

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Analýza a predikce vybraných finančních časových řad

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

| | |
|-------------------|--|
| Jméno a příjmení: | Bc. Eliška Medunová |
| Osobní číslo: | E20736 |
| Studijní program: | N0413A050009 Ekonomika a management |
| Specializace: | Ekonomika a management podniku |
| Téma práce: | Analýza a predikce vybraných finančních časových řad |
| Zadávací katedra: | Ústav matematiky a kvantitativních metod |

Zásady pro vypracování

Cíl práce: Analyzovat vybrané finanční časové řady a jejich vlastnosti. Nelineární modely časových řad.

Osnova:

- Základní pojmy finančních časových řad.
- Modely časových řad.
- Boxova-Jenkinsova metodologie.
- Analýza časových řad.
- Predikce časových řad.

Rozsah pracovní zprávy: **50**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ. Finanční časové řady: [vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace]. Praha: Grada, 2003. Expert. ISBN 80-247-0330-0.
ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ. Příklady z analýzy ekonomických časových řad. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1997. ISBN 80-7079-056-3.
ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ. Ekonomické časové řady: [vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace]. Praha: Grada, 2007. ISBN 80-247-1319-5.
CIPRA, Tomáš. Finanční ekonometrie. 2., upr. vyd. Praha: Ekopress, 2013. ISBN 978-80- 86929-93-4.
TSAY, Ruey S. Analysis of financial time series. 2nd ed. Hoboken: John Wiley, 2005. Wiley series in probability and statistics. ISBN 0-471-69074-0.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. David Zapletal, Ph.D.**
Ústav matematiky a kvantitativních metod

Datum zadání diplomové práce: **1. září 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2022**

prof. Ing. Jan Stejskal, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Michaela Kotková Strítěská, Ph.D. v.r.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 1. září 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem *Analýza a predikce vybraných finančních časových řad* jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 11. 2022

Bc. Eliška Medunová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala Mgr. Davidovi Zapletalovi, Ph.D. za spolupráci a konzultace při zpracování mé diplomové práce a zejména pak za cenné rady, podnětné připomínky a konstruktivní kritiku, kterou mi při vedení práce poskytl.

ANOTACE

Tato diplomová práce je zaměřena na Analýzu a predikci finančních časových řad. Cílem této práce je analyzovat vybrané finanční časové řady a jejich predikce, dále predikované hodnoty jsou srovnány se skutečnými hodnotami cen akcií. Součástí této práce je finanční trh, modelování volatility, podstata finančních časových řad, konstrukce předpovědi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Finanční časové řady, Modelování volatility, analýza, predikce, Boxova-Jenkinsova metodologie

TITLE

Analysis and Prediction of Selected Financial Time Series

ANNOTATION

This thesis is focused on Financial Time Series Analysis and Forecasting. The aim of this thesis is to analyze selected financial time series and their predictions, further the predicted values are compared with the actual stock price values. This thesis includes financial market, volatility modeling, nature of financial time series, construction of forecast.

KEYWORDS

Financial Time Series, Volatility modelling, Analysis, Prediction, Box-Jenkins methodology

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 9 |
| SEZNAM TABULEK..... | 11 |
| ÚVOD..... | 13 |
| 1 ZÁKLADNÍ POJMY FINANČNÍCH ČASOVÝCH ŘAD | 14 |
| 1.1 Finanční trh | 14 |
| 1.1.1 Akciové trhy | 15 |
| 1.2 Časové řady | 15 |
| 1.2.1 Charakteristiky časových řad..... | 16 |
| 1.2.2 Dekompozice časové řady | 17 |
| 1.3 Finanční časové řady..... | 18 |
| 1.3.1 Vlastnosti finančních časových řad | 18 |
| 1.3.2 Podmíněná heteroskedasticita..... | 19 |
| 2 BOXOVA-JENKINSOVA METODA | 20 |
| 2.1 Modely stacionárních časových řad | 21 |
| 2.1.1 Stochastický proces..... | 21 |
| 2.1.2 Stacionarita | 21 |
| 2.1.3 Proces bílého šumu | 21 |
| 2.1.4 Autokorelační, autokovarianční a parciální autokorelační funkce | 22 |
| 2.1.5 Autoregresní procesy AR..... | 23 |
| 2.1.6 Procesy klouzavých průměrů MA | 25 |
| 2.1.7 Proces ARMA (p,q) | 26 |
| 2.2 Modely nestacionárních časových řad | 27 |
| 2.2.1 Proces ARIMA | 27 |
| 2.3 Modelování volatility | 28 |
| 2.3.1 Model ARCH (q) | 29 |
| 2.3.2 Model ARCH (I) | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.3.3 | Model GARCH (p, q) | 30 |
| 2.3.4 | Model GARCH (1,1) | 31 |
| 2.4 | Konstrukce modelů Boxovy-Jenkinsovy metody | 32 |
| 2.4.1 | Identifikace modelu | 32 |
| 2.4.2 | Odhad modelu | 33 |
| 2.4.3 | Diagnostika modelu | 33 |
| 3 | ANALÝZA ČASOVÝCH ŘAD | 35 |
| 3.1 | ČEZ, a.s. | 35 |
| 3.1.1 | Analýza cen akcie dané společnosti | 35 |
| 3.1.2 | Modelování volatility ČEZ, a.s. | 37 |
| 3.2 | KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 45 |
| 3.2.1 | Analýza cen akcie dané společnosti | 45 |
| 3.2.2 | Modelování volatility KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 46 |
| 3.3 | VIENNA INSURANCE GROUP, AG | 50 |
| 3.3.1 | Analýza cen akcie dané společnosti | 51 |
| 3.3.2 | Modelování volatility VIG | 52 |
| 4 | PREDIKCE ČASOVÝCH ŘAD | 58 |
| 4.1 | Konstrukce předpovědí časových řad | 58 |
| 4.1.1 | Předpovědi na základě modelů ARIMA za předpokladu podmíněné heteroskedasticity | 59 |
| 4.2 | Predikce společnosti ČEZ | 59 |
| 4.3 | Predikce společnosti KOMERČNÍ BANKA | 60 |
| 4.4 | Predikce společnosti VIG | 61 |
| | ZÁVĚR | 63 |
| | POUŽITÁ LITERATURA | 64 |
| | PŘÍLOHY | 66 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Vývoj ceny akcie společnosti ČEZ, a.s. | 37 |
| Obrázek 2: Korelogram vývoj ceny akcie ČEZ, a.s. | 38 |
| Obrázek 3: Logaritmická diference pro ceny akcie ČEZ, a.s. | 38 |
| Obrázek 4: Korelogram logaritmické diference ceny akcie ČEZ, a.s. | 39 |
| Obrázek 5: Koeficienty, p-hodnoty a jejich srovnání s hladinou významnosti model AR(17) | 40 |
| Obrázek 6: Kořeny modelu AR(17) - ČEZ, a.s. | 41 |
| Obrázek 7: Korelogram zvoleného modelu AR(17) pro ČEZ, a.s. | 41 |
| Obrázek 8: ARCH test modelu AR(17) u společnosti ČEZ, a.s. | 42 |
| Obrázek 9: Korelogram čtverců reziduí modelu AR(17) | 43 |
| Obrázek 10: Parametry GARCH (1,1) ČEZ, a.s. | 43 |
| Obrázek 11: Korelogram modelu GARCH (1,1) | 44 |
| Obrázek 12: ARCH test standardizovaných reziduí ČEZ, a.s. | 44 |
| Obrázek 13: Vývoj cen akcie společnosti KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 46 |
| Obrázek 14: Korelogram vývoje cen akcie KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 47 |
| Obrázek 15: Logaritmická diference pro ceny akcie společnosti Komerční Banka, a.s. | 47 |
| Obrázek 16: Korelogram po první logaritmické diferenci KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 48 |
| Obrázek 17: ARCH test modelu MA (1) u společnosti KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 49 |
| Obrázek 18: Korelogram druhých mocnin reziduí - KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 49 |
| Obrázek 19: Vývoj cen akcie společnosti VIG, AG | 52 |
| Obrázek 20: Korelogram vývoje ceny akcie VIG, AG | 52 |
| Obrázek 21: Logaritmická diference cen akcie společnosti VIG, AG | 53 |
| Obrázek 22: Korelogram logaritmické diference cen akcie společnosti VIG, AG | 53 |
| Obrázek 23: Koeficienty, p-hodnoty, jejich srovnání s hladinou významnosti a kořeny MA(19) | 54 |
| Obrázek 24: Korelogram reziduí VIG, AG | 55 |
| Obrázek 25: ARCH test modelu MA(12) u společnosti VIG, AG | 55 |
| Obrázek 26: Korelogram druhých mocnin reziduí modelu MA(12) - VIG, AG | 56 |
| Obrázek 27: Korelogram reziduí GARCH(1,1) | 56 |
| Obrázek 28: Koeficienty v modelu GARCH(1,1) | 57 |
| Obrázek 29: ARCH test modelu GARCH (1,1) - VIG, AG | 57 |
| Obrázek 30: Predikce vývoje logaritmických diferencí ČEZ, a.s. | 60 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 31: Predikce vývoje logaritmických diferencí KB, a.s..... | 61 |
| Obrázek 32: Predikce vývoje logaritmických diferencí VIG | 62 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Informační kritéria pro vhodný model - ČEZ, a.s. | 40 |
| Tabulka 2: Informační kritéria pro vhodný model - KOMERČNÍ BANKA, a.s. | 48 |
| Tabulka 3: Informační kritéria pro vhodný model - VIG, AG | 54 |
| Tabulka 4: Predikované hodnoty společnosti ČEZ, a.s. | 60 |
| Tabulka 5: Predikované hodnoty cen akcie společnosti KB, a.s. | 61 |
| Tabulka 6: Predikované hodnoty pro cenu akcie VIG..... | 62 |

TERMINOLOGIE

| | |
|------|----------------------------------|
| ACF | autocorrelation function |
| AIC | Akaike information criterion |
| AR | autoregression |
| BIC | Bayes information criterion |
| MA | moving average |
| PACF | partial autocorrelation function |
| VIG | Vienna Insurance Group |

ÚVOD

Dané téma bylo vybráno, protože se zdá, že se jedná o zajímavé témata ohledně představy o situaci na akciovém trhu v době, kdy se celý svět potýkal s pandemií onemocnění COVID-19. Jednalo se o mimořádnou situaci, se kterou se museli investoři i obchodníci určitým způsobem vypořádat.

Tato práce obsahuje základní pojmy o časových řadách, zabývá se Boxovou-Jenkinsovou metodou, dále je v práci zpracování analýza cen akcií třech společností, konkrétně dvě společnosti působící v ČR, jedna společnost má své místo působení v zahraničí, konkrétně v Rakousku. U těchto společností je uvedena predikce budoucích cen akcií na určitý časový horizont.

V první části, která je brána jako teoretická, jsou zahrnuty základními pojmy o finančních časových řadách, specifikuje se finanční trh a následně akciový trh, dále se práce zabývá časovými řadami a je uveden rozdíl mezi časovými řadami a finančními časovými řadami, jsou zvedeny charakteristiky časových řad, základní informace o dekompozici časových řad, u finančních časových řad je zmíněna podmíněná heteroskedasticita, která neodmyslitelně souvisí s modelováním volatility. Dále se v práci zabýváme Boxovou-Jenkinsovou metodou, ve které jsou konkrétně popsány modely stacionárních a nestacionárních časových řad, modelování volatility a konstrukce modelů Boxovy-Jenkinsovy metody.

V druhé části práce, která je brána jako praktická, se autorka zabývá již analýzou a následnou predikcí časové řady u vybraných společností. U první společnosti je detailně popsán postup analýzy cen akcií, první částí analýzy je vybrat správný úroňový model, s kterým je následně pracováno. Druhá část analýzy se skládá ze sestavení rovnice, která bude danou situaci ukazovat a uvést predikci cen společností na obchodních dnů, které se porovnají se skutečnými cenami. Analytický postup je aplikován i na ostatní společnosti, které jsou zahrnuty v této práci.

Pro každou společnost je cílem zanalyzovat danou řadu, vybrat vhodný úroňový model a posoudit, zda je správně vybraný, následně predikovat hodnoty pro budoucích 10 obchodních dnů, a ty porovnat se skutečnými hodnotami.

1 ZÁKLADNÍ POJMY FINANČNÍCH ČASOVÝCH ŘAD

Významná část informací o finančním trhu je dávana finančními časovými řadami, které jsou specifické, a mají určité rysy. Základní odlišností jsou časové frekvence sledování jejich hodnot. Analýza a predikce finančních časových řad vede ke klíčovým informacím pro investiční společnosti nebo obchodníky s cennými papíry. V následující kapitole se budeme zabývat finančním trhem, blíže si budeme specifikovat akciový trh, který přímo souvisí s touto diplomovou prací, dále se budeme zabývat časovými řadami, jejich charakteristikou, dekompozicí a podrobněji se budeme věnovat finančním časovým řadám.

1.1 Finanční trh

Finanční trh představuje nabídku a poptávku po penězích a kapitálu. Cílem finančního trhu je přerozdělování dočasně volných peněžních prostředků.

Finanční trh můžeme členit podle různých hledisek, nejčastěji je členěn podle jednotlivých druhů finančních instrumentů. Proto finanční trh členíme na:

- trhy peněžní – na tomto trhu se střetává nabídka a poptávka po peněžních prostředcích (např. trh krátkodobých úvěrů a krátkodobých cenných papírů), hlavní charakteristika těchto trhů je krátká doba splatnosti,
- trhy kapitálové – tento trh je určen pro obchodování s finančními investičními instrumenty, které mají dlouhodobou povahu finančních investic (např. trh dlouhodobých úvěrů a dlouhodobých cenných papírů),
- trhy devizové – jedná se o trh s bezhotovostní formou cizích měn (např. peníze na účtech, směňky, aj.), na kterých se vzájemně směňují různé konvertibilní měny, tímto se tvoří kurzy jednotlivých měn,
- trhy s drahými kovy – nejčastěji se na těchto trzích objevují obchody se zlatem a stříbrem, kde vlastně zlato patří k nejvýznamnějším drahým kovům. (Rejnuš, 2011)

Základní informace finančního trhu je cena směnovaného statku, ten v tomto případě představují peníze a kapitál. Tuto cenu rozlišujeme na: cenu akcie, cenu měny a cenu dluhopisu. Uvedené ceny jsou sledovány v dané časové frekvenci, proto tvoří časové řady. V souvislosti s cenou tedy mluvíme o finančních časových řadách, které mají na rozdíl od jiných časových řad charakteristické rysy a tvarové odlišnosti (Arlt, a další, 2007 str. 14).

1.1.1 Akciové trhy

Akciové trhy jsou část finančních trhů, konkrétně kapitálových trhů, na kterých se obchoduje s akciemi daných společností. Akciový trh má formu neziskové organizace, kde akcionáři jsou nejčastěji banky nebo obchodníci s cennými papíry. Akciové trhy mají velkou historii, protože jejich historie sahá až k 12. století. Obchodní burzy začaly vznikat v 17. století, kdy vznikaly obchodní burzy v Amsterdamu, Berlíně, Londýně, New Yorku nebo třeba v Tokiu. V této době se jednalo hlavně o fyzické obchodování, obchodování dnešního typu začalo až s příchodem výpočetní techniky, která se začala využívat kolem 70. let 20. století. (Jílek, 2009)

Akciový trh můžeme rozdělit na primární a sekundární. Primární trh slouží k emitaci nových cenných papírů a je rozdělen na soukromý a veřejný. Na soukromém primárním akciovém trhu získávají společnosti kapitál prostřednictvím nekótovaných akcií, které jsou prodávány přímo investorům a jedná se pak o soukromou společnost. Naopak na veřejném primárním akciovém trhu vstupují firmy na burzu a nabízejí akcie dané společnosti veřejně. Sekundární trh je oproti primárnímu trhu odlišný v tom, že investoři obchodují mezi sebou. Obchoduje se zde s již vydanými akciemi a společnosti z těchto obchodů již neobdrží žádný dodatečný kapitál. V České republice existují dvě burzy, Burza cenných papírů Praha (BCPP) a RM-SYTÉM, česká burza cenných papírů (RMS). (Rejnuš, 2011)

1.2 Časové řady

Časovou řadou budeme rozumět posloupnost věcně a prostorově srovnatelných pozorování (dat), které jsou jednoznačně uspořádaná z hlediska času ve směru minulost – přítomnost. Analýzou (a podle potřeby i prognózou) časových řad se rozumí soubor metod, které slouží k popisu těchto dynamických systémů. (Zapletal, 2000, s.15)

Časové řady lze klasifikovat podle typu ukazatele, který je sledován, konkrétně se jedná o intervalové a okamžikové časové řady.

Intervalové časové řady jsou řadami ukazatelů, kde hodnoty závisí na délce časových intervalech sledování. Typickými příklady intervalových časových řad jsou např. objemy výroby, spotřeba materiálu, režijní náklady apod.

Okamžikové časové řady jsou řadami ukazatelů, jejichž hodnoty se váží k určitým časovým okamžikům. Typickým příkladem tohoto ukazatele je např. počet dokončených výrobků k určitému dni. (Arlt, a další, 2007 str. 14)

Časové řady můžeme dělit z hlediska času. Z hlediska času se časové řady dělí na dlouhodobé a krátkodobé časové řady.

Dlouhodobé časové řady jsou sledovány v roční i delší frekvenci, zatímco krátkodobé časové řady jsou sledovány v kratší než roční frekvenci, z pravidla ve čtvrtletní, měsíční nebo týdenní frekvenci. Veličinami, které můžeme zařadit do uvedených časových řad, jsou např. obecnou míru nezaměstnanosti, průměrná roční míra inflace, meziroční změna reálné mzdy (pokles/růst), saldo státního rozpočtu nebo HDP za určitý rok. Některé tyto hodnoty je možné sledovat jak v dlouhodobých i v krátkodobých intervalech, např. HDP za čtvrtletí daného roku, míra nezaměstnanosti za jednotlivé měsíce, apod. Tyto hodnoty jsou často určeny pro porovnávání s minulými obdobími. (Arlt, a další, 2007 str. 14)

1.2.1 Charakteristiky časových řad

Časové řady jsou charakteristické trendem, sezónností, podmíněnou heteroskedasticitou, a nelinearitou. Tyto vlastnosti se často neobjevují najednou, záleží to na typu časové řady. Krátkodobé časové řady se vykazují sezónností, zatímco vysokofrekvenční řady podmíněnou heteroskedasticitou.

Trend

Trend odráží změny dlouhodobého charakteru v průměrném chování dané časové řady. Je výsledkem těch faktorů, které z dlouhodobého hlediska působí ve stejném směru. Trend má několik možných charakterů, např. rostoucí, klesající, strmý nebo mírný. Tento charakter je schopný se v průběhu času měnit. Trend v časových řadách je možné popsat pomocí trendových funkcí a klouzavých průměrů, popřípadě klouzavých mediánů. Modelování trendu pomocí trendových funkcí se využívá v případě, kdy vývoj časové řady odpovídá určité funkci času např. lineární, kvadratické, exponenciální, S-křivky apod. Modelování trendu pomocí klouzavých průměrů nebo pomocí klouzavých mediánů se používá v případě, když je vývoj řady v důsledku silného vlivu nesystematické složky nerovnoměrný, nebo má extrémní hodnoty.

Sezónnost

Sezónnost časové řady se projevuje periodickým kolísáním v dané řadě. Toto kolísání je charakteristické tím, že se odehrává během jednoho kalendářního roku a každý rok se v určité podobě opakuje. Sezónnost může být jak u krátkodobých, tak i vysokofrekvenčních časových řadách. Tato charakteristika nemusí být vždy jednoznačně viděna, ale v některých případech

je viditelná na první pohled na graf. Sezónnost se značí S a její frekvence se mění v závislosti na typu časové řady.

Nelinearita

Problém s nelinearitou je poměrně široký a dostatečně neprozkoumaný. Určité ekonomické řady mají charakteristické strukturální zlomy, změnami průběhu nebo variability. Způsob nalezení nelinearity u finančních časových řad je takový, že se může projevit odlišnými průměrnými diferencemi nebo průměrnými koeficienty v odlišných obdobích. Častým příkladem může být např. počet evidovaných nezaměstnaných v ČR za určitý časový úsek. (Arlt, a další, 2007 stránky 13-21)

1.2.2 Dekompozice časové řady

Klasická analýza ekonomických časových řad vychází z předpokladu, že časové řady y_t , kde $t = 1, 2, 3, \dots, T$, lze rozdělit do čtyřech samostatných složek: trendová složka, sezónní složka, cyklická složka a nesystematická složka.

Typy dekompozic časových řad

Dekompozice časové řady může mít dva typy, které jsou rozdílné právě při výpočtu y_t a při měrných jednotkách. Typy dekompozic časových řad, které budeme rozlišovat, jsou:

- Aditivní
 - hodnoty časové řady se určí jako součet jednotlivých složek časové řady
$$y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (1.1)$$
 - po aditivní kompozici jsou jednotlivé složky časové řady ve stejných jednotkách jako původní časová řada. Použití aditivní kompozice nalezneme u situace, kdy se variabilita hodnot časové řady přibližně konstantní v čase.
- Multiplikativní
 - hodnoty časové řady se dají určit jako součin jednotlivých složek časové řady
$$y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t \quad (1.2)$$
 - po multiplikativní kompozici je trendová složka časové řady ve stejných měrných jednotkách jako původní časová řada, zatímco ostatní složky (cyklická, sezónní, nesystematická) jsou v relativním vyjádření. Použití

multiplikativní kompozice využijeme při situace, kdy se variabilita hodnot mění v závislosti na čase, a to buď roste nebo klesá.

V praxi se dekompozice časových řad používá z několika důvodů:

- a) analýzou jednotlivých složek dané řady můžeme odhalit určité zákonitosti vývoje zkoumaného jevu,
- b) časové řady je možné očistit od sezónnosti (odstranění sezónní složky umožňuje porovnat trend několika časových řad současně),
- c) časové řady lze očistit od trendu (odstranění trendové složky umožní lépe modelovat sezónnost, protože charakter sezónnosti je výraznější)
- d) mnohdy umožňuje přesnější určení předpovědi nejen jednotlivých složek časové řady, ale v konečném důsledku také samotné časové řady ve smyslu, že předpovědi jednotlivých složek se sečtou či vynásobí podle použitého typu dekompozice. (Artl, Artlová, Rublíková, 2002, s. 20-21)

1.3 Finanční časové řady

Finanční časové řady mají specifické vlastnosti a tvarové odlišnosti, které jsou dány mikrostrukturou finančního trhu. Podstatu finančních časových řad lépe vystihují nelineární modely. U finančních časových řad se z hlediska délky intervalu sledování bavíme o vysokofrekvenční časové řadě, u které je hlavním rysem právě vysoká časová frekvence hodnot, které jsou zaznamenávány menší než jeden týden, nejčastěji v denní frekvenci, např. ceny akcií, měnové kurzy apod. Charakteristikou finančních časových řad je podmíněná heteroskedasticita. (Arlt, a další, 2007 str. 14)

U finančních časových řad se nevyužívá dekompozice časových řad, ale využívá se Boxova-Jenkinsova metoda, většinou doplněna o modelování volatility. Volatilitou je označována výše poklesu, resp. růstu ceny, tento pojem se vyskytuje u cen akcií a je vyjádřením míry rizika dané investice. V případě nízké volatility je cena akcie stabilní, např. cena zlata. Zatímco v opačném případě, kdy je vysoká volatilita, tak má cena tendenci ke kolísání, např. akcie ropných společností.

1.3.1 Vlastnosti finančních časových řad

Finanční časové řady jsou charakteristické nelineárními modely, které se liší od lineárních modelů. Nelineárních modelů existuje mnoho, jsou využívány např. v ekonomii, konkrétně v marketingu. Mezi vlastnosti finančních časových řad patří:

- **Leptokurické rozdělení** – jsou více špičatá kolem středu, na koncích je hustota větší a na ramenech je hustota nižší než u normálního rozdělení pravděpodobnosti se stejnou střední hodnotou a daným rozptylem, významnou charakteristikou je kladný koeficient špičatosti a toto rozdělení je typické pro finanční data použitelná v praxi
- **Shlukování volatility** – jde o tendenci volatility finančních trhů shlukovat se ve shlucích vysokých nebo nízkých volatilit
- **Pákový efekt** – jev související s kolísáním volatility v čase, s kterým se lineární modely nejsou schopni vypořádat, konkrétně se jedná o tendenci volatility zvětšení se po cenovém poklesu než po cenovém nárůstu (Cipra, 2008 stránky 377-378)

1.3.2 Podmíněná heteroskedasticita

Podmíněná heteroskedasticita se často objevuje u takových časových řad, které jsou odvozeny od cen nebo jsou charakterizovány cenou. Proto se často využívají tzv. logaritmy výnosů, které mají zásadní opodstatnění, a to že ceny nikdy nesmí být záporné. Tato vlastnost je známa poměrně dlouho, může být způsobena charakteristických rysem chováním logaritmů, resp. chováním logaritmů jejich koeficientů růstu. Volatilita se zpravidla v těchto časových řadách v průběhu času mění. Období s vysokou variabilitou se střídají s obdobím s variabilitou nižší. Tuto skutečnost můžeme přisoudit k nejistotě na trhu. Logaritmus výnosů má normální rozdělení s rozptylem měnící se v závislosti na čase. (Arlt, a další, 2007 stránky 21-22)

2 BOXOVA-JENKINSOVA METODA

V této kapitole se budeme věnovat problematice Boxova-Jenkinsovy metodologie. Tato metodologie je založena na myšlence pochopit časové řady jako řady stochastického charakteru. Na základě této metody lze vytvářet modely systematickosti v reziduální složce a tím je možná doplnit analýzu dekompoziční. Naopak můžeme chápat každou časovou řadu jako realizaci stochastického procesu a proto můžeme brát Boxovu-Jenkinsovu metodu za samostatný přístup k analýze časových řad. (Arlt, a další, 1994 str. 135)

Boxova-Jenkinsova metoda přistupuje k analýze časových řad na základě speciálních stochastických modelů, jedná se o modely ARMA, ARIMA, SARIMA aj., proto je tato metoda schopna modelovat časové řady obecných průběhů, které jsou často v rámci dekompozičního přístupu nevladatelné.

Nyní si uvedeme výhody a nevýhody Boxovy-Jenkinsovy metody. Posouzení, zda se jedná o výhodu či nevýhodu, je na subjektivním vnímání, proto nejsme schopni říci, že to tak vždy bude. Nejdříve se budeme zabývat výhodami Boxovy-Jenkinsovy metody:

- Stochastické modely ARMA jsou flexibilní, tudíž jsou vhodné k použití i pro velmi obecné průběhy časových řad,
- existuje velké množství úspěšných aplikací této metody,
- softwarová podoba dané metodologie je v dnešní době dostupná ve většině ekonometrických a statistických programech.

Mezi hlavní nevýhody Boxovy-Jenkinsovy metody můžeme zahrnout následující tvrzení:

- Boxova-Jenkinsova metoda vyžaduje delší časové řady, resp. větší počet pozorování, minimální délkou je alespoň 50 pozorování, ale to není problémem u finančních časových řad),
- tato metoda je bez počítače s potřebným softwarem a určitou instruktáží v podstatě nerealizovatelná
- praktická interpretace již zkonstruovaných modelů je často velmi obtížná, a to právě pro numerické výstupy (př. předpovědi), které jsou dosaženy při využití těchto modelů. (Cipra, 2008 str. 327)

Nyní si přiblížíme nějaké ze základních pojmů, které se pojí s problematikou této kapitoly, a to s Boxovou-Jenkinsovou metodologií.

2.1 Modely stacionárních časových řad

Cílem této podkapitoly je seznámení s základními modely stacionárních a nestacionárních časových řad, budeme se bavit o stochastickém procesu a stacionaritě, autoregresních procesech, procesech klouzavých průměrů a smíšených procesech.

2.1.1 Stochastický proces

Stochastický proces lze charakterizovat jako uspořádanou řadu náhodných veličin v čase. Získané hodnoty jsou často nestacionární, tzn. že hodnoty finanční časové řady nemají tendenci k návratu ke stanovené konstantě. V případě finančních ekonomických řad je zapotřebí mít stacionární řadu, kterou získáme tzv. diferencí. (Hamilton, 1994 stránky 53-56)

V praxi je často předpokladem, že náhodné veličiny stochastického procesu mají normální rozdělení, pokud tomu tak je, hovoří se o tzv. Gaussovském stochastickém procesu. (Arlt, a další, 1994 stránky 136-137)

2.1.2 Stacionarita

V případě stacionarity můžeme rozlišovat striktní stacionární stochastický proces, který můžeme vnímat jako proces se stejným pravděpodobnostním rozdělením každé náhodné veličiny. Chování tohoto procesu je nezávislé na čase. Dále můžeme rozlišovat slabou stacionaritu stochastických procesů, tento pojem byl zaveden ve chvíli, kdy není možné určit distribuční funkci.

V případě, že má daný proces momenty do druhého řádu, pak zřejmě striktní stacionarita implikuje slabou stacionaritu. Pokud je navíc proces normální, potom jsou oba typy stacionarit navzájem ekvivalentní. (Cipra, 2008 str. 328)

2.1.3 Proces bílého šumu

Proces bílého šumu je možné definovat jako stochastický proces, který má v řadě nekorelované náhodné veličiny jednoho rozdělení pravděpodobnosti s konstantní střední hodnotou a rozptylem.

Základním rysem procesu bílého šumu je předpoklad, že autokorelační funkce (ACF) a parciální autokorelační funkce (PACF) jsou identicky nulové. Proces bílého šumu se

prakticky nevyskytuje, ale i přes tuto skutečnost hraje důležitou roli při modelaci časových řad. (Arlt, 1999 str. 19)

2.1.4 Autokorelační, autokovarianční a parciální autokorelační funkce

Časové řady se vyznačují silnou korelovaností v čase, např. pokud bude cena akcie v daný den byla 730 Kč, v blízkých dnech se bude držet v cenové hladině podobné. Kvantifikativní popis tohoto jevu je autokovarianční a autokorelační funkce, zkráceně (ACF):

Autokovarianční funkce pro zpoždění k , se definuje následovně:

$$\gamma_k = cov(y_t; y_{t-k}) = E (y_t - \mu)(y_{t-k} - \mu), \quad k = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (2.1)$$

pro odhad autokovarianční funkce se používá následující rovnice:

$$c_k = \frac{1}{n} \sum_{t=k+1}^n (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y}), k = 0, 1, \dots, n - 1 \quad (2.2)$$

Pro **autokorelační funkci**, pro zpoždění k , máme rovnici v následujícím tvaru:

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{c_k}{c_0}, k = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (2.3)$$

pro odhad autokorelační funkce se využívá následující vztah:

$$r_k = \frac{c_k}{c_0}, k = 0, 1, \dots, n - 1 \quad (2.4)$$

Výše uvedené funkce jsou sudé, proto je postačující omezení na $k \geq 0$. Současně je vždy $\rho_k = 1$ a $|\rho_k| \leq 1$. Pokud budeme chtít znázornit ρ_k pro jednotlivá k , je zapotřebí zobrazení korelogramu, který popisuje během několika hodnot krátkodobou dynamiku dané stacionární řady.

Pro praktický význam následujících odhadů je vyžadováno, aby $n > 50$, a $k < n/4$ (tento požadavek není v praxi často respektován). Někdy nastane situace, že se v rovnici odhadu autokovarianční funkce dělí hodnotou $n - k$, místo pouze hodnotou n . Tímto způsobem je výsledkem menší vychýlenost odhadu (což znamená, že $E(c_k)$ bude blíže skutečné hodnotě γ_k), ale oproti tomu se zvětší střední čtvercová chyba odhadu, která je definována jako $E(c_k - \gamma_k)^2$. V každém případě při velkém n bude blíže $E(c_k)$, resp. $E(r_k)$ skutečné hodnotě γ_k , při této situaci se bude jednat o asymptoticky nestranné odhady.

Chování autokorelační funkce je v Boxovy-Jenkinsovy metodologii velmi důležitým faktorem, protože je schopna určit vhodný úrovnový model, který lze použít. Pro identifikaci

je důležité určit hodnotu $k = k_0$ (kde hodnota k_0 se označuje jako bod useknutí), za kterou bude začínat nulová autokorelační funkce nebo zjistit, že taková hodnota neexistuje.

Dalším z důležitých faktorů je **parciální autokorelační funkce**, zkráceně PACF, se značí ρ_{kk} a tato hodnota je definována jako parciální korelační koeficient mezi hodnotami y_t a y_{t-k} při hodnotách y_{t-k}, \dots, y_{t-1} . Podle definice parciální autokorelace ρ_{kk} je logickým odhadem r_{kk} odhadnutý parametr $\hat{\varphi}_{kk}$ v následujícím modelu:

$$y_t = \delta + \varphi_{k1}y_{t-1} + \varphi_{k2}y_{t-2} + \dots + \varphi_{kk}y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.5)$$

Obdobně jako u autokorelační funkce lze mít i u parciální autokorelační funkce bod useknutí, takže i tato funkce je významným identifikačním nástrojem. (Cipra, 2008 stránky 321-328)

2.1.5 Autoregresní procesy AR

V této podkapitole se budeme zabývat autoregresními procesy. Autoregresní procesy mají různé řady, které se odvíjejí od zpoždění. Pro zjednodušení zápisu modelů je využíván tzv. operátor zpoždění B , pro který platí vztah, kdy $B \cdot y_t = y_{t-1}$.

Autoregresní proces AR (p)

Autoregresní proces AR(p) je možné napsat v následující rovnici:

$$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

podle operátoru zpětného posunutí lze tuto rovnici zapsat takto:

$$\varphi_p(B)y_t = \varepsilon_t \quad (2.7)$$

kde $\varphi_p(B) = (1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p)$. Proces AR(p) je procesem stacionárním, v případě možnosti převedení do tvaru lineárního procesu, tzn. pokud platí vztah $\psi(B) = \varphi_p(B)^{-1}$. Následující podmínka je splněna v případě, že kořeny polynomiální rovnice leží vně jednotkové kruhu.

Rozptyl procesu AR(p) má formu:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma^2}{1 - \varphi_1 \rho_1 - \dots - \varphi_p \rho_p} \quad (2.8)$$

Hodnoty autokorelační funkce je možné získat na základě diferenční rovnice:

$$\rho_k = \varphi_1 \rho_{k-1} + \varphi_2 \rho_{k-2} + \dots + \varphi_p \rho_{k-p}$$

v této rovnici můžeme vidět koeficienty autoregresního procesu φ_1 a φ_2 , které získáme z použití metody nejmenších čtverců a proměnné y_{t-1} a y_{t-2} , které odvodíme z časové řady. Posledním parametrem ε_t je bílý šum. Podmíněná střední hodnota tohoto procesu je v čase proměnlivá, zatímco podmíněný rozptyl a střední hodnota se v čase nemění. (Arlt, 1999 stránky 27-29)

2.1.6 Procesy klouzavých průměrů MA

Proces klouzavých součtů $MA(q)$ označuje proces, kdy hodnota vysvětlované veličiny v určitém čase je tvořena lineární kombinací současných a minulých hodnot náhodné veličiny ε_t . U daného procesu je využívám tzv. *operátor zpoždění*, který se označuje B .

Proces klouzavých průměrů řadu p $MA(p)$

Model $MA(q)$ lze napsat v následujícím vztahu:

$$y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.13)$$

Daný proces je stacionární. Invertibilní je tehdy, pokud je možné vyjádřit jej ve formě konvergujícího procesu $AR(\infty)$ ve tvaru $\theta(B)y_t = \varepsilon_t$. Tato podmínka je naplněna v okamžiku, kdy leží kořeny polynomiální rovnice vně jednotkového kruhu.

Hodnoty ACF jsou zpožděním $k = 1, 2, \dots, q$ různé od nuly, pro další zpoždění se poté rovnají nule. ACF má bod useknutí k_0 stejný jako řád modelu q , zatímco PACF procesu $MA(q)$ bod useknutí nemá, ale je omezena lineární kombinací geometricky klesajících posloupností a sinusoid s geometricky klesajícími amplitudami. Jestliže leží všechny kořeny polynomu vně jednotkového kruhu v komplexní rovině, potom lze říci, že proces $MA(q)$ je invertibilní

Procesy MA vycházejí přímo z lineárního procesu a rozdílem je stav, kdy tyto modely mají konečný počet vah, proto se může říci, že všechny modely MA jsou stacionární. (Cipra, 2008 stránky 333-335)

Proces klouzavých průměrů řadu jedna $MA(1)$

U procesu *klouzavých průměrů prvního řádu* si můžeme povšimnout, že daná řada nemá tendenci k nějakému vývoji, a to jak z hlediska střední hodnoty, tak i rozptylu. Na první pohled může být velmi podobná řadám, které jsou generovány procesem AR.

U procesu MA(1) můžeme využít operátor zpětného posunutí, pomocí kterého jsme schopni zjednodušit zápis modelu. Model procesu MA(1) je procesem klouzavých součtů řádu 1, tento model lze zapsat následujícím vztahem:

$$y_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}, \text{ kde } \theta < 1 \quad (2.14)$$

tuto rovnici lze vyjádřit za pomoci operátoru zpoždění v následující rovnici:

$$y_t = (1 - \theta_1 B) \varepsilon_t \quad (2.15)$$

Pokud je proces vyjádřený v modelu ve formě konvergující reprezentace, potom se tento proces nazývá *invertibilní*. Invertibilní proces je lineárním procesem, který umožňuje zápis ve tvaru vyjadřující současnou hodnotu pomocí minulých hodnot a současné hodnoty bílého šumu. (Arlt, 1999 stránky 32-35)

Proces klouzavých průměrů řádu jedna MA(2)

V modelu MA(2) se nachází více operátorů zpoždění, tento procesu MA(2) lze zapsat vztahem:

$$y_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} \quad (2.16)$$

nebo zjednodušeně pomocí operátoru zpětného posunutí $y_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) \varepsilon_t$.

Proces MA(2) je vždy stacionární. Aby byla splněna podmínka konvergence procesu AR, tzn. aby byl MA(2) invertibilní, je zapotřebí, aby ležely kořeny kvadratické rovnice vně jednotkového kruhu. ACF má vždy první dvě hodnoty různé od nuly, v případě reálných kořenů kvadratické rovnice PACF exponenciálně klesá, v případě komplexních kořenů rovnice má PACF tvar exponenciálně klesající sinusoidy. (Arlt, 1999 stránky 35-39)

2.1.7 Proces ARMA (p,q)

ARMA proces je kombinací procesů AR a MA, tento proces je často využíván pro kvalitní modelování časových řad. Smíšené procesy jsou využívány v případech, kdy stacionární náhodné proces nevyhovuje předpokladům.

Smíšený model časových řad se nazývá ARMA (p,q), kde výrazy p jsou autoregresního typu a výrazy q jsou zpožděné klouzavé průměry.

Proces ARMA(p,q) je vyjádřený v následujícím tvaru:

$$\varphi_p(B)y_t = \varphi_q(B)\varepsilon_t \quad (2.17)$$

Aby byl proces stacionární, musí kořeny rovnice $\varphi_p(B) = 0$ ležet vně jednotkového kruhu, aby byl invertibilní, musí kořeny rovnice $\varphi_q(B) = 0$ ležet v ně jednotkového kruhu.

Proces ARMA má obdobnou podmínku stacionarity jako proces AR(p). Stacionární proces ARMA (p,q) je charakteristickým nulovou střední hodnotou. ARMA má stejnou podmínku invertibility s modelem MA(1). (Arlt, a další, 2003 str. 57)(Artl, Artlová, 2003, s. 38-53)

2.2 Modely nestacionárních časových řad

V následující podkapitole se budeme bavit o modelech nestacionárních časových řad, kde si uvedeme model ARIMA.

2.2.1 Proces ARIMA

Pro časové řady se stochastickým trendem, které je možné stacionarizovat diferencí, jsou určeny procesy autoregresních integrovaných procesů klouzavých průměrů řádu p,d,q , zkráceně ARIMA. Vlastnosti procesu ARIMA jsou obdobné jako tzv. proces náhodné procházky, který je zvláštním případem procesu AR(1), je tedy jasné, že se tento model tvoří kumulováním náhodných veličin, které tvoří proces bílého šumu.

ARIMA je nestacionárním modelem, který je využíván buď k lepšímu pochopení dané časové řady nebo k odhadu budoucího vývoje dané řady. Tyto modely jsou schopny předvídat budoucí hodnoty na základě hodnot minulých. U daného modelu jsou využívány klouzavé průměry k vyhlazení dané časové řady. Využití tohoto procesu nalezneme např. u cenných papírů,

u kterých předpovídáme jejich budoucí cenu. (Arlt, 1999 stránky 51-52)

Proces ARIMA (p,d,q) má následující tvar:

$$\varphi(B)w = \alpha + \theta(B)\varepsilon_t \quad (2.18)$$

hodnota w má tvar: $w = \Delta^d y_t$. V takovém modelu, kde d -tá diference modelované časové řady y_t a tvar procesu ARIMA je stacionární, se nejdříve musí provést standardizace za pomoci vhodné diference dané řady a stacionární řada, která vznikla, se modeluje pomocí modelu ARMA.

Integrovaný proces I(d), který je speciálním případem, vzniká načítáním bílého šumu. Tento proces je ve tvaru:

$$\Delta^d y_t = \varepsilon_t \quad (2.19)$$

Konstrukce modelu ARIMA je založena na konstrukci stacionárního modelu ARMA pro diferencovanou modelovou řadu. Možnostmi, kterými je možné stanovit řád diferencování pro námi pozorovanou řadu, jsou:

- testy na jednotkový kořen
- subjektivní prohlídka průběhu daných řad, jejich odhadnutých korelogramů, a parciálních korelogramů
- porovnání výběrových směrodatných odchylek, daných řad (zde se volí řád, který odpovídá případu s nejmenší volatilitou)
- aplikace informačních kritérií (Cipra, 2008 stránky 353-355)

2.3 Modelování volatility

Modely volatility, jež poprvé popsal Engle (1982), jsou charakteristické tím, že podmíněný rozptylem je lineární funkce veličin $\varepsilon_{t-1}^2, \dots, \varepsilon_{t-q}^2$, z tohoto důvodu se modely nazývají *lineární modely volatility*. Mezi lineární modely volatility řadíme modely ARCH a GARCH. Pokud se budeme zabývat modelováním volatility, je potřeba ho postupně zahrnout do následujících kroků:

1. Určení vhodného úrovnového modelu dle Boxovy-Jenkinsovy metodologie
2. Analýza kvality daného modelu a výsledku testu podmíněné heteroskedasticity, kterému se jinak nazývá ARCH testu a normality.
3. ARCH test vychází z úvahy, že podmíněný rozptyl modelu ARCH(q) je konstantní, jestliže jsou parametry odpovídající veličinám e_{t-12}, \dots, e_{t-q} rovny nule.
4. Identifikace vhodného modelu volatility.
5. Odhad parametrů identifikovaného modelu volatility, kde pro tyto modely se využívá metoda maximální věrohodnosti.
6. Diagnostika modelu, která záleží na ověření průběhu standardizovaných reziduí. Pokud je model určen správným způsobem, měla by jeho standardizovaná rezidua být nezávislá.

2.3.1 Model ARCH (q)

Model Autoregressive Conditional Heteroscedasticity, zkráceně ARCH byl průlomem k systematickému modelování volatility, který aplikoval Engle (1982) na modelování inflace v UK. Modely typu ARCH a jejich zobecnění modely GARCH jsou pro současnost patrně nejúspěšnějším nástrojem pro modelování finančních časových řad. Je potřeba vycházet ze dvou predikátů:

- modely finančních časových řad jsou heteroskedastické, což znamená, že volatilita je proměnná v čase.
- volatilita je jednoduchou kvadratickou funkcí vycházející z minulých předpovědních chyb e_t . Tuto skutečnost je možné vysvětlit následovně: v případě, že dochází ke shlukování volatility, kdy větší (či menší) výkyvy lze očekávat spíše po větších (resp. menších) předchozích výkyvech, lze považovat volatility za (pozitivně) autokorelované a jako nejjednodušší způsob pro modelování je zvolení autoregresního modelu.

Model ARCH(q) má podmíněný rozptyl v následujícím tvaru:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 \quad (2.20)$$

v případě, že vycházíme z předpokladu, že podmíněný rozptyl je kladný, musí být splněny následující podmínky, a to, že $\omega > 0$ a $\alpha_i \geq 0$, kde $i = 1, 2, 3, \dots, q$

Tento model lze vyjádřit pomocí autoregresního tvaru modelu, který má vztah modelu AR(q) procesu $\{\varepsilon_t^2\}$:

$$\varepsilon_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 + v_t \quad (2.21)$$

kde $v_t = \varepsilon_t^2 - h_t$. Daný model lze vyjádřit i pomocí operátoru zpoždění v následujícím tvaru:

$$(1 - \alpha_1 B - \alpha_1 B^2 - \dots - \alpha_q B^q) \varepsilon_t^2 = \omega + v_t \quad (2.22)$$

ARCH (q) je stacionární v kovariancím, v případě, že kořeny polynomiální rovnice leží vně jednotkového kruhu. Tuto skutečnost znázorňuje tvar:

$$(1 - \alpha_1 B - \alpha_1 B^2 - \dots - \alpha_q B^q) = 0 \quad (2.23)$$

Nepodmíněný rozptyl procesu $\{\varepsilon_t^2\}$ ve tvaru

$$D(\varepsilon_t) = \frac{\omega}{1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_q}. \quad (2.24)$$

Z tohoto výrazu je zřejmé, že je nepodmíněný rozptyl konstantní v čase a proces $\{\varepsilon_t^2\}$ je nepodmíněně homoskedastický.

V případě, že by hodnota q vycházela vysoké číslo, je možné použít model GARCH, který je podrobněji popsán v následující kapitole (2.3.3.) (Cipra, 2008 str. 128)

2.3.2 Model ARCH (1)

Model ARCH(1) má podmíněný rozptyl v následujícím tvaru:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 \quad (2.25)$$

Aby byl podmíněný rozptyl kladný, musí být splněny následující podmínky, a to, že $\omega > 0$ a $\alpha_1 \geq 0$. V případě, že α_1 je rovna 0, podmíněný rozptyl je konstantní a proces $\{\varepsilon_t^2\}$ je označován jako podmíněně homoskedastický.

Pokud se k rovnici podmíněného rozptylu modelu ARCH(1) přičte ε_t^2 k oběma stranám a odečte h_t , potom lze získat autoregresní tvar modelu:

$$\varepsilon_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + v_t \quad (2.26)$$

kde $v_t = \varepsilon_t^2 - h_t = h_t(e_t^2 - 1)$. podmíněná a nepodmíněná střední hodnota je nulová, což nám říká, že proces není autokorelovaný. Proces ARCH (1) je stacionární v kovariancích, jestliže $\alpha_1 < 1$, nepodmíněný rozptyl procesu $\{\varepsilon_t\}$ má tvar:

$$D(\varepsilon_t) = \frac{\omega}{1 - \alpha_1} \quad (2.27)$$

Z uvedené rovnice je zřejmé, že je nepodmíněný rozptyl konstantní v čase a proces $\{\varepsilon_t^2\}$ je nepodmíněně homoskedastický a autokorelační funkce je ve zpoždění k rovna α_1^k .

Prostřednictvím modelu ARCH je možné zachytit shluky volatility v časové řadě. V případě, že hodnota ε_{t-1} , kterou budeme uvažovat v absolutní hodnotě, bude vysoká, můžeme uvažovat o vysoké hodnotě ε_t , též uvažovanou v absolutní hodnotě. Na základě tohoto modelu lze zachytit vyšší špičatost rozdělení pravděpodobnosti. (Arlt, a další, 2007 str. 129)

2.3.3 Model GARCH (p,q)

Model Generalized ARCH, zkráceně GARCH se používá v případě, že je nutné využít v modelu ARCH, kde je q vysoké číslo. V této situaci nastává problém s odhadem velkého množství parametrů, které jsou umocněné řadou existujících omezujících podmínek

(nenulovost podmíněného rozptylu, stacionarita). Model GARCH je navrhnut tak, aby se vyhnul tomuto problému rozšířením modelu ARCH o zpožděný podmíněný rozptyl.

Model GARCH (p,q) má tvar:

$$h_t = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \quad (2.28)$$

tuto rovnici lze zapsat zjednodušeně i pomocí operátoru zpoždění, kdy má rovnice tvar:

$$h_t = \omega + \alpha(B)\varepsilon_t^2 + \beta(B)h_t \quad (2.29)$$

Podmínky $\omega > 0, \alpha_i > 0, \beta_i > 0$, kde $i = 1,2,3,\dots,q$ zaručují kladný podmíněný rozptyl. Model GARCH (p,q) je stacionární v kovariancích, pokud leží kořeny polynomiální rovnice

$$1 - \alpha(B) - \beta(B) = 0 \quad (2.30)$$

vně jednotkového kruhu. Nepodmíněný rozptyl procesu $\{\varepsilon_t\}$ má tvar:

$$D(\varepsilon_t) = \frac{\omega}{1 - \alpha(1) - \beta(1)} \quad (2.31)$$

(Arlt, a další, 2007 stránky 130-131)

2.3.4 Model GARCH (1,1)

Model GARCH (1,1) má tvar:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1} \quad (2.32)$$

Podmínky $\omega > 0, \alpha_1 > 0, \beta_1 > 0$, kde $i = 1,2,3,\dots,q$ zaručují kladný podmíněný rozptyl. Pomocí operátoru zpoždění lze rovnici modelu GARCH (1,1) vyjádřit jako:

$$h_t = (1 - \beta_1 B)^{-1} (\omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2) \quad (2.33)$$

což je model ARCH (∞) . Z tohoto vyjádření je zřejmé, že model GARCH (1,1) lze využít v případě, kdy by bylo vhodné volit model ARCH s mnoha zpožděními. Pokud se k oběma stranám rovnice přičte ε_t^2 a odečte h_t , lze přepsat do tvaru modelu ARMA (1,1) :

$$\varepsilon_t^2 = \omega + (\alpha_1 + \beta_1) \varepsilon_{t-1}^2 + v_t - \beta_1 v_{t-1} \quad (2.34)$$

kde $v_t = \varepsilon_t^2 - h_t$. Z toho vyplývá, že model GARCH (1,1) je stacionární v kovariancích, v případě, že $\alpha_1 + \beta_1 < 1$. Nepodmíněný rozptyl procesu $\{\varepsilon_t\}$ má tvar:

$$D(\varepsilon_t) = \frac{\omega}{1 - \alpha_1 - \beta_1} \quad (2.35)$$

z toho vyplývá, že je daný podmíněný rozptyl konstantní v čase a proces $\{\varepsilon_t\}$ je podmíněně homoskedastický. V modelu (2.34) je zřejmý důvod podmínky $\alpha_1 > 0$. Kdyby byla $\alpha_1 = 0$, nebyli bychom schopni identifikovat parametr β_1 , protože by platil následující vztah:

$$\varepsilon_t^2 = v_t \quad (2.36)$$

Špičatost náhodných veličin ε_t má pro vztah $3\alpha_1^2 + 2\alpha_1\beta_1 + \beta_1^2 < 1$ tvar:

$$KU_\varepsilon = \frac{E(\varepsilon_t^4)}{E(\varepsilon_t^2)^2} = \frac{3(1 - (\alpha_1 + \beta_1)^2)}{1 - (\alpha_1 + \beta_1)^2 - 2\alpha_1^2}$$

v opačném případě je ∞ . Špičatost je tedy vždy větší než špičatost normálního rozdělení. Bollerslav odvodil autokorelační funkci procesu $\{\varepsilon_t^2\}$

$$\rho_1 = \alpha_1 + \frac{\alpha_1^2\beta_1}{1 - 2\alpha_1\beta_1 - \beta_1^2} \quad (2.37)$$

$$\rho_k = (\alpha_1 + \beta_1)^{k-1}\rho_1 \quad (2.38)$$

Hodnoty autokorelační funkce s rostoucím zpožděním k budou exponenciálně klesat, rychlost poklesu záleží na hodnotě součtu $\alpha_1 + \beta_1$. V případě blížící se hodnotě 1, je pokles autokorelační funkce velmi pozvolný, zatímco hodnoty parciální autokorelační funkce také s rostoucím zpožděním exponenciálně klesají. (Arlt, a další, 2007)

2.4 Konstrukce modelů Boxovy-Jenkinsovy metody

Konstrukce daného modelu pro určitou časovou řadu se obvykle doporučuje dělat v několika fázích. Jako první je potřeba identifikace daného modelu, potom je třeba daný model odhadnout a následně diagnostikovat.

2.4.1 Identifikace modelu

Identifikační postup spočívá v prostudování odhadnutého korelogramu a parciálního korelogramu modelované časové řady, kdy cílem je nalézt nejvhodnější typ modelu podle charakteristik jednotlivých procesů. V případě pochybností testujeme bod useknutí, za pomoci Bartlettovy aproximace s asymptotickým kritickým oborem.

Dále k identifikování modelu je využití informačních kritérií. Informační kritéria jsou možné využít Akaikovo informační kritérium (AIC) a Bayesovské informační kritérium (BIC). V tomto případě se jedná o modernější přístup, který teoreticky umožňuje zautomatizování identifikaci daného modelu. V některých případech se též pro kontrolu správnosti identifikace modelu využívají odhadnuté autokorelace, které by měly platit za předpoklady stacionarity a invertibility modelu.

Cílem je najít takový model, který má informační kritéria AIC a BIC co nejmenší. (Cipra, 2008 str. 339)

2.4.2 Odhad modelu

Dané modely je možné odhadnout tak, že se použijí vztahy mezi parametry a autokorelacemi v modelu AR(1), ale tyto odhady jsou brány pouze jako předběžné a poslouží jako počáteční hodnoty odhadové procedury, které se provádějí nejčastěji iteračně. Odhadové procedury pro konstrukci konečných odhadů v daných modelech jsou ale spíše softwarovou záležitostí. Pro model AR(q) se standardně využívá OLS metoda, jinak řečeno metoda nejmenších čtverců. V případě stacionárního a invertibilního ARMA(p,q) modelu se pro odhad modelu využívají

NLS-odhady neboli nelineární regresní modely, které jsou pak realizované pomocí iteračních algoritmů typu Gauss-Newton. Konstanta může být i v odhadnutém modelu, situaci zda je nebo není významná se dozvíme až při provedení daného odhadu v softwaru. (Cipra, 2008 stránky 343-345)

2.4.3 Diagnostika modelu

Diagnostika modelu v Boxově-Jenkinsově metodě si zakládá na kontrole adekvátnosti modelu, tzn. že cílem diagnostiky modelu je kontrola skutečné kompatibility s analyzovanými daty. Zaměřuje se na následující aspekty:

Kontrola stacionarity

Úkolem tohoto bodu je kontrola splňující podmínky stacionarity u odhadnutého modelu, jinak řečeno sleduje zda kořeny odhadnutého autoregresivního polynomu leží uvnitř jednotkového kruhu v komplexní rovině. Pro podrobnější kontrolu lze rozdělit časovou řadu na několik časových úseků a tyto úseky testovat na shodnost odhadnutých úrovní, rozptylů a autokorelací mezi jednotlivými úseky.

Dalším postupem v této analýze je délka odezvy impulsu v odhadnutém modelu, který nastal v jediném časovém okamžiku nebo opakovaně od daného okamžiku a patrně určuje následné hodnoty procesu. Pokud analyzujeme stacionární řadu, měla by mít tu vlastnost, že se s rostoucí časovou vzdáleností od okamžiků impulsu: odezva pro jediný impuls postupně odezní až na nulovou hodnotu; odezva pro opakovaný impuls se bude stabilizovat na určité nenulové úrovni.

Kontrola struktury ARMA

Kontroluje se shoda korelační struktury odhadnuté z dat s korelační strukturou, která je vypočítána z odhadnutého modelu, který se ověřuje. Jiná kontrola struktury, která souvisí s testováním nekorelovanosti pro vypočítaný bílý šum, se provádí pomocí *Q*-testů.

Grafická prohlídka vypočteného bílého šumu

Důležitým nástrojem je vypočtený bílý šum z modelu časové řady, který byl odhadnut. Grafický záznam může naznačovat případné chyby modelu, jako jsou např. nulová střední hodnota, konstantní rozptyl, nekorelovanost a normalitu)

Testování nekorelovanosti pro vypočtený bílý šum

Pro testování nekorelovanosti bílého šumu je vhodné použít (pokud je splněn předpoklad normality) test, který je založený na Bartlettově aproximaci, kde je nutno pracovat s odhadnutými autokorelacemi vypočteného bílého šumu. Velmi často se využívají *Q*-testy.

ARCH test

ARCH test se používá v případě, kdy je potřeba zjistit přítomnost heteroskedasticity v dané časové řadě. Nulová hypotéza ARCH testu je taková, že v dané časové řadě není žádný efekt ARCH, jinak řečeno, že podmíněný rozptyl daného modelu je konstantní. Pro posouzení zamítnutí či nezamítnutí nulové hypotézy je potřeba porovnat *p*-hodnotu se stanovenou hladinou významnosti α . Pokud se nulová hypotéza zamítá, jinak řečeno potvrdí se přítomnost heteroskedasticity, lze pokračovat v modelování volatility. V případě této situace je možné identifikovat vhodný úroňový model. (Cipra, 2008 stránky 347-350)

3 ANALÝZA ČASOVÝCH ŘAD

V kapitole analýzy časových řad se budeme zabývat analýzou cen akcií jednotlivých společností. Časová osa, ze které se v této diplomové práci vycházelo, se stanovila na období od 5.10.2020 do 30.6.2022. Tyto časové řady byly vybrány, protože v daném období byla situace na akciových i finančních trzích ovlivněna pandemií onemocnění COVID-19 a ke konci vybraného období se zde také projevila ruská invaze na Ukrajinu.

Cílem je zanalyzovat akcie českých společností ČEZ, a.s., Komerční banka a.s. a zahraniční společnosti Vienna insurance group AG (VIG). Tyto společnosti byly vybrány na základě údajů z webu Burzy cenných papírů Praha (BCPP), kde zmíněné české společnosti byly na prvních dvou pozicích z hlediska objemů obchodů. Zároveň byla data vybírána tak, aby reprezentovala jiné odvětví. V případě společnosti VIG byla vybrána z důvodů zahraniční společnosti, která má dosah do ČR, a společnosti, které jsou pod touto společností máme běžně v podvědomí.

Získaná vstupní data ohledně závěrečných cen akcií jsou z webových stránek jednotlivých společností, ostatní informace jsou získány z výročních zpráv společností. Pro tuto analýzu jsou zaznamenány vstupní data jako datum a cena akcie v příloze. Hladinu významnosti si stanovíme $\alpha = 0,05$. Chybějící hodnoty, které se nacházeli v časových řadách z důvodů svátků, jsme doplnily průměrem předcházející a následující hodnoty tak, aby byla časová řada ucelená. U společností ČEZ, a.s. a Komerční banka, a.s. byly státní svátky stejné, zatímco u zahraniční společnosti Vienna insurance group se dané svátky mírně lišily.

Pro analýzu a predikci následujících dat bude využíván bezplatný software Gretl a program Excel, pro zpracování tabulek.

3.1 ČEZ, a.s.

Společnost ČEZ, a.s. je akciovou společností, která se zabývá výrobou, distribucí a prodejem elektřiny koncovým zákazníkům. Akcie ČEZ se od 15. 6. 1993 obchodují na pražské burze a tvoří jeden z pilířů Indexu PX. ČEZ je nejvíce obchodovanou akcií na BCPP. Akcie společnosti jsou přijaty k obchodování také na Burze cenných papírů ve Varšavě v Polské republice a jsou neomezeně převoditelné.

3.1.1 Analýza cen akcie dané společnosti

Z tabulky cen akcií společnosti ČEZ, a.s. můžeme vidět, že nejvyšší cena akcie byla evidována dne 12.10.2022, kdy se cena akcie vyšplhala na 1 216 Kč. Naopak nejnižší cenu

můžeme zaznamenat k datu 12.10.2020, kdy byla cena akcie vymezena na 435 Kč. U průměrných cen za jednotlivé měsíce je nejvyšší cena u měsíce června 2022 a nejnižší cena akcie u měsíce října 2020.

Shrnutí informací o dané společnosti v roce 2020

- tržní kapitalizace k 31.12.2020 byla 275,8 mld. Kč,
- Objem obchodů s akciemi dané společnosti na BCPP byl v roce 2020 31,5 mld,
- podíl akcií ČEZ na objemu obchodů na BCPP byl v tomto roce 25,1%,
- Počet registrovaných akcií k 31.12.2020 537 990 tis., zatímco:
 - počet akcií v oběhu byl v daném roce 535 474 tis.,
 - vlastních akcií v dané společnosti bylo 2 516 tis. ks.
- V červnu roku 2020 valná hromada dané společnosti rozhodla o výplatě dividend ve výši 34 Kč na jednu akcii před zdaněním, výše dividendy odpovídá dividendové politice společnosti.
- Dividendy z vlastních akcií vypláceny nebyly a byly převedeny na účet nerozděleného zisku minulých let.

Shrnutí informací o dané společnosti v roce 2021

- tržní kapitalizace dané společnosti k 31.12.2021 byla 443,9 mld. Kč.
- Objem obchodů s akciemi dané společnosti na BCPP byl v roce 2020 44,8 mld,
- podíl akcií ČEZ na objemu obchodů na BCPP byl v tomto roce 31,9 %.
- Počet registrovaných akcií k 31.12.2020 537 990 tis., zatímco:
 - počet akcií v oběhu byl v daném roce 536 731 tis.,
 - zbylé akcie byly vedené jako vlastní akcie a jejich počet v porovnání s minulým obdobím se snížil na 1 258 tis. ks.
- V červnu roku 2021 valná hromada rozhodla o výplatě dividend ve výši 52 Kč na jednu akcii.

- Dividendy z vlastních akcií vypláceny nebyly a byly převedeny na účet nerozděleného zisku minulých let.
- Dále byla schválena mimořádná složka dividendy 5,2 mld. Kč, která odráží příspěvek prodeje rumunských aktiv do celkové dluhové kapacity Skupiny ČEZ. (Výroční zpráva ČEZ, 2020,2021)

3.1.2 Modelování volatility ČEZ, a.s.

Postup modelování volatility se skládá z několika kroků, nejdříve si vyobrazíme vývoj ceny akcie dané společnosti, určíme stacionaritu/nestacionaritu časové řady. Pokud se časová řada jeví jako nestacionární, následuje její převod, standardně logaritmickou diferencí proměnných, které nás zbaví nestacionární řady. V dalším kroku hledáme vhodný úrovněvý model, po jeho nalezení se zabýváme ARCH testem, v tomto případě hledáme takovou p-hodnotu, která nám je schopna zamítnout hypotézu o existenci ARCH efektu. V případě potřeby další modelace využijeme z nabídky software Gretl, např. uložení u vhodného úrovněvého modelu rezidua a čtverce reziduí. Tyto hodnoty nám mohou pomoci k závěrečnému sestavení rovnice a vyčištění korelogramu reziduí od statisticky významných hodnot.

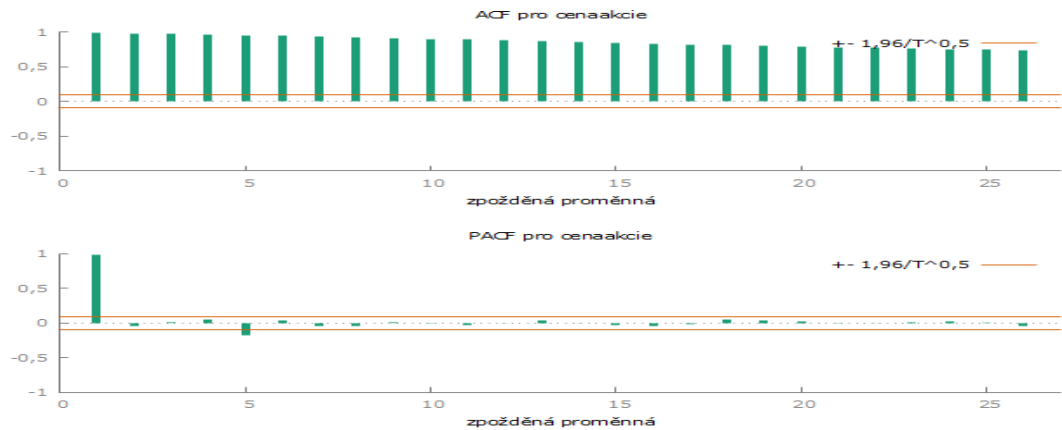
V tomto případě je třeba nahrát data do zvoleného softwaru, kterým je software Gretl. Data je nutné interpretovat jako časovou řadu, v našem případě 5 denní časovou řadu, protože ceny akcií jsou zaznamenávány pouze v obchodní dny, což jsou pracovní dny v týdnu. Po nahrání dat následuje zobrazení grafu vývoje cen dané akcie. Tento graf je možný vidět níže. konkrétně na Obrázku č. 1.



Obrázek 1: Vývoj ceny akcie společnosti ČEZ, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování ze softwaru Gretl

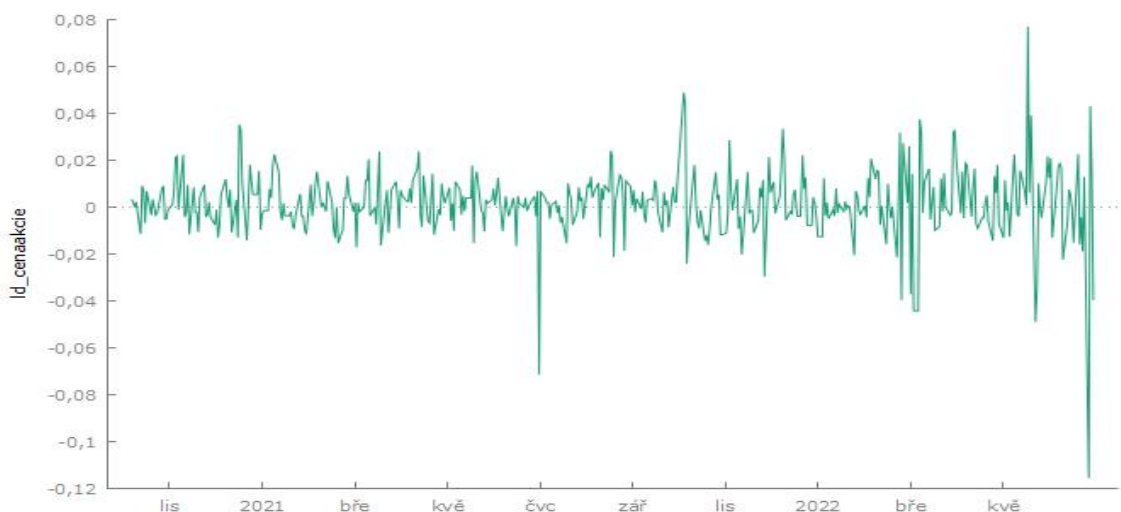
Na obrázku č.1 je vyobrazeno na ose x časové údaje, na ose y cena akcie. Při pohledu na uvedený graf je vidět vývoj cen akcií za dané období, kde můžeme pozorovat občasné výkyvy cen převážně po celou dobu růst cen. Pro analýzu této časové řady je nutné zobrazení korelogramu.



Obrázek 2: Korelogram vývoj ceny akcie ČEZ, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování ze softwaru Gretl

Z obrázku č. 2 lze vidět, že vývoj autokorelační funkce má tendenci k poklesu, všechny hodnoty jsou statisticky významné, zatímco u parciální autokorelační funkce můžeme vidět první hodnotu, která dosahuje téměř hodnotě 1, jako statisticky významnou, jako další takovou hodnotou lze považovat hodnotu pátou. Ostatní hodnoty jsou statisticky nevýznamné.



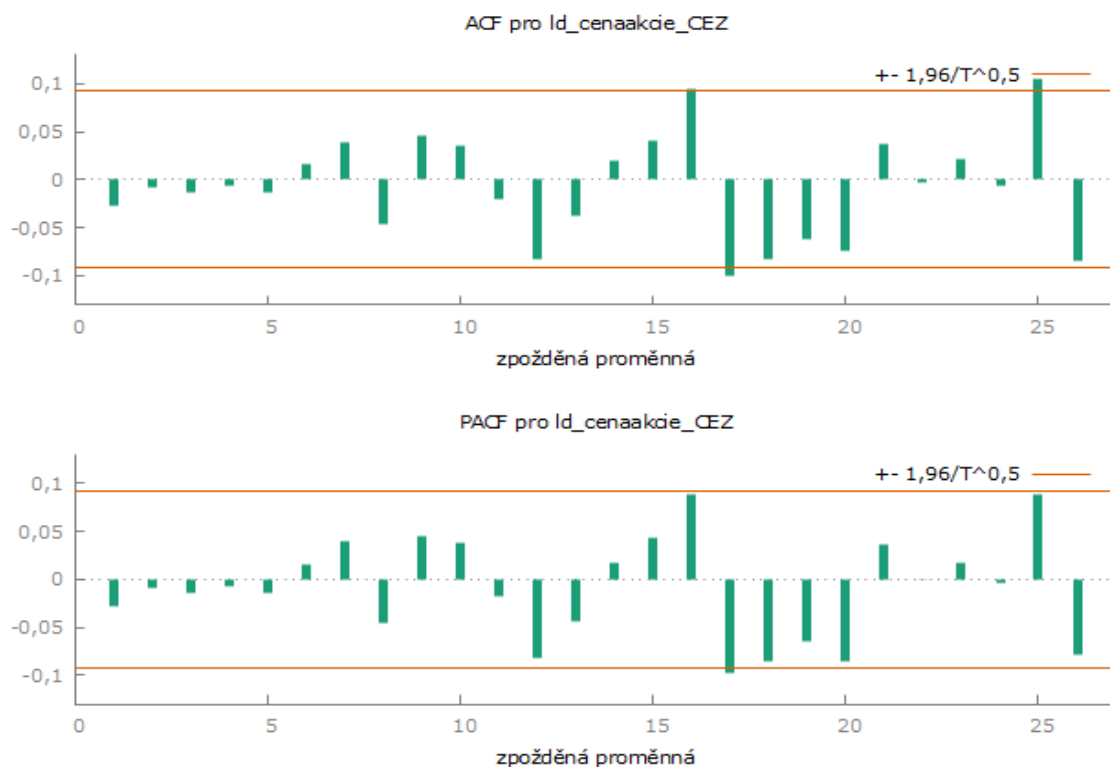
Obrázek 3: Logaritmičká diference pro ceny akcie ČEZ, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Z uvedeného Obrázku č.3 je zřejmé, že tato časová řada je nestacionární. Dalším krokem pro modelování časové řady je zapotřebí vyřešit tento problém. Daný problém je možné vyřešit logaritmickou diferencí daných proměnných.

Po použití logaritmické diference, které jsou vyobrazeny na Obrázku č.3 je zřejmé, že daná řada vykazuje typický rys finanční časové řady, kterým je shlukování volatility, což je velmi častý jev u vysokofrekvenčních časových řad. Dále po provedení logaritmické diference můžeme usoudit, že nyní je časová řada stacionární.

Pro odhadnutí modelu je zapotřebí zobrazení korelogramu logaritmické diference, v tomto případě hodnoty *cenaakcie*, který je vyobrazený na Obrázku č. 4. Statisticky významné přesahy zpoždění jsou u ACF na 16., 17. a 25. místě, u PACF statisticky významné přesahy zpoždění lze spatřit na 17. místě. Při určování modelu ARIMA je zřejmé, že se bude jednat o model AR(17) a MA(25).



Obrázek 4: Korelogram logaritmické diference ceny akcie ČEZ, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Pro výběr vhodného úrovnového modelu je zapotřebí porovnání informační kritéria, konkrétně Akaikovo kritérium a Schwarzovo kritérium. Hodnoty těchto kritérií uvažujeme v minimální hodnotě. Tato hodnota je schopna říci, který úrovnový model bude nejvhodnější.

V následující Tabulce č. 1, jsou uvedeny hodnoty informačních kritérií, podle kterého se budeme rozhodovat při vhodném výběru modelu. Uvažujeme tři informační kritéria a budeme porovnávat úrovně modely AR a MA.

Tabulka 1: Informační kritéria pro vhodný model - ČEZ, a.s.

| | AR (17) | MA(25) |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Akaikovo kritérium | -2567,755 | -2560,852 |
| Schwarzovo kritérium | -2534,828 | -2532,081 |

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl

Po vyhodnocení Tabulky č. 1 je zřejmé, že budeme uvažovat model AR(17), protože hodnoty informačních kritérií mají minimální hodnoty. Dalším krokem je zhodnocení významnosti parametrů. Tuto skutečnost budeme posuzovat podle Obrázku č. 5, který je výstupem ze softwaru Gretl. Dostaneme se k závěru, že odhadovaný parametr včetně konstanty jsou významné, proto zamítáme nulovou hypotézu o nulovosti odhadovaných parametrů na základě p-hodnoty, která je ve většině případů menší než stanovená hladina významnosti, pouze

u *phi_12* je p-hodnota o zanedbatelnou hodnotu vyšší, ale software to vyhodnotil jako stále statisticky významnou hodnotu. Tento důkaz můžeme vidět na Obrázku č. 5. Zbylé hodnoty, které nejsou statisticky významné nebudou v následujícím modelu zahrnuty.

| | koeficient | směr. chyba | z | p-hodnota | |
|--------|------------|-------------|--------|-----------|-----|
| const | 0,00201618 | 0,000558985 | 3,607 | 0,0003 | *** |
| phi_12 | -0,0917783 | 0,0501146 | -1,831 | 0,0670 | * |
| phi_16 | 0,113787 | 0,0503283 | 2,261 | 0,0238 | ** |
| phi_17 | -0,113223 | 0,0504322 | -2,245 | 0,0248 | ** |
| phi_18 | -0,104237 | 0,0502938 | -2,073 | 0,0382 | ** |
| phi_25 | 0,126382 | 0,0506892 | 2,493 | 0,0127 | ** |
| phi_26 | -0,110485 | 0,0505978 | -2,184 | 0,0290 | ** |

Obrázek 5: Koeficienty, p-hodnoty a jejich srovnání s hladinou významnosti model AR(17)

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl

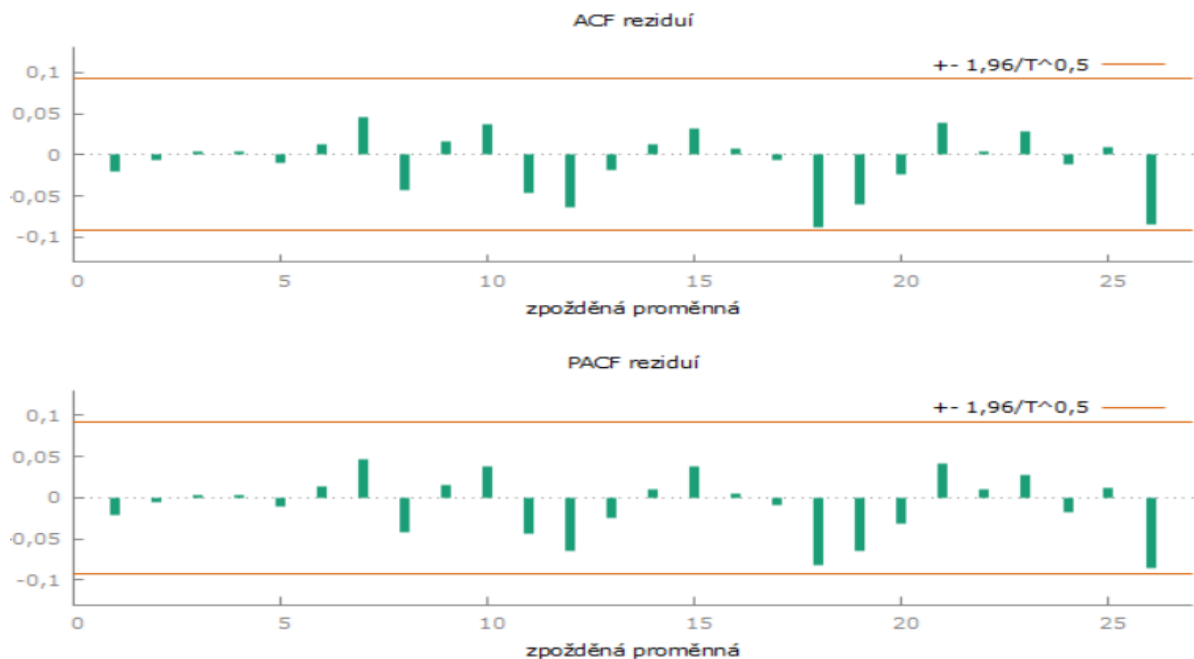
Obrázek č. 6 nám ukazuje kořeny AR(17). Můžeme vidět, že kořeny, které uvažujeme v absolutní hodnotě, jsou větší než 1, což nám ukazuje, že leží mimo jednotkový kruh. Proto můžeme potvrdit stacionaritu.

| | Reálná | Imaginární | Abs. hodnota | Frekvence |
|----------|---------|------------|--------------|-----------|
| AR | | | | |
| Kořen 1 | 0,7244 | 0,7835 | 1,0670 | 0,1312 |
| Kořen 2 | 0,7244 | -0,7835 | 1,0670 | -0,1312 |
| Kořen 3 | -1,0548 | -0,1261 | 1,0623 | -0,4811 |
| Kořen 4 | -1,0548 | 0,1261 | 1,0623 | 0,4811 |
| Kořen 5 | 1,1311 | -0,2053 | 1,1496 | -0,0286 |
| Kořen 6 | 1,1311 | 0,2053 | 1,1496 | 0,0286 |
| Kořen 7 | -0,9742 | -0,3785 | 1,0451 | -0,4410 |
| Kořen 8 | -0,9742 | 0,3785 | 1,0451 | 0,4410 |
| Kořen 9 | 0,0117 | -1,0615 | 1,0615 | -0,2483 |
| Kořen 10 | 0,0117 | 1,0615 | 1,0615 | 0,2483 |
| Kořen 11 | -0,2398 | -1,0693 | 1,0959 | -0,2851 |
| Kořen 12 | -0,2398 | 1,0693 | 1,0959 | 0,2851 |
| Kořen 13 | 0,5747 | -0,9901 | 1,1449 | -0,1663 |
| Kořen 14 | 0,5747 | 0,9901 | 1,1449 | 0,1663 |
| Kořen 15 | 1,1668 | -0,3060 | 1,2063 | -0,0408 |
| Kořen 16 | 1,1668 | 0,3060 | 1,2063 | 0,0408 |
| Kořen 17 | -0,6985 | -0,7787 | 1,0461 | -0,3664 |
| Kořen 18 | -0,6985 | 0,7787 | 1,0461 | 0,3664 |
| Kořen 19 | -0,4451 | -0,9565 | 1,0549 | -0,3193 |
| Kořen 20 | -0,4451 | 0,9565 | 1,0549 | 0,3193 |
| Kořen 21 | 0,9417 | -0,5572 | 1,0942 | -0,0850 |
| Kořen 22 | 0,9417 | 0,5572 | 1,0942 | 0,0850 |
| Kořen 23 | -0,8780 | 0,6356 | 1,0839 | 0,4003 |
| Kořen 24 | -0,8780 | -0,6356 | 1,0839 | -0,4003 |
| Kořen 25 | 0,3118 | -1,0033 | 1,0506 | -0,2020 |
| Kořen 26 | 0,3118 | 1,0033 | 1,0506 | 0,2020 |

Obrázek 6: Kořeny modelu AR(17) - ČEZ, a.s.

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl

Pro kontrolu, zda se dařilo odstranit autokorelaci je nutné zobrazení korelogramu námi vybraného modelu, konkrétně model AR(17). Tento korelogram získáme v záložce *Grafy* v okně modelu, který odhadujeme. Tento korelogram lze vidět na Obrázku č. 7, kde je zřejmé, že se odstranění autokorelace zdařilo a již nejsou zřejmé jak u ACF, tak u PACF přesahy zpoždění. V této fázi můžeme dojít k závěru, že je i pro toto kritérium model akceptovatelný.



Obrázek 7: Korelogram zvoleného modelu AR(17) pro ČEZ, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Jako další krok v hledání vhodného úrovnového modelu je tzv. ARCH test. Tímto testem se testuje nulovou hypotézu, že není žádný ARCH efekt, což značí, že podmíněný rozptyl daného modelu je konstantní. Tento test nalezneme mezi *Testy* v okně odhadovaného modelu. U tohoto testu je nutno zadat řád zpoždění, v tomto případě je zpoždění rovno 5, protože máme 5 obchodních dnů, jinak řečeno pětidenní časovou řadu. Hodnoty daného testu je možné vidět na Obrázku č.8.

V tomto případě nulovou hypotézu zamítáme, nýbrž p-hodnota pro posouzení je nižší než stanovená hladina významnosti α . Po zamítnutí hypotézy je tedy nutné pokračovat v modelování podmíněného rozptylu, který se vyvíjí s časem.

Test pro ARCH řádu 5

| | koeficient | směr. chyba | t-podíl | p-hodnota | |
|----------|-------------|-------------|---------|-----------|-----|
| alpha(0) | 0,000135196 | 3,78770e-05 | 3,569 | 0,0004 | *** |
| alpha(1) | 0,149845 | 0,0475417 | 3,152 | 0,0017 | *** |
| alpha(2) | 0,0220637 | 0,0481037 | 0,4587 | 0,6467 | |
| alpha(3) | 0,132216 | 0,0479659 | 2,756 | 0,0061 | *** |
| alpha(4) | 0,0843681 | 0,0754795 | 1,118 | 0,2643 | |
| alpha(5) | -0,0506727 | 0,0752213 | -0,6736 | 0,5009 | |

Nulová hypotéza: není zde žádný efekt ARCH
 Testovací statistika: LM = 22,1199
 s p-hodnotou = P(Chi-kvadrát(5) > 22,1199) = 0,000496812

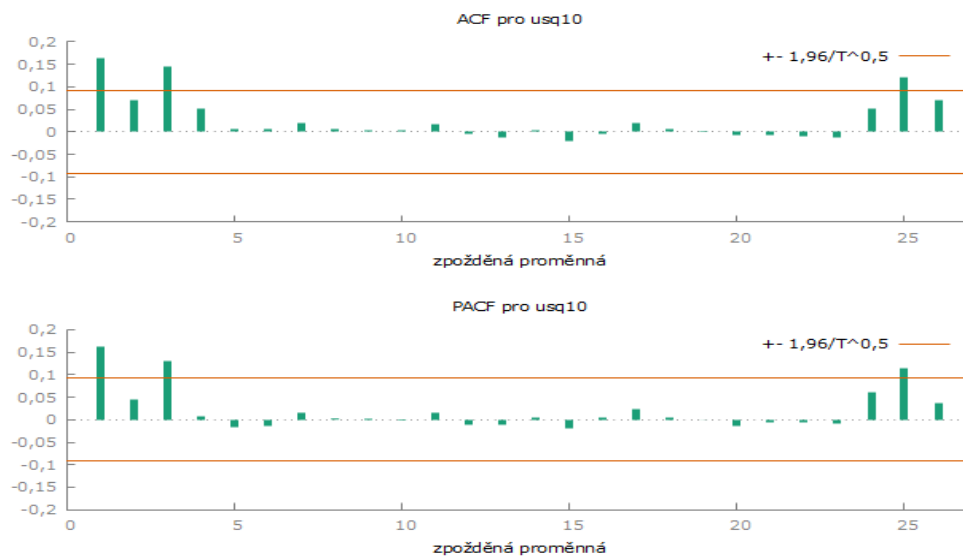
Obrázek 8: ARCH test modelu AR(17) u společnosti ČEZ, a.s.

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl

Ve výsledku bude mít daný model hodnoty, které nalezneme na Obrázku č. 5. Hodnoty nalezneme ve sloupci koeficient a výsledná rovnice vypadá následovně:

$$y_t = 0,002 - 0,092 y_{t-12} + 0,114 y_{t-16} - 0,113 y_{t-17} - 0,104 y_{t-18} + 0,126 y_{t-25} - 0,111 \cdot y_{t-26} + \varepsilon_t$$

kde $e_t = \varepsilon_t \sqrt{h_t}$. Hodnota h_t nám říká, že se rozptyl bude modelovat pomocí volatility. Postup pro modelování volatility je následující, nejdříve je nutné uložit si druhé mocniny reziduí, které jsou vhodné pro zobrazení korelogramu, který je vyobrazen na Obrázku č.9. Zde se budeme zaměřovat na PACF. Pokud budou zřejmé přesahy, budeme muset vyhledat vhodný model.



Obrázek 9: Korelogram čtverců reziduí modelu AR(17)

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Na obrázku č. 9 je zřejmý velmi vysoký přesah u 1., 3. a 25. zpoždění. V tomto případě by bylo nutné sestavit model ARCH až pro 25. zpoždění. Protože je v tomto případě q vysoké číslo, nabízí se využít model GARCH(1,1), který se využívá právě pro vysoké řády ARCH modelu. Pro další modelaci si uložíme z modelu AR(17) rezidua, které se budou standardizovat. V našem případě nebudeme zahrnovat konstantu, protože je statisticky nevýznamná. Ostatní parametry z Obrázku č. 10 jsou statisticky významné.

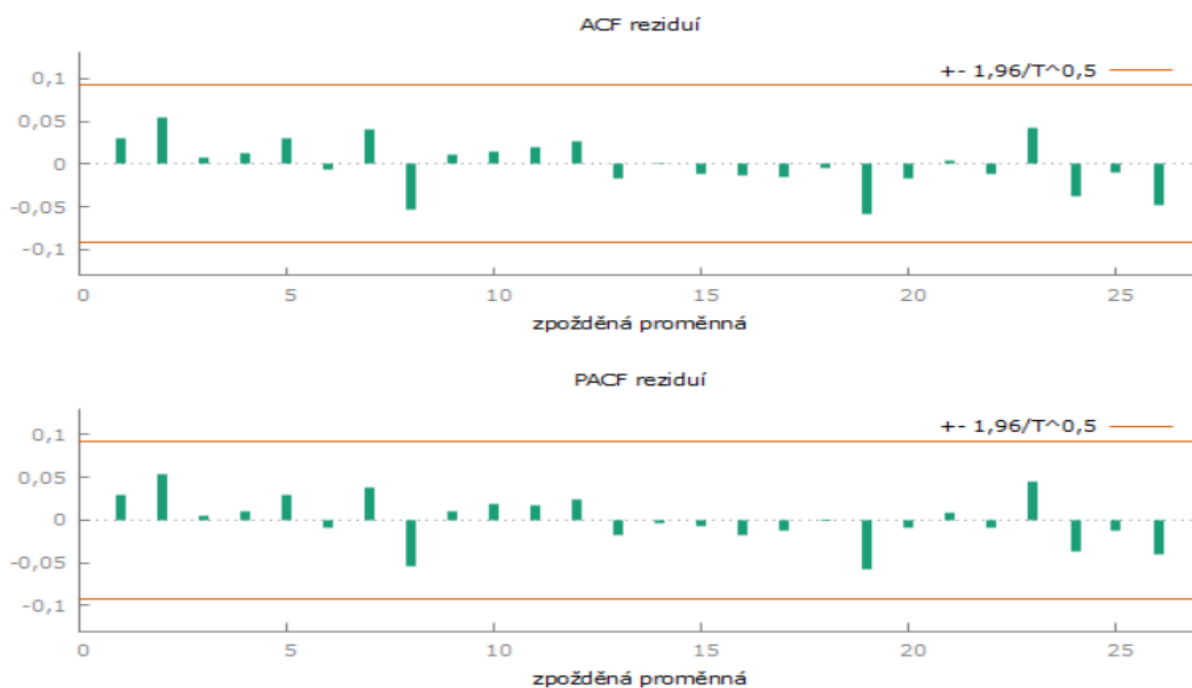
| | koeficient | směr. chyba | z | p-hodnota | |
|-----------|-------------|-------------|-------|-----------|-----|
| alpha (0) | 5,65845e-05 | 1,51445e-05 | 3,736 | 0,0002 | *** |
| alpha (1) | 0,260326 | 0,0803322 | 3,241 | 0,0012 | *** |
| beta (1) | 0,476675 | 0,115706 | 4,120 | 3,79e-05 | *** |

Obrázek 10: Parametry GARCH (1,1) ČEZ, a.s.

Zdroj: výstup ze software Gretl

Po následujícím kroku, kdy jsme si zjistili koeficienty do rovnice, je potřeba si ověřit, zda daný model je vhodný. Na Obrázku č. 11, který zobrazuje korelogramu GARCH (1,1) by po správném výběru neměly být významné přesahy zpoždění. Pro zjištění vyloučení heteroskedasticity je potřeba provést ARCH test, abychom zjistili, že daný model je vybrán správně. V softwaru Gretl však nelze provést ARCH test u reziduí daného modelu, proto je zapotřebí dosazení do modelu ARIMA (0,0,0), kde budeme odhadovat model s konstantou.

Výsledek je vyobrazen na Obrázku č. 11, kde porovnááme p-hodnotu s hladinou významnosti, výsledkem je, že nulovou hypotézu nelze zamítnout, protože hladina významnosti je nižší než p-hodnota. Z toho plyne, že uvažujeme podmíněnou heteroskedasticitu, jinak řečeno, že rozptyl je konstantní v čase.



Obrázek 11: Korelogram modelu GARCH (1,1)

Zdroj: vlastní zpracování v software Gretl

Test pro ARCH řádu 5

| | koeficient | směr. chyba | t-podíl | p-hodnota | |
|-----------|-------------|-------------|----------|-----------|-----|
| alpha (0) | 1,03728 | 0,231466 | 4,481 | 9,46e-06 | *** |
| alpha (1) | -0,0195792 | 0,0475634 | -0,4116 | 0,6808 | |
| alpha (2) | -0,00210962 | 0,0475713 | -0,04435 | 0,9646 | |
| alpha (3) | 0,00886673 | 0,0475688 | 0,1864 | 0,8522 | |
| alpha (4) | -0,0139939 | 0,0655192 | -0,2136 | 0,8310 | |
| alpha (5) | -0,0127486 | 0,0655093 | -0,1946 | 0,8458 | |

Nulová hypotéza: není zde žádný efekt ARCH

Testovací statistika: LM = 0,29192

s p-hodnotou = $P(\text{Chí-kvadrát}(5) > 0,29192) = 0,997792$

Obrázek 12: ARCH test standardizovaných reziduí ČEZ, a.s.

Zdroj: výstup ze software Gretl

Model GARCH (1,1) je vhodným výsledným modelem s parametry, které jsou uvedeny na Obrázku č. 10. Pokud je zapíšeme do rovnice, bude vypadat takto:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \cdot e_{t-1}^2 + \beta_1 \cdot h_{t-1}$$

$$h_t = 0,00006 + 0,26033 \cdot e_{t-1}^2 + 0,47668 \cdot h_{t-1}$$

Výsledný model logaritmických diferencí ČEZ, a.s. má rovnici ve tvaru:

$$y_t = 0,002 - 0,092 \varepsilon_{t-12} + 0,114\varepsilon_{t-16} - 0,113\varepsilon_{t-17} - 0,104\varepsilon_{t-18} + 0,126\varepsilon_{t-25} - 0,111 \cdot \varepsilon_{t-26} + \varepsilon_t \cdot \sqrt{5,65845 \cdot 10^{-5} + 0,26033 \cdot e_{t-1}^2 + 0,47668 \cdot h_{t-1}}$$

3.2 KOMERČNÍ BANKA, a.s.

Komerční banka je bankovní instituce, která působí na českém kapitálovém trhu z většiny vlastnění francouzskou skupinou Sociétés Générale. Komerční banka je akciovou společností a její akcie jsou obchodovatelné na Burze cenných papírů Praha, a.s., a RM-SYSTÉM, česká burza cenných papírů, a.s. Zaměřením této banky je hlavně poskytování drobného bankovníctví, kde svým klientům zajišťuje komplexní služby jak pro fyzické osoby, tak i pro podnikatelské subjekty. Mezi nabízené produkty patří depozitní a úvěrové produkty.

3.2.1 Analýza cen akcie dané společnosti

V daném období můžeme vidět ze začátku časové řady mírný pokles či stagnaci, ale ve zbytku časové řady je vidět značný růst ceny akcií. Nejnižší cena akcie byla 468 Kč dne 22.10.2020. Zatímco 9.2.2022 byla cena akcie nejvyšší za dané období a cena činila 1 011 Kč. U průměrných měsíčních cen akcií můžeme zaznamenat nejnižší cenu v říjnu 2020, a to 484,89 Kč, naopak nejvyšší cenu akcie 958,50 Kč, můžeme vidět v únoru 2022.

V roce 2020 se daná společnost prezentovala následovně:

- tržní kapitalizace dané společnosti se pohybovala na 124,1 mld. Kč,
- počet akcií za daný rok byl 190 046 690 ks,
 - obchodovatelných akcií bylo 188 855 960 ks akcií,
 - počet vlastních akcií za rok 2020 bylo 1 193 360 ks.
- Zisk na dividendě představoval 43,2 Kč na jeden ks akcie.

V roce 2021 se situace změnila následovně:

- tržní kapitalizace společnosti Komerční Banka, a.s. je v daném roce 176,6 mld. Kč,
- počet akcií za daný rok byl 190 046 690 ks,

- počet obchodovatelných akcií 188 855 960 ks akcií
- počet vlastních akcií za rok 2020 byl 1 193 360 ks akcií
- Zisk na dividendě vzrostl na 67,4 Kč na jeden kus akcie. (Výroční zpráva KB, 2020,2021)

3.2.2 Modelování volatility KOMERČNÍ BANKA, a.s.

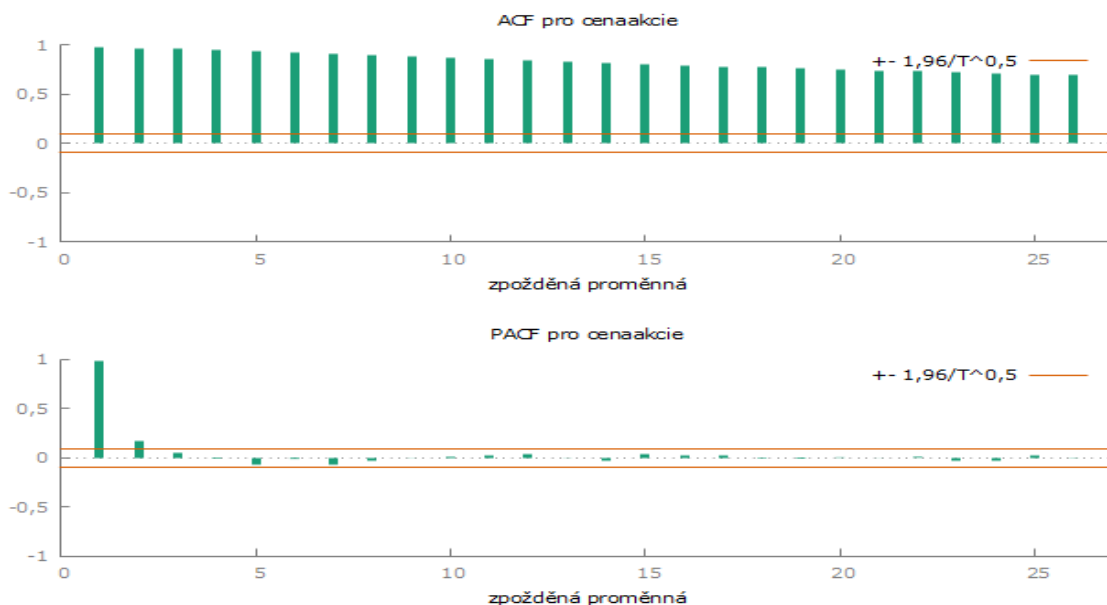
Postup modelování volatility bude analogický jako v minulém oddíle, který se zabýval modelování volatility ČEZ, a.s.. V první řadě musíme nahrát data do softwaru Gretl a interpretovat ji jako 5 denní časovou řadu, protože stále uvažujeme pouze pracovní dny. Dále si budeme potřebovat zobrazit graf vývoje ceny akcie dané společnosti. Tento graf vidíme na obrázku č. 13, kde na ose x se nachází čas a na ose y cena akcie. Je patrné, že za danou dobu cena akcie vzrostla o 100 %, pokud se budeme zabývat podrobnějším popisem, tak jsme schopni říci, že v grafu jsou zřejmé poklesy cen, např. v období prvních třech měsíců roku 2022.



Obrázek 13: Vývoj cen akcie společnosti KOMERČNÍ BANKA, a.s.

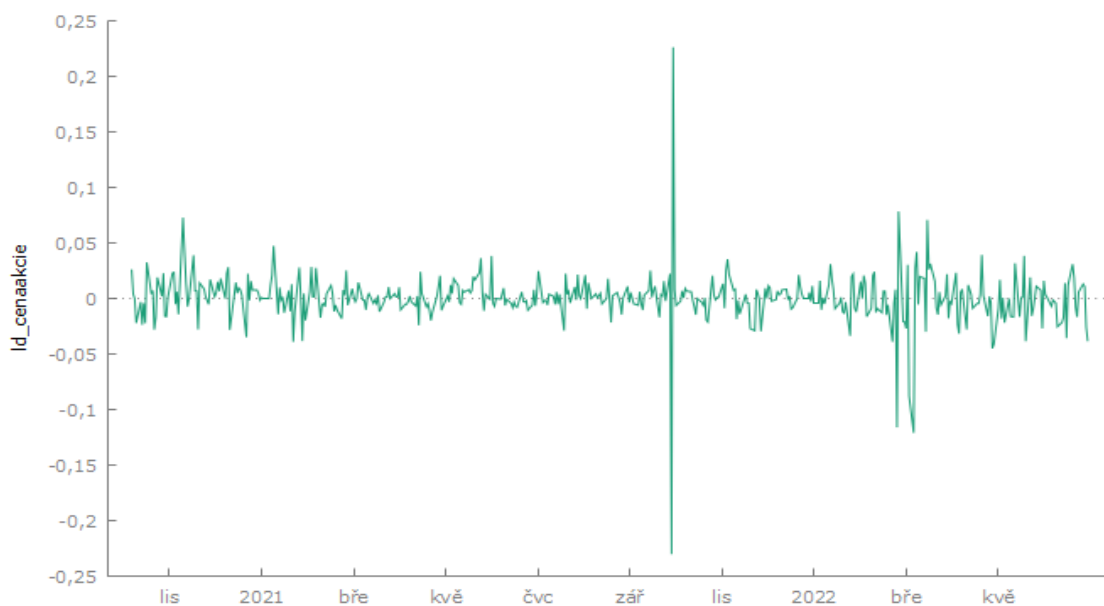
Zdroj: vlastní zpracování ze softwaru Gretl

Při pohledu na Obrázek č. 14 je zřejmé, že časová řada je nestacionární, protože autokorelační funkce má všechna zpoždění statisticky významná, zatímco parciální autokorelační funkce má první dvě zpoždění statisticky významná. V tomto případě je zapotřebí využít logaritmické diference u proměnné cenaakcie, a tímto pokračovat dále s hledáním vhodného modelu. Na obrázku č. 15 vidíme již zmíněné logaritmické diference pro ceny akcie dané společnosti.



Obrázek 14: Korelogram vývoje cen akcie KOMERČNÍ BANKA, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v software Gretl

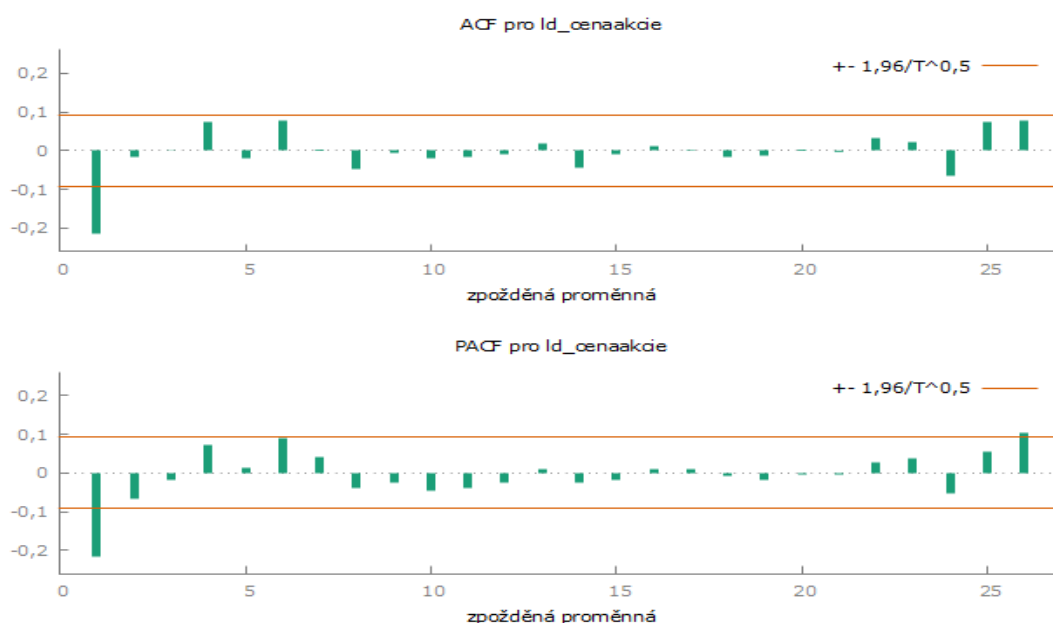


Obrázek 15: Logaritmičká diference pro ceny akcie společnosti Komerční Banka, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v software Gretl

Pro další provádění analýz bude využívána proměnná *ld_cenaakcieKB*. Na Obrázku č. 16 je vyobrazen korelogram po první logaritmičké diferenci, kde je patrné, že u obou funkcí ACF i PACF jsou první hodnoty statisticky významné. V tomto případě by bylo vhodné

využít modelu AR(1) nebo MA(1). U posouzení vhodnosti modelu budeme opět vycházet z informačních kritérií viz. výběr modelu u akcie společnosti ČEZ, a.s..



Obrázek 16: Korelogram po první logaritmické diferenci KOMERČNÍ BANKA, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v software Gretl

Tabulka 2: Informační kritéria pro vhodný model - KOMERČNÍ BANKA, a.s.

| | AR (1) | MA(1) |
|-----------------------------|---------------|--------------|
| Akaikovo kritérium | -2122,829 | -2124,655 |
| Schwarzovo kritérium | -2114,597 | -2116,424 |

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl

Z pohledu na Tabulku č.2 je jasné, že vhodným modelem se zdá být model MA (1) pro analýzu akcie dané společnosti. Z hlediska provedení testu ARCH (viz. Obrázek č. 17), kde se testovala nulová hypotéza, že zde není žádný efekt ARCH, resp. podmíněný rozptyl je konstantní. V našem případě je p-hodnota nižší než hladina významnosti α , proto se nulová hypotéza zamítá, což znamená, že podmíněný rozptyl se vyvíjí s časem a tedy je nutné dál daný model modelovat.

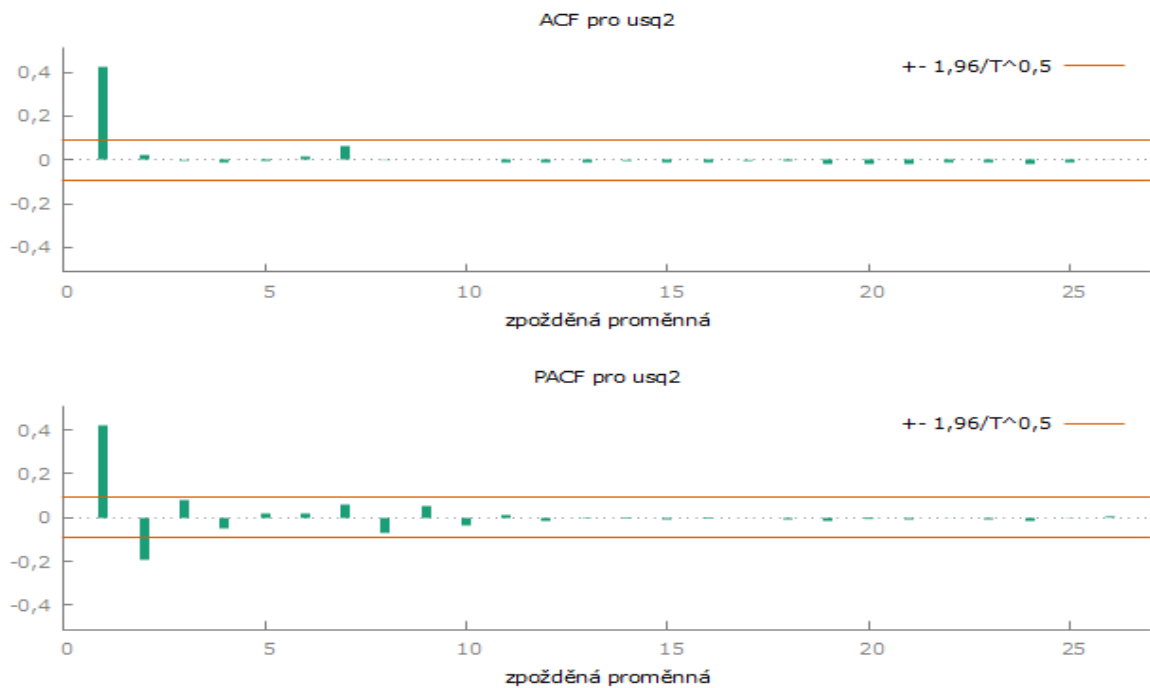
Test pro ARCH řádu 5

| | koeficient | směr. chyba | t-podíl | p-hodnota | |
|-----------|-------------|-------------|---------|-----------|-----|
| alpha (0) | 0,000348737 | 0,000133727 | 2,608 | 0,0094 | *** |
| alpha (1) | 0,513311 | 0,0475745 | 10,79 | 3,00e-024 | *** |
| alpha (2) | -0,211155 | 0,0534415 | -3,951 | 9,05e-05 | *** |
| alpha (3) | 0,0822391 | 0,0542346 | 1,516 | 0,1301 | |
| alpha (4) | -0,0398815 | 0,0534402 | -0,7463 | 0,4559 | |
| alpha (5) | 0,0101376 | 0,0475744 | 0,2131 | 0,8314 | |

Nulová hypotéza: není zde žádný efekt ARCH
 Testovací statistika: LM = 94,2051
 s p-hodnotou = $P(\text{Chi-kvadrát}(5) > 94,2051) = 8,77628e-19$

Obrázek 17: ARCH test modelu MA (1) u společnosti KOMERČNÍ BANKA, a.s.

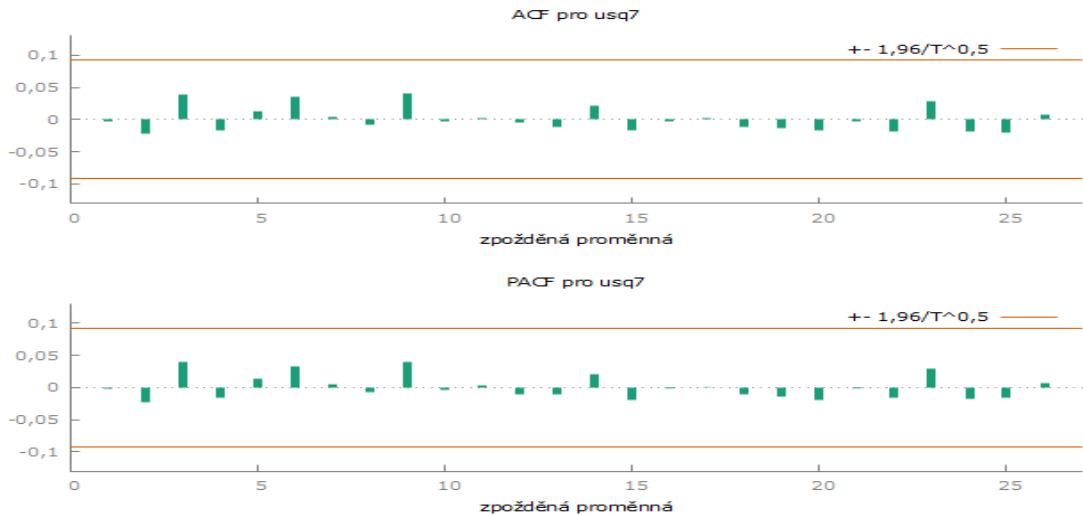
Zdroj: vlastní zpracování v software Gretl



Obrázek 18: Korelogram druhých mocnín reziduí - KOMERČNÍ BANKA, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování

Dalším postupem pro modelaci časové řady je potřeba využít modelu GARCH takovým způsobem, abychom docílili vyčištění statisticky významných hodnot, z Obrázku č. 9 vidíme, že se jedná v ACF o hodnotu první, a v PACF první dvě hodnoty. Provedeme tedy GARCH (1,1).



Graf 1: Korelogram reziduí modelu ARIMA (0;0;1)

Zdroj: vlastní zpracování

V našem případě je vhodné využít modelu GARCH (1;1), získané hodnoty zapíšeme do rovnice:

$$r_t = \phi \cdot r_{t-1} + \varepsilon_t \cdot \sqrt{\omega + \alpha_1 \cdot e_{t-1}^2 + \beta_1 \cdot h_{t-1}}$$

po provedené analýze můžeme dosadit do výše uvedené rovnice:

$$r_t = -0,2312 \cdot r_{t-1} + \varepsilon_t \cdot \sqrt{0,00011 + 0,7582 \cdot e_{t-1}^2 + 0,2418 \cdot h_{t-1}}$$

Po vyjádření rovnice daného modelu můžeme zjistit predikce dané časové řady, v našem případě budeme opět predikovat 10 obchodních dnů, což znamená dvoutýdenní predikci. Predikcemi se budeme zabývat v kapitole č. 5, kde budou k vidění předpovědi akcií vybraných společností.

3.3 VIENNA INSURANCE GROUP, AG

Vienna Insurance Group (zkr. VIG) je rakouská pojišťovna, která sídlí ve Vídni. Řadí se mezi jednu z největších skupin pojišťoven ve střední a jižní Evropě. V 80. letech, kdy společnost začala expandovat do střední a jižní Evropy, založila v Československu pojišťovnu Kooperativa. V roce 1994 společnost vstoupila na vídeňskou burzu. V roce 2008 firma převzala divizi Erste Group, a ještě ve stejném roce společnost založila VIG Re, což je pojišťovací agentura se sídlem v Praze. VIG v současnosti sídlí v několika evropských

státech, např. v Rakousku, Bulharsku, Německu, Chorvatsku, Slovinsku, Maďarsku, Slovensku, Ukrajině, Bělorusku, Bosně a Hercegovině, v Itálii, Litvě, Makedonii aj.

3.3.1 Analýza cen akcie dané společnosti

Akcie této společnosti jsou uváděny v cizí měně, konkrétně v Eurech. Tato měna je tedy pro tuto analýzu ponechána. Akcie dané společnosti jsou obchodovány na BCPP, kde za námi zvolené období byl objem akcií roven 2 288 829 ks.

Shrnutí společnosti za rok 2020:

- Počet akcií byl stanoven na 128 000 000 ks akcií,
- tržní kapitalizace je v daném roce 2 662,4 mil. Eur,
- výkonnost akcií za rok 2020 byla -18,11%,
- dividenda na akcii se v daném roce vyplácela v částka 0,75 eur na jednu akcii,
- zisk na jednu akcii v dané společnosti v roce 2020 byl 1,81 EUR, zatímco o rok později, v roce 2021, zisk na jednu akcii vyšplhal na 2,94 EUR.

Shrnutí společnosti za rok 2021:

- Počet akcií byl stanoven na 128 000 000 ks akcií,
- tržní kapitalizace vzrostla na 3 178,2 mil. EUR,
- výkonnost akcie za daný rok vzrostla na 19,71,
- dividenda na akcii byla vyplácena v částce 1,25 EUR na jednu akcii,
- zisk na jednu akcii se vyšplhal na 2,94 EUR. (Výroční zpráva VIG, 2020,2021)

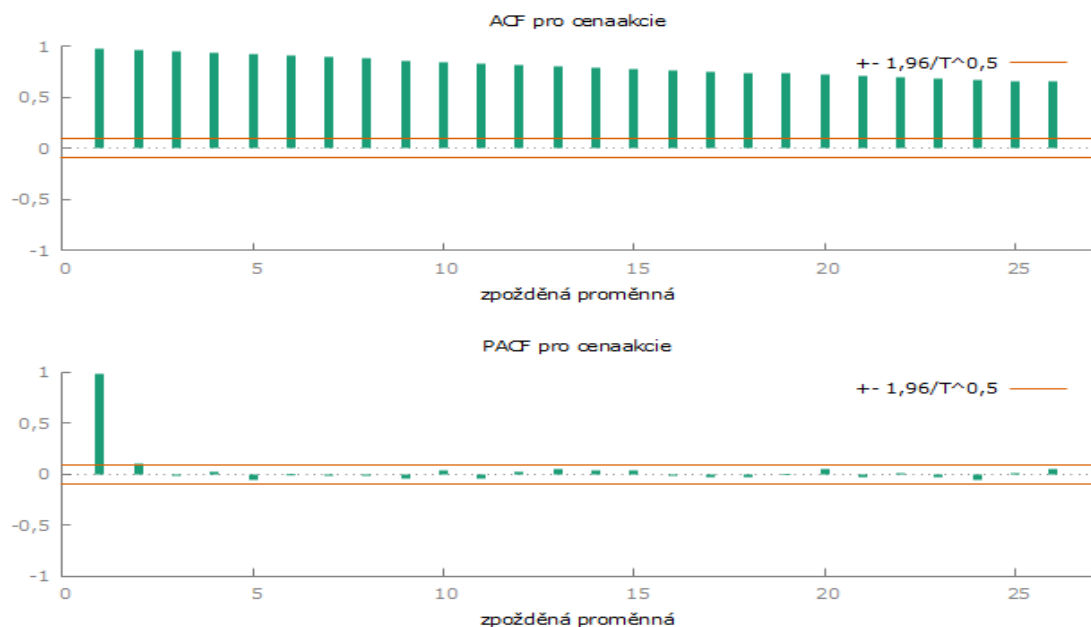
3.3.2 Modelování volatility VIG



Obrázek 19: Vývoj cen akcie společnosti VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování

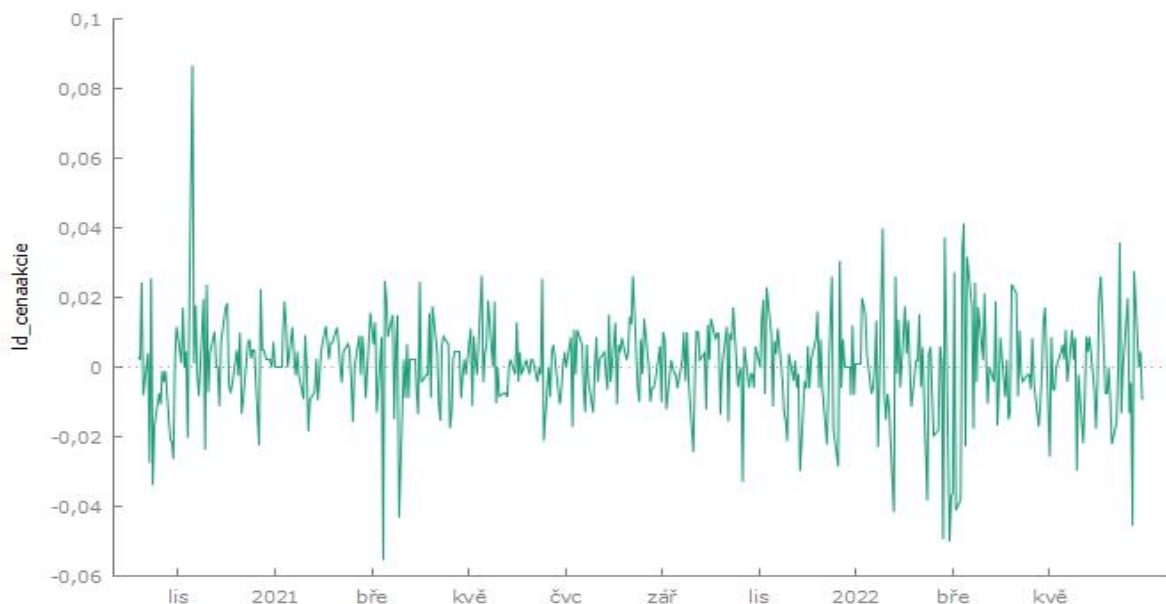
Z Obrázku č. 19 je vidět vývoj cen akcie dané společnosti, ze začátku sledovaného období můžeme vidět pokles ceny, od listopadu 2020 naopak růst cen akcie, další větší propad cen je patrný v prvních třech měsících roku 2022, což se přisuzuje obavám z růstu inflace a úrokových sazeb.



Obrázek 20: Korelogram vývoje ceny akcie VIG, AG

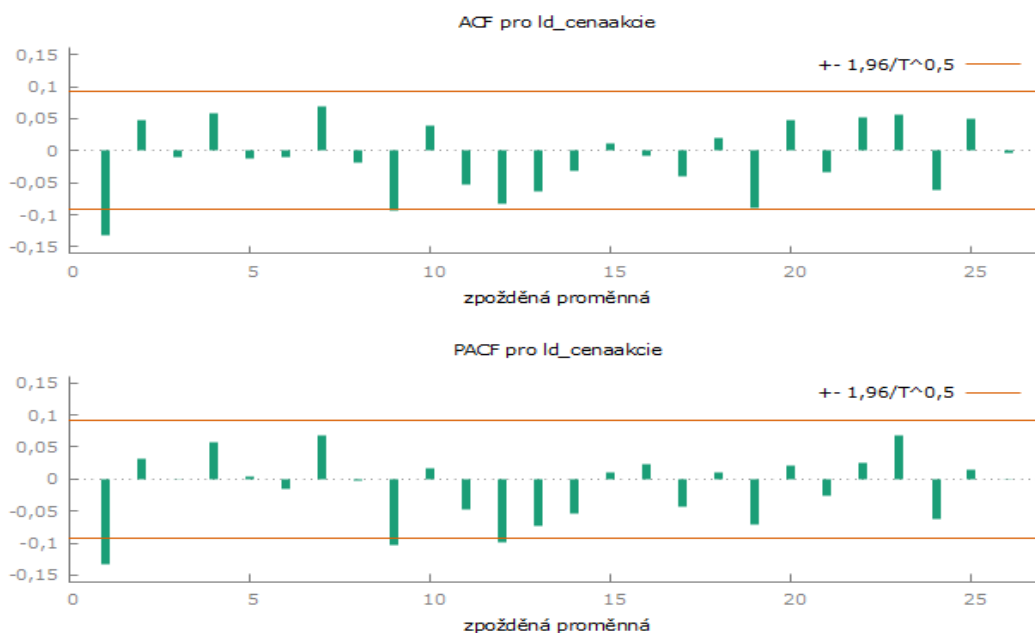
Zdroj: vlastní zpracování

Na Obrázku č. 20 je vidět u ACF pokles hodnot na dané časové řadě, všechny hodnoty jsou statisticky významné, zatímco u PACF je statisticky významnou pouze první hodnota. Časová řada po zobrazení těchto modelů je zřejmě nestacionární, pro její stacionaritu musíme využít logaritmické diference vybraných proměnných.



Obrázek 21: Logaritmická diference cen akcie společnosti VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 22: Korelogram logaritmické diference cen akcie společnosti VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování

Daná časová řada po logaritmické diferencii daných hodnot je zřejmě stacionární, což nám ukazuje Obrázek č. 21. Na Obrázku č. 22 můžeme vidět korelogram logaritmické diference, kde můžeme vidět přesahy zpoždění, konkrétně u ACF 1., 9., 12. a 19. zpoždění, u PACF to je 1., 9., a 12. zpoždění. Tato zpoždění zobrazují statisticky významné hodnoty, které musíme eliminovat. Výběr vhodného úrovnového modelu je ukázán v následující tabulce.

Tabulka 3: Informační kritéria pro vhodný model - VIG, AG

| | AR (12) | MA (19) |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Akaikovo kritérium | -2564,992 | -2568,636 |
| Schwarzovo kritérium | -2548,528 | -2548,057 |

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl

Při rozhodování o vhodnosti úrovnového modelu budeme uvažovat AR(12) a MA(19), tyto modely jsou vyvozeny z Obrázku č. 22, který představuje korelogram logaritmické diference cen akcie dané společnosti. Dle Tabulky č. 3 je vhodným úrovnovým modelem MA (19), jehož hodnoty jsou podle následujících informačních kritérií minimální.

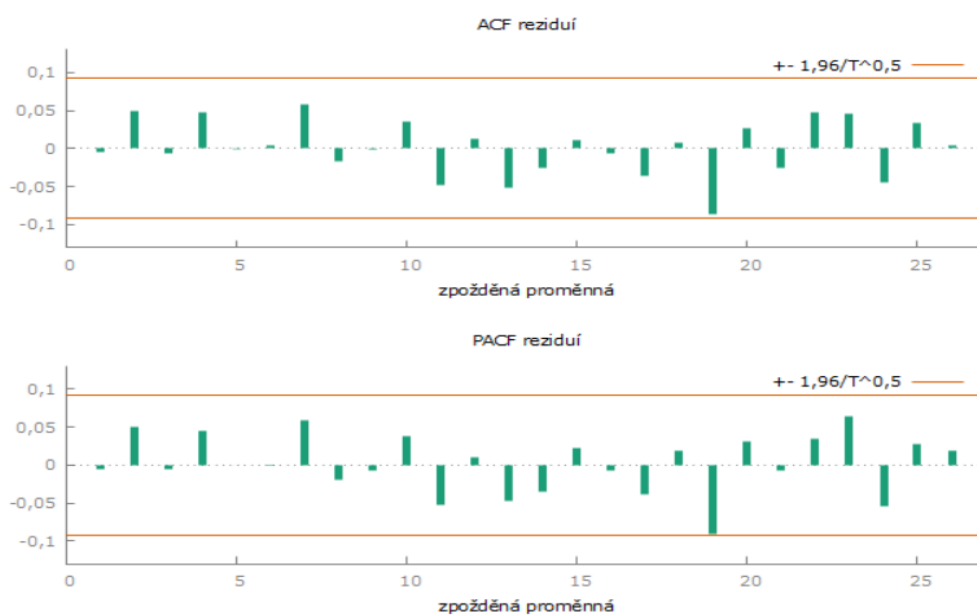
Na obrázku č. 24 je zřejmé, že koeficienty jsou statisticky významné v porovnání s hladinou významnosti, absolutní hodnota kořenů modelu MA(19) je ve všech případech větší než 1, proto můžeme potvrdit stacionaritu.

| | koeficient | směr. chyba | z | p-hodnota | |
|----------|------------|-------------|--------|-----------|-----|
| theta_1 | -0,131443 | 0,0449245 | -2,926 | 0,0034 | *** |
| theta_9 | -0,101283 | 0,0454989 | -2,226 | 0,0260 | ** |
| theta_12 | -0,127049 | 0,0471631 | -2,694 | 0,0071 | *** |
| theta_19 | -0,0905471 | 0,0460192 | -1,968 | 0,0491 | ** |

| | Reálná | Imaginární | Abs. hodnota | Frekvence |
|-----------|---------|------------|--------------|-----------|
| AR | | | | |
| Kořen 1 | -0,8558 | 0,7897 | 1,1645 | 0,3814 |
| Kořen 2 | -0,8558 | -0,7897 | 1,1645 | -0,3814 |
| Kořen 3 | 1,1419 | -0,3444 | 1,1927 | -0,0466 |
| Kořen 4 | 1,1419 | 0,3444 | 1,1927 | 0,0466 |
| Kořen 5 | -1,2150 | -0,2633 | 1,2432 | -0,4660 |
| Kořen 6 | -1,2150 | 0,2633 | 1,2432 | 0,4660 |
| Kořen 7 | 0,3633 | -1,2096 | 1,2629 | -0,2036 |
| Kořen 8 | 0,3633 | 1,2096 | 1,2629 | 0,2036 |
| Kořen 9 | -0,2882 | -1,1364 | 1,1724 | -0,2895 |
| Kořen 10 | -0,2882 | 1,1364 | 1,1724 | 0,2895 |
| Kořen 11 | 0,8539 | -0,9438 | 1,2727 | -0,1330 |
| Kořen 12 | 0,8539 | 0,9438 | 1,2727 | 0,1330 |

Obrázek 23: Koeficienty, p-hodnoty, jejich srovnání s hladinou významnosti a kořeny MA(19)

Zdroj: výstup ze softwaru Gretl



Obrázek 24: Korelogram reziduí VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Na korelogramu reziduí, který je na Obrázku č. 25, můžeme vidět, že jsme docílili vyčištění významných přesahů zpoždění.

| | koeficient | směr. chyba | t-podíl | p-hodnota | |
|----------|-------------|-------------|---------|-----------|-----|
| alpha(0) | 0,000118024 | 2,72173e-05 | 4,336 | 1,80e-05 | *** |
| alpha(1) | 0,133624 | 0,0474635 | 2,815 | 0,0051 | *** |
| alpha(2) | 0,105166 | 0,0478215 | 2,199 | 0,0284 | ** |
| alpha(3) | 0,0608151 | 0,0479380 | 1,269 | 0,2052 | |
| alpha(4) | 0,0492734 | 0,0477695 | 1,031 | 0,3029 | |
| alpha(5) | 0,0627007 | 0,0474155 | 1,322 | 0,1867 | |

Nulová hypotéza: není zde žádný efekt ARCH
 Testovací statistika: LM = 26,1068
 s p-hodnotou = P(Chí-kvadrát(5) > 26,1068) = 8,50793e-05

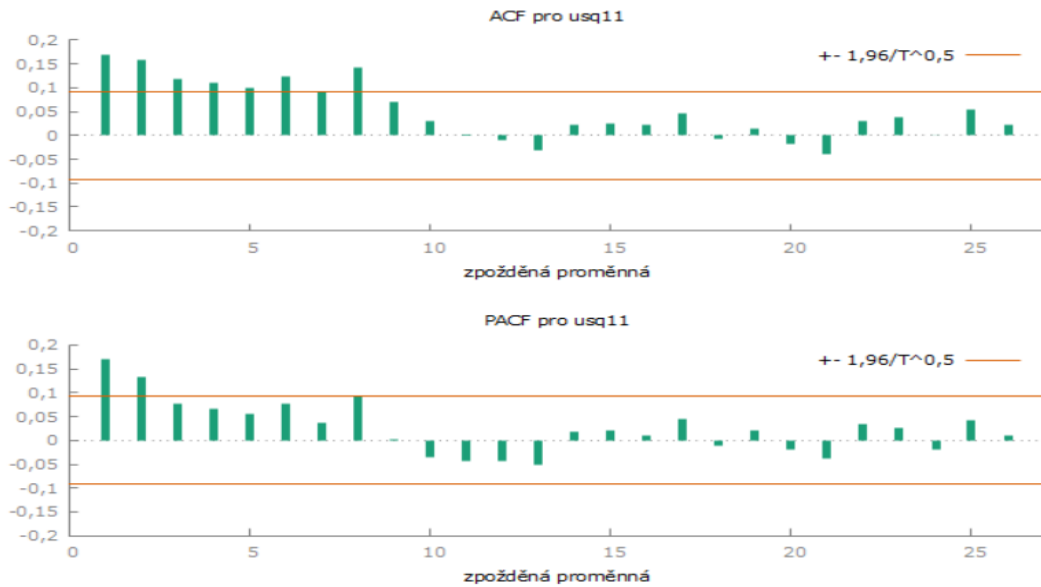
Obrázek 25: ARCH test modelu MA(12) u společnosti VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Na obrázku č. 26 je vidět výstup ze softwaru Gretl, kde je p-hodnota nižší než zvolená hladina významnosti, proto jsme schopni říci, že je třeba dál modelovat volatilitu.

$$y_t = -0,1314 \varepsilon_{t-1} - 0,1013 \varepsilon_{t-9} - 0,1271 \varepsilon_{t-12} - 0,0905 \varepsilon_{t-19} + e_t$$

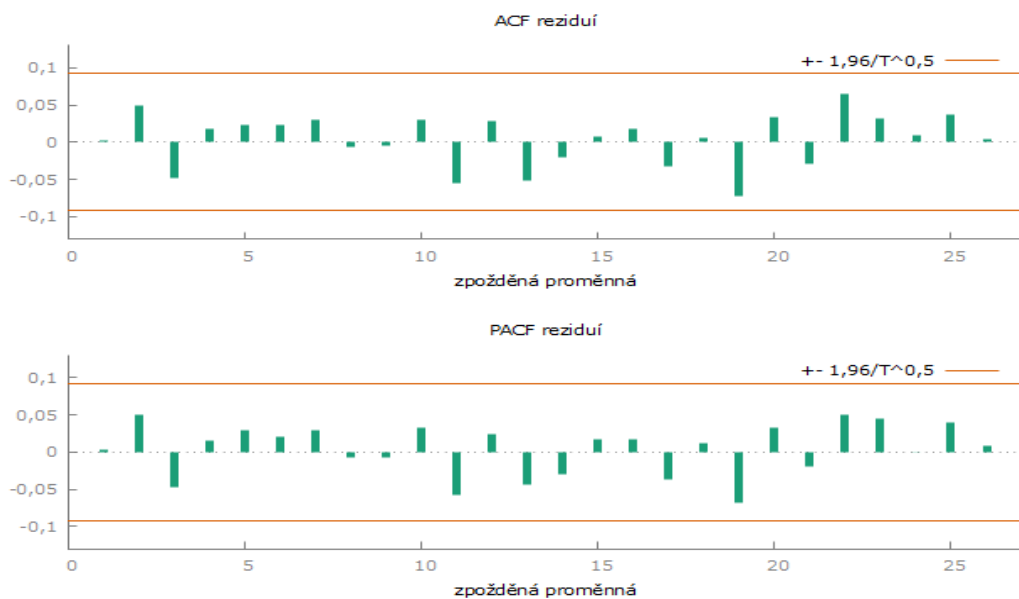
V rovnici e_t představuje následující vztah $e_t = \varepsilon_t \cdot \sqrt{h_t}$, v dalším kroku budeme modelovat h_t . Zobrazíme si korelogram druhých mocnin reziduí modelu MA(12), který vidíme na Obrázku č. 27.



Obrázek 26: Korelogram druhých mocnin reziduí modelu MA(12) - VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Při pohledu na Obrázek č. 27 je jasné, že budeme modelovat GARCH(1,1), protože přesahy jsou až po 8. zpoždění. Po odhadu parametrů dosadíme do dané rovnice.



Obrázek 27: Korelogram reziduí GARCH(1,1)

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

| | koeficient | směr. chyba | z | p-hodnota | |
|-----------|-------------|-------------|-------|-----------|-----|
| alpha (0) | 1,16099e-05 | 6,23643e-06 | 1,862 | 0,0627 | * |
| alpha (1) | 0,100813 | 0,0341627 | 2,951 | 0,0032 | *** |
| beta (1) | 0,843432 | 0,0544876 | 15,48 | 4,78e-054 | *** |

Obrázek 28: Koeficienty v modelu GARCH(1,1)

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

| | koeficient | směr. chyba | t-podíl | p-hodnota | |
|-----------|-------------|-------------|---------|-----------|---|
| alpha (0) | 18,0449 | 10,0740 | 1,791 | 0,0739 | * |
| alpha (1) | -0,00671285 | 0,0475641 | -0,1411 | 0,8878 | |
| alpha (2) | -0,00652693 | 0,0475641 | -0,1372 | 0,8909 | |
| alpha (3) | -0,00650018 | 0,0475641 | -0,1367 | 0,8914 | |
| alpha (4) | -0,0100252 | 0,0781704 | -0,1282 | 0,8980 | |
| alpha (5) | -0,00913760 | 0,0781706 | -0,1169 | 0,9070 | |

Nulová hypotéza: není zde žádný efekt ARCH

Testovací statistika: LM = 0,0866676

s p-hodnotou = P(Chí-kvadrát(5) > 0,0866676) = 0,999886

Obrázek 29: ARCH test modelu GARCH (1,1) - VIG, AG

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Z Obrázku č. 30 je jasné, že je daný model modelem vhodným. Pokud budeme dál řešit normalitu, zjistili bychom, že normalita není splněna, ale u finančních časových řad se jedná o zcela běžný jev. Koeficienty z Obrázku č. 29 dosadíme do následující rovnice:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \cdot e_{t-1}^2 + \beta_1 \cdot h_{t-1}$$

$$h_t = 1,16099 \cdot 10^{-5} + 0,1008 \cdot e_{t-1}^2 + 0,8434 \cdot h_{t-1}$$

Celková rovnice pro tuto časovou řadu je následující:

$$= -0,1314 \varepsilon_{t-1} - 0,1013 \varepsilon_{t-9} - 0,1271 \varepsilon_{t-12} - 0,0905 \varepsilon_{t-19} \\ + \sqrt{1,16099 \cdot 10^{-5} + 0,1008 \cdot e_{t-1}^2 + 0,8434 \cdot h_{t-1}}$$

4 PREDIKCE ČASOVÝCH ŘAD

V této kapitole se budeme zabývat konstrukcí předpovědí, předpovědí konstruované na modelu ARIMA a dále se budeme zabývat predikcemi jednotlivých společností, které jsme v předcházející kapitole analyzovali. V našem případě budeme predikovat 10 obchodních dnů. Cílem této kapitoly je zjistit rozdíl mezi predikovanou a skutečnou cenou akcie v daný obchodní den.

4.1 Konstrukce předpovědí časových řad

V této práci se blíže zaměříme na konstrukci předpovědí na základě modelů volatility, která se využívá jako jeden z cílů výstavby lineárních i nelineárních modelech volatility. Tyto předpovědi se hojně využívají u finančních aplikací (např. při analýze akciového trhu s obchodním cyklem apod.), kde jsou velmi důležité, dále se využívají u konstrukce předpovědí intervalových, které vycházejí z úrovnových modelů lineárních a nelineárních. Rozlišujeme několik předpovědí, které si následně popíšeme. Předpovědi časových řad lze interpretovat následovně:

- **Bodová a intervalová předpověď**
 - **Bodová předpověď** – představuje budoucí hodnotu, resp. náš odhad dané časové řady, např. bodová předpověď ceny akcie společnosti ČEZ v 14.7.2022 bude 1 213 Kč. Bodová předpověď je vždy brána s určitou chybou, je třeba brát tuto hodnotu s rezervou.
 - **Intervalová předpověď** – je obdobou intervalu spolehlivosti, který představuje určitý interval hodnot, ve kterém se bude nacházet predikovaná hodnota, např. cena akcie bude 7.1.2022 v intervalu předpovědí 359 – 1200 Kč. Obchodní burza nemusí očekávat propad akcie pod 359 Kč.
- **Kvantitativní a kvalitativní předpověď**
 - **Kvantitativní předpověď** (extrapolace) – tyto předpovědi jsou založené na matematicko-statistických postupech, ale nejsou brány jako nejlepší předpovědi, protože se může nečekaně změnit dosavadní charakter řady. Proto se provádí tzv. extrapolace minulých a současných hodnot do budoucnosti.
 - **Kvalitativní předpověď** (expertní předpovědi) – tyto metody předpovědi jsou založené na názorů odborníků a často mají dost subjektivní charakter. Tyto

metody se používají při nedostupnosti historických dat, např. zavádění nového produktu na trh). (Cipra, 2008 stránky 237-238)

4.1.1 Předpovědi na základě modelů ARIMA za předpokladu podmíněné heteroskedasticity

Problematiku konstrukce bodové a intervalové předpovědi na základě lineárních úrovnových modelů při podmíněné heteroskedasticitě rozpracovali Baillie a Bollerslev již v roce 1992. Předpověď s minimální střední čtvercovou chybou hodnoty v určitém čase, který se značí $T + h$, což znamená, že předpověď s horizontem h , která je konstruována v čase T , vychází z modelu ARIMA, je podmíněná střední hodnota náhodné veličiny X_{T+h} , tj. $X_{T+h} = E(X_{T+h}|\Omega_T)$, kde symbol Ω_T značí relevantní minulou informaci až do času T , tzn. do prahu predikce.

Při předpokladu podmíněné heteroskedasticity je podmíněná střední čtvercová chyba předpovědi vyšší než nepodmíněná střední čtvercová chyba. Tento rozdíl je dán rozdílem mezi nepodmíněným rozptylem procesu a v čase T očekávaným budoucím podmíněným rozptylem.

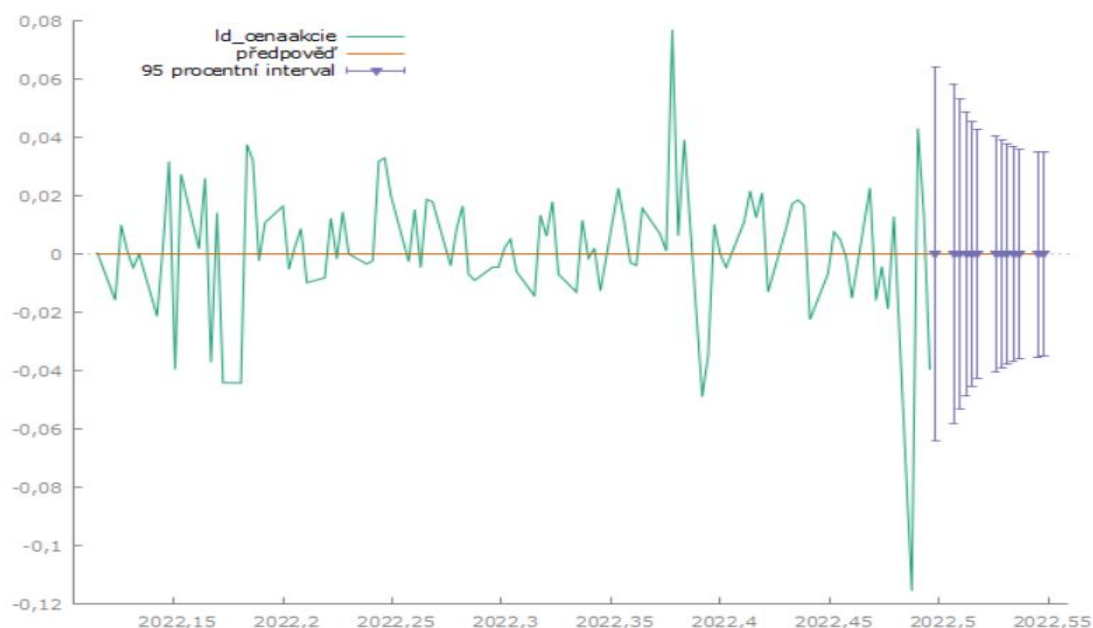
V případě rozdílnosti u podmíněné heteroskedasticitě a podmíněné homoskedasticitě je možné použít podmíněnou střední čtvercovou chybu. Tuto podmíněnou střední čtvercovou chybu lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$MSE[X_T(h)|\Omega_T] = \sigma_\varepsilon^2 \sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2 + \sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2 [E(h_{T+h-j}|\Omega_T) - \sigma_\varepsilon^2]$$

Podmíněná střední čtvercová chyba je však k použití obtížná, protože podmíněné pravděpodobnostní rozdělení předpovědních chyb není normální. Pro možnost výpočtu podmíněné střední čtvercové chyby je třeba vypočítat podmíněnou střední hodnotu budoucího podmíněného rozptylu. Tím jsme schopni dokázat předpověď s minimální střední čtvercovou chybou podmíněného rozptylu. (Arlt, a další, 2007 stránky 49-52)

4.2 Predikce společnosti ČEZ

Předpověď vývoje ceny akcie společnosti ČEZ, a.s. je predikována na 10 pracovních dní, v tomto případě předpovídáme hodnoty na interval 1. 7 – 15.7.2022, predikovaná časová řada bere v úvahu víkendové dny a státem uznané svátky.



Obrázek 30: Predikce vývoje logaritmických diferencí ČEZ, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Na obrázku č. 4 můžeme vidět vývoj cen akcie ČEZ, a.s. spolu s předpovědí na daných 10 obchodních dnů. Tento obrázek je výstupem ze software Gretl, jedná se o logaritmické difference cen akcií.

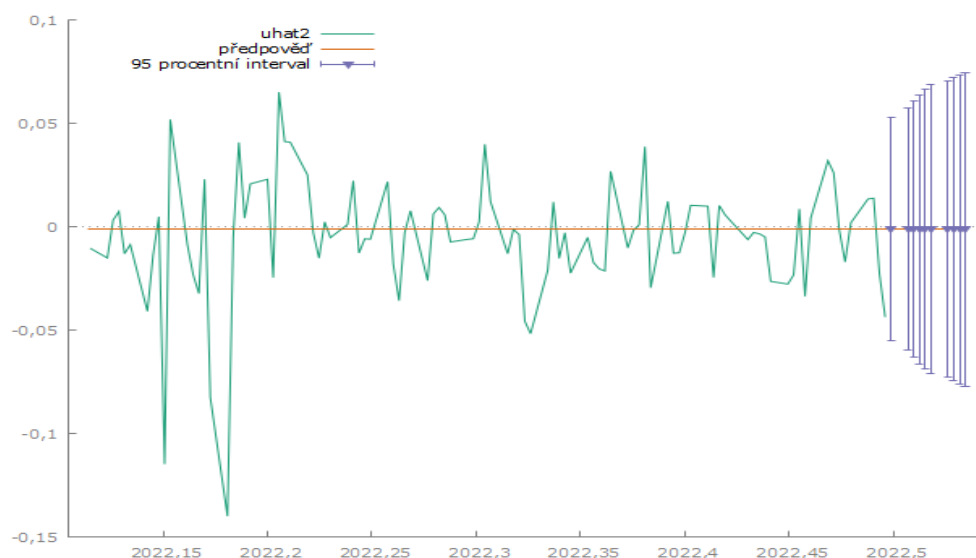
Tabulka 4: Predikované hodnoty společnosti ČEZ, a.s.

| DATUM | ODHADOVANÁ CENA | INTERVALY SPOLEHLIVOSTI | | SKUTEČNÁ CENA |
|-------|-----------------|-------------------------|-------------|---------------|
| 1.7. | 1 098,43 Kč | 996,85 Kč | 1 133,54 Kč | 970 Kč |
| 4.7. | 1 089,81 Kč | 949,35 Kč | 1 190,25 Kč | 935 Kč |
| 7.7. | 1 087,93 Kč | 907,18 Kč | 1 245,59 Kč | 1 009 Kč |
| 8.7. | 1 086,44 Kč | 869,22 Kč | 1 299,98 Kč | 1 007 Kč |
| 11.7. | 1 085,25 Kč | 834,64 Kč | 1 353,85 Kč | 1 020 Kč |
| 12.7. | 1 084,32 Kč | 802,78 Kč | 1 407,58 Kč | 1 039 Kč |
| 13.7. | 1 083,59 Kč | 773,14 Kč | 1 461,52 Kč | 1 023 Kč |
| 14.7. | 1 083,04 Kč | 745,36 Kč | 1 516,00 Kč | 1 024 Kč |
| 15.7. | 1 082,61 Kč | 719,13 Kč | 1 571,29 Kč | 1 051 Kč |
| 18.7. | 1 082,28 Kč | 694,24 Kč | 1 627,63 Kč | 1 100 Kč |

Zdroj: vlastní zpracování

4.3 Predikce společnosti KOMERČNÍ BANKA

U predikce společnosti KOMERČNÍ BANKA, a.s. je uvažováno s předpovědí opět 10 kalendářních dnů, tento interval proto bude stejný jako interval u výše uvedené společnosti ČEZ, a.s.. Opět budeme počítat se státními svátky, které připadly na pracovní dny a víkendy.



Obrázek 31: Predikce vývoje logaritmických diferencí KB, a.s.

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Na obrázku č. 6 můžeme vidět vývoj cen akcie KB, a.s., součástí obrázku jsou i předpovědi na deset obchodních dnů. Tento obrázek je výstupem ze softwaru Gretl, jedná se o logaritmické diference cen akcií. Následující tabulka ukazuje ceny v Kč.

Tabulka 5: Predikované hodnoty cen akcie společnosti KB, a.s.

| datum | odhadnutá cena | intervaly spolehlivosti | | skutečná cena |
|-------|----------------|-------------------------|-------------|---------------|
| 1.7. | 681,04 Kč | 626,82 Kč | 698,43 Kč | 637,0 Kč |
| 4.7. | 682,55 Kč | 590,48 Kč | 739,51 Kč | 650,0 Kč |
| 7.7. | 683,80 Kč | 554,26 Kč | 785,82 Kč | 641,0 Kč |
| 8.7. | 684,85 Kč | 518,69 Kč | 837,56 Kč | 639,0 Kč |
| 11.7. | 685,75 Kč | 484,17 Kč | 894,99 Kč | 648,5 Kč |
| 12.7. | 686,51 Kč | 450,96 Kč | 958,45 Kč | 631,5 Kč |
| 13.7. | 687,17 Kč | 419,23 Kč | 1 028,34 Kč | 630,0 Kč |
| 14.7. | 687,74 Kč | 389,11 Kč | 1 105,12 Kč | 628,0 Kč |
| 15.7. | 688,24 Kč | 360,64 Kč | 1 189,31 Kč | 632,0 Kč |
| 18.7. | 688,67 Kč | 333,85 Kč | 1 281,48 Kč | 642,5 Kč |

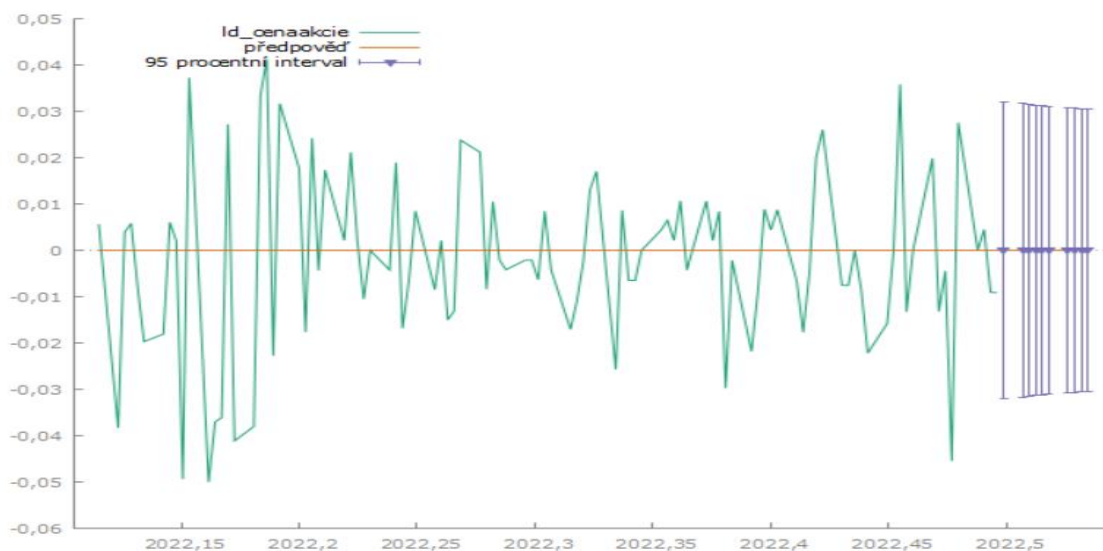
Zdroj: vlastní zpracování

Na uvedené tabulce je možné zaznamenat, že odhadnutá cena akcie s postupem času je vyšší. Odhadnutá cena je vždy v intervalu spolehlivosti a skutečná cena je oproti odhadované vždy nižší.

4.4 Predikce společnosti VIG

Predikce u společnosti Vienna Insurance Group se liší v intervalu predikovaných hodnot, stále uvažujeme víkendové dny, ale v Rakousku nemají v tomto intervalu žádný státem uznávaný svátek. Proto budeme uvažovat interval předpovědi 1. – 14.7.2022.

Na obrázku č. 8 můžeme vidět vývoj cen akcií společnosti VIG, součástí tohoto obrázku jsou i predikované hodnoty na 10 kalendářních dní. Pro lepší přehlednost se hodnoty převedly na cenu akcie v měně, kterou jsme uvažovali už při analýze dané časové řady, tedy v EUR. Tento přepoččet je zřejmý v následující tabulce.



Obrázek 32: Predikce vývoje logaritmických diferencí VIG

Zdroj: vlastní zpracování v softwaru Gretl

Tabulka 6: Predikované hodnoty pro cenu akcie VIG

| DATUM | ODHADNUTÁ CENA | INTERVALY SPOLEHLIVOSTI | | SKUTEČNÁ CENA |
|-------|----------------|-------------------------|----------|---------------|
| 1.7. | 22,158 € | 21,115 € | 22,507 € | 21,95 € |
| 4.7. | 22,156 € | 21,120 € | 22,502 € | 22,05 € |
| 5.7. | 22,153 € | 20,464 € | 23,223 € | 20,90 € |
| 6.7. | 22,151 € | 19,833 € | 23,962 € | 20,95 € |
| 7.7. | 22,149 € | 19,225 € | 24,720 € | 21,55 € |
| 8.7. | 22,148 € | 18,638 € | 25,499 € | 21,90 € |
| 11.7. | 22,146 € | 18,071 € | 26,298 € | 21,55 € |
| 12.7. | 22,144 € | 17,524 € | 27,119 € | 21,70 € |
| 13.7. | 22,143 € | 16,996 € | 27,961 € | 21,55 € |
| 14.7. | 22,142 € | 16,486 € | 28,827 € | 21,20 € |

Zdroj: vlastní zpracování

Na tabulce č. 3 vidíme, že odhadnutá cena je v intervalech spolehlivosti. U této predikce můžeme říci, odhadovaná cena je vždy vyšší než cena skutečná.

ZÁVĚR

V první kapitole o základních pojmech finančních časových řad bylo uvést si základní informace o finančních trzích, poté konkrétně o akciových trzích, na kterých se obchoduje s námi vybranými akciemi společností. Dále bylo řečeno, co je časová řada a jaký je rozdíl mezi finanční časovou řadou a časovou řadou.

Druhá kapitola byla věnována Boxově-Jenkinsově metodě, která se využívá při modelování volatility, která je potřebná pro analyzování časových řad. V této kapitole jsou zahrnuty modely stacionárních řad, př. informace o stochastickém procesu, stacionaritě, procesu bílého šumu a autoregresní procesy, procesy klouzavých průměrů a jejich smíšení proces ARMA. U modelů nestacionárních časových řadách je uveden proces ARIMA. Dále zde je uvedeno modelování volatility, jaké modely je vhodné využít, jaký je rozdíl mezi ARCH a GARCH modely. Závěrem této kapitoly je uvedena konstrukce modelů Boxovy-Jenkinsovy metody, kde je nutné identifikovat, odhadnout a diagnostikovat vybraný model.

V druhé polovině byla práce zaměřila na analyzování a predikci vybraných společností na praktické úrovni. U všech společností je použit analogický postup pro analýzu.

Ve třetí kapitole jsou podrobně analyzovány časové řady jednotlivých společností, kde součástí je i modelace volatility a rovnice vybraného modelu. U každé společnosti je uveden vhodný úrovnový model a výsledná rovnice.

Ve čtvrté a zároveň poslední kapitole je stanovená predikce daných časových řad na stanovené období, konkrétně 10 obchodních dnů. Jsou zde vyobrazeny grafy s predikcemi logaritmických diferencí cen společností i s vyobrazeným intervalem spolehlivosti. Dále je možné vidět porovnání skutečných a predikovaných cen akcií v jednotlivých obchodních dnech.

POUŽITÁ LITERATURA

1. ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ, 2003. Finanční časové řady: [vlastnosti, metody modelování, příklady a aplikace]. Praha: Grada. ISBN 80-247-0330-0.
2. ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ, 1997. Příklady z analýzy ekonomických časových řad. Praha: Vysoká škola ekonomická. ISBN 80-707-9056-3.
3. CIPRA, Tomáš, 2008. Finanční ekonometrie. 2., upr. vyd. Praha: Ekopress. ISBN 978-80-86929-43-9.
4. TSAY, Ruey S. Analysis of financial time series. 2nd ed. Hoboken: John Wiley, c2005. Wiley series in probability and statistics. ISBN 0-471-69074-0.
5. REJNUŠ, Oldřich. Finanční trhy. 3., rozš. vyd. Ostrava: Key Publishing, 2011. Ekonomie. ISBN 978-80-7418-128-3.
6. HAMILTON, James D. Time series analysis. Princeton: Princeton University Press, c1994. ISBN 0-691-04289-6.

INTERNETOVÉ ZDROJE

7. Vývoj cen akcií ČEZ, a.s.[online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-investory/akcie/vyvoj-cen-akcii>
8. Vývoj cen akcií Komerční Banka, a.s. [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.kb.cz/cs/o-bance/pro-investory/akcionari-akcie-a-dividendy/akcie-kb>
9. Vývoj cen akcií VIG, AG [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.vig.com/en/investor-relations/share/share-price-monitor.html>
10. Výroční zpráva ČEZ 2020, 2021. ČEZ, a.s. Praha.
11. Výroční zpráva ČEZ 2021, 2022. ČEZ, a.s. Praha.
12. Výroční zpráva KOMERČNÍ BANKA 2020, 2021. KOMERČNÍ BANKA, a.s. Praha
13. Výroční zpráva KOMERČNÍ BANKA 2021, 2022. KOMERČNÍ BANKA, a.s. Praha
14. Výroční zpráva Vienna Insurance Group 2020, 2021. VIG, AG. Vienna.
15. Výroční zpráva Vienna Insurance Group 2021, 2022. VIG, AG. Vienna.

16. *Kurzy akcií ČEZ, a.s.* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/akcie-cz/akcie/cez-183/graf>
17. *Kurzy akcií KOMERČNÍ BANKA, a.s.* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/akcie-cz/akcie/komercni-banka-590/graf>
18. *Kurzy akcií VIG, AG* [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.vig.com/en/investor-relations/share/share-price-monitor.html>

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A – VSTUPNÍ DATA SPOLEČNOSTI ČEZ, a.s.

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 05.10.2020 | 436,50 Kč | 05.05.2021 | 602,00 Kč | 02.12.2021 | 749,50 Kč |
| 06.10.2020 | 438,00 Kč | 06.05.2021 | 596,00 Kč | 03.12.2021 | 747,50 Kč |
| 07.10.2020 | 439,00 Kč | 07.05.2021 | 602,50 Kč | 06.12.2021 | 751,00 Kč |
| 08.10.2020 | 439,00 Kč | 10.05.2021 | 607,00 Kč | 07.12.2021 | 764,00 Kč |
| 09.10.2020 | 440,00 Kč | 11.05.2021 | 605,00 Kč | 08.12.2021 | 790,00 Kč |
| 12.10.2020 | 435,00 Kč | 12.05.2021 | 608,00 Kč | 09.12.2021 | 807,00 Kč |
| 13.10.2020 | 439,00 Kč | 13.05.2021 | 607,00 Kč | 10.12.2021 | 802,50 Kč |
| 14.10.2020 | 442,00 Kč | 14.05.2021 | 609,50 Kč | 13.12.2021 | 801,00 Kč |
| 15.10.2020 | 439,00 Kč | 17.05.2021 | 612,00 Kč | 14.12.2021 | 798,50 Kč |
| 16.10.2020 | 442,00 Kč | 18.05.2021 | 623,00 Kč | 15.12.2021 | 803,00 Kč |
| 19.10.2020 | 440,50 Kč | 19.05.2021 | 613,50 Kč | 16.12.2021 | 809,00 Kč |
| 20.10.2020 | 442,00 Kč | 20.05.2021 | 620,50 Kč | 17.12.2021 | 806,00 Kč |
| 21.10.2020 | 442,00 Kč | 21.05.2021 | 630,00 Kč | 20.12.2021 | 803,00 Kč |
| 22.10.2020 | 440,50 Kč | 24.05.2021 | 629,00 Kč | 21.12.2021 | 821,00 Kč |
| 23.10.2020 | 439,50 Kč | 25.05.2021 | 627,50 Kč | 22.12.2021 | 827,50 Kč |
| 26.10.2020 | 443,00 Kč | 26.05.2021 | 621,00 Kč | 23.12.2021 | 838,00 Kč |
| 27.10.2020 | 447,00 Kč | 27.05.2021 | 623,00 Kč | 24.12.2021 | 831,50 Kč |
| 28.10.2020 | 444,75 Kč | 28.05.2021 | 624,00 Kč | 27.12.2021 | 825,00 Kč |
| 29.10.2020 | 442,50 Kč | 31.05.2021 | 626,00 Kč | 28.12.2021 | 828,50 Kč |
| 30.10.2020 | 442,00 Kč | 01.06.2021 | 631,00 Kč | 29.12.2021 | 830,00 Kč |
| 02.11.2020 | 442,50 Kč | 02.06.2021 | 631,50 Kč | 30.12.2021 | 827,00 Kč |
| 03.11.2020 | 445,50 Kč | 03.06.2021 | 635,00 Kč | 31.12.2021 | 816,75 Kč |
| 04.11.2020 | 455,00 Kč | 04.06.2021 | 643,00 Kč | 03.01.2022 | 806,50 Kč |
| 05.11.2020 | 465,00 Kč | 07.06.2021 | 636,50 Kč | 04.01.2022 | 816,50 Kč |
| 06.11.2020 | 464,50 Kč | 08.06.2021 | 634,50 Kč | 05.01.2022 | 813,50 Kč |
| 09.11.2020 | 475,00 Kč | 09.06.2021 | 637,50 Kč | 06.01.2022 | 815,00 Kč |
| 10.11.2020 | 473,00 Kč | 10.06.2021 | 637,50 Kč | 07.01.2022 | 811,00 Kč |
| 11.11.2020 | 472,00 Kč | 11.06.2021 | 635,00 Kč | 10.01.2022 | 810,00 Kč |
| 12.11.2020 | 476,50 Kč | 14.06.2021 | 637,50 Kč | 11.01.2022 | 807,00 Kč |
| 13.11.2020 | 471,00 Kč | 15.06.2021 | 637,00 Kč | 12.01.2022 | 813,50 Kč |
| 16.11.2020 | 475,00 Kč | 16.06.2021 | 626,50 Kč | 13.01.2022 | 811,50 Kč |
| 17.11.2020 | 474,00 Kč | 17.06.2021 | 629,50 Kč | 14.01.2022 | 812,50 Kč |
| 18.11.2020 | 473,00 Kč | 18.06.2021 | 630,50 Kč | 17.01.2022 | 811,00 Kč |
| 19.11.2020 | 468,00 Kč | 21.06.2021 | 630,50 Kč | 18.01.2022 | 813,00 Kč |
| 20.11.2020 | 470,00 Kč | 22.06.2021 | 633,00 Kč | 19.01.2022 | 812,50 Kč |
| 23.11.2020 | 474,50 Kč | 23.06.2021 | 632,00 Kč | 20.01.2022 | 813,00 Kč |
| 24.11.2020 | 472,50 Kč | 24.06.2021 | 632,00 Kč | 21.01.2022 | 813,00 Kč |
| 25.11.2020 | 471,00 Kč | 25.06.2021 | 633,00 Kč | 24.01.2022 | 796,50 Kč |
| 26.11.2020 | 472,00 Kč | 28.06.2021 | 636,00 Kč | 25.01.2022 | 802,00 Kč |
| 27.11.2020 | 470,00 Kč | 29.06.2021 | 633,50 Kč | 26.01.2022 | 806,00 Kč |
| 30.11.2020 | 466,50 Kč | 30.06.2021 | 638,00 Kč | 27.01.2022 | 805,00 Kč |
| 01.12.2020 | 466,00 Kč | 01.07.2021 | 594,00 Kč | 28.01.2022 | 802,50 Kč |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 02.12.2020 | 460,00 Kč | 02.07.2021 | 598,00 Kč | 31.01.2022 | 803,00 Kč |
| 03.12.2020 | 456,50 Kč | 05.07.2021 | 600,25 Kč | 01.02.2022 | 799,50 Kč |
| 04.12.2020 | 459,00 Kč | 06.07.2021 | 601,38 Kč | 02.02.2022 | 809,50 Kč |
| 07.12.2020 | 464,50 Kč | 07.07.2021 | 602,50 Kč | 03.02.2022 | 813,00 Kč |
| 08.12.2020 | 466,50 Kč | 08.07.2021 | 599,50 Kč | 04.02.2022 | 830,00 Kč |
| 09.12.2020 | 466,50 Kč | 09.07.2021 | 600,00 Kč | 07.02.2022 | 840,00 Kč |
| 10.12.2020 | 470,00 Kč | 12.07.2021 | 601,50 Kč | 08.02.2022 | 853,50 Kč |
| 11.12.2020 | 465,00 Kč | 13.07.2021 | 600,00 Kč | 09.02.2022 | 866,00 Kč |
| 14.12.2020 | 466,50 Kč | 14.07.2021 | 600,50 Kč | 10.02.2022 | 859,50 Kč |
| 15.12.2020 | 460,50 Kč | 15.07.2021 | 596,50 Kč | 11.02.2022 | 860,00 Kč |
| 16.12.2020 | 477,00 Kč | 16.07.2021 | 594,00 Kč | 14.02.2022 | 846,50 Kč |
| 17.12.2020 | 493,00 Kč | 19.07.2021 | 585,00 Kč | 15.02.2022 | 855,00 Kč |
| 18.12.2020 | 498,00 Kč | 20.07.2021 | 591,00 Kč | 16.02.2022 | 856,00 Kč |
| 21.12.2020 | 491,00 Kč | 21.07.2021 | 594,50 Kč | 17.02.2022 | 852,00 Kč |
| 22.12.2020 | 492,00 Kč | 22.07.2021 | 596,50 Kč | 18.02.2022 | 852,00 Kč |
| 23.12.2020 | 501,00 Kč | 23.07.2021 | 592,00 Kč | 21.02.2022 | 834,00 Kč |
| 24.12.2020 | 506,50 Kč | 26.07.2021 | 591,00 Kč | 22.02.2022 | 836,50 Kč |
| 25.12.2020 | 509,25 Kč | 27.07.2021 | 596,00 Kč | 23.02.2022 | 863,50 Kč |
| 28.12.2020 | 512,00 Kč | 28.07.2021 | 597,50 Kč | 24.02.2022 | 830,00 Kč |
| 29.12.2020 | 520,00 Kč | 29.07.2021 | 600,00 Kč | 25.02.2022 | 853,00 Kč |
| 30.12.2020 | 515,00 Kč | 30.07.2021 | 597,00 Kč | 28.02.2022 | 854,50 Kč |
| 31.12.2020 | 513,50 Kč | 02.08.2021 | 603,00 Kč | 01.03.2022 | 877,00 Kč |
| 01.01.2021 | 512,75 Kč | 03.08.2021 | 608,00 Kč | 02.03.2022 | 845,00 Kč |
| 04.01.2021 | 512,00 Kč | 04.08.2021 | 616,00 Kč | 03.03.2022 | 857,00 Kč |
| 05.01.2021 | 516,00 Kč | 05.08.2021 | 618,50 Kč | 04.03.2022 | 820,00 Kč |
| 06.01.2021 | 518,00 Kč | 06.08.2021 | 622,50 Kč | 07.03.2022 | 784,50 Kč |
| 07.01.2021 | 527,00 Kč | 09.08.2021 | 629,00 Kč | 08.03.2022 | 814,50 Kč |
| 08.01.2021 | 539,00 Kč | 10.08.2021 | 621,00 Kč | 09.03.2022 | 841,00 Kč |
| 11.01.2021 | 547,00 Kč | 11.08.2021 | 626,00 Kč | 10.03.2022 | 839,00 Kč |
| 12.01.2021 | 546,00 Kč | 12.08.2021 | 628,00 Kč | 11.03.2022 | 848,00 Kč |
| 13.01.2021 | 543,00 Kč | 13.08.2021 | 634,00 Kč | 14.03.2022 | 862,00 Kč |
| 14.01.2021 | 544,00 Kč | 16.08.2021 | 638,00 Kč | 15.03.2022 | 857,50 Kč |
| 15.01.2021 | 542,00 Kč | 17.08.2021 | 653,50 Kč | 16.03.2022 | 859,50 Kč |
| 18.01.2021 | 540,00 Kč | 18.08.2021 | 668,00 Kč | 17.03.2022 | 867,00 Kč |
| 19.01.2021 | 539,00 Kč | 19.08.2021 | 654,00 Kč | 18.03.2022 | 858,50 Kč |
| 20.01.2021 | 535,00 Kč | 20.08.2021 | 655,50 Kč | 21.03.2022 | 851,50 Kč |
| 21.01.2021 | 530,00 Kč | 23.08.2021 | 664,50 Kč | 22.03.2022 | 862,00 Kč |
| 22.01.2021 | 528,00 Kč | 24.08.2021 | 673,00 Kč | 23.03.2022 | 860,50 Kč |
| 25.01.2021 | 531,00 Kč | 25.08.2021 | 677,00 Kč | 24.03.2022 | 873,00 Kč |
| 26.01.2021 | 529,00 Kč | 26.08.2021 | 664,50 Kč | 25.03.2022 | 873,00 Kč |
| 27.01.2021 | 527,00 Kč | 27.08.2021 | 672,00 Kč | 28.03.2022 | 870,00 Kč |
| 28.01.2021 | 522,00 Kč | 30.08.2021 | 678,00 Kč | 29.03.2022 | 868,00 Kč |
| 29.01.2021 | 516,00 Kč | 31.08.2021 | 678,50 Kč | 30.03.2022 | 896,00 Kč |
| 01.02.2021 | 521,00 Kč | 01.09.2021 | 683,50 Kč | 31.03.2022 | 926,00 Kč |
| 02.02.2021 | 519,00 Kč | 02.09.2021 | 682,00 Kč | 01.04.2022 | 945,00 Kč |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 03.02.2021 | 520,00 Kč | 03.09.2021 | 684,50 Kč | 04.04.2022 | 942,50 Kč |
| 04.02.2021 | 525,00 Kč | 06.09.2021 | 684,00 Kč | 05.04.2022 | 957,00 Kč |
| 05.02.2021 | 533,00 Kč | 07.09.2021 | 688,50 Kč | 06.04.2022 | 952,50 Kč |
| 08.02.2021 | 533,00 Kč | 08.09.2021 | 686,00 Kč | 07.04.2022 | 970,50 Kč |
| 09.02.2021 | 534,00 Kč | 09.09.2021 | 681,50 Kč | 08.04.2022 | 988,00 Kč |
| 10.02.2021 | 534,00 Kč | 10.09.2021 | 683,50 Kč | 11.04.2022 | 984,00 Kč |
| 11.02.2021 | 533,00 Kč | 13.09.2021 | 686,00 Kč | 12.04.2022 | 992,50 Kč |
| 12.02.2021 | 539,00 Kč | 14.09.2021 | 688,00 Kč | 13.04.2022 | 1 009,00 Kč |
| 15.02.2021 | 540,00 Kč | 15.09.2021 | 696,00 Kč | 14.04.2022 | 1 002,00 Kč |
| 16.02.2021 | 535,00 Kč | 16.09.2021 | 702,00 Kč | 15.04.2022 | 993,00 Kč |
| 17.02.2021 | 528,00 Kč | 17.09.2021 | 700,50 Kč | 18.04.2022 | 988,50 Kč |
| 18.02.2021 | 528,00 Kč | 20.09.2021 | 693,00 Kč | 19.04.2022 | 984,00 Kč |
| 19.02.2021 | 520,00 Kč | 21.09.2021 | 697,50 Kč | 20.04.2022 | 986,00 Kč |
| 22.02.2021 | 515,00 Kč | 22.09.2021 | 698,00 Kč | 21.04.2022 | 991,00 Kč |
| 23.02.2021 | 517,00 Kč | 23.09.2021 | 700,00 Kč | 22.04.2022 | 985,00 Kč |
| 24.02.2021 | 519,00 Kč | 24.09.2021 | 694,00 Kč | 25.04.2022 | 971,00 Kč |
| 25.02.2021 | 526,00 Kč | 27.09.2021 | 700,00 Kč | 26.04.2022 | 984,00 Kč |
| 26.02.2021 | 529,00 Kč | 28.09.2021 | 701,50 Kč | 27.04.2022 | 990,00 Kč |
| 01.03.2021 | 528,00 Kč | 29.09.2021 | 703,00 Kč | 28.04.2022 | 1 008,00 Kč |
| 02.03.2021 | 529,00 Kč | 30.09.2021 | 712,50 Kč | 29.04.2022 | 1 001,00 Kč |
| 03.03.2021 | 520,00 Kč | 01.10.2021 | 728,50 Kč | 02.05.2022 | 988,00 Kč |
| 04.03.2021 | 521,00 Kč | 04.10.2021 | 765,00 Kč | 03.05.2022 | 999,50 Kč |
| 05.03.2021 | 520,00 Kč | 05.10.2021 | 799,00 Kč | 04.05.2022 | 998,00 Kč |
| 08.03.2021 | 520,00 Kč | 06.10.2021 | 780,00 Kč | 05.05.2022 | 1 000,00 Kč |
| 09.03.2021 | 526,00 Kč | 07.10.2021 | 772,00 Kč | 06.05.2022 | 987,50 Kč |
| 10.03.2021 | 532,00 Kč | 08.10.2021 | 770,00 Kč | 09.05.2022 | 1 010,00 Kč |
| 11.03.2021 | 543,00 Kč | 11.10.2021 | 784,00 Kč | 10.05.2022 | 1 021,00 Kč |
| 12.03.2021 | 541,00 Kč | 12.10.2021 | 785,00 Kč | 11.05.2022 | 1 018,00 Kč |
| 15.03.2021 | 541,00 Kč | 13.10.2021 | 780,00 Kč | 12.05.2022 | 1 014,00 Kč |
| 16.03.2021 | 537,00 Kč | 14.10.2021 | 773,00 Kč | 13.05.2022 | 1 030,00 Kč |
| 17.03.2021 | 541,00 Kč | 15.10.2021 | 772,00 Kč | 16.05.2022 | 1 037,00 Kč |
| 18.03.2021 | 554,00 Kč | 18.10.2021 | 761,00 Kč | 17.05.2022 | 1 038,00 Kč |
| 19.03.2021 | 545,00 Kč | 19.10.2021 | 752,00 Kč | 18.05.2022 | 1 121,00 Kč |
| 22.03.2021 | 546,00 Kč | 20.10.2021 | 740,00 Kč | 19.05.2022 | 1 128,00 Kč |
| 23.03.2021 | 550,00 Kč | 21.10.2021 | 733,00 Kč | 20.05.2022 | 1 173,00 Kč |
| 24.03.2021 | 544,00 Kč | 22.10.2021 | 733,00 Kč | 23.05.2022 | 1 117,00 Kč |
| 25.03.2021 | 543,00 Kč | 25.10.2021 | 744,00 Kč | 24.05.2022 | 1 079,00 Kč |
| 26.03.2021 | 547,00 Kč | 26.10.2021 | 746,50 Kč | 25.05.2022 | 1 090,00 Kč |
| 29.03.2021 | 553,00 Kč | 27.10.2021 | 750,50 Kč | 26.05.2022 | 1 090,00 Kč |
| 30.03.2021 | 555,00 Kč | 28.10.2021 | 741,75 Kč | 27.05.2022 | 1 085,00 Kč |
| 31.03.2021 | 550,00 Kč | 29.10.2021 | 733,00 Kč | 30.05.2022 | 1 097,00 Kč |
| 01.04.2021 | 554,00 Kč | 01.11.2021 | 725,00 Kč | 31.05.2022 | 1 121,00 Kč |
| 02.04.2021 | 556,75 Kč | 02.11.2021 | 723,00 Kč | 01.06.2022 | 1 135,00 Kč |
| 05.04.2021 | 558,13 Kč | 03.11.2021 | 744,00 Kč | 02.06.2022 | 1 159,00 Kč |
| 06.04.2021 | 559,50 Kč | 04.11.2021 | 750,00 Kč | 03.06.2022 | 1 144,00 Kč |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 07.04.2021 | 564,00 Kč | 05.11.2021 | 749,00 Kč | 06.06.2022 | 1 154,00 Kč |
| 08.04.2021 | 565,00 Kč | 08.11.2021 | 758,00 Kč | 07.06.2022 | 1 174,00 Kč |
| 09.04.2021 | 571,50 Kč | 09.11.2021 | 751,00 Kč | 08.06.2022 | 1 196,00 Kč |
| 12.04.2021 | 581,00 Kč | 10.11.2021 | 748,00 Kč | 09.06.2022 | 1 216,00 Kč |
| 13.04.2021 | 595,00 Kč | 11.11.2021 | 733,00 Kč | 10.06.2022 | 1 189,00 Kč |
| 14.04.2021 | 593,00 Kč | 12.11.2021 | 724,00 Kč | 13.06.2022 | 1 181,00 Kč |
| 15.04.2021 | 588,00 Kč | 15.11.2021 | 735,00 Kč | 14.06.2022 | 1 190,00 Kč |
| 16.04.2021 | 596,00 Kč | 16.11.2021 | 733,00 Kč | 15.06.2022 | 1 196,00 Kč |
| 19.04.2021 | 592,50 Kč | 17.11.2021 | 732,00 Kč | 16.06.2022 | 1 195,00 Kč |
| 20.04.2021 | 588,50 Kč | 18.11.2021 | 731,00 Kč | 17.06.2022 | 1 177,00 Kč |
| 21.04.2021 | 590,50 Kč | 19.11.2021 | 723,00 Kč | 20.06.2022 | 1 204,00 Kč |
| 22.04.2021 | 599,00 Kč | 22.11.2021 | 719,00 Kč | 21.06.2022 | 1 185,00 Kč |
| 23.04.2021 | 592,00 Kč | 23.11.2021 | 725,00 Kč | 22.06.2022 | 1 180,00 Kč |
| 26.04.2021 | 591,50 Kč | 24.11.2021 | 728,00 Kč | 23.06.2022 | 1 158,00 Kč |
| 27.04.2021 | 589,50 Kč | 25.11.2021 | 736,50 Kč | 24.06.2022 | 1 173,00 Kč |
| 28.04.2021 | 595,50 Kč | 26.11.2021 | 715,00 Kč | 27.06.2022 | 1 045,00 Kč |
| 29.04.2021 | 598,50 Kč | 29.11.2021 | 730,50 Kč | 28.06.2022 | 1 091,00 Kč |
| 30.04.2021 | 599,50 Kč | 30.11.2021 | 735,00 Kč | 29.06.2022 | 1 106,00 Kč |
| 03.05.2021 | 604,50 Kč | 01.12.2021 | 741,50 Kč | 30.06.2022 | 1 063,00 Kč |
| 04.05.2021 | 601,00 Kč | | | | |

PŘÍLOHA B – VSTUPNÍ DATA SPOLEČNOSTI KOMERČNÍ BANKA, a.s.

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 05.10.2020 | 490,00 Kč | 05.05.2021 | 660,00 Kč | 02.12.2021 | 879,00 Kč |
| 06.10.2020 | 503,00 Kč | 06.05.2021 | 663,00 Kč | 03.12.2021 | 877,00 Kč |
| 07.10.2020 | 505,00 Kč | 07.05.2021 | 675,00 Kč | 06.12.2021 | 876,00 Kč |
| 08.10.2020 | 505,00 Kč | 10.05.2021 | 683,00 Kč | 07.12.2021 | 882,00 Kč |
| 09.10.2020 | 494,00 Kč | 11.05.2021 | 680,50 Kč | 08.12.2021 | 885,00 Kč |
| 12.10.2020 | 492,50 Kč | 12.05.2021 | 677,00 Kč | 09.12.2021 | 888,50 Kč |
| 13.10.2020 | 481,00 Kč | 13.05.2021 | 682,00 Kč | 10.12.2021 | 895,50 Kč |
| 14.10.2020 | 479,00 Kč | 14.05.2021 | 686,00 Kč | 13.12.2021 | 903,00 Kč |
| 15.10.2020 | 468,50 Kč | 17.05.2021 | 691,50 Kč | 14.12.2021 | 902,00 Kč |
| 16.10.2020 | 484,00 Kč | 18.05.2021 | 695,00 Kč | 15.12.2021 | 904,00 Kč |
| 19.10.2020 | 486,00 Kč | 19.05.2021 | 700,00 Kč | 16.12.2021 | 895,50 Kč |
| 20.10.2020 | 489,50 Kč | 20.05.2021 | 714,00 Kč | 17.12.2021 | 888,00 Kč |
| 21.10.2020 | 476,00 Kč | 21.05.2021 | 726,00 Kč | 20.12.2021 | 888,00 Kč |
| 22.10.2020 | 468,00 Kč | 24.05.2021 | 743,00 Kč | 21.12.2021 | 907,00 Kč |
| 23.10.2020 | 477,00 Kč | 25.05.2021 | 770,50 Kč | 22.12.2021 | 917,00 Kč |
| 26.10.2020 | 478,00 Kč | 26.05.2021 | 774,50 Kč | 23.12.2021 | 921,00 Kč |
| 27.10.2020 | 489,00 Kč | 27.05.2021 | 766,00 Kč | 24.12.2021 | 921,50 Kč |
| 28.10.2020 | 481,25 Kč | 28.05.2021 | 769,00 Kč | 27.12.2021 | 922,00 Kč |
| 29.10.2020 | 473,50 Kč | 31.05.2021 | 768,50 Kč | 28.12.2021 | 927,00 Kč |
| 30.10.2020 | 474,00 Kč | 01.06.2021 | 798,50 Kč | 29.12.2021 | 924,50 Kč |
| 02.11.2020 | 485,00 Kč | 02.06.2021 | 795,00 Kč | 30.12.2021 | 935,00 Kč |
| 03.11.2020 | 496,50 Kč | 03.06.2021 | 789,50 Kč | 31.12.2021 | 931,00 Kč |
| 04.11.2020 | 494,00 Kč | 04.06.2021 | 789,50 Kč | 03.01.2022 | 927,00 Kč |
| 05.11.2020 | 497,00 Kč | 07.06.2021 | 789,00 Kč | 04.01.2022 | 942,00 Kč |
| 06.11.2020 | 490,00 Kč | 08.06.2021 | 792,00 Kč | 05.01.2022 | 932,50 Kč |
| 09.11.2020 | 527,00 Kč | 09.06.2021 | 799,50 Kč | 06.01.2022 | 933,00 Kč |
| 10.11.2020 | 550,00 Kč | 10.06.2021 | 794,50 Kč | 07.01.2022 | 928,50 Kč |
| 11.11.2020 | 558,00 Kč | 11.06.2021 | 794,00 Kč | 10.01.2022 | 940,00 Kč |
| 12.11.2020 | 554,00 Kč | 14.06.2021 | 790,50 Kč | 11.01.2022 | 969,50 Kč |
| 13.11.2020 | 554,00 Kč | 15.06.2021 | 784,00 Kč | 12.01.2022 | 986,50 Kč |
| 16.11.2020 | 576,00 Kč | 16.06.2021 | 781,50 Kč | 13.01.2022 | 994,00 Kč |
| 17.11.2020 | 580,00 Kč | 17.06.2021 | 776,00 Kč | 14.01.2022 | 985,00 Kč |
| 18.11.2020 | 584,00 Kč | 18.06.2021 | 770,00 Kč | 17.01.2022 | 981,00 Kč |
| 19.11.2020 | 568,00 Kč | 21.06.2021 | 774,50 Kč | 18.01.2022 | 982,00 Kč |
| 20.11.2020 | 576,00 Kč | 22.06.2021 | 772,50 Kč | 19.01.2022 | 970,50 Kč |
| 23.11.2020 | 581,00 Kč | 23.06.2021 | 770,00 Kč | 20.01.2022 | 958,00 Kč |
| 24.11.2020 | 582,00 Kč | 24.06.2021 | 768,50 Kč | 21.01.2022 | 955,00 Kč |
| 25.11.2020 | 581,00 Kč | 25.06.2021 | 760,50 Kč | 24.01.2022 | 923,50 Kč |
| 26.11.2020 | 578,00 Kč | 28.06.2021 | 756,00 Kč | 25.01.2022 | 942,00 Kč |
| 27.11.2020 | 588,00 Kč | 29.06.2021 | 762,00 Kč | 26.01.2022 | 963,00 Kč |
| 30.11.2020 | 589,00 Kč | 30.06.2021 | 757,00 Kč | 27.01.2022 | 955,00 Kč |
| 01.12.2020 | 592,00 Kč | 01.07.2021 | 760,00 Kč | 28.01.2022 | 943,50 Kč |
| 02.12.2020 | 601,00 Kč | 02.07.2021 | 779,00 Kč | 31.01.2022 | 958,00 Kč |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 03.12.2020 | 605,00 Kč | 05.07.2021 | 776,25 Kč | 01.02.2022 | 958,00 Kč |
| 04.12.2020 | 616,00 Kč | 06.07.2021 | 774,88 Kč | 02.02.2022 | 978,00 Kč |
| 07.12.2020 | 616,00 Kč | 07.07.2021 | 773,50 Kč | 03.02.2022 | 991,50 Kč |
| 08.12.2020 | 630,00 Kč | 08.07.2021 | 769,00 Kč | 04.02.2022 | 975,50 Kč |
| 09.12.2020 | 648,00 Kč | 09.07.2021 | 772,00 Kč | 07.02.2022 | 967,00 Kč |
| 10.12.2020 | 630,00 Kč | 12.07.2021 | 773,50 Kč | 08.02.2022 | 987,00 Kč |
| 11.12.2020 | 619,00 Kč | 13.07.2021 | 769,50 Kč | 09.02.2022 | 1 011,00 Kč |
| 14.12.2020 | 628,00 Kč | 14.07.2021 | 774,00 Kč | 10.02.2022 | 998,50 Kč |
| 15.12.2020 | 631,00 Kč | 15.07.2021 | 770,00 Kč | 11.02.2022 | 989,50 Kč |
| 16.12.2020 | 637,00 Kč | 16.07.2021 | 773,00 Kč | 14.02.2022 | 977,00 Kč |
| 17.12.2020 | 642,00 Kč | 19.07.2021 | 751,00 Kč | 15.02.2022 | 983,50 Kč |
| 18.12.2020 | 644,00 Kč | 20.07.2021 | 768,00 Kč | 16.02.2022 | 990,00 Kč |
| 21.12.2020 | 622,00 Kč | 21.07.2021 | 771,00 Kč | 17.02.2022 | 975,50 Kč |
| 22.12.2020 | 636,00 Kč | 22.07.2021 | 776,00 Kč | 18.02.2022 | 970,00 Kč |
| 23.12.2020 | 635,00 Kč | 23.07.2021 | 773,00 Kč | 21.02.2022 | 933,00 Kč |
| 24.12.2020 | 645,00 Kč | 26.07.2021 | 781,00 Kč | 22.02.2022 | 929,00 Kč |
| 25.12.2020 | 650,00 Kč | 27.07.2021 | 780,00 Kč | 23.02.2022 | 936,50 Kč |
| 28.12.2020 | 655,00 Kč | 28.07.2021 | 797,00 Kč | 24.02.2022 | 834,00 Kč |
| 29.12.2020 | 658,00 Kč | 29.07.2021 | 799,00 Kč | 25.02.2022 | 902,00 Kč |
| 30.12.2020 | 657,00 Kč | 30.07.2021 | 799,00 Kč | 28.02.2022 | 883,50 Kč |
| 31.12.2020 | 657,50 Kč | 02.08.2021 | 816,00 Kč | 01.03.2022 | 865,00 Kč |
| 01.01.2021 | 657,75 Kč | 03.08.2021 | 808,50 Kč | 02.03.2022 | 842,00 Kč |
| 04.01.2021 | 658,00 Kč | 04.08.2021 | 820,00 Kč | 03.03.2022 | 868,00 Kč |
| 05.01.2021 | 658,00 Kč | 05.08.2021 | 826,00 Kč | 04.03.2022 | 795,00 Kč |
| 06.01.2021 | 666,00 Kč | 06.08.2021 | 826,00 Kč | 07.03.2022 | 704,50 Kč |
| 07.01.2021 | 680,00 Kč | 09.08.2021 | 829,50 Kč | 08.03.2022 | 724,00 Kč |
| 08.01.2021 | 713,00 Kč | 10.08.2021 | 830,00 Kč | 09.03.2022 | 755,00 Kč |
| 11.01.2021 | 703,00 Kč | 11.08.2021 | 832,00 Kč | 10.03.2022 | 751,00 Kč |
| 12.01.2021 | 710,00 Kč | 12.08.2021 | 836,00 Kč | 11.03.2022 | 766,00 Kč |
| 13.01.2021 | 709,00 Kč | 13.08.2021 | 832,00 Kč | 14.03.2022 | 780,00 Kč |
| 14.01.2021 | 710,00 Kč | 16.08.2021 | 832,00 Kč | 15.03.2022 | 757,00 Kč |
| 15.01.2021 | 701,00 Kč | 17.08.2021 | 847,00 Kč | 16.03.2022 | 812,50 Kč |
| 18.01.2021 | 706,00 Kč | 18.08.2021 | 846,50 Kč | 17.03.2022 | 834,00 Kč |
| 19.01.2021 | 698,00 Kč | 19.08.2021 | 828,50 Kč | 18.03.2022 | 860,50 Kč |
| 20.01.2021 | 707,00 Kč | 20.08.2021 | 830,50 Kč | 21.03.2022 | 874,00 Kč |
| 21.01.2021 | 680,00 Kč | 23.08.2021 | 835,00 Kč | 22.03.2022 | 866,50 Kč |
| 22.01.2021 | 672,00 Kč | 24.08.2021 | 836,00 Kč | 23.03.2022 | 854,00 Kč |
| 25.01.2021 | 691,00 Kč | 25.08.2021 | 833,00 Kč | 24.03.2022 | 859,00 Kč |
| 26.01.2021 | 691,00 Kč | 26.08.2021 | 821,00 Kč | 25.03.2022 | 854,00 Kč |
| 27.01.2021 | 665,00 Kč | 27.08.2021 | 821,50 Kč | 28.03.2022 | 856,00 Kč |
| 28.01.2021 | 668,00 Kč | 30.08.2021 | 830,50 Kč | 29.03.2022 | 875,00 Kč |
| 29.01.2021 | 655,00 Kč | 31.08.2021 | 827,50 Kč | 30.03.2022 | 859,50 Kč |
| 01.02.2021 | 659,00 Kč | 01.09.2021 | 832,00 Kč | 31.03.2022 | 857,00 Kč |
| 02.02.2021 | 678,00 Kč | 02.09.2021 | 832,00 Kč | 01.04.2022 | 853,00 Kč |
| 03.02.2021 | 679,00 Kč | 03.09.2021 | 828,00 Kč | 04.04.2022 | 873,00 Kč |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 04.02.2021 | 680,00 Kč | 06.09.2021 | 823,00 Kč | 05.04.2022 | 853,00 Kč |
| 05.02.2021 | 699,00 Kč | 07.09.2021 | 828,00 Kč | 06.04.2022 | 826,50 Kč |
| 08.02.2021 | 687,00 Kč | 08.09.2021 | 824,00 Kč | 07.04.2022 | 831,00 Kč |
| 09.02.2021 | 683,00 Kč | 09.09.2021 | 815,50 Kč | 08.04.2022 | 838,00 Kč |
| 10.02.2021 | 680,00 Kč | 10.09.2021 | 818,00 Kč | 11.04.2022 | 815,00 Kč |
| 11.02.2021 | 675,00 Kč | 13.09.2021 | 824,00 Kč | 12.04.2022 | 825,00 Kč |
| 12.02.2021 | 678,00 Kč | 14.09.2021 | 845,00 Kč | 13.04.2022 | 831,50 Kč |
| 15.02.2021 | 686,00 Kč | 15.09.2021 | 846,00 Kč | 14.04.2022 | 834,50 Kč |
| 16.02.2021 | 689,00 Kč | 16.09.2021 | 852,00 Kč | 15.04.2022 | 827,25 Kč |
| 17.02.2021 | 681,00 Kč | 17.09.2021 | 861,50 Kč | 18.04.2022 | 823,63 Kč |
| 18.02.2021 | 677,00 Kč | 20.09.2021 | 847,00 Kč | 19.04.2022 | 820,00 Kč |
| 19.02.2021 | 670,00 Kč | 21.09.2021 | 850,00 Kč | 20.04.2022 | 823,00 Kč |
| 22.02.2021 | 658,00 Kč | 22.09.2021 | 852,00 Kč | 21.04.2022 | 856,00 Kč |
| 23.02.2021 | 663,00 Kč | 23.09.2021 | 865,50 Kč | 22.04.2022 | 858,50 Kč |
| 24.02.2021 | 665,00 Kč | 24.09.2021 | 863,50 Kč | 25.04.2022 | 845,00 Kč |
| 25.02.2021 | 682,00 Kč | 27.09.2021 | 883,00 Kč | 26.04.2022 | 846,50 Kč |
| 26.02.2021 | 678,00 Kč | 28.09.2021 | 701,50 Kč | 27.04.2022 | 843,50 Kč |
| 01.03.2021 | 684,00 Kč | 29.09.2021 | 879,50 Kč | 28.04.2022 | 806,50 Kč |
| 02.03.2021 | 685,00 Kč | 30.09.2021 | 886,50 Kč | 29.04.2022 | 774,00 Kč |
| 03.03.2021 | 683,00 Kč | 01.10.2021 | 881,00 Kč | 02.05.2022 | 767,00 Kč |
| 04.03.2021 | 683,00 Kč | 04.10.2021 | 879,00 Kč | 03.05.2022 | 780,00 Kč |
| 05.03.2021 | 693,00 Kč | 05.10.2021 | 885,00 Kč | 04.05.2022 | 766,00 Kč |
| 08.03.2021 | 692,00 Kč | 06.10.2021 | 885,50 Kč | 05.05.2022 | 766,50 Kč |
| 09.03.2021 | 691,00 Kč | 07.10.2021 | 893,50 Kč | 06.05.2022 | 750,00 Kč |
| 10.03.2021 | 684,00 Kč | 08.10.2021 | 899,50 Kč | 09.05.2022 | 750,00 Kč |
| 11.03.2021 | 685,00 Kč | 11.10.2021 | 905,00 Kč | 10.05.2022 | 738,00 Kč |
| 12.03.2021 | 688,00 Kč | 12.10.2021 | 903,50 Kč | 11.05.2022 | 726,00 Kč |
| 15.03.2021 | 685,00 Kč | 13.10.2021 | 897,00 Kč | 12.05.2022 | 714,00 Kč |
| 16.03.2021 | 684,00 Kč | 14.10.2021 | 884,00 Kč | 13.05.2022 | 737,00 Kč |
| 17.03.2021 | 681,00 Kč | 15.10.2021 | 884,00 Kč | 16.05.2022 | 725,00 Kč |
| 18.03.2021 | 683,00 Kč | 18.10.2021 | 881,00 Kč | 17.05.2022 | 725,50 Kč |
| 19.03.2021 | 675,00 Kč | 19.10.2021 | 875,50 Kč | 18.05.2022 | 726,50 Kč |
| 22.03.2021 | 673,00 Kč | 20.10.2021 | 876,00 Kč | 19.05.2022 | 755,00 Kč |
| 23.03.2021 | 674,00 Kč | 21.10.2021 | 859,00 Kč | 20.05.2022 | 726,50 Kč |
| 24.03.2021 | 675,00 Kč | 22.10.2021 | 841,00 Kč | 23.05.2022 | 740,50 Kč |
| 25.03.2021 | 682,00 Kč | 25.10.2021 | 858,50 Kč | 24.05.2022 | 729,00 Kč |
| 26.03.2021 | 682,00 Kč | 26.10.2021 | 861,00 Kč | 25.05.2022 | 722,00 Kč |
| 29.03.2021 | 685,00 Kč | 27.10.2021 | 860,00 Kč | 26.05.2022 | 722,00 Kč |
| 30.03.2021 | 686,00 Kč | 28.10.2021 | 860,75 Kč | 27.05.2022 | 730,00 Kč |
| 31.03.2021 | 687,00 Kč | 29.10.2021 | 861,50 Kč | 30.05.2022 | 735,50 Kč |
| 01.04.2021 | 694,00 Kč | 01.11.2021 | 873,00 Kč | 31.05.2022 | 716,00 Kč |
| 02.04.2021 | 687,00 Kč | 02.11.2021 | 865,50 Kč | 01.06.2022 | 727,50 Kč |
| 05.04.2021 | 683,50 Kč | 03.11.2021 | 888,00 Kč | 02.06.2022 | 730,00 Kč |
| 06.04.2021 | 680,00 Kč | 04.11.2021 | 920,00 Kč | 03.06.2022 | 731,00 Kč |
| 07.04.2021 | 678,50 Kč | 05.11.2021 | 940,00 Kč | 06.06.2022 | 726,00 Kč |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 08.04.2021 | 680,00 Kč | 08.11.2021 | 947,00 Kč | 07.06.2022 | 725,00 Kč |
| 09.04.2021 | 678,00 Kč | 09.11.2021 | 955,00 Kč | 08.06.2022 | 723,00 Kč |
| 12.04.2021 | 673,50 Kč | 10.11.2021 | 937,50 Kč | 09.06.2022 | 720,00 Kč |
| 13.04.2021 | 675,00 Kč | 11.11.2021 | 936,00 Kč | 10.06.2022 | 702,00 Kč |
| 14.04.2021 | 659,00 Kč | 12.11.2021 | 923,00 Kč | 13.06.2022 | 687,00 Kč |
| 15.04.2021 | 675,00 Kč | 15.11.2021 | 922,00 Kč | 14.06.2022 | 675,50 Kč |
| 16.04.2021 | 678,00 Kč | 16.11.2021 | 925,50 Kč | 15.06.2022 | 685,00 Kč |
| 19.04.2021 | 673,00 Kč | 17.11.2021 | 921,75 Kč | 16.06.2022 | 661,00 Kč |
| 20.04.2021 | 670,00 Kč | 18.11.2021 | 918,00 Kč | 17.06.2022 | 669,00 Kč |
| 21.04.2021 | 663,00 Kč | 19.11.2021 | 893,50 Kč | 20.06.2022 | 690,00 Kč |
| 22.04.2021 | 650,00 Kč | 22.11.2021 | 868,00 Kč | 21.06.2022 | 703,00 Kč |
| 23.04.2021 | 642,00 Kč | 23.11.2021 | 875,00 Kč | 22.06.2022 | 697,50 Kč |
| 26.04.2021 | 643,50 Kč | 24.11.2021 | 879,00 Kč | 23.06.2022 | 686,00 Kč |
| 27.04.2021 | 650,50 Kč | 25.11.2021 | 878,00 Kč | 24.06.2022 | 690,00 Kč |
| 28.04.2021 | 664,00 Kč | 26.11.2021 | 852,50 Kč | 27.06.2022 | 699,00 Kč |
| 29.04.2021 | 657,00 Kč | 29.11.2021 | 860,50 Kč | 28.06.2022 | 706,50 Kč |
| 30.04.2021 | 652,50 Kč | 30.11.2021 | 860,50 Kč | 29.06.2022 | 688,50 Kč |
| 03.05.2021 | 654,00 Kč | 01.12.2021 | 870,50 Kč | 30.06.2022 | 662,50 Kč |
| 04.05.2021 | 652,00 Kč | | | | |

PŘÍLOHA C – VSTUPNÍ DATA SPOLEČNOSTI VIG, AG

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 05.10.2020 | 19,38 € | 05.05.2021 | 22,50 € | 02.12.2021 | 24,50 € |
| 06.10.2020 | 19,44 € | 06.05.2021 | 22,55 € | 03.12.2021 | 24,55 € |
| 07.10.2020 | 19,48 € | 07.05.2021 | 22,50 € | 06.12.2021 | 24,75 € |
| 08.10.2020 | 19,96 € | 10.05.2021 | 23,10 € | 07.12.2021 | 25,15 € |
| 09.10.2020 | 19,80 € | 11.05.2021 | 23,00 € | 08.12.2021 | 25,00 € |
| 12.10.2020 | 19,88 € | 12.05.2021 | 23,10 € | 09.12.2021 | 25,20 € |
| 13.10.2020 | 19,34 € | 13.05.2021 | 23,25 € | 10.12.2021 | 25,05 € |
| 14.10.2020 | 19,84 € | 14.05.2021 | 23,70 € | 13.12.2021 | 24,50 € |
| 15.10.2020 | 19,18 € | 17.05.2021 | 23,70 € | 14.12.2021 | 24,40 € |
| 16.10.2020 | 18,86 € | 18.05.2021 | 24,15 € | 15.12.2021 | 24,70 € |
| 19.10.2020 | 18,72 € | 19.05.2021 | 23,90 € | 16.12.2021 | 25,35 € |
| 20.10.2020 | 18,52 € | 20.05.2021 | 23,90 € | 17.12.2021 | 24,90 € |
| 21.10.2020 | 18,50 € | 21.05.2021 | 23,70 € | 20.12.2021 | 24,20 € |
| 22.10.2020 | 18,42 € | 24.05.2021 | 23,53 € | 21.12.2021 | 24,95 € |
| 23.10.2020 | 18,40 € | 25.05.2021 | 23,35 € | 22.12.2021 | 24,80 € |
| 26.10.2020 | 18,02 € | 26.05.2021 | 23,15 € | 23.12.2021 | 25,00 € |
| 27.10.2020 | 17,64 € | 27.05.2021 | 23,15 € | 24.12.2021 | 25,00 € |
| 28.10.2020 | 17,18 € | 28.05.2021 | 23,20 € | 27.12.2021 | 25,00 € |
| 29.10.2020 | 17,22 € | 31.05.2021 | 23,15 € | 28.12.2021 | 24,80 € |
| 30.10.2020 | 17,42 € | 01.06.2021 | 23,45 € | 29.12.2021 | 25,10 € |
| 02.11.2020 | 17,44 € | 02.06.2021 | 23,35 € | 30.12.2021 | 24,90 € |
| 03.11.2020 | 17,74 € | 03.06.2021 | 23,45 € | 31.12.2021 | 24,93 € |
| 04.11.2020 | 17,74 € | 04.06.2021 | 23,40 € | 03.01.2022 | 24,95 € |
| 05.11.2020 | 17,82 € | 07.06.2021 | 23,45 € | 04.01.2022 | 25,45 € |
| 06.11.2020 | 17,46 € | 08.06.2021 | 23,45 € | 05.01.2022 | 25,90 € |
| 09.11.2020 | 19,04 € | 09.06.2021 | 23,40 € | 06.01.2022 | 26,30 € |
| 10.11.2020 | 19,06 € | 10.06.2021 | 23,45 € | 07.01.2022 | 26,40 € |
| 11.11.2020 | 19,40 € | 11.06.2021 | 23,50 € | 10.01.2022 | 26,20 € |
| 12.11.2020 | 19,36 € | 14.06.2021 | 23,40 € | 11.01.2022 | 26,05 € |
| 13.11.2020 | 19,20 € | 15.06.2021 | 23,40 € | 12.01.2022 | 26,05 € |
| 16.11.2020 | 19,58 € | 16.06.2021 | 23,35 € | 13.01.2022 | 26,40 € |
| 17.11.2020 | 19,12 € | 17.06.2021 | 23,95 € | 14.01.2022 | 25,80 € |
| 18.11.2020 | 19,58 € | 18.06.2021 | 23,45 € | 17.01.2022 | 26,85 € |
| 19.11.2020 | 19,44 € | 21.06.2021 | 23,45 € | 18.01.2022 | 26,65 € |
| 20.11.2020 | 19,52 € | 22.06.2021 | 23,25 € | 19.01.2022 | 26,25 € |
| 23.11.2020 | 19,72 € | 23.06.2021 | 23,35 € | 20.01.2022 | 26,05 € |
| 24.11.2020 | 19,72 € | 24.06.2021 | 23,50 € | 21.01.2022 | 25,75 € |
| 25.11.2020 | 19,72 € | 25.06.2021 | 23,55 € | 24.01.2022 | 24,70 € |
| 26.11.2020 | 19,50 € | 28.06.2021 | 23,30 € | 25.01.2022 | 25,35 € |
| 27.11.2020 | 19,64 € | 29.06.2021 | 23,15 € | 26.01.2022 | 25,30 € |
| 30.11.2020 | 19,98 € | 30.06.2021 | 23,15 € | 27.01.2022 | 25,65 € |
| 01.12.2020 | 20,35 € | 01.07.2021 | 23,25 € | 28.01.2022 | 25,50 € |
| 02.12.2020 | 20,25 € | 02.07.2021 | 23,25 € | 31.01.2022 | 25,95 € |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 03.12.2020 | 20,10 € | 05.07.2021 | 23,45 € | 01.02.2022 | 26,05 € |
| 04.12.2020 | 20,00 € | 06.07.2021 | 23,05 € | 02.02.2022 | 26,40 € |
| 07.12.2020 | 20,10 € | 07.07.2021 | 23,30 € | 03.02.2022 | 26,40 € |
| 08.12.2020 | 20,05 € | 08.07.2021 | 23,25 € | 04.02.2022 | 26,10 € |
| 09.12.2020 | 20,25 € | 09.07.2021 | 23,50 € | 07.02.2022 | 26,15 € |
| 10.12.2020 | 19,98 € | 12.07.2021 | 23,65 € | 08.02.2022 | 26,20 € |
| 11.12.2020 | 19,80 € | 13.07.2021 | 23,50 € | 09.02.2022 | 26,60 € |
| 14.12.2020 | 19,94 € | 14.07.2021 | 23,20 € | 10.02.2022 | 26,45 € |
| 15.12.2020 | 20,10 € | 15.07.2021 | 23,35 € | 11.02.2022 | 26,60 € |
| 16.12.2020 | 20,15 € | 16.07.2021 | 23,25 € | 14.02.2022 | 25,60 € |
| 17.12.2020 | 20,25 € | 19.07.2021 | 22,95 € | 15.02.2022 | 25,70 € |
| 18.12.2020 | 20,35 € | 20.07.2021 | 22,95 € | 16.02.2022 | 25,85 € |
| 21.12.2020 | 19,90 € | 21.07.2021 | 23,15 € | 17.02.2022 | 25,65 € |
| 22.12.2020 | 20,35 € | 22.07.2021 | 23,05 € | 18.02.2022 | 25,15 € |
| 23.12.2020 | 20,45 € | 23.07.2021 | 23,10 € | 21.02.2022 | 24,70 € |
| 24.12.2020 | 20,55 € | 26.07.2021 | 23,20 € | 22.02.2022 | 24,85 € |
| 25.12.2020 | 20,60 € | 27.07.2021 | 23,15 € | 23.02.2022 | 24,90 € |
| 28.12.2020 | 20,65 € | 28.07.2021 | 23,00 € | 24.02.2022 | 23,70 € |
| 29.12.2020 | 20,65 € | 29.07.2021 | 23,35 € | 25.02.2022 | 24,60 € |
| 30.12.2020 | 20,80 € | 30.07.2021 | 23,25 € | 28.02.2022 | 23,40 € |
| 31.12.2020 | 20,80 € | 02.08.2021 | 23,55 € | 01.03.2022 | 22,55 € |
| 01.01.2021 | 20,80 € | 03.08.2021 | 23,30 € | 02.03.2022 | 21,75 € |
| 04.01.2021 | 20,80 € | 04.08.2021 | 23,45 € | 03.03.2022 | 22,35 € |
| 05.01.2021 | 21,00 € | 05.08.2021 | 23,55 € | 04.03.2022 | 21,45 € |
| 06.01.2021 | 21,40 € | 06.08.2021 | 23,75 € | 07.03.2022 | 20,65 € |
| 07.01.2021 | 21,65 € | 09.08.2021 | 23,80 € | 08.03.2022 | 21,35 € |
| 08.01.2021 | 21,65 € | 10.08.2021 | 23,90 € | 09.03.2022 | 22,25 € |
| 11.01.2021 | 21,90 € | 11.08.2021 | 24,25 € | 10.03.2022 | 21,75 € |
| 12.01.2021 | 21,95 € | 12.08.2021 | 24,55 € | 11.03.2022 | 22,45 € |
| 13.01.2021 | 21,90 € | 13.08.2021 | 25,20 € | 14.03.2022 | 22,85 € |
| 14.01.2021 | 22,00 € | 16.08.2021 | 25,05 € | 15.03.2022 | 22,45 € |
| 15.01.2021 | 21,95 € | 17.08.2021 | 24,80 € | 16.03.2022 | 23,00 € |
| 18.01.2021 | 21,75 € | 18.08.2021 | 25,00 € | 17.03.2022 | 22,90 € |
| 19.01.2021 | 21,95 € | 19.08.2021 | 24,95 € | 18.03.2022 | 23,30 € |
| 20.01.2021 | 21,95 € | 20.08.2021 | 25,30 € | 21.03.2022 | 23,35 € |
| 21.01.2021 | 21,55 € | 23.08.2021 | 25,30 € | 22.03.2022 | 23,85 € |
| 22.01.2021 | 21,35 € | 24.08.2021 | 25,05 € | 23.03.2022 | 23,90 € |
| 25.01.2021 | 21,20 € | 25.08.2021 | 24,90 € | 24.03.2022 | 23,65 € |
| 26.01.2021 | 21,25 € | 26.08.2021 | 24,75 € | 25.03.2022 | 23,65 € |
| 27.01.2021 | 21,05 € | 27.08.2021 | 24,65 € | 28.03.2022 | 23,55 € |
| 28.01.2021 | 21,00 € | 30.08.2021 | 24,80 € | 29.03.2022 | 24,00 € |
| 29.01.2021 | 21,10 € | 31.08.2021 | 24,55 € | 30.03.2022 | 23,60 € |
| 01.02.2021 | 21,35 € | 01.09.2021 | 24,80 € | 31.03.2022 | 23,45 € |
| 02.02.2021 | 21,50 € | 02.09.2021 | 25,00 € | 01.04.2022 | 23,65 € |
| 03.02.2021 | 21,55 € | 03.09.2021 | 24,70 € | 04.04.2022 | 23,45 € |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 04.02.2021 | 21,70 € | 06.09.2021 | 24,75 € | 05.04.2022 | 23,50 € |
| 05.02.2021 | 21,85 € | 07.09.2021 | 24,75 € | 06.04.2022 | 23,15 € |
| 08.02.2021 | 22,10 € | 08.09.2021 | 24,70 € | 07.04.2022 | 22,85 € |
| 09.02.2021 | 22,25 € | 09.09.2021 | 24,65 € | 08.04.2022 | 23,40 € |
| 10.02.2021 | 22,25 € | 10.09.2021 | 24,50 € | 11.04.2022 | 23,90 € |
| 11.02.2021 | 22,15 € | 13.09.2021 | 24,55 € | 12.04.2022 | 23,70 € |
| 12.02.2021 | 22,25 € | 14.09.2021 | 24,80 € | 13.04.2022 | 23,95 € |
| 15.02.2021 | 22,40 € | 15.09.2021 | 24,70 € | 14.04.2022 | 23,90 € |
| 16.02.2021 | 22,50 € | 16.09.2021 | 24,95 € | 15.04.2022 | 23,80 € |
| 17.02.2021 | 22,40 € | 17.09.2021 | 24,85 € | 18.04.2022 | 23,75 € |
| 18.02.2021 | 22,05 € | 20.09.2021 | 24,25 € | 19.04.2022 | 23,70 € |
| 19.02.2021 | 22,05 € | 21.09.2021 | 24,20 € | 20.04.2022 | 23,55 € |
| 22.02.2021 | 22,25 € | 22.09.2021 | 24,45 € | 21.04.2022 | 23,75 € |
| 23.02.2021 | 22,20 € | 23.09.2021 | 24,70 € | 22.04.2022 | 23,65 € |
| 24.02.2021 | 22,40 € | 24.09.2021 | 24,75 € | 25.04.2022 | 23,25 € |
| 25.02.2021 | 22,45 € | 27.09.2021 | 24,85 € | 26.04.2022 | 23,00 € |
| 26.02.2021 | 22,25 € | 28.09.2021 | 24,55 € | 27.04.2022 | 22,95 € |
| 01.03.2021 | 22,60 € | 29.09.2021 | 24,85 € | 28.04.2022 | 23,25 € |
| 02.03.2021 | 22,85 € | 30.09.2021 | 24,90 € | 29.04.2022 | 23,65 € |
| 03.03.2021 | 23,00 € | 01.10.2021 | 25,25 € | 02.05.2022 | 23,05 € |
| 04.03.2021 | 23,30 € | 04.10.2021 | 25,45 € | 03.05.2022 | 23,25 € |
| 05.03.2021 | 23,00 € | 05.10.2021 | 25,70 € | 04.05.2022 | 23,10 € |
| 08.03.2021 | 23,20 € | 06.10.2021 | 25,95 € | 05.05.2022 | 22,95 € |
| 09.03.2021 | 21,95 € | 07.10.2021 | 25,60 € | 06.05.2022 | 22,95 € |
| 10.03.2021 | 22,50 € | 08.10.2021 | 25,60 € | 09.05.2022 | 23,05 € |
| 11.03.2021 | 22,95 € | 11.10.2021 | 25,90 € | 10.05.2022 | 23,20 € |
| 12.03.2021 | 23,15 € | 12.10.2021 | 25,50 € | 11.05.2022 | 23,25 € |
| 15.03.2021 | 23,50 € | 13.10.2021 | 25,75 € | 12.05.2022 | 23,50 € |
| 16.03.2021 | 23,15 € | 14.10.2021 | 25,95 € | 13.05.2022 | 23,40 € |
| 17.03.2021 | 23,30 € | 15.10.2021 | 26,40 € | 16.05.2022 | 23,65 € |
| 18.03.2021 | 23,65 € | 18.10.2021 | 26,25 € | 17.05.2022 | 23,70 € |
| 19.03.2021 | 22,65 € | 19.10.2021 | 26,20 € | 18.05.2022 | 23,90 € |
| 22.03.2021 | 22,70 € | 20.10.2021 | 26,20 € | 19.05.2022 | 23,20 € |
| 23.03.2021 | 22,50 € | 21.10.2021 | 25,35 € | 20.05.2022 | 23,15 € |
| 24.03.2021 | 22,65 € | 22.10.2021 | 25,50 € | 23.05.2022 | 22,65 € |
| 25.03.2021 | 22,45 € | 25.10.2021 | 25,35 € | 24.05.2022 | 22,45 € |
| 26.03.2021 | 22,50 € | 26.10.2021 | 25,30 € | 25.05.2022 | 22,65 € |
| 29.03.2021 | 22,55 € | 27.10.2021 | 25,25 € | 26.05.2022 | 22,75 € |
| 30.03.2021 | 22,40 € | 28.10.2021 | 25,10 € | 27.05.2022 | 22,95 € |
| 31.03.2021 | 22,10 € | 29.10.2021 | 25,25 € | 30.05.2022 | 22,80 € |
| 01.04.2021 | 22,65 € | 01.11.2021 | 25,25 € | 31.05.2022 | 22,40 € |
| 02.04.2021 | 22,55 € | 02.11.2021 | 25,60 € | 01.06.2022 | 22,30 € |
| 05.04.2021 | 22,50 € | 03.11.2021 | 26,10 € | 02.06.2022 | 22,75 € |
| 06.04.2021 | 22,45 € | 04.11.2021 | 25,90 € | 03.06.2022 | 23,35 € |
| 07.04.2021 | 22,80 € | 05.11.2021 | 26,50 € | 06.06.2022 | 23,18 € |

| datum | cena akcie | datum | cena akcie | datum | cena akcie |
|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|
| 08.04.2021 | 22,60 € | 08.11.2021 | 26,75 € | 07.06.2022 | 23,00 € |
| 09.04.2021 | 23,00 € | 09.11.2021 | 26,45 € | 08.06.2022 | 23,00 € |
| 12.04.2021 | 23,10 € | 10.11.2021 | 26,65 € | 09.06.2022 | 22,80 € |
| 13.04.2021 | 22,85 € | 11.11.2021 | 26,75 € | 10.06.2022 | 22,30 € |
| 14.04.2021 | 22,50 € | 12.11.2021 | 27,05 € | 13.06.2022 | 21,95 € |
| 15.04.2021 | 22,65 € | 15.11.2021 | 26,95 € | 14.06.2022 | 21,95 € |
| 16.04.2021 | 22,85 € | 16.11.2021 | 26,60 € | 15.06.2022 | 22,75 € |
| 19.04.2021 | 23,00 € | 17.11.2021 | 26,20 € | 16.06.2022 | 22,45 € |
| 20.04.2021 | 22,60 € | 18.11.2021 | 25,65 € | 17.06.2022 | 22,45 € |
| 21.04.2021 | 22,30 € | 19.11.2021 | 25,75 € | 20.06.2022 | 22,90 € |
| 22.04.2021 | 22,35 € | 22.11.2021 | 25,65 € | 21.06.2022 | 22,60 € |
| 23.04.2021 | 22,45 € | 23.11.2021 | 25,70 € | 22.06.2022 | 22,50 € |
| 26.04.2021 | 22,55 € | 24.11.2021 | 25,55 € | 23.06.2022 | 21,50 € |
| 27.04.2021 | 22,35 € | 25.11.2021 | 25,50 € | 24.06.2022 | 22,10 € |
| 28.04.2021 | 22,30 € | 26.11.2021 | 24,75 € | 27.06.2022 | 22,10 € |
| 29.04.2021 | 22,35 € | 29.11.2021 | 24,65 € | 28.06.2022 | 22,20 € |
| 30.04.2021 | 22,30 € | 30.11.2021 | 24,50 € | 29.06.2022 | 22,00 € |
| 03.05.2021 | 22,55 € | 01.12.2021 | 24,65 € | 30.06.2022 | 21,80 € |
| 04.05.2021 | 22,30 € | | | | |