

Romana Divoká

Institute of Technology and Business in České Budějovice
Okružní 517/10, 37001 České Budějovice, Czech Republic
e-mail: 33036@mail.vstecb.cz

Ing. Yelyzaveta Apanovych, PhD.

Institute of Technology and Business in České Budějovice,
School of Expertness and Valuation,
Okružní 517/10, 37001 České Budějovice, Czech Republic
e-mail: apanovych@mail.vstecb.cz

ZÁVISLOST NA FOSILNÍCH PALIVECH A EKONOMICKÉ UKAZATELE: VAR MODEL A GRANGERŮV TEST KAUZALITY

Abstract. In the last ten years, the dependence on fossil fuels and their prices has been increasingly discussed. The aim of this article is to evaluate the development of fossil fuel prices and their relationship with GDP in the Czech Republic. To achieve this aim, a VAR model and Granger causality test are used. All fossil fuel prices reached their maximum in 2022. A causal relationship with GDP in the Czech Republic is confirmed for natural gas and coal prices. On the contrary, the causal relationship between oil and GDP in the Czech Republic is not confirmed for the observed period. Weak correlation relationships are found with the COVID-19 pandemic, inflation, and unemployment in the EU. The only exception is the correlation relationship between coal and inflation in the EU, which shows a moderately strong correlation. The limitation of the study is the length of the examined period, as data collection was conducted only once a month..

Key words: Oil, natural gas, coal, GDP, price development

JEL classification: E32, Q43

1 Úvod

V posledních deseti letech dochází k rostoucím prodejm fosilních paliv, což vede k diskuzi o finančních a ekologických dopadech na širokou veřejnost (Abid et al., 2023). Fosilní paliva tvoří 86% globálních emisí skleníkových plynů a vyvolávají tím potřebu opatření ke snížení

jejich potřeby, navzdory absenci přímého odkazu na ně v Pařížské dohodě (Janzwood, Harrison, 2023). Zavedení uhlíkové politiky způsobuje zvýšení nákladů na fosilní paliva prostřednictvím obchodování s emisemi, uhlíkové daně, stropů a nepřímou formou předpisů, které vedou ke zvyšování růstu cen fosilních paliv (Zhang & Cross, 2020).

Pandemie Covid – 19 způsobila zpomalení na světovém trhu s energiemi a zároveň změnila využívání energetických zdrojů (Li & Huang, 2023). Dále přispěla ke zlepšení klimatu, čímž může urychlit přechod na obnovitelné energetické komodity, ovšem výrobci paliv pravděpodobně nepřejdou na ekologičtější cestu a upevní tak závislost na fosilních palivech (Le Billon et al., 2021). Od vypuknutí války na Ukrajině státy EU zavádějí nouzová opatření, která vedou ke snížení cen energií (Enescu et al., 2023). Dále v důsledku uvalených sankcí na Rusko došlo k poklesu dovozu ropy, ropných produktů a pevných fosilních paliv a zemního plynu a v roce 2023 dovoz ropných produktů téměř ustal, naopak u zemního plynu nejsou omezení tak přísná (Rokicki et al., 2023).

Ropa představuje jeden z nejdůležitějších zdrojů paliv a přesné predikce cen mají vliv na ekonomiku i společnost, nicméně vliv na cenu ropy má několik faktorů, a proto je velmi těžké budoucí ceny předvídat (Deng et al., 2021). Ekonomická, geopolitická a klimatická politika způsobuje kolísání cen ropy a činí tím ropu z finančního hlediska ještě více nestabilní (Ding et al., 2022). Zkapalněný zemní plyn je v energetickém průmyslu důležitým prvkem díky svým vlastnostem, mezi které patří například vysoká hustota energie, nízké emise uhlíku a jednoduchá přeprava (Xu et al., 2022). Čína v roce 2021, jako největší spotřebitel, spotřebovala 2 934,4 milionu tun uhlí, které zaujímá důležité postavení na trhu a v průmyslovém systému, především jako surovina v energetice, ocelářství a dalších průmyslových odvětvích (Zhu et al., 2022).

Cílem je analyzovat vývoj cen fosilních paliv za posledních 10 let a analyzovat jejich vztah k hrubému domácímu produktu. Pro splnění cíle práce byly stanoveny tyto výzkumné otázky:

Porozumění historickému vývoji je důležité pro analýzu jejich trendů a predikci budoucího vývoje. Tato otázka nám pomůže pochopit vzájemný vztah fosilních paliv a jejich reakce na různé události.

VO1: Jak se vyvíjela cena fosilních paliv za posledních 10 let?

Analýza vztahu mezi fosilními palivy a HDP v České republice nám ukáže, jak ekonomický vývoj země ovlivňuje ceny fosilních paliv. Výsledky této otázky je vhodné využít při řešení politických otázek v oblasti energetiky.

VO2: Jaký je vztah mezi cenami fosilních paliv a hrubým domácím produktem v České republice?

Analýza ekonomických a politických událostí odhalí, jak ovlivňují trh s fosilními palivy. To je důležité pro plánování a řízení rizik v oblasti energetické bezpečnosti.

VO3: Jaké jsou dopady politických a ekonomických událostí na ceny fosilních paliv?

2 Literární řešerše

Kauzální vztah mezi ekonomickým růstem a spotřebou uhlí, zemního plynu a ropy byl zkoumán pomocí testovacího přístupu ARDL (autoregresivní distribuované hranice zpoždění) pro období 1980–2011 v Brazílii, Rusku, Indii, Číně, Turecku a Jižní Africe. Podle dlouhodobých a silných výsledků kauzality existuje obousměrná kauzalita mezi spotřebou energie ropy a Y pro všechny země. Dlouhodobá kauzalita a silná kauzalita mezi spotřebou uhlí a ekonomickým růstem ukázaly, že pro Čínu a Indii existuje obousměrná kauzalita. Podle dlouhodobých výsledků kauzality a výsledku silné kauzality existují obousměrné kauzální vztahy mezi NGC (spotřeba energie zemního plynu) a Y pro Brazílii, Rusko a Turecko (Bildirici et al., 2014).

Degradace životního prostředí plynoucí ze spalování konvenčních zdrojů energie je nejen hlavním faktorem změny klimatu, ale má také nepříznivý dopad na lidské zdraví. Fosilní paliva jsou nepochybně hlavní hnací silou hospodářského růstu; jejich škodlivé dopady na životní prostředí jsou však celosvětovým problémem. V literatuře neexistují žádné komplexní empirické důkazy o souvislosti mezi využíváním různých zdrojů energie a emisemi oxidu uhličitého v kontextu Ruska, země, která je na třetím místě v seznamu zemí s nejvyššími emisemi oxidu uhličitého na světě. Tento dokument si proto kladl za cíl prozkoumat vztahy mezi spotřebou ropy, spotřebou zemního plynu, spotřebou uhlí a emisemi oxidu uhličitého, které řídí ekonomický růst Ruska v období 1990–2016. Zjištění z ekonometrické analýzy naznačují, že emise oxidu uhličitého v Rusku dlouhodobě souvisí s ekonomickým růstem a spotřebou ropy, plynu a uhlí. Dlouhodobé odhady elasticity ukazují, že ekonomický růst přímo nepoškozuje kvalitu životního prostředí Ruska. Vyšší spotřeba ropy, plynu a uhlí však zhoršuje kvalitu životního prostředí tím, že zvyšuje úroveň emisí oxidu uhličitého v Rusku. Výsledky Grangerovy analýzy kauzality navíc potvrzují existenci jak dlouhodobých, tak krátkodobých kauzálních souvislostí mezi sledovanými proměnnými. V souladu s těmito zjištěními je předloženo několik politických doporučení k řešení environmentálních problémů v Rusku (Kanat, 2024).

Zastupitelnost a komplementarita mezi palivovými vstupy je ovlivněna cenovými elasticitami, kdy platí, že v tomto případě se jedná o nedokonalou cenovou elasticitu z čehož vyplývá, že pokud roste cena paliv, tak se poptávka po nich sníží (Wang et al., 2022). Carfora et al. (2022) po vytvoření autoregresního modelu tvrdí, že přechod od fosilních paliv k obnovitelným zdrojům energie pomáhá bojovat proti energetické chudobě tím, že podporuje ekonomický rozvoj a přispívá k dosažení cílů udržitelného rozvoje a splňuje tím jeden z cílů Organizace spojených národů.

V důsledku dlouhodobé vysoké inflace jsou centrální banky nuceny změnit svůj přístup k měnové politice a zvýšit úrokové sazby, které by mohly mít vliv i na korekci cen emisních povolenek, v této souvislosti by mohlo být vhodné zvážit reformu na trhu EU pro obchodování s emisními

povolenkami, která by byla schopná lépe řešit nadcházející výzvy a podpořit tak cíle EU v klimatických změnách (Heijmans, 2023). Fullat et al. (2021) analyzovaly podle vektorového autoregresního modelu vztah emisních povolenek s ekonomickými a energetickými faktory v EU a poukazují na přebytek emisních povolenek a sníženou účinnost ceny při omezení emisí CO₂.

S pomocí metody ARDL je možné vyhodnotit vliv dlouhodobých i krátkodobých efektů (Kripfganz & Schneider, 2023). Tuto metodu využili (Samour & Pata, 2022), kteří zjistili, že existuje souvislost mezi úrokovou sazbou v USA a Turecku a jejich výsledky dokazují negativní dopad úrokových sazeb na využívání obnovitelných zdrojů v Turecku a zároveň dokazují to, že výrazné zvýšení cen ropy může vést ke snížení poptávky po statcích, které spotřebovávají fosilní paliva, tudíž dojde ke snížení poptávky i po fosilních palivech. Metodu ARDL také využili Zimon et al. (2023), kteří zkoumali vliv fosilních paliv, obnovitelné a jaderné energie na životní prostředí Jižní Koreje a výsledky naznačují stabilní rovnovážné vazby mezi HDP, obyvatelstvem, fosilními palivy, obnovitelnými zdroji energií, jadernou energií a životním prostředím, zároveň bylo zjištěno, že růst HDP a populace zvyšují emise CO₂, ale využívání obnovitelných zdrojů pomáhá emise snižovat.

Jinke et al. (2008) používají Grangerovy testy kauzality ke zkoumání rozdílů v kauzálních vztazích mezi spotřebou uhlí a HDP v hlavních zemích OECD a mimo OECD s použitím dat za období 1980–2005. Zjistili jsme, že jednosměrná kauzalita od HDP ke spotřebě uhlí existuje v Japonsku a Číně a žádný kauzální vztah mezi spotřebou uhlí a HDP v Indii, Jižní Koreji a Jižní Africe, zatímco v USA nejsou tyto řady kointegrovány. Hlavní země OECD nebo nečlenské země OECD, zejména Čína, Indie a Jižní Afrika, by měly snížit své emise CO₂ ve spotřebě uhlí, aby dosáhly udržitelného rozvoje.

Zemní plyn je v Pákistánu dominantním palivem. Nabízí nejlevnější a čistší alternativní zdroj energie. Článek zkoumá vztah spotřeby zemního plynu a hospodářského růstu v Pákistánu. Do modelu s vícerozměrným rámcem je zahrnut kapitál, práce a export. Ke zkoumání dynamických

kauzálních vztahů mezi proměnnými se používá přístup testování hranic ARDL ke kointegraci a inovativní účetní přístup. Mezi proměnnými se nachází existence dlouhodobého vztahu. Spotřeba zemního plynu, kapitál, práce a export pozitivně ovlivňují hospodářský růst v Pákistánu. Kromě toho je podpořena hypotéza růstu vedené spotřebou zemního plynu a je navrženo, že politika ochrany zemního plynu může zpomalit ekonomický růst (Shahbaz et al., 2013).

Studie zkoumá vztah mezi spotřebou energie zemního plynu a ekonomickým růstem tím, že zahrnuje otevřenost obchodu, celkovou pracovní sílu a tvorbu hrubého fixního kapitálu jako hlavní determinanty růstu HDP v rámci vícerozměrného rámcového modelu v zemích Rady pro spolupráci v Perském zálivu (GCC). Panelový model HDP je konstruován za období 1980–2012. Výsledek ukázal, že spotřeba energie zemního plynu je ve zkoumaných zemích kointegrovaná s růstem HDP. Navíc, na základě panelové dynamické obyčejné nejmenší čtverce (DOLS) a plně modifikované obyčejné nejmenší čtverce (FMOLS), tato studie dospěla k závěru, že spotřeba energie zemního plynu ovlivňuje růst HDP zemí GCC v dlouhodobém horizontu pozitivně. Dále výsledky Grangerova testu kauzality odhalily obousměrnou kauzalitu mezi spotřebou energie zemního plynu a růstem HDP, což potvrzuje hypotézu zpětné vazby. Z výsledků tohoto výzkumu vyplývá řada politických důsledků pro země GCC (Ozturk a Al-Mulali, 2015).

Cílem studie Sinaga et al. (2019) bylo prozkoumat význam energetického využití zemního plynu (NG) při ovlivňování ekonomického růstu pomocí časových řad dat od roku 1980 do roku 2017 v Indonésii. Současná studie tak přijala propracovanou metodologii auto-regresivního distribuovaného zpoždění (ARDL) vázaného testování, aby prozkoumala dynamický vztah mezi NG a ekonomickým růstem se zesíleným pochopením kritické asociace pro podporu průběhu ekonomického plánování a politiky. tvorba. Výsledky přístupu ARDL bound testing potvrzují, že kapitál, pracovní síla a využití NG jsou silnými determinanty ekonomického růstu v Indonésii. Stejně tak výsledky potvrzují, že využívání zemního plynu má konstruktivní a pozitivní vliv na ekonomický růst v Indo-

nésii, z čehož vyplývá, že zemní plyn je hlavním zdrojem ekonomického růstu v Indonésii v dlouhodobém i krátkodobém horizontu. Také výsledky metody dekompozice rozptylu potvrzují obousměrný kauzální vztah mezi ekonomickým růstem, využitím NG, pracovní silou a kapitálem v Indonésii.

Vyšší cena uhlí má menší dopad na spotřebu v rozvíjejících se zemích než ve vyspělých zemích a dopady na HDP jsou méně výrazné, a to především v chudších zemích (Smith et al., 2021). Atuahene & Sheng (2023) využili vektorový autoregresní model k analýze vztahů mezi proměnnými v ghanském energetickém sektoru a spotřebou energie od roku 2002 do roku 2021 a odhalili přímou korelaci mezi tempem růstu HDP a spotřebou elektřiny z fosilních paliv a Grangerova kauzalita prokázala zpětnovazební vztah mezi těmito faktory. Zhang (2021) zkoumal hlavní faktory ovlivňující ceny uhlí pomocí neuronových sítí a zjistil, že nejvlivnější faktor ovlivňující ceny je národní hospodářský rozvoj, za který se dále řadí národní politika, produkce uhlí a dovoz a vývoz.

Růst cen uhlovodíků v posledních letech vedl k obavám z investičních rozhodnutí v energetickém systému a nejistotě ohledně nákladů na zmírnění emisí skleníkových plynů. Na jedné straně vysoké ceny ropy a zemního plynu zvyšují spotřebu uhlí; na druhé straně se rozdíl v nákladech mezi fosilními a neuhlíkovými energetickými možnostmi snižuje. Globální energetický model TIMER používáme k prozkoumání dopadů na energetický systém exogenně vynucených scénářů nízkých, středních a vysokých cen uhlovodíků, s klimatickou politikou i bez ní. Zjišťujeme, že bez klimatické politiky vysoké ceny uhlovodíků pohánějí výrobu elektřiny ze zemního plynu na uhlí. V odvětví dopravy vedou vysoké ceny uhlovodíků k zavádění alternativních paliv, zejména biopaliv a vodíku na bázi uhlí. To vede ke zvýšeným emisím CO₂. S klimatickou politikou způsobují vysoké ceny uhlovodíků posun ve výrobě elektřiny z dominantního postavení zemního plynu se zachycováním a sekvestrací uhlíku (CCS) na uhlí s CCS, jadernou energii a větrnou energii. V odvětví dopravy otevírá zavedení vodíku možnost CCS, což vede k vyššímu potenciálu zmírňování při stejných nákladech. V dynamičtější simulaci interak-

ce ceny uhlíku a ceny ropy mohou být účinky poněkud utlumeny (Ruijven et al., 2019).

Závislost na dovozu zemního plynu zvyšuje riziko pro energetickou bezpečnost EU a to hlavně v případě geopolitických konfliktů a proto je snaha EU o diverzifikaci zdrojů zemního plynu a hledání alternativních tras dodávek klíčová pro snížení zranitelnosti (Zakeri et al., 2023). Martínez-García et al. (2023) zjišťovali sestavením cenového modelu vstupů a výstupů změny v cenách ropy a zemního plynu v zemích EU během války na Ukrajině a z výsledků je možné zjistit, že zvýšení cen ropy mělo největší dopad na Rakousko, Českou republiku, Chorvatsko, Finsko, Rumunsko, Slovensko a Litvu a největší růst cen zemního plynu byl zjištěn v Nizozemsku a Polsku, zvýšení růstu cen ropy a zemního plynu tedy vedlo k zvýšením cen ve výrobním sektoru a sektoru služeb.

Tang & Aruga (2021) analyzovali pomocí vektorového autoregresního modelu dopady finanční krize v roce 2008 a pandemie Covid – 19 na dynamický vztah mezi čínským a mezinárodním trhem s fosilními palivy a zjistily, že kointegrační vztahy mezi čínským a mezinárodním trhem fosilních paliv byli více ovlivněny během finanční krize v roce 2008 než pandemií Covid-19, která neměla na vztahy výrazný dopad. Zhu et al. (2024) zkoumali dopady dovozu energie na inovace v oblasti životního prostředí v EU v kontextu probíhající války na Ukrajině a analýzou, ve které byly využita panelová data v letech 1999-2022, zjistili, že dovoz zemního plynu podporuje inovace v oblasti obnovitelných a ekologicky šetrných zdrojů energie, naopak dovoz ropy může možný pokrok zpomalit.

Stajic et al. (2021) analyzovaly volatilitu cen zemní plynu pomocí Pearsonova korelačního koeficientu a byly zjištěny korelační vztahy mezi cenou zemního plynu, cenou ropy, těžbou zemního plynu, výrobou obnovitelných zdrojů a těžbou uhlí, kdy nejvyšší kladná korelace byla zaznamenána s těžbou uhlí a cen ropy, naopak vysoké negativní korelace byly zaznamenány u produkce plynu a výroby energie z obnovitelných zdrojů.

Dehghani et al. (2022) pomocí kvalitativní obsahové analýzy, která umožňuje získat velké množství informací, zkoumaly pětileté plány roz-

voje politiky v oblasti obnovitelné energie v Iránu a zjistili, že Írán disponuje potřebnou kapacitou pro rozvoj udržitelné politiky v oblasti obnovitelných zdrojů. Pierre et al. (2023) pomocí kvantitativní obsahové analýzy zjistili, že pro predikci maximální spotřeby energie je vhodnější využít hybridní modely jako ARIMA-LMTS nebo ARIMA-GRU než jednotlivé modely jako ARIMA, GRU a LMTS.

Na základě provedené literární rešerše pro splnění cíle bude využit vektorový autoregresní model (VAR) a Grangerův test kauzality. Model VAR bude využit při řešení první a třetí výzkumné otázky a Grangerův test kauzality bude použit při řešení druhé výzkumné otázky. Pro sběr dat bude u všech tří výzkumných otázek použita kvantitativní obsahová analýza.

3 Data a metody

Data o vývoji cen jednotlivých fosilních paliv, která budou využita k zodpovězení první výzkumné otázky, budou získána z webové stránky Trading Economics. Bude sledováno období od 1.1. 2014 do 1.1. 2024. Předmětem sledování bude cena fosilních paliv za jednotlivé roky. Získaná data budou následně promítnuta do grafu.

Data o vývoji HDP v České republice a cen fosilních paliv, potřebná k zodpovězení druhé výzkumné otázky budou zaznamenány ze stránky Trading economics, kde budou zjištěny průběžné ceny fosilních paliv a ze stránky ČSÚ bude zjištěn vývoj HDP v České republice. Data budou zaznamenána vždy ke konci každého třetího měsíce od roku 2014 do roku 2024.

Data o vývoji inflace v EU, nezaměstnanosti v EU, pandemie Covid – 19 a cen fosilních paliv budou využita k zodpovězení třetí výzkumné otázky. Z webové stránky WHO budou získána data o pandemii Covid – 19, z webové stránky Trading economics budou získána data o cenách jednotlivých fosilních paliv a z webové stránky Eurostat budou získána data o inflaci a nezaměstnanosti v EU. Ve vybraném období budou sledovány

dopady ekonomických a politických událostí na ceny fosilních paliv. Data budou sledována na konci každého měsíce.

Pro zodpovězení všech výzkumných otázek bude využita ke sběru dat kvantitativní obsahová analýza, která umožňuje získání kvantitativních údajů všech proměnných. Všechna data budou zpracována ve statistickém softwaru R.

Pro zodpovězení první a třetí výzkumné otázky bude využita Metoda VAR. Metoda VAR je statistická metoda používána k modelování vztahů mezi více časovými řadami. Tato metoda zahrnuje zpožděné hodnoty všech proměnných, což umožňuje každé proměnné ovlivňovat ostatní proměnné v modelu. Pro vypočítání VAR modelu je nutné podniknout několik kroků:

1. Nahrání dat a instalace potřebných balíčků

Instalované balíčky

```
#Instalace balíčků
install.packages("readxl")
install.packages("ggplot2")
install.packages("urca")
install.packages("vars")
install.packages("mFilter")
install.packages("tseries")
install.packages("tidyverse")
install.packages("tsDyn")
```

Zdroj: vlastní zpracování v programu R

2. Převod dat na stacionární, pomocí funkce `adf.test`
3. Pojmenování dat pomocí funkce `data.frame`
4. Zvolení počtu zpoždění (lagů) pomocí funkce `VARselect`
5. Pojmenování modelu a doplnění vhodného počtu zpoždění
6. Pomocí funkce `summary` se zobrazí výsledky daného modelu
7. Pro první výzkumnou otázku bude dále využita funkce `fevd` a výsledky této funkce se zobrazí pomocí funkce `plot`

Příklad postupu zpracování VAR modelu

```

#VAR - vývoj cen fosilních paliv
ropa<-ts(ceny_paliv$ropa, start = c(2014,01,01), frequency = 12)
zemní_plyn <-ts(ceny_paliv$zemní_plyn,start = c(2014,01,01),frequency = 12)
uhlí<-ts(ceny_paliv$uhlí, start = c(2014,01,01), frequency = 12)
autoplot(cbind (ropa,zemní_plyn))

adf.test(ropa)
ropax <- diff(ropa)
adf.test(ropax)

adf.test (zemní_plyn)
zemní_plyn1 <- diff(zemní_plyn)
adf.test(zemní_plyn1)

adf.test(uhlí)
uhlí3<-diff(uhlí)
adf.test(uhlí3) #první diff
uhlí4<-diff(uhlí3)
adf.test(uhlí4) #druhá diff

ropax2 <- diff(ropa, differences = 2)
zemní_plyn2<-diff(zemní_plyn, differences = 2) #převod na stejný počet diff

vliv_paliv<-data.frame(ropax2,zemní_plyn2,uhlí4)
View(vliv_paliv)
VARselect(vliv_paliv,lag.max = 10,type = "both")
model1=VAR(vliv_paliv,p=10)
summary(model1)

fossil <-fevd(model1,n.ahead = 10)
plot(fossil)

```

Zdroj: vlastní zpracování v programu R

Pro zodpovězení druhé výzkumné otázky bude využit test Grangerovy kauzality. Grangerova kauzalita se používá k určení vztahů mezi dvěma časovými řadami. Řeší zda minulé hodnoty jedné proměnné mohou poskytnout relevantní informace pro predikci hodnot druhé proměnné. Obvykle se testuje pomocí regresní analýzy. Dále se vyhodnotí vztah mezi dvěma časovými řadami pomocí regresního modelu. Nakonec se zkoumá, zda zahrnutí zpožděných hodnot jedné proměnné vylepší predikci druhé proměnné, pokud ano, tak existuje důkaz o Grangerově kauzalitě mezi proměnnými. U Grangerova testu kauzality je interpretace výsledků závislá na nulové a alternativní hypotéze, kdy:

HO: neexistence kauzálního vztahu mezi proměnnými

H1: existence vztahu mezi proměnnými

Pro dosažení výsledků je nutné provést tyto kroky:

1. Sestavení modelu VAR

2. Pro zjištění existence kauzálního vztahu bude použita funkce *causality*, kde jako ovlivňující proměnná bude určeno HDP v České Republice.

Příklad postupu Grangerova testu kauzality

```
#Granger causality
ropa <- ts(ceny_paliv2$ropa, start = c(2014,03,31), frequency = 4)
HDP <- ts(ceny_paliv2$HDP, start = c(2014,03,31), frequency = 4)

#Úprava dat na stacionární
#1 diferenciaci <- pořadí nestacionární
ropa1 <- diff(ropa)
adf.test(ropa1)
#2. diferenciaci a řada už je ok
ropa2 <- diff(ropa1)
adf.test(ropa2)

#Druhá diferenciaci HDP
HDP2 <- diff(HDP, differences = 2)

#var
vardata=data.frame(HDP2,ropa2)
View(vardata)
VARselect(vardata,lag.max = 10, type = "both")
model=VAR(vardata, p=10)
summary(model)

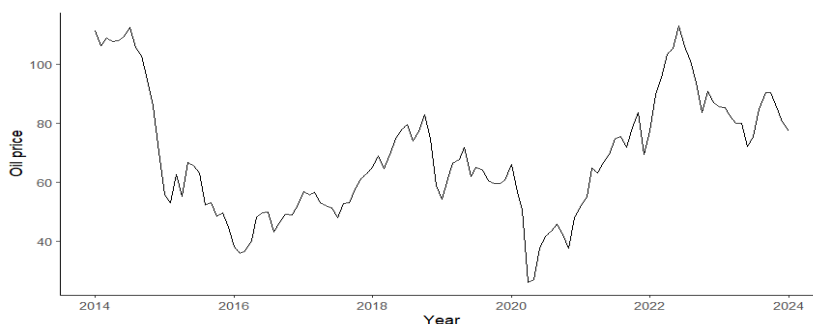
causality(model,cause = "HDP2")
```

Zdroj: vlastní zpracování v programu R

4 Výsledky

Graf číslo 1 zachycuje vývoj cen ropy od ledna 2014 do ledna 2024. Ceny ropy jsou uváděny v USD/Barel. Z grafu je vidět, že cena ropy dosáhla svého maxima v roce 2022, kdy podobné hodnoty byly i v roce 2014. Naopak nejnižší cena ropy byla zaznamenána v roce 2020.

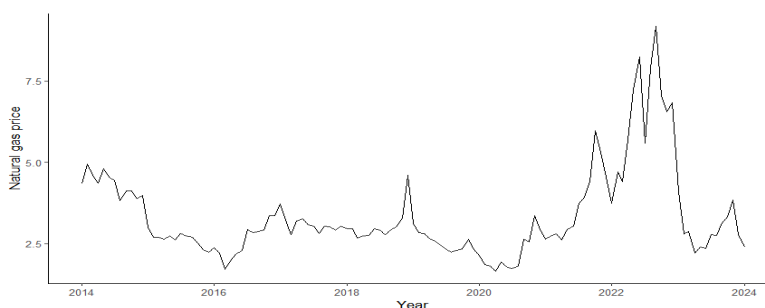
Graf 1. vývoj cen ropy



Zdroj: vlastní zpracování dle Trading Economics

Graf číslo 2 zachycuje vývoj cen zemního plynu od ledna 2014 do ledna 2024. Ceny jsou uváděny v USD/MMBtu. Z grafu je možné vidět, že nejvyšší cena zemního plynu byla zaznamenána v roce 2022. Naopak nejnižší ceny byly zaznamenány v roce 2020, kdy velmi podobná ceny zemního plynu byla i v roce 2016.

Graf 2. vývoj cen zemního plynu



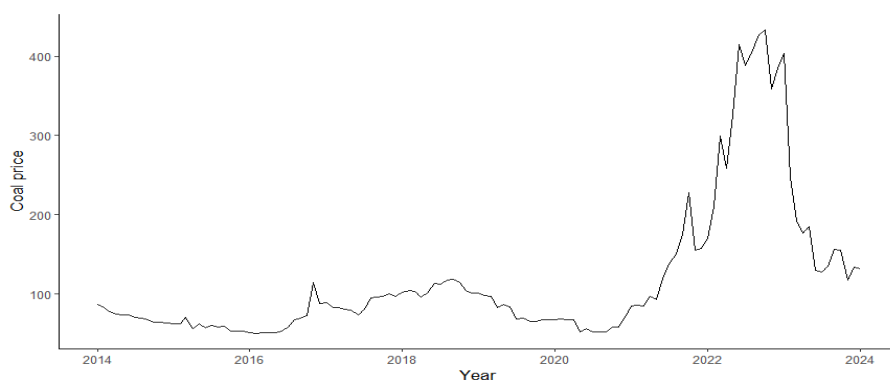
Zdroj: vlastní zpracování dle Trading Economics

To vše koresponduje s energetickou krizí v Evropě a zvýšenou globální poptávkou. Nejnižší ceny byly zaznamenány v roce 2020, což lze opět spojit s poklesem ekonomické aktivity kvůli pandemii.

Graf číslo 3 zobrazuje vývoj cen uhlí od ledna 2014 do ledna 2024. Ceny uhlí jsou uváděny v USD/T. Z grafu je možné vidět, že ceny uhlí

dosáhly svého maxima v roce 2022 a naopak nejnižší cena uhlí byla zaznamenána v roce 2016, kdy podobné ceny byly zaznamenány v roce 2020. Nárůst byl způsoben zvýšenou poptávkou po energii a omezením produkce. Nejnižší cena uhlí byla zaznamenána v roce 2016, kdy došlo k nadbytku zásob a nízké poptávce.

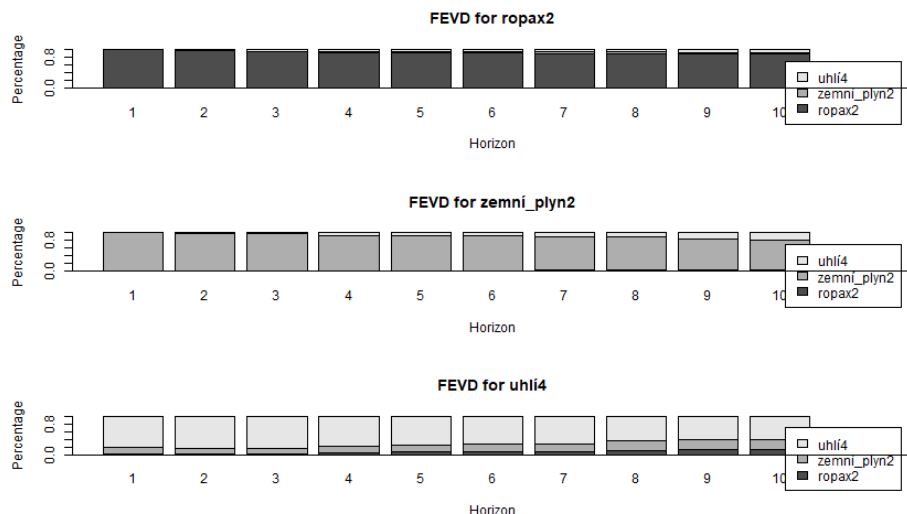
Graf 3. vývoj cen uhlí



Zdroj: vlastní zpracování na základě dat Trading Economics

V grafu číslo 4 je možné vidět jak se proměnné vzájemně ovlivňují. Ceny ropy příliš neovlivňují ceny zemního plynu a uhlí. To stejné platí i pro ceny zemního plynu, kde vývoj cen je nejvíce závislý na vnitřních faktorech. U cen uhlí je vidět největší závislost na cenách ropy i zemního plynu i přesto, že závislost není příliš vysoká.

Graf 4. rozklad odchylky předpovědi



Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z Trading Economics

V tabulce číslo 1 je možné vidět výsledky Grangerova testu kauzality. Hladina významnosti byla stanovena na 0,05. Z čehož vyplývá, že vývoj HDP v České republice přímo ovlivňuje vývoj cen zemního plynu a uhlí, jelikož hodnoty Grangerova testu kauzality nepřesahují hladinu významnosti, která byla stanovena na 0,05 a může být přijata alternativní hypotéza. Naopak u cen ropy se alternativní hypotéza zamítá, protože výsledek je větší než stanovená hladina významnosti. A to znamená, že vývoj HDP v České republice neovlivňuje vývoj cen ropy.

Tabulka 1. Grangerův test kauzality

Fosilní paliva	Grangerův test kauzality
Ropa	0,946
Zemní plyn	0,0195
Uhlí	1,077e-07

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z Trading Economics a ČSÚ

V tabulce číslo 2 jsou napsány výsledky korelační matice reziduí. Ropa jako jediná má přímý korelační vztah se všemi zkoumanými proměnnými,

kdy největší vztah je zaznamenáný během probíhající pandemie Covid – 19. Pokud mají proměnné mezi sebou přímý korelační vztah, tak to znamená, že pokud bude jedna hodnota proměnné stoupat, tak druhá proměnná bude také stoupat. Zemní plyn má nepřímý korelační vztah s inflací a uhlí má nepřímý korelační vztah s nezaměstnaností v EU. Pokud mají proměnné mezi sebou nepřímý korelační vztah znamená to, že pokud hodnota jedné proměnné se bude zvyšovat, tak hodnota druhé se bude snižovat.

Tabulka 2. matice korelačních reziduí

	Inflace	Nezaměstnanost	Covid – 19
Ropa	0,2140	0,1404	0,23465
Zemní plyn	-0,01479	0,004467	0,06082
Uhlí	0,6926	-0,01594	0,32435

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z Eurostat, Trading economics, WHO

5 Diskuse výsledků

VO1: Jak se vyvíjela cena fosilních paliv za posledních 10 let?

Na začátku sledovaného období je možné pozorovat klesající trend cen fosilních paliv, kdy ceny postupně do roku 2016 klesaly. Výraznější volatilitu cen fosilních paliv můžeme sledovat od začátku pandemie Covid-19, kdy ceny rostly výrazně rychleji než v minulosti sledovaného období. U ropy a zemního plynu platí, že nejnižší ceny byly zaznamenány v roce 2020 a zároveň nejnižší cena uhlí 2020 se příliš nelišila od jejího minima ve sledovaném období v roce 2016. U všech fosilních paliv byly nejvyšší ceny v rámci sledovaného období v roce 2022, když začala válka na Ukrajině. Analýza rozkladu odchylky předpovědi ukázala, že jednotlivá

fosilní paliva jsou především závislá na vnitřních faktorech i tak lze tvrdit, že jednotlivá fosilní paliva se navzájem částečně ovlivňují.

Zakeri et al. (2023) analyzovali roli zemního plynu při stanovování cen elektřiny v Evropě a jeho závislost na dovozu. Vzhledem k tomu, že Rusko patřilo k největším dodavatelům zemního plynu v Evropě a od vypuknutí války na Ukrajině se výrazně zvyšovaly ceny fosilních paliv, tak můžeme tvrdit, že dovoz fosilních paliv může ovlivnit jejich ceny do doby než se najde jiný dodavatel a situace na trhu se uklidní.

VO2: Jaký je vztah mezi cenami fosilních paliv a HDP v České republice?

Test Grangerovy kauzality potvrdil kauzální vztah mezi HDP v České republice a cenami zemního plynu a uhlí. Naopak ve sledovaném období není možné potvrdit existenci kauzálního vztahu mezi HDP v České republice a ropou. Je ovšem nutné vzít na vědomí, že data byla shromážděna pouze kvartálně od roku 31.1. 2014 do 31.1. 2024, takže při větším počtu dat a delší době sledovaného období je možné potvrzení kauzálního vztahu mezi těmito proměnnými.

Vzhledem k existenci kauzálního vztahu mezi uhlím a HDP lze souhlasit s tvrzením Smith et al. (2021), kteří tvrdili, že dopady na HDP jsou méně výrazné především v chudších zemích,

VO3: Jaké jsou dopady politických a ekonomických událostí na ceny fosilních paliv?

U všech zkoumaných proměnných existují slabé korelační vztahy, kromě vztahu mezi uhlím a inflací v EU, kdy byl zjištěn středně silný korelační vztah. Nepřímá korelace byla zaznamenána pouze u vztahu mezi zemním plynem a inflací v EU a u vztahu mezi uhlím a nezaměstnaností v EU.

Na základě zjištění korelačních vztahů s inflací v EU a to především s uhlím, lze souhlasit s tvrzením Heijmans (2023). Kdy tvrdí, že centrální banky jsou nuceny vlivem dlouhodobé vysoké inflace zvyšovat úrokové sazby, které mohou mít vliv i na ceny emisních povolenek

6 Závěr

Cílem práce bylo zhodnotit vývoj cen jednotlivých fosilních paliv a analyzovat jejich vztah k HDP v České republice v období od ledna 2014 do ledna 2024. Cíl práce byl splněn.

O vývoji cen ropy bylo zjištěno, že nejvyšší cena ve sledovaném období dosáhla 113,140 USD/barel v roce 2022. Nejnižší cena byla v roce 2020, kdy cena ropy klesla až na 25,990 USD/barel. Grangerův test kauzality nepotvrdil, že HDP v České republice přímo ovlivňuje vývoj cen ropy. Dále byly zjištěny přímé korelační vztahy s inflací v EU, nezaměstnaností v EU a pandemií Covid-19, kdy největší korelační vztah byl zjištěn s pandemií Covid-19. Naopak nejnižší korelační vztah byl zaznamenán s nezaměstnaností v EU.

U cen zemního plynu bylo zjištěno, že nejvyšší cena byla v roce 2022, kdy cena vystoupala až na 9,1940 USD/MMBtu. Naopak v roce 2020, kdy vypukla pandemie Covid-19 byly zjištěny nejnižší cena, kdy zemní plyn stál 1,6480 USD/MMBtu. Pro zjištění existence kauzálního vztahu mezi cenami zemního plynu a HDP v České republice byl použit Grangerův test kauzality, který potvrdil kauzální vztah mezi vývojem cen zemního plynu a HDP v České republice, kdy HDP v České republice přímo ovlivňuje vývoj cen fosilních paliv. Dále byl analyzován korelační vztah mezi cenami fosilních paliv a inflací v EU, nezaměstnaností v EU a pandemií Covid-19. U všech proměnných kromě inflace v EU byl zjištěn slabý přímý korelační vztah a u inflace byl zjištěn nepřímý korelační vztah.

O cenách uhlí bylo zjištěno, že cena uhlí dosáhla svého maxima v roce 2022, kdy se cena uhlí vyšplhala až na 433,70 USD/T. Nejnižší cena uhlí byla zaznamenána v roce 2016, kdy cena uhlí klesla až na 49,95 USD/T. Kauzální vztah mezi cenami uhlí a HDP v České republice byl na základě Grangerova testu kauzality potvrzen, takže HDP v České republice přímo ovlivňuje vývoj cen uhlí. Při zkoumání korelačních vztahů s inflací v EU, nezaměstnaností v EU a pandemií Covid-19. S inflací v EU a pandemií

Covid-19 byly zjištěny přímé korelační vztahy, kdy s inflací byl zjištěn největší korelační vztah. Naopak s nezaměstnaností v EU byl zjištěn nepřímý korelační vztah.

U všech fosilních paliv byla největší volatilita cen zaznamenána v období od roku 2020 do roku 2022, takže pandemie Covid-19 a probíhající Válka na Ukrajině měla velký vliv na vývoj cen fosilních paliv. K dosažení přesnějších výsledků může vést zvýšení frekvence sběru dat například na týdenní nebo denní data.

Seznam zdrojů

ABID, Ilyes; BENLEMLIH, Mohammed; EL OUADGHIRI, Imane; PEILLEX, Jonathan a UROM, Christian. (2023). Fossil fuel divestment and energy prices: Implications for economic agents. Online. Journal of Economic Behavior & Organization. 2023, roč. 214, s. 1-16. ISSN 0167-2681. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2023.07.033>.

ATUAHENE, SampsonAgyapong a SHENG, QianXu. (2023) Powering Ghana's future: unraveling the dynamics of electricity generation and the path to sustainable energy. Online. Environmental Sciences Europe. 2023, roč. 35, č. 1. ISSN 2190-4715. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00732-5>.

BILDIRICI, Melike E.; BAKIRTAS, Tahsin. (2014). The relationship among oil, natural gas and coal consumption and economic growth in BRICTS (Brazil, Russian, India, China, Turkey and South Africa) countries. *Energy*, 2014, 65: 134-144.

CARFORA, A., PASSARO, R., SCANDURRA, G., & THOMAS, A. (2022). The causal nexus between income and energy poverty in EU Member States. *Energies*, 15(8), 2822.

DEHHAGHI, Somayeh; CHOOBCHIAN, Shahla; GHOBADIAN, Barat; FARHADIAN, Homayon; VIIRA, Ants-Hannes et al. (2022). Five-Year Development Plans of Renewable Energy Policies in Iran: A Content Analysis. Online. Sustainability. 2022, roč. 14, č. 3. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su14031501>.

DENG, C., MA, L., & ZENG, T. (2021). Crude oil price forecast based on deep transfer learning: Shanghai crude oil as an example. *Sustainability*, 13(24), 13770.

DING, Yan; LIU, Yue a FAILLER, Pierre. (2022). The Impact of Uncertainties on CrudeOilPrices: Based on a Quantile-on-QuantileMethod. Online. *Energies*. 2022, roč. 15, č. 10. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en15103510>.

ENESCU, Adrian-Gabriel a SZELES, Monica Răileanu. (2023). Discussingenergy volatility and policy in the aftermath of the Russia–Ukraine conflict. Online. *Frontiers in Environmental Science*. 2023, roč. 11. ISSN 2296-665X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1225753>.

FULLAT, M. B., MARTÍN, P. A., & ALARCÓN, S. (2021). CO2 emission allowances and the irinteracion with economic and energy factors in the European Union. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 53(1), 182-195.

HEIJMANS, Roweno J.R.K. (2023). Adjustable emissions caps and the price of pollution. Online. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2023, roč. 118. ISSN 00950696. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102793>.

JANZWOOD, Amy a HARRISON, Kathryn. (2023). The political economy of fossil fuel production in the Post-Paris Era: Critically evaluating Nationally Determined Contributions. Online. *Energy Research & Social Science*. 2023, roč. 102. ISSN 2214-6296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103095>.

JINKE, Li; HUALING, Song; DIANMING, Geng. (2008). Causality relationship between coal consumption and GDP: difference of major OECD and non-OECD countries. *Applied energy*, 2008, 85.6: 421-429.

KANAT, Orazaliyev, et al. (2022). Do natural gas, oil, and coal consumption ameliorate environmental quality? Empirical evidence from Russia. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29.3: 4540-4556.

KRIPFGANZ, Sebastian a SCHNEIDER, Daniel C. (2023). Ardl: Estimating autoregressive distributed lag and equilibrium correction models. Online. The Stata Journal: Promoting communications on statistics and Stata. 2023, roč. 23, č. 4, s. 983-1019. ISSN 1536-867X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/1536867X231212434>.

LE BILLON, Philippe; LUJALA, Paivi; SINGH, Devyani; CULBERT, Vance a KRISTOFFERSEN, Berit. (2021) Fossilfuels, climate-change, and the COVID-19 crisis: pathwaysfor a just and green post-pandemicrecovery. Online. ClimatePolicy. 2021, roč. 21, č. 10, s. 1347-1356. ISSN 1469-3062. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1965524>.

LI, Zepei a HUANG, Haizhen. (2023). Challenges for volatility forecasts of US fossil energy spot markets during the COVID-19 crisis. Online. International Review of Economics& Finance. 2023, roč. 86, s. 31-45. ISSN 1059-0560. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.02.004>.

MARTÍNEZ-GARCÍA, Miguel Á.; RAMOS-CARVAJAL, Carmen a CÁMARA, Ángeles. (2023). Consequences of the energy measures derived from the war in Ukraine on the level of prices of EU countries. Online. Resources Policy. 2023, roč. 86. ISSN 03014207. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104114>.

PIERRE, A. A., AKIM, S. A., SEMENYO, A. K., & BABIGA, B. (2023). Peak electrical energy consumption prediction by ARIMA, LSTM, GRU, ARIMA-LSTM and ARIMA-GRU approaches. *Energies*, 16(12), 4739. dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16124739>

ROKICKI, Tomasz; BÓRAWSKI, Piotr a SZEBERÉNYI, András. (2023). The Impact of the 2020–2022 Crises on EU Countries' Independence from Energy Imports, Particularly from Russia. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 18. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16186629>.

SAMOUR, Ahmed a PATA, Ugur Korkut. (2022). The impact of the US interestrates and oil prices on renewable energy in Turkey: a bootstrap ARDL approach. Online. Environmental Science and Pollution Research.

2022, roč. 29, č. 33, s. 50352-50361. ISSN 0944-1344. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19481-8>.

SHAHBAZ, Muhammad; LEAN, Hooi Hooi; FAROOQ, Abdul. (2013). Natural gas consumption and economic growth in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 18: 87-94.

SMITH, L. Vanessa; TARUI, Nori a YAMAGATA, Takashi. (2021). Assessing the impact of COVID-19 on global fossil fuel consumption and CO2 emissions. Online. *Energy Economics*. 2021, roč. 97. ISSN 0140-9883. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105170>.

STAJIC, L.; ĐORĐEVIĆ, B.; ILIĆ, S. a BRKIĆ, D. (2021). The volatility of natural gas prices – Structural shocks and influencing factors. Online. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. 2021, roč. 37, č. 4. ISSN 0213-1315. Dostupné z: <https://doi.org/10.23967/j.rimni.2021.12.002>.

TANG, Chaofeng a ARUGA, Kentaka. (2021). Effects of the 2008 Financial Crisis and COVID-19 Pandemic on the Dynamic Relationship between the Chinese and International Fossil Fuel Markets. Online. *Journal of Risk and Financial Management*. 2021, roč. 14, č. 5. ISSN 1911-8074. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/jrfm14050207>.

VAN RUIJVEN, Bas; VAN VUUREN, Detlef P. (2009). Oil and natural gas prices and greenhouse gas emission mitigation. *Energy Policy*, 2009, 37.11: 4797-4808.

WANG, Xiaolei; LIANG, Shuang; WANG, Hui; HUANG, Shaohua a LIAO, Binbin. (2022). Do Fossil-Fuel Price Distortions Impact the Low-Carbon Transition in China's Energy Intensive Industries? Online. *Frontiers in Energy Research*. 2022, roč. 9. ISSN 2296-598X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.805224>.

XU, Jingxuan; LIN, Wensheng; CHEN, Xi a ZHANG, Hua. (2022). Review of Unconventional Natural Gas Liquefaction Processes. Online. *Frontiers in Energy Research*. 2022, roč. 10. ISSN 2296-598X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.915893>.

ZAKERI, Behnam; STAFFELL, Iain; DODDS, Paul E.; GRUBB, Michael; EKINS, Paul et al. (2023). The role of natural gas in setting electri-

city prices in Europe. Online. Energy Reports. 2023, roč. 10, s. 2778-2792. ISSN 2352-4847. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.069>.

ZHANG, Jinying a CROSS, Melvin L. (2020). Carbon policies, fossil-fuel price, and the impact on employment. Online. Clean Technologies and Environmental Policy. 2020, roč. 22, č. 5, s. 1085-1095. ISSN 1618-954X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01850-x>.

ZHANG, Wenlong. (2021). Influencing Factors and Projections of Coal Price. Online. IOP ConferenceSeries: Earth and Environmental Science. 2021, roč. 632, č. 2. ISSN 1755-1307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/632/2/022016>.

ZHU, Shiqiu; CHI, Yuanying; GAO, Kaiye; CHEN, Yahui a PENG, Rui. (2022) Analysis of Influencing Factors of Thermal Coal Price. Online. Energies. 2022, roč. 15, č. 15. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en15155652>.

ZHU, Zhijie; ZHAO, Jingshuo a LIU, Yanru. (2024). The impact of energy imports on green innovation in the context of the Russia-Ukraine war. Online. Journal of Environmental Management. 2024, roč. 349. ISSN 03014797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119591>.

ZIMON, G., PATTAK, D. C., VOUMIK, L. C., AKTER, S., KAYA, F., WALASEK, R., & KOCHAŃSKI, K. (2023). The Impact of Fossil Fuels, Renewable Energy, and Nuclear Energy on South Korea's Environment Based on the STIRPAT Model: ARDL, FMOLS, and CCR Approaches. Energies, 16(17), 6198.