VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

Fakulta financí a účetnictví

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016 Kateřina Pelešková

Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta Financí a účetnictví

Katedra Bankovnictví a pojišťovnictví

Studijní obor: Finance

Aplikace simulace Monte Carlo při řízení bankovních rizik

Autor diplomové práce: Bc. Kateřina Pelešková

Vedoucí diplomové práce: doc. PhDr. Petr Teplý, Ph.D.

Rok obhajoby: 2016

University of Economics, Prague

Faculty of Finance and Accounting

Department of Banking and Insurance

Application of Monte Carlo simulation in risk management

Author of the diploma thesis: Bc. Kateřina Pelešková

The diploma thesis work supervizor: doc. PhDr. Petr Teplý, Ph.D

The year of presentation and defence: 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v univerzitní knihovně.

V Praze dne…… Kateřina Pelešková……

Abstrakt

Globální finanční krize 2008, která donutila centrální banky po celém světě bránit finanční stabilitu pomocí nestandardních nástrojů jako je kvantitativní uvolňování, měla za následek kromě jiného pád úrokových sazeb na nulu a v některých zemích dokonce i do záporných hodnot, což se stalo novým normálem bankovnictví.

V této diplomové práci jsme se zaměřili na český finanční trh a využili jsme metodu Monte Carlo simulací ve Vašíčkově modelu pro predikce budoucího vývoje úrokových sazeb krátkých i dlouhých splatností. Model ukazuje, že krátkodobě mohou sazby klesnout do záporu, avšak predikce ukazují na budoucí růst ke svým rovnovážným hodnotám. Překvapivě netypické chování vykazují sazby 3M a 6M, kde jejich dlouhodobý pokles a také vyšší volatilita způsobily, že Vašíčkův model kalkuluje jejich equilibrium jako negativní hodnotu.

Výsledky poté aplikujeme v modelu pro výpočet změny cen dluhopisů, které jsou negativně korelované s úrokovými sazbami, a zkoumáme, jaké náklady na přecenění to bude pro držitele dluhopisů znamenat.

Ukážeme si také, že komerční banky mohou dopady úrokového rizika na kapitál řídit také skladbou finančních aktiv v různých kategoriích, kde účetní zařazení instrumentu je rozhodující pro způsob přecenění do kapitálu.

Obsah

1 Úvod ... 7
2 Teorie rizika ... 9
2.1 Bankovní rizika ... 10
2.2 Kvantifikace a řízení rizik ... 15
3 Úrokové sazby ... 25
3.1 Nový normál bankovnictví ... 31
3.2 Vašíčkův model ... 38
3.2.1 Výpočet parametrů modelu ... 40
3.2.2 Predikce ... 44
3.2.3 Vliv hospodářských cyklů na hodnotu parametrů ... 56
3.2.4 Backtesting Vašíčkova modelu ... 61
3.3 Teorie výnosových křivek ... 70
4 Sensitivita cen dluhopisů ... 81
4.1 Změna ceny kuponového dluhopisu ... 83
4.2 Změna ceny zero bondu ... 87
5 Analýza bilancí bank ... 91
6 Závěr ... 99
7 Bibliografie ... 101

1 Úvod

Od finanční krize, která v roce 2008 ochromila finanční trhy po celém světě, sice uplynula již dlouhá doba, přesto jsou však její důsledky stále viditelné. Centrální banky v rámci svých opatření byly nuceny využívat i jiné než konvenční nástroje pro udržení finanční stability, avšak jeden ze stále přítomných vedlejších efektů jsou ultra nízké úrokové sazby. Česká republika není výjimkou, a přestože zaznamenáváme v poslední době relativně silný hospodářský růst, základní úroková sazba je stále na technické nule. Přestože se zdá, že například americký trh jde napřed - Fed poprvé od doby krize zvýšil základní úrokovou sazbu, otázka je, zda tento trend bude pokračovat i nadále a zda se k němu přidá i evropský trh. Cílem naší práce je ve Vašíčkově modelu pomocí Monte Carlo simulací zkoumat potenciální vývoj úrokových sazeb v České republice pro různé splatnosti a následně tyto predikované hodnoty použijeme pro zhodnocení dopadů změny cen dluhopisů.

V první části vysvětlíme nezbytné pojmy týkající se finančních rizik, jejich měření a řízení, a také uvedeme metodu simulace Monte Carlo, jakožto jednu z moderních metod. Druhá část analyzuje pomocí Vašíčkova modelu budoucí vývoj úrokových sazeb. Z historické datové základny jsme odhadli parametry modelu a ty následně použili pro simulaci úrokových sazeb pro vybrané jak krátkodobé tak i dlouhodobé splatnosti. Predikce jsme následně využili pro analýzu změny ceny dluhopisů, a jakou by přecenění představovalo pro investora ztrátu. Ve třetí části se věnujeme časové struktuře úrokových sazeb, kde modelujeme tvar výnosové křivky pomocí parametrů vypočtených z Vašíčkova modelu. A konečně v poslední části zkoumáme, jak komerční banky zařazují držené finanční instrumenty do účetních kategorií. Každá tato kategorie představuje dle účetních standardů jiný přístup k přeceňování a projevu ztráty držených instrumentů do kapitálu banky, banky si samy volí svou strategii zařazení aktiva do určité kategorie podle vlastního záměru, jak dlouho hodlají aktivum držet. Ukážeme si, že čím menší banka, tím větší část aktiv drží za účelem krátkodobé držby tedy k obchodování, ze kterých plyne sice větší potenciální zisk, ale také i riziko ztráty vlivem propadu ceny. Toto přecenění reálné hodnoty aktiva se pak okamžitě projeví ve ztrátách banky.

Zajímavé je navíc sledovat, jak se americké banky ve snaze snížit své úrokové riziko pouštějí do hromadného přeskupování svých portfolií, čímž se- opticky snaží zmírnit dopady potenciálního růstu sazeb, který by pro banky znamenal nutnost přecenění držených úrokově citlivých aktiv.

2 Teorie rizika

"Investors face not one but two major risks: the risk of losing money and the risk of missing opportunities." – Howard Marks

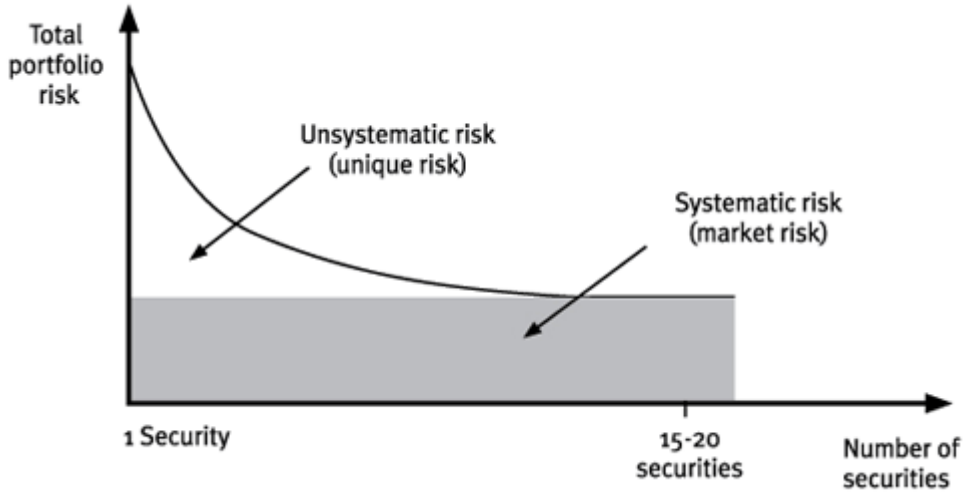
Význam pojmu rizika se od 17. století, kdy začal být používán především v oblasti pojištění, výrazně změnil. Pojmem „riziko" můžeme nazvat podmnožinou termínu „nejistoty", oba termíny představují neurčitost a náhodnost, avšak riziko na rozdíl od nejistoty je možné kvantifikovat pomocí statistiky. Původně představoval jak riziko negativního vývoje, tak i pozitivního. Nyní vnímáme pojem riziko pouze jako nepříznivý vývoj událostí a rozšířil se postupně do dalších vědních oborů. Obecně můžeme riziko definovat jako možnost vzniku události s výsledkem odchylným od cíle s určitou objektivní pravděpodobností (Černohorský & Teplý, 2011) a jsme schopni ho kvantifikovat a řídit.

Rizika je možné dělit podle několika kategorií a my si uvedeme základní. Zaprvé podle odchylek od očekávání, kde **čistým rizikem** označujeme odchylky od očekávané hodnoty, které jsou pouze negativní (ztráty). **Záměrné riziko** představuje odchylky, které mohou být jak negativní, tak i pozitivní a subjekty ho podstupují dobrovolně. V bankovnictví a financích se subjekty musejí vypořádat s oběma typy v menším či větším měřítku. Čisté riziko podstupují už jen tím, že jsou účastníky trhu a vstupují tím to určitého vztahu. Vystavení se záměrnému riziku je více individuální a je podstupováno s cílem zisku na finančních trzích.

Zadruhé dělíme rizika podle faktorů, které je způsobují. Celkové riziko podstupované investory se skládá z rizika systematického a nesystematického. **Systematické riziko** podstupuje každý subjekt na trhu, jelikož je způsobeno vlivem externích ekonomických faktorů na subjekt, které nelze nijak ovlivnit ani diverzifikovat a podle modelu CAPM jsou za něj investoři odměňováni (viz Obr. 1). Měřítkem systematického rizika je volatilita neboli kolísavost aktiv na trzích a odráží chování subjektů na trzích. Vyšší volatilita představuje potenciálně větší ziskovost ovšem na úkor rizikovosti. Za systematická rizika považujeme rizika tržní. Naopak **nesystematické** neboli jedinečné riziko je

ovlivnitelné, jelikož ho způsobují interní faktory subjektu a je možné ho snížit diverzifikací až na hodnotu pouze systematického rizika. Ideální je tedy portfolio složené z různých aktiv ovlivňovaných odlišnými faktory tak, aby investor nebyl příliš vystaven rizikům jedné společnosti či jednoho odvětví. Za nesystematická rizika označujeme například likviditní, operační či kreditní riziko. V poslední době nabývá na významu také country risk neboli riziko země (regionu).

Obrázek 1 Systematické a nesystematické riziko



Zdroj: Pierson (2011)

2.1 Bankovní rizika

Rizika můžeme dělit také podle oblastí, v jakých se subjekt vyskytuje. Banky jsou vystaveny rizikům, která souhrnně označujeme jako kategorie finančních rizik. Jak uvádí Jílek (2009) obecně je finanční riziko definováno jako potenciální finanční ztráta subjektu na finančním trhu, tj. nikoli již existující realizovaná či nerealizovaná finanční ztráta, ale ztráta v budoucnosti.

Základní členění finančních rizik zahrnuje 5 kategorií:

1. Kreditní riziko – neboli úvěrové riziko představuje riziko nesplacení závazků vyplývajících z držby finančního aktiva.
2. Tržní riziko – riziko vyplývající ze změny cen instrumentů vlivem změny tržních faktorů.

3. Likviditní riziko – riziko představující nedostatek finančních prostředků k pokrytí svých krátkodobých závazků a následné vypůjčení si prostředků za vyšší úrokovou míru (úroky zde představují ztrátu) a na druhé straně představuje možnost ztráty v případě obtížné likvidace pozic.
4. Operační riziko – riziko vznikající využíváním lidských a technologických zdrojů při podnikání, vystavující se tak hrozbě útoku zvenku či zevnitř samotné instituce
5. Obchodní rizika – kategorie ostatních neméně důležitých rizik, zahrnující reputační riziko (může vést například ke snížení ratingu), právní riziko (žaloby banky) či riziko změny regulatorních pravidel.

Tržní rizika

Tržní rizika jsou druhými nejvýznamnějšími riziky z hlediska rozsahu ztrát. Podle definice představují riziko ztráty způsobené pohyby cen na finančních trzích či míra ovlivňování rozvahy a podrozvahy banky změnou tržních cen a sazeb (Mejstřík, Pečená, & Teplý, 2014). Většinou rozeznáváme čtyři podkategorie (Jílek, 2011):

1) Úrokové riziko – riziko ztráty ze změn cen nástrojů citlivých na úrokové míry, ohrožující investory především na dluhopisových trzích.
2) Měnové riziko – riziko ztráty ze změn cen nástrojů citlivých na změnu měnových kurzů.
3) Akciové riziko – riziko ztráty ze změn cen nástrojů citlivých na ceny akcií.
4) Komoditní riziko – riziko změny cen instrumentů citlivých na změnu cen komodit.

Banky čelí tržnímu riziku držením pozic v jejich obchodním portfoliu (dlouhodobá držba cenných papírů), ale kapitálové požadavky se zaměřují především na tržní riziko vznikající jejich obchodováním na trhu neboli investiční portfolio (krátkodobě držené cenné papíry za účelem obchodování). Tržní rizika jsou snáze viditelná a měřitelná u investičního portfolia jelikož

hodnota investičních pozic je přeceňována denně. Celkově jsou tato rizika předmětem kapitálových požadavků a zahrnují i držení komodit či cizích měn na investičním účtu i mimo něj.

Kapitálové požadavky pro tržní rizika se výrazně liší od požadavků pro kreditní rizika. Jsou standardizované a určují jak kvantitativní minimum, tak i kvalitativní požadavky pro měření a řízení tržního rizika.

Operační riziko

Nejčastěji používaná definice daná regulatorními pravidly Basel II (BCBS, 2006) říká, že operační riziko je riziko ztráty způsobené neadekvátností či selháním interních procesů, zaměstnanců, systémů nebo vlivem externích událostí. Součástí je i riziko právní, nezahrnuje však rizika strategická a reputační, přestože mají na operační riziko úzkou vazbu.

Jílek člení operační riziko na 3 kategorie:

- Transakční riziko, které je rizikem ztráty z provádění operací a následných chyb (např. zaúčtování či vypořádání obchodů, chyby kvůli složitosti produktů, přijetí/poskytnutí komodit s neadekvátní právní dokumentací).
- Riziko operačního řízení, což představuje riziko ztráty z chyb front, middle a back office jako jsou obchody nad limit, neautorizované obchodování traderů, podvodné operace, padělání, praní peněz apod. většinou plynoucí z nedostatku interní kontroly.
- Riziko systémů neboli riziko ztráty z chyb v podpůrných systémech, počítačových programech či chyby v matematických vztazích modelů.

Operační riziko v posledních letech nabírá na významu a důvodem mohou být vyšší investice do informačních systémů, technologií, vlna akvizic a propojování institucí nebo také vznikající nové finanční instrumenty k obchodování (Sironi a Resti, 2007). Zásluhu na zvýšení operačního rizika má také přechod na elektronické obchodování. Čím více se instituce a obchodníci spoléhají na informační technologie, tím se stávají zranitelnější. Avšak

technologickému pokroku se nelze bránit, naopak je třeba ho přijmou a případně využít ve svůj prospěch – ať už zrychlit procesy v bankovnictví nebo i zdokonalit měření a řízení rizik. Dříve, než byla vydána nová regulatorní pravidla, která by operační riziko upravovala, bylo toto riziko řízeno v rámci součásti jiných procesů, nikoli jako samostatný útvar. Banky tehdy neměly vypracovány přístupy, jak promítnout operační riziko do kapitálu. Následně tedy, v reakci na pozdější zvýšení operačního rizika, byla v roce 2007 přijata nová opatření v rámci prvního pilíře New Basel Capital Accord II. Nové přístupy k řízení operačního rizika popíšeme podrobněji v následujících kapitolách.

Úrokové riziko

Banky drží různé kategorie aktiv a pasiv s různými splatnostmi a jsou určené různými úrokovými mírami. Schopnost banky sladit strukturu těchto aktiv a pasiv pomáhá dosahovat lepších výnosů.

Změny úrokových měr mají dopad na hodnotu aktiv a pasiv, které banky drží. Proto musí zavést nástroje a techniky, které jim pomohou zmírnit dopad těchto změn. Řízení úrokového rizika pomáhá maximalizovat zisky banky, redukovat ztráty a také chránit bankovní aktiva před těmito změnami. Je přirozené, že banky mají menší kapitálovou základnu ve srovnání s aktivy, což činí banky zranitelnými a citlivými na snížení hodnoty těchto aktiv.

Při řízení rizik se banky obecně zaměřují na tyto faktory:

- Objem aktiv
- Skladbu aktiv
- Splatnost aktiv
- Úrokovou citlivost
- Kvalitu & likviditu aktiv
- Maximální přijatelný poměr riziko versus výnos

Aby bylo řízení rizik včetně úrokového rizika úspěšné, je nezbytné, aby se banky zaměřily na obchdování v rozvinutých peněžních trzích, repo

obchodech, obchodování s forwardy a také na derivátových trzích. Nákupy instrumentů na těchto trzích se mohou využít jako hedging.

Další riziko, kterému v rámci úrokového rizika banky čelí je riziko změny ceny fixního dluhopisu kvůli růstu úrokových sazeb. Jelikož banky jakožto konzervativní investoři mají ve svých finančních aktivech velké množství dluhopisů, musejí se zajistit proti poklesu jejich ceny. Přeceňování se však týká pouze těch dluhových instrumentů, které banka drží v kategorii finančních aktiv k obchodování či available-for-sale, kde se pokles ceny projeví jako náklad banky promítnutý do zisku/ztráty (na toto téma se více zaměříme v dalších kapitolách). Obecně můžeme vysvětlit riziko ztráty ze změny ceny dluhopisu vlivem změny úrokové míry takto:

- Když úrokové míry rostou, na trh přijdou nové úpisy dluhopisů s vyšším výnosem, než měly staré dluhopisy, což činí tyto seniorní dluhopisy méně cenné, proto jejich cena klesá.
- Naopak při poklesu úrokových sazeb je více cenný starší fixní dluhopis, který nese vyšší výnos.

Výsledkem je, že při prodeji těchto dluhopisů před datem splatnosti může nastat situace, kdy prodáme za nižší cenu, než byly pořizovací náklady, a tedy realizujeme ztrátu. Citlivost ceny dluhopisu na změnu úrokových sazeb měříme tzv. durací a té se budeme věnovat více v následující kapitole.

2.2 Kvantifikace a řízení rizik

V bankovnictví a financích je porozumění a řízení rizik klíčovou oblastí, jelikož se jedná o instituce spravující cizí peněžní prostředky. Navíc dnešní podoba bankovnictví se liší od původního klasického core businessu[1] - s novými bankovními produkty je banka vystavována novým rizikům a navíc je v poslední době kladen důraz na investiční bankovnictví, čímž na sebe banka přebírá další rizika.

Podle Černohorského a Teplého (2011) je pro řízení rizik třeba rozdělit ztráty na 2 zásadní kategorie:

- **Očekávané ztráty** (expected loss EL) – již existující, vzniklá ztráta. K aktivům by se měly právě ve výši očekávaných ztrát vytvářet opravné položky, a tedy se nemusí vytvářet kapitálový polštář. Tyto opravné položky činí aktuální hodnotový obraz aktiva reálným. Matematický výpočet očekávané ztráty je následující:

$$EL = PD * EAD * LGD$$

  Kde PD je pravděpodobnost defaultu
  EAD je expozice v úvěrovém selhání
  LGD je míra ztráty při selhání

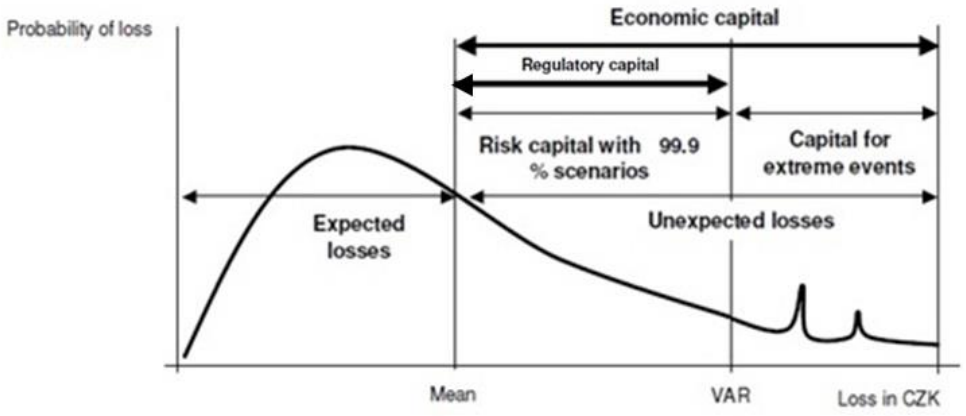
- **Neočekávané ztráty** (unexpected loss UL) – potenciální ztráta, která nastane v budoucnosti, a právě tyto ztráty jsou základem pro stanovení regulačního kapitálu. Při výpočtu UL tedy hledáme maximální možnou ztrátu, kterou lze utrpět na určité hladině spolehlivosti (regulátor vyžaduje 99 %). Neočekávaná ztráta vyplývá z nepředvídatelné změny expozice a vyjadřuje rozdíl mezi skutečnou realizovanou ztrátou a očekávanou ztrátou.

Toto rozdělení je klíčové pro určení kapitálových požadavků. Kapitálové požadavky neboli **regulatorní kapitál** se vztahuje jen na neočekávané ztráty do 99,9 % pravděpodobností. Naproti tomu **ekonomický kapitál** můžeme definovat jako množství kapitálu, které je třeba k pokrytí neočekávaných ztrát

[1] Ukládání a půjčování peněžních prostředků

v určitém časovém období na určité hladině spolehlivosti neboli, jak uvádí Mějstřík (2008), představuje „kapitálový polštář proti budoucím, neočekávaným ztrátám způsobeným kreditními, tržními a operačními riziky, které se v businessu poskytování peněz přirozeně vyskytují“.

Obrázek 2 Klasifikace požadavků na bankovní kapitál



Zdroj: Chalupka, Teplý (2008)

Jak lze vidět z Obrázku 2, ekonomický kapitál by měl zahrnovat pouze neočekávané ztráty, tedy kapitál s 99.9 % scénářů a zároveň kapitál pro extrémní události. Chalupka a Teplý (2008) uvádějí, že právě kapitál pro extrémní události nabývá na významu s rostoucím množstvím málo frekventovaných událostí avšak s velkým dopadem.

Nyní se budeme věnovat míře rizika a základním technikám měření a řízení rizika, které zahrnuje:

- VaR
- Gapovou analýza
- Simulaci Monte Carlo

Směrodatná odchylka

K zobrazení a kvantifikaci rizik se využívají statistické metody. Riziko můžeme zobrazit pomocí dvou proměnných – pravděpodobnost ztráty a velikost ztráty.

Jedním ze způsobů měření míry rizika je směrodatná odchylka. Představuje kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru značenou sigma a představuje míru rozptýlenosti hodnost v budoucnu. Směrodatnou odchylku definujeme jako:

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (1.1)$$

Kde D(X) je rozptyl náhodné veličiny X

n je velikost souboru

$\bar{x}$ je střední hodnota změny

Durace

Charakteristikou každého dluhopisu je durace, která měří citlivost ceny dluhopisu na změnu úrokové míry. Je obecným pravidlem, že cena dluhopisu se pohybuje inverzně ke změně úrokové míry. Jak uvádí Musílek (2011), durace dluhopisu je tím větší, čím:

- Delší doba do splatnosti
- Nižší kuponová míra
- Nižší výnos do doby splatnosti

Cena dluhopisu je funkcí výnosového procenta P=f(i), kde vnitřní výnosové procento i_d jako roční na denní bázi můžeme zapsat následující rovnicí:

$$PV = \frac{CF_1}{(1+\frac{i_d}{365})^{365}} + \frac{CF_2}{(1+\frac{i_d}{365})^{2*365}} + \cdots + \frac{CF_n}{\left(1+\frac{i_d}{365}\right)^{n*365}} \qquad (1.2)$$

Kde PV je současná hodnota budoucích plateb

i_d vnitřní výnosové procento na denní bázi

CF jsou budoucí platby (cash flow)

Jak zdůrazňuje Stádník (2013), „změnu vnitřního výnosového procenta nelze ztotožnit se změnou některé tržní úrokové sazby v ekonomice, popřípadě se

změnou klíčové úrokové sazby určené centrální bankou. Jakým způsobem se zobrazí taková změna na vnitřním výnosovém procentu, je obecně obtížná otázka.“

Durace představuje první derivaci funkce ceny P podle i:

$$\frac{dP}{di} = -\frac{1*c}{(1+i)^2} - \frac{2*c}{(1+i)^3} - \cdots - \frac{(n-1)*(c+JH)}{(1+i)^n} \tag{1.3}$$

i vnitřní výnosové procento na roční bázi

c je kuponová sazba

n je počet let do splatnosti

JH jmenovitá hodnota

úpravami dostáváme Macaulayovu duraci (značíme jako Mac_D)

$$Mac_D = \frac{\sum_{k=1}^{n} \frac{k*C}{(1+i)^k} + \frac{n*(C+JH)}{(1+i)^n}}{C*\left[\frac{1-\left[\frac{1}{(1+i)^n}\right]}{i}\right] + \frac{JH}{(1+i)^n}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \frac{k*C}{(1+i)^k} + \frac{n*(C+JH)}{(1+i)^n}}{P} \tag{1.4}$$

Macaulayova durace tedy představuje vážený průměr splatností všech budoucích toků plynoucích z držení dluhopisu, kde váhami jsou jejich současné diskontované hodnoty.

Používanější durací je však tzv. Modifikovaná durace. Pokud je tedy u dluhopisu kotována durace, je tím myšlena modifikovaná duraci, nikoli Macaulayova. Následující výraz uvádí výpočet modifikované durace.

$$Mod_D = \frac{Mac_D}{(1+i)} \tag{1.5}$$

Konvexita

Tak jako durace měří sensitivitu ceny dluhopisu na změnu úrokové míry, tak konvexita měří citlivost durace dluhopisu na změnu úrokové míry. Durace neměří změnu ceny přesně, jelikož indikuje, že tato změna je lineární. Ve skutečnosti má křivka konvexní tvar. Konvexitu tedy můžeme vyjádřit

z Taylorova rozvoje ΔP (1.5), kde první člen rozvoje obsahuje duraci a druhý člen konvexitu. Pro výpočet aproximované změny ceny dluhopisu se ostatní členy rozvoje zanedbávají.

$$\Delta P = f'(i)\Delta i + \frac{f''(i)*\Delta i^2}{2!} + \frac{f'''(i)*\Delta i^3}{3!} + \cdots + R \qquad (1.6)$$

Dluhopis s pozitivní konvexitou má větší nárůst ceny vlivem poklesu úrokových sazeb než snížení ceny vlivem poklesu sazeb, proto tedy je pozitivní konvexita investory vítána.

Value at Risk (VaR)

Nejpopulárnější metodou měření rizika je metoda VaR neboli „hodnota v riziku“. Díky své jednoduchosti a snadné interpretaci se tato metoda rychle stala nejpopulárnějším nástrojem měření rizika. VaR můžeme determinovat pomocí 3 proměnných – velikost ztráty, pravděpodobnost ztráty a čas. V podstatě nám říká, s jakou pravděpodobností hrozí určitá ztráta v daném časovém horizontu. Suhobokov (2007) uvádí, že v posledních 20 letech se tato metoda stala nejvyužívanějším nástrojem Risk managementu a to především proto, že je schopna nám poskytnout přesnou kvantifikaci downside rizika[2].

Abychom mohli změřit výši rizika, je třeba učinit několik předpokladů. Zaprvé aby mohly být změny cen aproximovány normálním rozdělením, předpokládáme, že chování této veličiny odpovídá modelu náhodné procházky. Za druhé nesmí být přítomna autokorelace (závislost) mezi různými časovými okamžiky a dále také časovou stabilitu daných charakteristik, což znamená, že jakýkoliv pohyb kurzu není závislý na předcházející změně, ale pouze reprezentuje jev daného pravděpodobnostního rozdělení.

Existuje několik různých přístupů k výpočtu VaR, obecně je dělíme na dvě základní kategorie (Philippe, 2006):

- **Local - valuation methods** spočívá v ocenění portfolia při výchozí pozici a následně se použije lokální derivace pro předpověď odlišných

[2] Downside risk = worst case scenario

pohybů cen. Typickým příkladem je delta normal approach vyvinutý investiční bankou J. P. Morgan.

- **Full – valuation methods** jsou druhou kategorií, které měří riziko pomocí přecenění kompletního portfolia v několika různých scénářích. Tyto metody jsou reprezentovány dvěma přístupy: Historická simulace a Simulace Monte Carlo.

Jak uvádí Mejstřík (2014), metody využívané v praxi k výpočtu VaR si také můžeme rozdělit do následujících tří skupin.

1) Analytická metoda

První metodou je analytická metoda, která je založena na předpokladu normálního rozdělení rizikových faktorů, což považujeme za zjednodušující faktor.

2) Historická metoda

Druhou metodu nazýváme historická metoda, která počítá odhady potenciálních ztrát pomocí historických údajů. Je poměrně jednoduchá, avšak náročná na historická data. Předpokladem je očekávání, že budoucnost lze prognózovat na základě minulého vývoje a že v minulosti nejsou zahrnuty mimořádné události, které by mohly ovlivnit předpověď. Pokud ano, je pak nutné tyto události vyřadit z datové základny. Otázkou však zůstává, jak dávnou minulost považovat za relevantní.

Metoda Monte Carlo

Další metodou je metoda Monte Carlo, kde ztráty jsou simulovány na základě stochastických simulací a generováním náhodných scénářů. Výpočet je tedy nezávislý na historických datech, avšak je poměrně složitý. Poslední dva přístupy si více popíšeme v následujících kapitolách.

Je tedy zřejmé, že pokud máme k dispozici dostatečně dlouhou historii vývoje cen aktiv v našem portfoliu, metoda historické simulace je pak velmi efektivní při výpočtu VaR. Naopak pokud je obtížné získat historická data, což může

nastat například u fixed income[3] portfolií, je vhodnější použít metodu Monte Carlo. Dalším důležitým argumentem pro použití této metody je, že historie aktuálních cen není dostatečným zdrojem pro potenciální scénáře při výpočtu VaR. Monte Carlo zahrnuje velké množství uměle generovaných hypotetických událostí, což představuje změny cen korelovaných aktiv ve zkoumaném portfoliu.

Simulace Monte Carlo

O vznik této metody se zasloužil polský matematik Stanislaw Ulam ve čtyřicátých letech, jehož oblíbenou hrou byli Solitaire, kde se snažil vypočítat pravděpodobnost úspěchu ve hře. Pokoušel se simulovat míchání 100 karet a počítal vítězné kombinace. Takto se zrodila technika dnes známá jako simulace Monte Carlo, takto pojmenovaná jelikož základním kamenem bylo počítačová verze rulety s miliardami čísel na okraji. Přestože to trvalo desítky let najít ideální naprogramování této počítačem řízené rulety, simulace Monte Carlo se stala standardním nástrojem risk managementu a její nejmodernější podoba nabízí skvělý nástroj a velkou výhodu při řízení rizik (Kaplan, 2010).

Metoda Monte Carlo neboli stochastická simulace používá k odhadu VaR velký počet simulací vývoje hodnoty portfolia, který je určen velkým počtem náhodně generovaných rizikových faktorů, u nichž existují známá rozdělení (Jílek, 2011). Metoda je vhodná u nástrojů s nelineárním průběhem hodnot.

Později se objevily studie, které se snažili dokázat, že mnoho simulací lze provést i bez metody Monte Carlo a lze ji nahradit snazšími postupy. Toto však vyžadovalo mnoho zjednodušujících předpokladů, problém ale byl, že kapitálové trhy se nechovají takto zjednodušeně. Navíc, historie je plná událostí na tlustém konci[4], které jsou právě zachyceny modely s křivkou zvonu, odpovídající přesně zjednodušujícím předpokladům. To je další důvod, proč je simulace Monte Carlo nejpraktičtější přístup k modelování investičních předpovědí.

---

[3] Aktiva, která zaručují pravidelný příjem jako například dluhopisy
[4] Z ang. Fat tail events

Na druhé straně ale také musíme zmínit několik praktických nedostatků této metody (Kaplan, 2010).

1. Přesnost výsledků je limitována počtem simulovaných historických dat, což představuje kompromis mezi přesností modelu a časem, který výpočet zabere.
2. Čas potřebný pro simulaci dostatečné historie může být příliš dlouhý na to, aby byl praktický pro získání dostatečné přesnosti a užitečnosti modelu.
3. Velikost operační paměti má velký vliv na rychlost a efektivitu prováděných simulací, množství prováděných operací za daný čas je tedy klíčovým faktorem. Zvyšující se počet jader ve výpočetní technice napomáhá zvyšovat efektivitu simulací.

Naštěstí, technologie 21. století pomohly odstranit nebo alespoň zmírnit tyto nedostatky a metoda Monte Carlo se tak stala nejen praktickou, ale i interaktivní a velmi flexibilní. Jedná se o tři klíčové technologie, které usnadnily používání této metody:

- Interaktivní simulace – některé platformy umožňují zrychlit proces simulace a navíc počítače jsou vybaveny paralelními procesory a Monte Carlo je jedna z aplikací, která umí výhodu paralelních procesorů využít.
- DIST Distribuční řetězec[5] – umožňuje zabalení tisíců scénářů Monte Carlo do jednoho datového prvku DIST, což sníží nároky na paměť počítače.
- Cloud computing – DIST standard je tak kompaktní, že tisíce Monte Carlo verzí může být staženo z webu během pár sekund a cloud umožňuje celosvětové sdílení a distribuci dat.

Popularita metody Monte Carlo rychle roste, což platí především pro finanční organizace v Postsovětských zemích, kde se finanční systém stává více

5 Z ang. Distribution String

sofistikovanější a jsou vyžadovány pečlivější metody řízení rizik (Suhobokov, 2007)

Gapová analýza

Jako poslední metodu měření úrokového rizika si uvedeme používanou GAP analýzu, jejímž východiskem je analýza bankovní bilance a sleduje, jaké dopady bude mít změna úrokové sazby na reálnou hodnotu aktiv a pasiv banky.

Je tedy třeba položky bilance rozdělit na úrokově citlivá (např. nakoupené dluhopisy, úvěry) a necitlivá na změnu úrokových sazeb (např. akcie). Hodnotu GAP poté vypočteme jako rozdíl úrokově citlivých aktiv a úrokově citlivých pasiv. Následující tabulka ukazuje, za jakých podmínek banka realizuje zisk (+) či ztrátu (-) při růstu či poklesu úrokových sazeb.

Tabulka 1 Gapová analýza

		Úrokové sazby ↑	Úrokové sazby ↓
GAP>0	Splatnost A>Splatnost P	-	+
GAP<0	Splatnost A<Splatnost P	+	-

Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky lze vidět, že banka, která má pozitivní GAP a splatnost aktiv vetší delší než splatnost pasiv, pak při nárůstu úrokových sazeb zaznamená ztrátu a při poklesu naopak zisk. Odhadovaná ztráta je kalkulována zvlášť pro aktiva a pasiva a jsou rozdělené pro každý časový koš podle splatností.

Konzervativní banky většinou udržují pozitivní gap a těží z růstu úrokových sazeb, naopak agresivnější banky mají snahu udržet negativní gap a těžit z poklesu sazeb. Čistý úrokový zisk ovlivněný změnami úrokových sazeb je možné spočítat vynásobením změnou úrokové sazby a hodnoty gapu.

Další možností jak využít gapové analýzy je relativní gap a gap ratio. Pokud má banka pozitivní gap, teoreticky by management banky během růstu úrokových sazeb mohl zvýšit úrokově citlivá aktiva a/nebo zredukovat citlivá pasiva. Druhou možností je prodloužení splatnosti pasiv a/nebo zkrácení

splatnosti aktiv. V případě poklesu úrokových sazeb je třeba zaujmout opačnou pozici.

3 Úrokové sazby

Centrální banky, jejichž cílem je národní finanční stabilita systému, používá k jejímu dosažení a udržení mimo jiné i úrokové sazby. Centrální banky řídí svou diskontní politiku vyhlašováním 3 základních úrokových sazeb – Limitní reposazbu (úročení povinných minimálních rezerv), diskontní sazbu (úročení dobrovolných rezerv) a lombardní sazbu (úročení úvěrů komerčních bank při nedostatku likvidity). Revenda (2011) uvádí, že diskontní sazba je považována za „cenu peněz“ a od její hodnoty se odvíjí další úrokové sazby v ekonomice. Centrální banky řídí krátkodobou diskontní sazbu pomocí repooperací, kde stahuje či dodává likviditu výměnou za cenný papír jakožto kolaterál, vypisuje tendry na určitý objem (či konkrétní cenu) likvidity a průměrováním stanovuje diskontní sazbu. Úrokové sazby pro dlouhodobé splatnosti však nejsou řízeny centrální bankou, nýbrž tržními mechanismy.

Rozvíjející se i vyspělé ekonomiky se stále více spoléhají na referenční úrokové sazby jako na jejich primární nástroj monetární politiky a často využívají mezibankovních sazeb jako zprostředkovatele cílů své politiky. Existuje rostoucí konsenzus, že transparentnost a předvídatelnost měnové politiky tvoří schopnost řídit ekonomickou aktivitu a ukotvení inflačních očekávání. To zvýšilo popularitu pravidel explicitní politiky, které propojují změny referenční úrokové sazby s makroekonomickými proměnnými jako například ekonomický růst či inflace. Typickým příkladem nepředvídatelného jednání centrální banky si můžeme uvést uvolnění limitu pro kurz švýcarského franku vůči evropské měně v lednu roku 2015, což způsobilo jeho prudké posílení a mnoha investorům na finančních trzích velké ztráty. Je zřejmé, že takováto neočekávaná rozhodnutí snižují finanční stabilitu. Důvěryhodnost a předvídatelnost monetární politiky tedy kriticky záleží na stupni, do jaké míry jsou různé transmisní kanály pod kontrolou centrální banky. Pokud je například úrokový transmisní kanál narušen a změny základní úrokové sazby neovlivní vůbec nebo jen částečně tržní sazby, změny základní sazby se pak stanou méně předvídatelnou a méně věrohodnou signalizací centrální banky trhu.

Cílem centrální banky a její monetární politiky je stabilizace a dosažení inflačního cíle a to úzce souvisí s vývojem tržních úrokových sazeb. Mechanismus transmise změny úrokových sazeb do změny inflace můžeme rozdělit do dvou fází. První etapa zkoumá přechod změny měnověpolitické sazby na krátkodobé a také dlouhodobé tržní sazby. Stabilita výnosové křivky totiž vysoce ovlivňuje efektivitu první fáze. Zůstává-li křivka v průběhu času konstantní, pak říkáme, že tržní úrokové sazby proporcionální. Nicméně jakékoliv změny výnosové křivky mohou změnit efektivitu transmise změny sazeb do změny inflace. Druhá etapa zkoumá, jak změny tržních úrokových sazeb ovlivňují depozitní a zápůjční sazby srovnatelných maturit.

Determinanty úrokového transmisního mechanismu

Existuje několik potenciálních omezení či determinant úspěšného transmisního mechanismu. Mimo jiné se jedná především o finanční strukturu trhu, kde je důležité správně odhadnout vhodné pobídky bankám, aby přenesly změnu úrokových sazeb na klienty, ale se může jednat o strukturální charakteristiky jako například regulatorní prostředí či režim směnného kurzu nebo míra inflace. Pojďme se nyní podívat na jednotlivé determinanty úspěšného transmisního mechanismu (IMF, 2013).

- Kvalitní regulace – špatně fungující regulatorní prostředí vytváří nejistoty ve finančním systému a může vést k vyšším nákladům finančního zprostředkování. Jako výsledek se může stát, že bankovní úrokové sazby mohou být méně citlivé na změny úrokové politiky centrální banky. Ve skutečnosti platí, že malá velikost finančního zprostředkování v mnoha rozvojových zemích pravděpodobně souvisí právě se slabým regulatorním prostředím.
- Finanční dolarizace[6] – ve vysoce dolarizovaných finančních systémech mají centrální banky jen malou kontrolu nad úrokovými sazbami domácích i zahraničních instrumentů. Důvodem je, že náklady financování zahraniční měny jsou spojeny s vnějšími faktory, které jsou

[6] Míru dolarizace můžeme měřit poměrem zahraničních úvěrů k celkovým úvěrům.

většinou mimo kontrolu centrální banky. Účastníci trhu však mohou provádět arbitráže mezi domácími a zahraničními měnovými nástroji, hlavní úroková sazba stanovená centrální bankou tedy může jen částečně ovlivnit tržní úrokové sazby domácích měnových nástrojů. Další problém je, že vysoká míra dolarizace způsobuje vyšší citlivost rozvah bank, což vede ke strachu z plovoucího kurzu, který může být škodlivý pro efektivitu transmise úrokové míry.

- Finanční rozvoj[7] – rozvinuté finanční systémy obvykle nabízejí větší škálu alternativních forem investic. Více možností a investičních příležitostí pravděpodobně vede ke zvýšené konkurenci mezi finančními produkty. Úrokové sazby na trhu včetně velkoobchodních trhů jsou tak schopny lépe reagovat na změnu sazeb v politice, jelikož jsou omezeny ziskové marže. Nedostatečnost finančního rozvoje je také hnací silou dolarizace. Navíc slabé mezibankovní trhy, jakožto klíčový příznak nízké úrovně finančního rozvoje, může mít za následek přebytek likvidity v bankovní soustavě.
- Likvidita – úrokový transmisní mechanismus může být ve finančním systému méně efektivní, pokud banky a další finanční instituce budou hromadit likviditu kvůli neexistenci adekvátní investiční příležitosti. Je nepravděpodobné, že by změna politiky úrokových sazeb způsobily větší nabídku/poptávku úvěrů v prostředí, kde je přebytek likvidity. V určitém smyslu může likvidita fungovat jako rezervní polštář proti kolísání trhů a měnovým šokům. Problém přebytku likvidity však může být nejen vlivem nedostatku investičních příležitostí, ale také vlivem rozdílů ve vnímání rizika nebo různé obchodní modely.
- Konkurence v bankovním sektoru – když mají banky významnou tržní sílu, změna politiky sazeb se může projevit spíše změnou spreadu než pohybem tržních sazeb. Nedokonale konkurenční tržní systémy jsou charakteristické malým počtem relativně velkých bank, významnou rolí státních bank nebo slabou rolí nebankovních finančních zprostředkovatelů.

[7] Jako měřítko finančního rozvoje můžeme využít soukromé úvěry k HDP.

- Kvalita aktiv – banky se slabší bankovní rozvahou mohou na expanzivní monetární politiku reagovat spíše poklesem likvidity, místo aby rozšířily úvěry za nižší sazby. Změna základní úrokové sazby tedy může mít jen limitovaný dopad na změnu tržních sazeb. V podstatě lze říci, že nové potenciální půjčky jsou vytěsněny přítomností špatných úvěrů v rozvahách. Navíc banky musí konat v souladu s regulatorními požadavky, z čehož vyplývá, že jejich schopnost a ochota rozšířit úvěrování závisí také na jejich kapitálové přiměřenosti.
- Flexibilita měnového kurzu – úrokový transmisní mechanismus může být efektivní, pouze pokud je hlavní úroková sazba vnímána jako věrohodný signál orientace měnové politiky centrální banky. Pevnější kontrola centrální banky nad tržní sazbou je pravděpodobná, jedině pokud je základní úroková sazba transparentní a do značné míry nezávislá na ostatních vlivech jako jsou fiskální a kurzová politika. Nedostatek pružnosti směnného kurzu může například signalizovat, že hlavní úroková sazba není koordinována s hlavním cílem monetární politiky.
- Inflace – míra inflace se používá k posouzení, zda transmisní mechanismus je účinnější v prostředí s vysokou inflací či nikoliv. Dalo by se očekávat, že vyšší inflace vede k častější změně cen a tedy pravděpodobnost, že změna hodnoty základní sazby by mohla ovlivnit tržní úrokové sazby, je výrazně vyšší.

Mnohé studie ukázaly, že úrokový transmisní mechanismus je v krátkém období pomalý, dokonce stagnující, ale proces nezůstává neúplný a projeví se v dlouhém horizontu. Jedním z důvodů, proč transmise trvá delší čas je, že bankám trvá delší dobu přizpůsobit se změnám a kromě toho také nesoulad splatností úvěrů bank a depozitního portfolia ovlivňuje přizpůsobení sazeb, za které půjčují. Tedy banky budou cítit menší tlak, pokud mají více dlouhodobých úvěrů krytých dlouhodobými depozity, tedy je-li citlivost pasiv menší vůči tržním úrokovým sazbám.

Přestože od doby světové finanční krize, kdy centrální banky byly nuceny začít využívat i nekonvenční měnové nástroje a úrokové sazby klesly na nulu, uplynulo relativně mnoho času, přesto se potenciálním vedlejším účinkům věnuje více pozornosti. Postupem času však příliš snadné měnové politiky jako například zvýšení krátkodobé základní sazby, která by se přenesla do tržních krátkodobých sazeb, by mohlo snížit ziskovost bank, jak se výnosová křivka zploští a prémie za riziko poklesne, což by mohlo podpořit subjekty investovat do nežádoucích více rizikových aktiv. Pokračující politika ultra nízkých úrokových sazeb (či dokonce negativních sazeb) se spoléhá na transmisní kanály s nejistou účinností a hrozí potenciální nezamýšlené avšak závažné důsledky. Pro centrální banky takováto politika zvyšuje riziko finanční dominance, dominance směnného kurzu a fiskální dominance – tedy riziko, že se stává měnová politika podřízena požadavkům podpírající finanční trhy, podporování směnného kurzu směrem dolů a udržování nákladů refinancování veřejného dluhu nízko. Tato rizika zde samozřejmě existovala již předtím, avšak nikoliv tak intenzivně, jako dnes.

Mezitím si trhy nadále připravovaly půdu pro deliberalizaci tím, že podporovaly a přiživovaly očekávání další dodatečné monetární akomodace. Za nadšením účastníků trhu podporujících extrémní monetární politiku se však skrývá riziko zhroucení cen některých aktiv, až monetární podpora trhu skončí. To samozřejmě koresponduje s tradičním pohledem na fungování finančních trhů, kdy centrální banky by neměly nikdy překvapovat trhy a jednat nepředvídatelným způsobem a tedy v podstatě jednat v souladu s očekáváními. Ukázkové překvapení předvedla například švýcarská centrální banka, která neočekávaně zrušila v lednu 2015 limit pro kurz franku vůči euru, čímž dala najevo odmítnutí jakékoliv další finanční (evropské) autority. Vhodným řešením se zdá tedy být včasná avšak důkladně naplánovaná strategie exitu z režimu kvantitativního uvolňování.

Stanovení sazby PRIBOR

PRIBOR neboli Prague Inter Bank Offered Rate je úroková sazba používaná na mezibankovním trhu a představuje sazbu, za kterou si banky mezi sebou

navzájem půjčují a řídí tím svou likviditu. Na PRIBOR je navázáno ocenění celé řady produktů obchodovaných na finančním trhu a je proto klíčovým indikátorem jeho současného stavu. Sazba se používá jako referenční pro například hypotéky, korporátní i retailové úvěry, kde úroková sazba těchto produktů je vázána na PRIBOR buď úplně anebo případně s procentuální přirážkou. Sazby PRIBOR jsou kotovány na krátké splatnosti do jednoho roku, splatnosti delší nad jeden rok již nazýváme swapové.

Kotaci sazby PRIBOR ČNB (2015) definuje jako „úroveň ceny, za kterou jsou podle informací získaných referenční bankou při použití odborné péče referenční banky ochotny prodat (strana kotace offer) jiné referenční bance mezibankovní depozitum. Tyto informace zahrnují především ceny vlastních depozitních obchodů provedených referenční bankou, a pokud tyto nebyly uskutečněny, jedná se o odborný odhad těchto cen při použití odborné péče a znalosti trhu“. Referenčními bankami jsou nyní Česká spořitelna, ČSOB, Komerční banka, UniCredit Bank, Raiffeisenbank a Expobank a ty dodávají tzv. kalkulačnímu agentovi každý den ve stanový čas kotace PRIBOR. Kalkulační agent je dle definice ČNB (2015) organizace pověřená The Financial Markets Association of the Czech Republic (A.C.I.) (dále jen „Czech Forex Club“) počítáním (fixingem) a zveřejňováním hodnot referenčních úrokových sazeb PRIBOR. Czech Forex Club má právní formu občanského sdružení, ale jeho členy jsou zaměstnanci banky či jiných finančních institucí, tedy osoby pod přímým či nepřímým dohledem ČNB[8]. Ten pak provádí kontrolu formální správnosti dodaných kotací a řeší s referenčními bankami případně nesrovnalosti.

Podezření z manipulace se sazbou PRIBOR

V této souvislosti se v březnu loňského roku v tisku začaly objevovat zprávy o manipulaci sazby PRIBOR. Zprávy tvrdily, že sazba PRIBOR není sazbou tržní, ale pouze fiktivní a neodráží skutečný vývoj trhu. Problémem bylo, že kotace nebyla odvozována od reálně uskutečněných obchodů, jelikož nebyla

[8] http://roklen24.cz/a/wmzce/manipulace-sazeb-pribor-babis-odvolal-namestka-prose

ustanovena žádná kontrola této hodnoty nebo odhadu. Referenční banky totiž nebyly ani povinny sdělovat, kolik činí průměr ze skutečných obchodů a kolik je pouhý odhad, ani postup jak byl tento odhad stanoven. ČNB i Czech Forex Club tyto spekulace zamítly jako nepodložené, avšak v dubnu 2015 byla ČNB požádána Ministerstvem Financí zahájit šetření. Czech Forex Club tvrdí, že historický vývoj například diskutovaného 3M PRIBORu nevykazuje žádnou podezřelou mezidenní volatilitu (jako bylo možné pozorovat v případě manipulace sazby LIBOR či EURIBOR). Avšak v návaznosti na tyto pochybnosti o stavování sazby PRIBOR vydala ČNB ještě v březnu 2015 novou (pátou) verzi Pravidel pro referenční banky a výpočet (fixing) referenčních úrokových sazeb PRIBOR, kde jsou výše zmíněné problémy odstraněny povinností referenčních bank zveřejňovat a dodávat data pro výpočet kotací a dále zároveň zavedení nové povinnosti nastavení kontrolního mechanismu.

3.1 Nový normál bankovnictví

V reakci na finanční krizi v roce 2008 kdy finanční trhy čelily recesi a státy národním dluhovým krizím, mnoho centrálních bank zavedlo politiku ultra-snadných a dostupných peněz a také nekonvenční měnovou politiku na několik následujících let. Výnos z různých dluhopisových tříd, včetně státních dluhopisů v eurozóně, se přiblížil k nule a ceny akcií a reálných aktiv se propadly. Očekávalo se, že úrokový cyklus se uzavřel a že v mnoha zemích se trhy by se měly touto dobou vrátit na původní hodnoty. Avšak jediným dosavadním výsledkem je, že cenové korelace ve všech třídách aktiv se zvýšily. Takovéto prostředí představuje výzvu pro risk management a ALM v bankách, stejně tak ale i ziskovou příležitost. Institucionální investoři čelící výnosovému tlaku se mohou uchýlit k více rizikovým strategiím, jelikož stávající formy investování už nemusí být dostačující. Také oficiální investoři jako centrální banky nebo státní fondy cítí tlak ze současných i budoucích nižších zisků a budoucího rizika z (stále) ultra nízkých výnosových měr.

Následné dopady můžeme shrnout v několika bodech (SUERF O. B., 2015):

1. Tlak na ziskovost, přebírání vyššího rizika a zpožděné přeceňování, opravy rozvah bank a deformace v přidělování úvěrů a patří mezi rizika pro bankovní sektor plynoucí z ultra nízkých úrokových sazeb a nekonvenční měnové politiky.
2. Je zřejmé, že banky zpočátku profitovaly z extrémně nízkých úrokových sazeb (nižší náklady na financování, pozitivní důsledky klesajícího posunu výnosové křivky což způsobuje kratší duraci vkladů než u aktiv). Avšak vleklé období extrémně nízkých úrokových sazeb snižuje ziskovosti bank ze dvou důvodů – komprese úrokové marže kvůli ploššímu tvaru výnosové křivky a nulová hranice úrokové sazby vkladů.
3. Z mikroobezřetnostního hlediska je třeba se také zaměřit na několik problémů, které mohou s negativními úroky nastat. Zaprvé zda obchodní infrastruktura (například derivátové modely) a její IT systémy jsou schopni negativní úroky implementovat. Za druhé zda se nezmění chování zákazníků a zda vkladové modely a jeho podmínky budou stále platné. A za třetí nárůst úrokového rizika kvůli prodlužování durace by zřejmě měl být adekvátně podchycen.
4. Nízké úrokové míry se staly hrozbou pro solventnost a stabilitu životních pojišťoven, jelikož garantovaly klientům vysoké výnosy a to způsobuje obrovský nesoulad durací. Důsledkem může být, že pojišťovny budou investovat více do vysoce rizikových investicí a doufat v přežití. Nebo se alternativně uzamknout v nízko výnosových-nízko rizikových fixed income portfolií, avšak budou se muset vyrovnat s obtížným pokrytím svých záruk.
5. V současnosti nejen že úrokové sazby jsou nízko, ale s nimi i očekávané výnosy ve všech investičních třídách, jelikož každá dnešní investice má negativní reálný výnos. V současné době ale není jasné, jak dlouho bude tato situace na trhu přetrvávat. Podle jednoho scénáře je možné, že ve středně dlouhém období by se úrokové sazby mohly znormalizovat, pokud by se evropská ekonomika postupně zotavovala.

Podle druhého scénáře „dlouhodobé stagnace“ by mohla současná situace pokračovat ještě několik let. Naopak třetí scénář, kdy by se v dlouhodobém výhledu podstatně zvýšila inflace a tedy i nominální výnosy, nemá příliš velkou podporu.

6. Pro řízení rezerv centrálních bank současná situace znamená, že si centrální banky musí určit pozici v „investičním trojúhelníku“, kde dochází ke střetu dodržování ekonomických zásad a profitability finančního managementu. Z toho vyplývá, že si centrální banky budou muset nastavit poměr významnosti bezpečnosti, likvidity a výnosnosti svých investic a jak tyto cíle trvale udržet.
7. Bubliny se historicky vyskytovaly v široké škále aktiv. Většina bublin byly z velké části financovány dluhy (především bankovními úvěry), což zvyšuje pravděpodobnost nastání bankovní krize. Takové bubliny byly většinou způsobeny technologickými nebo finančními inovacemi nebo také politickými událostmi.
8. V následné reakci na bubliny je většinou politika „jít proti větru“ vhodnější než pozdní splasknutí bubliny. V některých případech byla makroprudenční opatření úspěšná a někdy mohou být úspěšnější než opatření v rámci politiky úrokových sazeb, jelikož jsou více cílená na konkrétní odvětví a zároveň je snadnější je obejít. Neexistuje jednoduchý recept, protože žádný finanční nástroj nefunguje stejně za všech okolností.
9. V současnosti se kvůli hledání vyšších výnosů na mnoha trzích nahromadilo riziko. Neexistuje však jasná hrozba pro finanční stabilitu (systémové riziko) dokud nedojde k prudké úvěrové expanzi a růstu cen aktiv. Navíc finanční krize obvykle vznikají z politiky ultra nízkých úrokových sazeb jedině, pokud jsou doprovázeny dalšími pobídkami přejímat vyšší riziko. Je tedy nepravděpodobné, že současné prostředí nízkých sazeb by vedlo k finanční krizi, pokud by nebylo doprovázeno nějakým významným hospodářským růstem.

Každopádně odchod z politiky nízkých úrokových sazeb by určitě představoval riziko pro finanční stabilitu, a proto by takovýto krok měl být řádně

naplánován a správně komunikován. Navíc, tvůrci trhu by si měli být vědomi potenciálního přenosu rizika to dalších, méně regulovaných sektorů jako jsou například stínové bankovnictví.

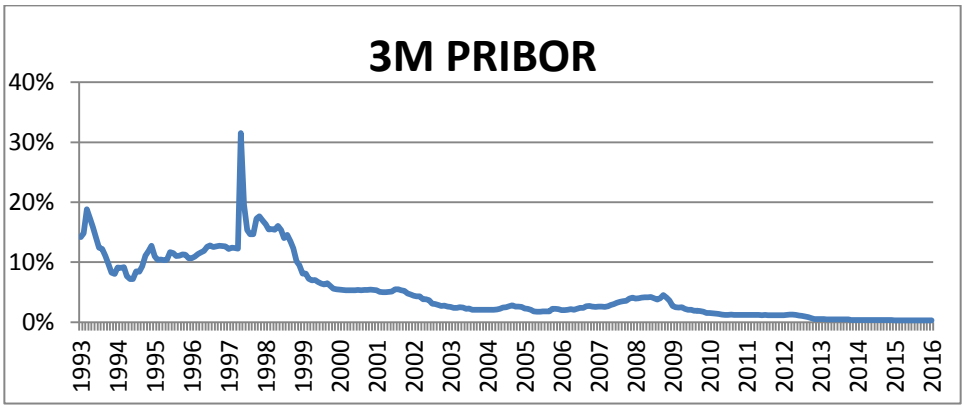
Současná situace na českém trhu

ČNB jakožto dohledový orgán na českém trhu je kromě povinnosti plnění cenové stability také nově od roku 2013 odpovědný za prosazování finanční stability[9]. Plnění obou cílů je třeba správně koordinovat, což se může zdát snadné v případě finančních recesí nebo naopak expanzí. V případě recese je třeba politiku uvolnit a nízké úrokové sazby pak zajistí snížení dluhové zátěže a podporují ekonomický růst. Problém tedy nastává v momentě, kdy se ekonomika nachází mimo recesi a inflace se stále nachází pod 2 % cílem, avšak dochází k oživení ekonomiky a pokračování v uvolněné úvěrové politice by mohlo způsobit odkrytí skrytých systémových rizik (viz. Kapitola 4, bod 9). Proto také ČNB začala využívat některé nástroje makroobezřetnostní politiky, které měly za úkol odvrátit nebo alespoň zmírnit tato rizika.

Finanční krize, která skončila v roce 2008, způsobila pád krátkodobých i dlouhodobých úrokových sazeb po celém světě. Česká republika je však jednou ze zemí, které se s krizí vypořádaly lépe než ostatní ekonomiky, hrubý domácí produkt rostl a dokonce se začalo mluvit o přehřívání ekonomiky. Například v roce 2015 dosáhl meziroční růst 4,1 %, což znamenalo, že již po tři čtvrtletí v řadě překročil 4% hranici[10]. Přesto však v ČR přetrvávají úrokové sazby blízko nuly. V následujícím grafu je vidět vývoj 3 měsíčních úrokových sazeb od roku 1993 do 2016.

[9] https://www.cnb.cz/cs/o_cnb/blog_cnb/prispevky/tomsik_20151123.html
[10] http://www.mfcr.cz/cs/verejny-sektor/makroekonomika/makroekonomicka-predikce/2016/makroekonomicka-predikce-leden-2016-23826

Obrázek 3 Historický vývoj 3M PRIBOR sazby



Zdroj: Autorka podle databáze ČNB ARAD

Záporné úrokové sazby na českém trhu

Zavedení negativních úrokových sazeb v České republice je prozatím pouze teorií, která by však měla velké dopady na zdejší banky ať už z pohledu jejich vlastního financování, řízení aktiv, ale i jejich primárního účelu úvěrování. ČNB by se mohla k tomuto kroku snížení základní úrokové sazby uchýlit v momentě, kdy by se stal tlak na posilování koruny neúnosný, centrální banka by tedy byla nucena čerpat obrovské množství prostředků na udržení kurzového závazku na 27 korun za euro.

Jelikož na českém finančním trhu přetrvává přebytek likvidity a české banky mají u ČNB uloženy prostředky zhruba ve výši 1 bilionu korun, jelikož v současné době jde o nejvýnosnější způsob uložení volných peněžních prostředků, které se úročí sazbou 0,05 procenty. Logicky tedy v případě poklesu sazby pro depozitní facility do záporných hodnot by banky z těchto uložených peněz realizovaly ztrátu a otázkou zůstává, zda by centrální banka nemusela čelit masivnímu odlivu těchto peněz z rezervních účtů komerčních bank u centrální banky. Podle listu E15 při poklesu úrokové sazby do záporu o jednu desetinu by banky přišly o 1 miliardu korun (odpovídá 1,5 % ročního zisku).

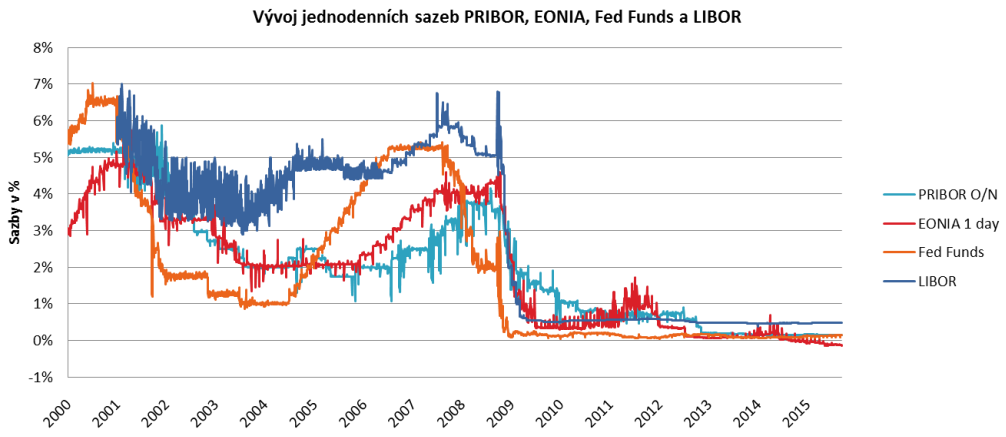
Nabízí se otázka, jak by na zvýšení nákladů banky zareagovaly. První možností je zavedení záporných úroků na klientských účtech a druhou možností je kompenzace ztráty na straně aktiv – zvýšení úrokové sazby na půjčkách.

Pokles úrokových sazeb by pro banky představoval ztrátu stejně tak jako i růst sazeb, který se nevyhnutelně projeví náklady na přeceňování držených dluhových nástrojů na straně finančních aktiv.

Úrokové sazby ve světě a jejich korelace s PRIBOR

Pokud se podíváme na vývoj základních světových úrokových sazeb na vyspělých trzích, můžeme vidět velmi podobný vývojový trend (Obrázek 4).

Obrázek 4 Světové úrokové sazby v posledních 15 letech



Zdroj: Vlastní zpracování

Evropská jednodenní sazba EONIA stanovila zápornou sazbu poprvé v srpnu 2014 a od té doby se stále pohybuje v negativních hodnotách. Fed funds – základní úroková sazba Federal Reserve Bank – nikdy nesnížila své sazby do záporu, přestože se také po krizi 2008 pohybovaly velmi blízko nuly. Zdá se, že naopak jako první se Spojené Státy rozhodly v listopadu 2015 (přibližně rok poté, co Fed ukončil kvantitativní uvolňování) pro zvyšování své základní úrokové sazby o 25 bazických bodů. Otázkou je, zda byl nastolen růstový trend a při dalších zasedáních se bude opět sazba navyšovat, či to byl spíše jednorázový krok.

Pokud se zaměříme na provázanost české úrokové sazby PRIBOR se zahraničními, zjistíme, že obecně jsou sazby významně korelované. Pro zkoumání statistických závislostí jsme použili nejvýznamnější úrokové sazby na vyspělých trzích - evropskou jednodenní sazbu EONIA a americkou overnight sazbu Fed Funds a zkoumali jsme jejich vzájemný vztah s overnight PRIBOR sazbou od roku 2000 do roku 2015. Ukázalo se, že sazby jsou sice silně korelovány, avšak u některých se však potvrdilo, že je třeba využít určité kvartální zpoždění. Na následující tabulce lze vidět korelaci PRIBOR s ostatními sazbami a také se svým vlastním zpožděním.

Tabulka 2 Část korelační matice

	PRIBOR
PRIBOR	1
t-1Q	0,986
t-2Q	0,958
t-3Q	0,922
t-4Q	0,885
EONIA	0,925
Fed Funds	0,751
Fed Funds t-1Q	0,816
Fed Funds t-2Q	0,867
Fed Funds t-3Q	0,904
Fed Funds t-4Q	0,918
LIBOR	0,849
LIBOR Q-1	0,870
LIBOR Q-2	0,879
LIBOR Q-3	0,875
LIBOR Q-4	0,865

Zdroj: Vlastní zpracování

Vidíme, že hodnoty PRIBOR velmi závisí na vlastním zpoždění, dále silná korelace je také se sazbou EONIA. U Fed Funds a stejně tak i LIBOR je nejsilnější vztah s ročním zpožděním (t-4Q). Zhruba roční zpoždění je také viditelné z Obrázku 4, kde vývoj Fed Funds výrazně předchází nárůstům či poklesům sazby PRIBOR. Tyto údaje potvrzují jejich vzájemnou závislost, a proto je také využijeme pro predikci vývoje sazby PRIBOR.

3.2 Vašíčkův model

Úrokové sazby a jejich dynamika se staly v poslední době výpočetně pravděpodobně nejzajímavější částí finanční teorie a poté co se na trh dostaly deriváty pro fixed-income cenné papíry, se problematika ještě zkomplikovala. Dynamika úrokových měr tedy představuje příležitost pro nová řešení a přístupy pro modelování výnosových křivek, což je velmi podstatné pro finanční i monetární ekonomii.

Vašíčkův model je jeden z prvních, velmi známých a často používaných modelů. Používá pro modelování krátkodobých úrokových sazeb mean-reverting level, tedy level, ke kterému se stochastický proces postupem času přimyká. Tato inovativní vlastnost modelu může být argumentována různými ekonomickými teoriemi. Vysoké úrokové míry většinou způsobí zpomalení ekonomiky, jelikož úvěry se stávají příliš drahé a to obecně způsobuje opětovný pád úrokových sazeb do equilibria tzv. long-term mean. Opačná situace, kdy úrokové sazby jsou nízko, je poptávka po úvěrech větší a je tedy tlak na růst úrokových měr (Zeytun, 2007).

Vašíčkův model předpokládá, že s jistotou známe současné krátkodobé úrokové míry a následné hodnoty sledují stochastickou diferenciální rovnici:

$$dr_t = a(b - r_t)dt + \sigma dW_t \tag{1.7}$$

kterou chápeme jako

$$\int dr_t = \int a(b - r_t)dt + \int \sigma dW_t \tag{1.8}$$

Kde r_t je spojitá funkce závislá na čase

a je konstanta, rychlost mean-reversion

b je konstanta, long-term mean

W_t je Wienerův proces

Podle Vašíčkova modelu je tedy r_t diskrétní v čase, bez skoků[11] a sleduje Markovský proces – proces bez paměti. Využívá se pro modelování situací, kdy jsou výsledky z části náhodné a z části deterministické. O Markovském procesu můžeme mluvit tehdy, jsme-li schopni vytvořit predikci procesu založenou čistě na současném stavu stejně tak jako pokud bychom znali celou historii. Model předpokládá, že trhy jsou efektivní. Navíc samozřejmě vyvstává otázka, jak do modelu zakomponujeme tržní cenu za riziko. Ornstein-Uhlenbeckův (Vašíčkův) model však chápeme jako rizikově neutrální, tržní cenu za riziko tedy uvažujeme nulovou (či blízkou nule), jejíž jeho příspěvek do modelu by byl pravděpodobně minimální.

Řešení Vašíčkovy rovnice můžeme zapsat výslednou rovnicí (kterou považujeme za rizikově neutrální)

$$r(t) = e^{-at}r(0) + b(1 - e^{-at}) + \int_0^t e^{-a(t-s)}\,\sigma dW(s) \qquad (1.9)$$

odkud plyne, že úroková míra má normální rozdělení, a tedy můžeme připustit s kladnou pravděpodobností, že úroková míra může být i záporná, což je považováno za velký nedostatek Vašíčkova modelu.

Parametr b v modelu představuje tedy jakýsi dlouhodobý rovnovážný stav krátkodobých úrokových měr, ke kterému hodnoty směřují. Existují i pokročilejší modely, které definují parametr b nikoli jako konstantu, ale jako funkci času. Parametr a je konstanta reprezentující rychlost s jakou se úrokové míry přichylují k dlouhodobému equilibriu. Pokud $r > b$, pak parametr $a > 0$ způsobí, že drift je negativní a tedy úrokové sazby budou stahovány níže k hodnotě b (Zeytun, 2007). Jelikož je v modelu jediný faktor, všechny úrokové míry jsou v konečném důsledku závislé na krátkodobých úrokových mírách r. Všechny modely úrokové míry jsou aditivní, proto všechny míry v čase $t + \Delta t$ jsou typu $r_t + \Delta r$.

[11] Mohou se vyskytovat určité skoky, ale obecně považujeme proces za diskrétní.

Druhá část rovnice zachycuje okamžitou volatilitu způsobenou teoreticky nekonečným množstvím nepředvídatelných faktorů. Volatilita σ je násobena Weinerovým procesem, což znamená, že hodnota W_T v čase T závislá na hodnotě W_t má normální rozdělení se střední hodnotou W_t a variancí T-t, kde T>t. Tržní cena rizika se předpokládá konstantní a obvykle negativní nebo nulová, abychom byli schopni garantovat pozitivní prémii pro cenu dluhopisu.

Jak už bylo řečeno, za největším problém Vašíčkova modelu jsou považovány negativní úrokové sazby, které tento model může produkovat. To by však nebyl až takový problém v současnosti, kdy sazby často mohou být negativní, ale nominální sazby většinou nebývají. V dlouhém období ale negativita přestává být velkým nedostatkem, jelikož rozdělení krátkodobých měr je stacionární a Gaussovské s očekávanou mírou rozptylu (pokud a>0) b a $\frac{\sigma^2}{2a}$.

3.2.1 Výpočet parametrů modelu

Tak jako se všemi modely úrokových sazeb, datová základna může být velkým zdrojem nepřesností. Vzorek dat by měl ideálně přesahovat 10 let tak aby zachytil efekt mean-reversion. Pro výpočet parametrů a, b a σ jsme použili rovnice maximální věrohodnosti:

$$S_x = \sum_{i=1}^{n} S_{i-1} \tag{1.10}$$

$$S_y = \sum_{i=1}^{n} S_i$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^{n} S_{i-1} * S_i$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^{n} S_{i-1}^2$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^{n} S_i^2$$

Parametr a vyjádříme následující rovnicí

$$a = \frac{S_y S_{xx} - S_x S_y}{n(S_{xx} - S_{xy}) - (S_x^2 - S_x S_y)} \tag{1.11}$$

Pro výpočet parametru b použijeme rovnici

$$b = -\frac{1}{\delta} ln \frac{S_{xy} - aS_x - aS_y + na^2}{S_{xx} - 2aS_x + na^2} \tag{1.12}$$

Volatilitu získáme z následující rovnice

$$\sigma = \sqrt{\hat{\sigma}\frac{2b}{1-\alpha^2}} \tag{1.13}$$

kde

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n}\left[S_{yy} - 2\alpha S_{xy} + \alpha^2 S_{xx} - 2a(1-\alpha)\left(S_y - \alpha S_x\right) + na^2(1-\alpha^2)\right]}$$

a

$$\alpha = e^{-b\delta}$$

Pomocí metody maximální věrohodnosti jsme tedy schopni najít hodnoty parametrů pro každou tak, že skutečný výstup má maximální pravděpodobnost. Výhodou této metody je, že nám poskytuje konkrétní maximálně věrohodnostní odhad, na druhou stranu ale předpokládá, že rozptyl stochastické proměnné je konstantní mezi diskrétními pozorováními. Toto se může zdát jako problematické a příliš zjednodušující, avšak v praxi se zdá, že to odhad příliš neovlivňuje.

Datová základna

Pro náš model použijeme data sazby od ledna 2000 do září 2015, poskytnuté ČSOB bankou se splatnostmi: overnight, 3-měsíční, 6-měsíční, roční, tříletou, pětiletou a desetiletou. Sazby se splatností do 1 roku jsou sazby PRIBOR, sazby nad 1 rok se kotují jako swapové sazby. Použitá data jsou na denní bázi a čítají 3958 pozorování, což je dostatečná datová základna pro tvorbu modelu.

Odhady parametrů

V následující tabulce jsou zobrazeny hodnoty parametrů pro všechny vybrané splatnosti:

Tabulka 3 Hodnoty Vašíčkova modelu

Parametry	O/N	3M	6M	1Y	3Y	5Y	10Y
a	1,2663	0,0907	0,0839	0,2658	0,1870	0,2264	0,1563
b	0,0182	-0,0124	-0,0127	0,0141	0,0095	0,0153	0,0134
σ	0,0246	0,0031	0,0033	0,0106	0,0078	0,0089	0,0075

Zdroj: Vlastní zpracování

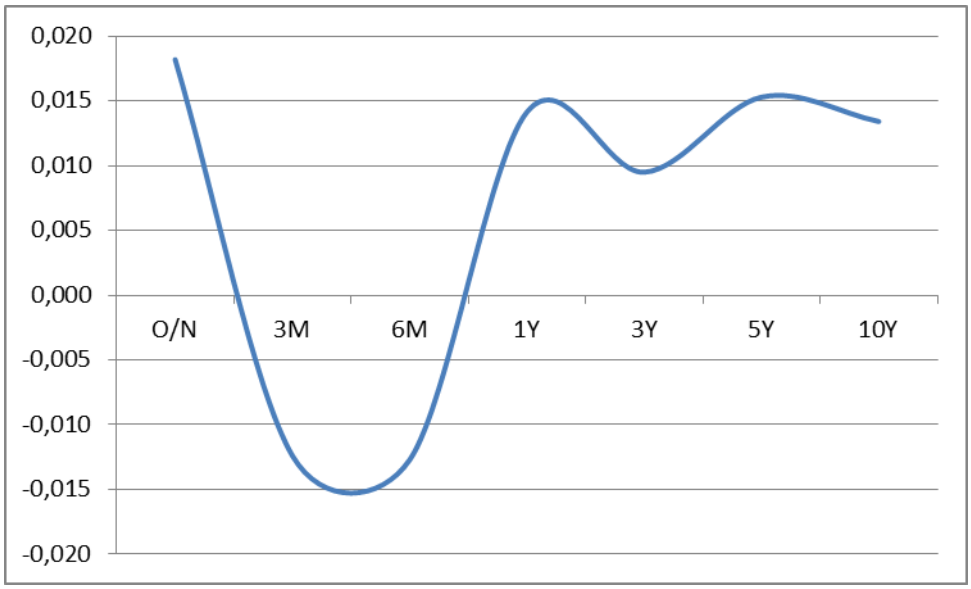
Výsledky odhadů parametru *a*

Zdá se, že odhadnuté koeficienty odpovídají. Koeficient *a* se obecně podle dalších studií pohybuje zhruba mezi hodnotami 0,1 a 1. Naše výsledky tedy, kde odhady parametrů především pro krátké splatnosti jsou velmi blízko 1, s tímto korespondují (s delší splatností hodnota parametru *a* klesá). Čím blíže je hodnota parametru k 1, tím se predikované sazby budou lépe přimykat k hodnotě long term mean. Zdá se, že především krátké sazby budou rychleji konvergovat k long term mean.

Výsledky odhadu parametru *b*

Parametr *b* neboli long term mean vychází velmi celkem standardně a realisticky. Zdá se, že sazby vybraných splaností by měli konvergovat k hodnotám uvedeným v tabulce výše, které jsou většinou okolo 1,5 %. Zajímavé však je, že u sazeb 3M a 6M vychází parametr *b* záporný, přesto to však Vašíčkův model umožňuje. U těchto dvou sazeb je znatelný dlouhodobý klesající trend, a tedy přestože sazby v záporu historicky nikdy nebyly, přesto model odhadl jako dlouhodobou hodnotu zápornou kolem -1 %. Obecně nízké hodnoty tohoto parametru mohou být způsobeny tím, že sazby se dlouhodobě pohybovaly blízko nuly, avšak růstový potenciál je velký. Na dalším obrázku si můžeme graficky znázornit výnosovou křivku složenou z vypočtených dlouhodobých rovnovážných hodnot (parametrů *b*) vybraných splatností.

Obrázek 5 Výnosová křivka modelovaná z hodnot parametru b



Zdroj: Vlastní zpracování

Výsledky odhadu parametru σ

Posledním parametrem je volatilita, jejíž hodnoty se jeví standardní. Volatilita se pohybuje kolem 1 až 2 % s tím, že opět pro 3M a 6M sazbu je volatilita nižší než u ostatních splatností. Naopak pro sazbu O/N je typicky volatilita relativně vysoká – necelé 2,5 %. Je známo, že jednodenní sazba má obecně větší volatilitu než u ostatních sazeb a zároveň je korelace s ostatními splatnostmi často nízká. Většinou je tedy považována za krátkodobou sazbu využívanou pro modelování a oceňování produktů na finančních trzích sazba s o něco delší splatností jako například 3 měsíční či 6 měsíční, které jsou považovány za stabilnější. Pokud se však zaměříme na naši datovou základnu, a podíváme se na korelační matici (Obrázek 6) sazeb do 1 roku, zdá se, že korelace O/N sazby s ostatními vyššími splatnostmi sice klesá, ale se sazbou 3M je korelace relativně vysoká. Proto budeme v našem modelu v dalších kapitolách preferovat především pro odhad výnosové křivky sazbu O/N.

Obrázek 6 Korelační matice úrokových sazeb různých splatností

	PRIBOR O/N	*PRIBOR 1W*	*PRIBOR 2W*	*PRIBOR 1M*	*PRIBOR 2M*	*PRIBOR 3M*	*PRIBOR 6M*	*PRIBOR 9M*	*PRIBOR 12M*
PRIBOR O/N	1,0000								
PRIBOR 1W	0,9951	1,0000							
PRIBOR 2W	0,9945	0,9999	1,0000						
PRIBOR 1M	0,9901	0,9976	0,9982	1,0000					
PRIBOR 2M	0,9870	0,9954	0,9962	0,9993	1,0000				
PRIBOR 3M	0,9835	0,9926	0,9936	0,9978	0,9995	1,0000			
PRIBOR 6M	0,9748	0,9853	0,9866	0,9923	0,9957	0,9978	1,0000		
PRIBOR 9M	0,9696	0,9806	0,9820	0,9882	0,9924	0,9952	0,9994	1,0000	
PRIBOR 12M	0,9649	0,9762	0,9777	0,9842	0,9889	0,9923	0,9979	0,9996	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování na základě dat ČSOB

3.2.2 Predikce

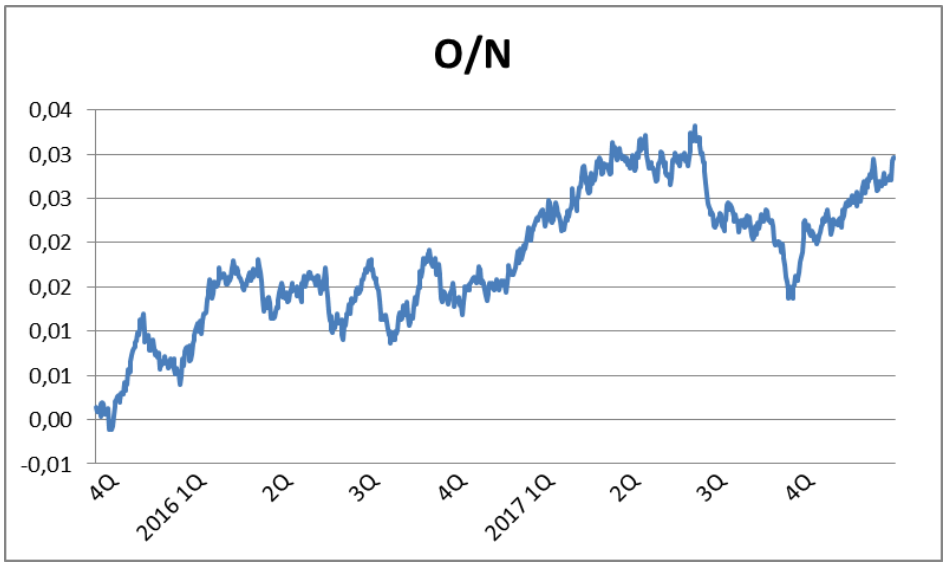
Vašíčkův model je sice primárně určený pro zkoumání dynamiky krátkodobých úrokových sazeb a na kratší období, my jsme však tento model použili pro predikci jak dlouhých splatností, avšak ukážeme v modelu pravděpodobnostní rozdělení, které zobrazí neurčitost pohybu sazeb v dlouhém období. Data, která jsou k dispozici, končí datem 14. 9. 2015, tedy predikce začíná od následujícího dne.

Predikci jsme provedli pomocí 1000 iterací Monte Carlo simulace náhodné složky Vašíčkova modelu s normálním rozdělením pro každou vybranou splatnost. Simulace jsme provedli na denní bázi až do konce roku 2017. Je sice známo, že Vašíčkův model se využívá pro krátkodobé predikce a navíc jen pro krátké splatnosti, my jsme však simulovali delší predikci kvůli možnosti následného porovnání s predikcí ČNB. Průměr všech iterací jsme nazvali jako časová řada Average v grafu a dále jsou v grafu zobrazeny řady pravděpodobnostního rozdělení na intervaly spolehlivosti: +/- 90 %, +/- 70 %, +/- 50 %, +/- 30 %.

Predikce O/N sazby

Předtím, než se podíváme na čtvrtletní graf simulací, zaměříme se na podrobný denní graf simulace jednodenní sazby. Na následujícím grafu (Obrázek 5) je vidět, že krátkodobě sazby mohou jednodenní sazby klesnout do záporných hodnot (což nám Vašíčkův model umožňuje), avšak je zde vidět růstový trend.

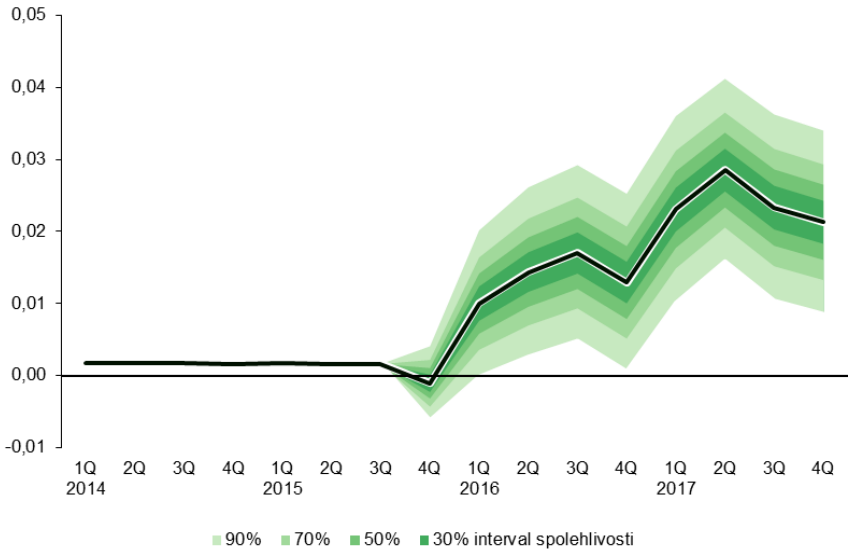
Obrázek 7 Simulace O/N sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Pro lepší vizualizaci vývoje jednodenní sazby se nyní podíváme na graf (Obrázek 8), kde jsou zobrazena jak historická data, tak i predikce a zároveň pravděpodobnostní rozdělení. Tento typ grafu používá i ČNB pro zobrazení svých vlastních predikcí a zároveň jsme přizpůsobili i délku časového horizontu, aby byly predikce lépe porovnatelné.

Obrázek 8 Kvartální predikce O/N s pravděpodobnostním rozdělením



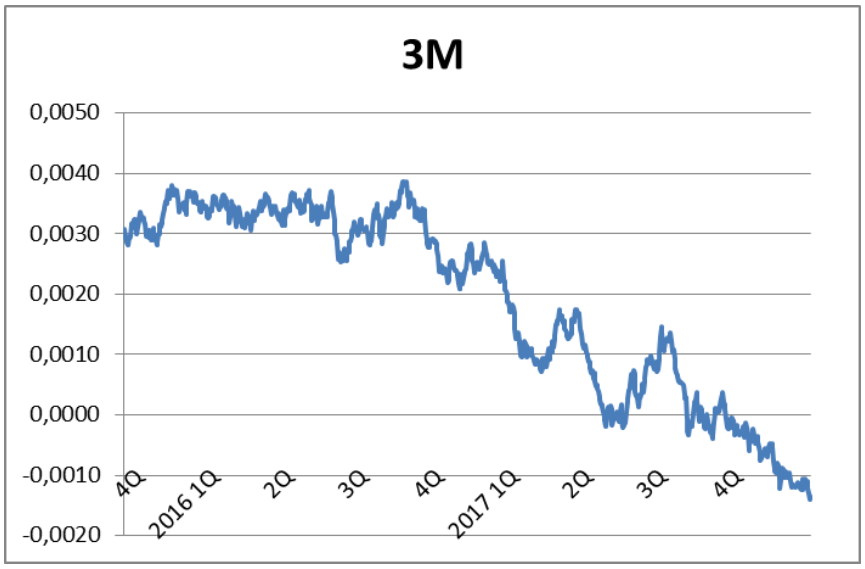
Zdroj: Vlastní zpracování

Z grafu je patrné, jak úroková sazba by mohla podle predikcí krátkodobě klesnout do záporu a na 90 % intervalu spolehlivosti by mohla dosáhnout nejnižší hodnoty kolem – 0,6 %. Následuje růst, který se však zpomaluje. Na konci roku 2017 by O/N sazba mohla dosáhnout střední hodnoty 2,1 %.

Predikce 3M sazby

Jak jsme již zmínili, odhad parametru *b* pro sazbu 3M (a také 6M) vychází na rozdíl od ostatních splatností negativní. Protože je parametr *b* záporný -1,24 %, způsobuje to, že predikce je stlačována do nižších hodnot s relativně velkou mean reversion rychlostí. Proto jestliže jsme získali pro ostatní splatnosti predikce obecně rostoucí, u sazeb 3M a 6M vychází, že odhady sazeb jsou klesající (nerostoucí). Tento fakt je zajímavý už z toho důvodu, že tradiční výnosová křivky je obvykle rostoucí a tedy sazba pro delší splatnost je vyšší, což však pro naši predikci neplatí, pokud porovnáváme hodnoty sazeb O/N a 3M. Maximálně na některých kratších časových úsecích by mohla sazba 3M růst, obecně však odhadujeme pokles. Oproti odhadu sazby 6M je však 3M predikce prudce klesající.

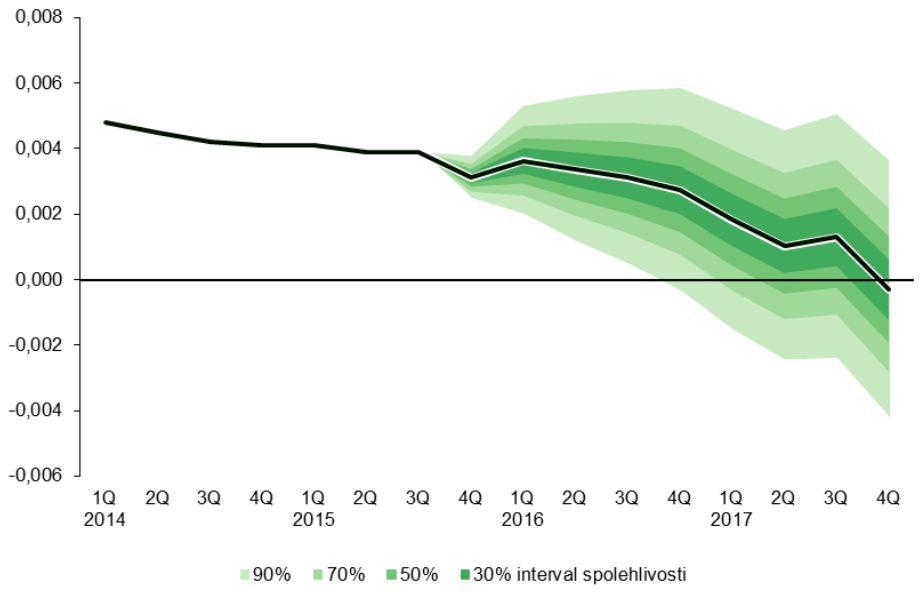
Obrázek 9 Simulace 3M sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Z kvartálního grafu predikcí (Obrázek 10) lze vidět, že hodnoty predikce na konci roku 2017 vychází jako negativní. Volatilita sazby 3M je však nejnižší ze všech, tedy by hodnoty predikcí neměly mít tak velké výkyvy oproti ostatním sazbám.

Obrázek 10 Kvartální predikce 3M s pravděpodobnostním rozdělením

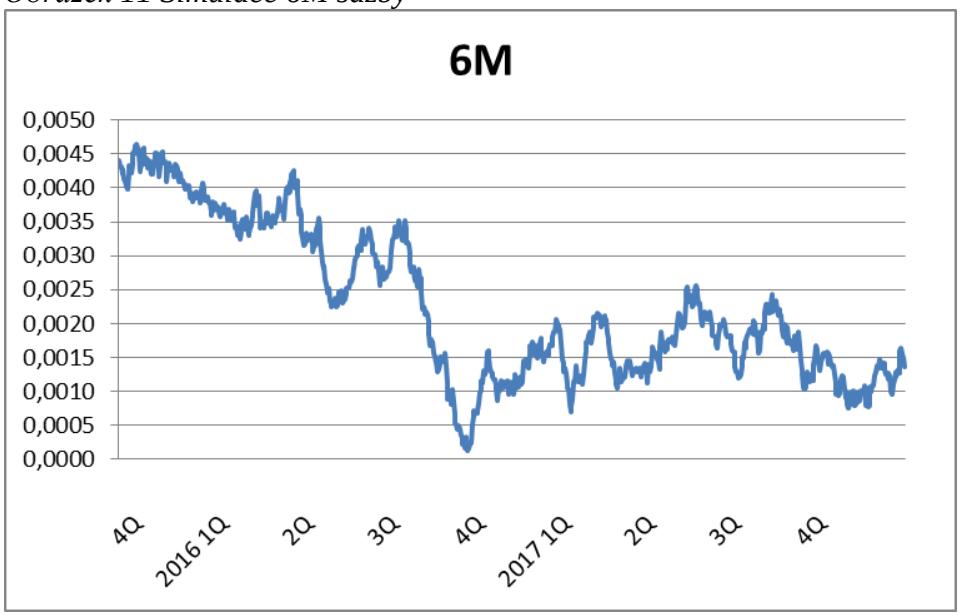


Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce 6M

Oproti 3M splatnosti predikce pro 6M klesá pomaleji. Přestože odhady parametrů vycházejí pro obě tyto splatnosti velmi podobně, kdy *a* vychází záporné, hodnota long term mean (*b*) je však ještě nižší než pro splatnost 3M.

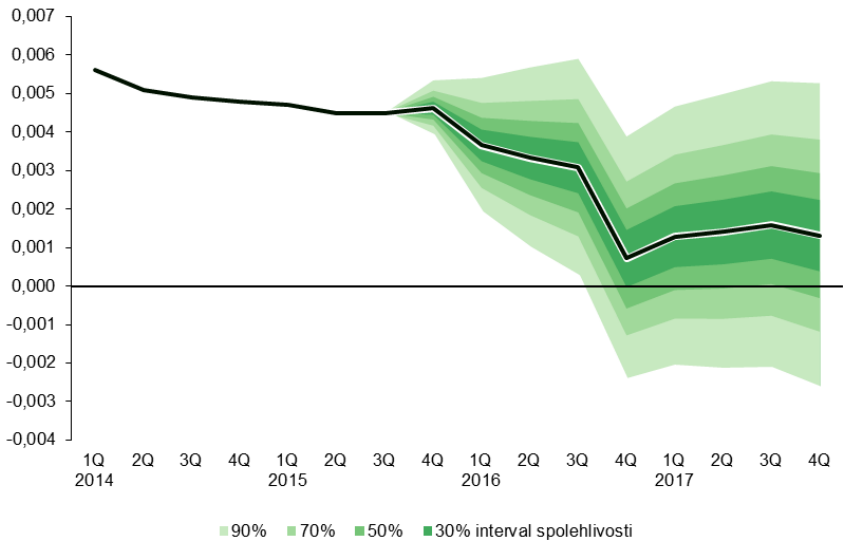
Obrázek 11 Simulace 6M sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce budoucího vývoje v roce 2017 osciluje okolo hodnoty 0,015 %, ale dlouhodobě je klesající a v posledním kvartálu roku 2017 by mohla být sazba dokonce negativní. Zdá se, že na to aby se se sazba přiblížila k záporné hodnotě parametru *b*, nemáme dostatečně dlouhý horizont.

Obrázek 12 Kvartální predikce 6M s pravděpodobnostním rozdělením

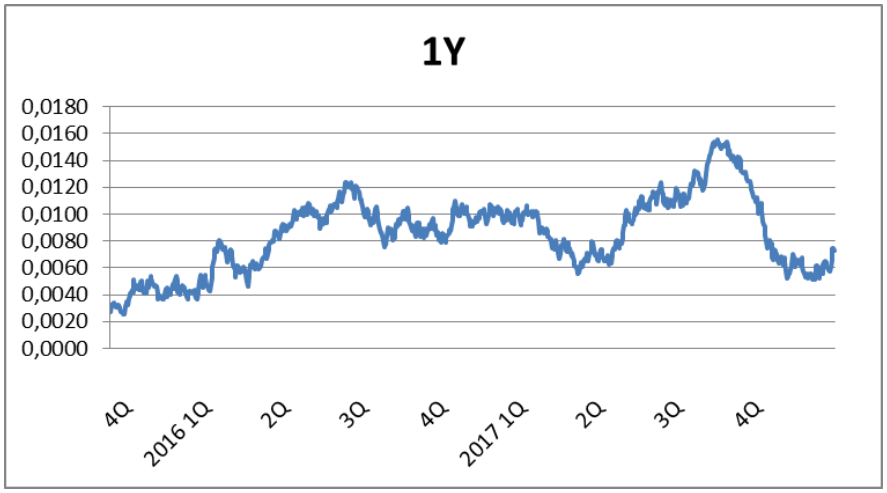


Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce 1Y

Predikce pro jednoletou splatnost je na rozdíl od předchozích dvou rostoucí a má kladný parametr *b*. V horizontu 1 roku předpověď roste k hodnotě 1,4 % a v posledním kvartálu 2017 predikujeme pokles. Avšak jelikož je parametr a neboli mean reversion pro sazbu 1Y relativně nízký (0,26), znamená to, že predikce sazeb nejsou příliš taženy ke své rovnovážné hodnotě.

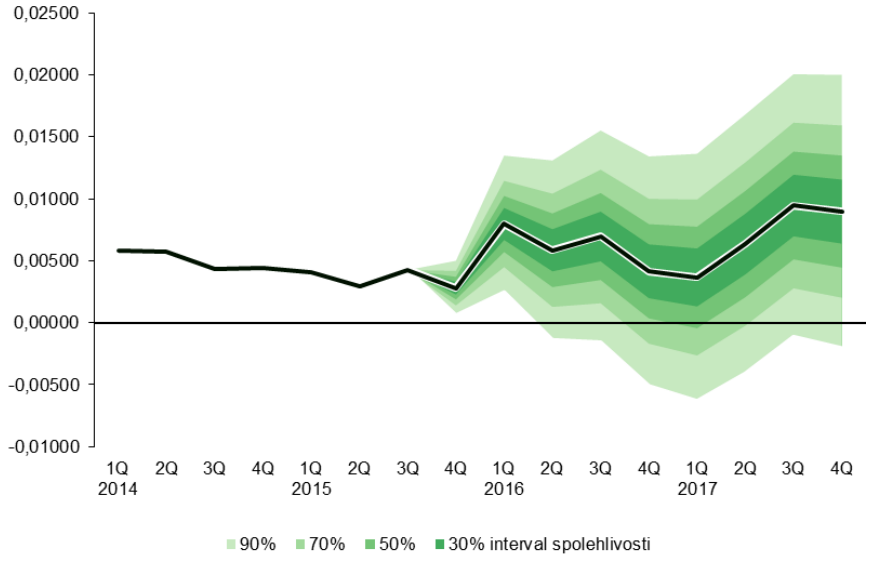
Obrázek 13 Simulace 1Y sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Kvartální graf nám však zobrazuje, že sazba může být dokonce i záporná na 90 % a 70 % intervalu spolehlivosti v období mezi 2016 a 2017, avšak primární je pro tuto splatnost mírný růst v dlouhém období.

Obrázek 14 Kvartální predikce 1Y s pravděpodobnostním rozdělením

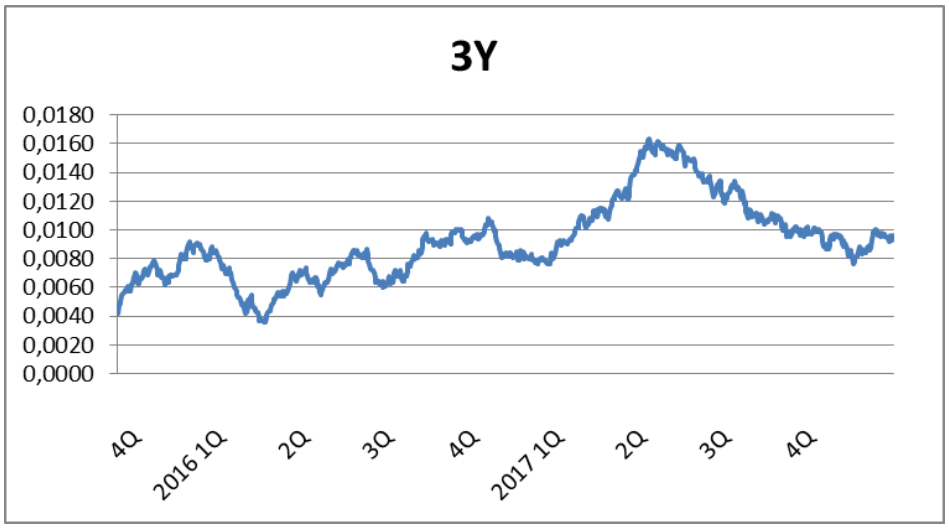


Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce 3Y

Výnosnost instrumentů s tříletou splatností predikujeme jako mírně rostoucí, nárůst se však očekává velmi pozvolný s průměrem odhadů na konec roku 2017 kolem 0,9 % p. a, což je i odhadovaná hodnota long term mean pro tuto sazbu.

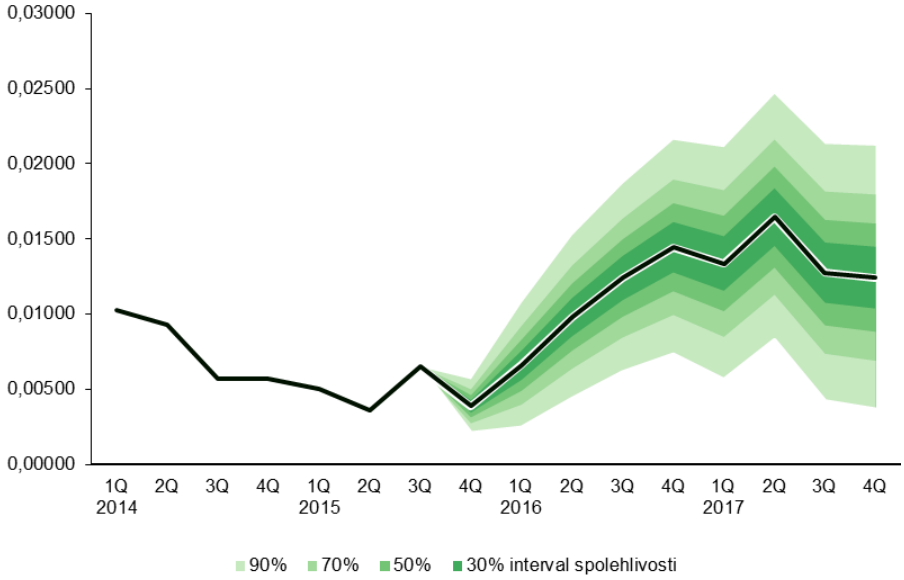
Obrázek 15 Simulace 3Y sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Pravděpodobnostní rozdělení ukazuje na trendový nárůst sazby až ke své rovnovážné hodnotě, kde se podle předpovědi měla sazby ustálit. Avšak stejně jako u předchozí splatnosti je mean reversion nízký, tudíž sazba není příliš silně tažena ke své rovnovážné sazbě.

Obrázek 16 Kvartální predikce 3Y s pravděpodobnostním rozdělením

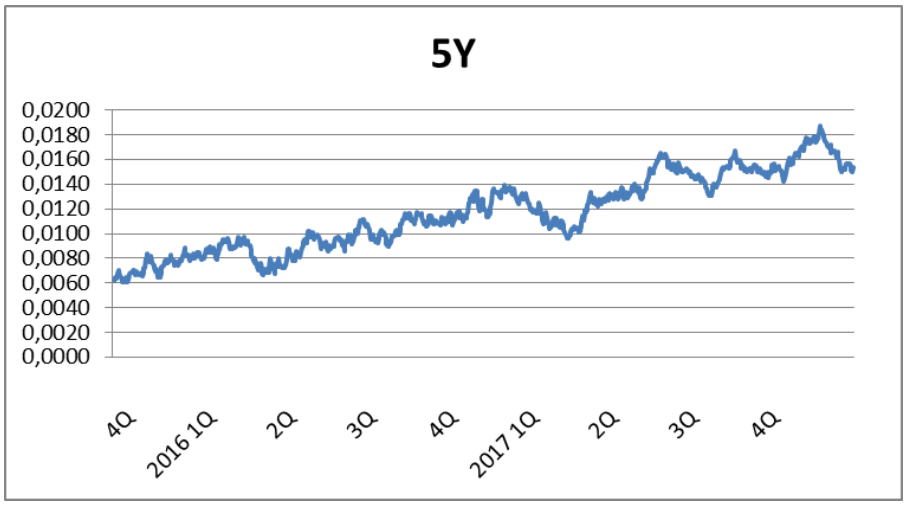


Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce 5Y

Předpověď vývoje sazby 5Y je rostoucí. V podstatě tedy hodnotu na konci roku 2017 predikujeme okolo 1,5 %, vypočtené hodnoty long term mean.

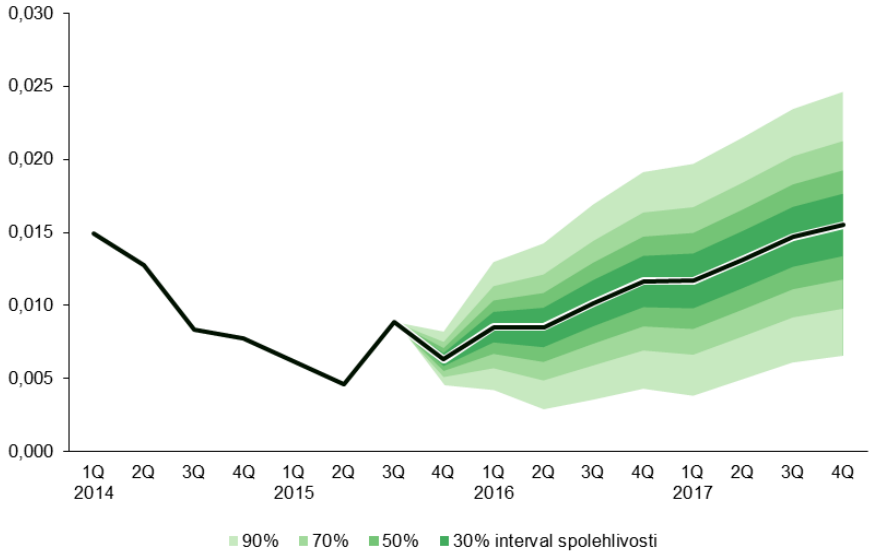
Obrázek 17 Simulace 5Y sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Čtvrtletní graf ukazuje celkový pokles sazby 5Y během minulých období, avšak od roku 2016 by měla začít růst k hodnotě kolem 1,5 %.

Obrázek 18 Kvartální predikce 5Y s pravděpodobnostním rozdělením

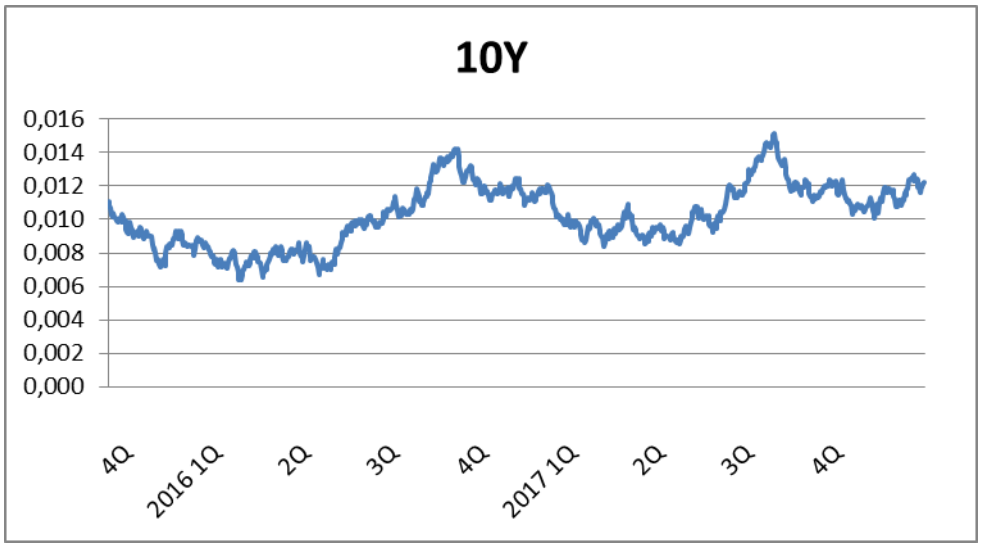


Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce 10Y

Podívejme se nyní na predikci vybrané nejdelší splatnosti 10 let, kde pomocí Vašíčkova modelu předpovídáme pomalý nárůst této sazby do roku 2017 až ke své dlouhodobé rovnovážné hodnotě 1,3 %.

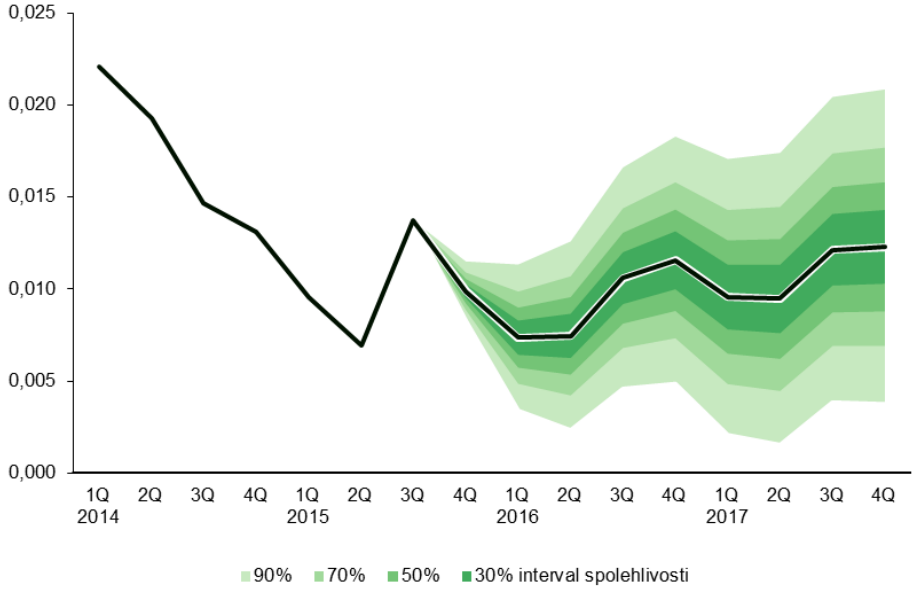
Obrázek 19 Simulace 10Y sazby



Zdroj: Vlastní zpracování

Z kvartálního grafu, kde je lépe zobrazena i volatilita predikce sazby pomocí pravděpodobnostního rozdělení lze vidět, že sazba historicky klesala, ale podle naší predikce by sazba měla konvergovat mírným nárůstem ke své rovnovážné hodnotě 1,3 %.

Obrázek 20 Kvartální predikce 10Y s pravděpodobnostním rozdělením



Zdroj: Vlastní zpracování

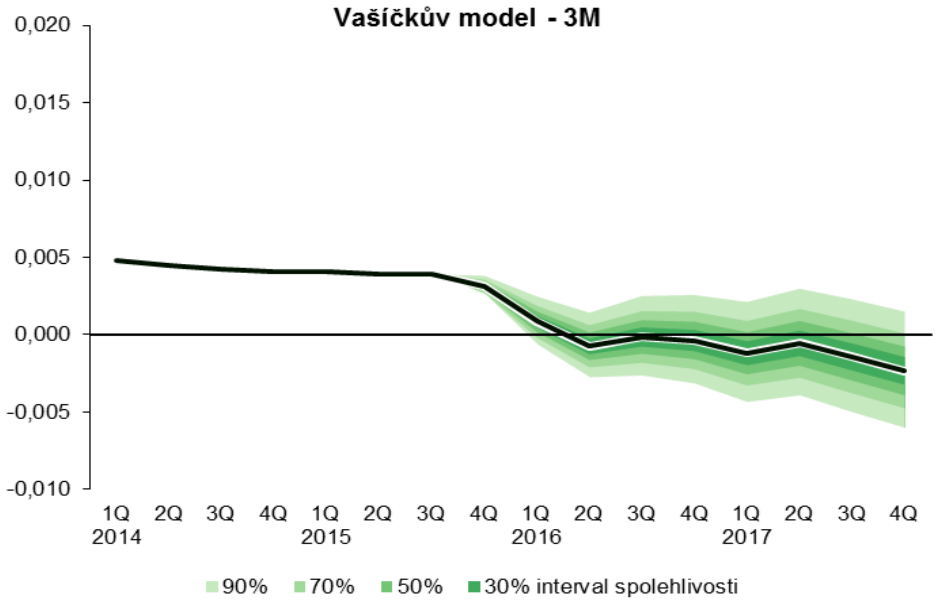
Shrnutí predikcí

Pokusili jsme se tedy predikovat pomocí Vašíčkova modelu vývoj úrokových sazeb několika vybraných splatností. Pro odhad parametrů se zdá být historická základna velmi zásadní. Problémem však je, že během 15 let se prostředí úrokových sazeb velmi změnilo a nálada investorů je výrazně jiná než za normálních podmínek, které známe z historie. Motivy investorů jsou stále spíše opatrnostní, přestože se zdá, že od krize 2008 uběhla již dlouhá doba, není na trzích ochota příliš riskovat a investovat do dlouhodobých aktiv. Přesto však podle našich predikcí by sazby měly do konce roku 2017 všeobecně růst či alespoň zůstat konstantní, výjimkou jsou však splatnosti 3M a 6M, jejichž dynamika naznačuje budoucí pokles. Přesto však je vidět z našich odhadů, že volatilita je veliká a stejně tak i nejistota v budoucím vývoji.

Pokud porovnáme náš predikční model s modelem ČNB budoucího vývoje sazby 3M, zjistíme, že námi odhadovaný trend je opačný, tedy klesající (viz. Srovnání Obrázek 21 versus Obrázek 22). Zdá se, že podle interních predikčních modelů ČNB by měla 3M sazba PRIBOR směřovat k hodnotě

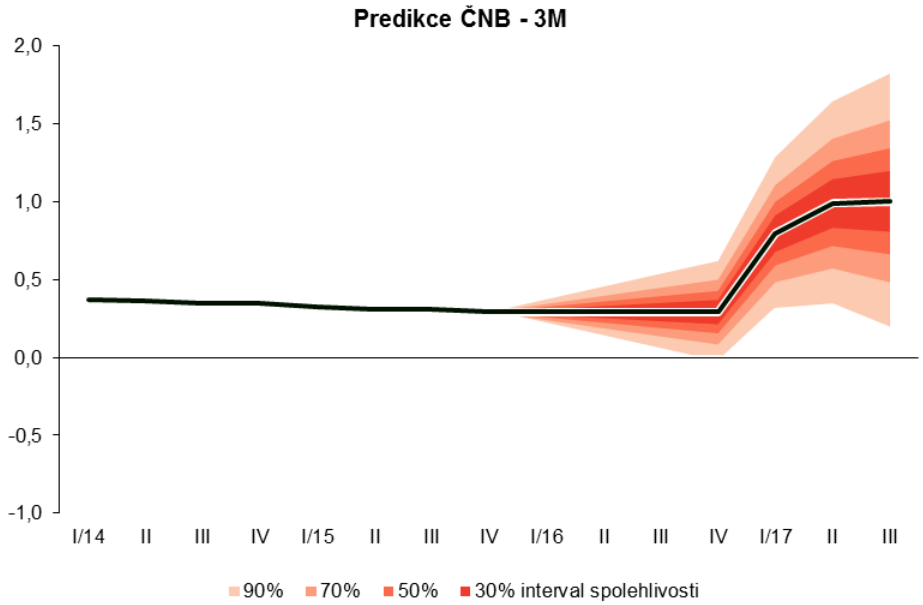
kolem 1 %. Otázka je, na základě jakého modelu k této hodnotě analytici centrální banky došli.

Obrázek 21 Predikce 3M sazby Vašíčkovým modelem



Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 22 Predikce 3M sazby ČNB



Zdroj: ČNB

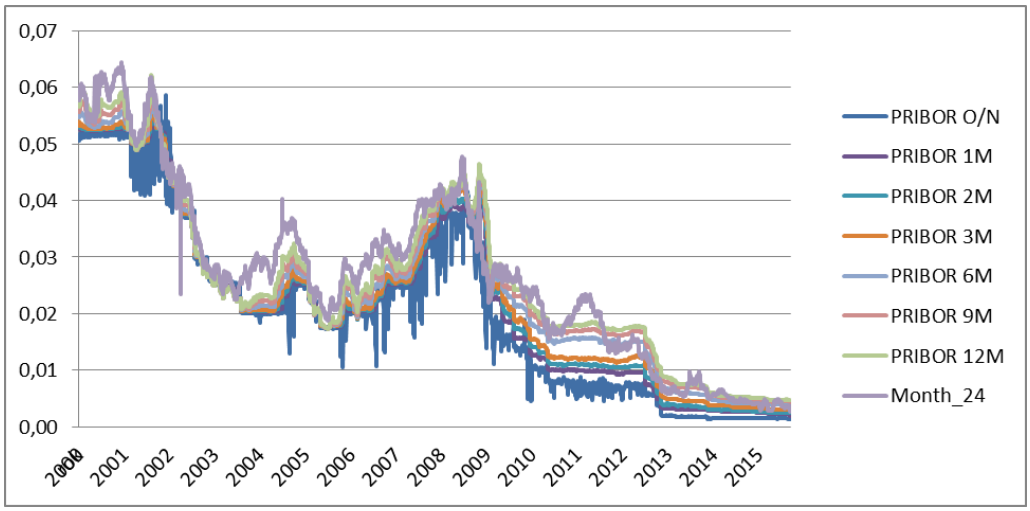
Současná situace na trzích s dlouhodobě nízkými úrokovými sazbami způsobuje, že rizikově averzní investoři se ve svých investicích stále zaměřují obecně spíše na instrumenty s kratší splatností a bojí se čelit vyššímu riziku spojenému s dlouhodobějšími investicemi a tento fakt se odráží na tvaru výnosové křivky. A právě dlouhý konec výnosové křivky, který centrální banka neřídí, záleží primárně na náladě na trhu a ochotě investovat. Na model celé výnosové křivky se podíváme v následující kapitole.

3.2.3 Vliv hospodářských cyklů na hodnotu parametrů

Parametry Vašíčkova modelu jsou velmi závislé na výchozí datové základně, záleží tedy na tom, jak dlouhou časovou řadu si zvolíme a také jaký hospodářský cyklus právě panuje na trzích. V přechozích modelech jsme využili co nejdelší časovou řadu, aby zahrnovala jak hospodářské recese, tak i expanze. Vypočtené parametry mean reversion, long term mean a sigma můžeme pak považovat za realističtější, jelikož zahrnují jak růstové tak i klesající trendy. Nyní se podíváme na celou naši 15 letou historickou základnu a na vybraných cyklech budeme porovnávat hodnoty parametrů.

Největší poklesy sazeb jsou zřetelné v letech 2001 až do začátku roku 2006, kde se sazby snížily z 6 % k hodnotě kolem 2 % v roce 2006. Další zřetelný pád sazeb je znatelný po krizi 2008, z hodnoty 4 % klesly až k 1% v roce 2011. Naopak krátký růstový trend můžeme vidět mezi roky 2006 až 2008, než započala krize a vlivem nekonvenčních nástrojů, které začaly centrální banky používat, sazby začaly prudce klesat. Pokud jde o růstové trendy, vybrali jsme období mezi lety 2006-2008, kde sazby rostou od 2 % ke zhruba 4 %. My nyní prozkoumáme dynamiku jednotlivých období pomocí Vašíčkova modelu.

Obrázek 23 Vývoj sazeb od roku 2001 do 2015



Zdroj: Vlastní zpracování na základě dat z ČSOB

Období poklesu 2001-2006

První pozorovaný dlouhodobý klesající trend, kterým se budeme zabývat, začíná v roce 2001 z hodnot kolem 6 % a končí začátkem roku 2006 na hodnotě 2 %. Hodnoty parametru *a* jsou znatelně vyšší než pro celý 15 letý model, tedy sazby by měly relativně rychle konvergovat ke svým rovnovážným hodnotám, které se pohybují okolo 2 % pro krátké splatnosti až 3 % pro delší splatnosti. Zajímavé je, že u splatnosti O/N je hodnota mean reversion vysoká (až 4,4) což naznačuje prudkou konvergenci ke své long term mean.

Tabulka 4 Parametry Vašíčkova modelu v letech 2001-2006

Parametry	O/N	3M	6M	1Y	3Y	5Y	10Y
a	4,4486	1,2029	1,0119	4,1733	1,2492	1,8571	0,7514
b	0,0234	0,0204	0,0213	0,0288	0,0316	0,0362	0,0376
σ	0,0190	0,0041	0,0042	0,0176	0,0080	0,0110	0,0069

Zdroj: Vlastní zpracování

Období růstu 2006-2008

Předkrizové období se vyznačovalo všeobecným růstem úrokových sazeb. Na parametrech modelu na následujícím obrázku uvidíme, že rovnovážné hodnoty jednotlivých splatností jsou mnohem výše než u celkového 15 letého modelu. Hodnoty sazeb 3M a 6M jsou jedinečné - rovnovážná hodnota je vyšší než

ostatní a zároveň mají velmi nízkou volatilitu, avšak zajímavé je, že mean reversion je nízká oproti ostatním. Znamená to, že sazby se příliš nepřimykají k equilibriu. Neobvykle vysoká hodnota je u O/N sazby mean reversion 11,4, která naznačuje, že se sazba téměř okamžitě přiblíží k rovnovážné hodnotě.

Tabulka 5 Parametry Vašíčkova modelu v letech 2006-2008

Parametry	O/N	3M	6M	1Y	3Y	5Y	10Y
a	11,4729	0,2641	0,2541	1,1661	1,2423	1,2665	1,2108
b	0,0275	0,0496	0,0518	0,0346	0,0360	0,0373	0,0406
σ	0,0339	0,0033	0,0034	0,0089	0,0086	0,0083	0,0072

Zdroj: Vlastní zpracování

Období poklesu 2008-2013

Od poloviny roku 2008, kdy finanční krize způsobila pád úrokových sazeb po celém světě, se sazby nemohou odtrhnout od prakticky nulových hodnot. Pokud jako výchozí časovou řadu považujeme jen období 2008-2013, Vašíčkův model ukazuje hodnoty rovnovážných úrovní sazeb okolo nuly a pro sazby 3M a 6M dokonce záporné hodnoty. Vyšší hodnoty dlouhobé rovnováhy najdeme pouze u dlouhých splatností 5Y a 10Y. Oproti předchozím dvěma zkoumaným obdobím je také znatelně nižší mean reversion (kromě O/N sazby, kde *a* je standardně vysoké).

Tabulka 6 Parametry Vašíčkova modelu v letech 2008-2013

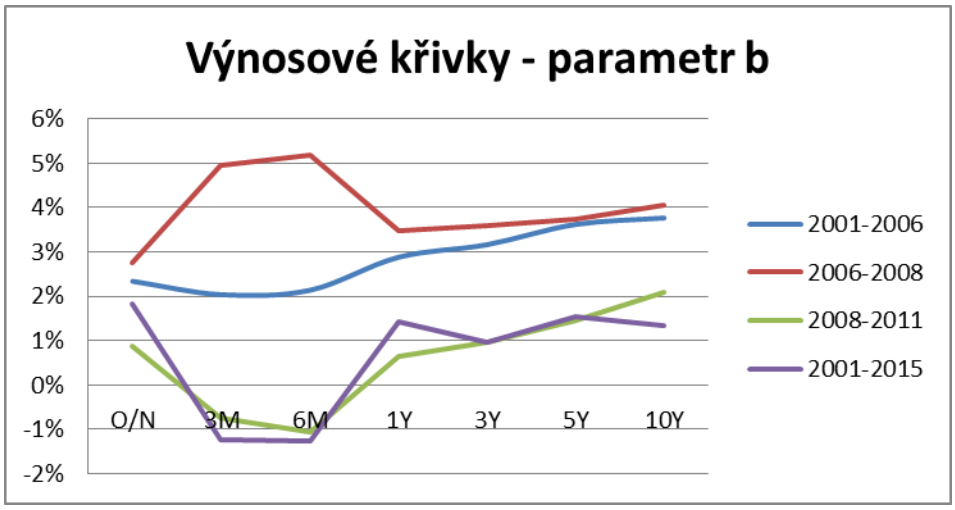
Parametry	O/N	3M	6M	1Y	3Y	5Y	10Y
a	1,2585	0,2493	0,1966	0,4500	0,4091	0,4478	0,4507
b	0,0086	-0,0075	-0,0105	0,0064	0,0097	0,0145	0,0208
σ	0,0168	0,0028	0,0025	0,0072	0,0073	0,0072	0,0068

Zdroj: Vlastní zpracování

Shrnutí

Pokud porovnáváme hodnoty parametrů v jednotlivých obdobích a také vůči celkovému modelu, zjistíme, že výsledky se velmi liší. Podívejme se například na tvary výnosových křivek modelovaných pomocí parametru *b* ve všech zkoumaných cyklech.

Obrázek 24 Výnosové křivky podle cyklů



Zdroj: Vlastní zpracování

První období 2001-2006 nám ukazuje klasickou mírně rostoucí výnosovou křivku, přestože jde o období poklesu úrokových sazeb, jednalo se tedy zřejmě o posun celé výnosové křivky – jak krátkého konce, tak i dlouhého.

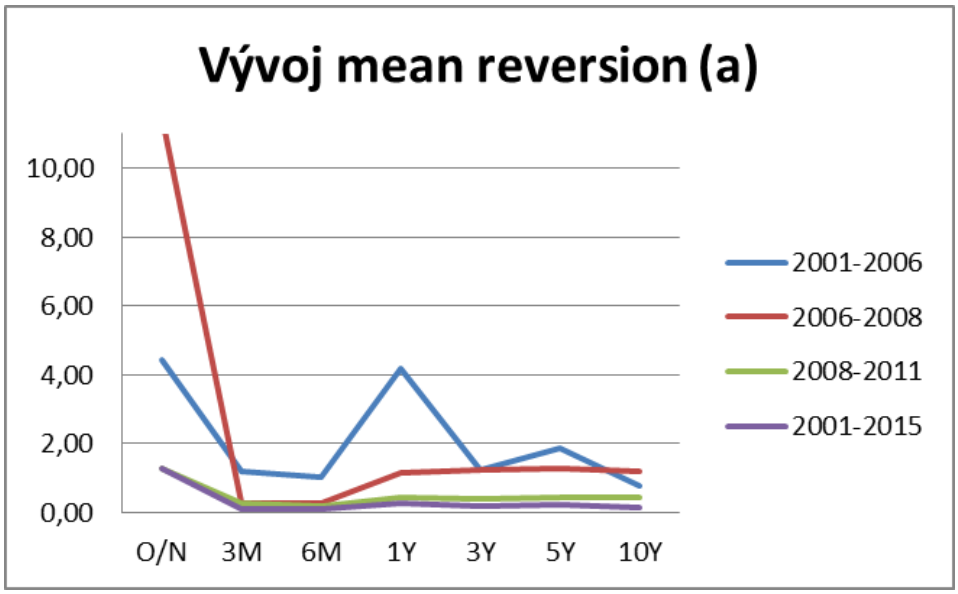
Růstové období 2006-2008 se také vyznačuje rostoucí výnosovou křivkou, avšak zdá se, že krátký konec roste rychleji než dlouhý. Zdá se, že kromě splatností 3M a 6M jsou hodnoty dlouhodobé rovnováhy prakticky stejné jako u modelu 2001-2006, přestože pozorujeme opačný pohyb sazeb na trhu.

Pokud se díváme na prudce klesající sazby v období 2008-2013, pozorujeme výrazně nižší dlouhodobě rovnovážné hodnoty než v předchozích dvou obdobích. Výnosová křivka v tomto období jako by byla zrcadlová oproti období 2001-2006. Zároveň dynamika sazeb 3M a 6M se vychyluje od ostatních splatností tím, že má rovnovážnou hodnotu dokonce zápornou a způsobuje tedy, že se krátkodobý konec výnosové křivky invertuje. Dlouhý konec je již mírně rostoucí.

Zdá se, že poslední jmenovaný cyklus je hodnotově velmi blízko celkovému modelu zahrnující celých 15 let. Dynamika se zdá být stejná jen s drobnými odchylkami, můžeme tedy říci, že jde o nejsilnější trend, který v celkovém modelu převažuje.

Nyní se podívejme na grafické zobrazení vývoje parametru mean reversion ve zkoumaných obdobích.

Obrázek 25 Vývoj parametru mean reversion

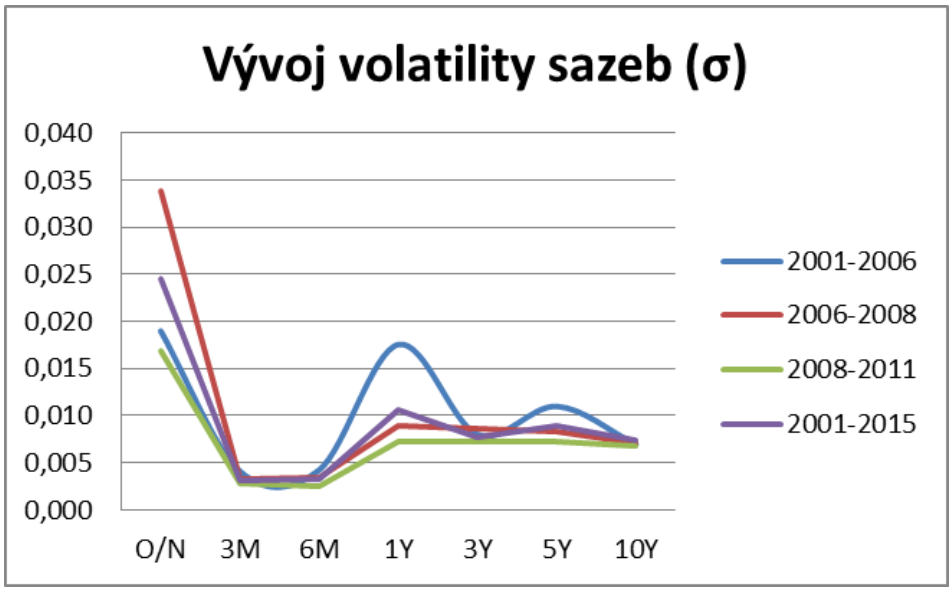


Zdroj: Vlastní zpracování

Rychlost přizpůsobení je rozhodně největší u splatnosti O/N, největší hodnoty dosahuje v růstovém období 2006-2008. U sazeb 3M a 6M pozorujeme ve všech obdobích nejnižší hodnoty tohoto parametru, tedy se tyto sazby přizpůsobují equilibriu nejpomaleji. Na obrázku také opět vidíme, jak podobné jsou hodnoty u období 2008-2013 a celkového modelu.

Zajímavé také je zkoumání vývoje volatility v daných časových úsecích (viz. následující obrázek).

Obrázek 26 Volatilita sazeb ve zkoumaných obdobích



Zdroj: Vlastní zpracování

Rozhodně nejvyšší volatilitu pozorujeme u jednodenní sazby a to ve všech sledovaných obdobích, kde parametr dosahuje mezi 1,5 až 3 %. Sazby 3M a 6M mají nejnižší volatilitu ze všech a to ve všech obdobích. Volatilita u jednoleté splatnosti dosahuje vyšších hodnot především v období 2001-2006 kdy dosáhla až 1,7 %. Volatilita ostatních splatností je prakticky konstantní a nemění se v závislosti na konkrétním období.

3.2.4 Backtesting Vašíčkova modelu

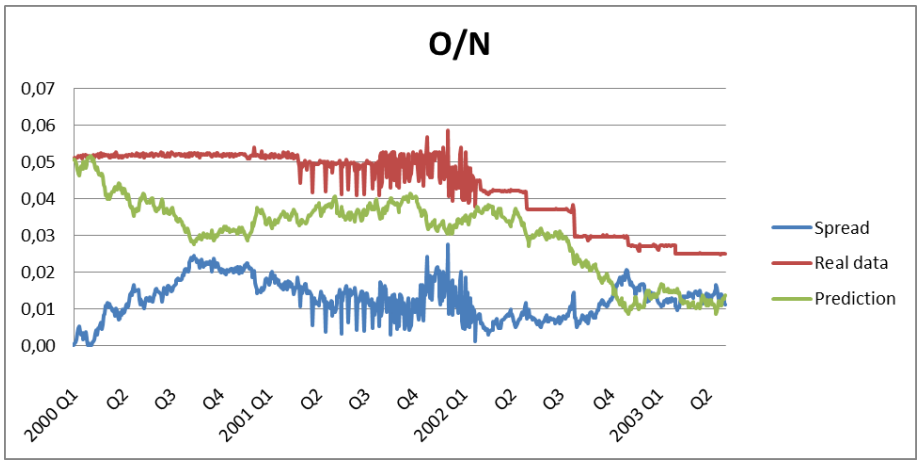
Abychom ověřili správnost našeho modelu a hodnoty vypočtených parametrů, porovnáme predikci se skutečnými daty. Pro backtesting využijeme celkový model, tedy odhadnuté parametry z modelu, kde základnou byla data za celých 15 let a provedeme odhad úrokových sazeb zpětně od 1. 3. 2000. Do grafů také pro lepší vizualizaci přidáme spread, tedy odchylku predikce od reálných dat.

Backtesting O/N sazby

U sazby O/N je zřetelná odchylka od skutečných úrokových sazeb (Obrázek 27), místy až kolem 2 %, avšak zajímavé je, že na konci predikovaného období se odchylka snižuje a předpověď se potkává s reálnou hodnotou sazby. Jelikož O/N sazba je řízena ČNB a nikoli trhem, je zřejmé, že

odchylka této sazby od modelu bude vždy větší oproti predikcím ostatních splatností. Model tedy pro sazbu O/N není příliš přesný a spolehlivý.

Obrázek 27 Backtesting O/N sazby

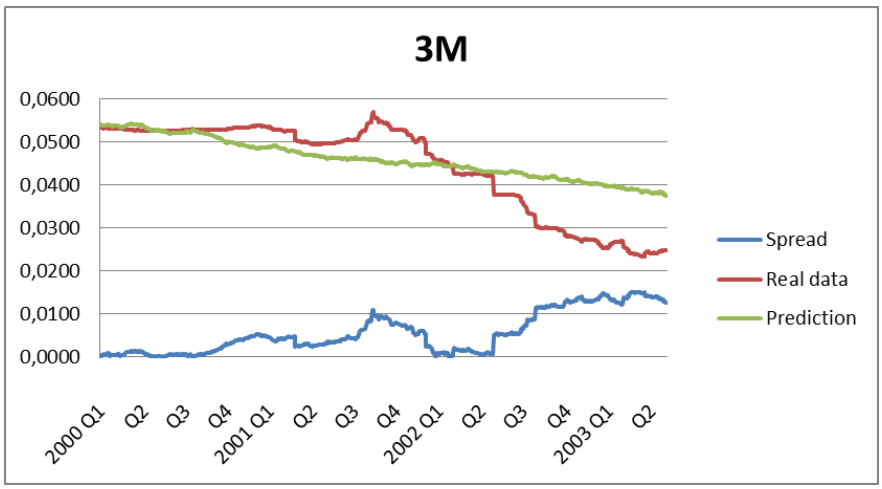


Zdroj: Vlastní zpracování

Backtesting 3M splatnosti

Pokud se díváme na predikční model pro 3 měsíční splatnost, můžeme s jistotou říci, že model velmi dobře predikuje budoucí úrokovou sazbu, především v krátkém časovém období. Na obrázku je také vidět, že s rostoucím obdobím, na které předpovídáme pohyb sazby, roste i odchylka od reálné hodnoty. Maximální odchylka se pohybuje kolem 1 %.

Obrázek 28 Backtesting sazby 3M

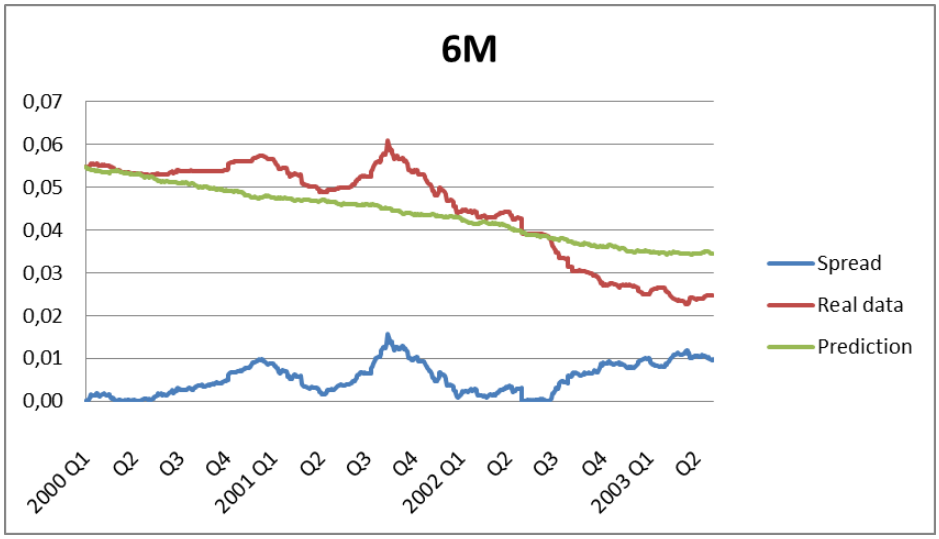


Zdroj: Vlastní zpracování

Backtesting splatnosti 6M

Predikce sazby 6M také relativně dobře vystihuje trend skutečného vývoje a v krátkém období kolem jednoho kvartálu je model velmi přesný. S rostoucí délkou predikce opět pozorujeme logický nárůst nepřesnosti odhadů. Maximální chyba se pohybuje kolem 1 %.

Obrázek 29 Backtesting sazby 6M

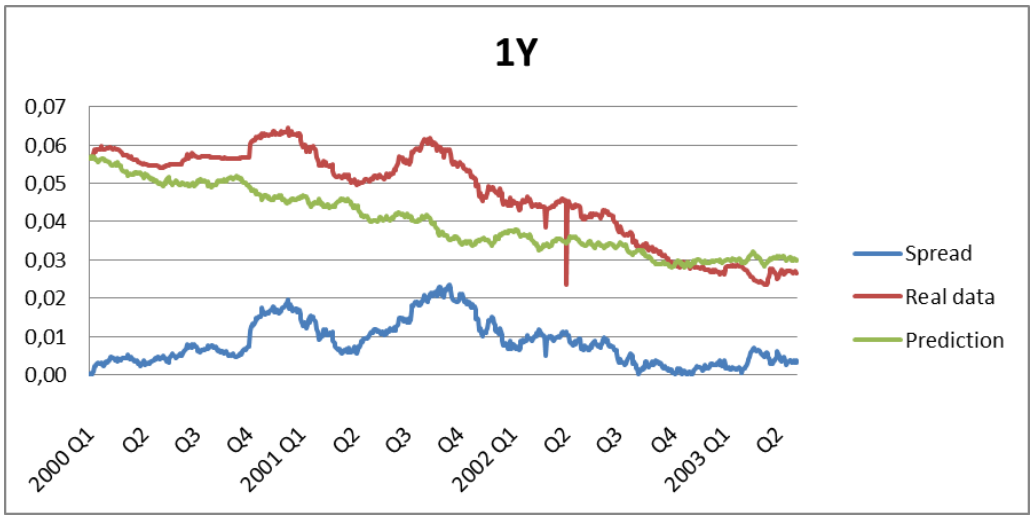


Zdroj: Vlastní zpracování

Backtesting splatnosti 1Y

Pokud hodnotíme přesnost odhadu modelu pro sazbu 1Y, je zřejmé, že model nevystihuje hodnoty budoucích sazeb příliš dobře a odchylka je relativně velká. Všimněme si však na hodnotách parametrů celkového modelu, že volatilita u splatnosti 1Y (stejně tak i u O/N sazby) je větší než u ostatních sazeb, což může způsobovat vyšší chybovost modelu. Ani v krátkém období model nepredikuje hodnoty s malou nepřesností, odchylka se v průběhu času dostává až k hodnotě 2 %, přesto však lze říci, že model správně vystihuje klesající trend. Zajímavé také je, že predikce se na konci zkoumaného období shoduje se skutečnými hodnotami.

Obrázek 30 Backtesting 1Y sazby

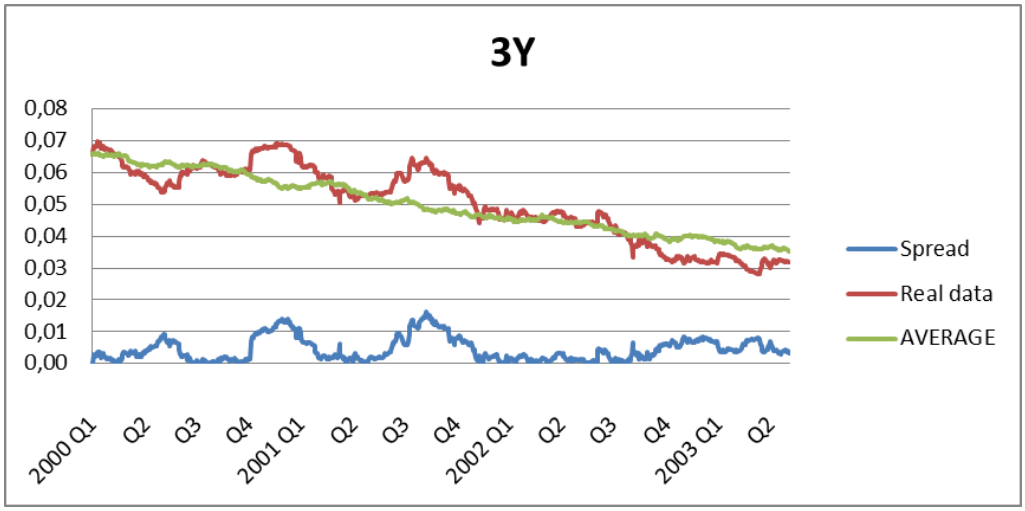


Zdroj: Vlastní zpracování

Backtesting splatnosti 3Y

Přestože Vašíčkův model je určen především pro zkoumání krátkodobých sazeb, predikce sazeb pro splatnost 3Y je velmi přesná i na dlouhé období. Odchylka je relativně nízká s občasnými výkyvy kolem 1 %, přesto můžeme říci, že Vašíčkův model v tomto případě velmi dobře odhaduje budoucí hodnoty sazby 3Y.

Obrázek 31 Backtesting sazby 3Y

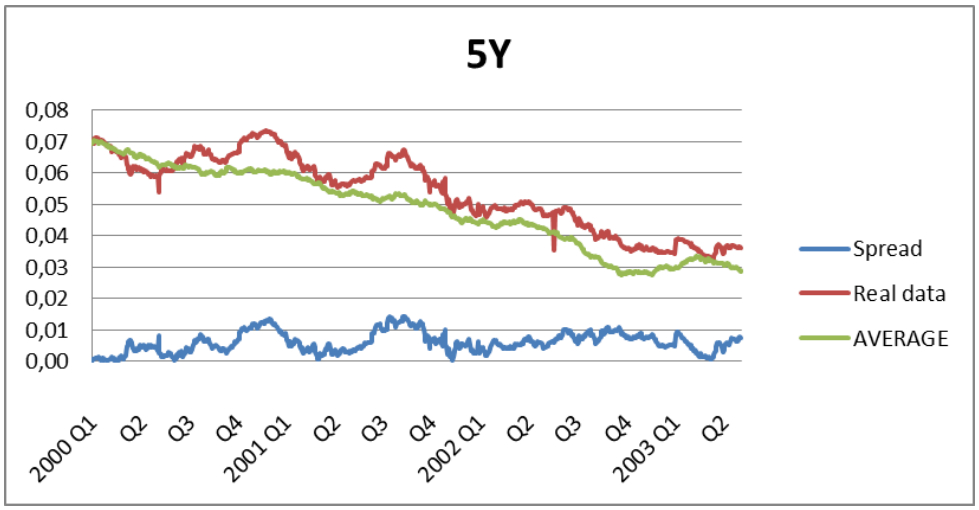


Zdroj: Vlastní zpracování

Backtesting splatnosti 5Y

Predikční model pro splatnost 5Y správně vystihuje klesající trend během zkoumaného období, avšak zdá se, že dlouhodobě podhodnocuje sazby o přibližně 1 %, což můžeme vidět na vývoji hodnot Spreadu.

Obrázek 32 Backtesting splatnosti 5Y

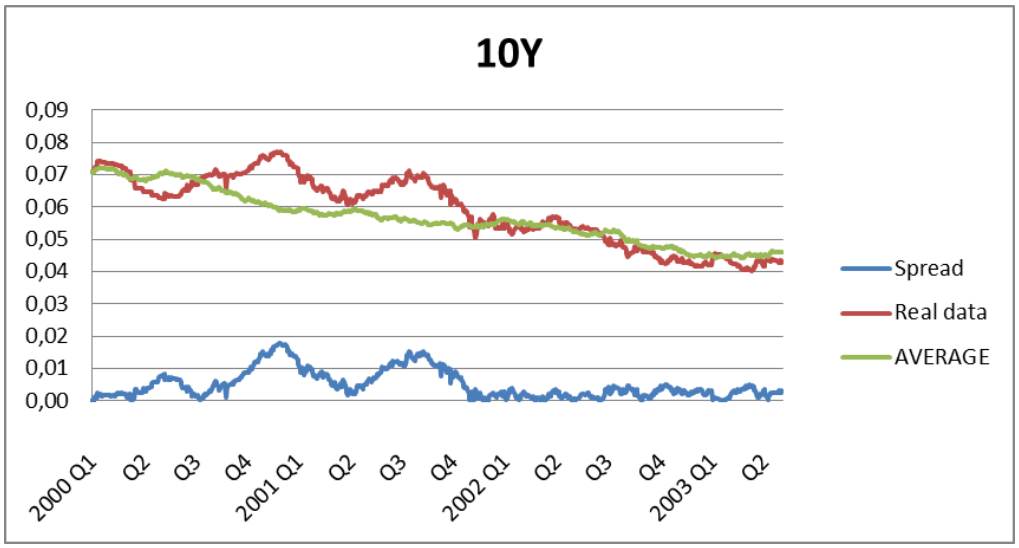


Zdroj: Vlastní zpracování

Backtesting splatnosti 10Y

Vidíme, že i pro sazbu 10 Y Vašíčkův model vykazuje poměrně dobré výsledky, avšak predikce je méně volatilní oproti skutečným hodnotám. Model nepracuje s určitými krátkodobými výkyvy či neočekávanými impulzy jako vidíme na Obrázku 33 ve čtvrtém kvartálu 2000 a 2001. Pak se odchylka modelu samozřejmě zvyšuje až k hodnotě necelých 2 %. Pokud se však volatilita sazby usadí, jako vidíme od roku 2002, model je schopen vykazovat správné hodnoty predikce s relativně malou odchylkou.

Obrázek 33 Backtesting sazby 10Y



Zdroj: Vlastní zpracování

Ekonometrické ověření

Pokud bychom chtěli ekonometricky ověřit vhodnost našich predikčních modelů, můžeme se podívat na výsledky jednotlivých predikcí v programu Eviews. Pro každou splatnost jsme vložili hodnoty jak reálné tak predikované a zkoumali jsme, jakou měrou odhadované hodnoty vysvětlují reálné hodnoty. Pro zkoumání odchylek jsme použili metodu nejmenších čtverců. Nyní se podíváme na tabulku ukazující jak hodnoty koeficientů v klasické lineární regresi a další ukazatele.

Tabulka 7 Lineární regerese – metoda nejmenších čtverců

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	R squared
C	0.037604	0.000501	75.05160	0.0000	
ON_PREDICTION	0.340908	0.023213	14.68600	0.0000	0.204691
C	-0.028643	0.001391	-20.58951	0.0000	
_3M_PREDICTION	1.670801	0.031632	52.82070	0.0000	0.769020
C	-0.028712	0.001375	-20.88829	0.0000	
_6M_PREDICTION	1.690445	0.031254	54.08737	0.0000	0.777332
C	-0.035328	0.001956	-18.06019	0.0000	
_1Y_PREDICTION	1.744495	0.041059	42.48719	0.0000	0.682955
C	-0.006977	0.001452	-4.804816	0.0000	
_3Y_PREDICTION	1.175479	0.029204	40.25023	0.0000	0.659084
C	-0.069411	0.001868	-37.15489	0.0000	
_5Y_PREDICTION	2.047465	0.030916	66.22619	0.0000	0.839584
C	-0.002796	0.001731	-1.615068	0.1067	
_10Y_PREDICTION	1.135168	0.031492	36.04612	0.0000	0.607921

Zdroj: Vlastní zpracování v ekonometrickém programu Eviews

Pro posuzování vhodnosti modelu jsme zvolili lineární regresi s konstantou, kde tedy vycházíme z rovnice:

$$sazba_REAL = c + coefficient * sazba_PREDICTION \qquad 1.14$$

Hodnoty koeficientů vidíme v druhém sloupci. Podle hodnot t_Statistic, kde má standardně platit:

$$t - Statistic > |2| \qquad 1.15$$

můžeme říci, že všechny vysvětlující proměnné včetně konstant jsou statisticky významné kromě konstanty u sazby 10Y. Pokud ji však vyloučíme, poklesne celková efektivnost modelu, proto ji ponecháme.

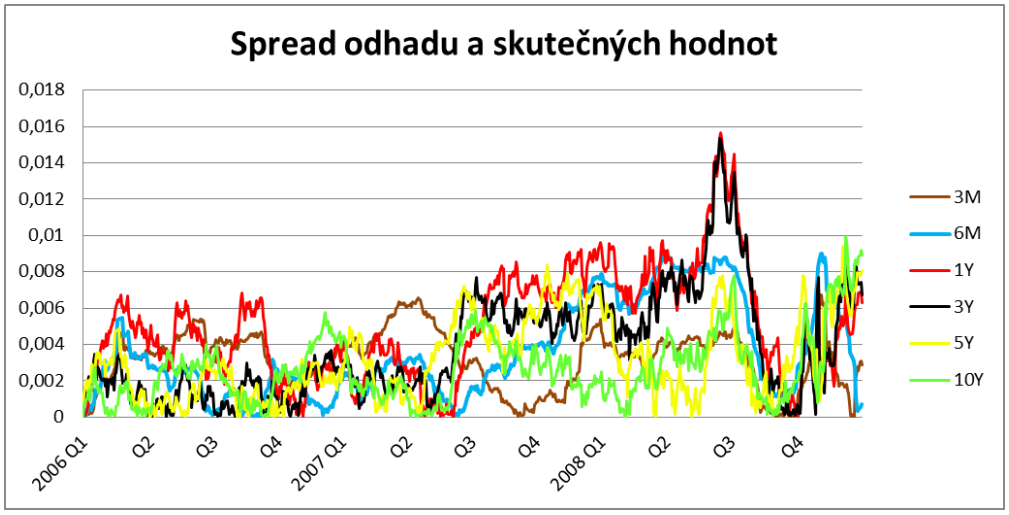
Nyní se zaměříme na R squared jakožto klíčový ukazatel. R squared, známý také jako koeficient determinance, je statistická míra, která ukazuje, jak jsou odhadovaná data blízko regresní přímce. R squared ukazatel nabývá hodnot mezi 0 a 1, kde ideální stav má hodnotu 1 – model přesně odpovídá skutečně naměřeným hodnotám. Z Tabulky 7 vidíme, že R squared nabývá nejnižší hodnoty u O/N sazby, model nevysvětluje příliš dobře budoucí pohyby sazby.

Naopak nejlepší hodnoty nabývá R squared u sazeb 3M, 6M a také 5Y. Celkově však můžeme říci, že s rostoucí splatností klesá úspěšnost modelu.

Backtesting Vašíčkova modelu v růstovém období 2006-2008

Jelikož podle našeho modelu vychází predikce jako rostoucí, rozhodli jsme se ještě doplnit backtest růstového období sazeb mezi lety 2006-2008 abychom zhodnotili predikční schopnost modelu. Podíváme se tedy na spready odhadů a skutečných hodnot sazeb na následujícím obrázku.

Obrázek 34 Backtesting období růstu úrokových sazeb 2006-2008



Zdroj: Vlastní zpracování

Predikce mají relativně nízkou odchylku od skutečných sazeb nižší než 1 %, ale s časem se odchylka zvyšuje. Je to dáno tím, že long term mean koeficienty jsou většinou pod hodnotami tehdejších úrokových sazeb a tak jsou predikce stahovány k nižší hodnotě – tedy jako mírně klesající předpovědi. Naproti tomu skutečné sazby v tomto období rostou, proto je logické, že nejvyšší bod odchylek je ve třetím kvartálu 2008, kdy kvůli finanční krizi sazby začaly klesat a odchylka se tedy zmenšila. Můžeme říci, že předpovědi sazeb jsou relativně blízko skutečnosti a model má dobrou predikční schopnost i v období růstu sazeb. Pokud se díváme současné období také jako na budoucí růstové, můžeme očekávat, že model bude o to přesnější, jelikož sazby se nyní

nacházejí pod dlouhodobými rovnovážnými hodnotami a očekáváme tedy, že sazby by měly růst k těmto hodnotám.

Shrnutí

Vašíčkův model je určen především pro modelování dynamiky krátkodobých sazeb a pouze na krátké období. My jsme však přesto využili tohoto modelu pro predikci sazeb na obou koncích výnosové křivky a zjistili jsme, že modely vykazují velmi dobré výsledky, co se týče určení následného trendu úrokových sazeb a zároveň relativně přesně vystihuje i budoucí výši sazeb.

Výjimkou je sazba O/N, která má speciální režim řízení této sazby a vykazuje odlišné pohyby hodnot než ostatní splatnosti a dále sazba 1Y. U obou zmiňovaných sazeb jsme naměřili vyšší dlouhodobou volatilitu než u ostatních sazeb a to má samozřejmě vliv na predikční schopnost modelu. Další zkoumané splatnosti Vašíčkův model predikuje relativně přesně, avšak s rostoucí splatností se odchylky modelu zvětšují.

Proto můžeme shrnout, že Vašíčkův model není příliš vhodný pro predikci jednodenní sazby a sazby 1Y, kde model nevykazuje dobré výsledky. Dále také pokud chceme dosáhnout maximální věrohodnosti a zároveň nízké odchylky modelu, je vhodné modelovat spíše kratší splatnosti. Přesto lze říci, že dle našich výsledků je model vhodný i pro modelování dlouhých splatností s odchylkou kolem 1 %.

3.3 Teorie výnosových křivek

Výnosové křivky se někdy označují jako časové struktura úrokových sazeb a obecně vyjadřují vzájemný vztah mezi výnosností a dobou do splatnosti. Znázornění tohoto vztahu je důležitým nástrojem pro investování do fixed income instrumentů. Investoři používají výnosovou křivku jako výchozí bod pro predikování úrokových sazeb, oceňování dluhopisů a vytváření strategií. Tvar výnosové křivky můžeme popsat podle 3 faktorů:

- Sklon
- Úroveň
- Zakřivení

Nejčastěji se vyskytuje výnosová křivka rostoucí (konkávní), plochá či klesající (konvexní). Pohyby této křivky, které mohou nastat je tedy například změna sklonu, zakřivení či posun celé křivky nahoru/dolů. Pojďme se tedy podívat, jaké determinanty určují tvar výnosové křivky.

Obecně uznávané teorie jsou 3:

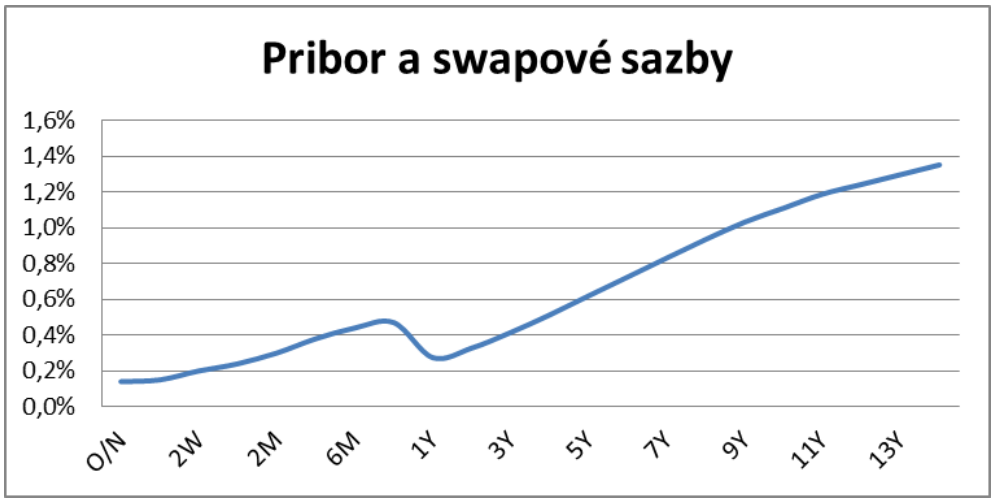
1) Čistá teorie očekávání – podle této teorie sklon výnosové křivky odráží čistě očekávání investorů pro budoucí krátkodobé úrokové sazby. Většinou se očekává růst křivek v budoucnu, proto tedy obvyklý pozitivní sklon výnosové křivky. Podle Witzanyho (2011) teorie očekávání říká, že dlouhodobé úrokové míry jsou determinovány očekávanými krátkodobými sazbami, což znamená, že implikované forwardové sazby jsou podle teorie tedy očekávanými budoucími úrokovými sazbami.
2) Teorie preference likvidity – odnož čisté teorie očekávání tvrdí, že dlouhodobé úrokové sazby odrážejí nejen investorova očekávání výše budoucích sazeb, ale také zahrnuje prémii za držení dlouhodobých dluhopisů nazývaná časová prémie nebo likviditní prémie. Tato prémie kompenzuje investorům riziko za to, že zafixovali své peníze na delší dobu. Odráží také větší nejistotu ze změny ceny v budoucnu.

3) Další variací čisté teorie očekávání je preferovaná teorie přirozeného prostředí. Ta uvádí, že kromě úrokového očekávání mají investoři také odlišné investiční horizonty a vyžadují vhodnou prémii za to, že si koupí dluhopis s vyšší než požadovanou (preferovanou) maturitou. Zastánci této teorie věří, že na dluhopisových trzích (fixed income) převládají krátkodobí investoři, a proto tedy dlouhodobější sazby bývají vyšší než krátkodobé.

Jelikož výnosová křivka reflektuje jak investorova očekávání úrokových sazeb, tak i vliv rizikové prémie pro dlouhodobé instrumenty, je interpretace výnosové křivky komplikovanější. Ekonomové a fixed-income portfolio manažeři vkládají do porozumění vlivů a tlaků na výnosové křivky velkou snahu, jelikož jejich porozumění je klíč k úspěšnému investování.

Historicky byl sklon výnosové křivky výborným indikátorem ekonomické aktivity. Jelikož podle křivky můžeme zhodnotit, kam si investoři myslí, že se sazby budou pohybovat, může to zároveň indikovat jejich očekávání. Například prudce rostoucí výnosová křivka často predikuje ekonomický růst. Předpoklad prudce rostoucí křivky je, že úrokové sazby začnou v budoucnu výrazně růst. Investoři tedy s delší splatností vyžadují vyšší výnos, pokud očekávají růst ekonomiky kvůli spojitosti s vyšší inflací, která snižuje investorovy čisté zisky. Proto když roste inflace, centrální banky obvykle zvyšují i úrokové sazby. Podívejme se tedy, jak vypadal tvar výnosové křivky v poslední den naší datové základny:

Obrázek 35 Výnosová křivka 14. 9. 2015



Zdroj: data ČSOB – vlastní zpracování

Vidíme, že výnosová křivka z tohoto data má konkávní tvar, avšak mezi splatnostmi 6M a 1Y pozorujeme skok dolů ve výnosnosti. Pojďme se nyní podívat na význam dva základní typy výnosových křivek.

Plochá výnosová křivka většinou signalizuje zpomalení ekonomiky. Často se výnosová křivka zploští, když centrální banka zvýší základní úrokovou sazbu v rámci restrikce prudce rostoucí a přehřívající se ekonomiky. Sazby na krátké straně křivky rostou, zatímco sazby na dlouhém konci klesají s nižšími inflačními očekáváními. Plochá výnosová křivka je většinou jen přechodný stav před přechodem na rostoucí nebo klesající výnosovou křivku.

Invertovaná výnosová křivka může být předzvěstí recese. Když jsou výnosy krátkodobých dluhopisů vyšší než dlouhodobých, většinou to naznačuje, že investoři očekávají pokles úrokových sazeb v budoucnu, obvykle ve spojení se zpomalením ekonomiky a nižší inflací. Historicky je vypozorováno, že výnosová křivka se stala invertovanou zhruba 12 až 18 měsíců před recesí.

Využití zkoumání výnosových křivek

Výnosové křivky můžeme označit jako referenční nástroj pro porovnávání výnosnosti dluhopisů a splatností. Zaprvé má výnosová křivka působivé výsledky jako hlavní indikátor ekonomických podmínek, upozorňující

investory na přicházející recesi nebo alespoň signalizaci ekonomického růstu/poklesu. Zadruhé, výnosová křivka může být použita jako benchmark pro oceňování mnoha fixed income cenných papírů. Zatřetí předvídáním pohybů výnosových křivek se mohou fixed-income manažeři pokusit získat nadprůměrné výnosy svých dluhopisových portfolií. Dokonce bylo i vyvinuto několik strategií založených přímo na očekávaných pohybech křivek ve snaze zvýšit výnosy v různých úrokových portfoliích, které si nyní popíšeme.

Existují tři strategie výnosových křivek, které se zaměřují na mezery mezi splatnostmi dluhopisů v portfoliu.

1) **Bullet strategie** – portfolio je strukturováno tak, že splatnosti cenných papírů jsou vysoce koncentrované na jeden bod výnosové křivky. Jako příklad může mít většina dluhopisů v portfoliu splatnost 10 let.
2) **Barbell strategie** – cenné papíry v této strategii jsou soustřeďovány na 2 extrémy, například 5 a 20 let.
3) **Ladder strategie** – portfolio má rovnoměrné rozložení splatností cenných papírů v portfoliu obsažených, většinou splatnosti po 1 roce.

Obecně platí, že Bullet strategie je nejvýnosnější, když je výnosová křivka strmější, zatímco Barbell když se křivka zplošťuje. Investoři obvykle používají Ladder strategii k vyrovnání rovnoměrně rozložených závazků a redukci rizika, že budou investoři nuceni reinvestovat významnou část svých peněz v prostředí nízkých úrokových sazeb.

Pomocí výnosových křivek se investoři také mohou pokusit o identifikaci dluhopisů na trhu, které se jeví jako levné či naopak příliš drahé v daném okamžiku. Jelikož je cena dluhopisu založena na současné hodnotě očekávaných peněžních toků (úroků a jistiny), je stanovená úroková sazba, kterou diskontujeme, klíčová. Pokud tedy investoři použijí různé sazby dle svých prognóz, mohou dostat různé výsledky pro ocenění dluhopisu a posoudit, zda je dluhopis prodáván v současnosti příliš levně nebo naopak draze.

Fixed-income manažeři se také mohou pokusit o získání vyšších výnosů ve strategiích známých jako

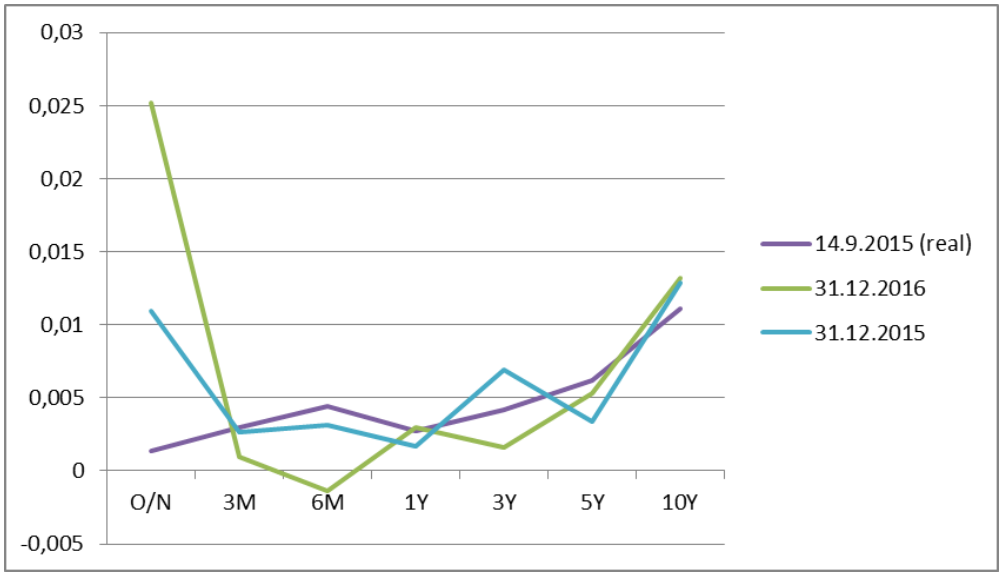
- Riding the yield curve
- Rolling down the yield curve

Když dojde k naklonění křivky vzhůru a dluhopis dosáhne maturity neboli „Rolls down the yield curve“, můžeme o něm pak říci, že je oceněn nižším výnosem a má vyšší cenu. Tato strategie se tedy využívá tak, že dluhopis je držen po nějaký čas, po který se jeho cena zvyšuje a následně je prodán těsně před datem splatnosti se ziskem. Dokud je výnosová křivka normální nebo s pozitivním sklonem, tato strategie je schopná dlouhodobě zvyšovat výnosy celého portfolia.

Model výnosové křivky na základě Vašíčkova modelu

Nyní se podíváme na zjednodušený tvar výnosové křivky modelovaný pomocí lineárního propojení bodových odhadů pro jednotlivé vybrané splatnosti.

Obrázek 36 Zjednodušený model výnosové křivky



Zdroj: Vlastní zpracování

Pomocí tohoto grafu můžeme pozorovat odhadované trendy tvaru výnosové křivky. Jelikož je model složený z predikcí s relativně velkou volatilitou, čím delší je odhad, tím se stává méně přesným. Fialová křivka nám zobrazuje skutečnou výnosovou křivku pro poslední den naší datové základny. Pokud se však podíváme na predikce na 3 a 9 měsíců dopředu, vidíme, že křivky na

dlouhém konci kopírují trend historických dat posledního dne. Rozdíl však vidíme především na krátkém konci výnosových křivek. Jelikož náš model předpovídá O/N sazbu jako nejvýrazněji rostoucí, je z grafu vidět, že budoucí predikované výnosové křivky jsou invertované (alespoň tedy na krátkém konci výnosové křivky). Predikujeme nejvyšší hodnoty pro krátký konec a výnosnost klesající se splatností až do zhruba 1 roku, pro vyšší maturity by mohla výnosnost mírně růst. Celkový efekt je však dle našeho modelu zřejmý – výnosová křivka by se mohla v budoucnu invertovat.

Model výnosové křivky na základě ceny zero bondů

Jelikož v prvním (zjednodušeném) modelu nám způsobuje nepřesnosti v predikci především vysoká volatilita samotných predikcí, podíváme se na druhý model sestavený na základě odhadu ceny zero bondů.

Pomocí parametrů získaných ze skutečných historických dat pro výpočet diskontních faktorů bezkuponových dluhopisů různých splatností a odvodíme z nich výnosové míry, abychom mohli sestavit tvar výnosové křivky. Předpokládáme, že tržní cena rizika je nulová. Cena bezkuponového dluhopisu je pak rovna:

$$P(t,T) = A(t,T)e^{-B(t,T)r(t)} \tag{1.16}$$

Kde

$$A(t,T) = exp\left[(B(t,T) - T + t)\left(\frac{a^2b - \frac{\sigma^2}{2}}{a^2}\right) - \frac{\sigma^2 B(t,T)^2}{4a}\right] \tag{1.17}$$

a

$$B(t,T) = \frac{1-e^{-a(T-t)}}{a} \tag{1.18}$$

Výnosové míry můžeme potom vyjádřit snadno pomocí ceny korespondujícího bezkuponového dluhopisu:

$$P(T) = e^{-r(T)T} \tag{1.19}$$

a tedy

$$r(T) = \frac{\ln(\frac{1}{P(T)})}{T} \tag{1.20}$$

kde r(T) představuje výnos zero bondu v čase T. Pokud chceme začít proces konstrukce výnosové křivky, počátek je v čase t=0, přestože rovnice uvedené výše nám umožňují ocenit dluhopis i v budoucím čase t. To může být výhodné například i pro oceňování derivátových kontraktů.

Pokud si časovou strukturu úrokových sazeb označíme jako R(t,T), tak dosazením P(t,T) do vzorce dostáváme

$$R(t,T) = -\frac{1}{T-t}\ln P(t,T) \tag{1.21}$$

úpravami dostaneme

$$R(t,T) = R + (r(t,T) - R)\frac{1}{a\tau}(1 - e^{-a\tau}) + \frac{\sigma^2}{4a^3\tau}(1 - e^{-a\tau})^2 \tag{1.22}$$

A limitním přechodem $T \to \infty$ získáváme

$$\lim_{T\to\infty} R(t,T) = R \tag{1.23}$$

Z rovnice 1.14 vidíme, že limitní hodnota časové struktury úrokových sazeb nezávisí na současné hodnotě okamžité spotové sazby r(t).

Dále Vašíček ukázal 3 podoby výnosové křivky:

1) Jestliže platí $r(0) \leq R - \frac{\sigma^2}{4a}$ pak je výnosová křivka rostoucí.
2) Jestliže platí $R - \frac{\sigma^2}{4a} < r(0) \leq R + \frac{\sigma^2}{4a}$ pak je výnosová křivka hrbatá.
3) Jestliže platí $r(0) < R + \frac{\sigma^2}{4a}$ pak je výnosová křivka klesající.

Pro naši konstrukci výnosové křivky tedy použijeme vypočtené parametry *a*, *b* a *sigma* z časové řady historických O/N sazeb a poté také pro porovnání i 3M sazeb. Jelikož jak už bylo řečeno, O/N sazba je relativně hodně volatilní a také nestabilní, správně bychom měli použít sazbu se spíše delší splatností, nejčastěji se používá 3M nebo 6M sazba. My však preferujeme použití

jednodenní sazby, z důvodu toho, že parametr *b* je kladný. Naproti tomu u 3M i 6M, která má dlouhodobě klesající trend, vychází dlouhodobá rovnovážná hodnota záporná.

Dále si určíme úrokovou sazbu v čase t=0 a to je poslední hodnota O/N sazby v naší historické základně a také maturitu použitého dluhopisu (určíme jako T=10 let). Dále jsme si vytvořili tabulku (obrázek 21) vypočtených hodnot A(t,T), B(t,T) a P(t,T) na základě výše uvedených rovnic, kde jsou vypočteny ceny a výnosy dluhopisů s různými splatnostmi. Ostatní parametry jsme považovali konstantní.

Obrázek 37 Výpočet výnosové míry dluhopisů při použití sazby O/N

T	A(t,T)	B(t,T)	Cena dluhopisu	Výnosnost	Nekonečně dlouhá splatnost
0,001	1,0000	0,0010	1,0000	0,14%	0,0180
0,1	0,9999	0,0939	0,9998	0,24%	0,0180
0,5	0,9976	0,3704	0,9971	0,58%	0,0180
1	0,9922	0,5671	0,9914	0,87%	0,0180
2	0,9772	0,7269	0,9762	1,20%	0,0180
3	0,9606	0,7720	0,9595	1,38%	0,0180
4	0,9436	0,7847	0,9426	1,48%	0,0180
5	0,9268	0,7883	0,9258	1,54%	0,0180
6	0,9103	0,7893	0,9093	1,58%	0,0180
7	0,8941	0,7896	0,8931	1,62%	0,0180
8	0,8781	0,7896	0,8771	1,64%	0,0180
9	0,8624	0,7897	0,8615	1,66%	0,0180
10	0,8471	0,7897	0,8461	1,67%	0,0180
13	0,8025	0,7897	0,8016	1,70%	0,0180
16	0,7603	0,7897	0,7595	1,72%	0,0180
20	0,7074	0,7897	0,7067	1,74%	0,0180
25	0,6465	0,7897	0,6458	1,75%	0,0180
30	0,5909	0,7897	0,5902	1,76%	0,0180

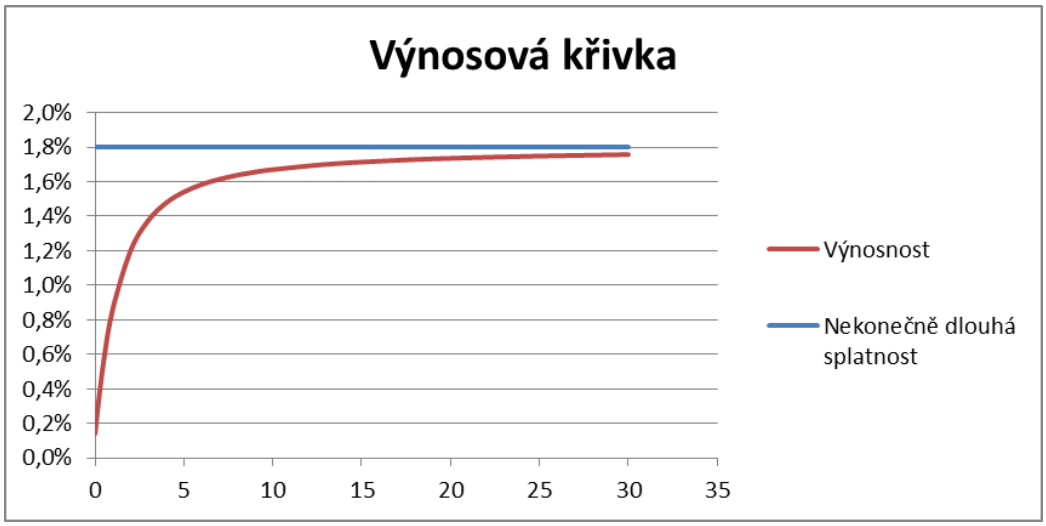
Zdroj: Vlastní zpracování

Do tabulky jsme přidali výpočet nekonečně dlouhé výnosové míry, ke které by měly sazby postupem času konvergovat. Rovnice pro výpočet nekonečně dlouhé splatnosti je následující:

$$R_{\infty} = b - \frac{\sigma^2}{2a^2} \tag{1.24}$$

Tato formule představuje výnosovou míru dluhopisu se splatností $T \to \infty$. Pro naše konkrétní parametry vychází, že nekonečně dlouhá výnosová míra by měla být rovna 1,8 %. Podstatným detailem viditelným z rovnice 1.11 je fakt, že dlouhodobě rovnovážná úroková míra (equilibrium, b) a nekonečně dlouhá výnosová míra (R_{∞}) nejsou to samé. Pokud by však byla hodnota parametru a velká, zlomek v pravé části rovnice by se stal velmi malý až zanedbatelný a tedy dlouhodobá rovnovážná úroková míra a nekonečně dlouhá výnosová míra by konvergovaly. Podívejme se tedy nyní na tvar výnosové křivky podle našeho modelu.

Obrázek 38 Tvar výnosové křivky modelované podle výnosu bezkuponových dluhopisů



Zdroj: Vlastní zpracování

Pokud bychom chtěli porovnat výsledný tvar výnosové křivky při použití sazby 3M jako výchozí, jejíž parametr b vychází negativní, získali bychom úplně odlišný výsledek. Pojďme se tedy podívat na tvar výnosové křivky odhadovaní pomocí parametrů sazby 3M.

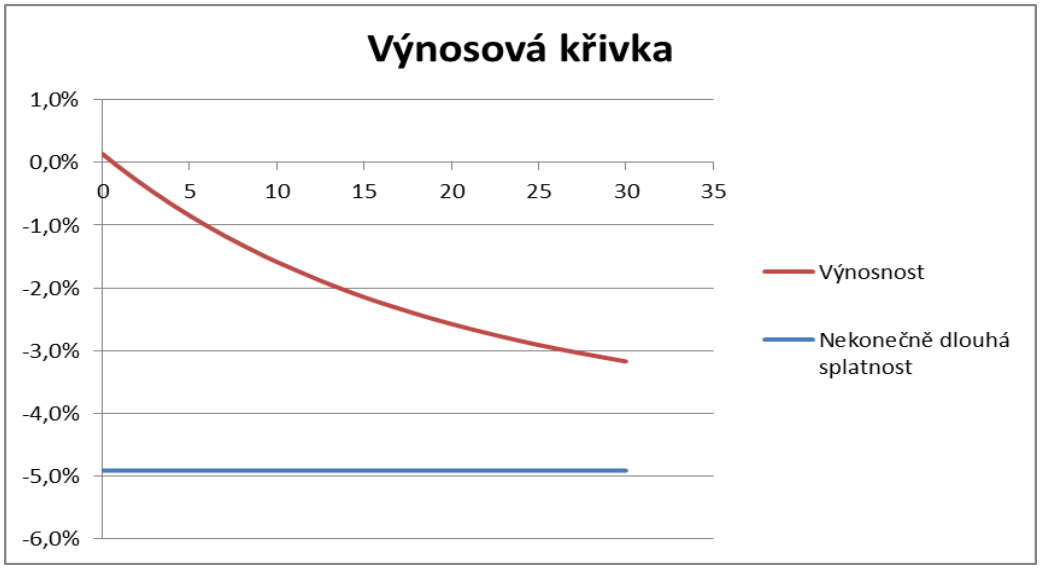
Obrázek 39 Výpočet výnosové míry dluhopisů při použití sazby 3M

T	A(t,T)	B(t,T)	Cena dluhopisu	Výnosnost	Nekonečně dlouhá splatnost
0,001	1,0000	0,0010	1,0000	0,14%	-0,0491
0,1	1,0000	0,0995	0,9999	0,12%	-0,0491
0,5	1,0005	0,4888	0,9999	0,03%	-0,0491
1	1,0021	0,9560	1,0008	-0,08%	-0,0491
2	1,0084	1,8291	1,0058	-0,29%	-0,0491
3	1,0184	2,6266	1,0147	-0,49%	-0,0491
4	1,0320	3,3549	1,0272	-0,67%	-0,0491
5	1,0490	4,0200	1,0432	-0,84%	-0,0491
6	1,0694	4,6275	1,0625	-1,01%	-0,0491
7	1,0929	5,1824	1,0850	-1,17%	-0,0491
8	1,1196	5,6891	1,1107	-1,31%	-0,0491
9	1,1494	6,1519	1,1396	-1,45%	-0,0491
10	1,1824	6,5746	1,1716	-1,58%	-0,0491
13	1,3002	7,6353	1,2864	-1,94%	-0,0491
16	1,4476	8,4433	1,4306	-2,24%	-0,0491
20	1,6946	9,2295	1,6729	-2,57%	-0,0491
25	2,0971	9,8851	2,0682	-2,91%	-0,0491
30	2,6258	10,3016	2,5882	-3,17%	-0,0491

Zdroj: Vlastní zpracování

Vidíme, že ceny dluhopisu rostou s poklesem úrokové sazby a modelované hodnoty pro vyšší splatnosti jsou klesající až k hodnotě -4,91 %, jakožto nekonečně dlouhé splatnosti. Graficky si křivku znázorníme na následujícím obrázku. Na to, aby se však úroková sazba více přiblížila hodnotě nekonečně dlouhé splatnosti, bychom potřebovali delší období. Pokud tedy použijeme pro modelování výnosové křivky parametry 3 měsíční sazby, získáme invertovaný tvar časové struktury úrokových sazeb.

Obrázek 40 Tvar výnosové křivky modelované podle výnosu bezkuponových dluhopisů



Zdroj: Vlastní zpracování

Tento druhý model výnosové křivky modelovaný pomocí výnosu zero bondů je hodně odlišný od našeho prvního modelu, který není tak prudce rostoucí, naopak dokonce poukazuje možnost invertované křivky. Vidíme, že úrokové míry by měly konvergovat k sazbě v nekonečně dlouhé splatnosti 1,8 % a predikovaná výnosová křivka má klasický konkávní rostoucí tvar.

Časová struktura úrokových sazeb je u Vašíčkova modelu považována za hlavní nedostatek tohoto modelu, jelikož model je sice schopen modelovat všechny 3 základní tvary výnosových křivek, ale variabilita či flexibilita jejich sklonu je velmi omezená. Pokud bychom se také chtěli zabývat úrokovými modely podrobněji, mohli bychom se pokusit modelovat tržní cenu rizika, které začalo hrát v poslední době významnou roli.

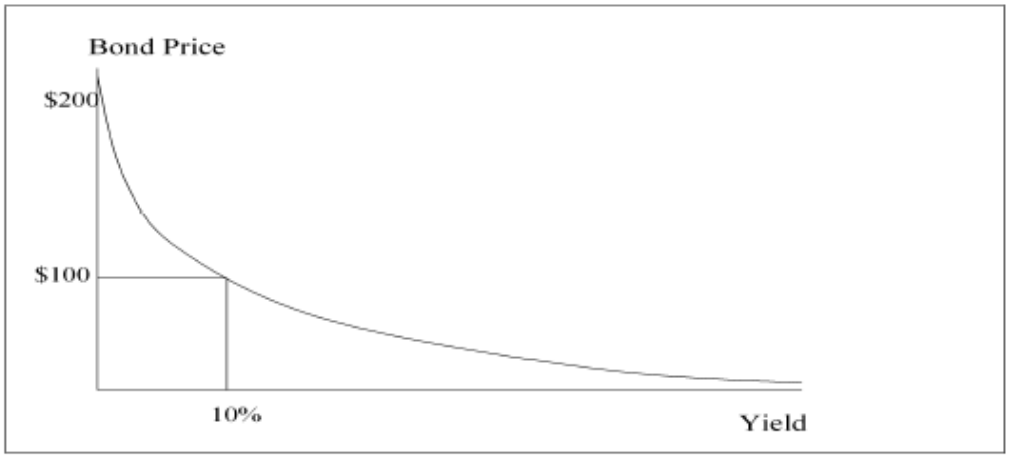
4 Sensitivita cen dluhopisů

Existuje klasický předsudek mezi investory, že dluhopisy představují bezpečnější část balancovaného portfolia a méně riskantní než například akcie. Sice jsou dluhopisy méně volatilní než akcie, rozhodně však nejsou bez rizika. Kromě zřejmého kreditního rizika čelí investor riziku ztráty ze změny úrokové míry. Pokud tedy budete chtít dluhopis prodat před datem splatnosti, může se stát, že získáme nižší částku, než jsme na začátku zaplatili. Jak už bylo řečeno, změny výnosových křivek mohou ovlivnit cenu některých fixed-income cenných papírů více než ostatních. Citlivost ceny dluhopisu na změnu úrokových sazeb záleží na mnoha faktorech – současné úrokové míře, jejích změnách, dále časem do splatnosti a také kuponovou sazbou.

Vliv změny výnosové míry na cenu dluhopisu

Konvexita způsobuje, že procentuální změna ceny není stejná při růstu a při poklesu. Kvůli konvexnímu vztahu mezi cenami a výnosovou mírou, dojde při velkému poklesu výnosové míry k většímu nárůstu cen než k poklesu cen při růstu výnosové míry. Avšak jak uvádí Stádník (2013), citlivost ceny dluhopisu se mění a můžeme říci, že u dluhopisu s nejdelší dobou splatnosti je zřejmě největší v oblasti nižších nominálních úrokových sazeb, v oblasti vysokých sazeb je situace opačná.

Obrázek 41 Závislost ceny dluhopisu na úrokové míře

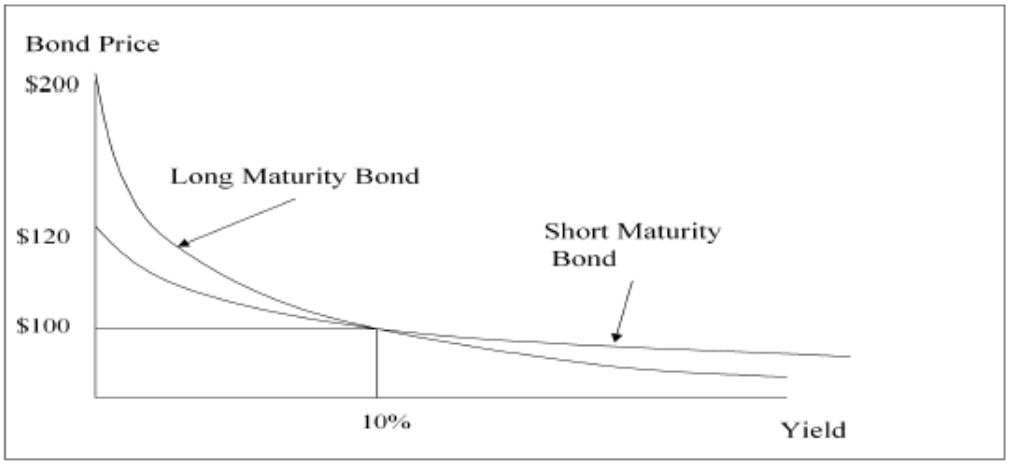


Zdroj: Ritchken, (2016)

Vliv doby do splatnosti na ceny dluhopisů

Obrázek 24 nám ukazuje vztah ceny na výnosové míře dvou dluhopisů stejné kuponové sazby a výnosu, avšak s různými dobami do splatnosti. Kuponová míra je 10 % a nominální hodnota je 100 USD. Pokud by byla úroková míra 10 %, oba dluhopisy by měly hodnotu par. Pokud by úroková míra byla nulová, dostali bychom u dluhopisu s dvouletou splatností cenu 120 USD, zatímco desetiletý dluhopisy by stál 200 USD. Křivka nám tedy ukazuje, že desetiletý dluhopis je více citlivý na změnu úrokových sazeb než dvouletý.

Obrázek 42 Citlivost ceny dluhopisů na dobu do splatnosti



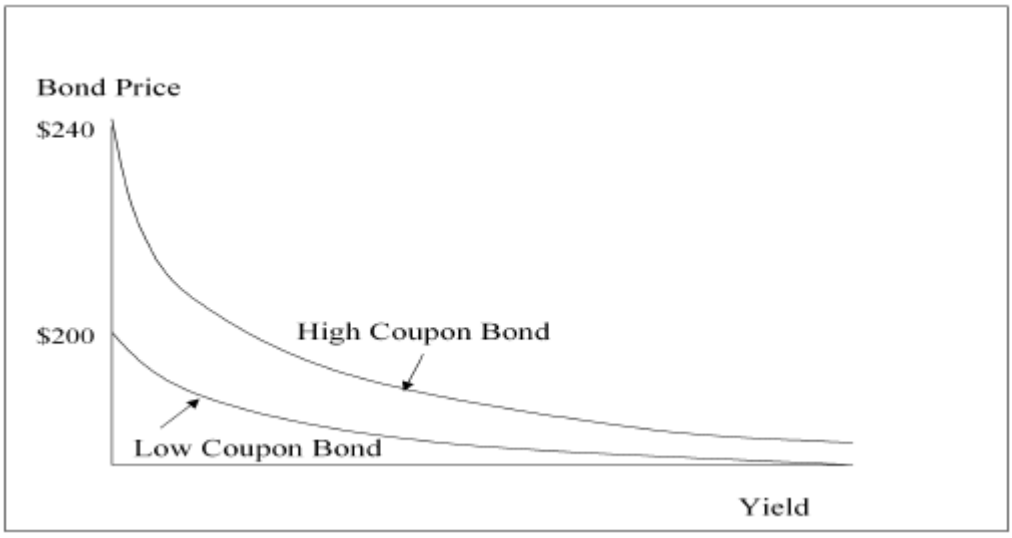
Zdroj: Ritchken, (2016)

Skutečně ve většině případů by změna úrokové míry způsobila u dlouhodobějšího dluhopisu větší změnu ceny než u krátkodobějšího. Pro některé dluhopisy obchodované pod svou jmenovitou hodnotou však procentuální změna v ceně pro určitý pokles výnosu do splatnosti může růst s dobou do splatnosti až do určité hodnoty, kdy je maturita dostatečně dlouhá a poté zase klesá s dobou do splatnosti.

Citlivost ceny dluhopisu na kuponovou sazbu

Obrázek 25 porovnává vztah ceny a úrokové sazby 10 letého dluhopisu s 14 % a 10 % roční kuponovou sazbou.

Obrázek 43 Citlivost ceny dluhopisu na kuponovou sazbu



Zdroj: Ritchken, (2016)

Když by úroková sazba byla 0 %, pak by cena prvního dluhopisu byla 240 USD a druhého 200 USD. Vidíme tedy, že daná změna úrokové míry způsobí větší změnu ceny u dluhopisu s nižší kuponovou sazbou. Důvodem je fakt, že dluhopisy s vyšším kuponem mají větší cash flow a splatí tedy vyšší část své hodnoty dříve než nízkokuponový dluhopis. Z toho vyplývá, že relativně méně vysokokuponových dluhopisů čelí vyššímu diskontování spojenému s novým diskontním faktorem. Můžeme tedy v podstatě říci, že vysokokuponové dluhopisy vyžadují menší úpravu ceny.

Můžeme tedy shrnout, že dluhopisy obchodované za vyšší cenu než je jejich jmenovitá hodnota mají vyšší kuponovou sazbu než dluhopisy obchodované za cenu pod jmenovitou hodnotou, a proto jsou, ceteris paribus, méně citlivé na změnu úrokových sazeb.

4.1 Změna ceny kuponového dluhopisu

Nejdříve se podíváme, jaká je citlivost kuponového dluhopisu na měnící se úrokovou sazbu a zaměříme se na tabulku, která ukazuje změny cen modelového dluhopisu.

Teoretická cena takového dluhopisu je vypočtena podle upraveného vzorce pro cenu, kde pravidelné kuponové platby považujeme za výplatu důchodu (Radová, 2013):

$$P = \frac{C*(1+i)^n - C + JH*i}{i*(1+i)^n} \qquad (1.25)$$

Kde C je roční kupónová platba

I je tržní úroková sazba

N je počet let do splatnosti

JH je jmenovitá hodnota

Modelový dluhopis má jmenovitou hodnotu 100 jednotek a splatnost 3 roky. Kuponovou sazbu jsme stanovili od 0,5 % do 3%, abychom viděli citlivost dluhopisu na různé hodnoty kuponů. Pro potenciální změny úrokové míry jsme využili predikce Vašíčkova modelu očekávané průměrné procentuální změny tříleté úrokové sazby pro kvartální predikce od konce historické datové základny až do konce roku 2017. Následující tabulka nám ukáže, jak by se mohla změnit cena dluhopisu s různými kuponovými sazbami podle predikované změny úrokové sazby.

Tabulka 8 Změna ceny dluhopisu při změně úrokové sazby

		Kupónová sazba v %					
		0,5	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**
	o kolik se zvýší IR v %	Teoretická cena dluhopisu					
1.10.2015	**0,08**	99,88	99,93	99,95	99,96	99,97	99,97
1.1.2016	**-0,03**	100,04	100,02	100,02	100,01	100,01	100,01
1.4.2016	**-0,17**	100,23	100,15	100,10	100,08	100,06	100,05
1.7.2016	**0,09**	99,88	99,92	99,95	99,96	99,97	99,97
1.10.2016	**0,39**	99,45	99,66	99,75	99,81	99,85	99,87
1.1.2017	**0,65**	99,09	99,43	99,59	99,69	99,74	99,79
1.4.2017	**0,59**	99,18	99,49	99,63	99,72	99,77	99,81
1.7.2017	**0,79**	98,90	99,31	99,51	99,62	99,69	99,74
1.10.2017	**0,92**	98,72	99,20	99,43	99,56	99,64	99,70

Zdroj: Vlastní zpracování

Pokles ceny dluhopisu s nárůstem úrokové sazby je zřetelný a zároveň také pozorujeme větší citlivost ceny pro nižší kuponové sazby (viz. Teorie citlivosti ceny dluhopisů popsané výše). Tabulka 9 nám jen ukáže procentuální změnu ceny modelového dluhopisu.

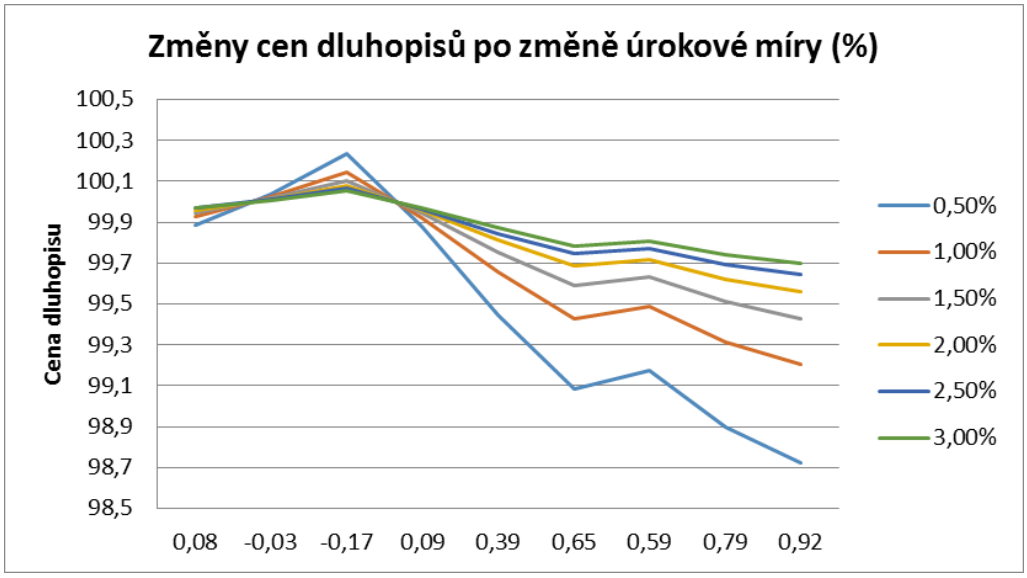
Tabulka 9 Změna ceny v % v závislosti na změně úrokové sazby

		Kupónová sazba v %					
		0,5	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**
	o kolik se zvýší IR v %	Změna ceny dluhopisu					
1.10.2015	**0,08**	0,436%	0,480%	0,501%	0,513%	0,520%	0,526%
1.1.2016	**-0,03**	0,591%	0,576%	0,570%	0,566%	0,563%	0,562%
1.4.2016	**-0,17**	0,787%	0,698%	0,656%	0,633%	0,618%	0,607%
1.7.2016	**0,09**	0,431%	0,477%	0,499%	0,511%	0,519%	0,525%
1.10.2016	**0,39**	0,000%	0,209%	0,307%	0,363%	0,399%	0,424%
1.1.2017	**0,65**	-0,362%	-0,017%	0,146%	0,239%	0,298%	0,338%
1.4.2017	**0,59**	-0,272%	0,039%	0,186%	0,270%	0,323%	0,360%
1.7.2017	**0,79**	-0,548%	-0,133%	0,063%	0,174%	0,246%	0,295%
1.10.2017	**0,92**	-0,726%	-0,245%	-0,017%	0,112%	0,195%	0,252%

Zdroj: Vlastní zpracování

Z počátku roku 2016 predikujeme mírný pokles úrokové sazby, a proto cena dluhopisu by měla vzrůst, avšak další postupný nárůst úrokové míry by způsobil jejich pokles. Nejvíce u nízkých kuponových sazeb, což můžeme vidět i na následujícím grafu, kde je lepší vizuální zobrazení vývoje ceny.

Obrázek 44 Změny cen dluhopisů při změně úrokové míry pro různé kuponové sazby

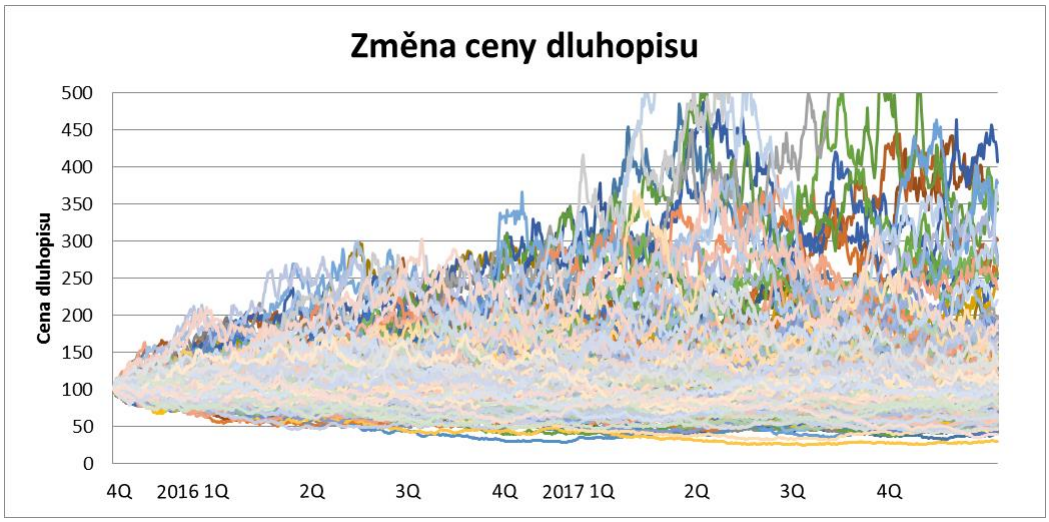


Zdroj: Vlastní zpracování

Největší změna ceny je tedy u nízkokuponových dluhopisů. Další vlastnost citlivosti dluhopisů, kterou můžeme z grafu pozorovat je, že cena dluhopisů je více citlivá na růst úrokových sazeb než na jejich pokles.

Nyní se podíváme na grafické znázornění vývoje ceny dluhopisu vypočtené na základě Monte Carlo simulací úrokových sazeb 3Y pomocí Vašíčkova modelu. Jelikož maximální počet časových řad vkládaných do grafu je 255, omezíme si tedy počet simulací na tuto hodnotu.

Obrázek 45 Simulace změny ceny dluhopisu



Zdroj: Vlastní zpracování

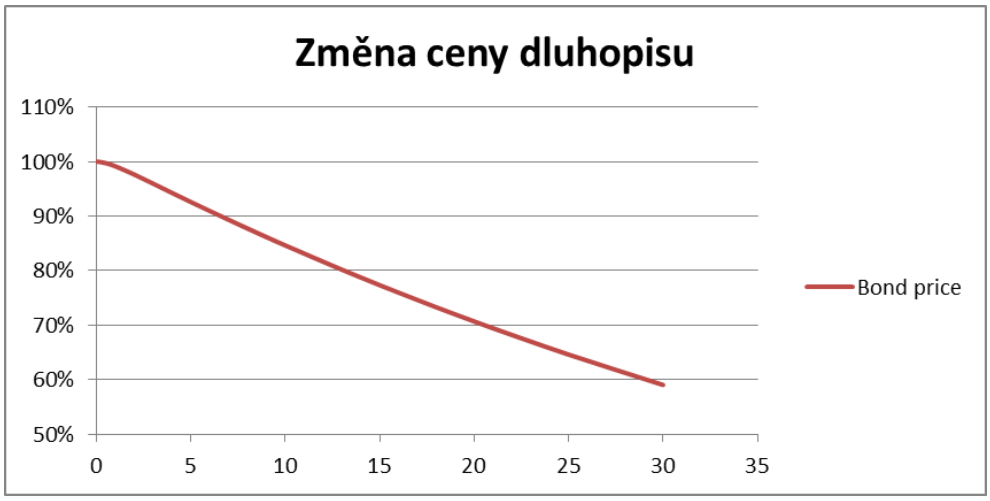
Jak už bylo řečeno, ceny dluhopisů jsou citlivější v pásmu nízkých úrokových hodnot sazeb, což odpovídá současné situaci a to způsobuje větší změny cen modelovaného dluhopisu než v situaci vysokých hodnot sazeb. Navíc lze pozorovat vyšší citlivost při poklesu úrokových sazeb, proto cena dluhopisu v některých simulacích může prudce růst na násobky jmenovité hodnoty a naopak pomalejší pokles ceny při růstu predikovaných sazeb. Z grafu je však zřetelné, že majorita simulací ukazuje na pokles ceny pod hodnotu 100 jednotek nebo blízko jmenovité hodnoty.

4.2 Změna ceny zero bondu

Pokud se vrátíme k modelování výnosové křivky pomocí odhadu změny ceny zero bondů, kterými jsme se zabývali v kapitole 7.2 a zaměříme se nyní nikoli na úrokovou sazbu, ale na cenu těchto dluhopisů, můžeme získat náhled na vývoj ceny podle splatnosti.

Parametry pro výpočet ceny zero bondu použijeme již vypočtené z historické základy O/N sazeb, kde mean reversion *a* je roven 1,26 a long term mean *b* 1,81 %. Následující obrázek nám tedy zobrazí změnu ceny podle splatnosti.

Obrázek 46 Ceny dluhopisů podle doby do splatnosti



Zdroj: Vlastní zpracování

Pokud chceme porovnat změnu ceny dluhopisu při použití parametrů sazby 3M, vidíme, že křivka je konvexní rostoucí.

Obrázek 47 Ceny dluhopisů podle doby do splatnosti

Zdroj: Vlastní zpracování

Fixed-income portfolia

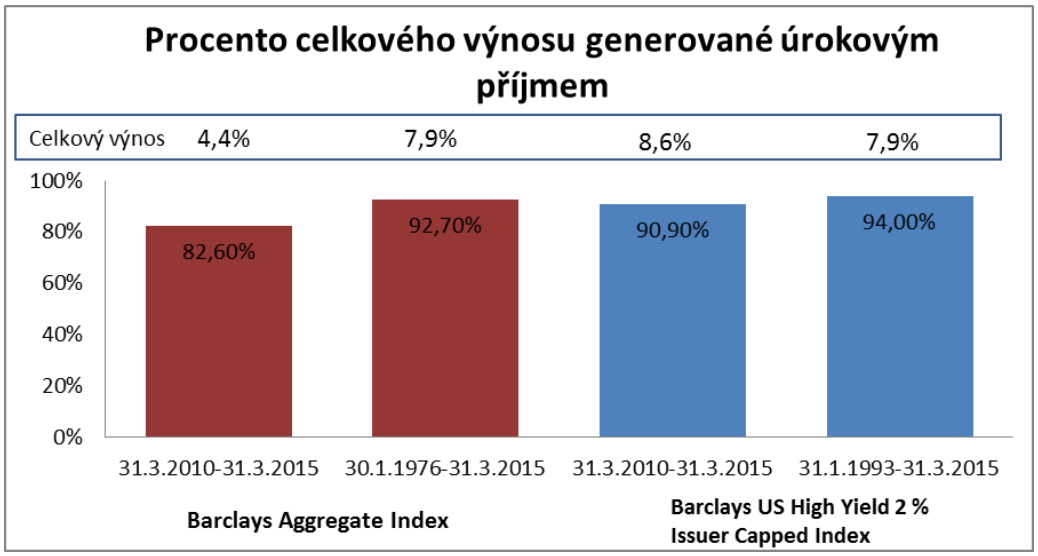
Ve Spojených Státech Fed již začal se zvyšováním základní úrokové sazby a trhy očekávají postupné krokové další zvyšování a dluhopisoví investoři se začali obávat následků. Přesto však růst úrokových sazeb nemusí nutně

znamenat celkovou ztrátu. Investoři si především kladou otázky, jak rychle budou úrokové sazby růst a jak moc sazby vzrostou. Prudký nárůst sazeb v krátké době může mít větší dopad na investory než postupný dlouhodobý růst.

Pro hodnocení dopadů změny úrokových sazeb je samozřejmě také důležité zkoumat specifické podmínky panující na trhu, počáteční hodnota sazeb, ze kterých zvyšování vychází, rychlost jakou ke zvyšování dochází, počáteční kreditní spready , sklon výnosové křivky atp.

Zatímco dluhopisy jsou definovány svými periodickými platbami úroků, je třeba si uvědomit, že zhruba 93 % celkového zisku je generováno tímto příjmem spíše než změnou ceny. To platí jak pro dluhopisy s nejvyšším ratingem tak i vysokovýnosové dluhopisy. Jak je vidět i z Obrázku 47, úrokový příjem ovládal celkový výnos i během úvěrové krize, kdy výnosové míry způsobily výrazný růst cen dluhopisů.

Obrázek 48 Procenta výnosu dluhopisu generovaná úroky



Zdroj: Vlastní zpracování na základě Barclays 31. 3. 2015

Je tedy logické, že nejlepší obranou proti postupně rostoucím úrokovým sazbám je zaměřit se na sektory s vyššími potenciálními výnosy a menší citlivostí na změny sazeb, což by pomohlo vyrovnat ztráty z poklesu cen.

Například by se mohlo jednat o úvěrové sektory, jelikož ty profitují z ekonomického růstu a mohou tedy zaznamenat zužování kreditního spreadu při ekonomickém růstu. Další možností v tomto prostředí je investovat do široce flexibilních, multisektorových dluhopisových portfolií, jelikož tato odvětví mohou těžit z vyšší výnosnosti jako například vysokovýnosové dluhopisy, korporátní dluhopisy či některé cenné papíry. Další možností je zaměřit se na portfolio krátkodobých dluhopisů a dobrou aktivní alokací vyhledávat vyšší výnosy z aktiv s kratší durací portfolia. Taková portfolia často zahrnují krátkodobé korporátní dluhopisy, cenné papíry zajištěné například nemovitostí[12] či společností[13], zkrátka využití jiných cenných papírů než státních nízkovýnosových. Investoři by si však měli být dobře vědomi, že s investicemi do aktiv, která přinášejí vyšší výnos, je vždy spojeno vyšší riziko a zvážit svoji rizikovou toleranci.

[12] Asset-backed securities
[13] Residential morgage-backed securities

5 Analýza bilancí bank

Řízení bilance banky (ALM) je jednou z jejích klíčových činností a jejím cílem je zajistit především likviditu, rentabilitu a především solventnost (Mejstřík, Pečená, & Teplý, 2014). Zahrnuje také řízení rizik, provádění stresového testování, sledování parametrů a mnoho dalších činností. Podíváme se tedy na základní rozdělení položek bilance.

Zaměříme se především na finanční aktiva. Ta dělíme do 4 základních kategorií:

1. Finanční aktiva nebo finanční závazky vykazované v reálné hodnotě do zisku nebo ztráty (Trading) – Zahrnuje 3 kategorie. Zaprvé Deriváty určené k obchodování, které jsou zachyceny v reálné hodnotě a jsou vykázány jako aktiva, pokud mají kladnou reálnou hodnotu, a jako závazky, pokud mají zápornou reálnou hodnotu. Zadruhé Nederivátové nástroje držené za účelem k obchodování, zachycené reálnou hodnotou a zatřetí Finanční nástroje vykazované v reálné hodnotě do zisku nebo ztráty. Změny čistých reálných hodnot všech tří jmenovaných kategorií se vykazují v Čistém zisku / ztrátě z finančních nástrojů vykazovaných v reálné hodnotě do zisku nebo ztráty.
2. Investice držené do splatnosti – tzv. Hold-to-maturity aktiva (HTM) mají pevně stanovené platby a vedení banky je zamýšlí a zároveň je schopno držet až do jejich splatnosti. Pokud by došlo k prodeji či reklasifikaci větší části objemu aktiv držených do splatnosti, celá tato kategorie bude zrušena a reklasifikována jako realizovatelná aktiva. Ztráty ze snížení hodnoty těchto aktiv se vykazují ve výkazu zisku a ztráty ve Ztrátách ze znehodnocení.
3. Úvěry a pohledávky – jedná se o nederivátová aktiva, se kterými banka nemá v plánu obchodovat. Jsou vykazovány v zůstatkové hodnotě s použitím efektivní úrokové míry a tyto položky musí být přeceněny na reálnou hodnotu do výše zajištěného rizika. Ztráty ze snížení hodnoty těchto aktiv se vykazují ve výkazu zisku a ztráty ve Ztrátách ze znehodnocení.

4. Realizovatelná finanční aktiva – tzv. Available-for-Sale (AFS) aktiva. V této kategorii jsou držena aktiva, která do této kategorie byla zařazena nebo nebyla klasifikována v žádné z předchozích kategorií. Realizovatelná aktiva jsou vykazována v reálné hodnotě a nerealizované zisky a ztráty z těchto aktiv se vykazují v Oceňovacích rozdílech z realizovatelných finančních aktiv po zdanění. V případě prodeje jsou nerealizované zisky nebo ztráty kumulované v Oceňovacích rozdílech reklasifikovány do Čistého zisku/ztráty z realizovatelných finančních aktiv.

Tabulka 10 Kategorie finančních aktiv a jejich ocenění

	1	2	3	4
Kategorie	Finanční aktiva nebo finanční závazky vykazované v reálné hodnotě do zisku nebo ztráty	Investice držené do splatnosti	Úvěry a pohledávky	Realizovatelná finanční aktiva
Zachycení v rozvaze	Zachyceny v reálné hodnotě.	Zachyceny zůstatkovou hodnotou s použitím metody efektivní úrokové míry mínus případné snížení jejich hodnoty.	Zachyceny zůstatkovou hodnotou s použitím metody efektivní úrokové míry mínus případné snížení jejich hodnoty.	Zachyceny v reálné hodnotě.
Vykázání přecenění	čistý zisk/ztráta	Ztráty ze snížení hodnoty těchto aktiv se vykazují ve výkazu zisku a ztráty ve Ztrátách ze znehodnocení	Ztráty ze snížení hodnoty těchto aktiv se vykazují ve výkazu zisku a ztráty ve Ztrátách ze znehodnocení.	Nerealizované zisky a ztráty se vykazují v Oceňovacích rozdílech z realizovatelných finančních aktiv po zdanění.

Zdroj: Vlastní zpracování na základě výroční zprávy ČSOB 2014

V USA byly dříve až do roku 2013 podle tamních účetních standardů aktiva v kategorii AFS vyčleněna z čistého zisku a případné ztráty se kumulovaly na zvláštním účtu avšak bez okamžitého dopadu na čistý zisk/ztrátu banky. Avšak po roce 2013 vyšla nová regulace, která říká, že veškeré zisky nebo ztráty realizované na konkrétním aktivu budou mít přímý dopad do kapitálu banky.

Americké banky tedy zařazením finančních aktiv do jedné z těchto 3 kategorií mohou ovlivnit způsob účetního vykazování a tedy řídit riziko dopadu změny ceny drženého instrumentu. Po tom, co nová regulace znemožnila bankám hromadně držet aktiva na účtu AFS, kde bylo možné je bezpečně držet bez dopadů změny ocenění a zároveň si ponechat mandát aktiva z této kategorie buď držet až do splatnosti či je prodat, banky započaly hromadně přesouvat velké části svých portfolií z AFS do HTM. Přínosů této strategie je několik.

1) Banky se tím snaží vyrovnat nadcházející potenciální dopad zvyšování úrokových sazeb, který by měl velký vliv především na dluhové nástroje obsažené v portfoliu.
2) Čím méně marked-to-market[14] cenných papírů mají v portfoliu, tím je menší citlivost k pohybům úrokových sazeb.
3) Ztráta z přeceňování nástrojů obsažených v HTM se nepřeceňuje do zisku banky, na rozdíl od situace, kdy by byly v původní kategorii AFS.
4) Tímto způsobem je možné se vyhnout nežádoucí kapitálové volatilitě.

Tyto nesporné výhody si banky rychle uvědomily, a jelikož riziko zvyšování úrokových sazeb je citelné a některé centrální banky již zahájily zvyšování sazeb (například americká centrální banka), je proto znatelný hromadný přesun a nárůst velikosti aktiv v kategorii HTM. Navíc banky mají zájem na udržení ziskovosti, která je už tak znatelně stlačována. Důvodů k osvojení strategie přesouvání aktiv do kategorie, která není tak rizikově citlivá je několik:

- Dlouhodobě snižující se zisková marže.
- Nová regulatorní pravidla pro banky vyžaduje držení velké množství vysoce likvidních aktiv, která jsou ale nízko výnosová.
- Tuto nízkou výnosovost chtějí banky kompenzovat na druhé straně nákupy aktiv s dlouhodobou splatností, která jsou spojena s vyšším výnosem.

Přínosů této strategie je tedy vidět několik, avšak je zde samozřejmě i jedna velká nevýhoda s tím spojená – jakmile jsou jednou aktiva přesunuta a

[14] Cenné papíry vázané na změnu tržních podmínek

účtována v kategorii HTM, nelze[15] je již přesunout zpět do jiné kategorie, ze které by je bylo možné případně prodat. Banky si tedy musejí důkladně rozmyslet, zda v budoucnu nenastane krizová situace a nebudou potřebovat prodat tato aktiva, aby pokryly případný pokles kapitálu.

Skladba aktiv podle velikosti banky

Nyní se podívejme, jak se liší skladba aktiv podle velikosti banky. Je zřejmé, že pokud má banka procentuálně více aktiv zařazených v kategorii k obchodování (Trading), je sice více vystavena riziko ze změny cen těchto instrumentů, ale na druhé straně může dosáhnout vyšší ziskovosti tím, že může aktiva včas a s větším ziskem prodat, když jsou příhodné podmínky na trhu. Toto naopak nelze, pokud máte velké množství aktiv v kategorii HTM, kde sice banka ví, že na konci splatnosti dostane (s určitou pravděpodobností, pokud vezmeme v úvahu i jiná rizika jako například kreditní) sjednanou hodnotu aktiva a tedy realizuje určitý zisk. Ale tím, že aktivum nesmí v době do splatnosti prodat, se připravuje o potenciálně vyšší zisk, pokud by se během své existence prodával (resp. nakupoval) na trhu za vyšší cenu.

Pokud se podíváme blíže na český bankovní trh, můžeme rozlišit tři základní typy bank nejen podle velikosti bilance, ale také podle skladby aktiv.

1) **Velké banky**

Prvním typem jsou tradiční velké banky, které se vyskytují na českém trhu dlouhou dobu a jsou většinou velké co do velikosti bilance. Tyto banky mají obvykle tradiční škálu úvěrových, depozitních i investičních produktů a stabilní objem klientů. Alokace prostředků do investičních nástrojů, stejně tak i poměr rizikovost - ziskovost - výnosnost je u takovýchto bank je pečlivě řízena. V případě, že by došlo ke snižování hodnoty finančních aktiv v důsledku například růstu úrokových sazeb, pak by takové banky měly být schopny tyto ztráty spolehlivě pokrýt regulatorním kapitálem. Velké banky mají obecně

[15] Aktiva za určitých podmínek přesunout lze, avšak účetně je to velmi problematické a je třeba složitě prokazovat a dokládat důvody pro jednotlivé přesuny.

rovnoměrně rozložená finanční aktiva do všech 3 kategorií – snaží se udržet jak likvidní aktiva k obchodování, která mohou kdykoliv prodat, tak i AFS a HTM, která drží až do splatnosti. Jejich ziskovost finančních aktiv bývá stabilní a řídí rizika zodpovědně, s čím souvisí i toto rovnoměrné rozložení aktiv. Díky velkému množství cenných papírů držených až do splatnosti se vyhnou ztrátám z přeceňování.

2) Středně velké banky

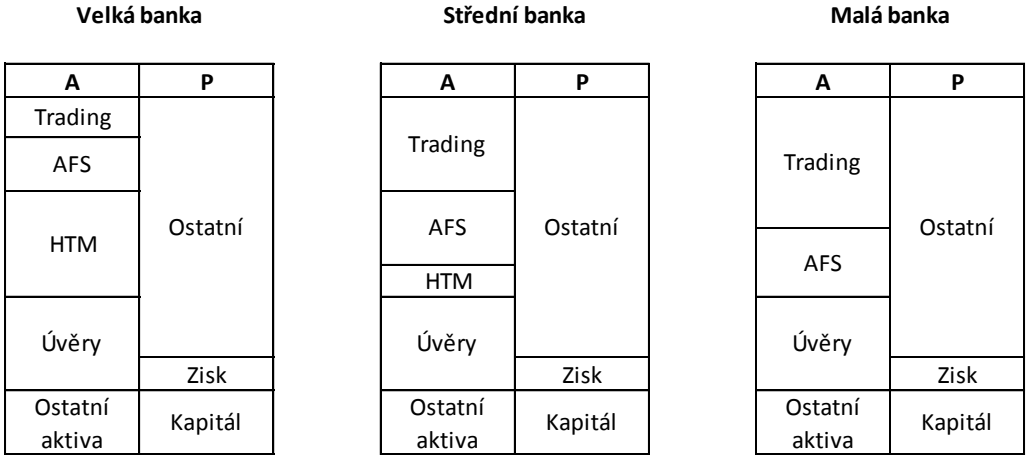
Druhým typem jsou banky střední velikosti, které už nejsou na trhu nováčky a mají stabilní klientelu. Takové banky už nemusejí bojovat o své místo na trhu levnými produkty a nízkými poplatky pro klienty jako malé banky, ale zase naopak nemohou se konkurenčně porovnávat s velkými bankami. Aby tedy dorovnávaly svou ziskovost, snaží se nedržet velkou část instrumentů v kategorii HTM až do splatnosti a připravovat se tak o potenciálně vyšší zisk možným dřívějším prodejem za vyšší cenu. Obvykle tedy mají velmi malý poměr aktiv držených až do splatnosti a většina cenných papírů se nachází v kategoriích AFS či k okamžitému obchodování.

3) Malé (Low-Cost) banky

Třetím typem označujeme většinou menší banky (ve smyslu aktiv), které vstoupily na český trh relativně nedávno. Ty se svou nízkonákladovou politikou snaží o získání či přetažení klientů od konkurenčních bank například vyšším úročením vkladů či naopak nižšími klientskými náklady úvěrování, což se nevyhnutelně projevuje v nižší ziskovosti. Proto se tyto banky snaží ušetřit náklady na například distribučních sítích skrze menší počet kamenných poboček a využívání levnějších prodejních kanálů. Je ale zřejmé, že k dorovnání požadované ziskovosti musí dojít jinou cestou, a to přes vyšší výnosnost z vlastní investiční činnosti. Té se však dá dosáhnout, jak už bylo řečeno buď dlouhodobějším horizontem investování anebo vyšší rizikovostí instrumentů (opět připomínáme magický trojúhelník výnos x riziko x likvidita). Lze tedy obecně říci, že tyto banky většinou aktiva z největší části v kategorii k obchodování a naopak často nemají žádná „bezpečná“ aktiva držená do

splatnosti a jsou tedy vystaveny riziku ztrát více než ostatní banky. Vyvstává tedy otázka, jak budou takovéto banky schopny pokrýt případné ztráty z regulatorního kapitálu a dostát svým závazkům.

Obrázek 49 Rozložení finančních aktiv podle velikosti banky



Zdroj: Vlastní zpracování

V následující tabulce vidíme procentuální poměr jednotlivých kategorií finančních aktiv vybraných různě velkých bank.

Tabulka 11 Poměr finančních aktiv vybraných bank

	Úvěry a pohledávky	HTM	AFS	Trading
ČSOB	63,21%	18,67%	9,55%	8,56%
Unicredit bank	79,27%	0,04%	18,04%	2,65%
J&T Bank	68,02%	1,34%	21,64%	8,99%
Fio Bank	48,58%	34,75%	0,00%	16,67%
Equa bank	89,64%	0,00%	10,34%	0,02%
Sberbank	96,08%	0,00%	3,75%	0,17%
Komerční banka	71,63%	11,08%	11,21%	6,08%

Zdroj: Vlastní zpracování na základě výročních zpráv bank 2014

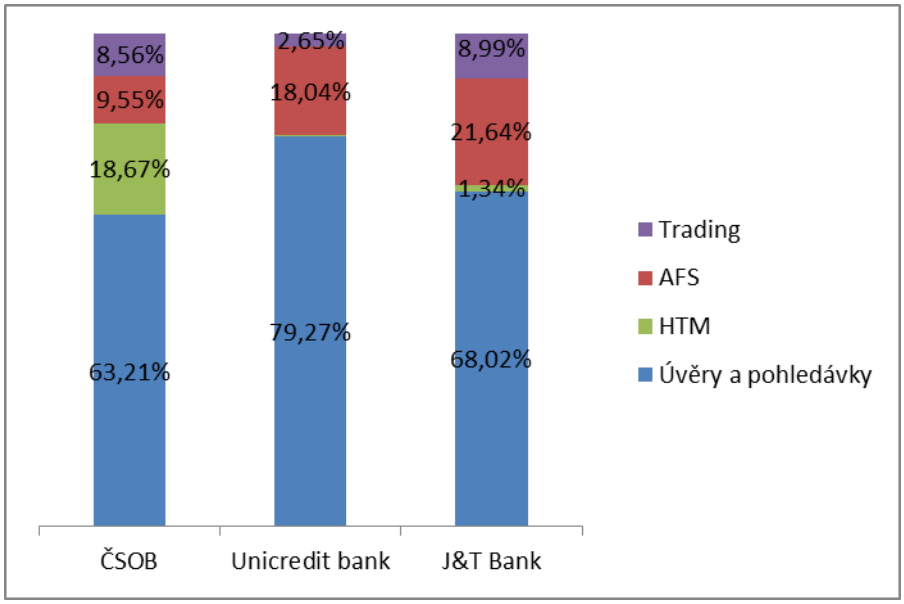
Podívejme se tedy nyní na klasické zástupce těchto tří kategorií na českém bankovním trhu:

- Typickým zástupcem velké banky na českém trhu je například ČSOB banka, která drží (viz. Obrázek 48) 63 % ve formě úvěrů a pohledávek, 18,67 % svých finančních aktiv v kategorii HTM, dále 9,55 % v AFS,

tedy možné k prodeji i k dlouhodobému držení a zbylých necelých 9 % jako aktiva k obchodování pro krátkodobé držení.

- Za střední banky jsme vybrali Unicredit bank, u které vidíme držení prakticky žádných aktiv (0,04 %) ve skupině aktiv HTM určených k dlouhodobému držení, 18 % zabírají aktiva AFS a skoro 3 % aktiv je určených ke krátkodobému držení a zobchodování.
- A do poslední kategorie malých bank nesporně patří J&T Banka, které úvěry a pohledávky zabírají 68 % finančních aktiv, dále má minimum cenných papírů k dlouhodobému držení až do splatnosti (1,34 %), necelých 22 % drží jako AFS. Trading aktiva činily u Equa banky 9 %.

Obrázek 50 Zástupci českých bank a jejich skladba finančních aktiv



Zdroj: Vlastní zpracování na základě výročních zpráv zmiňovaných bank z roku 2014

Vybraní tři zástupci tedy jen potvrzují, že čím menší banka, tím větší část aktiv je obchodovatelná[16] a tím více je vystavena rizikům ztráty z přecenění cenných papírů v ní obsažených. Můžeme se tedy jen představit, jaký teoretický dopad by měla případná finanční krize, kdy by především tyto malé banky měly problémy s propadem cen vlastněných instrumentů a byly by nuceny hromadně

[16] Za obchodovatelné kategorie považujeme Trading a AFS.

přeceňovat, což by se nutně promítlo v jejich výši zisku/ztráty. Další problém s tím spojený by nastal v případě, kdy by takovým bankám poklesl kapitál a nebyly by například schopné plnit regulatorní kapitálové požadavky. Pak by byly nuceny vyprodávat držená aktiva, avšak velmi pod cenou a realizovat ztráty.

Nová regulatorní pravidla by tedy na tento fakt měla myslet a bylo by vhodné upravit požadavky na skladbu finančních aktiv či nějak příhodně upravit stresové scénáře pro banky, které jsou takto citlivé na změny tržních podmínek, a mohli bychom je tedy považovat za rizikovější.

6 Závěr

Díky myšlenkovému a především také technologickému pokroku v posledních letech je nám umožněno zaujmout nové, sofistikovanější přístupy k řízení finančních rizik. Jedním z těchto přístupů je metoda simulací Monte Carlo, kterou jsme se rozhodli využít pro modelování stochastických scénářů budoucích úrokových sazeb.

Řízení úrokového rizika je v posledních letech velmi diskutované, kvůli dlouhodobě nízkým sazbám po celém světě, které se staly v bankovnictví normálem. Důvodem těchto ultranízkých (a v některých zemích dokonce záporných) sazeb je využití nekonvenčních nástrojů centrálních bank jako například kvantitativní uvolňování, které byly nuceny využít při řešení globální finanční krize v roce 2008. Proto jsme se rozhodli zkoumat vývoj budoucích sazeb pomocí známého Vašíčkova modelu, kde pro budoucí hodnotu úrokové sazby využijeme metodu Monte Carlo. Simulujeme tedy 1000 iterací a následně analyzujeme jak jejich průměrnou hodnotu, tak i pravděpodobnostní rozdělení.

Jako historickou základnu pro odhad parametrů modelu jsme použili data za posledních 15 let pro vybrané splatnosti – O/N PRIBOR, 3M PRIBOR, 6M PRIBOR a dále swapové sazby pro splatnost 1Y, 3Y, 5Y a 10Y. Parametry jsme využili pro predikci do konce roku 2017 a zdá se, že kromě 3M a 6M splatností by měly sazby všeobecně růst. Dlouhodobé rovnovážné hodnoty vypočtené Vašíčkovým modelem, ke kterým by sazby měly konvergovat, jsou většinou kladné okolo 1 až 2 %. Jelikož sazby se dnes nacházejí pod těmito hodnotami, predikce pak vycházejí jako rostoucí k vypočteným rovnovážným hodnotám. Sazby 3M a 6M byly historicky relativně prudce klesající, a proto odhadnuté parametry ukazují, že jejich rovnovážná hodnota by se měla nacházet velmi nízko či dokonce v záporu. To však pravděpodobně souvisí s jejich vyšší volatilitou, kterou pozorujeme i u sazby O/N. Právě vyšší volatilita způsobuje vyšší nepřesnost modelu u těchto splatností, což se ukázalo při zpětném testování. U ostatních dlouhodobých sazeb, přestože Vašíčkův model je primárně určen pro predikce krátkodobých úrokových sazeb, backtesting ukazuje, že predikce jsou relativně přesné a odchylka od

skutečných hodnot je nízká. Model je tedy využitelný nejen pro predikce krátkodobých sazeb, vykazuje také velmi dobrou predikční schopnost i pro delší splatnosti pro dlouhodobé předpovědi. Získané parametry Vašíčkova modelu jsme následně použili pro modelaci celé výnosové křivky.

Predikce úrokové sazby jsme také využili pro modelové přecenění dluhopisu. Pro výpočet změny ceny jsme aplikovali predikovaný nárůst 3Y sazby a sledovali jsme, jak se klesá cena 3 letého dluhopisu v závislosti také na kuponové sazbě. Investoři by se tedy měli připravit na budoucí teoretickou ztrátu při případném prodeji dluhopisů.

Zajímavé také je se dívat na skladbu finančních aktiv českých bank. Zařazením do určité účetní kategorie mohou totiž banky ovlivnit, jak se projeví případný pokles ceny aktiva na kapitálu banky. Kategorie aktiv určených k obchodování jsou rizikovější a pokles jejich reálné hodnoty se projeví přímo do zisku/ztráty, naproti tomu ztráta aktiva drženého do splatnosti se jen kumuluje na účtu ztráty ze znehodnocení. Je zřejmé, že menší banky, které jsou konkurenčně slabší, se snaží dorovnat ziskovost spekulacemi na trzích a držením více rizikových aktiv, které je možné okamžitě zobchodovat. Pokud se tedy díváme na procentuální poměry jednotlivých kategorií finančních aktiv v bankovních bilancích, pozorujeme u menších bank vyšší procento aktiv určených k obchodování než aktiv držených je až do splatnosti než u velkých bank. Strategie přesouvání aktiv do méně citlivé účetní kategorie aktiv držených až do splatnosti je dobře viditelná na rozvahách amerických bank, kde kvůli nové účetní legislativě upravující způsob přeceňování finančních instrumentů a souvisejících dopadů na zisk banky přesouvají velké části svých portfolií do méně úrokově citlivé kategorie aktiv se záměrem držení až do splatnosti. Opticky tedy snižují úrokové riziko, avšak vedlejší efekt se může projevit při případné krizi, kdy by banky potřebovaly pokrýt potenciální ztráty prodejem právě těchto aktiv, která však byla nově přeřazena do držby do splatnosti. Z této kategorie však již aktiva nemohou být přeřazena zpět a tudíž ani být prodána, banky by tedy měly pečlivě zvážit, jak velkou část portfolia by měla držet až do splatnosti.

7 Bibliografie

BCBS. (2006). *http://www.bis.org/publ/bcbs128.pdf.* Basel June 2006: Basel Committee on Banking Supervision, Bank for International Settlement.

Černohorský, J., & Teplý, P. (2011). *Základy financí.* Praha: Grada Publishing, a.s.

ČNB. (2015). *Pravidla pro referenční banky a výpočet (fixing) referenčních úrokových sazeb PRIBOR.* Praha: ČNB.

Episcopos, A. (1999). *Further evidence on alternative continuous time models of the short-term interest rate.* Athens: National Bank of Greece.

Chalupka R., T. P. (2008). *Operational Risk Management and Implications for Bank's Economic Capital - A Case Study.* Praha: IES Working Paper: 17/2008.

IMF, S. W. (2013). *Assessing the Determinants of Interest Rate Transmission Through Conditional Impulse Response Functions WP/13/23.* European Department: International Monetary Fund.

Jílek, J. (2009). *Finanční trhy a investování.* Praha: GRADA Publishing, a.s.

Jílek, J. (2011). *Finanční rizika.* Praha: Grada.

Kaplan, P. D. (2010). *Quant Corner: Updating Monte Carlo Simulation for the 21st Century.* Cabridge: Morningstar Alternative Investments Observer.

Mejstřík, M. (2008). *Základní principy bankovnictví.* Praha: Nakladatelství Karolinum.

Mejstřík, M., Pečená, M., & Teplý, P. (2014). *Bankovnictví v teorii a praxi.* Praha: Nakladatelství Karolinum.

Musílek, P. (2011). *Trhy cenných papírů.* Praha: Ekopress, s.r.o.

Philippe, J. (2006). *Value at risk - the new benchmark for managing financial risk.* London: McGraw-Hill.

Pierson. (2011). *Business finance, 11 E.* Australia: McGraw-Hill Education - Europe.

Polouček, S. (2006). *Bankovnictví.* Praha: C. H. Beck.

Půlpánová, S. (2009). *Komerční bankovnictví v České republice.* Praha: Nakladatelství Oeconomica.

Radová, J. (2013). *Finanční matematika pro každého.* Praha: Grada Publishing, a.s.

Revenda, Z. (2011). *Centrální bankovnictví* (3. vyd.). Praha: Management Press.

Ritchken, P. (2016). *Interest Rate and Credit Risk Derivatives.* Cleveland: Weatherhead school of Management, Case Western Reserve University.

Samuelson, P. A. (2010). *Ekonomie.* Praha: Nakladatelství Svoboda.

Stádník, B. (2013). *Teorie a praxe dluhopisů I.* Prha: Nakladatelství Oeconomica.

SUERF. (2015). *Asset-Liability management with ultra low interest rates.* Vienna conference: The OeNB and the Austrian Society for Bank Research.

SUERF, O. B. (2015). Načteno z SUERF The European Money and Finance Forum: http://www.suerf.org/vienna2015

Suhobokov, A. (2007). *Application of Monte Carlo Simulation Methods in Risk Management.* Riga: Journal of Business Economics and Management.

Witzany, J. (2011). *Financial Derivatives and Market Risk Management.* Praha: Oeconomica.

Zeytun, S. G. (2007). *A Comparative Study of the Vasicek and the CIR Model of the Short Rate.* Kaiserslautern: Berichte des Fraunhofer ITWM.