici a přepočítá se následujícím vzorcem:

$$VaR_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} VaR_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j \neq i} VaR_i VaR_j \rho_{i,j}} \ .$$

Je také možné rovnici přepsat do maticové podoby[23]:

[23] SAITA, Francesco. *Value at risk and bank capital management*. San Diego : Academic Press, 2007. s. 37. ISBN 978-0-12-369466-9.

$$VaR_p = \sqrt{\overline{V} \cdot C \cdot \overline{V}^T}\text{, kde}$$

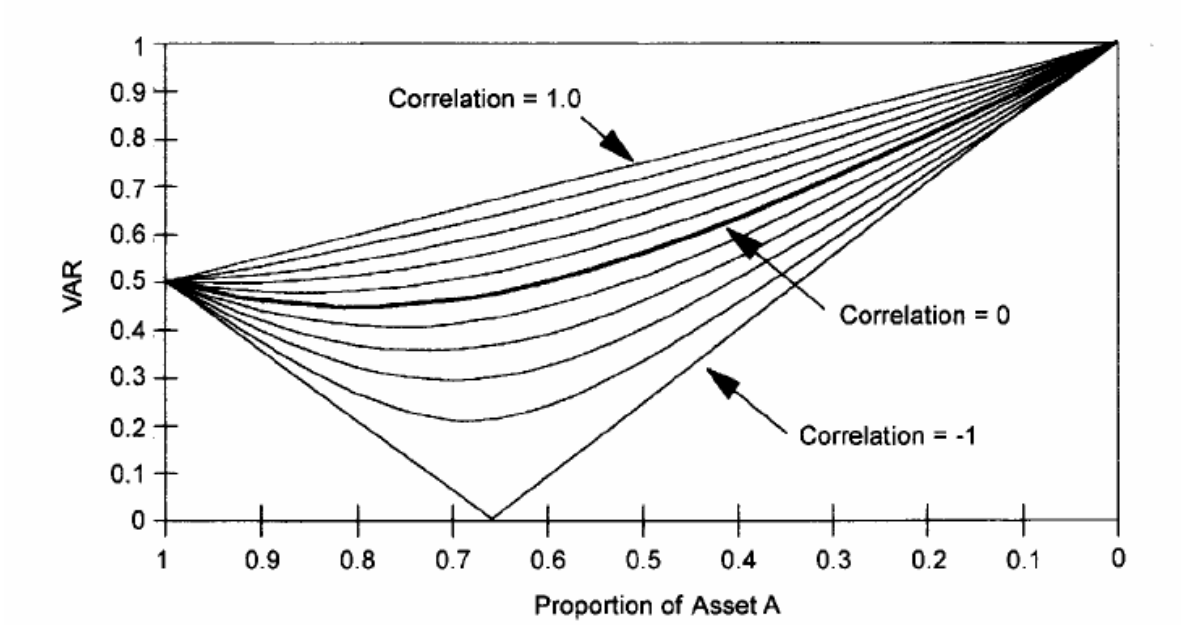
$$\overline{V} = \begin{bmatrix} VaR_1 & VaR_2 & \cdots & VaR_{n-1} & VaR_n \end{bmatrix}; \qquad \overline{V}^T = \begin{bmatrix} VaR_1 \\ VaR_2 \\ \vdots \\ VaR_{n-1} \\ VaR_n \end{bmatrix}$$

C je pak korelační matice vyjádřená:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{1,2} & \cdots & \rho_{1,n-1} & \rho_{1,n} \\ \rho_{1,2} & 1 & \cdots & \rho_{2,n-1} & \rho_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{1,n-1} & \rho_{2,n-1} & \cdots & 1 & \rho_{n-1,n} \\ \rho_{1,n} & \rho_{2,n} & \cdots & \rho_{n-1,n} & 1 \end{bmatrix}$$

Vazba korelačního koeficientu na výpočet celkového VaR při přidání dalšího aktiva do portfolia se dá graficky znázornit následujícím způsobem:

Obrázek 3 Efekt diverzifikace na VaR



Pramen: Best (1998)

6.1.3. Výpočet VaR

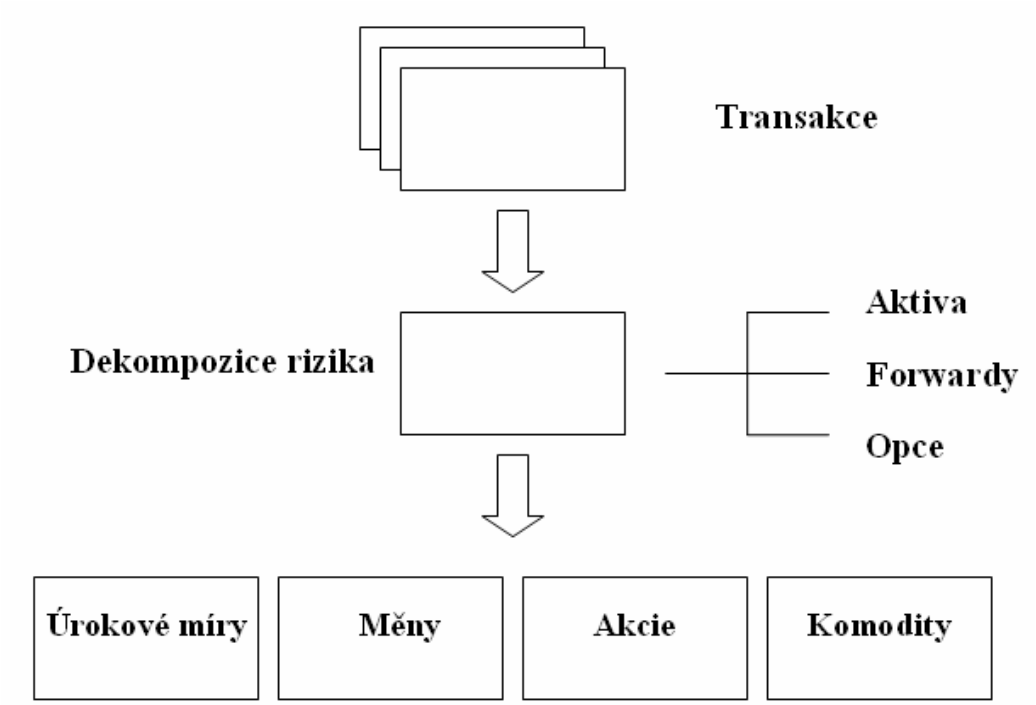
Samotná metodika výpočtu analytického VaR je poměrně široká. Základní postup při kalkulaci se dá shrnout do následujících kroků:

- *Mapování portfolia a dekompozice rizikových faktorů*
- *Určení/výpočet klíčových statistických parametrů*
- *Kalkulace VaR*

6.1.3.1. Mapování portfolia

V první řadě musíme všechny naše pozice přecenit nejlépe způsobem mark-to-market, identifikovat typy transakcí a přiřadit je do skupin rizikových faktorů. Následující graf ilustruje skupiny, do kterých budeme finanční instrumenty zařazovat:

Obrázek 4 Mapování portfolia



Pramen: Das (2006); vlastní úpravy

I když jsme schopni dle našeho nejlepšího přesvědčení všechny instrumenty v portfoliu správně ocenit, tak v drtivé většině případů zjišťujeme, že hodnota instrumentů je ovlivněna ne jedním, ale hned několika rizikovými faktory. Řešením, jak celý proces měření rizika usnadnit, je instrumenty rozložit na jednotlivá cashflow a rizikové faktory jim příslušné.

Musíme si uvědomit, že každý rizikový faktor, jemuž je cena instrumentu vystavena, je do jisté míry korelován s dalšími rizikovými faktory. Následující tabulka uvádí počet vzájemných korelací v závislosti na počtu rizikových faktorů:

Počet rizikových faktorů	**Počet korelací**	**Zvýšení rizikových faktorů (v násobcích)**	**Zvýšení korelací (v násobcích)**
20	190		
50	1 225	2,5	6,4
100	4 950	5	26,1
200	19 900	10	104,7
1 000	499 500	50	2 628,9
2 000	1 999 000	100	10 521,1

Čím méně rizikových faktorů budeme při kalkulaci VaR používat, tím více usnadníme výpočet tržního rizika a snížíme nároky na datovou základnu. Pro zajímavost je možno uvést, že například společnost Citigroup používá přibližně 250 tisíc rizikových faktorů[24].

Pro každý ze čtyř hlavních skupin rizikových faktorů popíši několik příkladů, jak správně mapovat pozice.

Úrokové míry

Pro účely změny ceny instrumentu v důsledku pohybu úrokové míry přiřazujeme jednotlivá cashlow k předem určeným datům splatnosti, abychom zachytili změny v příslušných úrokových mírách a zároveň ve tvaru výnosové křivky. Zabýváme se cashflow, která spadají do kategorie fixed income. Jako rizikové faktory používáme bezrizikové výnosové křivky a swapové křivky.

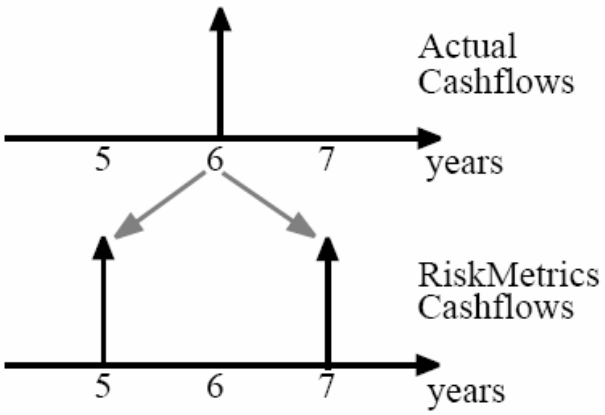
[24] BALTHAZAR, Laurent. *From Basel 1 to Basel 3 : The Integration of State-of-the-Art Risk Modeling in Banking Regulation*. New York : PALGRAVE MACMILLAN, 2006. s. 256 ISBN 978-1-4039-4888-5.

Každá pozice v této kategorii je charakterizována výší cashflow (úrokové platby i jistina) a časem, kdy jsou jednotlivá cashflow splatné. Pokud instrument obsahuje nějakou formu opčního kontraktu, tak opční kontrakt od dluhopisu oddělíme a zacházíme s ním zvlášť.

Ne vždy jsou přístupná všechna data o úrokových mírách. Pokud náš dluhopis bude splatný za 71 dní, tak těžko budeme hledat na trhu 71 denní úrokovou míru a její volatilitu. Můžeme si jí sice dopočítat, ale pro usnadnění doporučuje metodika RiskMetrics použít jen omezený počet rizikových faktorů (úrokových měr) ke stanoveným časovým obdobím. Zamezí se tak příliš velkému počtu rizikových faktorů a korelací. RiskMetrics doporučuje používat časové horizonty 1 měsíc, 3 měsíce, 6 měsíců, 12 měsíců, 2 roky, 3 roky, 4 roky, 5 let, 7 let, 9 let, 10 let, 15 let, 20 let a 30 let.

Cashflow, která spadají mezi dva časy, se musí poměrně rozdělit. Například šestiletý bezkupónový dluhopis rozdělíme na pětiletý a sedmiletý:

Obrázek 5 Mapování cashflow



Pramen: RiskMetrics (1996)

Nutnými podmínkami rozdělení cashlow plateb jsou:

- Zachování současné hodnoty plateb,
- Zachování směru toku cashflow,
- Zachování rizika způsobem, že celkové riziko původního cashflow by mělo být ekvivalentní riziku nových cashflow.

Pokud naše portfolio obsahuje pětiletý kuponový dluhopis, tak ho rozdělíme na čtyři bezkupónové dluhopisy s nominální hodnotu kupónové platby a jeden bezkupónový dluhopis v hodnotě součtu jedné kuponové platby a jistiny.

Složitější pozice jako jsou například úrokové swapy mapujeme jako FRN[25] a proti němu v opačné pozici dluhopis s pevným kupónem, přičemž platby z FRN jsou odhadnuty na základě forwardových úrokových sazeb.

Akciové pozice

Akciové pozice jsou reprezentovány cashflow a rizikovými faktory pro jednotlivé tituly. Je možné také za rizikový faktor zvolit pouze určený index[26] a za pomocí koeficientu β spočítat citlivost ceny akcie na pohyb jednotlivého indexu.

Termínové kontrakty jako například forwardy na akciové kontrakty se pro účely mapování rizika rozkládají na spotovou akciovou pozici a úrokovou pozici.

Měny

Spotové měnové pozice jsou vyjádřeny v domácí měně a jejich VaR je kalkulován přes volatilitu kurzu zvoleného měnového páru.

Termínové měnové kontrakty jako například forwardy jsou založeny na spotovou pozici v cizí měně a dva zero bondy[27] v opačných pozicích se splatností v době splatnosti forwardového kontraktu.

Komodity

Samotné komodity jsou mapovány jako spotová pozice v dané komoditě s příslušnou volatilitou či volatilitou příbuzné komodity.

[25] Floating rate note
[26] Popř. indexy, možno zvolit sektorové či indexy celého trhu
[27] Bezkupónové dluhopisy

Termínové kontrakty na komodity (futures či forwardy) jsou mapovány jako spotová pozice a opačná úroková pozice dohromady.

Opční kontrakty

Opční kontrakty zaujímají v oblasti analytického VaR specifickou pozici. Pokud si vezmeme například plain vanilla call opci, tak vidíme, že potenciální zisky a ztráty jsou u obou stran odlišné. Maximální ztráta držitele opce je opční prémie a úroky z ní (pokud je placena předem) a maximální zisk teoreticky nekonečný. Pro vypisovatele platí přesný opak. Co se týče důvodů, proč nasadit speciální postupy při výpočtu VaR, je vhodné zmínit základní charakteristiky opčních kontraktů:

- Vztah mezi cenou podkladového aktiva a cena opce není lineární. Cena opce se mění jinak než cena podkladového aktiva.
- Cena opce je vystavena jiným faktorům než samotná cena podkladového aktiva. Těmito faktory mohou být čas do splatnosti či volatilita.

Řešením problému kalkulace VaR u opčních kontraktů mohou být buď:

- *Delta normal metoda,*
- *Delta metoda se zahrnutím úprav pro gammu, vegu a thétu,*
- *Simulační přístup.*

Dle empirických testů dává nejpřesnější výsledky simulační metoda. Nejhorší pak delta normal přístup.[28]

[28] DAS, Satyajit. *Risk management*. Third edition revised. Singapore : John Wiley & Sons, 2006. s. 86. ISBN 978-0-470-82165-7.

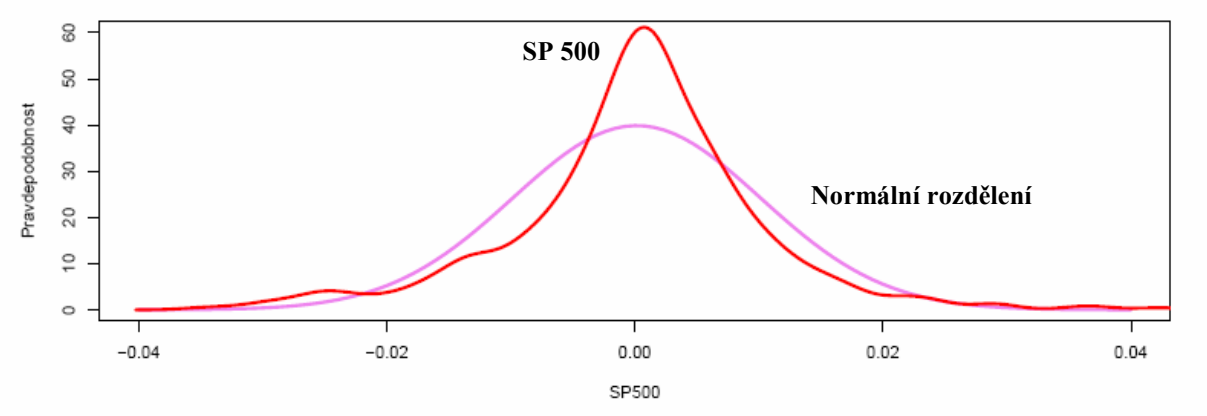
6.1.3.2. Určení/výpočet klíčových statistických parametrů

6.1.3.2.1. Testování předpokladu normality

Jako jeden z nejzásadnějších předpokladů správného výpočtu analytického VaR se často stanovuje předpoklad normálního rozdělení výnosů. Je tedy vhodné rozdělení výnosů aktiva nejdříve otestovat. Existují buď grafické nebo statistické metody.

U grafických metod stačí porovnat graf normálního rozdělení s empiricky naměřenými daty. Pokud se křivka empirického rozdělení výnosů hrubě liší od křivky normálního rozdělení, tak můžeme usuzovat na absenci normálního rozdělení a raději se nerozhodnout pro počítání VaR analytickým způsobem. Obrázek níže porovnává rozdělení indexu S&P 500 s normálním rozdělením.

Obrázek 6 Porovnání empirického rozdělení indexu SP500 s normálním rozdělením



Pramen: Černý (2008); vlastní úpravy

Pro potvrzení úsudku o normalitě, je vhodné použít statistické metody. Vhodnými testy na posouzení normálního rozdělení mohou být D'Agostinův K^2 test či Kolmogorov-Smirnovův test.

6.1.3.2.2. Volatilita

Vzhledem k faktu, že volatilita rizikových faktorů vstupuje do výpočtu VaR, tak si risk manažer musí přesně vydefinovat způsob výpočtu volatility a aspekty, které ji ovlivňují. Pro

výpočet volatility můžeme použít historické řady výnosů či volatilitu odvodit pomocí cen opcí[29]. Ve své práci budu pracovat s volatilitou založenou na historických datech.

Pro výpočet volatility je nutné stanovit počet dní, za které budeme volatilitu výnosů počítat[30]. Při delším období riskujeme, že nové tržní podmínky nebudou dostatečně promítnuty do našeho modelu. Příliš krátké období zase může způsobit, že vliv starší události způsobující zvýšenou volatilitu může být zapomenut.

Možným řešení, jak rychle promítnout možné šoky do hodnoty volatility, mohou být buď exponenciálně vážené klouzavé průměry (EWMA) nebo modely GARCH.

EWMA

Při použití exponenciálně vážených klouzavých průměrů jsme schopni do jisté míry implementovat do výpočtu celkového VaRu nové šoky způsobené trhem, a tak jeho hodnotu alespoň trochu objektivizovat.

Obecný matematický vzorec lze zapsat následovně:

$$\sigma_{t,n} = \sqrt{\frac{\lambda^0 r_{t-1}^2 + \lambda^1 r_{t-2}^2 + \ldots + \lambda^{n-2} r_{t-n-1}^2 + \lambda^{n-1} r_{t-n}^2}{\lambda^0 + \lambda^1 + \ldots + \lambda^{n-2} + \lambda^{n-1}}} \quad \text{, kde}$$

$\sigma_{t,n}$ odpovídá volatilitě v čase t vypočtenou z n výnosů,

λ odpovídá tlumícímu faktoru[31], platí také, že $0 < \lambda < 0$.

Určení hodnoty λ je do jisté míry velmi subjektivní. Z pohledu testů v metodice RiskMetrics však vycházejí pro měsíční data nejlépe hodnoty $\lambda = 0{,}94$ nebo $\lambda = 0{,}97$[32]. Čím vyšší váha, tím vyšší důležitost je přiřazena novější hodnotě.
Za použití vzorce pro součet geometrické posloupnosti můžeme upravit řadu:

[29] Za předpokladu, že známe cenu opce, oceňovací model, strike price, hodnotu podkladového aktiva, bezrizikovou úrokovou míru a dobu do splatnosti, jsme schopni volatilitu spočítat.
[30] Za jeden rok můžeme počítat s 250 denními daty.
[31] Překlad z anglického „decay factor“
[32] JP Morgan/Reuters. *RiskMetrics™ —Technical Document* [online]. Fourth edition. New York : , 1996 [cit. 2010-03-19]. Dostupné z WWW: <www.riskmetrics.com>.

$$\lambda^0 + \lambda^1 + \ldots + \lambda^{n-2} + \lambda^{n-1} = \sum_{i=0}^{n-1} \lambda^i = \frac{1-\lambda^n}{1-\lambda}.$$

Výraz pak pro velké hodnoty n můžeme zjednodušit na pouhé $\frac{1}{1-\lambda}$.

Po dosazení do původního vzorce dostáváme:

$$\sigma_{t,n} = \sqrt{\frac{\lambda^0 r_{t-1}^2 + \lambda^1 r_{t-2}^2 + \ldots + \lambda^{n-2} r_{t-n-1}^2 + \lambda^{n-1} r_{t-n}^2}{\lambda^0 + \lambda^1 + \ldots + \lambda^{n-2} + \lambda^{n-1}}} = \sqrt{\frac{1-\lambda}{1-\lambda^n} \sum_{i=1}^{n} \lambda^{i-1} r_{t-i}^2} = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{i=1}^{n} \lambda^{i-1} r_{t-i}^2}\ .$$

Pro případný odhad budoucí volatility pak můžeme odvodit vztah[33]:

$$\sigma_{t+1}^2 = (1-\lambda) \sum_{i=1}^{\infty} \lambda^{i-1} r_{t+1-i}^2 = (1-\lambda) \cdot \lambda^0 r_t^2 + (1-\lambda) \sum_{i=2}^{\infty} \lambda^{i-1} r_{t+1-i}^2 = (1-\lambda) \cdot 1 \cdot r_t^2 + (1-\lambda) \sum_{j=1}^{\infty} \lambda \cdot \lambda^{j-1} r_{t-j}^2 =$$

$$= (1-\lambda) r_t^2 + \lambda \left[(1-\lambda) \sum_{j=1}^{\infty} \lambda^{j-1} r_{t-j}^2 \right] = (1-\lambda) r_t^2 + \lambda \sigma_t^2 .$$

Stejným způsobem jako rozptyl lze vyjádřit i kovarianci a korelační koeficient:

$$Cov(r_1, r_2)_t = (1-\lambda) r_{1,t} r_{2,t} + \lambda Cov(r_1, r_2)_{t-1}$$

$$\rho_{1,2,t} = \frac{Cov(r_1, r_2)_t}{\sigma_{1,t} \sigma_{2,t}} .$$

Modely GARCH[34]

Modely GARCH využívají faktu, že volatilita v časových řadách má velké tendence se shlukovat a řídí se určitou zákonitostí. GARCH předpokládá, že podmíněný rozptyl výnosů aktiv není konstantní. Shlukování volatility znamená, že běžná úroveň volatility má tendenci

[33] Odvozeno pro hodnotu rozptylu
[34] General Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

být pozitivně zkorelována s úrovní volatility v bezprostředně předcházejícím období. Lze tak proto předpokládat, že volatilita je autokorelována[35].

Modely GARCH mají základ v modelech ARCH, které vyjadřují podmíněný rozptyl v čase t+1 následující rovnicí:

$$\sigma_{t+1}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_t^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-1}^2 + ... + \alpha_p \varepsilon_{t-p+1}^2 \text{ , kde}$$

ε_t odpovídá předpovědní chybě,

α odpovídají koeficientům odhadnutým regresí.

Model ARCH byl upraven[36] přidáním závislosti podmíněného rozptylu na jeho minulých hodnotách:

$$\sigma_{t+1}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_t^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-1}^2 + ... + \alpha_p \varepsilon_{t-p+1}^2 + \beta_1 \sigma_t^2 + \beta_2 \sigma_{t-1}^2 + ... + \beta_q \sigma_{t-q+1}^2$$

Asi nejznámější variantou je model GARCH (1,1), který používá jen jednu chybu a jen jeden minulý rozptyl. Za předpokladu, že průměrný výnos se rovná nule, tak dostáváme tvar rovnice:

$$\sigma_{t+1}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 r_t^2 + \beta_1 \sigma_t^2 \text{, kde}$$

$$\alpha_0 > 0 , \alpha_1 \geq 0 , \beta_1 \geq 0 .$$

6.1.3.2.3. Časové období

Často se volí buď jeden den, deset dní, nebo jeden měsíc. Volba časového intervalu by měla záležet na likviditě daného trhu. Doporučuje se volit časový interval, za který je subjekt schopen dané pozice uzavřít.

[35] HUŠEK, Roman . *Ekonometrická analýza*. Praha : Nakladatelství Oeconomica, 2007. s. 150. ISBN 978-80-245-1300-3.
[36] BOLLERSLEV, Tim General Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. In *Journal of Econometrics*. 31, 1986. s. 307-327.

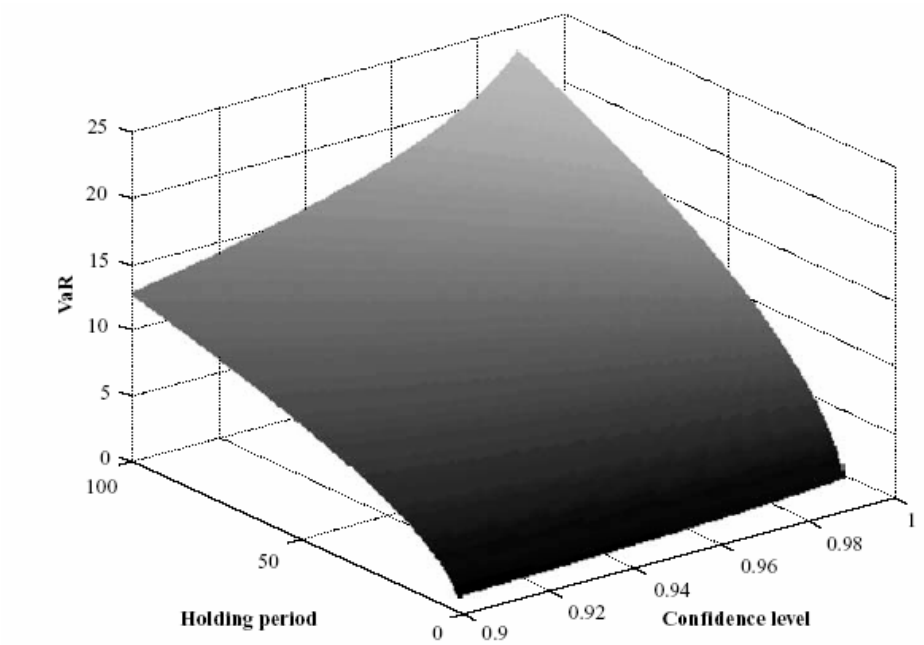
Je lepší používat spíše kratší intervaly z důvodu ne příliš velké změny portfolia a snadnějšího backtestování modelu (čím kratší interval, tím více použitelných dat).

6.1.3.2.4. Interval spolehlivosti

Určení intervalu spolehlivosti závisí na míře opatrnosti risk manažera nebo, jak později ukáži, na požadavcích regulátora. V praxi se volí se intervaly 95%, 99% nebo 99,97%. Pokud známe 95% VaR, tak můžeme jednoduchou matematickou úpravu dopočítat i 99% VaR:

$$VaR_{99\%} = \frac{2{,}33}{1{,}65} \cdot VaR_{95\%}.$$

Obrázek 7 Závislost VaR na době a intervalu spolehlivosti



Pramen: Dowd (2002)

6.1.3.3. Kalkulace VaR

S využitím znalostí zmíněných v předchozích kapitolách uvádím modelový postup výpočtu analytického VaR na modelovém portfoliu. Pro porovnání pak v další kapitole srovnám výsledek analytického VaR s historickým VaR.

Modelové portfolio se skládá z následujících instrumentů:

Akciová pozice:

Akcie Telefónica O2 (CZK)

Celkový objem: 60 milionů

Měnové pozice:

Dolary (USD)

Celkový objem: 2 miliony USD

Eura (EUR)

Celkový objem: 3 miliony EUR

Švýcarské franky (CHF)

Celkový objem: 1 milion CHF

Úkolem bude spočítat diverzifikovaný a nediverzifikovaný desetidenní VaR na 95% intervalu spolehlivosti. Všechny výpočty jsou založeny na 250 reálných datech[37] napozorovaných od 19.5. 2009 do 3.5. 2010. Současné spotové kurzy k datu 3.5. 2010 jsou:

EUR/CZK= 26,079 USD/CZK= 20,241 CHF/CZK= 18,201

Instrument	**Současná hodnota pozice** (v CZK)
Telefónica O2	60 000 000
EUR	78 237 000
USD	40 482 000
CHF	18 201 000

Pro výpočet VaR pro jednotlivé pozice jsem vypočítal denní směrodatné odchylky jednotlivých instrumentů:

[37] Získáno ze serveru *patria.cz*

Instrument	Denní směrodatná odchylka (v %)
Telefónica O2	1,3214
EUR	0,4369
USD	0,8264
CHF	0,5125

Jelikož však při portfoliovém přístupu musíme počítat se vzájemnými korelacemi, tak je potřeba nejdříve zjistit vzájemnou závislost instrumentů z historických dat:

	Telefónica O2	**EUR/CZK**	**USD/CZK**	**CHF/CZK**
Telefónica O2	1	0,0652	0,0269	0,0916
EUR/CZK	0,0652	1	0,6458	0,8560
USD/CZK	0,0269	0,6458	1	0,0916
CHF/CZK	0,0916	0,8560	0,0916	1

S danými hodnotami můžeme pak vypočítat VaR pro každou pozici:

	VaR (v CZK)
Telefónica O2	4 124 311
EUR	1 778 116
USD	1 740 276
CHF	485 238

Konečným krokem je výpočet nediverzifikovaného a diverzifikovaného VaR, který jsem vypočítal ve výši:

Nediverzifikovaný VaR *8 127 942 CZK*

Diverzifikovaný VaR *5 547 262 CZK.*

Naše portfolio tedy v důsledku tržních pohybů může s jistotou 95% maximálně ztratit za deset dní 5 547 262 Kč, což je 2,8% z celkové aktuální tržní hodnoty portfolia.

6.2. Historický VaR

Historický VaR je metodou, která se od analytického VaR liší způsobem výpočtu a potřebnými předpoklady. Historický VaR nepředpokládá normální rozdělení a dovede si poradit i s nelineárními portfolii.

Historický VaR je počítán na základě historických cen/měr a přeceňuje naše pozice vzhledem ke každé tržní změně. Proto je někdy historický VaR nazýván historickou simulací. Výpočet VaR vychází z jednoduché rovnice:

$$\Delta P = P_{t+n} - P_t \text{, kde}$$

ΔP odpovídá změně předpokládané hodnoty portfolia v čase t,

P_{t+n} odpovídá tržní hodnotě portfolia za n dní,

P_t odpovídá současné tržní hodnotě portfolia.

Určení VaR pak probíhá na základě stanoveného intervalu spolehlivosti. Pokud vezmeme v úvahu datovou základnu o 100 obchodních dnech, tak hodnota 95% VaR je šestá největší hodnota[38] ΔP.

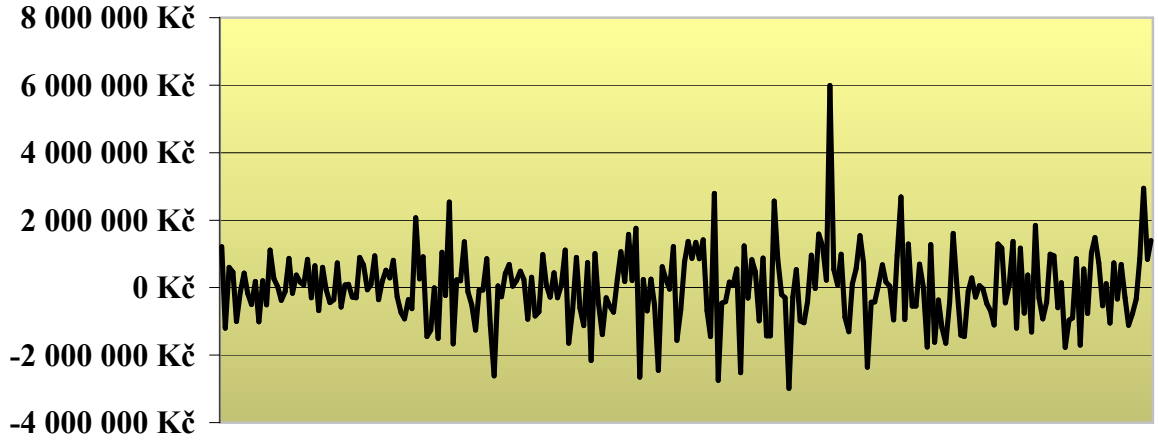
6.2.1. Kalkulace VaR

Pro účely zjištění historického VaR použiji naprosto totožné informace jako v příkladě kalkulace analytického VaR.

Všech 250 přecenění portfolia jsem provedl na základě relativních denních změn ceny jednotlivých instrumentů. V grafu uvádím ukázku změny ceny portfolia na všech 250 simulacích:

[38] 95% percentil

Obrázek 8 Změny ceny portfolia



Pramen: Vlastní výpočty

Jednotlivé změny jsem pak seřadil a našel hodnotu 95. percentilu:

VaR = 4 858 697 Kč.

Při porovnání s hodnotou spočtenou dle analytického VaR zjistíme, že odhad analytickou metodou je vyšší o 688 565 Kč než historickým VaR.

Výhody

Historický VaR již v sobě má zahrnuty korelace i volatility. Není zde také nutný předpoklad normálního rozdělení portfolia. Jeho výpočet je také poměrně snadno interpretovatelný. Umí podchytit i změny v nelineárních portfoliích. Implementace historického VaR je poměrně snadná, stačí nám pouze historická data o cenách a rizikových faktorech.

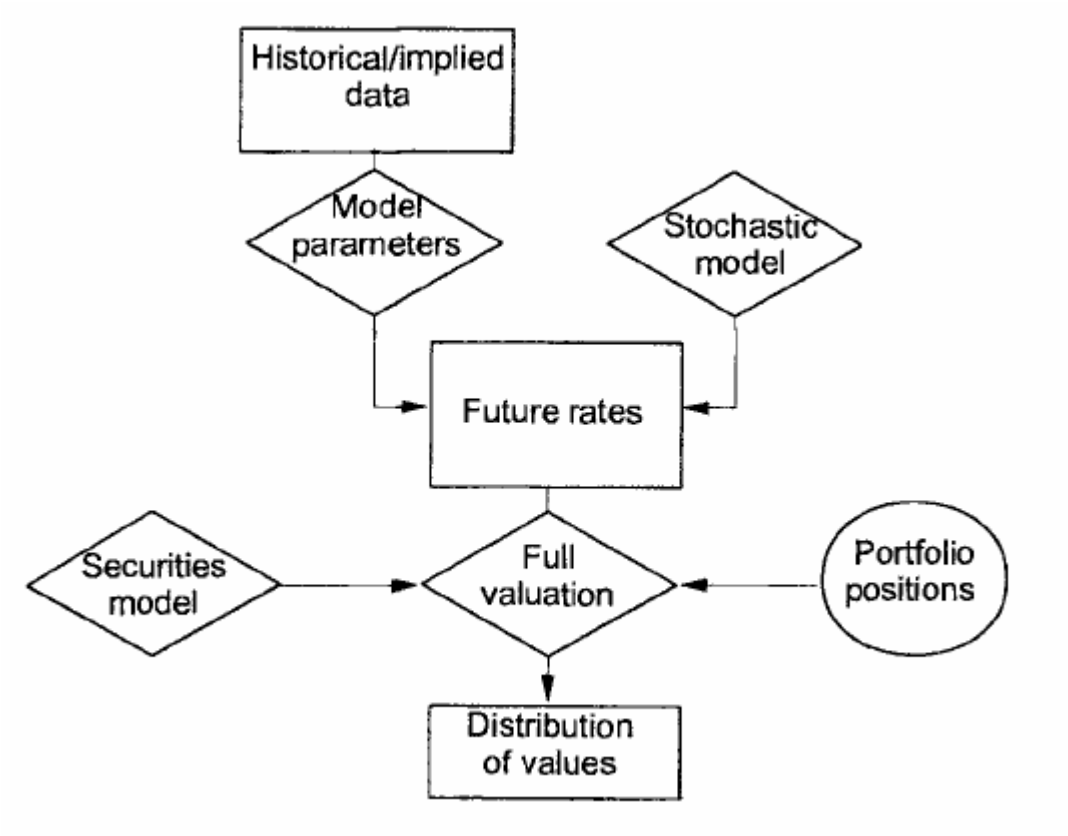
Nevýhody

Pokud zvolíme špatné období, ze kterého čerpáme naše data, tak se můžeme dopustit velké nepřesnosti v měření VaR. Samotná náročnost na výpočet může být v případě komplikovaného portfolia velká, protože portfolio musíme častokrát přeceňovat.

6.3. Simulační VaR

Třetí metodou výpočtu VaR je metoda simulací založená na budoucích projekcích rizikových faktorů. Do modelu zadáváme parametry našeho portfolia a parametry, které ovlivňují jeho hodnotu. Daný model pak stochachtickým procesem generuje určitý počet scénářů, kde je naše portfolio přeceňováno. Podle námi zvoleného kvantilu pak vybereme hranici VaR. Mechanismus simulačních metod ukazuje následující graf:

Obrázek 9 Proces výpočtu simulačního VaR



Pramen: Jorion (1998)

Simulační metody se dělí na modelové scénáře a Monte Carlo simulace.

6.3.1. Modelové scénáře[39]

Budoucí změny v rizikových faktorech jsou do velké míry subjektivně naplánovány předem. Umožňuje nám to modelovat situace, které na trhu již nastaly, nebo předpokládáme, že nastanou (třeba strmý pád akciových trhů či default Řecka).

Výhody

Modelové scénáře umožňují přesné nastavení podmínek scénáře. Často nám pomáhají modelovat nejrůznější tržní situaci a slouží jako užitečný stress test[40].

Nevýhody

Mezi omezení patří úzký počet námi zadaných scénářů, a tedy náš model není schopný plně podchytit budoucí vývoj. Dalším problémem pak může být rychle se měnící se struktura portfolia v čase, která učiní předchozí výsledky našich scénářů bezcennými.

6.3.2. Monte Carlo simulace

Fungují velmi podobně jako modelové scénáře, pouze je neomezujeme předem definovanými předpoklady a hodnotami. Při použití simulace Monto Carlo uživatel modeluje stochachtickým procesem budoucí rizikové faktory. Portfolio se pak přeceňuje a my můžeme zjistit zvoleným kvantilem VaR. Při modelování Monte Carlo často vytváříme od 500 do 500 000 scénářů. Monte Carlo simulace se dělí na dva druhy:

- *Pasivní*
- *Aktivní*

Pasivní simulace Monte Carlo nepředpokládá změny v portfoliu během pohybu rizikových faktorů. Naproti tomu aktivní simulace umožňují zakomponovat do modelu zásahy zvenčí, kde je možné přidat například podmínku změny portfolia tak, aby zůstalo delta neutrální.

[39] Angl. fixed scenarios

[40] DAS, Satyajit. *Risk management*. Third edition revised. Singapore : John Wiley & Sons, 2006. s. 101. ISBN 978-0-470-82165-7.

Výhody

Do výhod simulací Monte Carlo lze zařadit poměrně přesnou hodnotu vypočteného VaR[41] a absenci předpokladu normálního rozdělení. Simulace nám umožní vytvořit takřka neomezený počet scénářů, které pak můžeme analyzovat. Je flexibilní a dobře si poradí s nelineárním portfoliem.

Nevýhody

Metoda Monte Carlo je ze všech tří metod výpočtu VaR nejnáročnější na výpočet ve smyslu náročnosti na softwarovou vybavenost. Jako u každého simulačního modelu také závisí jeho přesnost na definování stochachtického procesu a vstupních datech.

7. Backtesting

V předchozích kapitolách jsem ukázal výpočet VaR za pomocí různých přístupů a metod. Abychom ověřili, že naše modely dávají správné výsledky, musíme je konfrontovat s realitou. Tomuto procesu se říká backtesting.

Při zvolení jednoduššího přístupu stačí porovnat naše skutečné denní ztráty s vypočteným VaR. Pro případ 95% VaR za 250 dní bychom měli nalézt 12 hodnot přesahujících hodnotu VaR. Pokud máme hodnot více, může náš model být nedostatečně přísný. V případě méně přesahujících hodnot, může náš model být příliš konzervativní.

V realitě nikdy nedosáhneme přesného počtu hodnot přesahujících VaR. Často je počet hodnot nižší nebo větší jen díky pouhé náhodě. Abychom odlišili náhodu od chyby v modelu, používáme statistické metody, které se snaží chybu modelu podchytit.

Používáné metody[42] se dělí na statistické testy (Kupiecův unconditional coverage test a Christoffersnův conditional coverage test) a ztrátové funkce. Pro větší názornost uvádím příklad *unconditional coverage testu*.

[41] DAS, Satyajit. *Risk management*. Third edition revised. Singapore : John Wiley & Sons, 2006. s. 103. ISBN 978-0-470-82165-7.
[42] GRIGORE, Alina. *Value at risk. Measurement and evaluation methods for market risk.* [online]. 2007, [cit. 2010-04-24]. Dostupný z WWW: <www.gloriamundi.org>.

Test budeme provádět na 99% VaR. Celkem jsme provedli 2500 pozorování denního VaR a denní P/L[43]. Z našich celkových 2500 pozorování překročilo 40 případů úroveň VaR.

$$n = 2500, n_0 = 2460, n_1 = 40, \pi_{\exp} = 0{,}01, \pi_{obs} = 40/2500 = 0{,}016 \quad \text{, kde}$$

$\pi_{\exp}$ odpovídá předpokládané pravděpodobnosti překročení VaR,

π_{obs} odpovídá naměřené pravděpodobnosti překročení VaR.

Vzorcem[44] dopočítáme potřebnou hodnotu pro přijmutí či zamítnutí hypotézy o přesném modelu VaR:

$$\ln(LR_{uc}) = n_1 \ln(\pi_{\exp}) + n_0 \ln(1-\pi_{\exp}) - n_1 \ln(\pi_{obs}) - n_0 \ln(1-\pi_{obs}) = -3{,}8456\,.$$

Náš výsledek ještě vynásobíme -2 a dostaneme hodnotu 7,6914. Naše hodnota je větší než kritická hodnota testu (6,6349) a tedy hypotézu o přesném modelu VaR zamítáme.

8. Právní úprava

8.1. Kapitálový požadavek

Finanční instituce řídí riziko nejen protože chtějí, ale protože i musí. V Evropské unii jim to přikazují národní legislativy vytvořené dle směrnic Evropské unie, které vycházejí z rámce pravidel Basel II[45]. V českém prostředí se zainteresované instituce řídí vyhláškou České národní banky č. 123/2007 Sb. o pravidlech obezřetného podnikání bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry[46]. Celý systém řízení rizik klade na instituce mnoho kvalitativních i kvantitativních požadavků. Mezi kvantitativní patří hlavně kapitálová přiměřenost. Filosofie Basel II říká, že instituce by měla držet množství kapitálu úměrného riziku, kterému je vystavena.

[43] zisk/ztráta
[44] ALEXANDER, Carol. *Market risk analysis Volume IV : Value-at-risk models*. Chichester : John Wiley & Sons, 2008. s. 338 ISBN 978-0-470-99788-8.

[45] Basel II je soubor pravidel vydaných Bankou pro mezinárodní platby (BIS)
[46] Ve znění vyhlášky 282/2008 Sb.

Regulatorní kapitál instituce (RC) musí splňovat podmínku:

$$RC \geq MRCR_{credit} + MRCR_{market} + MRCR_{operational}\text{, kde}$$

$MRCR$ jsou minimální kapitálové požadavky ke konkrétnímu riziku.

RC se rozděluje na tři části:

- Tier 1
- Tier 2
- Tier 3

Tier 1 bývá označován jako *původní kapitál* či *core capital.* Vpodstatě se s drobnými úpravami jedná o vlastní kapitál instituce. Tier 2 se označuje jako *dodatkový kapitál* a skládá zejména z *vedlejšího dodatkového kapitálu* (podřízeného dluhu A) a *hlavního dodatkového kapitálu*, který odpovídá přebytku v krytí očekávaných úvěrových ztrát na individuálním základě. Tier 3 se označuje jako *kapitál na krytí tržního rizika* a tvoří ho podřízený dluh B.

Musí přitom platit, že Tier 1 $\geq$ Tier 2 +Tier 3

Až na likviditní riziko jsou všechna finanční rizika v kapitálovém požadavku upravena.
V současné době drží například průměrná česká banka[47] zhruba pouhých pět až osm procent celého regulatorního kapitálu vůči tržnímu riziku. Minimální požadovaný kapitál potřebný ke krytí tržního rizika je možno stanovit dvojím způsobem:

- *Standardizovaný přístup*
- *Přístup dle vlastních modelů*

Standardizovaný přístup je výrazně jednodušší a náklady na jeho zavedení jsou velmi nízké. Na druhé straně se výrazně neporučuje používat v rámci systému řízení rizik, protože neposkytuje příliš věrný obraz o rizikové expozici instituce.

[47] Tj. banka působící na území ČR s platnou licencí ČNB

Vlastní modely umožňují přesnější kvantifikaci rizik a umožňují v případech relativně klidných trhů dosáhnout nižšího kapitálového požadavku. Jejich nevýhodou jsou vyšší náklady (peněžní i lidské) na zavedení a na provoz systému.

Použití metody VaR se řadí do skupiny vlastních modelů. Samotné použití VaR k výpočtu kapitálového požadavku je však možné pouze po předchozím souhlasu regulátora.

Regulátor udělí souhlas s použitím VaR při řízení rizik za následujících podmínek[48]:

- model je koncepčně správný a je používán v souladu se způsobem řízení rizik povinné osoby,
- model byl testován po dobu alespoň jednoho roku a povinná osoba je schopna doložit záznamy porovnávání skutečných denních zisků a ztrát v tomto období s hodnotami vypočtenými na jeho základě,
- model splňuje kvalitativní požadavky ,
- model splňuje požadavky na specifikaci faktorů tržního rizika ,
- model má prokazatelně dostatečnou přesnost a splňuje kvantitativní požadavky,
- povinná osoba provádí stresové testování pravidelně, zpětné testování modelu provádí denně,
- model je dostatečně ověřen.

Pokud subjekt chce využívat metodu VaR, musí splnit všechny požadavky výše zmíněné a dodat veškerou potřebnou dokumentaci svému regulátorovi. Regulátor pak model i použité stresové scénáře ověří a vydá do šesti měsíců rozhodnutí.

Minimální kapitálový požadavek ke krytí tržního rizika musí pokrývat úrokové a akciové riziko obchodního portfolia. Měnové a komoditní pozice se započítávají jak z obchodního, tak z investičního portfolia.

[48] Dle přílohy 21 vyhlášky ČNB 123/2007 Sb.

Minimální kapitálový požadavek ke krytí tržního rizika se určí jako větší z následujících hodnot:

- VaR předchozího dne,
- Průměr VaR za posledních šedesát dní * *k*.

Konstanta *k* se rovná 3 a regulátor ji může v případě nepříliš dobře fungujícího modelu VaR zvýšit až na hodnotu 4. Regulátor má pravomoc upravit konstantu *k* dle výsledků backtestování modelu. V následující tabulce je uvedený přehled navýšení koeficientu *k* v závislosti na počtu chyb modelu pro 250 dní:

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

Pramen: Vyhláška ČNB 123/2007; Příloha 21

Regulátor při výpočtu VaR stanovuje dobu deset dní a interval spolehlivosti 99%[49]. Požadavky na VaR nevyžadují jednu konkrétní metodu výpočtu VaR a instituce si tak může zvolit metodu výpočtu dle svého uvážení.

Ač v rámci vnitřních systémů využívají banky v České republice VaR modelů poměrně často, tak pro stanovení kapitálového požadavku používají VaR zatím pouze dvě banky. Co se týče regulatorních pravidel, tak instituce musí systém řízení rizik vlastními modely doplnit ještě stresovými scénáři. Právě na tyto scénáře soustřeďuje ČNB stejnou pozornost jako na validaci VaR modelů. Zajímavostí je, že validaci modelů VaR provádějí za ČNB pouze dva zaměstnanci.

[49] Basel Committee on Banking Supervision. *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards* [online]. Basel. 2006 [cit. 2010-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.bis.org/publ/bcbs128.pdf>. ISBN 92-9131-720-9.

8.2. Možné změny regulatorních pravidel

8.2.1. Stresový VaR

Je také nezbytné připomenout budoucí změny regulatorních pravidel Evropské unie, které byly vynuceny nedávnou krizí. Evropská komise již některé změny projednala, kolem dalších návrhů změn stále probíhá jednání.

Jedná se konkrétně o změny směrnic 2006/48/EC a 2006/49/EC, které upravují kapitálovou přiměřenost. Změny mají zahrnovat úpravy parametrů kapitálového požadavku k tržnímu, kreditnímu a operačnímu riziku. Dále se počítá se změnou kvalitativních standardů v oblasti likviditního rizika. Evropská komise chce také zcela eliminovat kategorii kapitálu Tier 3.

Evropská komise si je vědoma procykličnosti kapitálového požadavku[50] a mimo jiné navrhuje zavedení stresového VaR, který bude tvořit dodatečný kapitálový požadavek na instituci. Stresový VaR bude vycházet z výsledků zátěžových scénářů pro danou instituci. Evropská komise očekává, že kapitálový požadavek k tržnímu riziku se zvětší téměř dvakrát. Pro bližší představu uvádím úryvek z připravované změny směrnice[51]:

Each institution must meet, on a daily basis, a capital requirement expressed as the sum of:

(a) The higher of (1) its previous day's value-at-risk number measured according to point 10 (VaRt-1); and (2) an average of the daily value-at-risk measures according to point 10 on each of the preceding sixty business days (VaR_{avg}), multiplied by the multiplication factor (m_+); plus

(b) The higher of (1) its latest available stressed-value-at-risk number according to point 10a ($sVaR_{t-1}$); and (2) an average of the stressed value-at-risk numbers calculated in the manner and frequency specified in point 10a during the preceding sixty business days ($sVaR_{avg}$), multiplied the multiplication factor (m_+);

Odstavec 10a. na který je odkazováno při způsobu výpočtu stresového VaR uvádím zde:

[50] Tzn. v klidných dobách modely riziko výrazně podceňují

[51] Evropská komise. *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directives 2006/48/EC and 2006/49/EC as regards capital requirements for the trading book and for re-securitisations, and the supervisory review of remuneration policies.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-09]. Dostupný z WWW: <http://ec.europa.eu/internal_market/consultations/docs/2010/crd4/consultation_paper_en.pdf >.

In addition, each institution shall calculate a 'stressed value-at-risk' based on the 10-day, 99th percentile, one-tailed confidence interval value-at-risk measure of the current portfolio, with value-at-risk model inputs calibrated to historical data from periods of significant financial stress relevant to the firm's portfolio. The choice of such historical data shall be subject to yearly review and approval by competent authorities. The Committee of European Banking Supervisors shall monitor the range of practices in this area and draw up guidelines in order to ensure convergence. Institutions shall calculate the stressed value-at-risk at least weekly.

Nová legislativní úprava si klade za cíl odstranit procykličnost kapitálového požadavku právě výpočtem VaR s daty odpovídajících obdobímu, kdy bylo příslušné portfolio výrazně zatíženo. Úprava směrnice přitom důkladně nespecifikuje jasné období, za které máme stresový VaR počítat. Dohledová autorita se v tomto případě může zachovat velmi subjektivně. Také pravomoci CEBS, který by měl bránit v subjektivitě v rozhodování národních dohledů, nejsou přesně vymezeny. Zda bude mít CEBS právní moc změnit rozhodnutí národního dohledu, není z připravované směrnice vůbec jasné.

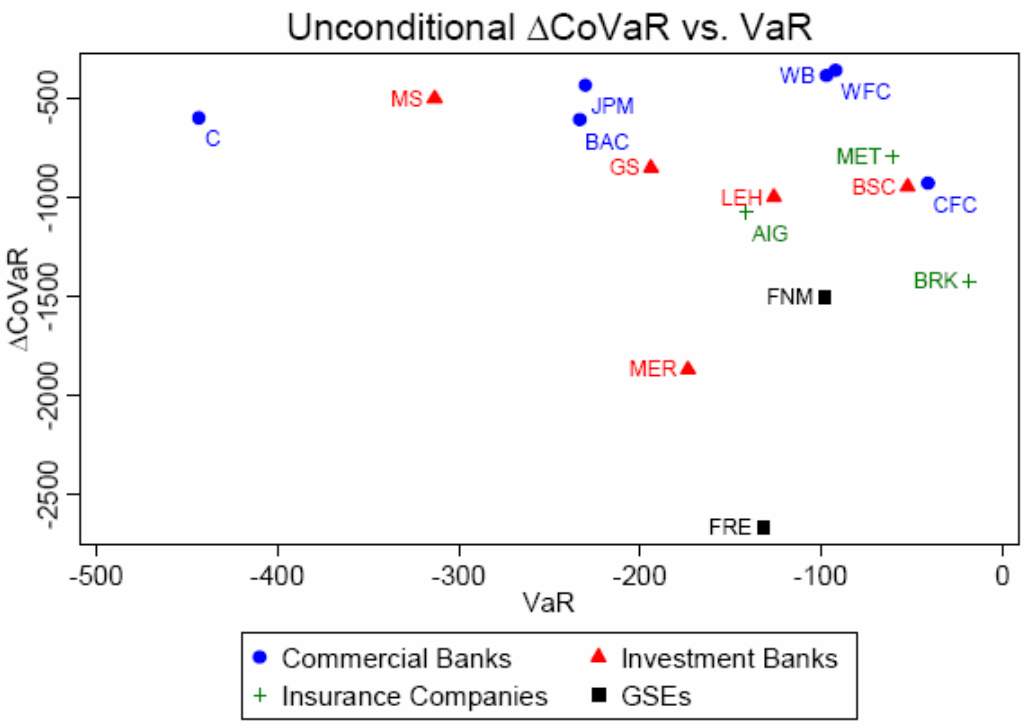
Datum implementace některých nových opatření je stanoveno k prosinci roku 2010. U dalších opatření ještě probíhají konzultace a je možné odhadovat jejich implementaci do národních legislativ až v roce 2011.

8.2.2. CoVaR

Samotný VaR by mohl sehrát také ještě další roli při možných budoucích změnách v regulaci finančního sektoru. Zvláště v USA se hodně diskutuje uvalení speciální daně na instituce, které představují velké systémové riziko pro finanční sektor. Pro stanovení finančního rizika by se dala použít metoda CoVaR[52], která kalkuluje systémové riziko jako rozdíl mezi hodnotou CoVaR a VaR. Právě tento rozdíl by měl sloužit buď k vyjádření speciální daně na finanční instituce či dodatečnému požadavku na kapitál. CoVaR bere v úvahu složení portfolia, míru páky, velikost portfolia a další hodnoty. Pro názorný příklad lze uvést ukázku závislost VaR a CoVaR pro některé americké instituce:

[52] MARKUS K. , Tobias ; BRUNNERMEIER, Adrian. *CoVaR* [online]. 2009 [cit. 2010-05-02]. Dostupné z <WWW:http://www.princeton.edu/~markus/research/papers/CoVaR>.

Obrázek 10 Závislost VaR a CoVaR



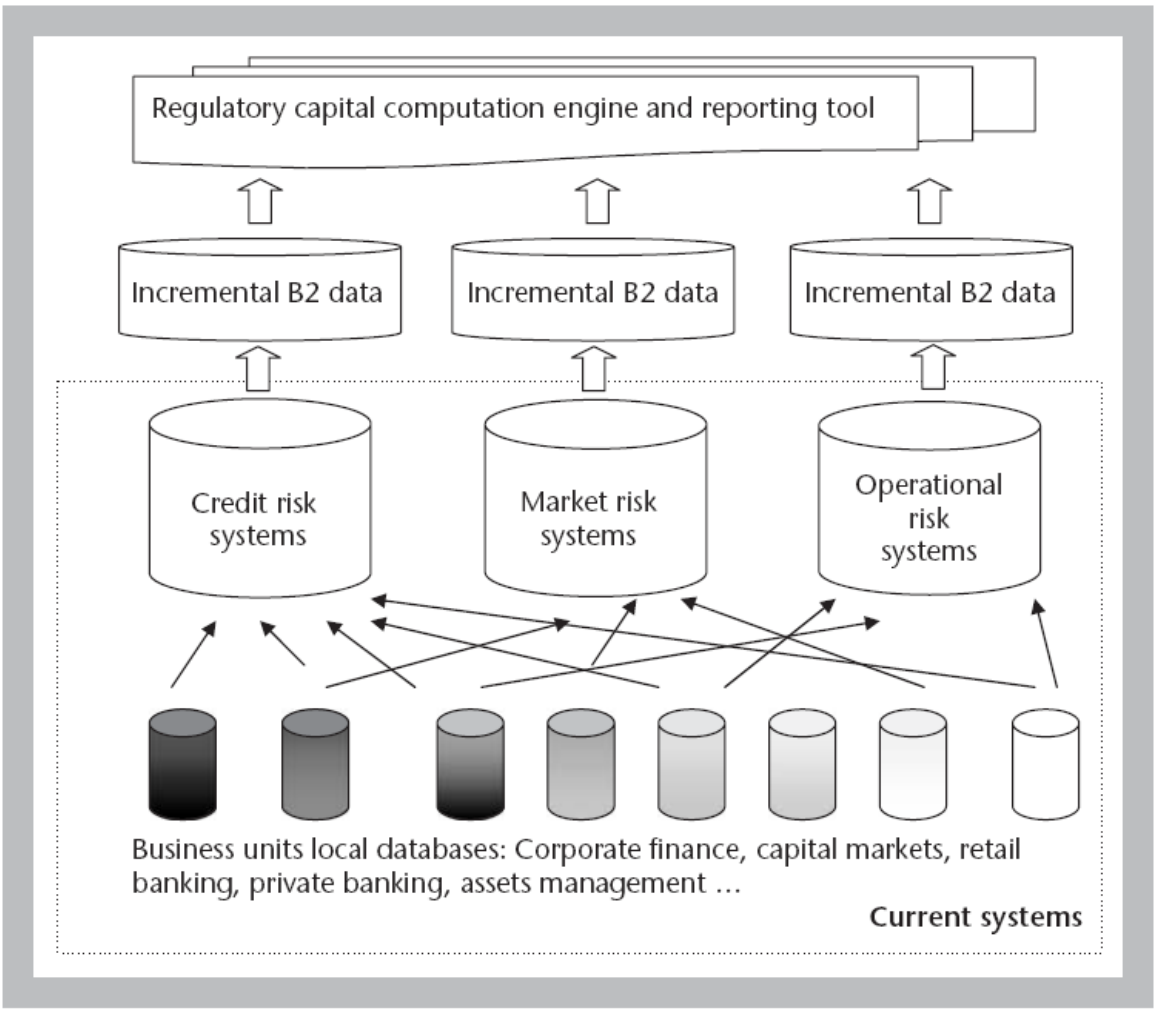
Pramen: Markus, Brunnermeier (2009)

Problémem CoVaR je složitý proces výpočtu a dle mého názoru se v procesu výpočtu objeví příliš mnoho subjektivních kritérií, jejichž výklad bude velmi sporný. Nicméně snaha změřit systémové riziko vypadá jako cesta správným směrem. Evropská komise zatím o této metodě neuvažuje.

9. Implementace VaR

Implementace jednoduchých modelů VaR není příliš náročná. Záleží však samozřejmě na velikosti finanční instituce a parametrech existujícího informačního systému. Základní architektura informačního systému instituce by měla efektivně využívat všechna data, která jsou momentálně k dispozici a zajistit, aby nedocházelo k opomenutí některých údajů či dvojímu započítání. Obecný proces toku dat lze ilustrovat na následujícím schématu:

Obrázek 11 Datové toky v procesu výpočtu VaR



Pramen: Balthazar (2006)

Časová náročnost zavedení systému VaR se liší případ od případu. Zavedení systému VaR se může pohybovat od jednoho měsíce do půl roku. Například větší české banky vlastněné zahraničními bankovními domy musí rozhodnutí v rámci svých struktur dlouho konzultovat a často se čeká na různá schválení a posudky poradenských firem.

Pokud chceme zavést VaR, tak logickou potřebou je i kvalitní software. Většina bank už nějakou obdobu softwaru má, a tak investice do nových technologií u nich nejsou natolik zásadní. Pro menší instituce stačí podle Jana Šedivého na většinu výpočtů VaR Microsoft Excel. Celková investice na implementaci VaR se může pohybovat od stovek tisíc po několik milionů korun v závislosti na současném stavu informačních systémů instituce a její velikosti.

Nedílnou součástí systému řízení rizik jsou i lidé. Většina útvarů řízení tržních rizik větších českých bank si vystačí průměrně s deseti až dvaceti zaměstnanci.

10. VaR v životě finanční instituce

At the risk of paraphrasing the National Rifle Association, positions don't lose money, people do. Portfolios in and of them self are not risky. Banks are not risky. Traders are risky.

Stan Jonas

VaR často používáme v praxi nejen kvůli stanovení kapitálového požadavku pro dohledovou autoritu, ale také jako zásadní informaci o nutnosti objemu potřebného ekonomického kapitálu a rizikové expozici banky.

Literatura uvádí čtyři základní fáze risk managementu:

Obrázek 12 Proces systému řízení rizik

Step 1 – **Risk measurement**
"How much capital is at risk in the whole bank?"
Purpose: monitoring total risk at a corporate level, verifying capital adequacy

⇓

Step 2 – **Risk control**
"What is the maximum risk limit for each unit?"
Purpose: preventing a bank from taking excessive risks/settings fair limits for each business unit

⇓

Step 3 – **Risk-adjusted performance measurement**
"How much return on capital at risk has been generated?"
Purpose: enabling top management to evaluate performance on a risk–return basis

⇓

Step 4 – **Capital-at-risk allocation**
"How much capital at risk should be granted to each unit next year?"
Purpose: efficient management of shareholder capital

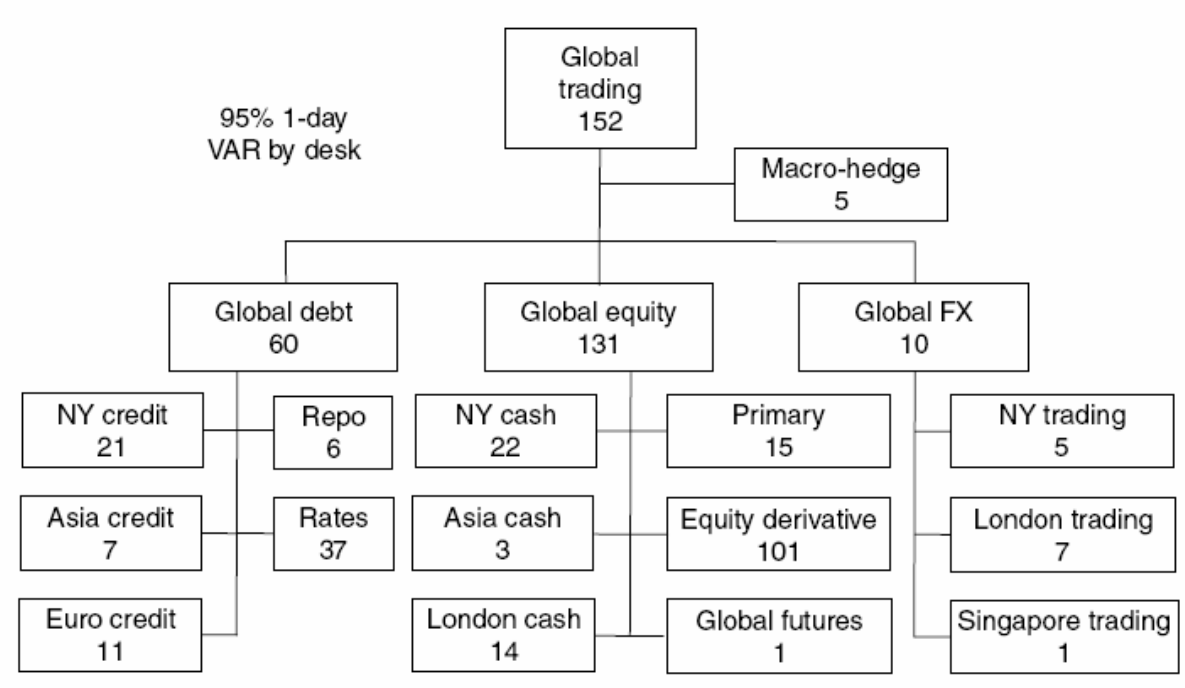
Pramen: Saita (2007)

Krok první jsem ukázal na výpočtu VaR v předchozích kapitolách. Teď se budu věnovat krokům ostatním.

10.1. VaR jako limit

V praxi se VaR dá používá jako stanovení omezení pozic jednotlivých oddělení. Dříve se používala jen omezení, která stanovila pouze maximální objem prostředků vložených do instrumentu. VaR nám teď umožňuje soustředit se na i rizikový profil útvaru a omezovat tak skutečná rizika plynoucí z našich expozic. Schéma naznačuje architekturu limitů VaR na oddělení tradingu:

Obrázek 13 Příklad limitů oddělení tradingu



Pramen: Murphy (2008)

Z obrázku vidíme, že součty limitů podřízených oddělení se nerovnají limitu oddělení nadřízeného. Vysvětlení je v korelaci mezi výnosy jednotlivých oddělení, která se většinou nerovná jedné. Jakou hodnotu limitu přisoudíme jednotlivým traderům? Pokud bychom traderovi dali k dispozici celý roční limit VaR, tak riskujeme, že trader přijde během dne o kapitál, jehož ztrátu je banka ochotná akceptovat za celý rok. Je proto opatrnější volit spíše limity na měsíční bázi[53].

[53] SAITA, Francesco. *Value at risk and bank capital management*. San Diego : Academic Press, 2007. s. 179 ISBN 978-0-12-369466-9.

Je možné upravit limit VaR na kumulativní limit. Pokud dealer zaznamená ztrátu, je jeho VaR limit o tuto ztrátu snížen. Pokud dealer zaznamená zisk, tak se VaR limit opět zvedne (nikoli však nad původní hranici limitu). Následující tabulka ilustruje způsob úpravy kumulativního limitu:

Den	Počáteční limit VAR	Denní P&L	Kumulovaný P&L	VAR limit pro další den
1	100	(12)	(12)	88
2	88	(3)	(15)	85
3	85	12	(3)	97
4	97	6	3	100
5	100	(2)	1	100

Pokud trader překročí limit, měla by instituce mít stanoveny procesy, které budou situaci řešit. Je důležité, aby informační systém automaticky uvědomil o překročení limitu přímého nadřízeného a oddělení risk managementu. Ti by pak měli rozhodnout o povolení překročení limitu, zavření pozice či potrestání tradera.

10.2. Risk adjusted performance

Instituce může vyhodnocovat své zisky vzhledem k rizikovému profilu za pomoci poměrů účetních hodnot k hodnotě VaR. Právě tyto hodnoty jsou pak velmi sledovány nejvyšším vedením finanční instituce. Ukazatelů, které počítají s VaR, se však vyskytuje více. Uvádím některé z nich:

$$\text{RAROC}^{54} = \frac{\textit{Čistý zisk}}{CaR}$$

$$\text{EVA}^{55} = \textit{Čistý zisk} - \textit{náklady vlastního kapitálu} \cdot CaR\,,$$

kde CaR je hodnota ekvivalentní ročnímu VaR.

[54] Risk-adjusted return on capital
[55] Economic value added

Popřípadě je možné oba způsoby zkombinovat:

$$\text{RARORAC}^{56} = \frac{EVA}{CaR}$$

Už tedy víme, že jednotlivá oddělení instituce by měla být odměňována na základě svého rizikového profilu a příjmu, který přinášejí. Další možnou metodou je alokovat na výkonnost oddělení i náklady ve formě platů a ceny technologií. Následující tabulka kalkuluje výkonnost dvou různých oddělení:

		Bond trading	**Exotic options trading**
1	Zisk z tradingu	400	600
2	Plat a bonusy traderů	140	240
3	Náklady software/hardware	60	180
4	Čistý zisk	200	180
5	Capital at Risk	2000	2400
6	RAROC (na bázi zisků z tradingu) *1/5*	20%	25%
7	RAROC (na bázi čistých zisků) *4/5*	10%	7,5%

Na první pohled by se zdálo, že Exotic options trading je výkonnější, ale po započtení dalších nákladů se ukáže opak.

Risk manažer uvažuje dynamickým způsobem. Často musí upravovat portfolio, tak aby hodnota VaR byla dle jeho představ. K efektivním úpravám VaR portfolia slouží nejčastěji metody *marginal* VaR a *incremental* VaR, které počítají VaR po přidání/odebrání jednotlivých instrumentů. Risk manažer si tak může k úpravě VaR vybrat optimální instrument, který prodá či nakoupí.

[56] Risk-adjusted return on risk adjusted capital

11. Zhodnocení VaR

„VaR = Variable and wRong“

Wall street slang

Za velký problém VaR bych označil možnou nebezpečnou dezinterpretaci nosné myšlenky VaR. VaR určuje maximální ztrátu s určitou pravděpodobností, ale existuje vážné nebezpečí, že bude top managementem finanční instituce zaměněn za jistou maximální ztrátu. Často se pak manažeři diví, jak mohli ztratit miliardu, když VaR byl sto milionů.

Výrazně ztrácí myšlenka VaR na důvěryhodnosti právě díky svému základu v teorii portfolia. Nassim Taleb správně připomíná, že Markowitzova teorie je založená na znalosti střední hodnoty a rozptylu, které ale prostě nedovedeme správně odhadnout. Věštit z minulosti budoucnost je cesta do pekel. Ceny se prostě nepohybují ve svých minulých drahách.

Na současné i minulých krizích můžeme jasně dokázat, že aktiva s nulovou korelací se při pádu trhů začala chovat téměř totožně a jejich korelace se přiblížila jedné. Asijská i současná krize toto tvrzení více než dokazují. Carry obchody, co dlouho fungovaly, a model VaR je přitom interpretoval jako risk-free trade, se ukázaly jako past.

Zajímavostí je sledovat chování jednotlivých investorů na trzích. Drtivá většina se chová jako ovce. Pokud se někde objeví zdánlivě dobrá příležitost, tak téměř všichni jdou bez nějaké předchozí úvahy do rizika. Trader si poví, že pokud na tom ostatní vydělávají, tak proč bych já také nemohl? Příkladů z historie je mnoho. Stačí se podívat na asijské tygry. Podobně mohou dopadnout i země BRIC. Jakmile se začne psát v novinách, že země XY je úžasná investiční příležitost, tak je více než pravděpodobné, že brzy přijde významná korekce.

Fenomén těžkých konců se objevuje poměrně velmi často a metodika VaR si s ním poradí jen těžko. Risk manažeři přisuzují těmto vzácným událostem určitou pravděpodobnost. Jenže události na úrovni deseti sigma se stávají mnohem častěji než jim model VaR přikazuje.

Z hlediska výpočtu existují tucty možných postupů a každá hodnota VaR je tak trochu unikát. Pokus pánů Marshalla a Siegelse dokazuje nepřesnost výpočtů. Marshall a Siegels dali za

úkol jedenácti softwarovým firmám, které se zabývají implementací RiskMetrics, aby spočetly 95% VaR na daném portfoliu. Všechny firmy dostaly stejné informace o složení portfolia i stejnou kovarianční matici. Jako moc se lišila jednotlivá měření je vidět na obrázku níže:

Obrázek 14 Chyba v měření VaR

Portfolio	Standard Deviation of Vendors' VaR Measurements
Foreign exchange forwards	1%
Money market deposits	9%
Forward rate agreements	10%
Bonds	17%
Interest rate swaps	21%

Pramen: Holton (2002)

Chyby v kalkulaci prostě mohou být tak velké, že se náš výsledek stane bezcenným.

Často také můžeme slyšet argument, že VaR nás opravdu dokáže ochránit. Phillipe Jorion argumentuje kauzou Orange County. Kdyby v tu dobu byl aplikován VaR, tak by se přeci ukázal jasný rizikový profil transakcí a vše by se zastavilo, než by došlo k obrovským ztrátám. Možná má v tomto případě pravdu. Jenže ani VaR nedokáže předejít katastrofám. Například hedžový fond LTCM měl pár měsíců před svým krachem VaR pouhých 35 milionů dolarů[57].

Role dohledu je v konceptu VaR zásadní. Schvaluje regulatorní kapitál právě na základě vámi vypočteného VaR a to při vědomí, že metodika VaR má nedostatky. Dohledová autorita také provádí validaci jednotlivých modelů a prověřuje celý systém řízení rizik finanční instituce. Jak důkladné a precisní jsou jejich kontroly, však nevíme. Nezbývá nám tak nic jiného, než jim věřit. Víra je však až možná příliš častým úkazem na finančních trzích.

[57] DAS, Satyajit. *Traders, Guns and Money : Knowns and unknowns in the dazzling world of derivatives*. Dorchester : FT Prentice Hall, 2006. s. 174. ISBN 978-0-273-70474-4.

A co nám radí kritici VaR? Dle Nassima Taleba bychom měli používat spíše kvalitativní risk management než kvantitativní. V praxi platí přesný opak. Jenže buďme k VaR trochu více féroví. Pokud má velká finanční instituce velké portfolio instrumentů a široké spektrum aktivit na třech kontinentech, tak je relativně složité dělat pouze kvalitativní risk management.

VaR jedna z částí kvantitativních financí má hodně chyb, ale i tak nám může trochu pomoci při řízení rizik a alokaci kapitálu. VaR není možné vnímat černobíle. Přes všechna rizika modelu musím ocenit použití systému VaR při řízení limitů traderů či celých oddělení.
K dalším zásadním výhodám přidávám ještě možnost integrace všech tržních rizik do jednoho systému řízení rizik.

Musíme si však uvědomit, že VaR může příslušným zainteresovaným poskytnout pouze intuitivní odhad rizikové expozice. Lidé by měli o svých investicích důkladně přemýšlet a ne spoléhat na jedno číslo. Pokud už se přeci jenom rozhodneme kvantitativní metody na řízení rizik aplikovat, tak jako nezbytný doplněk VaR je potřebné provádět stresové testování celé instituce a soustředit se pomocí nich na rizika, která příslušnou finanční instituci dokáží zničit.

Závěr

Řízení rizik není ani tak o kvantitativních financích, jako hlavně o porozumění základním ekonomickým fundamentům a pochopení lidského chování. Uchopení podstaty 99% maximální očekávané ztráty bývá často vytrženo z kontextu. Nepochopení myšlenky VaR a následná špatná interpretace pak vedou k slzám především akcionářů, věřitelů a daňových poplatníků.

Metodika VaR bývá někdy přirovnávána k airbagu, který v případě nehody nefunguje. Dle mého osobního názoru to je hořká pravda. Jenže čím vadnou best practice nahradit? Přiznávám, na tuto otázku neznám odpověď. Musíme se smířit prostě smířit s faktem, že nic lepšího zatím nemáme.

Pokud se tedy rozhodneme aktivně aplikovat VaR při řízení rizik, tak doporučuji použít vážený analytický VaR. Každopádně je nutné VaR interpretovat jen a pouze jako pomocný indikátor v rámci celého systému řízení rizik, který musí být založen na aplikaci zdravého rozumu a stresovém testování.

Seznam použité literatury a pramenů

Knižní publikace a články

ALEXANDER, Carol. *Market risk analysis Volume IV : Value-at-risk models*. Chichester : John Wiley & Sons, 2008. 437 s. ISBN 978-0-470-99788-8.

ALLEN, Linda Allen; BOUDOUKH, Jacob; SAUNDERS, Anthony. *Understanding Market, Credit, and Operational Risk : the Value at Risk approach*. Padstow : Blackwell Publishing, 2004. 256 s. ISBN 0-631-22709-1.

BEST, Philip . *Implementing value at risk*. Chichester : John Wiley & Sons, 1998. 198 s.

BALTHAZAR, Laurent. *From Basel 1 to Basel 3 : The Integration of State-of-the-Art Risk Modeling in Banking Regulation*. New York : PALGRAVE MACMILLAN, 2006. 291 s. ISBN 978-1-4039-4888-5.

BHANSALI, Vineer, et al. *Modern risk management : A history*. Pamplona NaVaRra : Risk books, 2003. 601 s. ISBN 1-904-339-05-0.

BOLLERSLEV, Tim General Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. In *Journal of Econometrics*. 31, 1986. s. 307-327.

ČERNÝ, Jakub. *Odhady Value at Risk pro tržní a kreditní riziko*. Praha, 2008. 49 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze.

CHRISTOFFERSON, Peter. *Evaluating Interval Forecast*, International Economic Review 39, 1998, s. 841-862

DAS, Satyajit. *Risk management*. Third edition revised. Singapore : John Wiley & Sons, 2006. 1321 s. ISBN 978-0-470-82165-7.

DAS, Satyajit. *Traders, Guns and Money : Knowns and unknowns in the dazzling world of derivatives*. Dorchester : FT Prentice Hall, 2006. 319 s. ISBN 978-0-273-70474-4.

DVOŘÁK, Petr . *Přednášky ke kurzu Bankovnictví II*. Vysoká škola ekonomická v Praze 2009

DOWD, Kevin . *Measuring market risk*. Chichester : Jonh Wiley & Sons, 2002. 339 s. ISBN 0-471-52174-4.

HINDLS, Richard , et al. *Statistika pro ekonomy*. 8. vydání. Praha : Professional publishing, 2007. 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6.

HOLTON, Glynn A. *History of Value-at-Risk : 1922-1998.* 2002. s. 25.

HUŠEK, Roman . *Ekonometrická analýza*. Praha : Nakladatelství Oeconomica, 2007. 368 s. ISBN 978-80-245-1300-3.

JORION, Philippe . *Value at risk : The new benchmark for managing finanacial risk*. Second edition. New York : McGraw-Hill, 2001. 543 s. ISBN 0-07-135502-2.

MAREK, Luboš, et al. *Statistika pro ekonomy - aplikace*. 2. vydání. Příbram : Professional publishing, 2007. 485 s. ISBN 978-80-86946-40-5.

MURPHY, David. *Understanding risk : The theory and practice of financial risk management*. New York : Chapman & Hall/CRC, 2008. 441 s. ISBN 978-1-58488-893-2.

PARTNOY, Frank. *Fiasco*. New Yourk : Penguin, 1999. 163 s.

PEARSON, Neil D. *Risk budgeting : Portfolio problem solving with Value-at-Risk*. New York : John Wiley & Sons, 2002. 315 s. ISBN 0-471-40556-6.

SAITA, Francesco. *Value at risk and bank capital management*. San Diego : Academic Press, 2007. 245 s. ISBN 978-0-12-369466-9.

ŠOLC, Zdeněk. *Metody výpočtu Value at Risk pro tržní a kreditní rizika*. Praha, 2009. 100 s. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta financí a účetnictví .

WITZANY, Jiří . *International financial markets*. Praha : Nakladatelství Oeconomica, 2007. 180 s. ISBN 978-80-245-1274-7.

Internetové zdroje

Basel Committee on Banking Supervision. *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards* [online]. Basel. 2006 [cit. 2010-05-02]. Dostupné z WWW: <http://www.bis.org/publ/bcbs128.pdf>. ISBN 92-9131-720-9.

Evropská komise. *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directives 2006/48/EC and 2006/49/EC as regards capital requirements for the trading book and for re-securitisations, and the supervisory review of remuneration policies.* [online]. 2010 [cit. 2010-05-09]. Dostupný z WWW: <http://ec.europa.eu/internal_market/consultations/docs/2010/crd4/consultation_paper_en.pdf >.

GRIGORE, Alina. *Value at risk. Measurement and evaluation methods for market risk.* [online]. 2007, [cit. 2010-04-24]. Dostupný z WWW: <www.gloriamundi.org>.

JP Morgan/Reuters. *RiskMetrics™ —Technical Document* [online]. Fourth edition. New York : 1996 [cit. 2010-03-19]. Dostupné z WWW: <www.riskmetrics.com>.

MARKUS K. , Tobias ; BRUNNERMEIER, Adrian. *CoVaR* [online]. 2009 [cit. 2010-05-02]. Dostupné z <WWW:http://www.princeton.edu/~markus/research/papers/CoVaR>.

VALUKAS, Anton. *Examiner´s report on Lehman Brothers Holdings Inc.* [online]. 2010 [cit. 2010-04-24].Dostupné z WWW: <http://lehmanreport.jenner.com/VOLUME%201.pdf>.

Ostatní internetové zdroje

www.gloriamundi.org

www.derivativesstrategy.com
www.bis.org
www.c-ebs.org
www.cnb.cz

Legislativa

Vyhláška ČNB o pravidlech obezřetného podnikání bank, spořitelních a úvěrních družstev a obchodníků s cennými papíry. 123/2007 Sb. 123, s. 237.