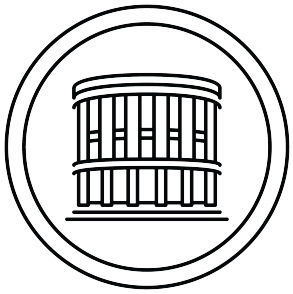
UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



MENOVÁ POLITIKA MUSÍ HĽADIEŤ VPRED: MODELOVANIE OČAKÁVANÍ FINANČNÝCH TRHOV O BUDÚCOM VÝVOJI INFLÁCIE A ÚROKOVÝCH SADZIEB V EUROZÓNE.

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2025 Bc.Martin Maslan

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

MENOVÁ POLITIKA MUSÍ HĽADIEŤ VPRED: MODELOVANIE OČAKÁVANÍ FINANČNÝCH TRHOV O BUDÚCOM VÝVOJI INFLÁCIE A ÚROKOVÝCH SADZIEB V EUROZÓNE.

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program:	Ekonomicko-finančná matematika a modelovanie
Študijný odbor:	1113 Matematika
Školiace pracovisko:	Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky
Vedúci práce:	Mgr. Juraj Falath

Bratislava 2025 **Bc.Martin Maslan**





Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Martin Maslan
Študijný program: ekonomicko-finančná matematika a modelovanie (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)
Študijný odbor: matematika
Typ záverečnej práce: diplomová
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Menová politika musí hľadieť vpred: modelovanie očakávaní finančných trhov o budúcom vývoji inflácie a úrokových sadzieb v eurozóne.
Monetary policy must be forward-looking: modeling the financial markets' expectations about future inflation and interest rates in the eurozone.

Anotácia: Rozhodnutie centrálnej banky o nastavení menovej politiky nezohľadňuje iba súčasný stav ekonomiky. Kľúčovým faktorom pri nastavení politiky centrálnej banky sú očakávania rôznych aktérov v ekonomike (domácnosti, firmy, finančné trhy, analytici) ohľadom jej budúceho vývoja. Finančné deriváty, naviazané na budúci vývoj inflácie a úrokových sadzieb, poskytujú bohaté informácie o očakávaniach finančných trhov. Cieľom práce je navrhnúť model trhových očakávaní, ktorý bude používať Národná Banka Slovenska pri menovopolitických analýzach.

Vedúci: Mgr. Juraj Falath
Katedra: FMFI.KAMŠ - Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky
Vedúci katedry: doc. Mgr. Igor Melicherčík, PhD.

Dátum zadania: 12.01.2024

Dátum schválenia: 25.01.2024 prof. RNDr. Daniel Ševčovič, DrSc.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Poďakovanie Touto cestou sa chcem poďakovať vedúcemu svojej bakalárskej práce Mgr.Jurajovi Falathovi za ochotu, pomoc, odborné rady a podnetné pripomienky, ktoré mi pomohli pri písaní tejto práce. Ďakujem aj svojej rodine a priateľom za ich trpezlivosť a podporu.

Abstrakt v štátnom jazyku

MASLAN, Martin: Menová politika musí hľadieť vpred: Modelovanie očakávaní finančných trhov o budúcom vývoji inflácie a úrokových sadzieb v eurozóne [Diplomová práca], Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky; školiteľ: Mgr. Juraj Falath, Bratislava, 2025, 66 s.

V tejto diplomovej práci sa zaoberáme odvodením pravdepodobnosti inflácie na základe cien CAP a FLOOR opcií a následnou analýzou vzťahu medzi ich cenami a menovou politikou Európskej centrálnej banky.

V prvej kapitole predstavíme nástroje a ciele Európskej centrálnej banky.

V druhej kapitole sa zameriame na trh inflačných opcií, jeho likviditu a taktiež odvodíme rizikovo neutrálnu pravdepodobnosť očakávanej inflácie.

V tretej kapitole predstavíme databázu menových šokov a pomocou faktorovej analýzy získame popisujúce faktory.

V štvrtej kapitole uvedieme prehľad literatúry, ktorá bola na túto tému napísaná.

V piatej a šiestej kapitole využívame získané dáta z druhej a tretej kapitoly na tvorbu modelov, ktoré následne vyhodnocujeme.

Kľúčové slová: Inflácia, CAP, FLOOR, opcia, ECB

Abstract in English

MASLAN, Martin: Monetary Policy Must Look Ahead: Modeling Financial Market Expectations of Future Inflation and Interest Rates in the Euro Area [Master's Thesis], Comenius University in Bratislava, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Department of Applied Mathematics and Statistics; supervisor: Mgr. Juraj Falath, Bratislava, 2025, 66 p.

This diploma thesis focuses on deriving the probability of inflation based on the prices of CAP and FLOOR options, and on analyzing the relationship between their prices and the monetary policy of the European Central Bank.

In the first chapter, we present the tools and objectives of the European Central Bank.

The second chapter focuses on the inflation options market, its liquidity, and also derives the risk-neutral probability of expected inflation.

In the third chapter, we introduce a database of monetary shocks and use factor analysis to extract descriptive factors.

The fourth chapter provides a review of the literature written on this topic.

In the fifth and sixth chapters, we use the data obtained in the second and third chapters to construct models, which are subsequently evaluated.

Keywords: Inflation, CAP, FLOOR , options, ECB

Obsah

Úvod **9**

1 Úvod do témy **10**

1.1 Európska centrálna banka 10

1.2 Úlohy a ciele ECB 10

1.3 Inflačné očakávania a ich rola v rozhodovaní ECB 11

1.4 Nástroje ECB 12

2 Inflačné očakávania na základe opcií **15**

2.1 Inflačné deriváty 15

2.2 CAP a FLOOR opcie 16

2.3 Likvidita trhu s inflačnými opciami 18

2.4 Rozdelenie pravdepodobnosti 18

2.5 Výsledky 25

3 Šoky menovej politiky **27**

3.1 Databáza menových šokov 28

3.2 Faktorová analýza 30

3.3 Dva faktory 36

3.4 Preškálovanie faktorov 38

3.5 Lineárna regresia 39

4 Prehľad literatúry a doterajšie empirické výsledky **40**

4.1 Náš prínos do témy 42

5 Vplyv menových šokov na očakávanú infláciu **43**

5.1 Porovnanie s reálnou infláciou 43

5.2 Tvorba modelov 44

5.3 Rozdelené obdobia 46

5.4 Kontrolné premenné 50

6 Skúšky robustnosti **53**

Záver **58**

Zoznam použitej literatúry **60**

Úvod

Menová politika centrálnej banky je kľúčovým nástrojom na udržiavanie cenovej stability a podporu trvalo udržateľného hospodárskeho rastu. Na to, aby mohla byť efektívne nastavená, je nevyhnutné dôkladne porozumieť aktuálnej makroekonomickej situácii a zároveň prihliadať na očakávania rôznych účastníkov ekonomiky. Tie sa netýkajú len budúceho vývoja inflácie a úrokových sadzieb, ale zahŕňajú aj širšie súvislosti, ako sú trendy v globálnom hospodárstve, spotrebiteľské správanie, investičná aktivita či vývoj mzdovej politiky.

Centrálne banky, vrátane Európskej centrálnej banky (ECB), čelia výzve, ako čo najpresnejšie odhadnúť tieto očakávania a začleniť ich do svojich rozhodnutí. Keďže očakávania aktérov ako domácnosti, podniky, finančné inštitúcie či analytici priamo ovplyvňujú ich ekonomické rozhodnutia, majú nepriamy, ale výrazný vplyv na budúci vývoj kľúčových makroekonomických premenných, ako sú inflácia, ekonomický rast alebo zamestnanosť. Pre efektívne zvládanie rizík a podporu cenovej stability je preto nevyhnutné, aby centrálne banky disponovali presnými nástrojmi na interpretáciu a analýzu týchto očakávaní.

Finančné trhy predstavujú dôležitý zdroj informácií o trhových očakávaniach, keďže na nich pôsobia tisíce subjektov, ktoré neustále reagujú na nové správy a upravujú svoje predpoklady. Ceny finančných aktív – ako sú dlhopisy, akcie, komodity či deriváty – v sebe často nesú implicitné odhady budúceho vývoja inflácie a úrokových sadzieb.

Mimoriadne cenné sú v tomto smere finančné deriváty priamo viazané na infláciu alebo úrokové sadzby. Tieto nástroje poskytujú pohľad na očakávania trhu, ktorý môže byť pre centrálnu banku významný pri predvídaní potenciálnych rizík a zmien ekonomických trendov.

Cieľom tejto diplomovej práce je odvodiť z cien CAP a FLOOR opcií na infláciu rizikovo neutrálne pravdepodobnostné rozdelenie trhom očakávanej inflácie, a na základe týchto údajov následne navrhúť model, ktorý analyzuje, ako sa tieto očakávania menia v reakcii na zmeny v menovej politike Európskej centrálnej banky.

1 Úvod do témy

1.1 Európska centrálna banka

Európska centrálna banka (ECB) zohráva zásadnú úlohu pri riadení menového systému v eurozóne. Jej hlavnou úlohou je správa obeživa, ochrana hodnoty meny a zabezpečenie stability finančného systému. ECB tiež plní funkciu banky bánk, keďže poskytuje služby komerčným bankám. ECB si, rovnako ako iné centrálne banky, zachováva nezávislosť pri rozhodovaní, čo zvyšuje jej dôveryhodnosť aj v očiach verejnosti, keďže svoje rozhodnutia prijíma bez priameho politického vplyvu[6] [34].

1.2 Úlohy a ciele ECB

Európska centrálna banka začala v roku 1999 plniť úlohu hlavného tvorcu menovej politiky pre krajiny eurozóny. Slovensko sa k týmto krajinám pripojilo 1. januára 2009 prijatím eura, čím ECB prevzala menovopolitické kompetencie od Národnej banky Slovenska[13].

Hlavným cieľom ECB je udržiavať cenovú stabilitu v eurozóne, čo znamená zabezpečiť, aby inflácia bola na úrovni 2 % v strednodobom horizonte. Tento cieľ je symetrický, čo znamená, že ECB považuje odchýlky nad aj pod touto hodnotou za rovnako nežiaduce[14].

Cenová stabilita je kľúčová pre zachovanie kúpnej sily eura a pre podporu hospodárskeho rastu a zamestnanosti. Príliš vysoká inflácia môže znižovať hodnotu úspor a príjmov, zatiaľ čo príliš nízka inflácia alebo deflácia môže viesť k odkladaniu spotreby a investícií, čo spomaľuje ekonomiku[15].

Okrem cenovej stability ECB plní aj ďalšie dôležité úlohy, ako je správa devízových rezerv, dohľad nad komerčnými bankami v rámci jednotného mechanizmu dohľadu, vydávanie eurových bankoviek a mincí, podpora plynulého fungovania platobných systémov a informovanie verejnosti o stave ekonomiky a nastavení menovej politiky [16]. Popri svojom primárnom mandáte má ECB aj tzv. sekundárny cieľ, ktorý spočíva v podpore všeobecných hospodárskych politík Európskej únie. Tento cieľ je však podmienený tým, že nie je v rozpore s cieľom cenovej stability. Ak teda ECB úspešne zabezpečuje cenovú stabilitu, mala by zároveň podporovať udržateľný hospodársky rast, vysokú zamestnanosť a sociálnu súdržnosť v rámci EÚ [17].

1.3 Inflačné očakávania a ich rola v rozhodovaní ECB

Inflačné očakávania sú neoddeliteľnou súčasťou menovopolitického rozhodovania ECB. Očakávania ovplyvňujú správanie ekonomických subjektov ešte predtým, ako sa zmeny v menovej politike prejavia v reálnych ukazovateľoch. ECB preto venuje zvýšenú pozornosť ich vývoju. [18].

Pre centrálnu banku existujú tri kľúčove skupiny, ktorých očakávania o budúcom vývoji inflácie sleduje: analytici a prognostici, finančné trhy a domácnosti.

Analytici a profesionálni prognostici, napríklad respondenti ECB Survey of Professional Forecasters (SPF), poskytujú kvalifikované kvantitatívne odhady inflácie na rôzne časové horizonty. Ich predpoklady bývaju založené na modeloch a dátach, vďaka čomu sú ich očakávania vnútorne konzistentné a nie sú až tak ovplyvnené emóciami. Očakávania tejto skupiny sa považujú za relatívne stabilné a ukotvené [18][20]. Rizikom pri tejto skupine je pomalšia reakcia na výraznejšie zmeny trendov, ktoré modely zvyčajne zachytia neskôr než finančné trhy a domácnosti.

Domácnosti vytvárajú očakávania prevažne na základe osobných skúseností, vývoja cien bežných tovarov (napr. potravín, energií) a správ z médií. Aj keď sú ich predpoklady často viac volatilné, poskytujú dôležitý pohľad na to, ako verejnosť vníma vývoj cien. V prípade týchto dát je trend vývoja užitočnejší než samotná nominálna hodnota, ktorú domácnosti majú tendenciu nadhodnocovať. ECB analyzuje tieto dáta v rámci spotrebiteľských prieskumov (Consumer Expectations Survey – CES) a zohľadňuje ich pri hodnotení dôvery voči menovej politike.[46][20]

Finančné trhy odhaľujú implicitné inflačné očakávania prostredníctvom nástrojov ako sú inflačné dlhopisy, inflačné swapy a opcie na infláciu. Môžu poskytnúť informácie o očakávanom vývoji inflácie v reálnom čase. Ich výhodou je vysoká frekvencia údajov a rýchla reakcia na nové informácie. Na druhej strane však môžu byť ovplyvnené likviditou, rizikovými prirážkami či špecifickou trhovou štruktúrou, čo môže komplikovať identifikáciu skutočných inflačných očakávaní z trhových cien[20]. V prípade trhových očakávaní sú dôležité aj ich časové horizonty. Kým kratšie očakávania reflektujú najmä aktuálne šoky, tak dlhšie očakávania odrážajú dôveryhodnosť centrálnej banky a dôveru investorov v schopnosť centrálnej banky plniť svoj mandát.

Najznámejším prípadom, keď sa trhové inflačné očakávania stali priamym vstupom do rozhodovania ECB, bolo vystúpenie prezidenta ECB Maria Draghiho na tlačovej konferencii 4. septembra 2014. V odpovedi na otázku novinára Draghi po prvýkrát explicitne poukázal na to, že ECB sleduje päťročné inflačné očakávania o päť rokov (5Y5Y inflation swap forward), pričom uviedol: *„Pozorujeme pokles všetkých ukazovateľov inflačných očakávaní naprieč všetkými splatnosťami. Ako som mal možnosť povedať v Jackson Hole, jeden z najpoužívanejších ukazovateľov – päťročné inflačné očakávania o päť rokov – klesli o zhruba 18 bázických bodov, teda tesne pod dve percentá."* [11].

Tento výrok nasledoval po jeho prejave na výročnom sympóziu centrálnych bánk v Jackson Hole dňa 22. augusta 2014, kde Draghi upozornil, že trhové inflačné očakávania merané 5y5y swapom klesli na úroveň pod 2 %, čo označil za dôležitý signál oslabenia dôvery trhu v schopnosť ECB plniť svoj cenový mandát [12]. Obe tieto vystúpenia sa interpretujú ako zlomový moment, ktorý pripravil pôdu pre zavedenie rozsiahlych nákupov aktív a výraznejšie zakotvil trhové očakávania ako súčasť menovopolitického rámca ECB.

ECB využíva kombináciu týchto zdrojov na komplexné vyhodnotenie inflačných očakávaní v ekonomike. Konečné nastavenie strednodobého rámca menovej politiky ECB je potom kombináciou odhadov od všetkých trhových aktérov a predikcií analytických útvarov ECB tak aby sa inflácia na konci predikčného horizontu priblížila k cieľu na úrovni 2% .

1.4 Nástroje ECB

Európska centrálna banka disponuje súborom nástrojov, ktorými ovplyvňuje vývoj úrokových mier, úverovú aktivitu, inflačné očakávania a celkovú ekonomickú aktivitu. Cieľom týchto nástrojov je zabezpečiť cenovú stabilitu a tým, prispievať k stabilnému hospodárskemu prostrediu v eurozóne.

Základným a najdôležitejším nástrojom konvenčného rámca menovej politiky ECB sú úrokové sadzby, prostredníctvom ktorých ECB ovplyvňuje vývoj trhových sadzieb a úverových podmienok v celej eurozóne. ECB stanovuje tri základné sadzby:

- **Sadzba hlavných refinančných operácií (MRO)** – úroková sadzba, za ktorú si môžu komerčné banky požičať od ECB v tendroch. Je nižšia ako MLF.

- **Sadzba jednodňových refinančných operácií (MLF)** – určuje hornú hranicu pohybu krátkodobých úrokových sadzieb. Za túto sadzbu si môžu komerčné banky automaticky požičať od ECB neobmedzené množstvo likvidity.

- **Sadzba jednodňových sterilizačných operácií (DF)** – predstavuje dolnú hranicu krátkodobých sadzieb na medzibankovom trhu, keďže banky ju inkasujú za jednodňové vklady v ECB. V čase prebytočnej likvidity slúži ako referenčná sadzba.

TIeto sadzby vytvárajú pásmo, v ktorom sa pohybujú sadzby na peňažnom trhu. Zmena základných sadzieb ECB má okamžitý dopad na finančné trhy a cez transmisný mechanizmus s oneskorením ovplyvňuje spotrebu, investície, dopyt a napokon aj infláciu. V prostredí štandardnej menovej politiky sú tieto sadzby základným nástrojom pre dosahovanie cieľov ECB [21].

V prostredí nulových alebo záporných úrokových sadzieb a obmedzenej účinnosti tradičných nástrojov ECB od roku 2009 postupne zavádzala celý rad nekonvenčných opatrení:

- **Program nákupu aktív (APP)** – spustený v roku 2015, umožňuje nákup vládnych a podnikových dlhopisov s cieľom znížiť dlhodobé úrokové sadzby a podporiť úverovanie.[1]

- **Cielené dlhodobejšie refinančné operácie (TLTRO)** – dlhodobé úvery pre banky, ktoré sú podmienené rastom úverovania danej banky do reálnej ekonomiky, čím ECB priamo stimuluje úverové toky.

- **Pandemický núdzový program nákupu aktív (PEPP)** – zavedený v marci 2020 ako reakcia na pandémiu COVID-19 s cieľom znížiť fragmentáciu finančných trhov a udržať priaznivé podmienky financovania [22].

- **Forward guidance** – významný komunikačný nástroj, ktorý ECB oficiálne zaviedla v roku 2013. Ide o strategickú rétoriku, prostredníctvom ktorej ECB poskytuje trhom a verejnosti výhľad o svojich budúcich zámeroch ale aj o očakávaných budúcich reakciách v oblasti úrokových sadzieb a v oblasti nákupu aktív. Forward

[1] Od roku 2021 je APP zaradený do bežnej konvenčnej výbavy ECB.

guidance ovplyvňuje inflačné očakávania a prispieva k ukotveniu dôvery v politiku ECB[23][45].

- **Komunikačné nástroje** – ako tlačové konferencie, ekonomické bulletiny, blogy členov Rady guvernérov či zápisnice zo zasadnutí, slúžia na zvýšenie transparentnosti menovej politiky a posilnenie jej dôveryhodnosti [24].

Forward guidance a komunikačné stratégie sa dnes považujú za integrálnu súčasť menovopolitického rámca – sú nástrojmi, ktoré dopĺňajú tradičnú operatívnu činnosť ECB, najmä v čase zvýšenej neistoty a nízkej inflácie.

2 Inflačné očakávania na základe opcií

2.1 Inflačné deriváty

Na finančných trhoch majú investori prístup k širokému spektru inštrumentov, od tradičných akcií a dlhopisov až po komplexné derivátové produkty, ktoré zahŕňajú rôzne typy opcií, futures kontraktov či swapov. Každý z týchto inštrumentov má svoju cenu, ktorá sa v danom čase stanovuje na základe interakcie medzi ponukou a dopytom. Cena nie je náhodná, ale predstavuje dynamickú rovnováhu medzi subjektmi, ktoré v danom momente obchodujú na trhu. Tieto subjekty zahŕňajú široké spektrum účastníkov, od individuálnych investorov, cez veľké finančné inštitúcie[2], až po centrálne banky.

Podľa teórie efektívneho trhu sú v trhovej cene premietnuté všetky verejne dostupné informácie. To znamená, že ceny aktív na finančných trhoch reflektujú nielen súčasný stav ekonomiky, ale aj očakávania o jej budúcom vývoji. [35]

Pre centrálne banky, ktoré nesú zodpovednosť za udržiavanie cenovej stability a podporu ekonomického rastu, je práve pohľad na finančný trh mimoriadne užitočný. Trhové ceny finančných derivátov ponúkajú unikátnu možnosť odvodiť rizikovo neutrálne očakávania investorov a inštitúcií. Tieto očakávania nie sú len teoretické alebo hypotetické – sú podložené konkrétnymi rozhodnutiami a alokáciou finančných zdrojov zo strany subjektov, ktoré sú ochotné podstúpiť riziko na základe svojich predpokladov o budúcom vývoji. Tým sa trhové ceny stávajú nielen odrazom aktuálnej ekonomickej situácie, ale aj nástrojom, ktorý umožňuje centrálnej banke nahliadnuť do budúcich makroekonomických trendov a lepšie porozumieť očakávaniam trhu.

[2]Príklad využitia inflačných opcií finančnou inštitúciou: https://www.bloomberg.com/news/articles/2010-09-15/pimco-makes-8-1-billion-bet-against-lost-decade-of-deflation.

2.2 CAP a FLOOR opcie

Pre účely našej práce využijeme eurozónové inflačné CAP a FLOOR opcie, ktorých referenčným indexom je Harmonizovaný index spotrebiteľských cien bez tabaku (HICPxT).

Na finančných trhoch sa v prípade opcií najčastejšie stretávame s CALL a PUT opciami. CALL opcia predstavuje v prípade nákupu právo nakúpiť podkladové aktívum za realizačnú (strike) cenu, a PUT opcia predstavuje v prípade nákupu právo predať podkladové aktívum za realizačnú(strike) cenu. V prípade európskych typov opcií vie držiteľ týchto opcií toto právo uplatniť len v čase exspirácie. V prípade amerických opcií môže svoje právo uplatniť kedykoľvek od momentu nákupu až do exspirácie.

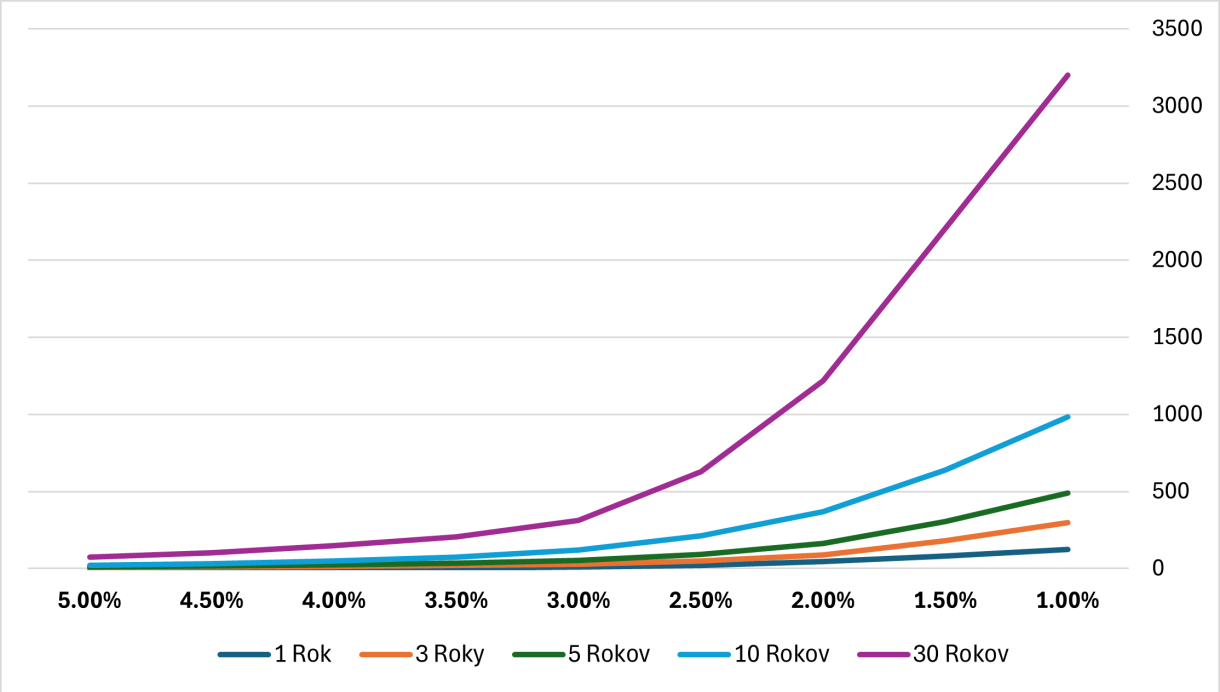
V prípade opcií zameraných na infláciu alebo úrokové sadzby sa namiesto pojmov CALL a PUT častejšie stretávame s pojmami CAP a FLOOR.[19][8] Tieto nástroje sú špecifické tým, že ich realizačná (strike) cena je vyjadrená ako percentuálna miera inflácie alebo úrokových sadzieb. CAP opcia je funkčne ekvivalentná sérii CALL opcií.[37] Jej držiteľ však nemá možnosť kúpiť podkladové aktívum, keďže podkladom je v tomto prípade inflácia, ktorá nie je priamo obchodovateľná. Namiesto toho držiteľ CAP opcie získava hotovostné vyrovnanie, ak sa hodnota inflácie vyvíja v jeho prospech, teda prekročí stanovenú realizačnú hodnotu. Takýto derivát môžu využiť napríklad firmy, pre ktoré je inflácia podnikateľským rizikom, keďže nedokážu celý nárast cenovej hladiny efektívne preniesť na zákazníkov. Podobne FLOOR opcia slúži ako nástroj na ochranu pred poklesom inflácie alebo úrokových sadzieb pod určitú úroveň, pričom jej držiteľ dostane hotovostné vyrovnanie, ak sa hodnota inflácie alebo sadzieb nachádza pod realizačnou hodnotou. V tejto práci sa budeme zaoberať bezkupónovými opciami, ktorých výplatná funkcia *(payoff)* na konci obdobia má nasledovnú podobu:[37]:

$$\text{Payoff}_{\text{CAP}} = N \cdot \max\left(\prod_{i=1}^{n}(1+\pi_i) - (1+\text{Strike})^n, 0\right) \tag{1}$$

$$\text{Payoff}_{\text{Floor}} = N \cdot \max\left((1+\text{Strike})^n - \prod_{i=1}^{n}(1+\pi_i), 0\right) \tag{2}$$

- N: Nominálna hodnota , na ktorú sa opcia vzťahuje.
- π_i: Ročná inflácia v i-tom roku, vyjadrená ako percentuálna zmena.
- Strike: Realizačná hodnota inflácie, voči ktorej sa počíta vyrovnanie.
- n: Počet rokov, počas ktorých je opcia aktívna.

V prípade bezkupónovej opcie tak investor porovnáva strike hodnotu danej opcie, a geometrický priemer inflácie za dobu platnosti tejto opcie. Na finančnom trhu je možné pozorovať ceny takýchto opcií pre rôzne doby exspirácie, a tiež rôzne strike hodnoty inflácie. Ceny opcií sú vyjadrené ako percentuálny podiel z nominálnej hodnoty, vyjadrený v bázických bodoch. Ceny CAP opcií zo dňa 12. 1. 2025 môžeme vidieť na Obr 1. Napríklad za ročné poistenie proti inflácii nad 1 % na hodnotu 1 000 000 € by investor 12. 1. 2025 musel zaplatiť sumu 12 323 €. Ak by sa na rovnakú sumu chcel poistiť na 30 rokov, musel by zaplatiť až 320 168 €.



Obr. 1: Ceny Cap opcií v bázických bodoch 12.1.2025. (Zdroj dát: Bloomberg terminal)

2.3 Likvidita trhu s inflačnými opciami

Podstatnou informáciou o každom trhu je jeho likvidita. Likvidita na trhu s inflačnými opciami v eurozóne je stále relatívne obmedzená. Podľa práce Bank of England je však vyššia ako likvidita na podobných trhoch v USA alebo Veľkej Británii [2]. Obchodovanie na týchto trhoch však prebieha takmer výhradne mimo burzy formou takzvaných *Over the counter (OTC)* obchodov, kedy sa na konkrétnej cene dohodnú medzi sebou priamo dve obchodujúce strany.

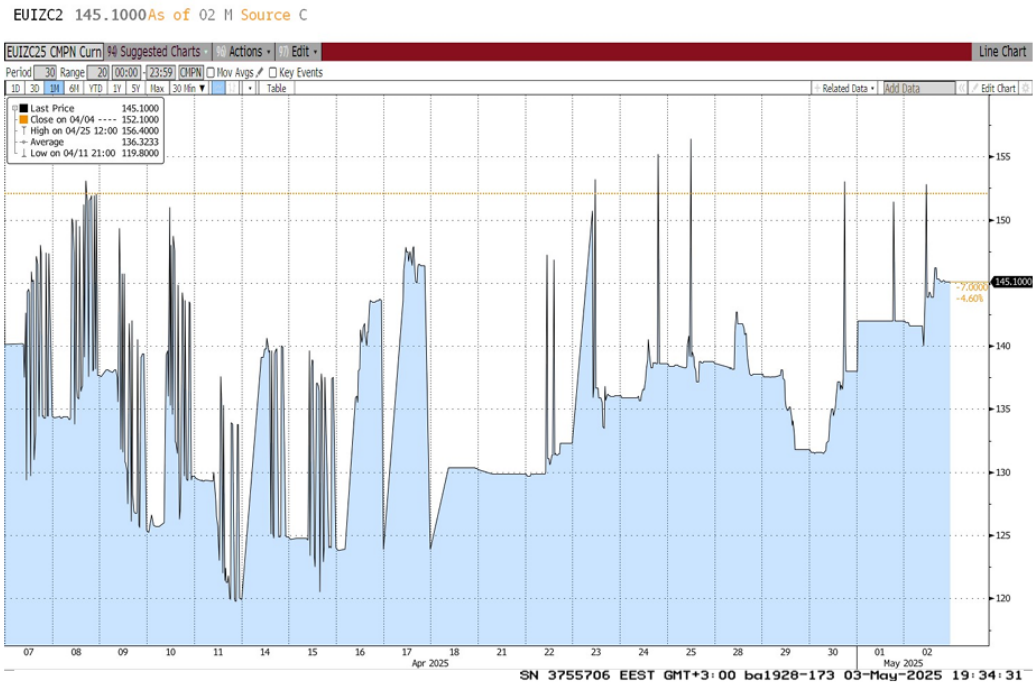
Medzi nákupcov dlhších splatností patria v eurozóne najmä penzijné fondy.[2] Naopak, kratšie maturity sú využívané primárne hedžovými fondami. Zoznam obchodovaných strike cien sa líši podľa trhovej situácie. V časoch, keď sa trh obáva vysokej inflácie, bude likvidita na záporné hodnoty inflácie prakticky nulová a likvidita sa koncentruje skôr na vyššie strike hodnoty. V prípade deflačných obáv sa zase likvidita koncentruje pri nízkych strike hodnotách okolo nuly a opcie chrániace proti vysokej inflácii sa prakticky neobchodujú, keďže takýto scenár investori nepovažujú za realistický.

Napriek vyššej volatilite, ktorú môžeme vidieť v mesačnom vývoji päťročnej CAP opcie na obr. 2, sú dlhodobejšie informácie z týchto trhov dostatočne kvalitné na to, aby sme s nimi mohli ďalej pracovať.

2.4 Rozdelenie pravdepodobnosti

Pre účely odhadovania inflácie z týchto dát je potrebné ich transformovať do pravdepodobnosti rôznych scenárov budúceho vývoja inflácie. Cena opcií je tvorená dvomi zložkami, ktoré nie je možné od seba odseparovať. Prvou je cena pri rizikovo neutrálnej pravdepodobnosti. Druhou zložkou je riziková prirážka. Riziková prirážka predstavuje rozdiel medzi cenou, ktorú by opcia mala v prípade dokonalého rizikovo neutrálneho trhu, a skutočnou cenou, kde sa na trhu stretla ponuka a dopyt.

Na určitých typoch trhov sa dá riziková prirážka pozorovať relatívne presne. Takýmto príkladom môžu byť výnosy štátnych dlhopisov krajín eurozóny, ktoré sa porovnávajú relatívne k výnosom nemeckých štátnych dlhopisov[10]. Rozdiel medzi týmito výnosmi predstavuje rizikovú prirážku danej krajiny. Výnos na iných ako nemeckých eurových dlhopisoch je potom zložený z viacerých zložiek, pričom najvýznamnejšie sú dve zložky: bezrizikový výnos a prirážky za riziko krajiny.



Obr. 2: Vývoj ceny 5-ročnej CAP opcie na strike hodnotu 2% v období od 7.4.2025 do 2.5.2025 (Zdroj snímku: Bloomberg terminal)

Pri inflačných opciách ich rozdeliť nevieme, keďže neexistuje bezriziková cena, s ktorou by sme trhové ceny mohli porovnať. Z cien opcií však vieme odhadnúť rizikovo neutrálnu pravdepodobnosť, s ktorou budeme ďalej pracovať.

Pre pravdepodobnostné rozdelenie inflácie $p(\pi)$ na časovom období T môžeme vyjadriť cenu CAP opcie $C(K)$ ako funkciu strike ceny K nasledovne[4][19][43]:

$$C(K) = e^{-rT} \int_K^\infty (\pi - K) \cdot p(\pi)\, d\pi, \tag{3}$$

kde:

- π je realizovaná miera inflácie,
- K je strike cena ,
- $p(\pi)$ je rizikovo neutrálna pravdepodobnostná hustota inflácie,
- r je bezriziková úroková sadzba.

Rizikovo neutrálna pravdepodobnosť sa dá vyjadriť ako druhá derivácia ceny podľa K[43][48][4]. Prvou deriváciou ceny CAP opcie $C(K)$ podľa K získame:

$$\frac{\partial C}{\partial K} = \frac{\partial}{\partial K}\left(e^{-rT}\int_K^\infty (\pi - K)\cdot p(\pi)\,d\pi\right). \tag{4}$$

Keďže e^{-rT} je konštanta vzhľadom na K, môžeme ju vyňať pred deriváciu:

$$\frac{\partial C}{\partial K} = e^{-rT}\cdot\frac{\partial}{\partial K}\int_K^\infty (\pi - K)\cdot p(\pi)\,d\pi. \tag{5}$$

Aplikujeme pravidlo derivácie integrálu podľa dolnej hranice K, ktoré hovorí:

$$\frac{\partial}{\partial K}\int_K^\infty f(\pi, K)\,d\pi = -f(K,K) + \int_K^\infty \frac{\partial f(\pi,K)}{\partial K}\,d\pi. \tag{6}$$

Funkcia $f(\pi, K)$ v našom prípade je:

$$f(\pi, K) = (\pi - K)\cdot p(\pi). \tag{7}$$

Použitím pravidla derivácie (6) na funkciu $f(\pi, K)$ z rovnice (7) dostávame dva členy:

$$\frac{\partial C}{\partial K} = e^{-rT}\cdot\left[-(\pi - K)\cdot p(\pi)\Big|_{\pi=K} + \int_K^\infty \frac{\partial}{\partial K}\Big[(\pi - K)\cdot p(\pi)\Big]\,d\pi\right]. \tag{8}$$

Prvý člen $-(\pi - K)\cdot p(\pi)\Big|_{\pi=K}$ sa po dosadení $\pi = K$ stáva:

$$(\pi - K)\Big|_{\pi=K} = K - K = 0, \tag{9}$$

Ostáva druhý člen, ktorý závisí od derivácie výrazu $(\pi - K)\cdot p(\pi)$ podľa K.

$$\frac{\partial}{\partial K}(\pi - K) = -1.$$

Z toho dostávame:

$$\frac{\partial}{\partial K}\Big[(\pi - K)\cdot p(\pi)\Big] = -p(\pi). \tag{10}$$

Dosadením späť do rovnice (8) dostávame:

$$\frac{\partial C}{\partial K} = e^{-rT}\cdot\int_K^\infty -p(\pi)\,d\pi. \tag{11}$$

Výsledná derivácia ceny CAP opcie podľa K je:

$$\frac{\partial C}{\partial K} = -e^{-rT}\cdot\int_K^\infty p(\pi)\,d\pi. \tag{12}$$

Rovnako vypočítame druhú deriváciu podľa K:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial K^2} = \frac{\partial}{\partial K}\left(-e^{-rT}\cdot\int_K^\infty p(\pi)\,d\pi\right). \tag{13}$$

Keďže $-e^{-rT}$ je konštanta vzhľadom na K, môžeme ju vyňať pred deriváciu:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial K^2} = -e^{-rT} \cdot \frac{\partial}{\partial K} \int_K^\infty p(\pi)\, d\pi. \tag{14}$$

Aplikujeme pravidlo derivácie integrálu podľa dolnej medze K:

$$\frac{\partial}{\partial K} \int_K^\infty p(\pi)\, d\pi = -p(K). \tag{15}$$

Dosadením výsledku (15) do rovnice (14) dostávame:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial K^2} = -e^{-rT} \cdot \Big(- p(K)\Big). \tag{16}$$

Zjednodušením výrazov získavame:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial K^2} = e^{-rT} \cdot p(K). \tag{17}$$

Výsledná druhá derivácia ceny CAP opcie podľa K je:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial K^2} \cdot e^{rT} = p(K). \tag{18}$$

Rovnakým spôsobom ako pri CAP opcii (18) sa dopracujeme k identickému výsledku aj pri FLOOR opcii.(19)

$$C(K) = e^{-rT} \int_{-\infty}^K (K - \pi) \cdot p(\pi)\, d\pi \tag{19}$$

$$\frac{\partial C(K)}{\partial K} = e^{-rT} \cdot \int_{-\infty}^K p(\pi)\, d\pi \tag{20}$$

$$\frac{\partial^2 C(K)}{\partial K^2} \cdot e^{rT} = p(K) \tag{21}$$

Pre účely našej práce by sme odvodenie pomocou derivácie mohli robiť v prípade existencie strike cien, ktoré by boli spojité. Na finančných trhoch sa však obchodujú len také strike ceny, ktoré sú násobky 50 bázických bodov. Pre prácu s nespojitými dátami nahradíme deriváciu diferenciou D. (22)

$$\mathrm{D}_{i\to(i+\Delta x_i)} = 0.0001 \cdot \frac{x_{i+\Delta x_i} - x_i}{\Delta x_i} \tag{22}$$

Kde:

- x_i je cena opcie so strikom i,
- $x_{i+\Delta x_i}$ je cena opcie so strikom $i + \Delta x_i$,

- Δx_i je rozdiel medzi susednými strike hodnotami,
- 0.0001 je škálovací faktor.

Pre účely tejto práce sme sledovali opčné dáta štyroch rôznych maturít. Pozerali sme sa na 1-ročné, 3-ročné, 5-ročné a 10-ročné inflačné CAP a FLOOR opcie. Pre 1-ročné a 3-ročné dáta bol počet realizačných (strike) hodnôt, na ktoré boli opcie obchodované, nižší.

1-ročné a 3-ročné dáta:

- CAP strike: $2\%, 3\%, 4\%, 5\%$
- FLOOR strike: $-1\%, 0\%, 1\%, 2\%$

5-ročné a 10-ročné dáta:

- CAP strike: $2\%, 2.5\%, 3\%, 3.5\%, 4\%, 4.5\%, 5\%$
- FLOOR strike: $-1\%, -0.5\%, 0\%, 0.5\%, 1\%, 1.5\%, 2\%$

Hodnota Δx_i je pre 1-ročné a 3-ročné dáta 100 bázických bodov a pre 5-ročné a 10-ročné dáta 50 bázických bodov.

Po aplikovaní prvej diferencie získame preškálované diferencie jednotlivých intervalov pre strike ceny. Okrem cien opcií so strikeom 5% a 2% v prípade CAP opcií a strikeom -1% a 2% v prípade FLOOR opcií sa každá ďalšia cena vyskytla v dvoch rôznych diferenciách. V prvom prípade ako horná hodnota $x_{i+\Delta x_i}$ a v druhom prípade ako spodná hodnota diferencie Δx_i. Keďže diskontovanie je vzhľadom na druhú deriváciu konštantné, aplikujeme ho na prvé diferencie. Pre každú strike hodnotu vzniknú dve diskontované prvé diferencie (23)(24).

$$D_m_i = 1 + \frac{\mathrm{D}_{(i-\Delta x_i)\to i} \cdot (1+r_n)^N}{N \cdot (1+i)^{N-1}} \tag{23}$$

$$H_m_i = 1 + \frac{\mathrm{D}_{i\to(i+\Delta x_i)} \cdot (1+r_n)^N}{N \cdot (1+i)^{N-1}} \tag{24}$$

kde

- r_n je bezriziková úroková sadzba pre n-ročné obdobie ,

- i je strike hodnota inflácie,
- N je počet rokov do exspirácie ,
- D_m je dolná medza ,
- H_m je horná medza.

Pre hraničné prípady strike hodnôt, ktorými sú 5% v prípade CAP opcií a 2% v prípade FLOOR opcií, použijeme ako hornú medzu hodnotu 1. Pre hraničné strike hodnoty 2% v prípade CAP a -1% v prípade FLOOR použijeme ako hodnotu dolnej medze 0. Po tejto úprave je ešte nutné ošetriť prípad, keď sa strike hodnota inflácie rovná 2%, keďže táto hodnota sa nachádza aj pri FLOOR aj pri CAP opciách(25)(26).

$$D_m_{0.02} = \max\left(D_m_{\mathrm{F},0.02}, D_m_{\mathrm{C},0.02}\right) \tag{25}$$

$$H_m_{0.02} = \min\left(H_m_{\mathrm{F},0.02}, H_m_{\mathrm{C},0.02}\right) \tag{26}$$

Celková diskontovaná prvá diferencia je kumulatívna distribučná funkcia a jej výsledná hodnota pre strike i bude v tvare (27).

$$\mathrm{D}_i = \frac{H_m_i + D_m_i}{2} \tag{27}$$

Po takejto úprave môžeme prvé diferencie z CAP aj FLOOR opcií spojiť do jedného dátového súboru. Takéto dáta ukazovali rizikovo neutrálnu kumulatívnu distribučnú funkciu pre strike i. Pre získanie rizikovo neutrálnej pravdepodobnosti pre každý interval musíme urobiť druhú diferenciu. (42).

$$\Delta^2\mathrm{D}_{i\to(i+1)} = \mathrm{D}_{i+1} - \mathrm{D}_i \tag{28}$$

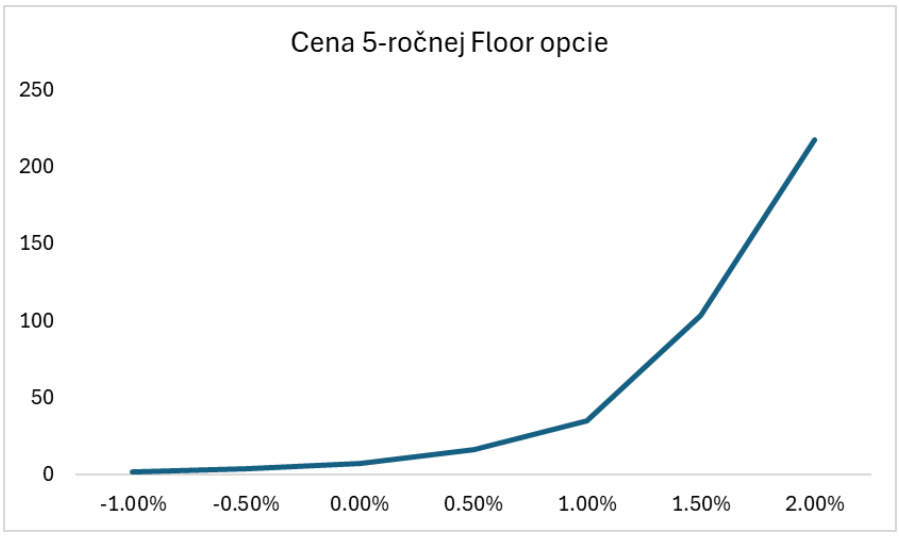
Pre krajné prípady odvodenia rizikovo neutrálnej pravdepodobnosti platia špeciálne prípady. (29)(30)

$$\Delta^2\mathrm{D}_{\min} = \mathrm{D}_{\min} \tag{29}$$

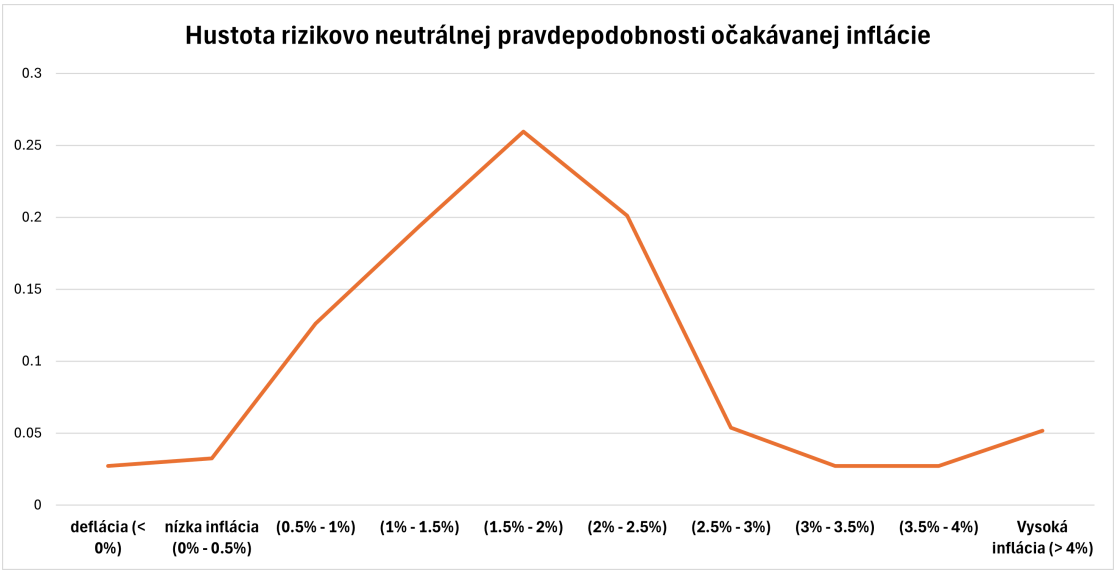
$$\Delta^2\mathrm{D}_{\max} = 1 - \mathrm{D}_{\max} \tag{30}$$

Kde:

- $\Delta^2 D_{min}$ je druhá diferencia pre najnižšiu strike hodnotu i,
- $\Delta^2 D_{max}$ je druhá diferencia pre najvyššiu strike hodnotu i.



Obr. 3: Cena 5-ročných FLOOR opcií v bázických bodoch ku dňu 18.12.2024 (Zdroj: Bloomberg Terminal)

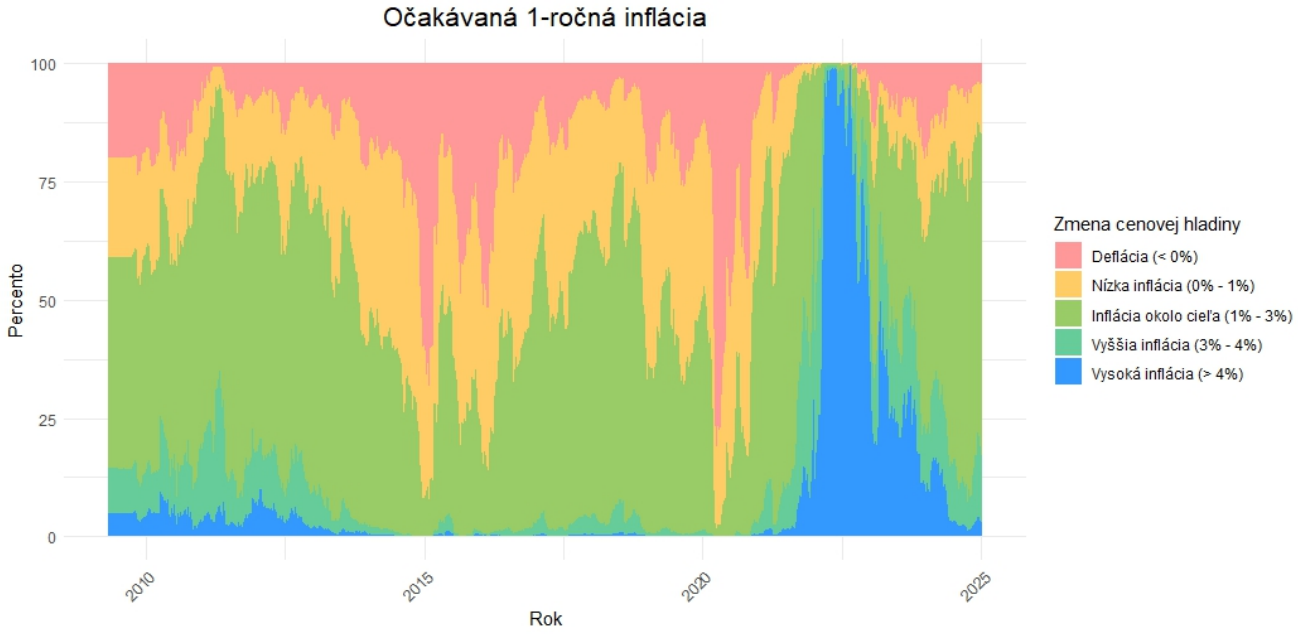


Obr. 4: Hustota rizikovo neutrálnej pravdepodobnosti inflácie na 5 rokov ku dňu 18.12.2024

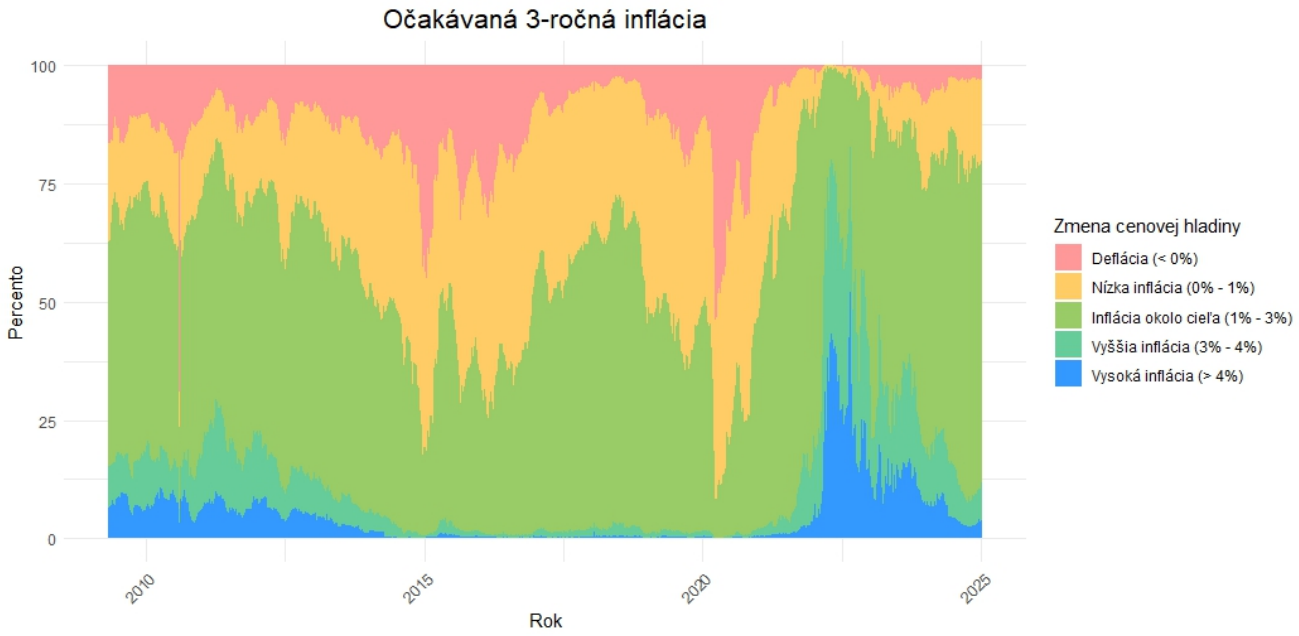
2.5 Výsledky

Rizikovo neutrálne pravdepodobnosti rozdelenia trhom očakávanej inflácie na nami sledovaných dobách exspirácie vyzerajú následovne: (5)(6)(7)(8).

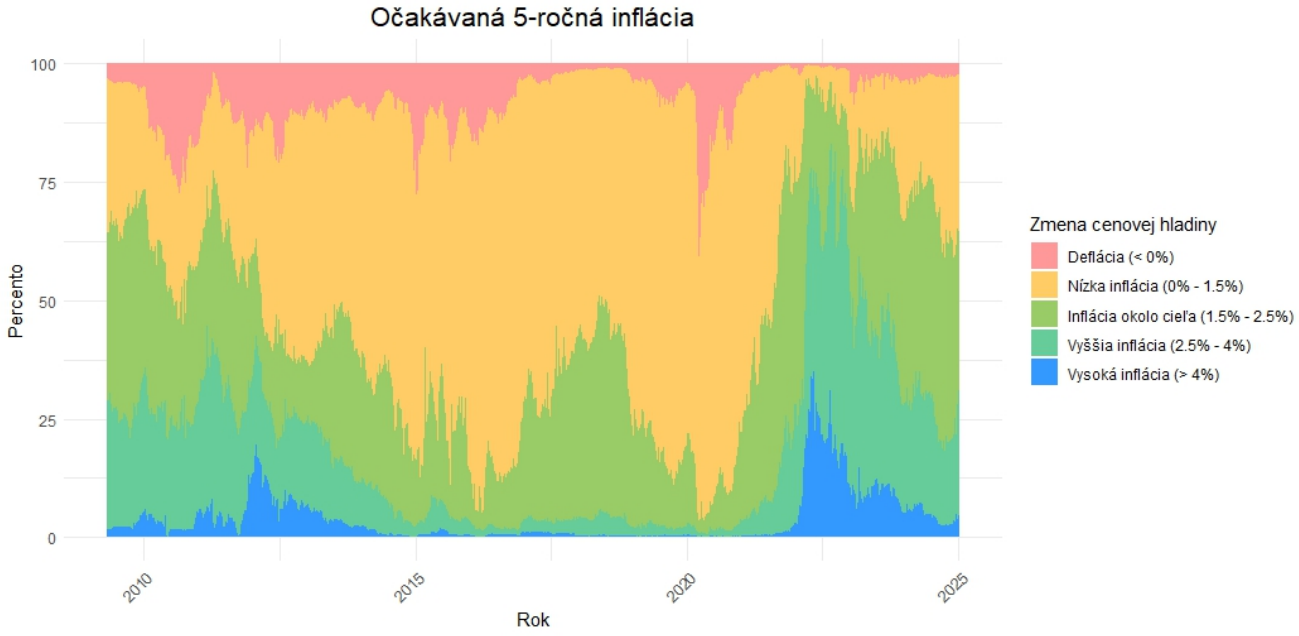
Pri jednoročnej očakávanej inflácii môžeme vidieť najväčšiu volatilitu, čo je vzhľadom na najkratší horizont očakávané. V rokoch 2021-2022 bola pravdepodobnosť vyššej ako 4% inflácie miestami až 100%. Naopak, pri 10-ročnej očakávanej inflácii pravdepodobnosť nikdy nepresiahla ani 25%. Vývoj v grafoch korešponduje s ekonomickou situáciou v eurozóne. Pravdepodobnosť vysokej inflácie v období od roku 2014 do roku 2021 klesla prakticky na nulu. Nárast očakávanej inflácie, ktorý v grafoch môžeme vidieť modrou farbou, korešponduje s obdobím začiatku energetickej krízy v eurozóne, ktorá odštartovala obdobie vysokej inflácie.



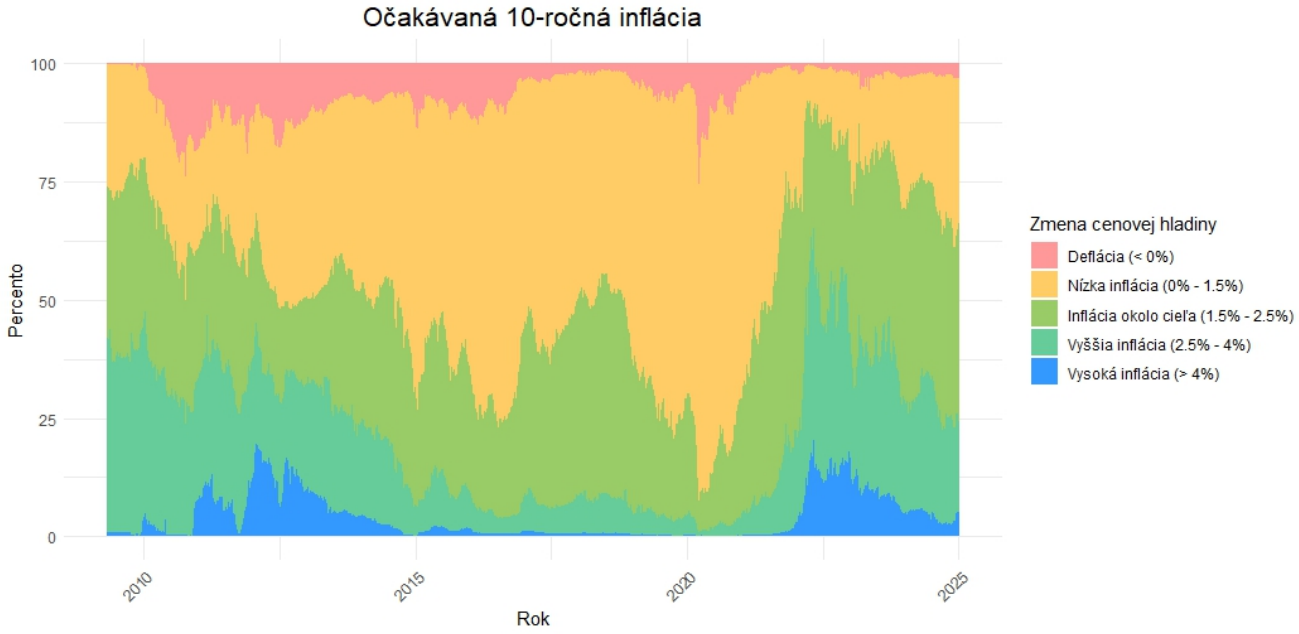
Obr. 5: Rizikovo neutrálne očakávanie finančných trhov na priemernú výšku inflácie na obdobie 1 roka



Obr. 6: Rizikovo neutrálne očakávanie finančných trhov na priemernú výšku inflácie na obdobie 3 rokov



Obr. 7: Rizikovo neutrálne očakávanie finančných trhov na priemernú výšku inflácie na obdobie 5 rokov



Obr. 8: Rizikovo neutrálne očakávanie finančných trhov na priemernú výšku inflácie na obdobie 10 rokov

3 Šoky menovej politiky

Rozhodovací proces Európskej centrálnej banky, týkajúci sa menovej politiky, predstavuje jeden z kľúčových pilierov riadenia ekonomického vývoja v eurozóne. Zasadnutia Rady guvernérov ECB sú centrálnym fórom, kde sa prijímajú rozhodnutia o úrokových sadzbách a iných nástrojoch menovej politiky, a zároveň ide o významný komunikačný nástroj smerom k trhom a verejnosti.

Od svojho vzniku v roku 1998 ECB zasadala každých 14 dní. Tento režim trval do konca roka 2001. Od roku 2002 sa zasadnutia konali raz mesačne, teda v 28-dňových intervaloch, čo znamenalo istú konsolidáciu rozhodovacieho procesu. Zásadná zmena nastala od januára 2015, keď ECB zaviedla nový harmonogram zasadnutí s cyklom každých 6 týždňov.

Cieľom tejto zmeny bolo znížiť zbytočnú trhovú volatilitu, umožniť dôkladnejšiu analýzu nových ekonomických údajov medzi jednotlivými rozhodnutiami a zvýšiť predvídateľnosť menovej politiky [26].

Každé menovopolitické zasadnutie ECB má štandardizovanú štruktúru, ktorá okrem samotného rozhodovania o úrokových sadzbách zahŕňa aj transparentnú komunikáciu

prijatých záverov.

Po ukončení zasadnutia je verejnosti doručené stručné vyhlásenie o menovej politike. Následne, približne o 45 minút neskôr, prebieha tlačová konferencia prezidenta ECB, na ktorej sa okrem prezentácie dôvodov rozhodnutia odpovedá aj na otázky médií. Forma komunikácie a odpovedí má zásadný vplyv na očakávania trhu.

Dôležitým prvkom transparentnosti je tiež zverejňovanie zápisníc zo zasadnutia – tzv. *minutes* – ktoré ECB publikuje s oneskorením približne troch týždňov. Ponúkajú podrobnejší pohľad na diskusie a rôzne názorové pozície v rámci Rady guvernérov, čím zvyšujú legitimitu prijatých rozhodnutí [27][28].

ECB má zároveň právomoc zvolať mimoriadne zasadnutie v prípade, ak si situácia na finančných trhoch alebo v ekonomike vyžaduje urgentnú reakciu.

Jeden z najvýznamnejších príkladov mimoriadneho zásahu ECB predstavuje rozhodnutie z 18. marca 2020, prijaté v reakcii na vypuknutie pandémie COVID-19. Rada guvernérov vtedy prostredníctvom nočného mimoriadneho zasadnutia rozhodla o zavedení pandemického núdzového nákupného programu (*Pandemic Emergency Purchase Programme* – PEPP) v hodnote 750 miliárd EUR, ktorého cieľom bolo stabilizovať výnosy dlhopisov a zabezpečiť funkčnosť úverových trhov. Zasadnutie prebehlo výnimočne formou videokonferencie [29][25]. Mimoriadne zasadnutia tak tvoria flexibilný prvok rámca menovej politiky, ktorý umožňuje ECB reagovať na externé šoky mimo štandardného kalendára.

3.1 Databáza menových šokov

V tejto práci využívame databázu zasadnutí ECB, ktorá sleduje menové šoky bezprostredne po zverejnení rozhodnutí centrálnej banky[30]. Menový šok je kvantifikovaný ako zmena výnosov *Overnight Indexed Swapov* (*OIS*) rôznej splatnosti. Konkrétne ide o rozdiel medzi mediánovou hodnotou výnosu daného indexu v časovom intervale 13:25 – 13:30 pred zasadnutím a mediánom výnosu v intervale 15:40 – 15:50 po zverejnení rozhodnutia ECB.

Overnight Index Swap (OIS) je finančný derivát, ktorého účelom je výmena úrokových platieb medzi dvoma protistranami. Jedna strana platí fixnú úrokovú sadzbu, zatiaľ čo druhá strana platí variabilnú sadzbu založenú na priemernej jednodňovej sadzbe za dané obdobie. V eurozóne sa táto variabilná sadzba viaže na index €STR. OIS kontrakty sa

považujú za kľúčový nástroj na odvodenie očakávaní trhu o budúcom vývoji bezrizikovej úrokovej miery [31].

OIS kontrakty majú rôzne splatnosti, od jedného týždňa po niekoľko rokov, pričom pri každej splatnosti kontrakt reflektuje očakávanú priemernú jednodňovú sadzbu počas daného obdobia. Tieto sadzby sú základom pre konštrukciu bezrizikovej výnosovej krivky a slúžia aj ako referenčná sadzba pri oceňovaní rôznych finančných nástrojov alebo ako vstup do modelov výpočtu menovopolitických šokov.

Výpočet vyrovnania OIS kontraktu sa uskutočňuje len v dobe exspirácie kontraktu, pričom sa porovnáva fixná sadzba s variabilnou sadzbou. Príslušný výpočet možno zapísať nasledovne:

$$\text{Fixná platba} = R_f \times N \times T \tag{31}$$

$$\text{Variabilná platba} = \left(\prod_{i=1}^{n} \left(1 + r_i \times \frac{d_i}{360} \right) - 1 \right) \times N \tag{32}$$

kde:

- R_f je dohodnutá fixná OIS sadzba,
- r_i je jednodňová sadzba za deň i,
- d_i je počet dní i,
- N je nominálna suma kontraktu ,
- T je dĺžka kontraktu v rokoch.

Vyrovnanie sa uskutočňuje vo forme platby rozdielu medzi týmito dvoma hodnotami. Vzhľadom na svoj charakter sa OIS používa aj na odhad reakcií trhov na menovopolitické oznámenia [41].

Tento spôsob merania neodhaľuje, o koľko ECB upravila kľúčovú úrokovú sadzbu. Trhové očakávania sú totiž premietnuté do sadzby OIS už pred samotným zasadnutím ECB. Menový šok preto zachytí iba takú časť zmeny sadzby, ktorú trh nepredpokladal. V našom prípade sa budeme pozerať na zmenu OIS sadzieb s dobou splatnosti od jedného týždňa do dvadsiatich rokov. Sledovať budeme obdobie od septembra 2013 ,kedy sa do databázy [30] zaradila aj 20-ročná sadzba, do októbra 2023, kedy má databáza menových šokov posledné pozorovanie.

3.2 Faktorová analýza

Faktorová analýza patrí medzi klasické nástroje viacrozmernej štatistiky, ktorej cieľom je zredukovať počet pozorovaných premenných na menší počet nepozorovaných faktorov, vystihujúcich spoločné štruktúry v dátach.

Matematicky predpokladáme, že vektor pozorovaných premenných $\mathbf{X} = (X_1, \ldots, X_p)^T$ možno vyjadriť ako lineárnu kombináciu menšieho počtu latentných faktorov $\mathbf{F} = (F_1, \ldots, F_m)^T$, kde $m \ll p$, a doplniť ho o špecifickú zložku $\mathbf{U}$, ktorá zahŕňa vplyvy typické len pre jednotlivé premenné. Výsledný model zapisujeme ako:

$$\mathbf{X} = A\mathbf{F} + \mathbf{U}, \tag{33}$$

kde A je matica faktorových záťaží a jej prvky a_{ij} udávajú, do akej miery je premenná X_i korelovaná s faktorom F_j.

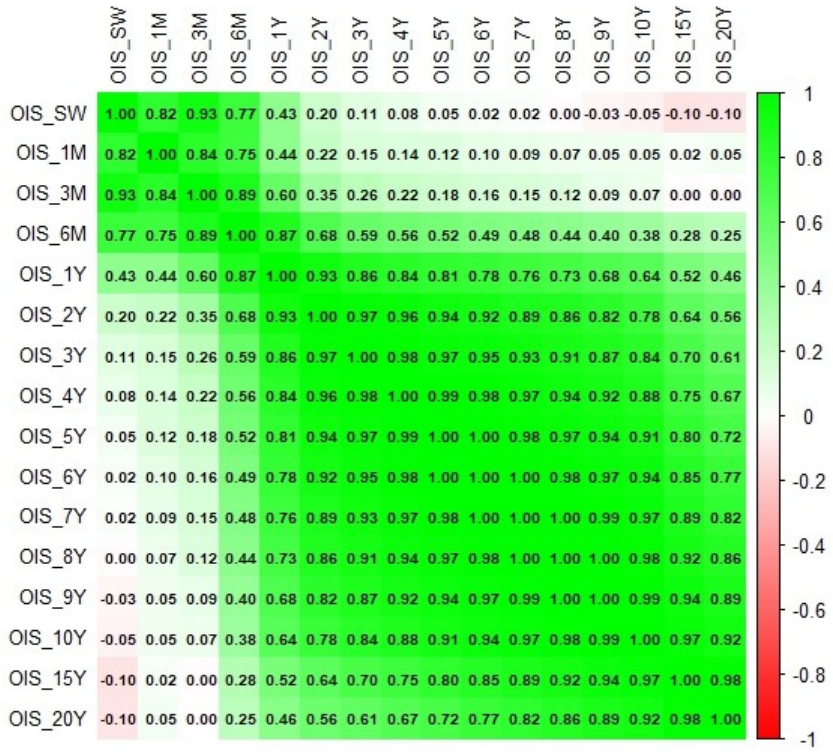
Na rozdiel od regresie, kde sú vysvetľujúce premenné známe, v prípade faktorovej analýzy sú faktory nepozorovateľné. Ich štruktúru preto odhadujeme nepriamo – napríklad na základe korelačnej matice medzi premennými, ktorú rozkladáme vhodnou štatistickou metódou. Teoretickú formuláciu tohto modelu a základné predpoklady, z ktorých budeme pri našej analýze vychádzať, čerpáme zo skrípt od R. Harmana [39].

V našom prípade sú pozorovanými premennými zmeny výnosov v OIS po zasadnutiach ECB s rôznymi dĺžkami splatnosti. Pomocou faktorovej analýzy sa snažíme z týchto časových radov extrahovať menší počet faktorov, ktoré zachytávajú dominantné pohyby naprieč splatnosťami. Faktory následne budú slúžiť ako vstupy do regresných modelov, pomocou ktorých budeme odhadovať vplyv rozhodnutí ECB na trhové inflačné očakávania.

Prvým krokom bolo vytvorenie korelačnej matice medzi zmenami na jednotlivých splatnostiach od týždňovej až po 20-ročnú. Na vytvorenie korelačnej matice sme využili funkciu *Cor()* v jazyku R.

Ako môžeme vidieť na obr. 9, jednotlivé premenné vykazujú medzi sebou vysokú mieru korelácie, čo môže indikovať, že práve faktorová analýza, môže byť pre takýto typ dát vhodná.

V ďalšom kroku potrebujeme určiť počet faktorov, ktoré budú dané dáta interpretovať.

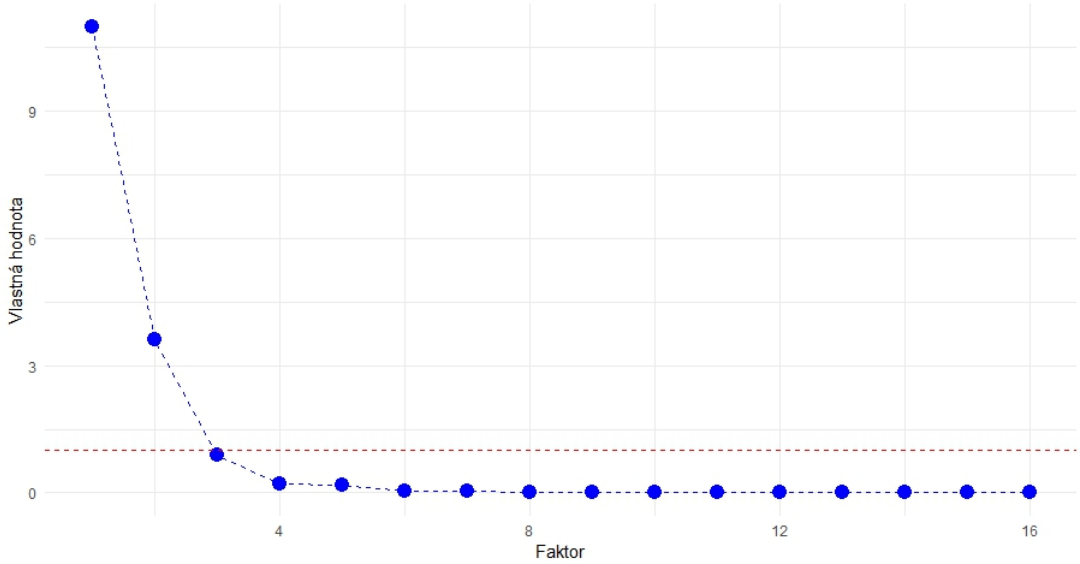


Obr. 9: Korelácie medzi zmenami trhových sadzieb

Počet faktorov sme určili na základe Kaiserovho kritéria [42], ktoré odporúča ponechať tie faktory, ktorých vlastná hodnota je väčšia ako 1.

Taktiež sme pri výbere počtu faktorov využili aj vizuálnu metódu *scree plotu* [7], ktorá spočíva v identifikácii bodu zlomu na grafe vlastných hodnôt. Ten zlomový bod predstavuje prirodzenú hranicu medzi významnými a nevýznamnými faktormi.

Prvé dva faktory 91,2% variability úrokových sadzieb. V prípade pridania tretieho faktora je vysvetlenej až 96,9%. Tretí faktor síce nespĺňa Kaiserovo kritérium, avšak podľa vizuálnej metódy zlomu je optimálne použiť tri faktory. Tri faktory majú aj lepšiu ekonomickú interpretáciu, keďže nástroje ECB ako zmena sadzby, kvantitatívne uvoľnovanie a forward guidance majú každý vplyv na inú dĺžku sadzieb.



Obr. 10: Vlastné hodnoty korelačnej matice

Na naše dáta sme tak aplikovali funkciu *Fa()* v softvéri R. Výsledkom bola tabuľka faktorových záťaží pre jednotlivé splatnosti.

Dĺžka swapu	**Faktor 1**	**Faktor 2**	**Faktor 3**
OIS_SW	0.0709	0.8325	0.2733
OIS_1M	0.1456	0.7549	0.3299
OIS_3M	0.2053	0.8902	0.2580
OIS_6M	0.5339	0.8293	0.1488
OIS_1Y	0.7963	0.5482	-0.0852
OIS_2Y	0.9102	0.2784	-0.2357
OIS_3Y	0.9438	0.1479	-0.2442
OIS_4Y	0.9714	0.0833	-0.2126
OIS_5Y	0.9854	0.0264	-0.1572
OIS_6Y	0.9939	-0.0281	-0.0950
OIS_7Y	0.9965	-0.0635	-0.0161
OIS_8Y	0.9915	-0.1099	0.0454
OIS_9Y	0.9799	-0.1615	0.1043
OIS_10Y	0.9616	-0.1970	0.1800
OIS_15Y	0.8780	-0.2922	0.3568
OIS_20Y	0.8121	-0.3030	0.4583

Tabuľka 1: Faktorové záťaže pre jednotlivé splatnosti swapov

K zjednodušeniu interpretácie faktorov pomôže rotácia faktorov. Práve rotácia faktorov predstavuje dôležitý krok vo faktorovej analýze, ktorého cieľom je zjednodušiť interpretáciu faktorovej štruktúry. Hoci počet faktorov a ich vysvetlená variabilita zostávajú nezmenené, rotáciou sa mení ich orientácia v priestore tak, aby bola matica prehľadnejšia a ľahšie interpretovateľná.

Počiatočne získané faktory často obsahujú záťaže, ktoré sú rozptýlené naprieč viacerými faktormi, čo sťažuje jednoznačné priradenie premenných k jednotlivým faktorom. Rotácia faktorov preto smeruje k tzv. jednoduchej štruktúre (*simple structure*), pri ktorej každá premenná vykazuje vysokú záťaž len na jednom faktore a nízku záťaž na ostatných. Výrazne to uľahčuje pomenovanie faktorov a ich ekonomickú interpretáciu.

Rotácia sa vykonáva ako transformácia pôvodnej matice faktorových záťaží $\hat{A}$ pomo-

cou transformačnej matice V, čím vzniká rotovaná matica záťaží:

$$\hat{A}^* = \hat{A}V.$$

V našej analýze sme využili ortogonálnu rotáciu typu **Varimax**. Cieľom tejto rotácie je zvýrazniť kontrast medzi vysokými a nízkymi záťažami, čím sa dosahuje väčšia zrozumiteľnosť faktorového riešenia.

Tejto rotácií zodpovedá taká matica V, ktorá maximalizuje hodnotu funkcie:

$$f_v(V) = \frac{1}{m}\sum_{t=1}^{m}\left[\frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p}\left((\hat{A}V)_{it}^2 - \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}(\hat{A}V)_{kt}^2\right)^2\right], \tag{34}$$

kde a_{ij} predstavuje faktorovú záťaž i-tej premennej na j-tom faktore, p je počet premenných a m je počet extrahovaných faktorov. [39]

Funkcia maximalizuje rozptyl štvorcov záťaží v rámci každého faktora, čím sa zvyšuje interpretovateľnosť záťaží a dosahuje tzv. *simple structure*, teda stav, v ktorom sú premenné jednoznačne priraditeľné ku konkrétnym faktorom.

Dôležité je, že rotácia nemení celkový podiel vysvetlenej variability, kvalitu korelačnej matice a ani počet faktorov, čím nedôjde k strate jej štatistickej výpovednosti. Na výpočet Varimax rotácie sme použili funkciu softvéra R *Fa()* s typom rotácie (*rotate = "varimax"*).Faktorové záťaže vyzerajú následovne:

Dĺžka swapu	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
OIS_SW	0.0022	0.8758	-0.0766
OIS_1M	0.0160	0.8356	0.0374
OIS_3M	0.1246	0.9407	-0.0272
OIS_6M	0.4401	0.8873	0.1186
OIS_1Y	0.7496	0.5762	0.2191
OIS_2Y	0.8936	0.2873	0.2836
OIS_3Y	0.9075	0.1688	0.3469
OIS_4Y	0.9011	0.1250	0.4099
OIS_5Y	0.8708	0.0954	0.4785
OIS_6Y	0.8324	0.0698	0.5477
OIS_7Y	0.7817	0.0673	0.6178
OIS_8Y	0.7342	0.0471	0.6752
OIS_9Y	0.6825	0.0203	0.7287
OIS_10Y	0.6174	0.0137	0.7839
OIS_15Y	0.4318	-0.0184	0.8926
OIS_20Y	0.3171	0.0010	0.9278

Tabuľka 2: Faktorové záťaže pre jednotlivé splatnosti swapov (rotácia Varimax)

Na prvý pohľad môžeme vidieť, že sa zvýšila interpretovateľnosť daných faktorov. V prípade nezrotovaných dát sa dal prvý faktor interpretovať ako faktor dlhodobých prekvapení a vplyv nekonvenčných dlhodobých nástrojov, akými je napríklad kvantitatívne uvoľnovanie. Druhý faktor zase popisoval najkratšie sadzby a reprezentoval skôr okamžitú zmenu sadzby na zasadnutiach ECB. Interpretovateľnosť tretieho faktora však bola pre nezrotované dáta nízka. V prípade zrotovaných dát sa prvý faktor dá interpretovať ako strednodobé očakávania, ktoré sú ovplyvňované najmä rétorikou ECB a jej forward guidance. Prvý faktor vykazuje najväčšiu koreláciu s OIS_3Y. Druhý faktor ostal naďalej ako reprezentant najkratších šokov, ktoré sú ovplyvňované najmä zmenou sadzby, pričom vysokú koreláciu vykazuje so všetkými krátkymi swapmi, najviac však s OIS_3M. Najviac sa zmenila interpretovateľnosť tretieho faktora, ktorý po zrotovaní reprezentuje zmeny na najdlhších splatnostiach swapov 15 a 20 rokov. Tento faktor najviac reprezentuje nákupy dlhopisov zo strany ECB, ktoré menia očakávania sadzieb v dlhodobom horizonte, pričom

najväčšiu koreláciu dosahuje s OIS_20Y.

3.3 Dva faktory

Aj keď podľa vizuálnej metódy vychádza správne pracovať s tromi faktormi, tak pohľad cez Kaiserovo kritérium navrhuje použiť iba dva faktory. Preto sa pozrieme aj na výsledky v prípade použitia dvoch faktorov. Postupovať budeme rovnako ako v prípade troch faktorov a najprv sa pozrieme na nezrotované faktorové záťaže pre dva faktory.

Dĺžka swapu	**Faktor 1**	**Faktor 2**
OIS_SW	0.0134	0.2870
OIS_1M	0.0923	0.2008
OIS_3M	0.1434	0.3353
OIS_6M	0.4758	0.3922
OIS_1Y	0.7582	0.4165
OIS_2Y	0.8917	0.3810
OIS_3Y	0.9343	0.3128
OIS_4Y	0.9659	0.2506
OIS_5Y	0.9831	0.1725
OIS_6Y	0.9946	0.0904
OIS_7Y	0.9987	0.0059
OIS_8Y	0.9961	-0.0715
OIS_9Y	0.9873	-0.1496
OIS_10Y	0.9706	-0.2320
OIS_15Y	0.8914	-0.4324
OIS_20Y	0.8251	-0.5218

Tabuľka 3: Faktorové záťaže pre jednotlivé splatnosti swapov

Pri prvom faktore môžeme aj v prípade nezrotovaných dát vidieť silnú koreláciu s dlhšími sadzbami. Pre druhý faktor však silnejšia interpretácia chýba. Pre lepšiu interpretovateľnosť faktorov ich zrotujeme pomocou rotácie *varimax*.

Pre prípad zrotovaných faktorových záťaží môžeme vidieť opäť silnú koreláciu prvého

Dĺžka swapu	**Faktor 1**	**Faktor 2**
OIS_SW	-0.0701	0.2787
OIS_1M	0.0303	0.2189
OIS_3M	0.0404	0.3624
OIS_6M	0.3421	0.5130
OIS_1Y	0.6056	0.6178
OIS_2Y	0.7435	0.6224
OIS_3Y	0.8041	0.5694
OIS_4Y	0.8523	0.5190
OIS_5Y	0.8913	0.4492
OIS_6Y	0.9261	0.3739
OIS_7Y	0.9544	0.2942
OIS_8Y	0.9743	0.2193
OIS_9Y	0.9885	0.1420
OIS_10Y	0.9963	0.0583
OIS_15Y	0.9783	-0.1564
OIS_20Y	0.9406	-0.2611

Tabuľka 4: Faktorové záťaže pre jednotlivé splatnosti swapov rotované

faktora s dlhými splatnosťami swapov. Druhý faktor síce zlepšil intepretovateľnosť v porovnaní s nezrotovanými záťažami, avšak stále je maximálna korelácia, ktorú dosiahne s niektorým zo swapov, len 0,62. Môžeme tak konštatovať, že použitie troch faktorov je vhodnejšie.

3.4 Preškálovanie faktorov

Faktorové skóre ďalej budeme využívať v lineárnej regresii. Ešte predtým ho však potrebujeme vhodne transformovať , aby bolo možné ich zmeny priamo porovnávať so zmenami vybranej trhovej premennej.

Týmto spôsobom zabezpečíme, že výstupy z regresného modelu budú interpretovateľné aj z ekonomického hľadiska.

Škálovať budeme trojfaktorový model s varimax rotáciou. Prvý faktor, teda faktor strednodobých očakávaní, naškálujeme na trojročnú sadzbu, s ktorou dosahuje najvyššiu koreláciu. Toto preškálovanie spravíme pomocou lineárnej regresie ktorá bude v tvare:

$$OIS_3Y = \beta_0 + \beta_1 F_1 + \varepsilon, \tag{35}$$

Druhý faktor, ktorý najlepšie reprezentuje pohyby v krátkodobých sadzbách, naškálujeme na trojmesačnú sadzbu. . V tomto prípade bude lineárna regresia v tvare:

$$OIS_3M = \beta_0 + \beta_1 F_2 + \varepsilon, \tag{36}$$

Tretí faktor, ktorý predstavuje dlhodobé očakávania, popisuje 20-ročný swap . V tomto prípade bude lineárna regresia v tvare:

$$OIS_20Y = \beta_0 + \beta_1 F_3 + \varepsilon, \tag{37}$$

Vo všetkých prípadoch prenásobíme hodnotu faktora hodnotou β_1 čím dostaneme lepšiu interpretovateľnosť týchto faktorov, keďže zmena reprezentovaných swapov o 1 bázický bod bude zodpovedať zmene daného faktora o 1 bázický bod.

3.5 Lineárna regresia

Lineárna regresia predstavuje základný nástroj štatistického modelovania, ktorý sa využíva na analýzu vzťahu medzi závislou premennou a jednou alebo viacerými nezávislými premennými. Ide o jednu z najpoužívanejších metód v kvantitatívnej analýze, najmä v prípadoch, keď chceme pochopiť, ako zmeny v určitých premenných súvisia so sledovaným javom.

Model predpokladá lineárnu súvislosť medzi premennými, čo znamená, že zmena v nezávislej premennej spôsobuje proporcionálnu zmenu v závislej premennej. Matematicky možno takýto model zapísať nasledovne:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_k X_k + \varepsilon, \tag{38}$$

kde Y je závislá premenná, $X_1, \ldots, X_k$ predstavujú nezávislé (vysvetľujúce) premenné, $\beta_0, \ldots, \beta_k$ sú neznáme regresné koeficienty a ε označuje náhodnú chybu, ktorá má strednú hodnotu rovnú nule a reprezentuje vplyvy iných faktorov, ktoré model nezachytáva.

Odhad parametrov modelu sa zvyčajne uskutočňuje pomocou metódy najmenších štvorcov , ktorá minimalizuje súčet druhých mocnín rozdielov medzi skutočnými a predikovanými hodnotami závislej premennej. Výsledné odhady sú tzv. najlepšie lineárne nevychýlené odhady (BLUE – *Best Linear Unbiased Estimators*), v prípade splnenia základných predpokladov lineárneho modelu.

Každý odhadnutý koeficient $\hat{\beta}_j$ môžeme interpretovať ako očakávanú zmenu hodnoty Y pri jednotkovej zmene príslušnej premennej X_j, za predpokladu, že ostatné premenné v modeli zostávajú nezmenené.

Koeficient $\hat{\beta}_0$, známy ako priesečník, alebo absolútny člen, predstavuje očakávanú hodnotu závislej premennej v prípade, že všetky nezávislé premenné nadobúdajú hodnotu nula.

Na výpočet lineárnej regresie v prostredí `R` slúži funkcia `lm()`, ktorá poskytuje kompletný výstup vrátane odhadnutých parametrov, ich štandardných chýb, hodnôt testovacích štatistík a p-hodnôt. Tieto štatistiky sú nevyhnutné pre testovanie štatistickej významnosti jednotlivých vysvetľujúcich premenných, a tým aj pre posúdenie ich vplyvu na závislú premennú[36].

4 Prehľad literatúry a doterajšie empirické výsledky

Téma vplyvu rozhodnutí Európskej centrálnej banky na inflačné očakávania je témou, ktorá zažila rozmach najmä v posledných pätnástich rokoch.

Literatúra sa v nej opiera najmä o dve základné metodológie: tzv. *event studies* zamerané na okamžité reakcie trhu na oznámenia menovej politiky a dlhodobejšie štrukturálne modely ako VAR, ktoré sledujú vplyv menovopolitických opatrení v čase.

Event studies sa zameriavajú na bezprostredný vplyv oznámení centrálnych bánk na očakávania finančných trhov, čo znamená, že pracujú so šokmi menovej politiky. Tento prístup si vyžaduje použitie vysokofrekvenčných dát – ide najmä o denné, prípadne hodinové alebo minútové dáta. V dôsledku toho sú ako vysvetľované premenné volené úrokové sadzby, výnosové krivky alebo ceny finančných aktív, ktoré sú trhové.

Prvými významnými predstaviteľmi tohto prístupu boli Kuttner[44], Cochrane a Piazzesi[9] a Gurkaynak et al[38], ktorí analyzovali reakciu trhov na oznámenia Federálneho rezervného systému v úzkom časovom okne okolo samotného vyhlásenia. Na ich prácu neskôr nadviazali autori ako Campbell et al[5] a Swanson[50].

V eurozóne podobný prístup zvolili štúdie Andrade a Ferroni[1] a Barrera et al[3].

Podobný prístup sme sa rozhodli zvoliť aj v našej práci aby sme sa pokúsili identifikovať len vplyvy súvisiace s konkrétnym zasadnutím ECB.

Ďalšou dôležitou časťou práce je výber vhodných dát a ich frekvencie. Kľúčovým rozhodnutím je voľba závislej premennej, teda tej premennej, na ktorej budeme skúmať dopad opatrení centrálnej banky. Mnohé štúdie, ako napríklad Gurkaynak et al[38] či Swanson[50], analyzujú predovšetkým reakcie úrokových mier, ktoré patria medzi najbežnejšie používané závislé premenné v eventových štúdiách.

Iné práce, napríklad Nakamura a Steinsson[47], k tomu pridávajú aj sledovanie vplyvu na hospodársky rast. V našej práci sa budeme, podobne ako Andrade a Ferroni[1], sústrediť na dopad menovej politiky na inflačné očakávania.

Existuje viacero metodologických prístupov k meraniu inflačných očakávaní. Niektorí autori, ako Campbell et al[5], využívajú prieskumové údaje s nižšou frekvenciou. Oveľa častejšie sa však v literatúre stretávame s použitím vysoko-frekvenčných údajov. V prípade eurozóny je možné využiť napríklad inflačné swapy *(inflation-linked swaps, ILS)* s rôznou splatnosťou, ako to uvádzajú Barrera et al[3] a Andrade a Ferroni[1].

V našej práci budeme využívať inflačné CAP a FLOOR opcie a z nich odvodenú

rizikovo neutrálnu pravdepodobnosť inflácie.

Jednou z prvých inštitucionálnych publikácií v tejto oblasti je buletín publikovaný Bank of England v roku 2012 [2]. Autor navrhol metodológiu na výpočet distribúcií pravdepodobnosti budúcej inflácie z cien inflačných opcií v Spojenom kráľovstve a ukázal, že tieto distribúcie prinášajú doplňujúcu informáciu k tradičným ukazovateľom, ako je výnosová krivka alebo breakeven inflácia. Po finančnej kríze podľa autora došlo k nárastu neistoty ohľadom inflácie, pričom trh výrazne precenil riziko deflácie aj vysokej inflácie.

Na amerických dátach sa téme inflačných opcií venujú Kitsul a Wright [43], ktorí v roku 2013 na základe cien inflačných opcií konštruovali rizikovo neutrálne distribúcie budúcej inflácie a ukázali, že trh výrazne reaguje na makroekonomické správy, pričom výrazne precenil deflačné riziká. Trh podľa nich v čase nízkej inflácie a nízkych sadzieb výrazne zvyšuje averziu voči deflácii, čo sa prejavuje v cene opcií.

V eurozóne sa tejto oblasti začala venovať napríklad práca Scharnagl a Stapf [49], ktorí v roku 2015 použili ceny inflačných derivátov a odvodené distribúcie inflácie počas obdobia európskej dlhovej krízy. Autori pozorovali rast deflačných rizík a oslabenie transmisného mechanizmu menovej politiky ECB do očakávaní. Trhové distribúcie však ukázali, že pravdepodobnosť dlhodobej deflácie bola trhom stále považovaná za nízku.

Dôležitý príspevok priniesli Gimeno a Ibáñez [37], ktorí v roku 2017 skúmali reakcie trhov na konkrétne kroky ECB v období rokov 2009–2016. Pomocou konštrukcie denných implikovaných distribúcií z opcií merali zmeny v očakávanej inflácii aj štruktúre rizika. Výsledky ukázali, že rozhodnutie ECB o rozšírení programu nákupu aktív (QE) v januári 2015 výrazne znížilo pravdepodobnosť deflácie a posunulo očakávania smerom k cieľu.

Najväčšou akademickou výzvou v tejto téme ostáva najmä rozlíšenie medzi skutočnými pravdepodobnosťami a rizikovo neutrálnymi distribúciami, ktoré sa z cien týchto opcií dajú odvodiť.

Zaujímavé zistenie k tejto téme priniesla v roku 2022 práca Hilscher, Raviv a Reis[40]. V práci využili na odvodenie reálnych pravdepodobností tri hlavné úpravy. Po prvé, upravili nominálne výnosy z opcií na reálnu hodnotu, aby odrážali skutočnú kúpnu silu a ekonomický význam pre investorov. Po druhé, realizovali korekciu o maržovú užitočnosť, ktorá reflektuje správanie sa spotrebiteľa počas extrémnych stavov, ako sú inflačné katastrofy alebo deflačné pasce. Po tretie, upravili časové horizonty opčných kontraktov.

Na základe týchto úprav autori dospeli k záveru, že po roku 2015 pretrvávala zvýšená

pravdepodobnosť deflačnej pasce v eurozóne, a to aj napriek rôznym menovopolitickým opatreniam Európskej centrálnej banky. Zároveň ich analýza odhalila, že v roku 2021 výrazne vzrástlo riziko pretrvávajúcej vysokej inflácie v USA, a obdobný nárast bol zaznamenaný v eurozóne v roku 2022.

Výsledky v literatúre sú rôznorodé a neraz si aj odporujú. Táto nejednoznačnosť je vo veľkej miere spôsobená odlišnosťami v analytických prístupoch, ako aj náročnosťou pri identifikácii a izolácii menovopolitických šokov od ostatných súbežných udalostí. Pre účely nášho výskumu sú relevantné predovšetkým tie štúdie, ktoré sa zameriavajú výlučne na inflačné očakávania.

Z výsledkov práce Andrade a Ferroni[1] vyplýva, že zníženie faktora forward guidance o 100 bázických bodov viedlo k nárastu inflačných očakávaní v eurozóne o približne 60 bázických bodov v období 2011 až 2016. Podobné závery prinášajú aj Barrera et al[3], ktorí zistili, že zníženie menovopolitického indikátora o 100 bázických bodov zvýšilo päťročné inflačné očakávania o 33 bázických bodov v prípade šoku vo forward guidance , a až o 79 bázických bodov pri šoku spojenom s kvantitatívnym uvoľňovaním. Na dvojdňovej báze dosiahla zmena dokonca hodnotu 51 bázických bodov pre forward guidance, a 121 bázických bodov pre kvantitatívne uvoľňovanie.

4.1 Náš prínos do témy

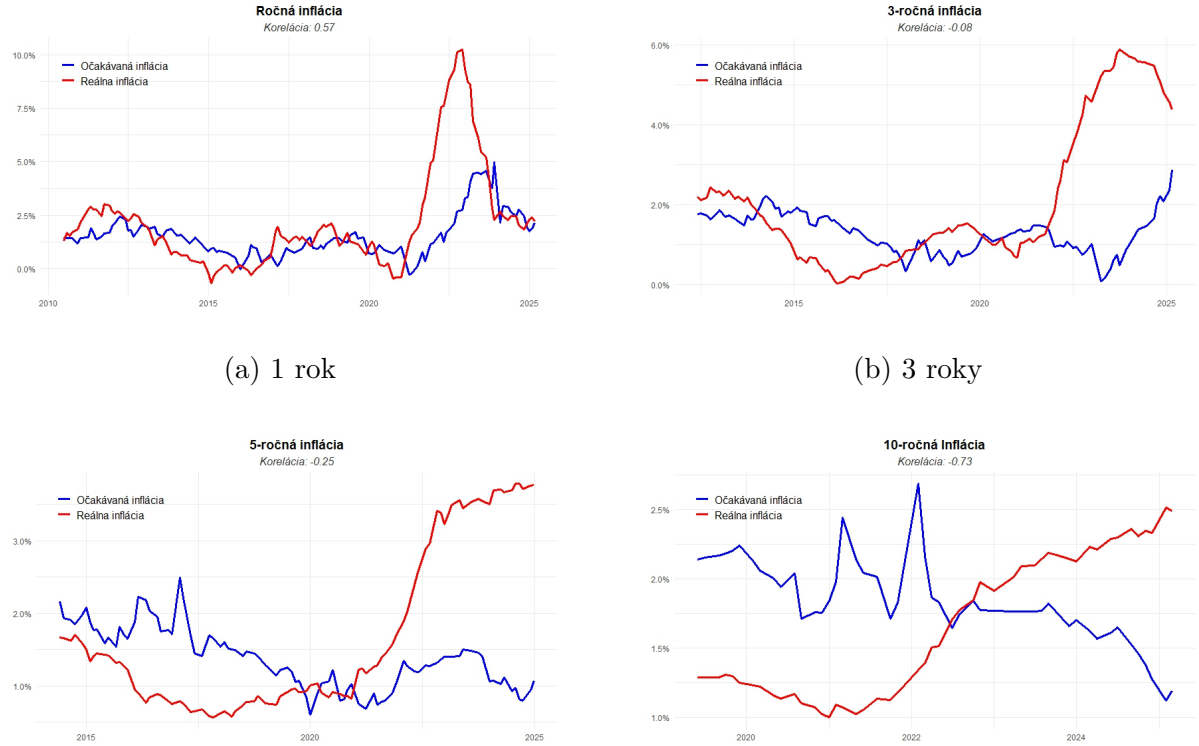
V našej práci sme sa rozhodli využiť metodologiu zameriavajúcu sa na okamžité šoky a ich identifikáciu. Zameriavame sa na analýzu eurozóny a pracovať budeme s vysoko frekvenčnými dátami, keďže najlepšie vyhovujú účelom našej práce. Najpodobnejší prístup používajú práce Andrade a Ferroni[1] a Barrera et al[3], ktoré ale sledujú infláciu pomocou swapov naviazaných na infláciu (ILS). V našej práci budeme využívať inflačné CAP a FLOOR opcie, čo je prístup, ktorý zatiaľ v takomto type práce využitý nebol. Práve rozšírenie tejto témy o inflačné CAP a FlOOR opcie by mohlo byť najväčším prínosom našej práce.

5 Vplyv menových šokov na očakávanú infláciu

5.1 Porovnanie s reálnou infláciou

Trhom očakávaná rizikovo neutrálna miera inflácie je jedným z nástrojov, ktoré môže ECB sledovať, aby vyhodnotila dopady svojich rozhodnutí na inflačné očakávania.

Ešte predtým ako začneme modelovať vplyvy menových šokov na rizikovo neutrálnu trhom očakávanú hodnotu inflácie porovnáme ako bola trhom očakávaná hodnota ďaleko od skutočnej hodnoty inflácie. Pre dlhšie časové obdobia je skutočná inflácia počítaná ako anualizovaná zmena HICP indexu bez tabaku za dané obdobie.



(a) 1 rok

(b) 3 roky

(c) 5 rokov

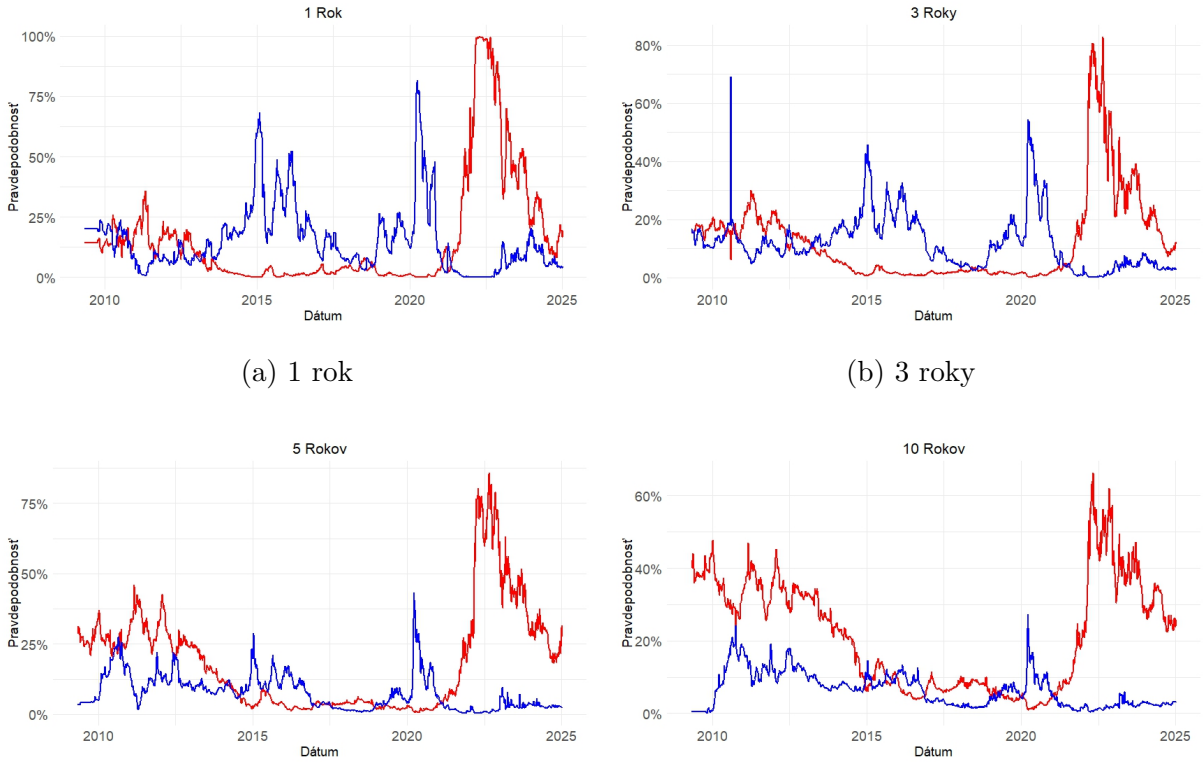
(d) 10 rokov

Obr. 11: Porovnanie očakávanej a skutočnej inflácie(Zdroj:Bloomberg terminal)

Ako môžeme vidieť z obr. 11, trhový odhad bol dobrý najmä pre ročný horizont, kde sa očakávania spred roka vo väčšine času takmer pretínali s reálnymi hodnotami inflácie. Pre dlhšie obdobia už trhové odhady tak presné neboli najmä kvôli výraznému rastu inflácie v rokoch 2022 a 2023. Na takto dlhé obdobia sú predikcie viac o dôvere v ECB a jej schopnosť plniť na tomto horizonte svoj mandát.

5.2 Tvorba modelov

Na modelovanie vplyvov sme sa rozhodli využiť lineárnu regresiu za pomoci faktorov určených z faktorovej analýzy. Primárnym cieľom bolo sledovať ako zmena výnosov na swapoch, ktorých dimenziu sme zredukovali len do troch faktorov, vplýva na zmenu pravdepodobnosti vysokej inflácie alebo deflácie.



(a) 1 rok

(b) 3 roky

(c) 5 rokov

(d) 10 rokov

Obr. 12: Rizikovo neutrálna pravdepodobnosť: červená = vyššia inflácia, modrá = deflácia

Na obr. 12 môžeme vidieť rizikovo neutrálne pravdepodobnosti deflácie a zvýšenej inflácie na daných časových horizontoch. Za zvýšenú infláciu je považovaná anualizovaná úroveň 2.5% pre ročné a 3-ročné obdobie a 3% pre 5-ročné a 10-ročné obdobie.

Vysvetľovanou premennou v našich modeloch bude jednodenná zmena rizikovo neutrálnej pravdepodobnosti inflácie a deflácie v deň zasadnutia ECB. Vysvetľujúce premenné budú faktory, ktoré sú vypočítané so zmien výnosov swapov. Vzniknuté modely môžeme napísať následovne:

$$Y_{inf} = \beta_{inf_0} + \beta_{inf_1} F_1 + \beta_{inf_2} F_2 + \beta_{inf_3} F_3 + \varepsilon, \tag{39}$$

$$Y_{def} = \beta_{def_0} + \beta_{def_1} F_1 + \beta_{def_2} F_2 + \beta_{def_3} F_3 + \varepsilon, \tag{40}$$

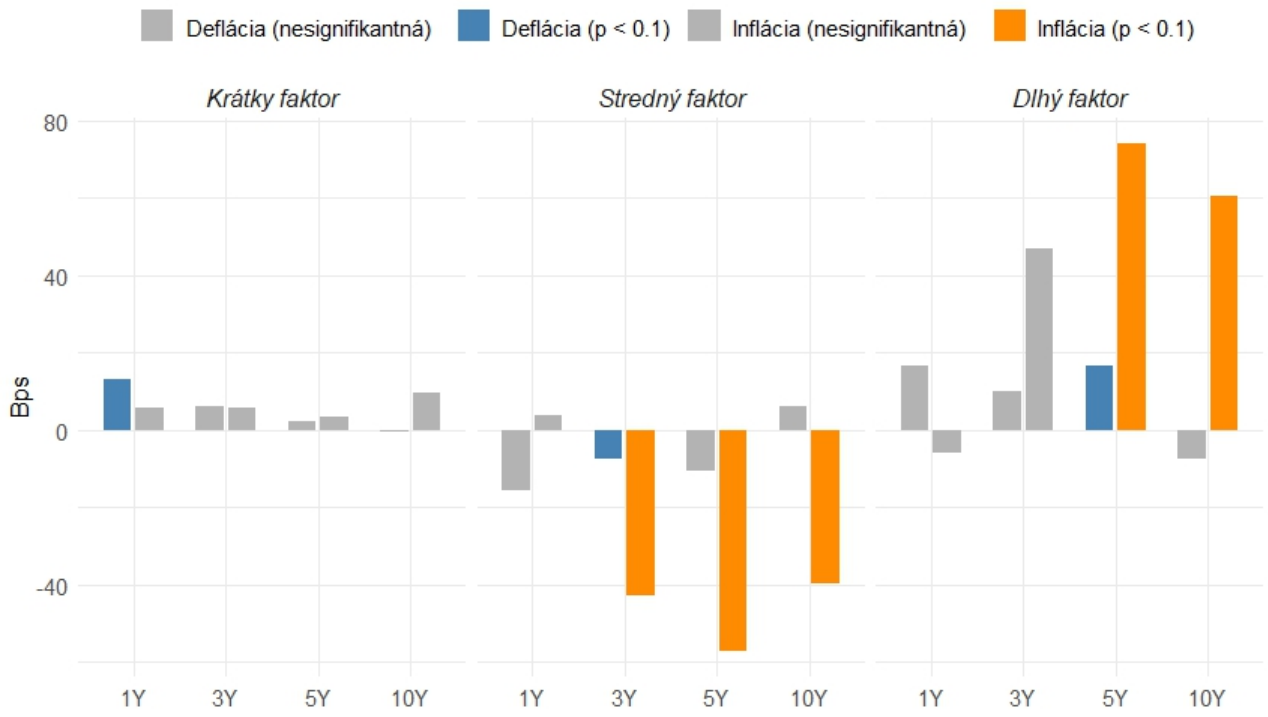
Pre každý časový horizont vzniknú dva modely. Jeden, ktorý sleduje vplyv menových šokov na zmenu pravdepodobnosti vysokej inflácie, a druhý na zmenu pravdepodobnosti deflácie. Celkovo tak vznikne 8 rôznych modelov. V ideálnom svete by sme očakávali, že koeficienty s výnimkou β_{inf_0} budú v inflačnom modeli záporné, a rast výnosov spôsobí pokles pravdepodobnosti vysokej inflácie. Naopak, v prípade deflačných modelov by sme očakávali koeficienty s výnimkou β_{def_0} kladné, keďže pokles výnosov by mal znížiť pravdepodobnosť nastatia deflácie. Výnimkou môžu byť krátke 1-ročné modely, kde naopak rast výnosov môže spôsobovať aj nárast pravdepodobnosti inflácie v období 1 roka, keďže zvyšovanie úrokov indikuje zvýšenú očakávanú infláciu so strany ECB, pričom mechanizmy ECB sa do ekonomiky v priebehu tak krátkeho obdobia nedokážu dostatočne pretaviť.

Model	**Intercept**	**F1 (Stredný)**	**F2 (Krátky)**	**F3 (Dlhý)**
DEF 1Y	-0.0004	-0.3111	0.2595*	0.3360
DEF 3Y	-0.0019*	-0.1513	0.1199*	0.2002
DEF 5Y	-0.0002	-0.2134	0.0451	0.3364*
DEF 10Y	-0.0002	0.1214	-0.0057	-0.1470
INF 1Y	-0.0001	0.0765	0.1153	-0.1153
INF 3Y	0.0005	-0.8539*	0.1152	0.9379
INF 5Y	-0.0004	-1.1459***	0.0689	1.4846***
INF 10Y	-0.0022	-0.7969*	0.1943	1.2130*

Tabuľka 5: Odhady koeficientov pre modely s horizontom 1 deň. (**** $p < 0.001$, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$)

Ako môžeme vidieť na prvý pohľad, väčšina faktorov vyšla nesignifikantných aj na hladine významnosti 10%. Výnimkou je v tomto prípade model INF 5Y, ktorý má signifikantné 2 faktory na hladine významnosti 1%. Pre tento model je štatisticky významný prvý faktor, ktorý reprezentuje strednodobé sadzby. Záporná hodnota koeficientu β_1 v tomto prípade znamená, že trhy na rast strednodobých sadzieb, ktoré najlepšie reprezentuje nástroj forward guidance, reagovali znížením pravdepodobnosti vyššej inflácie. Tento nástroj tak fungoval na 5-ročné očakávania inflácie v súlade s interpretáciou, že trhy dôverujú ECB. Taktiež sa ako štatisticky významný ukázal tretí faktor, ktorý reprezentuje dlhé sadzby. V tomto prípade je ale hodnota koeficientu β_2 kladná, čo znamená, že reakcie trhov s inflačnými opciami boli opačné ako by v ideálnom svete ECB očakávala. Tento jav

môže byť spôsobený najmä deflačným obdobím, kedy napriek snahe ECB znižovať dlhšie sadzby nákupmi dlhopisov pravdepodobnosť inflácie nerástla. Pre lepšiu interpretáciu je preto výhodné tieto obdobia rozdeliť.



Obr. 13: Očakávaná zmena pravdepodpbnosti v prípade rastu faktora o 50 bázických bodov

Na Obr.13 môžeme vidieť očakávanú zmenu pravdepodobnosti vysokej inflácie a deflácie v prípade šoku, ktorý predstavuje rast faktora o 50 bázických bodov.

5.3 Rozdelené obdobia

Predošlú regresiu sme uplatňovali na celé obdobie od 6.9.2013 do 1.10.2023, na ktorom sme mali dáta o všetkých swapoch. Toto obdobie však z pohľadu menovej politiky a cieľov ECB nebolo homogénne.

V období od roku 2013 boli najväčším problémom ECB obavy z možnej deflácie. Politika centrálnej banky sa v tomto období zameriavala najmä na snahu zvýšiť rast cien k hranici 2%.

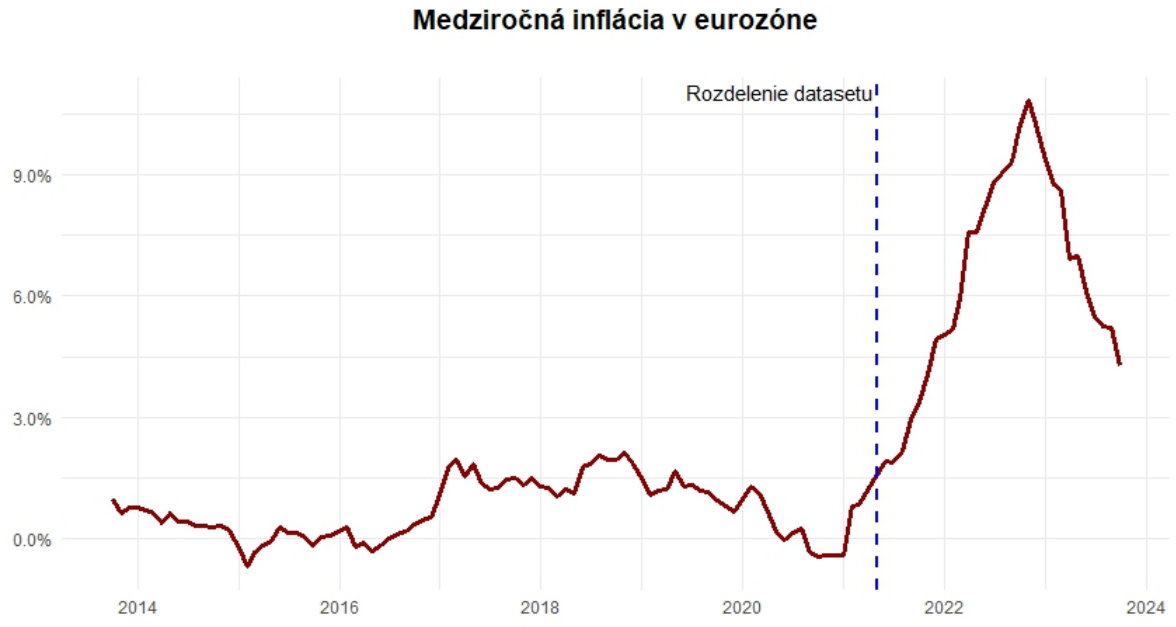
Po roku 2021 došlo v eurozóne k výraznému nárastu inflácie, ktorý bol výsledkom

súhry viacerých faktorov. Po ústupe pandémie COVID-19 sa začali rozpúšťať nahromadené úspory domácností, čo viedlo k zvýšenej spotrebiteľskej dopytovej aktivite. Súčasne však firmy čelili problémom s obnovou výrobných kapacít a dodávateľských reťazcov, čo spôsobilo ponukové šoky a nedostatok tovarov. Tieto faktory vytvorili tlak na rast cien. Situáciu ešte zhoršila ruská inváziа na Ukrajinu vo februári 2022, ktorá viedla k energetickej a komoditnej kríze, najmä prudkému nárastu cien plynu a ropy.

Tieto udalosti spôsobili, že inflácia v eurozóne dosiahla dvojciferné hodnoty, pričom energetické šoky a narušenia dodávateľských reťazcov zohrali kľúčovú úlohu v tomto vývoji[33].

ECB na tento nárast zareagovala prvýkrát 27.7.2022, kedy zvýšila depozitnú sadzbu o 50 bázických bodov na úroveň 0%.

Na obr.14 môžeme vidieť vývoj inflácie v eurozóne meranej indexom HICP očisteným o tabakové výrobky (HICPxT). Tento index je podkladovým indexom k inflačným opciám, ktoré v našej práci využívame.



Obr. 14: Medziročná zmena indexu *HICP-ex tobacco* (Zdroj:Bloomberg terminal)

Obdobia sme rozdelili k 1.5.2021, kedy sa inflácia dostala na úroveň 2%. Faktory, ktoré sme získali z celého obdobia, použijeme aj pre rozdelené obdobia. V lineárnych regresiách však budeme v prvom období, ktoré budeme ďalej pomenúvať ako *deflačné*, sledovať len regresie odhadujúce pravdepodobnosť deflácie. V druhom období, ktoré bu-

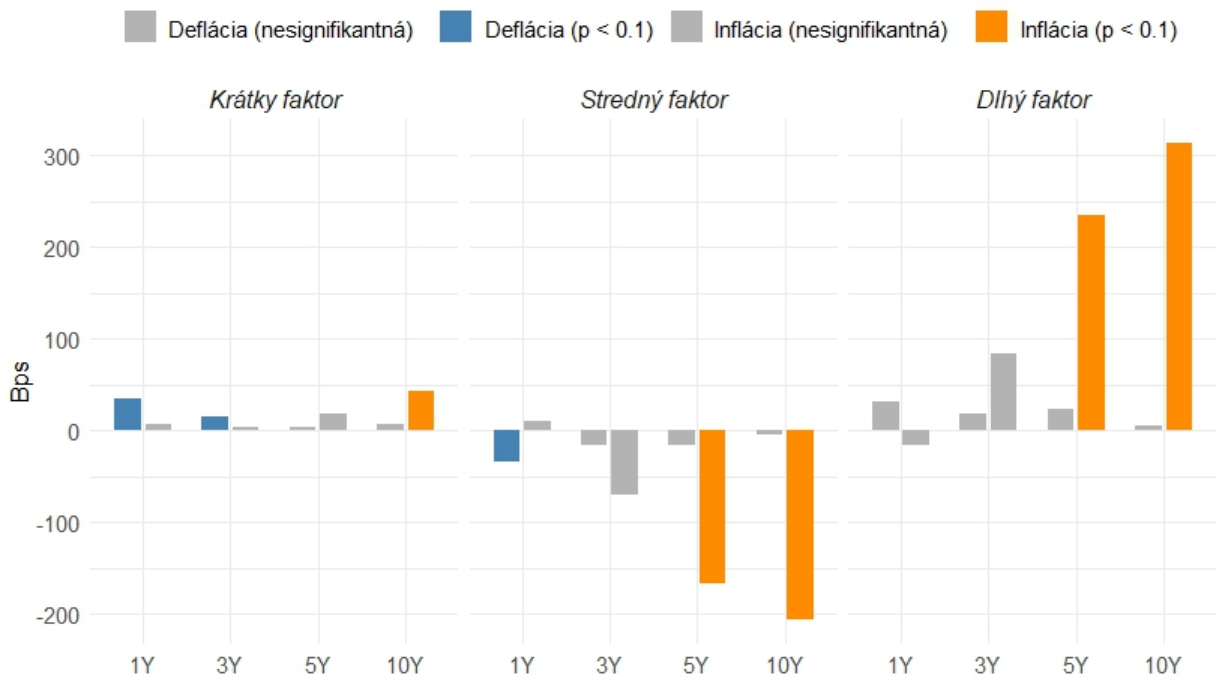
deme ďalej pomenúvať ako *inflačné*, len regresie odhadujúce pravdepodobnosť vysokej inflácie, keďže to reflektuje to, s čím v danom období ECB bojovala. Takto rozdelené regresie by mohli byť adresnejšie a štatisticky významnejšie, keďže v prvom období bola pravdepodobnosť vysokej inflácie nízka a teda opcie v pásme vysokej inflácie sa obchodovali s nižšou likviditou a nízkou cenou v jednotkách bázických bodov. Zároveň sa ECB v tomto období nezaoberala rizikom zvýšenej inflácie a tak ani jej kroky nesmerovali ku potlačeniu takéhoto rizika. Rovnaké argumenty platia pre obdobie vyššej inflácie od mája 2021, kedy sa ECB nezaoberala rizikom deflácie. Rozdelenie na obdobia by malo tieto extrémy eliminovať.

Model	**Intercept**	**F1 (Stredný)**	**F2 (Krátky)**	**F3 (Dlhý)**
DEF 1Y	-0.0023	-0.6725*	0.6804****	0.6353
DEF 3Y	-0.0026*	-0.3271	0.3181*	0.3638
DEF 5Y	-0.0005	-0.3120	0.0874	0.4738
DEF 10Y	-0.0014	-0.0924	0.1242	0.1013
INF 1Y	0.0001	0.2178	0.1541	-0.3119
INF 3Y	0.0053	-1.3876	0.0885	1.6763
INF 5Y	0.0026	-3.3228*	0.3714	4.7029*
INF 10Y	0.0022	-4.1378***	0.8559*	6.2786***

Tabuľka 6: Odhady koeficientov pre modely s horizontom 1 deň (**** $p < 0.001$, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$)

V tabuľke č.6 môžeme vidieť jednodňové modely lineárnej regresie pre rozdelené obdobia. Skratka DEF patrí deflačnému obdobiu a skratka INF inflačnému obdobiu. Rozdelenie období modelom až tak nepomohlo, a stále ostáva väčšina štatisticky nevýznamná. Zmenou oproti spojenému obdobiu je zvýšenie významnosti vplyvu druhého faktora, ktorý reprezentuje krátke sadzby, na pravdepodobnosť deflácie na horizonte jedného roka (DEF 1Y). Kladné znamienko pri koeficiente β_2 značí, že krátkodobé politiky ECB vplývali na pravdepodobnosť krátkodobej deflácie požadovaným smerom. Najviac signifikantných premenných je v modeli sledujúcom pravdepodobnosť vysokej inflácie na horizonte desiatich rokov (INF 10Y). Prvý faktor, teda faktor strednodobých politík ECB, je v tomto modeli so záporným znamienkom, zatiaľ čo tretí faktor, reprezentujúci dlhodobé politiky ECB, je v tomto modeli s kladným znamienkom. Trh inflačných opcií podľa

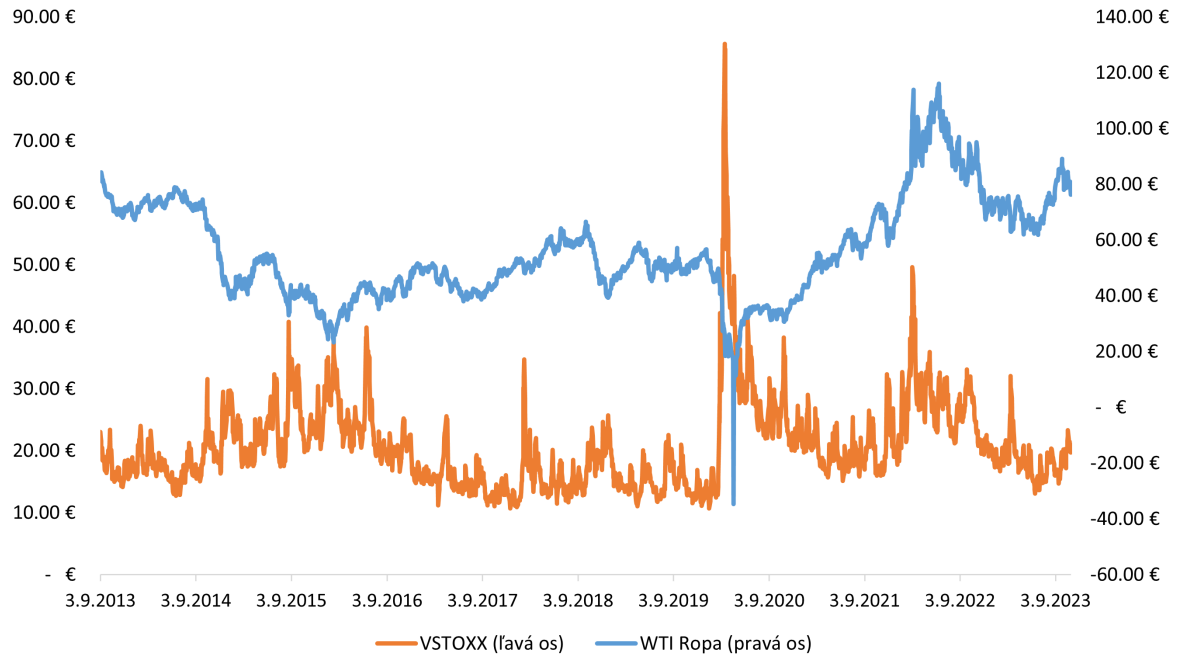
tohto výsledku tak pri dlhodobom očakávaní najviac pozitívne reaguje pri strednodobých zásahoch, akými je najmä komunikácia ECB o budúcom nastavení menovej politiky. Zásahy s vplyvom na dlhší horizont, ktoré zvyšujú dlhodobé sadzby boli naopak trhom vnímané skôr negatívne. Ekonomicky sa to dá interpretovať ako obavy finančných trhov z dlhodobejšieho trendu ekonomiky. Kým pri kratšom období verili dátovo podloženému prístupu ECB v danom období, tak v tom dlhodobom sa obávali ekonomických zmien, ktoré turbulentné časy priniesli, pričom hlavnou obavou mohol byť názor, že ECB vidí budúcnosť viac inflačnú, čomu prispôsobuje svoju politiku.



Obr. 15: Očakávaná zmena pravdepodpbnosti v prípade rastu faktora o 50 bázických bodov

5.4 Kontrolné premenné

Ďalšou úpravou, ktorou sme sa pokúsili očistiť z modelu šum, a zvýšiť štatistickú významnosť našich modelov, bolo pridanie kontrolných premenných. Ako kontrolné premenné sme zvolili cenu WTI ropy a volatilitu európskych akciových trhov, ktorú reprezentuje index volatility VSTOXX.



Obr. 16: Vývoj hodnoty indexu VSTOXX a WTI ropy v eurovom vyjadrení (Zdroj: Bloomberg Terminal)

Ropu sme si vybrali z dôvodu vplyvu cien ropy na veľkú časť inflačného koša, keď vo veľkej časti produktov a služieb ropa figuruje ako jeden zo vstupných nákladov. Európsky index volatility, ktorý meria 30-dňovú implikovanú volatilitu akciového indexu EURO STOXX50, zachytáva zvýšené riziko. Zároveň ide o premenné, ktoré môžu ovplyvňovať pravdepodobnosť inflácie, pričom na ich pohyby nemá menová politika dosah. Keďže počítame s rizikovo neutrálnou , ktorú odvodzujeme z trhovej ceny opcií, tak zmena rizikovej prirážky môže zvýšiť aj nami počítanú rizikovo neutrálnu bez toho aby sa skutočne zvýšila. Práve tento problém by mohlo pridanie indexu volatility do modelov redukovať. Taktiež vie tento index redukovať zmeny, ktoré sa stanú vplyvom makroekonomických šokov, ktoré nesúvisia s menovou politikou. V našich modeloch odhadujeme jednodennú zmenu pravdepodobnosti, preto sa aj pri kontrolných premenných budeme pozerať na

jednodennú zmenu. V prípade ropy použijeme relatívnu zmenu vyjadrenú ako:

$$\Delta \text{WTI}_t = (\text{WTI}_t / \text{WTI}_{t-1}) - 1 \tag{41}$$

V prípade indexu volatility VSTOXX nebudeme používať relatívnu ale absolútnu zmenu vyjadrenú ako:

$$\Delta \text{VSTOXX}_t = \text{VXSTOXX}_t - \text{VSTOXX}_{t-1} \tag{42}$$

Absolútnu zmenu sme sa rozhodli použiť najmä z dôvodu, že index meria očakávanú 30-dňovú implikovanú volatilitu na anualizovanej báze. Zmena o 1 bod tak predstavuje zmenu implikovanej volatility o 1 percentuálny bod. V prípade použitia relatívnej zmeny by zmena v pokojných časoch, kedy je index na nízkych úrovniach, spôsobovala vysokú relatívnu zmenu napriek nízkemu reálnemu nárastu rizika. Modely budú vyzerať následovne:

$$Y_{inf} = \beta_{inf_0} + \beta_{inf_1} F_1 + \beta_{inf_2} F_2 + \beta_{inf_3} F_3 + \beta_{inf_4} \Delta\text{WTI} + \beta_{inf_5} \Delta\text{VSTOXX} + \varepsilon, \tag{43}$$

$$Y_{def} = \beta_{def_0} + \beta_{def_1} F_1 + \beta_{def_2} F_2 + \beta_{def_3} F_3 + \beta_{def_4} \Delta\text{WTI} + \beta_{def_5} \Delta\text{VSTOXX} + \varepsilon, \tag{44}$$

Pre každý časový horizont vzniknú dva modely. Jeden, ktorý sleduje vplyv menových šokov na zmenu pravdepodobnosti vysokej inflácie, a druhý na zmenu pravdepodobnosti deflácie. Celkovo tak vznikne 8 rôznych modelov.

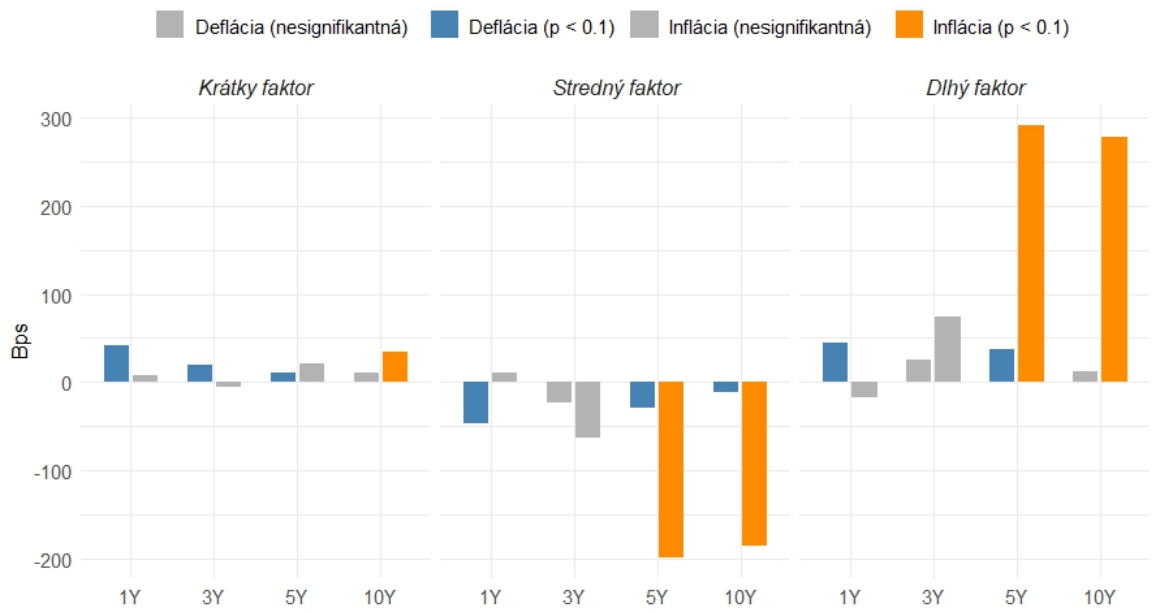
Model	**Intercept**	**F1 (Stredný)**	**F2 (Krátky)**	**F3 (Dlhý)**	**ΔWTI**	**ΔVSTOXX**
DEF 1Y	-0.0027*	-0.9249*	0.8227****	0.8898*	-0.0096	-0.0023*
DEF 3Y	-0.0028*	-0.4600	0.3861*	0.5000	-0.0754	-0.0006
DEF 5Y	-0.0008	-0.5704*	0.2230*	0.7375*	-0.1130*	-0.0014*
DEF 10Y	-0.0016*	-0.2363	0.2054*	0.2464	-0.0048	-0.0013*
INF 1Y	0.0001	0.2308	0.1495	-0.3340	0.0039	0.0003
INF 3Y	0.0102	-1.2616	-0.1222	1.4749	-0.5598	0.0132
INF 5Y	0.0103	-3.9709*	0.4114	5.8190*	-0.8632	-0.0062
INF 10Y	0.0013	-3.7172*	0.7014*	5.5642***	0.0989	0.0116*

Tabuľka 7: Odhady koeficientov pre modely s horizontom 1 deň vrátane externých premenných. (**** $p < 0.001$, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$)

Pridanie externých premenných dokázalo významne zvýšiť signifikantnosť faktorov vo viacerých modeloch.V prípade signifikantnosti na hladine významnosti aspoň 10% sa

stala štatisticky významnou až polovica faktorov. Z externých faktorov sa významnejšie ukazuje vplyv volatility. V prípade dlhších inflačných modelov (INF 5Y, INF 10Y) môžeme vidieť podobný trend ako pred pridaním vysvetľujúcich premenných. Strednodobá zmena vplýva požadovaným smerom, zatiaľ čo dlhodobá zmena skôr opačným smerom, keď s nárastom sadzieb na dlhodobom období rastie aj pravdepodobnosť inflácie. Opäť tu platí interpretácia toho, že trhy verili dátovo založenému strednodobému smerovaniu ECB, zatiaľ čo v dlhodobom horizonte rástla obava z viac inflačnej budúcnosti z pohľadu ECB.

V prípade deflačných modelov ukazujú najväčšiu štatistickú významnosť faktory v jednoročnom modeli DEF 1Y a päťročnom modeli DEF 5Y. Očakávaný vplyv majú krátky a dlhý faktor, ktoré dokázali negatívnou zmenou výnosov znížiť aj pravdepodobnosť deflácie. Opačný vplyv má stredný faktor, kde naopak s poklesom faktora pravdepodobnosť deflácie rástla. Celková citlivosť na menové šoky bola pri deflačných modeloch výrazne nižšia ako v prípade inflačných. Dôvodom môže byť najmä menej turbulentné obdobie, kedy bola politika ECB relatívne stabilná a snažila sa zvýšiť infláciu k úrovni 2%. Strednodobé komunikačné nástroje v tomto prípade neprinášali žiadaný efekt, najmä kvôli zníženej dôvere trhov vo vyjadrenia ECB po dlhodobom období nízkej inflácie. Naopak, v tom čase nové nástroje, ktoré predstavovali nákupy dlhopisov, boli pre trhových účastníkov dôveryhodnejšie a pravdepodobnosť inflácie dokázali znižovať najvýznamnejšie.



Obr. 17: Očakávaná zmena pravdepodobnosti v prípade rastu faktora o 50 bázických bodov

6 Skúšky robustnosti

V predošlej kapitole sme sa pozerali len na zmenu pravdepodobnosti inflačných a deflačných scenárov deň po zasadnutí. V rámci skúšky robustnosti sme sa však rozhodli pozrieť aj na zmenu v dlhšom časovom období 5,15 a 30 dní od zasadnutia ECB. Tieto zmeny by mali ukázať, či mali šoky v menovej politike dlhšie trvácny efekt na inflačné očakávania finančných trhov.

Na takomto období však vzniká riziko, že práve piaty, pätnásty alebo tridsiaty deň bude v cene vybranej opcie prudší pohyb, ktorý bude spôsobený buď externou udalosťou, ktorá ovplyvní cenu vybranej opcie, alebo nižšou likviditou v danom dni. Tento problém sme sa pokúsili eliminovať tak, že miesto jednodňového pozorovania o 5,15 alebo 30 dní sme ako túto hodnotu brali 5-dňový kĺzavý priemer. To znamená, že napríklad pre 5-dňovú zmenu išlo o priemer od prvého dňa po zasadnutí až po piaty deň. Túto úpravu budeme aplikovať len na modely rozdelených období s pridaním externých faktorov, ktoré sa ukázali ako najlepšie. Vzniklo 24 nových modelov - 6 pre každý časový horizont inflačných opcií.

Pre deflačné modely môžeme vidieť významnú signifikantnosť najmä pri druhom faktore, ktorý reprezentuje najkratšie sadzby. Takisto môžeme vidieť väčšiu signifikantnosť

Deflačné obdobie							
Roky	**Dni**	**Intercept**	**F1 (Stredný)**	**F2 (Krátky)**	**F3 (Dlhý)**	**ΔWTI**	**ΔVSTOXX**
1	5	-0.0071*	-0.0747	0.9600*	-0.4296	-0.2308***	0.0005
1	15	-0.0087	-3.1850*	3.4441****	2.9246	-0.3087****	0.0005
1	30	-0.0126	-7.1716***	4.1619***	8.1561***	-0.4693****	0.0027*
3	5	-0.0062*	-0.7862	1.0602****	0.5498	-0.1116**	-0.0007
3	15	-0.0032	-1.5144	1.9795****	1.2973	-0.1342****	0.0000
3	30	-0.0052	-3.7378*	2.3137***	3.9652*	-0.2527****	0.0020**
5	5	-0.0052***	-1.3367***	1.1232****	1.3540*	-0.0790**	-0.0009
5	15	-0.0026	-1.1910	1.4714****	1.0985	-0.0713***	-0.0005
5	30	-0.0006	-1.3687	0.9701*	1.5113	-0.1743****	0.0011*
10	5	-0.0030*	-0.6858*	0.7053****	0.5918*	-0.0387*	-0.0007
10	15	-0.0016	-0.4174	0.5713****	0.3920	-0.0135	0.0002
10	30	-0.0007	-0.8595*	0.5496*	0.8742	-0.0767****	0.0009***

Tabuľka 8: Koeficienty pre modely deflácie (**** $p < 0.001$, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$)

vplyvu ceny ropy, ktorá je v tomto prípade počítaná ako relatívna 5,15 a 30 dňová zmena. V prípade externých faktorov nevyužívame metódu kĺzavého priemeru.

V porovnaní s jednoďnovými modelmi je citlivosť v prípade dlhších modelov výrazne vyššia. Najmä krátky faktor sa dokázal do pravdepodobnosti deflácie výraznejšie pretaviť až po niekoľkých dňoch. Dôvodom môže byť aj metodika kĺzavého priemeru, ktorá dokázala z dát odstrániť prípadne extrémy spôsobené likviditou. Pozitívny vplyv krátkeho a dlhého faktora, môže predstavovať väčšiu dôveru trhov v nástroje, ktoré priamo zasahovali do ekonomiky. Naopak *forward guidance* , ktorý je len komunikačný nástroj, trh po období, v ktorom ECB nedokázala úplne plniť svoj mandát, nedôveroval.

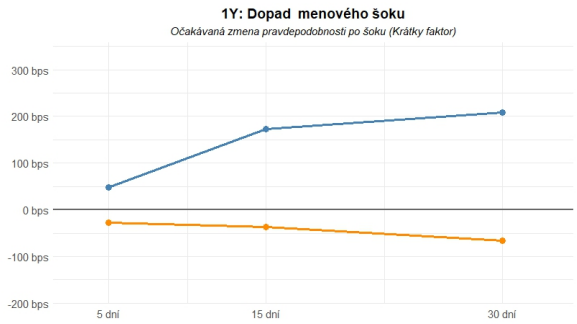
Rovnako sa pozrime na modely v inflačnom období.

Pre inflačné modely sa signifikantnosť výrazne znížila. Modely sú v inflačnom období štatisticky nevýznamné. Dôvodom môže byť kratšie obdobie od mája 2021 do októbra 2023, na ktorom sme inflačné dáta sledovali. V tomto období sa na horizonte 15 až 30 dní udialo často veľké množstvo neočakávaných udalosti, kvôli ktorým je náročné o dlhodobejších efektoch čokoľvek povedať. Napriek očisteniu o vplyvy, akými je trhová volatilta a cena ropy, sa vplyv šokov na dlhšom intervale neukázal významný. Na grafické

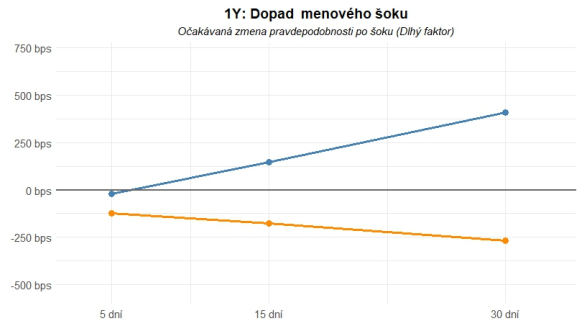
Obdobie vysokej inflácie							
Roky	**Dni**	**Intercept**	**F1 (Stredný)**	**F2 (Krátky)**	**F3 (Dlhý)**	**ΔWTI**	**ΔVSTOXX**
1	5	-0.0020	1.4568	-0.5503	-2.4904	0.4127	0.0021
1	15	-0.0057	1.8816	-0.7396	-3.5151	0.2148	0.0063*
1	30	-0.0095	2.5321	-1.3103	-5.3230	0.5915*	0.0114
3	5	0.0019	1.0992	-0.2940	-2.4539	-0.1948	0.0062**
3	15	0.0160	2.3024	-0.6842	-3.9688	0.1215	0.0022
3	30	-0.0030	7.6448	-1.5595	-12.3097*	0.4263	0.0059
5	5	-0.0072	-0.5465	0.1029	0.0844	0.2267	0.0037**
5	15	-0.0002	2.1750	-0.5779	-3.9550	0.2992	-0.0031
5	30	-0.0117	7.0679	-1.1648	-11.4166*	0.3532	0.0013
10	5	-0.0123	-1.9909	0.7199*	2.2276	0.0968	0.0036
10	15	-0.0097	-0.0063	-0.0652	-0.4343	0.2761*	0.0029*
10	30	-0.0125	3.4487	-0.4038	-5.9916	0.3113	0.0030

Tabuľka 9: Koeficienty pre modely inflácie (**** $p < 0.001$, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$)

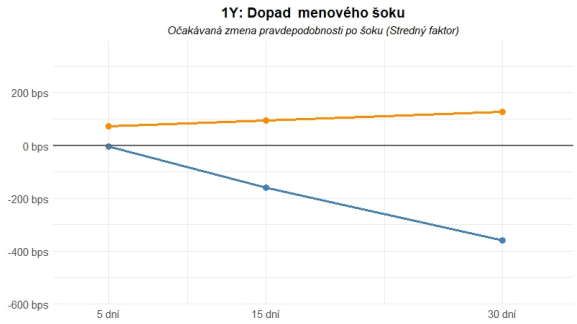
znázornenie všetkých modelov a ich citlivosti na zmenu faktorov sa môžeme pozrieť na Obr.19 a Obr.18.



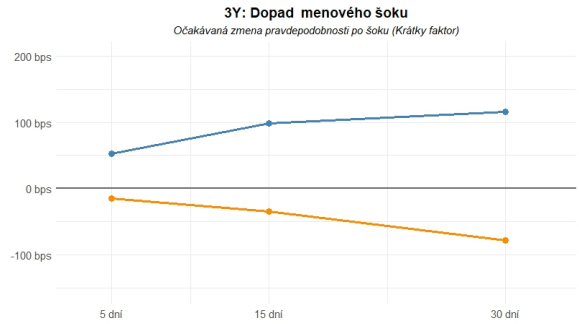
(a) 1 rok (krátky šok)



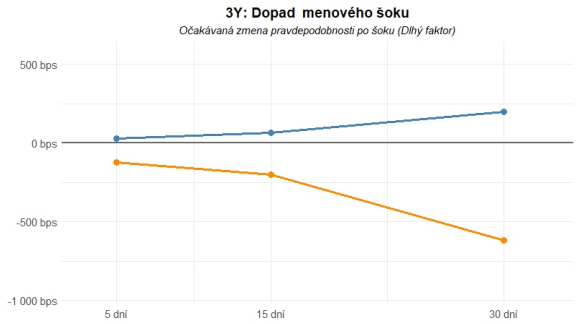
(b) 1 rok (dlhý šok)



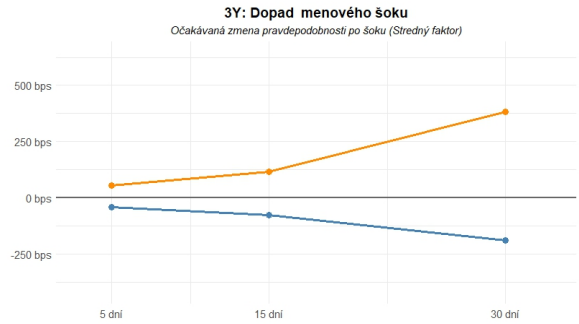
(c) 1 rok (stredný šok)



(d) 3 roky (krátky šok)

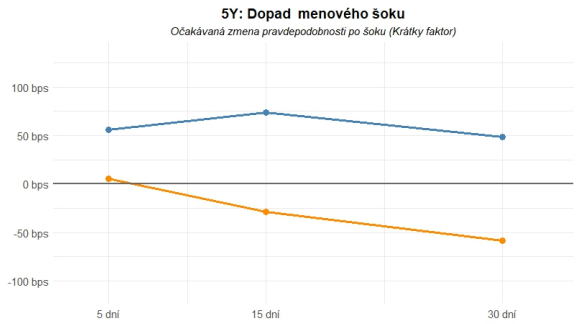


(e) 3 roky (dlhý šok)

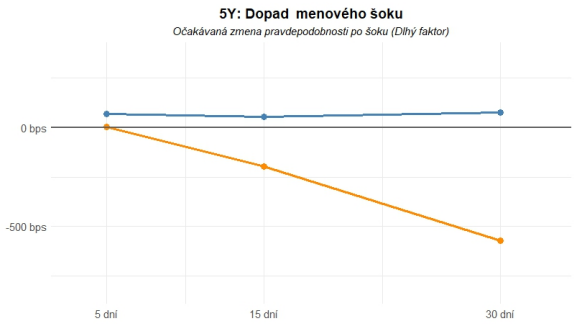


(f) 3 roky (stredný šok)

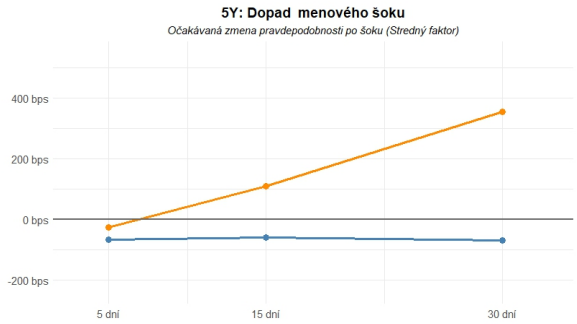
Obr. 18: Dopad zvýšenia faktora o 50 bps: oranžová = Obdobie vyššej inflácie, modrá = Deflačné obdobie



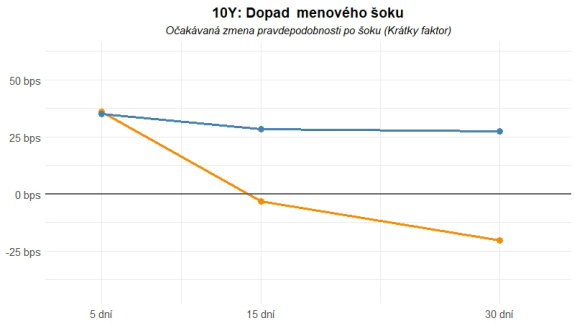
(a) 5 rokov (krátky šok)



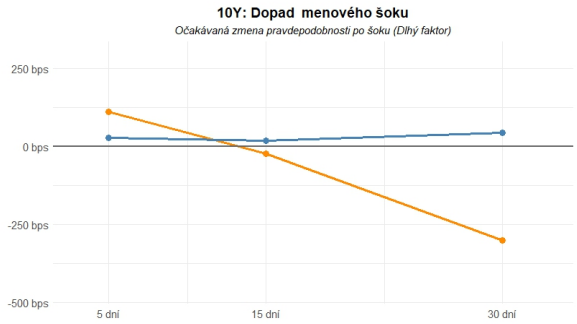
(b) 5 rokov (dlhý šok)



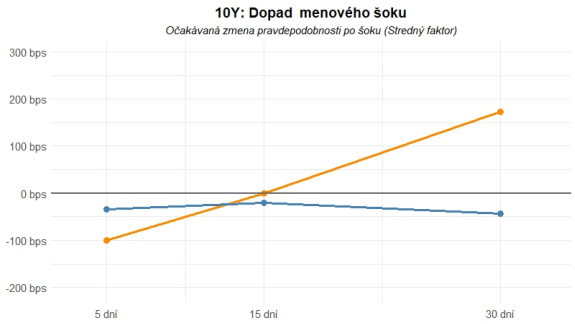
(c) 5 rokov (stredný šok)



(d) 10 rokov (krátky šok)



(e) 10 rokov (dlhý šok)



(f) 10 rokov (stredný šok)

Obr. 19: Dopad zvýšenia faktora o 50 bps: oranžová = Obdobie vyššej inflácie, modrá = Deflačné obdobie

Záver

Cieľmi tejto práce bolo odvodiť z cien inflačných opcií rizikovo neutrálne pravdepodobnostné rozdelenie trhom očakávanej inflácie, a na základe týchto dát navrhnúť model, ktorý bude analyzovať vplyv menovej politiky Európskej centrálnej banky na vnímanie inflačných rizík finančnými trhmi.

Odvodenie neutrálneho pravdepodobnostného rozdelenia trhom očakávanej inflácie sme urobili v druhej kapitole. Z trhom očakávanej inflácie sme identifikovali obavy trhov z deflácie, ktoré narástli najmä okolo rokov 2015 až 2017, čo bolo obdobie kedy ECB otvorene bojovala s nízkou infláciou a obavami s deflácie. Od roku 2021 sme identifikovali obavy investorov z vyššej inflácie vplyvom zvýšených úspor počas pandémie a následnej energetickej krízy spôsobenej vojnou na Ukrajine, keď v jednom bode očakávali 5-ročnú priemernú infláciu nad 4% až s 25% pravdepodobnosťou.

Dôležitou súčasťou bola aj analýza likvidity opcií, ktorá ukázala, že dáta sú dostačujúce na potreby výpočtov pravdepodobností, a to napriek tomu, že sa v istých časoch ukazovali niektoré údaje o cenách opcií ako menej kvalitné. Ide najmä o opcie, ktoré predstavovali pre dané obdobie nereálny scenár.

Na vytvorenie modelov sme zredukovali časovú štruktúru zmien úrokových sadzieb na tri faktory, ktoré reprezentujú tri konkrétne nástroje ECB.

Pomocou lineárnej regresie sme sledovali vzťah medzi zmenou týchto faktorov a zmenou pravdepodobností extrémnych scenárov. Ako prvé sme modelovali obidva extrémy, teda aj vysokú infláciu aj defláciu na celom pozorovanom období. Takéto modely vykazovali nízku štatistickú významnosť.

Na zlepšenie štatistickej významnosti sme obdobia rozdelili podľa extrému, ktorý v danom období dominoval na inflačné a deflačné. Dôvodom na toto rozdelenie bol fakt, že nízka likvidita na vysoké inflačné scenáre v období deflácie mohla znižovať kvalitu modelov.

Pri rozdelených obdobiach sa štatistická významnosť modelov zvýšila. Pre ešte výraznejšie zlepšenie sme pridali vysvetľujúce premenné. Ceny ropy WTI sme zahrnuli, pretože zachytávajú pohyby v inflácií, ktoré nevznikli zmenou menovej politiky. Ceny európskeho indexu volatility VSTOXX sme zahrnuli, pretože dokážu reflektovať nečakané prekvapenia, ktoré mohli v deň zasadanutia ECB nastať.

Strednodobé politiky ECB, medzi ktoré sa radí najmä *forward guidance*, mali v in-

flačnom období najvýraznejší pozitívny vplyv na pokles obáv z vysokej inflácie. V tomto období ECB otvorene komunikovala, že ďalšie kroky menovej politiky budú vždy založené na dátach. Trhy tomu dôverovali, a na neočakávané nárasty výnosov reagovali poklesom obáv z vysokej inflácie.

Dlhodobé politiky ECB, medzi ktoré patria programy nákupov dlhopisov, mali na infláciu skôr opačný vplyv, a rast dlhodobých výnosov obavy z dlhodobej vyššej inflácie zvyšoval. Trhy sa obávali najmä toho, že zvyšovanie dlhých sadzieb môže byť od ECB náznak toho, že ekonomika bude do budúcnosti viac inflačná.

V prípade deflačného obdobia modely ukázali, že najvýraznejší vplyv na pokles pravdepodobnosti deflácie majú dlhodobé politiky ECB, akými sú nákupy dlhopisov a tiež krátkodobé zmeny úrokovej sadzby. Naopak, strednodobé politiky mali na očakávanú deflaciu skôr opačný efekt.

Zaujímavým zistením je, že ak dlhodobé nástroje dokázali znížiť dlhodobé úroky, tak dokázali znížiť aj pravdepodobnosť vysokej inflácie a deflácie.

V šiestej kapitole sme ešte naše modely rozšírili na väčší interval 5, 15 a 30 dní. Dôvodom rozšírenia bolo zistiť, či sa šoky po zasadnutiach pretavené do trhových očakávaní udržia v týchto očakávaniach dlhodobejšie. Novovzniknuté modely vyšli štatisticky významne len v prípade deflačného obdobia, kde ukazovali rovnaké výsledky vplyvov jednotlivých menových politík ako v prípade jednodňového horizontu.

V prípade inflačného obdobia nové modely neboli vôbec štatisticky významné, na čo mohlo mať vplyv aj turbulentné obdobie v ktorom sme inflačné dáta pozorovali.

Očakávania finančných trhov sa nám podarilo ilustrovať pomocou rizikovo neutrálnej pravdepodobnosti. Dokázali sme tiež identifkovať vplyvy menovej politiky na tieto pravdepodobnosti. Výsledky boli logické a dobre ekonomicky interpretovateľné, avšak časť modelov bola nesignifikantná, k čomu prispela nedokonalosť dát a tiež relatívne krátky časový horizont v prípade inflačného obdobia.

Táto práca môže NBS pomôcť k lepšiemu porozumeniu inflačných a deflačných rizík pomocou trhovej pravdepodobnosti týchto scnárov. Môže tiež pomôcť k porozumeniu toho, ako si finančné trhy tvoria očakávania v reakcii na menovú politku ECB.

Zoznam použitej literatúry

[1] Andrade, P., Ferroni, F. (2016): *Delphic and Odyssean monetary policy shocks: Evidence from the euro area*, dostupné na internete (08.05.2025): https://www.econstor.eu/bitstream/10419/227932/1/1686365780.pdf

[2] Bank of England (2012): *Option-implied probability distributions for future inflation*. Quarterly Bulletin 2012 Q3.
Dostupné na internete (1.5.2025): https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/2012/option-implied-probability-distributions-for-future-inflation.pdf

[3] Barrera, M. de la, Falath, J., Henricot, D., Vaglio, J.-A. (2017): *The Impact of Forward Guidance on Inflation Expectations: Evidence from the ECB*, dostupné na internete (08.05.2025): https://bse.eu/sites/default/files/working_paper_pdfs/1010.pdf

[4] Breeden, D. T., Litzenberger, R. H.: *Prices of State-Contingent Claims Implicit in Option Prices*, dostupné na internete (19.01.2025): https://www.jstor.org/stable/2352653

[5] Campbell, J. R., Evans, C. L., Fisher, J. D. M., Justiniano, A. (2012): *Macroeconomic Effects of Federal Reserve Forward Guidance*. Brookings Papers on Economic Activity, Spring 2012. Dostupné na internete (08.05.2025): https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2166310

[6] Carlin, W. & Soskice, D. (2015): *Macroeconomics: Institutions, Instability, and the Financial System*. Oxford University Press, Great Britain.
Dostupné na internete (29.4.2025): https://www.elgaronline.com/view/journals/ejeep/12/1/article-p135.xml

[7] Cattell, R. B. (1966): *The scree test for the number of factors*. Multivariate Behavioral Research, 1(2), 245–276.

[8] Clews, R., Panigirtzoglou, N., a Proudman, J. (2000): *Extracting Information from Options Markets*. Dostupné na internete (19.01.2025): https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/

2000/recent-developments-in-extracting-information-from-options-markets.pdf

[9] Cochrane, J. H., Piazzesi, M. (2002): *The Fed and Interest Rates – A High-Frequency Identification*, dostupné na internete (08.05.2025): https://www.nber.org/papers/w8839

[10] Damodaran, A. (2022): *Country Risk: Determinants, Measures and Implications – The 2022 Edition*. Stern School of Business. Dostupné na internete (19.01.2025): https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4161010

[11] Draghi, M. (2014): *Introductory statement to the press conference (with Q&A)*, Frankfurt am Main, 4. september 2014.
Dostupné na internete (1.5.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/press_conference/monetary-policy-statement/2014/html/is140904.en.html

[12] Draghi, M. (2014): *Unemployment in the euro area*, prejav na výročnom sympóziu v Jackson Hole, 22. august 2014.
Dostupné na internete (1.5.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2014/html/sp140822.en.html

[13] Európska centrálna banka (2019): *European Central Bank Website*.
Dostupné na internete (29.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/euro/changeover/slovakia/html/index.sk.html

[14] Európska centrálna banka (2021): *The ECB's price stability objective*.
Dostupné na internete (29.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/home/search/review/html/price-stability-objective.sk.html

[15] Európska centrálna banka (2021): *Why stable prices matter*.
Dostupné na internete (29.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/ecb-and-you/explainers/tell-me-more/html/stableprices.sk.html

[16] Európska centrálna banka (2021): *The ECB's mission*.
Dostupné na internete (29.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/ecb/orga/escb/ecb-mission/html/index.sk.html

[17] Európska centrálna banka (2021): *The ECB's monetary policy strategy statement.* Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/mopo/strategy/strategy-review/html/ecb.strategyreview_monpol_strategy_statement.en.html

[18] Európska centrálna banka (2021): *Inflation expectations and the strategy review.* Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/home/search/review/html/inflation-expectations.en.html

[19] Európska centrálna banka: *The Information Content of Inflation Options*, dostupné na internete (19.01.2025): https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/mb201307_focus05.en.pdf

[20] Európska centrálna banka (2021): *Inflation expectations and their role in Eurosystem forecasting*, Occasional Paper Series No. 264. Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecb.op264~c8a3ee35b5.en.pdf

[21] Európska centrálna banka (2021): *The Eurosystem's instruments.* Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/mopo/implement/html/index.en.html

[22] Európska centrálna banka (2021): *Deep dive into the ECB: Unconventional monetary policy instruments.* Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/ecb-and-you/explainers/html/unconventional.en.html

[23] Európska centrálna banka (2021): *What is forward guidance?.* Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/ecb-and-you/explainers/tell-me/html/what-is-forward_guidance.en.html

[24] Európska centrálna banka (2014): *The ECB's forward guidance.* Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/art1_mb201404en_pp65-73en.pdf

[25] Európska centrálna banka (2021): *Interview with Christine Lagarde, President of the ECB, conducted by Annette Weisbach.* 2. júl 2021. Dostupné na inter-

nete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/inter/date/2021/html/ecb.in210702~a6ca02cf8e.en.html

[26] Európska centrálna banka (2014): *ECB introduces six-weekly monetary policy meetings and publishes accounts of policy discussions.* ECB Press Release, 3. júl 2014. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/pr/date/2014/html/pr140703_1.en.html

[27] Európska centrálna banka (2024): *Press Conferences – Monetary Policy.* ECB Website.
Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/press_conference/html/index.en.html

[28] Európska centrálna banka (2024): *Accounts of the monetary policy meetings.* ECB Website.
Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/accounts/html/index.en.html

[29] Európska centrálna banka (2020): *ECB announces €750 billion Pandemic Emergency Purchase Programme (PEPP).* Press release, 18 March 2020.
Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/pr/date/2020/html/ecb.pr200318_1~3949d6f266.en.html

[30] Európska centrálna banka (2023): *Dataset EA-MPD – Euro Area Monetary Policy Event-Study Database.*
Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/annex/Dataset_EA-MPD.xlsx

[31] Európska centrálna banka (2019): *The €STR and the new euro short-term rate environment.* ECB Economic Bulletin, Issue 7, Box 3. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/focus/2019/html/ecb.ebbox201907_01~b4d59ec4ee.en.html

[32] Európska centrálna banka (2023). *Annex to the speech by Christine Lagarde – The risks of stubborn inflation.* Frankfurt am Main, 19 June 2023. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2023/html/ecb.sp230619_1_annex~b8cab74d81.en.pdf

[33] Európska centrálna banka (2024). *What caused the surge in inflation in the euro area?* ECB Research Bulletin, March 2024. Retrieved from https://www.ecb.europa.eu/press/research-publications/resbull/2024/html/ecb.rb240319~ea06781467.en.html

[34] Európska centrálna banka (2024): *Independence.* ECB – About the ECB. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ecb.europa.eu/ecb/our-values/independence/html/index.sk.html

[35] Fama, E. F. (1970): *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work*. The Journal of Finance, 25(2), Papers and Proceedings of the Twenty-Eighth Annual Meeting of the American Finance Association, s. 383–417. Dostupné na internete (19.01.2025): https://www.jstor.org/stable/2325486?seq=1

[36] Freedman, D. A. (2009): *Statistical Models: Theory and Practice*. Cambridge University Press, Great Britain.

[37] Gimeno, R., Ibanez, A.(2017): *THE EUROZONE (EXPECTED) INFLATION: AN OPTION'S EYES VIEW*, dostupné na internete (19.01.2025): https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560618301979

[38] Gurkaynak, R. S., Sack, B., Swanson, E. (2005): *Do Actions Speak Louder Than Words? The Response of Asset Prices to Monetary Policy Actions and Statements*. International Journal of Central Banking, 1(1), 55–93. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.ijcb.org/journal/ijcb05q2a2.pdf

[39] Harman, R. (2025): *Multivariate Statistical Analysis: Selected Lecture Notes for the Students of Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University in Bratislava.* Dostupné na internete (14.4.2025): http://www.iam.fmph.uniba.sk/ospm/Harman/VSAp.pdf

[40] Hilscher, J., Raviv, A., Reis, R. (2022): *How Likely Is an Inflation Disaster?*, dostupné na internete (08.05.2025): https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4083404

[41] HULL, J. C. 2018. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 10th edition. London: Pearson Education. ISBN 978-0134472089.

[42] Kaiser, H. F. (1960): *The application of electronic computers to factor analysis*. Educational and Psychological Measurement, 20(1), 141–151.

[43] Kitsul, Y., Wright, J. H. (2013): *The Economics of Option-Implied Inflation Probability Density Functions*, dostupné na internete (19.01.2025): https://www.nber.org/system/files/working_papers/w18195/w18195.pdf

[44] Kuttner, K. N. (2001): *Monetary policy surprises and interest rates: Evidence from the Fed funds futures market*, dostupné na internete (08.05.2025): https://doi.org/10.1016/S0304-3932(01)00055-1

[45] Lane, P. R. (2021): *The new monetary policy strategy: implications for rate forward guidance*.
Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/blog/date/2021/html/ecb.blog210819~c99d1b768d.en.html

[46] Meyler, A. & Reiche, L. (2021): *Making sense of consumers' inflation perceptions and expectations – the role of (un)certainty*.
Dostupné na internete (30.4.2025): https://www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/articles/2021/html/ecb.ebart202102_02~32e2ff1af1.en.html

[47] Nakamura, E., Steinsson, J. (2018): *High-Frequency Identification of Monetary Non-Neutrality: The Information Effect*. The Quarterly Journal of Economics, 133(3), 1283–1330. Dostupné na internete (08.05.2025): https://academic.oup.com/qje/article/133/3/1283/4855866

[48] Nitteberg, M. B.(2011): *Implied Risk-Neutral Densities: An Application to the WTI Crude Oil Market*, dostupné na internete (19.01.2025): https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/267375/489499_FULLTEXT01.pdf?sequence=1

[49] Scharnagl, M., & Stapf, J. (2014). *Inflation, deflation, and uncertainty: What drives euro area option-implied inflation expectations and are they still anchored in the so-*

vereign debt crisis? Deutsche Bundesbank Discussion Paper No. 24/2014. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.bundesbank.de/resource/blob/703862/5e01157afab290ee7c2d93cf4666468e/mL/2014-09-05-dkp-24-data.pdf

[50] Swanson, E. T. (2020): *Measuring the effects of Federal Reserve forward guidance and asset purchases on financial markets*. Journal of Monetary Economics, 118, 32–53. Dostupné na internete (08.05.2025): https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304393220301082