



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Analýza vývoje cen elektrické energie v České republice

Analysis of Price Development of Energy in Czech Republic

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Josef Černošus

Michal Košťál

2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Košťál** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **420012**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza vývoje cen elektrické energie v České republice

Název diplomové práce anglicky:

Analysis of Price Development of Energy in Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

Analyzujte vývoj ceny elektřiny v ČR za posledních 10 let.
Popište lineární regresní modely a jejich použití pro prognózu cen elektřiny
Stanovte a zhodnoťte možné vstupy vybraného regresního modelu
Vytvořte a interpretujte vlastní regresní model
Vyhodnoťte zjištěné výsledky prognózy cen elektřiny a závěry

Seznam doporučené literatury:

Miloslav Kaňok. Statistické metody v managementu. ČVUT. 2002
Chemišinec, Igor, Obchod s elektřinou. Praha, Conte, 2010.
Hušek, Roman. Ekonometrická analýza. Praha, Oeconomica, 2007

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Josef Černošous, K13116 308b

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **26.01.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Josef Černošous
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoleškolškých závěrečných prací.

V Praze dne

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Miroslavovi Vítkovi, CSc. za správné nasměrování práce v jejich počátcích, a hlavně bych chtěl poděkovat panu Ing. Josefu Černoousevi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

Abstrakt

Obsahem předkládané práce je analýza vývoje ceny silové elektřiny na trhu v České republice v letech 2006 až 2016 a jeho porovnání s makroekonomickými ukazateli a stavem elektrárenské soustavy. Součástí je i popis trhu s elektřinou v České republice. Dále jsou v diplomové práci uvedeny základní teoretické poznatky o ekonometrickém modelování pomocí lineárních regresních modelů. Hlavní součástí práce jsou vlastní ekonometrické modely sestaveny na základě analýzy vybraných ekonomických ukazatelů. Sestavené modely jsou následně testovány z hlediska statistických, ekonometrických a ekonomických požadavků. Výsledné modely jsou využity k prognóze budoucího vývoje ceny silové elektřiny na trhu v České republice.

Abstract

The content of this thesis is an analysis of the development of the price of power electricity on the market in the Czech Republic between 2006 and 2016 and its comparison with the macroeconomic indicators and the state of the power system, it also includes a description of the electricity market in the Czech Republic. The study presents basic theoretical knowledge about econometrical modeling using linear regression models. The main part of the thesis is its own econometric models compiled on the basis of analysis of selected economic indicators. Assembled models are then tested for statistical, econometric and economic requirements. The resulting models are used to forecast the future development of the price of power electricity on the market in the Czech Republic.

Klíčová slova

Cena silové elektřiny, trh elektrické energie, ekonometrická analýza, lineární regresní model, prognóza, ex post, ex ante

Key words

Price of electricity, electricity market, econometric analysis, linear regression model, prognosis, ex post, ex ante

Obsah

Úvod	12
1 Elektrická energie na trhu v ČR	14
1.1 Specifické vlastnosti elektrické energie	14
1.2 Základní popis trhu s elektrickou energií	14
1.2.1 Dlouhodobý a krátkodobý trh se silovou elektřinou	15
1.2.2 Neorganizovaný trh s elektřinou	16
1.2.3 Účastníci trhu s elektřinou	17
1.2.4 Tvorba ceny elektrické energie	18
1.3 Historický vývoj ceny silové elektřiny v ČR	19
1.3.1 Úloha operátora trhu s elektřinou	19
1.3.2 Vývoj ceny silové elektřiny v letech 2006 až 2016	20
1.3.3 Vývoj ceny silové elektřiny v porovnání s energetickým mixem ČR	22
1.3.4 Vývoj ceny silové elektřiny v porovnání s vývojem HDP ČR	23
2 Ekonometrická analýza	25
2.1 Metodika ekonometrické analýzy	25
2.1.1 Ekonometrický model	25
2.1.2 Data a kvantifikace modelu	26
2.1.3 Verifikace modelu	27
2.1.4 Využití modelu	27
2.2 Vícenásobná regresní analýza	28
2.2.1 Lineární regresní model	28
2.2.2 Další možné tvary lineárního regresního modelu	30
2.2.3 Metoda nejmenších čtverců	32
2.2.4 Míry intenzity závislosti	36
2.3 Testování regresního modelu	36
2.3.1 Test významnosti regresních parametrů	37
2.3.2 Intervaly spolehlivosti regresních parametrů	38
2.3.3 Test významnosti modelu	38
2.3.4 Test specifikace modelu	39
2.3.5 Multikolinearita	40
2.3.6 Heteroskedasticita	41
2.3.7 Autokorelace	41
2.4 Prognóza pomocí regresního modelu	42
2.4.1 Prognózování pomocí jednorovnicového regresního modelu	43
2.4.2 Kritéria hodnocení předpovědí	44
3 Popis a analýza vybraných ukazatelů	46
3.1 Cena uhlí	46
3.2 Cena zemního plynu	47
3.3 Cena ropy	48
3.4 Cena mědi a zlata	49
3.5 Emisní povolenky	50
3.6 Inflace (průměrný index spotřebitelských cen)	51
3.7 PRIBOR	52

3.8 Index průmyslové produkce	53
3.9 Ceny průmyslových výrobců	54
3.10 Vzájemná závislost mezi ukazateli	55
4 Vlastní ekonometrické modelování	57
4.1 Sestavené regresní modely	57
4.2 Ekonomická verifikace vybraných modelů	58
4.3 Statistická verifikace vybraných modelů	59
4.3.1 Interval spolehlivosti	59
4.3.2 Test významnosti modelů	60
4.3.3 Test významnosti regresních parametrů	60
4.3.4 Test specifikace modelu	60
4.4 Ekonometrická verifikace vybraných modelů	61
4.4.1 Test heteroskedasticity	61
4.4.2 Test autokorelace	62
4.4.3 Test multikolinearity	62
5 Prognóza pomocí sestavených modelů	63
5.1 Prognóza ex post	63
5.1.1 Zhodnocení prognózy ex post	66
5.2 Prognóza ex ante	66
5.2.1 Prognóza ex ante na základě expertního odhadu	66
5.2.2 Prognóza ex ante na základě procentuální změny	69
5.2.3 Porovnání výsledků prognóz ex ante	71
Závěr	72
Literatura	74
Seznam tabulek	76
Seznam grafů	77
Seznam příloh	78
Přílohy	79
Příloha 1: Kompletní výstup modelu 1	79
Příloha 2: Kompletní výstup modelu 2	80
Příloha 3: Kompletní výstup modelu 3	81
Příloha 4: Kompletní výstup modelu 4	82
Příloha 5: Kompletní výstup modelu 5	83
Příloha 6: Kompletní výstup modelu 6	84

Úvod

Elektrická energie je nedílnou součástí dnešního světa, jelikož se dotýká všech jeho mnoha oblastí, jako jsou domácnosti, veřejný sektor, průmysl a věda. Nejen z tohoto důvodu je velmi důležité sledovat cenu této komodity na trhu, ať už z pohledu maloobchodu nebo velkoobchodu. Avšak elektrická energie má svá specifika oproti ostatním komoditám, se kterými se běžně na trhu jako takovém obchoduje, a musí na ně být brán zřetel. Cena elektřiny je ovlivněna mnoha faktory. Největší vliv na cenu elektřiny má dnešní trend zelené energie, přesněji finanční dotace ze strany státu na obnovitelné zdroje, které mohou poté mnohem lépe konkurovat na trhu díky nižším nákladům. Dalším faktorem je uzavírání tradičních elektráren, především uhelných zdrojů. Tyto dva faktory lze i bez podrobnější analýzy označit za hlavní hybatele ceny elektrické energie na trhu, a to jak pro koncové zákazníky neboli z regulované energie, tak i z pohledu ceny samotné silové elektřiny. Je však nutno podotknout, že to nejsou jediné faktory ovlivňující cenu a je nutné, tuto problematiku zanalyzovat i z pohledu trhu a tyto faktory identifikovat a kvantifikovat.

Cílem této práce je provést analýzu vývoje ceny silové elektřiny v České republice, nalézt komodity a ukazatele které mohou ovlivňovat tuto cenu. Na základě této analýzy bude sestaven vlastní regresní modely popisující chování ceny elektrické energie vzhledem ke vstupním proměnným a použít takto sestavených modelů k prognóze ceny silové elektřiny do budoucna.

V první části předkládané práce je popsán trh s elektrickou energií, jeho součástí a samotné fungování trhu. Následně je popsán historický vývoj ceny elektrické energie v České republice za posledních deset let včetně možných vlivů na tuto cenu z hlediska jednotlivých zdrojů a dnešních trendů v energetice.

Druhá část je věnována teoretické přípravě v oblasti ekonometrické analýze. Součástí je i postup a předpoklady pro sestavování ekonometrického modelu a popis odhadových metod používaných pro lineární regresní analýzu. Dále jsou v kapitole uvedeny potřebné testovací procedury pro statistickou a ekonometrickou verifikaci sestavených modelů a následně je zde popsána jednoduchá prognóza budoucích hodnot.

V další části je obsažena identifikace a popis ukazatelů, které mohou ovlivňovat cenu elektrické energie na trhu, včetně jejich vývoje za posledních deset let. Součástí kapitoly je i vyčíslení a posouzení vzájemné závislosti mezi ukazateli.

Následující část se zabývá aplikací teoretické části, sestavení vlastních ekonometrických modelů a vyčíslení jednotlivých parametrů pomocí odhadové funkce. Veškeré modely jsou poté statisticky a ekonometricky verifikovány a dle zjištěných výsledků jsou určité modely nadále testovány pro účely prognózy.

Předposlední část předkládané práce je věnována samotné prognóze za pomoci sestavených modelů. Je provedena prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za pomoci hodnot z roku 2017 a následné zhodnocení kvality prognózy a jejich porovnání. Poté je určena i prognóza ex ante na následující období.

Poslední část obsahuje porovnání a zhodnocení zjištěných výsledků prognóz ceny elektrické energie a posouzení využití ekonometrické analýzy k popisu chování cen elektřiny na trhu.

1 Elektrická energie na trhu v ČR

Obchodování s elektrickou energií je velmi specifickou činností, která má svá jasně daná pravidla a členění, jímž se odlišuje od ostatních trhů s určitou hmotnou komoditou. Je to dáno především vlastnostmi elektrické energie, které ovlivňují samotnou realizaci obchodu.

Pro hlubší analýzu vývoje cen elektrické energie je zapotřebí získat poznatky z trhu elektrické energie, zejména informace o jeho součástech a obchodovaných komoditách.

1.1 Specifické vlastnosti elektrické energie

Jak již bylo výše poznamenáno, elektrická energie je velmi specifickou komoditou a svými vlastnostmi ovlivňuje samotné obchodování na trhu. Hlavní vlastností, kterou ovlivňuje obchod, je její neskladovatelnost. Odběratel o své „objednávce“ rozhodne skutečným odběrem v reálném čase, tedy elektřina musí být vyrobena ve stejném okamžiku, kdy je spotřebována. Při nedostatku nebo naopak nadbytku elektrické energie dochází ke snížení kvality dodávané komodity (frekvence v síti, napěťová hladina, spolehlivost dodávky) a v delším horizontu i k výpadku celé sítě, tzv. blackout. Na tyto požadavky kvality v ČR dohlíží společnost ČEPS. Celá tato bilance je popsána základní energetickou rovnicí, která musí platit v každém časovém okamžiku.

$$P_v = P_s + P_z - P_{saldo} \quad (1.1)$$

kde	P_v	[MWh]	je okamžitá výroba elektrické energie
	P_s	[MWh]	je okamžitá spotřeba elektrické energie
	P_z	[MWh]	jsou ztráty elektrické energie
	P_{saldo}	[MWh]	je saldo importu a exportu

Při samotném přenosu elektrické energie se projeví další důležitá skutečnost – elektrická energie „putuje“ cestou nejmenšího odporu. V důsledku této vlastnosti nelze v dnešních propojených sítích přesně určit zdroj vyrobené jednotky.

1.2 Základní popis trhu s elektrickou energií

Obecně lze trh s elektrickou energií rozdělit na dvě skupiny, na velkoobchod a maloobchod. Každý účastník trhu musí být zaregistrován v systému operátora trhu, v České republice je tím společnost OTE a.s. Tím vzniká tzv. registrovaný účastník trhu (dále RÚT), který může být držitelem licence na výrobu, přenos, distribuci nebo obchod s elektrickou energií. Pokud chce daný účastník trhu obchodovat na trzích s elektřinou, musí se zároveň stát tzv. subjektem zúčtování (SZ). Subjekt zúčtování je

zodpovědný za odchylku, kterou svým působením v síti způsobí, ať se jedná o kladnou nebo zápornou odchylku. Avšak tuto povinnost je možné přenést na jiný subjekt, který ovšem bude požadovat peněžní nebo jinou kompenzaci. Velkoobchodní trh s elektřinou lze tedy charakterizovat jako místo, kde se střetává nabídka a poptávka právě od jednotlivých subjektů zúčtování. Velkoobchod není zaměřen na dodávku pro koncové odběratele, oproti tomu maloobchod popisuje především styk mezi obchodníkem s elektřinou a konečným odběratelem nebo mezi výrobcem a odběratelem, který je méně častý. Avšak i odběratel elektřiny se může stát subjektem zúčtování a nakupovat elektřinu pro vlastní spotřebu přímo na trhu, zde se ale nejedná o maloobchod, ale o velkoobchod, i když objem kupované komodity je minimální.

Tato práce je zaměřena právě na velkoobchodní trh se silovou elektřinou, a především na predikci ceny silové elektřiny, problematika maloobchodu nebude v dané práci podrobněji rozebrána.

1.2.1 Dlouhodobý a krátkodobý trh se silovou elektřinou

Velkoobchodní trh se silovou elektřinou lze dále rozdělit na krátkodobý (spotový) a dlouhodobý (derivátový) trh, přičemž každý z nich má určitá specifika a zároveň se jedná o organizované trhy. Organizovaný trh obsahuje jednu centrální protistranu, která obstarává jednotlivé obchody, v České republice se jedná o OTE a energetickou burzu PEX (Power Exchange Central Europe). Centrální protistrana nastavuje obchodní pravidla a zajišťuje vyrovnaní na obou stranách. Obchody probíhají průběžně nebo formou aukcí, jak je uvedeno níže. [1] [2]

Dlouhodobý trh

Dlouhodobé trhy realizují obchody s elektřinou na období delší než jeden měsíc a délka není shora nijak omezena a nemusí zde docházet k fyzické dodávce elektřiny, avšak dlouhodobější kontrakty, než na jeden rok se zpravidla neuskutečňují z důvodu proměnlivosti trhu. Obchoduje se převážně s futures, s opcemi a forwardy. Referenční cena je stanovena na základě hodnoty elektřiny na denním trhu. Tržní cena se poté odvíjí od dlouhodobé nabídky a poptávky, rozvojem elektroenergetické soustavy a ekonomikou daného státu. Hlavním místem obchodu je poté energetická burza, která je popsána v kapitole 1.2.3. [1] [2]

Krátkodobý trh

Krátkodobé trhy se zaměřují na obchod v řádu hodinu až několik dní předem a jeho organizaci zajišťuje operátor trhu (OTE). Veškeré obchody na tomto trhu jsou anonymní, dodání a odběr je uskutečněn v elektrizační soustavě ČR. Krátkodobý trh se dále dělí na několik částí dle charakteru obchodu.

Denní trh zajišťuje obchodování s elektřinou na jeden následující den, přičemž probíhá 24 aukcí vždy na určitou hodinu dne a trh je uzavřen v 11 hodin dne D-1. Výsledkem je určitá cena a množství silové elektřiny v danou hodinu. Cena je opět závislá na nabídce a poptávce, které mohou být ovlivněny například technickým stavem nebo počasím v daný den.

Na **blokovém trhu** se neobchoduje každou hodinu jako v případě denního trhu, ale v takzvaných blocích, které představují určité časové pásmo dne a obchoduje se zde formou kontinuálního párování.

Rozlišují se tři základní bloky:

- Base load (BL) – dodávka po celý den (0:00 – 24:00);
- Peak load (PL) – dodávka pouze v pracovních dnech od 08:00 do 20:00, tedy v hlavní špičce spotřeby elektrické energie;
- Off peak – dodávka mimo hlavní špičku po celý týden (20:00 – 08:00).

S těmito pásmy se obchoduje i na dlouhodobém trhu pomocí futures.

Vnitrodenní trh je určen především k vyrovnávání nedostatku nebo naopak přebytku elektrické energie v síti, které mohou vzniknout účastníkům trhu v důsledku technických problémů nebo náhlou změnou počasí. Jakékoliv odchylky od předem dohodnutého množství dodané či odebrané elektrické energie jsou postihovány. Takovýto účastník musí zaplatit za tzv. regulační energii, která pomáhá vyrovnat bilanci, aby nedošlo ke snížení kvality nebo v horším případě k výpadku celé sítě. Obchody probíhají formou kontinuálního párování a začínají vždy v 15 hodin D-1 a končí hodinu před samotnou dodávkou.

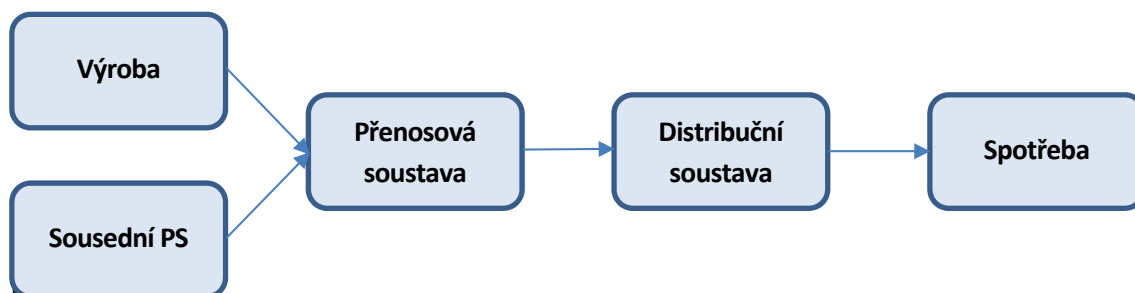
Posledním typem spotového trhu je **vyrovnávací trh**. Zde účastníci trhu nabízejí vyrovnávací elektrickou energii provozovateli přenosové soustavy, aby byla v jakémkoliv okamžiku splněna bilanční rovnice. Jediným kupujícím je tedy společnost ČEPS. Vstupují sem i neuspokojené nabídky z vnitrodenního trhu. Obchoduje se zde formou kontinuálního párování a obchody jsou uzavřeny půl hodiny před faktickou dodávkou. [1]

1.2.2 Neorganizovaný trh s elektřinou

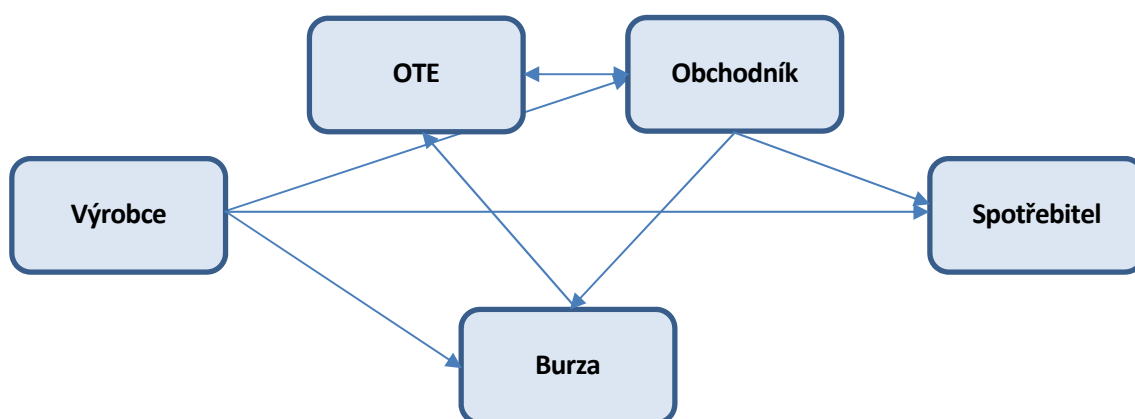
Mimo organizované trhy, kde obchody organizuje určitá centrální protistrana, existuje ještě neorganizovaný trh. Na tomto trhu dochází k obchodu přímo mezi jednotlivými účastníky trhu a nejsou omezeni žádnými pravidly, krom platných zákonů daného státu. Díky tomu můžou být jejich dohody více specifikovány dle jejich potřeb. Tento způsob obchodování se nazývá bilaterální obchodování. [2] Mimo přímé dvoustranné obchody se využívají i zprostředkovatelé, pro tyto účely se ve většině případů používají tzv. EFET smlouvy, které standardizují kontrakty a jejich obsah. Avšak i tyto obchody musí být hlášeny operátorovi trhu z důvodu možných vzniků bilančních odchylek. Nevýhodou těchto obchodů je nutnost mít protistranu, která bude akceptovat podmínky. V takovém případě není zaručena platební schopnost jako u centrální protistrany a také nemají jednotlivé strany jistotu, zda dojde k dodání či odběru smlouveného množství elektřiny.

1.2.3 Účastníci trhu s elektřinou

Pro úplný obraz trhu s elektřinou je zapotřebí popis všech jeho součástí. Při obchodů se rozlišují fyzické toky elektrické energie a obchodní vazby neboli peněžní toky. Tyto skutečnosti jsou zjednodušeně zobrazeny na následujících diagramech.



Obrázek 1.1: Fyzický tok elektrické energie od výrobce ke spotřebiteli [2].



Obrázek 1.2: Obchodní styky na trhu s elektřinou [1].

Každý z těchto základních účastníků má svou specifickou roli.

Výrobce

Výrobci na základě splněných podmínek, které jsou dané zákonem, a splněním státní energetické koncepce včetně územních plánů, je udělena licence a autorizace opravňující k výrobě elektrické energie v energetickém zařízení, kterou následně dodává do elektrizační soustavy. Do výrobců se zahrnují jak velké elektrárenské celky, tak i malovýrobci dodávající své nadbytky do sítě. Mezi další činnosti patří například poskytování podpůrných služeb provozovateli přenosové soustavy, samotný prodej elektrické energie nebo přeprava. [2]

Provozovatel přenosové soustavy

Přenosová soustava slouží k přenosu elektrické energie na celém území daného státu pomocí vzájemného propojení souboru vedení na úrovni 400 kV, 220 kV a 110 kV. Dalšími částmi jsou měřicí, ochranné a zabezpečovací systémy. Na provoz přenosové soustavy se uděluje pouze jedna licence

v rámci tzv. služby ve veřejném zájmu, jedna se tedy o přirozený monopol. Mezi další služby se řadí dispečerské řízení soustavy a propojování a řízení přeshraničních toků. V České republice je provozovatelem přenosové soustavy společnost ČEPS, a. s. [2]

Provozovatel distribuční soustavy

Hlavní činností provozovatele distribuční soustavy je distribuce elektrické energie konečným spotřebitelům v dané kvalitě. Jedná se opět o licencovanou činnost. Distribuce je zajištěna souborem vedení na hladině 0,4 až 110 kV, které jsou budovány a provozovány ve veřejném zájmu. Území ČR je rozdělené na tři celky, ve kterých zajišťují distribuci tři společnosti, ČEZ, a.s., E.ON, a.s. a PRE, a.s. [1] [2]

Spotřebitel – konečný zákazník

Spotřebitel neboli konečný zákazník využívá elektrickou energii na základě smlouvy s obchodníkem a má právo na připojení k distribuční soustavě a odběr elektrické energie v požadované kvalitě. Od roku 2006 má také spotřebitel právo na změnu dodavatele, které je přímo ukotveno v energetickém zákoně. [2]

Obchodník s elektřinou

Činností obchodníků s elektřinou je nákup elektrické energie na trhu a posléze prodej dalším obchodníkům nebo konečným odběratelům. Činnost je vázaná licenci, která se však uděluje na kratší dobu než v případě přenosové a distribuční soustavy. [2]

Operátor trhu

Operátor trhu (OTE) zajišťuje správné fungování trhu, registraci účastníků trhu, zpracování obchodních transakcí, dále vyhodnocuje a zúčtovává odchylky a poskytuje technické zázemí pro změnu dodavatele. Dále organizuje krátkodobé trhy (viz kap. 1.2.1). Činnost operátora je podmíněna licenci a je nezávislá na ostatních účastnících trhu.

Burza

Burza slouží jako další protistrana k nákupu či prodeji elektrické energie především v dlouhodobém horizontu. K tomuto účelu vznikají specializované energetické burzy jako například v ČR Power Exchange Central Europe (PEX) [2]. Předmětem obchodování, jak bylo už řečeno jsou futures, opce nebo forwards.

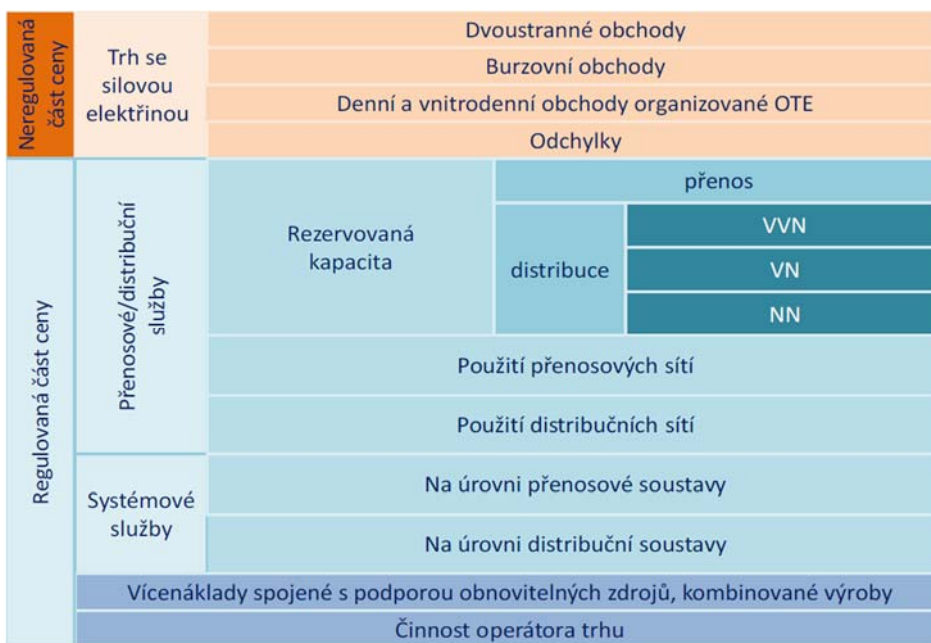
1.2.4 Tvorba ceny elektrické energie

Největší a nejzásadnější rozdíl mezi maloobchodem a velkoobchodem je tvorba ceny elektrické energie. Maloobchodní cena je složena z neregulovaných a z regulovaných položek. Cena neregulovaných položek se odvíjí od situace na trhu a patří sem samotná silová elektřina, jedná se o platbu za dodávku. Regulovaná část ceny elektřiny je členěna na platbu za dopravu, za systémové služby a poslední část

je rozdělena mezi platby OTE a podporou OZE. Výši platby za regulované položky určuje v ČR energetický regulační úřad (ERÚ), tak aby dosažen adekvátní zisk pro jednotlivé subjekty, ale nebylo zneužito přirozeného monopolu v tomto odvětví v neprospěch odběratele.

Velkoobchodní cena je určena trhem, není tedy nijak regulována. Výrobci nastavují nabídku tak, aby dosáhli určitého zisku a neprodávali pod své výrobní náklady. Může však nastat situace, kdy výrobce nabízí elektrickou energii se zápornou cenou, tj. nabízí platbu za odběr. Tato situace nastává, kdy není vhodné pro výrobce odstavit energetické zařízení, ale zároveň nechce způsobit odchylku, za kterou by musel platit. Nakupující oproti tomu hledají pro ně co nejvýhodnější nabídku na trhu.

V roce 2018 jsou podle OTE poměry v ceně elektrické energie následující. Cena silové elektřiny 43,31 %, cena distribuce 33,57 %, cena na podporu OZE 14,24 %, cena přenosu 4,24 %, systémové služby 2,79 % a cena za služby OTE 1,87 %. Následující obrázek znázorňuje schéma složení ceny.



Obrázek 1.3: Skladba ceny elektřiny [2].

1.3 Historický vývoj ceny silové elektřiny v ČR

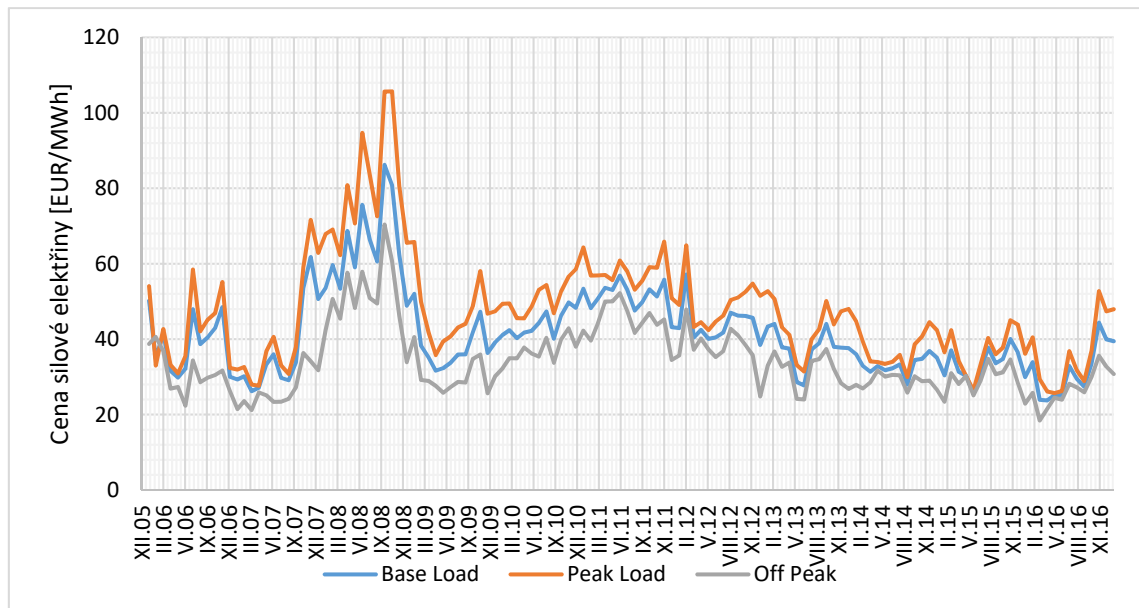
1.3.1 Úloha operátora trhu s elektřinou

Jak už bylo v předchozí kapitole řečeno, OTE zajišťuje určité segmenty trhu s elektřinou. Jelikož hlavní činností je organizace trhu s elektřinou na základě udělené licence, musí operátor pravidelně zpracovávat a zveřejňovat informace o fungování trhu s elektřinou a všech jeho součástech, jako je množství obchodovatelné elektřiny, cena a místo dodávky. Na základě těchto informací dále vyhodnocuje a zúčtovává vzniklé odchylky. Tato skutečnost vychází z povinnosti účastníků trhu být registrován u OTE při jakékoliv obchodní činnosti v oblasti elektroenergetiky dříve, než se realizuje samotný obchod. K tomuto účelu slouží centrální systém operátora trhu, kde jsou zaznamenány všechny obchodní

transakce pod unikátním identifikačním číslem účastníka trhu. Data jsou posléze vyhodnocena a zveřejněna v měsíčních a ročních zprávách. Informace o fungování trhu jsou dostupná až od roku 2001, kdy oficiálně vznikla společnost OTE a. s. na základě energetického zákona. Na základě těchto údajů lze poskytnout ucelený a věrohodný pohled na historický vývoj ceny silové elektřiny. [2]

1.3.2 Vývoj ceny silové elektřiny v letech 2006 až 2016

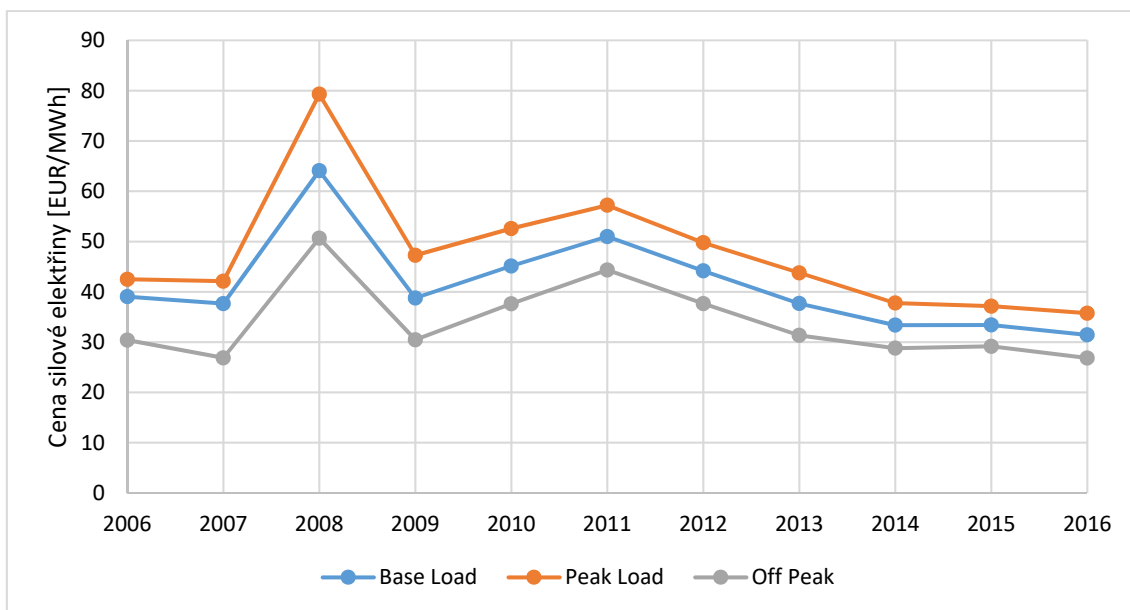
Z dostupných dat, které zveřejňuje OTE, byl sestaven následující vývoj ceny silové elektřiny na trhu v ČR. Jedná se o průměrné hodnoty k danému měsíci v roce.



Graf 1.1: Měsíční vývoj ceny silové elektřiny v letech 2006 až 2016. Zdroj dat: OTE. Graf: vlastní zpracování.

Graf zobrazuje klasický vývoj ceny silové elektřiny v jednotlivých měsících, kde lze vidět sezónní trendy, jako je například střídání ročních období. Důležitější je však pohled na samotnou cenu. Nejnižší cena Base Load byla v březnu 2016, kdy dosáhla hodnoty 23,76 EUR/MWh, oproti tomu největší cena nastala v září 2008 s cenou 86,21 EUR/MWh. Tato cena je vrcholem velkého výkyvu v období 2007 až 2009. Důvodem byla ekonomická recese, jejíž souvislost s cenou elektřiny je popsána níže.

Pro dlouhodobější analýzu je vhodnější zvolit roční vývoj ceny elektřiny, který není tolik ovlivněn různými měsíčními trendy a lze ho porovnat s dalšími energetickými a ekonomickými ukazateli.



Graf 1.2: Roční vývoj ceny silové elektřiny v letech 2006 až 2016. Zdroj dat: OTE. Graf: vlastní zpracování.

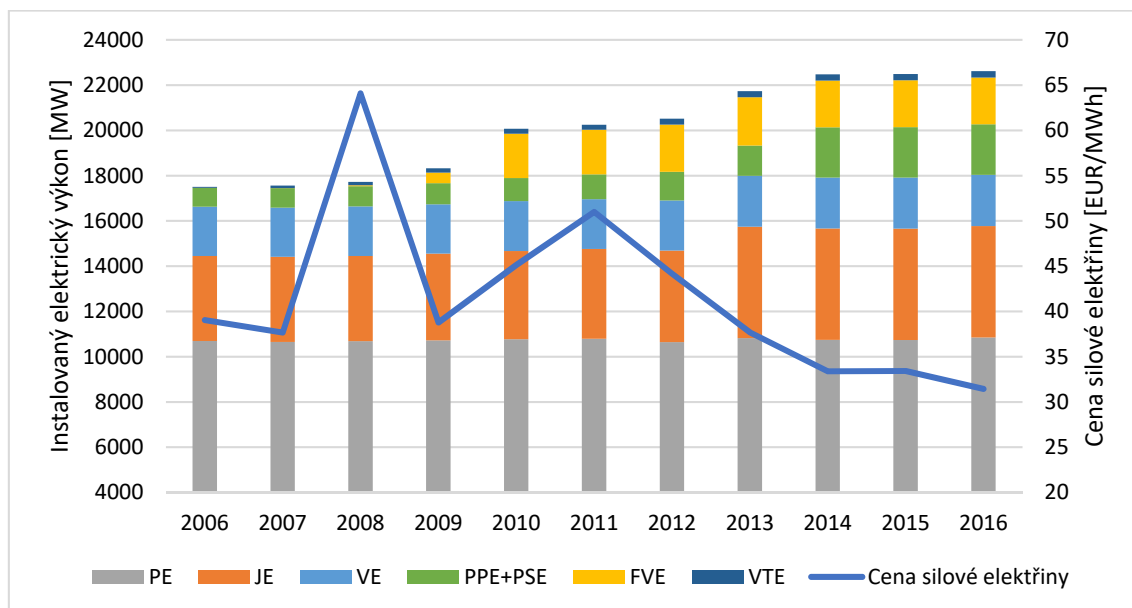
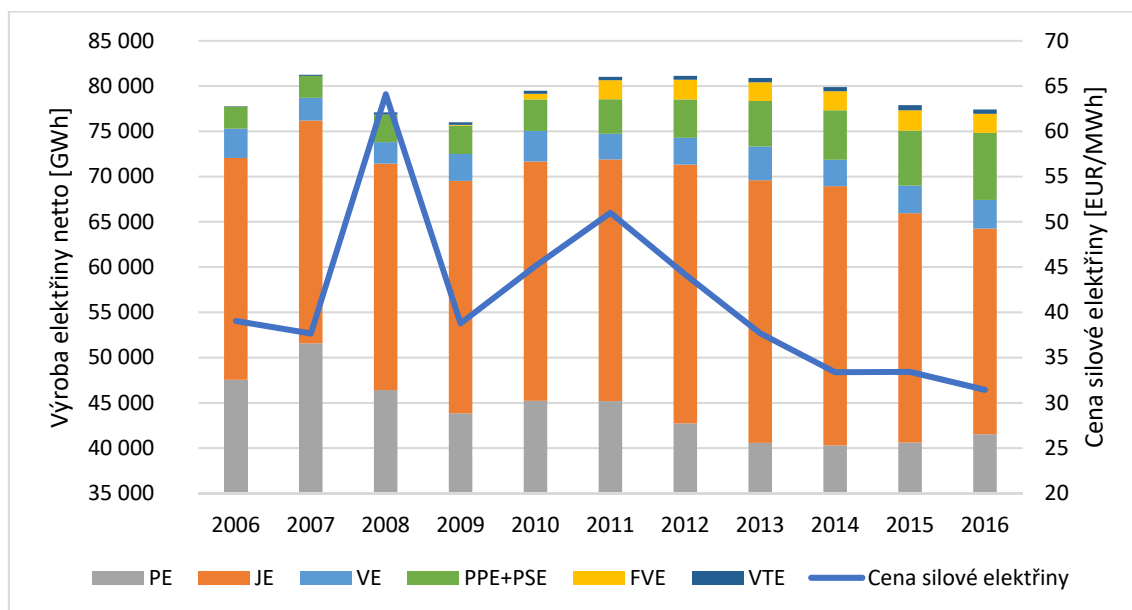
Na uvedeném grafu výše lze pozorovat pozvolný klesající trend, avšak i zde se vyskytuje velký výkyv v letech 2007 až 2009 a v menší míře i v roce 2011.

V prvním případě byla důvodem prudkého vzrůstu ceny silové elektřiny celosvětová ekonomická recese, a především její počátek. V roce 2008 dosáhla cena ropy svého maxima a tím způsobila pokles reálného HDP a zvedla ceny ostatních komodit. Jelikož ropa je základní surovinou pro další produkty jako například pohonné hmoty, lze říci, že je provázaná se všemi druhy a částmi průmyslu. To se projevilo i na ceně silové elektřiny na trhu. Na konci roku 2008, po propuknutí samotné ekonomické recese důsledkem „hypoteční bubliny“ v USA, se propadly veškeré akciové trhy a tím způsobily i pokles ceny ropy na trhu. Z maximální hodnoty 147 USD za barel se cena snížila na 40 USD za barel. Tímto se snížila i cena silové elektřiny, která se ustálila na přibližné hodnotě 40 EUR/MWh.

Ve druhém případě, kdy se během jednoho roku zvedla cena na hodnotu 50 EUR/MWh Base Load, je příčinou náhlý vzrůst výstavby nových zdrojů, a to především fotovoltaických elektráren. Tímto se zvýšily investiční náklady jednotlivých výrobců elektrické energie a tito výrobci požadují vyšší ceny na trhu. Následný pokles ceny je způsoben masovým zapojením nových fotovoltaických zdrojů do sítě a jejich podporou ze strany státu, který garantuje určitou výkupní částku. Díky tomu jsou ostatní výrobci nuceni snížit svou cenu, aby mohli nadále konkurovat. Toto však není způsobeno pouze fotovoltaickými zdroji, ale celkovou podporou OZE ze strany státu formou dotací, jelikož dotace snižují investiční náklady, a tím mohou výrobci dále snižovat cenu silové elektřiny na trhu. V důsledku snižující se ceny se dostávají klasické zdroje do situace, kdy je cena na trhu nižší, než jsou výrobní náklady. Tento trend je popsán podrobněji v následující kapitole.

1.3.3 Vývoj ceny silové elektřiny v porovnání s energetickým mixem ČR

Jak bylo řečeno v předchozí části, cena silové elektřiny na trhu je ovlivněna i samotným zdrojem odkud elektřina pochází.



Graf 1.3 a 1.4: Porovnání ceny silové elektřiny s výrobou elektřiny a instalovaným výkonem v letech 2006 až 2016. Zdroj dat: ERÚ. Graf: vlastní zpracování.

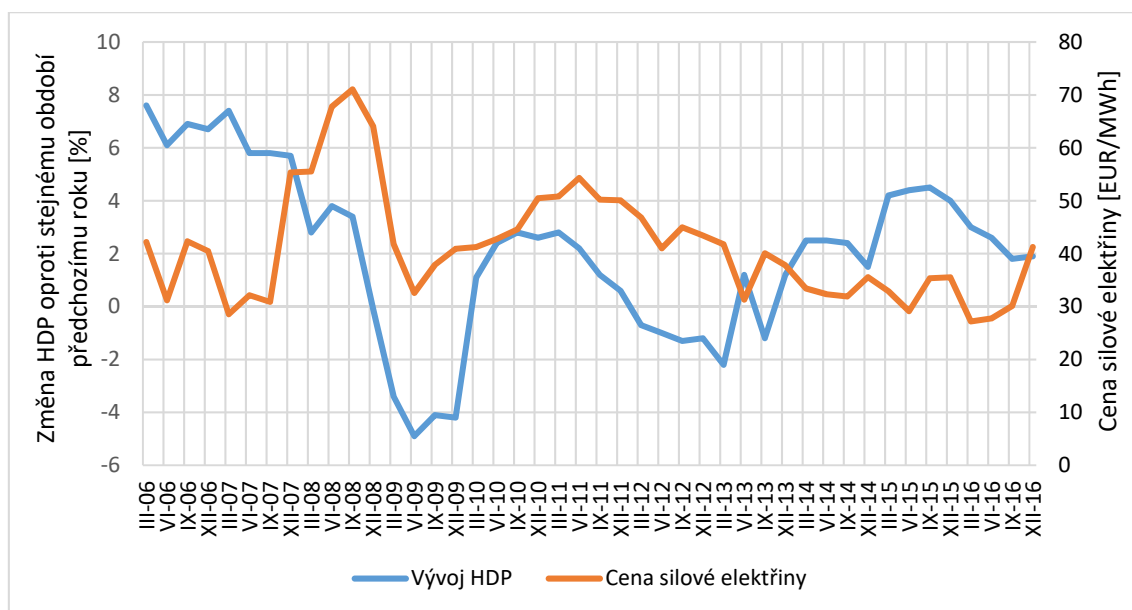
Výše uvedené grafy porovnávají výrobu elektrické energie a instalovaný výkon s cenou elektrické energie. I zde je patrný vliv ekonomické recese v letech 2007 až 2009, kdy se snížila celková výroba elektrické energie. Významnější je však vývoj ceny po roce 2010. V tomto okamžiku nastává masivní výstavba fotovoltaických elektráren, jak je patrné z grafu. Instalovaný výkon se v tomto roce zvýšil téměř pětinasobně, z 464 MW_e na 1959 MW_e. U ostatních zdrojů bylo navýšení maximálně v řádu jednotek. Tato skutečnost zapříčinila pokles ceny elektřiny na trhu, z důvodu velké dotační podpory

na výstavbu a provoz ze strany státu a také příznivým vývojem ceny solárních panelů [3] [4]. V následujících letech byla snížena garantovaná výkupní cena z fotovoltaických zdrojů a výstavba stagnovala. Instalovaný výkon dosáhl maxima v roce 2013, poté se pozvolna snižoval v řádech desítek MW_e za rok. U ostatních OZE nebyl tak masivní nárůst, VTE se každoročně zvyšují pouze o několik jednotek a ostatní zdroje jsou na tom obdobně.

Z fyzikálního principu elektrické energie se nesmí opomínat ani zdroje mimo území ČR. Do- tační programy na podporu OZE se vyskytují i například v sousedním Německu, kde probíhá masivní výstavba větrných elektráren a dochází k odstavení jaderných elektráren. Od roku 2011 do roku 2016 vzrostl instalovaný výkon větrných elektráren z 28 GW na 54 GW a vyrobené množství elektrické energie z těchto zdrojů dosáhl hodnoty 78 TWh za rok 2016. U fotovoltaických elektráren byla vý- stavba obdobná a výkon se zvýšil z 25 GW na 42 GW a další výstavba nadále pokračuje [5]. Německá vláda garantovala výkupní ceny minimálně do roku 2020. Poté lze očekávat zpomalení výstavby z dů-vodu zavedení limitů na novou výstavbu větrných a solárních elektráren. Tímto opět dochází k snižo- vání ceny silové elektřiny na trhu, protože tuzemští obchodníci s elektřinou nemusí nakupovat na čes- kém trhu, ale mohou obchodovat v zahraničí. Na to musí reagovat tuzemští výrobci tak, aby byly stále schopní nalézt odběratele.

1.3.4 Vývoj ceny silové elektřiny v porovnání s vývojem HDP ČR

HDP, hrubý domácí produkt, udává celkový ekonomický výkon dané země. Na jeho tvorbě se podílejí i části průmyslu, které jsou součástí výroby elektrické energie, jako je těžební průmysl a samotná vý- roba elektřiny [6]. Díky tomuto může cena silové elektřiny na trhu kopírovat v určitých situacích vývoj HDP jako je tomu na následujícím grafu.



Graf 1.5: Porovnání vývoje HDP ČR a ceny silové elektřiny. Zdroj dat: ČSÚ. Graf: vlastní zpracování.

Při běžném vývoji ekonomiky je pokles nebo růst obou křivek na sobě nezávislý a cena elektřiny se odvíjí podle situace na trhu. Jiná situace nastala při ekonomické krizi, přesněji v jejím hlavním období v roce 2009. Tehdy byl pokles HDP oproti předchozímu období o 4,9 %. Ve stejnou dobu klesala i cena elektrické energie v důsledku pádu cen na akciových trzích, jak bylo popsáno v kapitole 1.3.2. V roce 2010 došlo k mírnému růstu ekonomiky a HDP opět rostlo, s tím rostly i celkové ceny, což se odrazilo i na ceně silové elektřiny. Po tomto vývoji se ekonomika dostala do další recese, ze které se vymanila až po roce 2013. V této situaci však nelze jednoznačně říct, zdali pokles HDP byl hlavní příčinou i poklesu ceny elektřiny, jelikož ve stejném období došlo k masivní výstavbě nových zdrojů, které tlačili cenu na trhu dolů. V roce 2016 je už vývoj HDP i ceny elektřiny rozdílný.

2 Ekonometrická analýza

„Ekonometrii lze stručně charakterizovat jako kvantitativní ekonomickou disciplínu zabývající se měřením a empirickou verifikací reálných ekonomických vztahů a závislostí.“ (Hušek, 2007, s. 9) Ekonometrickou analýzu a její modely s využitím příslušných metod lze použít pro prognózování ekonomických jevů jako predikce cen na trhu.

2.1 Metodika ekonometrické analýzy

Prvním krokem analýzy je stanovení prvotní hypotézy neboli formulace ekonomického modelu. Následuje sestavení ekonomicko-matematického modelu, který zjednodušeně popisuje zkoumaný jev. Po zahrnutí vhodných statistických dat vzniká samotný ekonometrický model, popsán jednou nebo více rovnicemi. Dalším krokem je zjištění intenzity a směru vzájemného působení jednotlivých proměnných vstupujících do modelu. Následuje ověření modelu pomocí testování, zda odpovídá teoretickým předpokladům. Poslední fází ekonometrické analýzy je zkoumání jeho praktického využití. [7]

2.1.1 Ekonometrický model

Ekonometrický model popisuje pomocí matematiky a statistiky ekonomickou teorii. V prvních fázích sestavování se ekonometrický model specifikuje v jednodušších formách a na základě testování se poté přidávají další proměnné nebo je model upravován různými matematickými transformacemi.

Ekonometrický model obsahuje dva základní typy proměnných. Tzv. **vysvětlovanou proměnnou** (endogenní proměnná, závislá proměnná), která je předmětem zkoumání a je výsledkem sestavovaného modelu. **Vysvětlující proměnná** (exogenní, nezávislá proměnná) je taková, která ovlivňuje kvantitativně vysvětlovanou proměnnou a zároveň není ovlivněna. V případě zkoumání vlivu jedné vysvětlující a jedné vysvětlované proměnné hovoříme o párové závislosti. Pokud do modelu přidáme více vysvětlujících proměnných, hovoříme o vícenásobné závislosti.

Model může obsahovat i další typy proměnných. Mezi ně patří endogenní zpožděná proměnná, která vyjadřuje působení endogenních proměnných z minulých období na model. Další proměnnou jsou stochastické proměnné, které zahrnují celkové náhodné veličiny modelu. Mezi ně patří chyba měření exogenních proměnných, jejich celkové působení na endogenní veličinu, které nebylo možné přímo zahrnout a chyba způsobená zjednodušením modelu.

Matematický a analytický tvar modelu může být vybrán ze tří základních skupin. První z nich je **jednorovnicový model**, který je vyjádřen jednou rovnicí s jednou endogenní proměnnou v závislosti na jedné nebo více exogenních proměnných a náhodnou veličinou.

Víceúrovňový model je tvořen soustavou na sobě nezávislých rovnic, přičemž každou z nich lze zkoumat jako jednorovnicový model, nebo zkoumat všechny rovnice jako víceúrovňový regresní model.

Posledním typem je **simultánní model**. Tento model je tvořen soustavou vzájemně závislých rovnic obsahující na straně vysvětlujících proměnných i proměnné vysvětlované které jsou zároveň určeny řešením všech rovnic modelu najednou [7] [8].

Nejjednodušší a nejpoužívanější ekonometrický model je v lineárním tvaru a lze ho pro ilustraci popsat následující rovnicí obsahující jednu endogenní a dvě exogenní proměnné.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + u \quad (2.1)$$

kde y je vysvětlovaná proměnná
 x_n je vysvětlující proměnná
 β_0 je absolutní člen rovnice
 $\beta_{1,2}$ je regresní koeficient
 u je náhodná veličina

Podrobný popis a další možné úpravy modelu jsou popsány v příslušné kapitole regresní analýzy.

2.1.2 Data a kvantifikace modelu

Statistická data použitá v modelu mohou být jak v kvantitativní podobě, tak i po určité úpravě i v kvalitativní podobě při použití umělých proměnných. Data mají neexperimentální podobu, tedy nejsou generována za účelem sestavení ekonometrického modelu a jsou získaná statistickým pozorováním.

Rozlišujeme tři základní typy dat.

- Časové řady – jednotlivé hodnoty jedné proměnné jsou získány pozorováním v určitých časových intervalech jako jsou dny, měsíce nebo roky, například vývoj ceny určitého produktu za posledních pět let.
- Průřezová data – sledování jedné proměnné u vícero subjektů v určitý časový okamžik, například sledování HDP členských států EU v jednotlivých letech
- Panelová data – kombinace předchozích dvou typu dat, například vývoj HDP jednotlivých členských států EU za posledních pět let.

Vzhledem k tomu, že data mají neexperimentální podobu, vznikají určité problémy při kvantifikaci modelu. Prvním z nich je nedostatečný počet pozorování, který způsobuje nepřesnost modelu. Dalšími problémy mohou být multikolinearita či chyba měření způsobena změnou metody získávání dat. Všechny tyto problémy musí být odstraněny, anebo alespoň potlačeny zvolením vhodné úpravy vstupních dat. Jednotlivé testy těchto problémů a jejich řešení jsou podrobněji popsány v dalších kapitolách.

Odhad parametrů rovnic spočívá ve výběru vhodného odhadového postupu a na tom, zda se odhadují parametry pouze u jedné rovnice, nebo u celé soustavy rovnic. U soustavy rovnic je možné odhadovat parametry u každé rovnice zvlášť (metody s omezenou informací) a v případě metod s úplnou informací lze odhadovat parametry u soustavy jako celek. Konečný odhadový postup závisí na charakteru ekonometrického modelu, účelu modelu, náročnosti výpočtu, struktuře a množství vstupních dat. V určitých případech, může nastat situace kdy bude možné využít více postupů. Důsledkem toho, že jednotlivé parametry nelze odhadovat přesně, mohou vznikat určité nejistoty, které lze na určité hladině významnosti testovat. [7]

2.1.3 Verifikace modelu

Verifikací modelu se určí jeho reálnost a posoudí se jeho statistická významnost a významnost jednotlivých odhadnutých parametrů. Celou verifikaci modelu lze rozdělit do tří skupin – ekonomická, statistická a ekonometrická verifikace.

Ekonomická verifikace spočívá v ověření správnosti znamének a velikosti hodnot odhadnutých parametrů, tedy zda odpovídají původní ekonomické hypotéze. Pokud hodnoty alespoň přibližně odpovídají ekonomické hypotéze na počátku, lze říci že model je adekvátním zjednodušeným zobrazením zkoumaného ekonomického jevu. Jestliže hodnoty neodpovídají, je buď potřeba přezkoumat sestavené rovnice modelu, nebo samotná vstupní data. V některých případech je třeba přezkoumat i samotnou ekonomickou hypotézu.

Statistická verifikace ověřuje statistickou významnost, přesnost celého modelu a jednotlivých parametrů získaných na základě statistické indukce pomocí statistických testů. Nejčastěji používaným kritériem jsou standardní chyby parametrů. Dalším kritériem je testování statistické významnosti parametrů a modelu za pomoci t a F statistiky.

Ekonometrická verifikace ověřuje podmínky aplikace konkrétních ekonometrických metod, testů a technik, jako například testování autokorelace, multikolinearity vysvětlujících proměnných a dalších, které jsou podrobně popsány v příslušné kapitole testování modelu. [7]

2.1.4 Využití modelu

Hlavní využití ekonometrického modelu spočívá v kvantitativní analýze zkoumaného jevu v období, ze kterého pochází vstupní data, zda model odpovídá naší původní hypotéze. Nebo k využití prognózy hodnot vysvětlované proměnné na základě hodnot vysvětlujících proměnných.

V prvním případě se jedná o aplikaci modelu ex post, kdy vyhodnocujeme význam jednotlivých vstupních proměnných a jejich dopad na celkový model. Dále se ověřuje shoda celkového modelu s výchozí ekonomickou hypotézou.

V druhém případě, kdy se jedná o predikci budoucích hodnot, označujeme model jako *ex ante*. Slouží k odhadu vysvětlované proměnné v časovém úseku, ze kterého nejsou k dispozici potřebná data na základě použití některé z odhadových metod. Před samotnou predikcí je však nutné testovat predikční schopnost daného modelu, jelikož nelze obecně říct, že každý ekonometrický model je zároveň vhodný k predikci budoucích hodnot. [7]

2.2 Vícenásobná regresní analýza

Základním nástrojem, kterým lze získat potřebné koeficienty ekonometrického modelu, je vícenásobná regresní analýza využívající odhadovací metodu nejmenších čtverců.

2.2.1 Lineární regresní model

Základní rovnice lineárního vícenásobného regresního modelu je ve tvaru:

$$y = \beta_0 x_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{n-1} x_{n-1} + \beta_n x_n + u \quad (2.2)$$

kde y je hodnota vysvětlující proměnné
 x_i je vysvětlující proměnná pro $i = 0, 1, \dots, n$
 β_0 je absolutní člen rovnice neboli úrovněová konstanta
 β_j je parciální regresní koeficient pro $j = 1, 2, \dots, n$
 u je náhodná složka

x_0 je zvláštní umělá proměnná, který ve všech případech pozorování nabývá jednotkové hodnoty a lze jí vynechat, potom je teoretický model ve tvaru:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{n-1} x_{n-1} + \beta_n x_n + u \quad (2.3)$$

Numerická hodnota parciálního regresního koeficientu vyjadřuje, o kolik se změní vysvětlovaná proměnná, pokud se změní hodnota vysvětlující proměnné o jednu jednotku a ostatní vysvětlující proměnné zůstanou nezměněné.

Z jednoho konečného výběru získáme z n pozorování konkrétní hodnoty vysvětlované proměnné y a vysvětlujících proměnných x . Pomocí odhadové metody aplikované na daný výběr získáme tzv. odhadový model ve tvaru:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_{n-1} x_{n-1} + \hat{\beta}_n x_n \quad (2.4)$$

kde \hat{y} je odhadovaná hodnota vysvětlované proměnné y

$\hat{\beta}$ je bodový odhad hodnot parametrů β

Pro více než jedno pozorování, lze zapsat soustavu n rovnic v maticovém zápisu a musí platit, že počet odhadovaných parametrů k musí být menší než počet rovnic.

$$\mathbf{y} = \mathbf{\beta x} + \mathbf{u} \quad (2.5)$$

kde \mathbf{y} je sloupcový vektor n vysvětlovaných proměnných

$\mathbf{\beta}$ je sloupcový vektor k regresních koeficientů

\mathbf{x} je matice o velikosti $n \times k$ vysvětlujících proměnných

\mathbf{u} je sloupcový vektor n náhodných složek

Základní lineární regresní model jak v rovnicovém tvaru, tak i v maticovém musí splňovat Gaussovy-Markovovy předpoklady [7] [8].

1. Regresní parametry β_i mohou nabývat libovolných hodnot.
2. Regresní model je lineární v parametrech, může však nabývat nelineárních podob, které jsou podrobněji popsány v kapitole 2.3.
3. Vysvětlující proměnné jsou na sobě nezávislé, tedy nedochází k multikolinearitě. V maticovém tvaru má matice \mathbf{x} plnou hodnotu neboli neobsahuje žádné lineárně závislé sloupce.
4. Střední hodnota náhodných složek \mathbf{u} v konečném výběru je rovna nule a díky tomuto předpokladu lze v odhadnutém modelu náhodou složku vynechat.

$$E(\mathbf{u}) = \mathbf{0} \quad (2.6)$$

5. Rozptyl náhodné složky je konstantní neboli není závislý na odhadovaných parametrech (homoskedasticita). Splněním tohoto předpokladu lze aplikovat t-testování bez korekčních a standardních chyb.

$$Var(\mathbf{u}|\mathbf{x}) = \sigma^2 \quad (2.7)$$

6. Matice \mathbf{x} je nenáhodného charakteru. To znamená, že při opakovaných výběrech stejných vysvětlujících proměnných se mění parametr \mathbf{y} pouze na základě proměnlivosti náhodného vektoru \mathbf{u} .

Splněním těchto požadavků, lze aplikovat odhadovou metodu nejmenších čtverců. Předpoklady se testují a při nesplnění některé z podmínek se model dále upravuje, tak aby mohla být použita odhadová metoda a byla zaručena její správnost.

2.2.2 Další možné tvary lineárního regresního modelu

V kapitole 2.2.1 byla jedna z podmínek lineárního regresního modelu taková, že model musí být lineární v parametrech. Tato podmínka však nebrání celkové úpravě modelu, tak aby více vyhovoval počáteční ekonomické hypotézy a více se blížil skutečnosti.

Jednou z možností přiblížení modelu skutečnosti, je použití polynomického nebo kvadratického tvaru vysvětlujících proměnných.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + u \quad (2.8)$$

Vysvětlující proměnná x_1 je v tomto případě v kvadratickém tvaru. Hodnoty se získají pouhým umocněním vstupních dat modelu. Po aplikaci odhadové metody se interpretace modelu liší od interpretace základního lineárního regresního modelu, jelikož není jasné o kolik se změní hodnota y při jednotkové změně proměnné x_1 . Proto se musí provést určitá úprava, aby byly zahrnuty oba dva regresní koeficienty. K tomuto účelu se použije parciální derivace vysvětlující proměnné, kterou je nutné interpretovat.

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \beta_1 + \beta_2 x_1 \quad (2.9)$$

Hodnota vysvětlované proměnné je poté součtem regresního koeficientu β_1 se součinem regresního koeficientu β_2 a průměrné hodnoty vysvětlující proměnné x_1 . Podobný případ nastává, pokud se do regresního modelu přidá součin vysvětlujících proměnných.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + u \quad (2.10)$$

A stejně jako v prvním případě se parciální derivací dojde k hodnotně vysvětlované proměnné.

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \beta_1 + \beta_3 x_2 \quad (2.11)$$

Interpretace je obdobná, ale místo průměrné hodnoty proměnné x_1 se použije průměrná hodnota proměnné x_2 . Mohou se použít i jiné úpravy proměnných tak, aby více vyhovovaly původní ekonomické hypotéze a zvýšily přesnost vytvořeného regresního modelu. K určení, zda se mají tyto úpravy použít, slouží tzv. Reset test (Regression Specification Error Test), který je podrobněji popsán v kapitole testování použitého modelu.

Mezi další úpravy patří transformace celého modelu za účelem změny interpretace výsledných hodnot nebo zamezení standartních chyb v první transformaci. První z nich je „Log-Log“ model, který je ve tvaru:

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \dots + \beta_n \ln x_n + u \quad (2.12)$$

Pokud se změní hodnota proměnné x_1 o jedno procento, tak se změní hodnota vysvětlované proměnné y o β_1 procent. Jedná se o přepis regresního modelu s nelinearitou v parametrech tak aby mohla být použita odhadovací metoda, původní rovnice byla ve tvaru:

$$y = \beta_0 x_1^{\beta_1} \dots x_n^{\beta_n} u \quad (2.13)$$

Další používanou transformací je „Log-Level“ model v následujícím tvaru:

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + u \quad (2.14)$$

Při změně proměnné x_1 o jednu jednotku se proměnná y změní o $100 \cdot \beta_1$ procent. Tato úprava modelu se používá i při převodu exponenciálního modelu na model lineární.

$$y = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + u} \quad (2.15)$$

Poslední používanou transformací je „Level-Log“ model ve tvaru:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \dots + \beta_n \ln x_n + u \quad (2.16)$$

Pokud se změní hodnota proměnné x_1 o 100 %, tak se změní hodnota y o hodnotu β_1 . Použití všech těchto transformací závisí na počáteční ekonomické hypotéze a posléze na vhodnosti interpretace získaných výsledků.

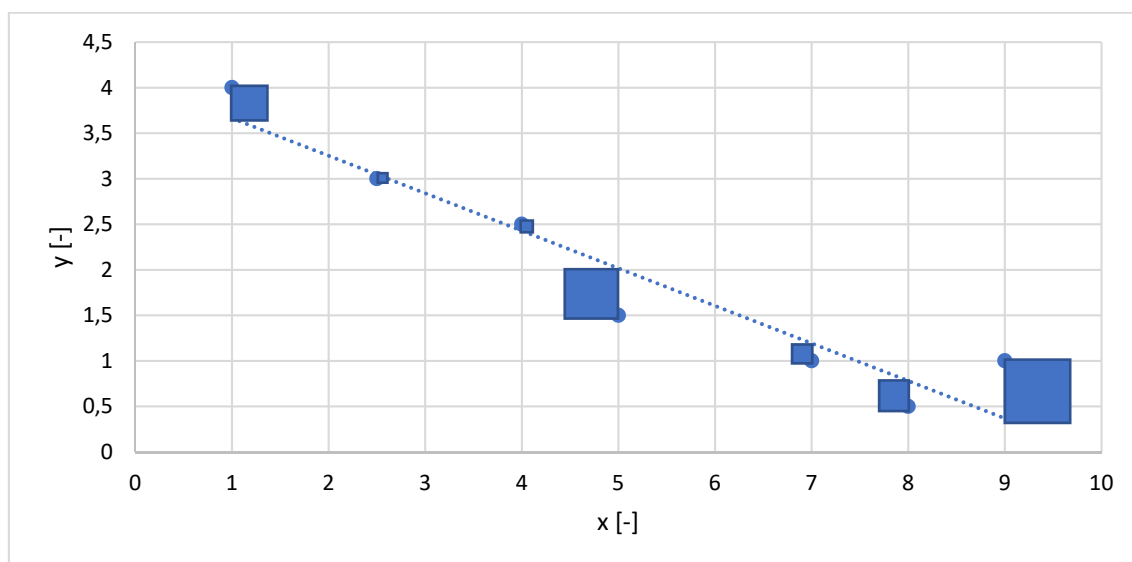
2.2.3 Metoda nejmenších čtverců

Hlavními nástroji regresní analýzy, jak získat potřebné hodnoty regresních koeficientů, jsou odhacovací metody, přesněji se jedná o vyrovnání pomocí analytických funkcí. Nejpoužívanější metoda je metoda nejmenších čtverců (MNČ). Její největší výhoda oproti ostatním spočívá v tom, že odhad parametrů může být proveden u jakékoli analytické funkce, kterou je možné převést na lineární tvar z hlediska parametrů.

Obecný popis metody a její význam lze popsat na jednoduchém příkladu. Mějme dvě proměnné x a y mezi kterými je lineární vztah ve tvaru:

$$y = a + bx \quad (2.17)$$

Jednotlivými pozorováními se pro každou hodnotu x získala hodnota y . Pokud zaneseme jednotlivé body do grafu, lze pozorovat, že body neleží na jedné přímce, ale jsou „rozházeny“ po souřadnicovém systému. To je způsobeno určitými chybami, jako například chyby způsobené při pozorování, nebo při použití malého souboru a také především tím, že námi zvolený model, v tomto případě lineární závislost mezi x a y , nemusí odpovídat realitě. Naším cílem je tedy nalézt co nejpřesnější matematický model, aby výsledná přímka byla co nejbližší k námi zaneseným bodům. Pojmeme „co nejbližší“ rozumíme to, že součet ploch sestavených čtverců, kde délka strany jednotlivých čtverců odpovídá vzdálenosti vneseného bodu od vyrovnávací přímky je co nejmenší. Právě odtud vyplývá název metody nejmenších čtverců. Pro úplnou představu je zde uveden obrázek s daným příkladem.



Graf 2.1: Grafické znázornění metody nejmenších čtverců. Vlastní zpracování.

Metoda nejmenších čtverců vychází ze dvou základních podmínek, které byly naznačeny v předchozí úvaze.

1. Součet odchylek mezi skutečnými (y_i) a vyrovnanými hodnotami (Y_i) závislé proměnné musí být roven nule.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i) = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n Y_i \Rightarrow \hat{y} = \hat{Y} \quad (2.18)$$

2. Součet čtverců odchylek mezi skutečnými a vyrovnanými hodnotami musí být minimální.

$$S = \sum_{i=1}^n [F(y_i) - F(Y_i)]^2 = \min! \quad (2.19)$$

První podmínka je splněna vždy, když zvolená analytická funkce obsahuje absolutní člen β_0 . Druhá podmínka je splněna, pokud je parciální derivace všech proměnných funkce S položena rovno nule. Tím vzniká tzv. soustava normálních rovnic a řešením těchto soustav se získají hodnoty parciálních regresních koeficientů β_j .

Pro většinu regresních modelů se využívají tři základní aproximační funkce – funkce přímky, kvadratická funkce (parabola) a exponenciální funkce. Pro funkci přímky je postup získání koeficientů následující. Rovnice přímky:

$$Y_i = a + bx_i \quad (2.20)$$

Aplikací postupu MNČ získáme koeficienty a a b . Podmínka pro přímku je následující:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \min! \quad (2.21)$$

Dále je nutné provést parciální derivaci funkce S :

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)(-1) = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)(-x_i) = 0 \quad (2.23)$$

Po úpravě vznikne soustava normálních rovnic:

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + b \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.24)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (2.25)$$

Řešením této soustavy získáme hodnoty koeficientů a a b . Stejný postup aplikujeme na aproximaci pomocí kvadratické funkce.

$$Y_i = a + bx_i + cx_i^2 \quad (2.26)$$

Následuje sestavení podmínky pro kvadratickou rovnici ve tvaru:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2)^2 = \min! \quad (2.27)$$

Následně je provedena parciální derivace funkce S :

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2)(-1) = 0 \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2)(-x_i) = 0 \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i - cx_i^2)(-x_i^2) = 0 \quad (2.30)$$

Parciální derivace poté vede k soustavě tří normálových rovnic:

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (2.31)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 \quad (2.32)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i^2 = a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 \quad (2.33)$$

Řešením soustavy rovnic opět dostaneme hodnoty regresních koeficientů.

Na poslední typ aproximační funkce nelze přímo tento postup aplikovat, jelikož exponenciální funkce není lineární v parametrech a nelze tedy uplatnit metodu nejmenších čtverců. Jak již bylo řečeno na začátku kapitoly, lze určité funkce převést na lineární funkce z hlediska parametrů. U exponenciální funkce je vhodné využít vlastnosti logaritmování. Původní exponenciální funkce je ve tvaru:

$$Y_i = ab^{x_i} \quad (2.34)$$

Pomocí pravidel logaritmů se exponenciální funkce převede na logaritmickou:

$$\log Y_i = \log a + x_i \log b \quad (2.35)$$

Následuje sestavení podobné podmínky jako v předchozích případech:

$$S = \sum_{i=1}^n (\log y_i - \log a - x_i \log b)^2 = \min! \quad (2.36)$$

Funkci S je poté nutno upravit za pomoci parciální derivace:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (\log y_i - \log a - x_i \log b)(-1) = 0 \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (\log y_i - \log a - x_i \log b)(-x_i) = 0 \quad (2.38)$$

Tímto vznikne soustava normálních rovnic ve tvaru:

$$\sum_{i=1}^n \log y_i = n \log a + \log b \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.39)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \log y_i = \log a \sum_{i=1}^n x_i + \log b \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (2.40)$$

Po vyčíslení opět dostaneme hodnoty koeficientů a a b , avšak interpretace čísel se liší od prvních dvou aproximačních funkcí, která je popsána v kap. 2.2.3.

Podobně se odvozují hodnoty parametrů i pro další vyrovnávací funkce jako hyperbola, či polynom vyššího řádu. Opět se sestaví podmínka a vyřeší soustava rovnic, u některých je však pro vyřešení soustavy rovnic zapotřebí dalších matematických metod, především u polynomů vyšších řádů.

2.2.4 Míry intenzity závislosti

Zjišťování či měření míry intenzity závislosti slouží k posouzení, jak se vypočtené regresní koeficienty přibližují k vyrovnaným hodnotám, tedy zda jsou odchylky od skutečných hodnot malé, nebo velké.

Jednou z možností, jak posoudit vhodné zvolení regresní funkce, je výpočet reziduálního rozptylu (2.41), který vychází z podmínky MNČ, kdy je požadováno nejmenšího rozdílu součtu čtverců.

$$s_{y,x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (y_i - Y_i)^2 \quad (2.41)$$

Nejvhodnější regresní funkce je poté taková, která má nejmenší hodnotu reziduálního rozptylu. V některých případech se využívá reziduální směrodatná odchylka (2.30) vycházející právě z reziduálního rozptylu.

$$s_{yx} = \sqrt{s_{y,x}^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (y_i - Y_i)^2} \quad (2.42)$$

I zde platí, že čím menší hodnota, tím lépe pro výsledný regresní model.

Dalším důležitým rozhodovacím kritériem je tzv. koeficient determinace R^2 , který udává míru závislosti vysvětlované proměnné na vysvětlujících proměnných. Tedy jakou měrou regresní model dokáže vysvětlit změny sledované veličiny právě vysvětlujícími proměnnými. Hodnota se pohybuje v intervalu $<0; 1>$ přičemž hodnota jedna udává 100% shodu neboli veškeré změny jsou vysvětleny regresním modelem. Hlavním požadavkem je, aby právě koeficient determinace byl co největší. Výpočet koeficientu je následující.

$$R^2 = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.43)$$

2.3 Testování regresního modelu

Před samotnou aplikací a diskuzí nad sestaveným regresním modelem je nutné provést statistickou a ekonometrickou verifikaci, jak bylo řečeno v kap. 2.1.3. K verifikaci se využívá testování hypotéz, které napomáhá k posouzení, zda je daný předpoklad správný či není. Testování hypotéz má svá daná pravidla a postupy, které lze obecně shrnout do několika bodů [8]:

-
1. Určení nulové hypotézy, jejíž platnost musí být ověřena. Poté následuje určení alternativní hypotézy, kterou lze definovat jako protiklad k nulové. U některých testů však není alternativní hypotéza vyžadována nebo není možné její sestavení.
 2. Volba hladiny významnosti neboli stanovení hranice, která rozlišuje, zda je nulová hypotéza málo pravděpodobná. V praxi se využívají nejčastěji hladiny významnosti 1 %, 5 % a 10 %. V této práci je využívána 5% hladina.
 3. Volba jednostranného testu nebo oboustranného testu. První test spočívá v testování nulové hypotézy, zda je větší či menší než určitá hodnota. Ve druhém případě se testuje nulová hypotéza na rovnost.
 4. Volba testovacího kritéria, s jehož pomocí se rozhodne, jestli se nulová hypotéza zamítne či nikoliv.
 5. Interpretace výsledků a schválení nebo zamítnutí nulové hypotézy. S tímto krokem se váží čtyři situace, které mohou nastat. První z nich nastává, pokud se přijme nulová hypotéza a tato hypotéza je správná. Druhý případ nastane, pokud se nulová hypotéza zamítne a je nepravdivá. Oba tyto případy jsou správné. Poté mohou ale nastat situace které nejsou správné. První z nich je chyba prvního řádu. Ta nastane, pokud se zamítne nulová hypotéza i když byla správná. Chyba druhé řádu nastane v opačném případě, tedy když se nulová hypotéza nezamítne a je nepravdivá. Právě těchto dvou chyb je nutné se vyvarovat při interpretaci výsledných hypotéz.

Různá testovací kritéria a jejich výpočty jsou uvedeny v publikaci „*Statistické metody v managementu, Kaňok 2002*“ a nejsou zde podrobněji rozepsány.

2.3.1 Test významnosti regresních parametrů

Bodová odhadová funkce regresních parametrů poskytuje hodnoty regresních koeficientů na základě jednoho výběru ze základního souboru. Je tedy nutné testovat jejich statistickou významnost a rozhodnout, zda je v regresním modelu ponechat anebo ne. K tomu poslouží testovací statistika s použitím Studentova t rozdělení. Nulová a alternativní hypotéza je definována následovně:

- $H_0: \beta_j = 0$ - j-tý regresní koeficient je statisticky bezvýznamný.
- $H_1: \beta_j \neq 0$ - j-tý regresní koeficient je statisticky významný.

Rozhodovací kritérium a jeho výpočet je definovaný následujícím vzorcem:

$$t_j = \frac{b_j - \beta_j}{s_{b_j}} \quad (2.44)$$

Při předpokladu, že $\beta_j = 0$ je testovací kritérium uváděno ve tvaru:

$$t_j = \frac{b_j}{s_{b_j}} \quad (2.45)$$

kde t_j je hodnota testovacího kritéria pro $j=1, 2, \dots, k$
 b_j je hodnota regresního koeficientu pro $j=1, 2, \dots, k$
 s_{b_j} jsou směrodatné chyby odhadu regresních parametrů

Ověření je poté provedeno pomocí Studentova t rozdělení s $n - k$ stupni volnosti. Pokud platí, že $|t_j| > t_{\alpha/2}$ potom je regresní parametr statisticky významný a je vhodné jej v modelu ponechat. V opačném případě je vhodné proměnnou v modelu vynechat. [7]

2.3.2 Intervaly spolehlivosti regresních parametrů

Při posuzování významnosti odhadnutých parametrů regresního modelu nevychází najevo, zda jsou bodové odhady b_j přesnými odhady skutečných hodnot parametrů β_j . Je tedy potřeba určit tzv. interval spolehlivosti, který určuje meze, ve kterých se s určitou pravděpodobností bude skutečná hodnota parametru nacházet, pokud se bude provádět vícero výběrů. Pravděpodobnost výskytu nazýváme hladinou spolehlivosti a v praxi se nejčastěji volí 95 % a říká, že při opakovaném výběru bude výběr obsahovat skutečnou hodnotu v 95 % případů [7]. Při použití t rozdělení je hladina spolehlivosti pro regresní parametr následující:

$$P(-t_{\alpha/2} < t_j < t_{\alpha/2}) = 1 - \alpha \quad (2.46)$$

Po dosazení (2.32) za t_j :

$$P(b_j - t_{\alpha/2} * s_{b_j} < \beta_j < b_j + t_{\alpha/2} * s_{b_j}) = 1 - \alpha \quad (2.47)$$

Po dosazení příslušných hodnot leží skutečná hodnota parametru β_j s pravděpodobností $1 - \alpha$ v intervalu $b_j \pm t_{\alpha/2} * s_{b_j}$.

2.3.3 Test významnosti modelu

Mimo testování významnosti jednotlivých parametrů je vhodné testovat regresní model jako celek. Statistickou významnost modelu reprezentovanou koeficientem determinace lze testovat pomocí F testu. Hypotézy jsou sestaveny obdobně jako v případě významnosti parametrů.

- $H_0: R^2 = 0$ – regresní model je statisticky bezvýznamný
- $H_1: R^2 \neq 0$ – regresní model je statisticky významný

Rozhodovací kritérium má tvar:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} * \frac{(n - k)}{(k - 1)} \quad (2.48)$$

Pokud hodnota F se stupni volnosti $k - 1$ a $n - k$ je větší než tabulková hodnota F rozdělení, je regresní model považován za statisticky významný, tedy zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní hypotézy. [7]

2.3.4 Test specifikace modelu

K posouzení správnosti specifikace modelu je možné využít tzv. RESET test. Procedura testování je rozdělena do tří hlavních bodů:

1. Specifikace jednoduchého lineárního modelu a odhadnutí parametrů s výpočtem koeficientu determinace R_0^2 .
2. Do původního modelu se zahrnou druhé a třetí mocniny vysvětlované proměnné a opět se provede odhad parametrů.
3. V posledním kroku se provede výpočet nového koeficientu determinace R_1^2 , který poslouží k výpočtu kritéria F testu.

Testovací statistika F je ve tvaru:

$$F = \frac{\frac{(R_1^2 - R_0^2)}{m}}{\frac{(1 - R_1^2)}{(n - p)}} \quad (2.49)$$

Kde m je počet nově přidaných nezávislých proměnných a p je celkový počet parametrů v rozšířeném modelu. Sestavení hypotézy:

- H_0 : model je správně specifikovaný
- H_1 : model není správně specifikovaný

Pokud vypočtená F hodnota je menší než tabulková hodnota, přijmeme nulovou hypotézu a model je specifikován správně.

2.3.5 Multikolinearita

Jedním z požadavků pro použití metody nejmenších čtverců je vzájemná nezávislost vstupujících proměnných do modelu. Pokud je tato podmínka porušena, vzniká multikolinearita. Problém multikolinearity je způsoben několika faktory. Prvním z nich je tendence časových řad se vyvíjet stejným směrem se stejnými přírůstky. Dalším faktorem je použití zpožděných proměnných, které vzájemně korelují. Posledním z důvodů multikolinearity je použití vícero vysvětlujících proměnných, než je počet vzorku ve výběru. Všechny tyto faktory jsou nežádoucí a měly by být minimalizovány. Jedním z hlavních důsledků multikolinearity je snížení přesnosti odhadu regresních koeficientů. Dalším negativním dopadem je možné chybné vyhodnocení testu významnosti regresních koeficientů, kdy může nastat situace, při které bude vyřazen významný koeficient.

Prvním krokem k zamezení multikolinearity je sestavení korelační matice všech proměnných vstupujících do modelu (kap. 3.10). Pro odhalení lineární závislosti mezi třemi a více vysvětlujících proměnných je vhodné využít metodu pomocných regresí, kdy vybranou vysvětlující proměnnou vyjádříme pomocí zbylých proměnných. Následně se provede výpočet koeficientu determinace R_j^2 pro takto upravený model. Pokud se R_j^2 blíží jedné, existuje kolinearita. Pro potvrzení předpokladu kolinearity se využije F statistika. Výpočet kritéria F statistiky je definováno následovně:

$$F = \frac{R_j^2}{1 - R_j^2} * \frac{n - k + 1}{k - 2} \quad (2.50)$$

Pokud je vypočtená F hodnota menší než tabulková hodnota, přijmeme nulovou hypotézu a model neobsahuje multikolinearitu. Orientačním pravidlem, zdali je multikolinearita problém či není je využití vztahu [7]:

$$R^2 < R_j^2 \quad (2.51)$$

Pokud tento jev nastane, je multikolinearita v modelu považována za příliš vysokou a je nutné ji minimalizovat.

2.3.6 Heteroskedasticita

Mezi další možné problematické části regresního modelu patří tzv. heteroskedasticita, která se projevuje tím, že rozptyl náhodných složek v modelu není konstantní, ale zvyšuje se s růstem vysvětlujících proměnných. Tímto je porušen jeden z Markovových předpokladů.

Důvodů ke vzniku heteroskedasticity je několik. Prvním z nich je chybná specifikace modelu, kdy nejsou zahrnuty všechny důležité proměnné. Dalším důvodem je zahrnutí upravených dat, například skupinové průměry z tříděných dat. Posledním nejčastějším důvodem je velké kolísání hodnot jedné z vysvětlujících proměnných, tímto se mění i rozptyl vysvětlované proměnné a může být funkcí právě některé z vysvětlujících proměnných.

Heteroskedasticita způsobuje, že odhady regresních koeficientů nemají optimální vydatnost a asymptotickou vydatnost, avšak i při nedodržení požadavku na rozptyl jsou tyto odhady nestranné a konzistentní. Dalším důsledkem je snížení přesnosti různých t testů a výsledky intervalových odhadu mohou být nadhodnocené nebo podhodnocené. [7]

Testování heteroskedasticity lze provést několika testy, nicméně pro potřeby dané práce je uveden pouze Whiteův test, jelikož je vhodný i pro velké výběry a není u něj nutné znát charakter rozptylu. Whiteův test je založen na pomocné regresi čtverce reziduí, která je pro dvě vysvětlující proměnné ve tvaru:

$$e^2 = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_2^2 + \beta_5 x_1 x_2 + u \quad (2.52)$$

Pro tento pomocný regresní model je vypočten koeficient determinace R_p^2 , který je poté porovnán s tabulkovou hodnotou χ^2 statistiky se stupni volnosti $k - 1$ kde k je počet parametrů pomocné regrese. Vztah pro porovnání hodnot je ve tvaru:

$$n * R_p^2 \sim \chi^2(k - 1) \quad (2.53)$$

Pokud je vypočtená hodnota větší než tabulková hodnota, je to známka přítomnosti heteroskedasticity a zamítáme nulovou hypotézu. Pokud je vypočtená hodnota menší, nulovou hypotézu o homoskedasticitě nezamítáme.

2.3.7 Autokorelace

Autokorelace je jev, při kterém kovarianční matice náhodných složek obsahuje nenulové nediagonální prvky a tím je porušena podmínka pro aplikování MNČ. Jestliže je náhodná složka modelu v libovolném období zkorelována s náhodnou složkou v minulém období, pak se jedná o autokorelaci neboli o závislost současné hodnoty na hodnotě minulé.

Jak vyplývá z výše uvedeného, autokorelace je způsobena zahrnutím časově zpožděných proměnných do modelu. Dalším důvodem může být nepřesná specifikace modelu, zahrnutí chyb měření do dat, anebo také zahrnutí průměrovaných, vyrovnaných nebo či jinak upravených dat. Výskyt autokorelace příliš nezasáhne do výsledku MNC, přesněji odhadnuté parametry jsou stále nestranné a konzistentní, avšak podobně jako u heteroskedasticity nemají minimální rozptyl ani nejsou asymptoticky vydatné, a tím následné testování modelu ztrácí na síle. [7]

Nejpoužívanějším testem na výskyt autokorelace je Durbin-Watsonova statistika, která je definována následujícím vztahem:

$$d = \frac{\sum_{t=1}^T (u_t - u_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T u_t^2} \quad (2.54)$$

Při tomto testování nelze stanovit kritickou hodnotu, při které by byla zamítnuta nulová hypotéza, a tedy postup je odlišný od předchozích testů. Statistika d leží v intervalu $<0; 4>$ přičemž střední hodnota je rovna dvěma. Následně je stanovena dolní a horní mez d_D a d_H pro dané stupně volnosti modelu. Vypočtená hodnota d se poté porovná s daným intervalem, který je rozdělen dolní a horní hranicí a stanoví se významnost autokorelace dle následujícího klíče.

- $<0; d_D>$ - pozitivní autokorelace
- $<d_D; d_H>$ - nelze rozhodnout
- $<d_H; 2>$ - nevýznamná pozitivní autokorelace
- $<2; 4-d_H>$ - nevýznamná negativní autokorelace
- $<4-d_H; 4-d_D>$ - nelze rozhodnout
- $<4-d_D; 4>$ - negativní autokorelace

2.4 Prognóza pomocí regresního modelu

Hlavním cílem sestavení regresního modelu je využití takového modelu k prognózování. Ekonometrická prognóza je definována následující větou: „*Ekonometrická prognóza neboli předpověď je kvantitativním odhadem pravděpodobnosti budoucí hodnoty konkrétní ekonomické veličiny pomocí minulé i současné apriorní i výběrové informace, reprezentované ekonomickou teorií, statistickými daty a odhadnutým ekonometrickým modelem.*“ (Hušek, 2007, s. 259). Metody prognózování jsou odvozeny podle vstupujícího regresního modelu jako jsou lineární regresní modely, simultánní rovnice nebo vektorová autoregrese. Samotná předpověď je rozdělena na dva typy, na předpověď *ex post* a *ex ante*.

Předpověď **ex post** je získána, jestliže jsou hodnoty vysvětlujících proměnných v období predikce známy a tím se získá hodnota dané vysvětlované proměnné. Porovnáním předpovědi *ex post*

se skutečnou hodnotou vysvětlované proměnné lze určit chybu predikce a tím ověřit vhodnost modelu k prognózování.

Předpověď **ex ante** nastává, pokud vysvětlovaná a ani vysvětlující proměnné nejsou v období předpovědi známé. Z tohoto důvodu je nutné vysvětlující proměnné odhadnout nebo stanovit na základě apriorní informace.

Rozlišují se dva základní typy predikované hodnoty, a to bodová a intervalová předpověď. Jak už z názvu vyplývá, bodová předpověď spočívá v odhadu jedné konkrétní budoucí hodnoty. Oproti tomu intervalová předpověď obsahuje odhadnutou budoucí hodnotu s určitou pravděpodobností.

Odchylka předpovědi od skutečné hodnoty je reprezentována chybou předpovědi a její velikost je způsobena několika faktory. Prvním z nich je stochastický charakter modelu. Mezi další se řadí obsah standardní chyby v modelu, která ovlivňuje odhadnuté parametry. Dále je kvalita předpovědi ovlivněna chybnou specifikací modelů, která by se však měla už dříve projevit během testování modelu a odstranit. Mimo tyto statistické problémy lze zařadit mezi ovlivňující faktory i samotné neočekávané změny v ekonomice nebo změny hospodářské politiky daného státu. Všechny tyto odchylky jsou testovány a jsou součástí výstupu předpovědi u daného modelu.

2.4.1 Prognózování pomocí jednorovnicového regresního modelu

Při určení předpovědi *ex post* i *ex ante* se vychází z klasického lineárního regresního modelu v maticovém tvaru, který splňuje Gaussovo-Markovovy předpoklady.

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \quad (2.55)$$

kde \mathbf{y} je vektor $T \times 1$ vysvětlované proměnné
 \mathbf{X} je matice $T \times k$ vysvětlujících proměnných
 $\boldsymbol{\beta}$ je vektor $k \times 1$ neznámých parametrů
 \mathbf{u} je vektor $T \times 1$ náhodných složek

Odhad parametrů $\boldsymbol{\beta}$ se provede pomocí metody nejmenších čtverců ze vztahu:

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} * (\mathbf{X}'\mathbf{y}) \quad (2.55)$$

Bodovou *ex ante* předpověď průměrné hodnoty Y v čase p lze stanovit pomocí vzorce:

$$\hat{Y}_p = \mathbf{x}'_p * \mathbf{b} \quad (2.56)$$

Kde \mathbf{x}_p je vektor o velikosti $1 \times k$ obsahující napozorované nebo odhadnuté vysvětlující proměnné pro období p a chyba předpovědi je dána vztahem:

$$\hat{e}_p = \mathbf{x}'_p * (\mathbf{b} - \boldsymbol{\beta}) \quad (2.57)$$

Výpočet intervalové předpovědi vychází ze standardní chyby předpovědi průměrné hodnoty vysvětlované proměnné definované vztahem:

$$\hat{s}_p = s * \sqrt{\mathbf{x}'_p * (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} * \mathbf{x}_p} \quad (2.58)$$

Intervalová předpověď za pomoci studentova t rozdělení se stupni volnosti $T - k$ je poté určena ze vztahu:

$$\hat{Y}_p \pm t_{\alpha/2} * \hat{s}_p \quad (2.59)$$

Analogicky jako v případě předpovědi průměrné hodnoty se postupuje i při výpočtu konkrétní individuální hodnoty dané vztahem:

$$\tilde{Y}_p = \mathbf{x}'_p * \mathbf{b} = \hat{Y}_p \quad (2.56)$$

Oproti průměrné hodnotě obsahuje individuální hodnota vysvětlované proměnné i rozptyl náhodné složky u_p , z tohoto důvodu je chyba předpovědi o tuto položku upravena.

$$\tilde{e}_p = \mathbf{x}'_p * (\mathbf{b} - \boldsymbol{\beta}) - u_p \quad (2.57)$$

Postup výpočtu intervalové konkrétní hodnoty je analogický jako u výpočtu průměrné intervalové předpovědi.

2.4.2 Kritéria hodnocení předpovědí

Míra přesnosti předpovědi ex post je definována pomocí střední kvadratické chyby ekonometrické předpovědi ve tvaru:

$$M = \frac{1}{h} \sum_{T=1}^h (P_T - A_T)^2 \quad (2.58)$$

Kde P_T je predikovaná hodnota
 A_T je skutečná hodnota
 h je délka horizontu předpovědi

Obdobnou funkci plní i Theilův modifikovaný koeficient nesouladu, který oproti výše zmíněnému kritériu posuzuje i vhodnost modelu k predikci budoucích hodnot. Je definován vztahem:

$$U = \sqrt{\frac{M}{\frac{1}{h} \sum_{T=1}^h A_T^2}} \quad (2.59)$$

Pokud je U rovné nule, jsou předpovědi ex post naprosto přesné, jinak řečeno $P_T = A_T$. Z toho vyplývá, že čím menší je hodnota U , tím lepší má regresní model predikční schopnost.

Hodnocení předpovědi ex ante není možné z důvodu chybějících porovnávacích hodnot a predikce může být zhodnocena ve chvíli, až když daný jev nastane, neboli prakticky se provede zhodnocení ex post předpovědi.

3 Popis a analýza vybraných ukazatelů

Cenu elektrické energie na trhu může ovlivňovat mnoho různých faktorů, ať už více či méně. V této kapitole je provedena analýza a zhodnocení vybraných ukazatelů, které mohou svým vývojem ovlivňovat výslednou cenu elektrické energie. Ukazatele byly zvoleny na základě používaných paliv v elektrárnách (vyjma jaderného paliva) a materiálů v elektrotechnice. Dále z hlediska životního prostředí ovlivňující jak nové, tak i stávající zdroje a využívání vodohospodářství. Posledním blokem ukazatelů jsou makroekonomické údaje. Celkem bylo vybráno 12 ukazatelů:

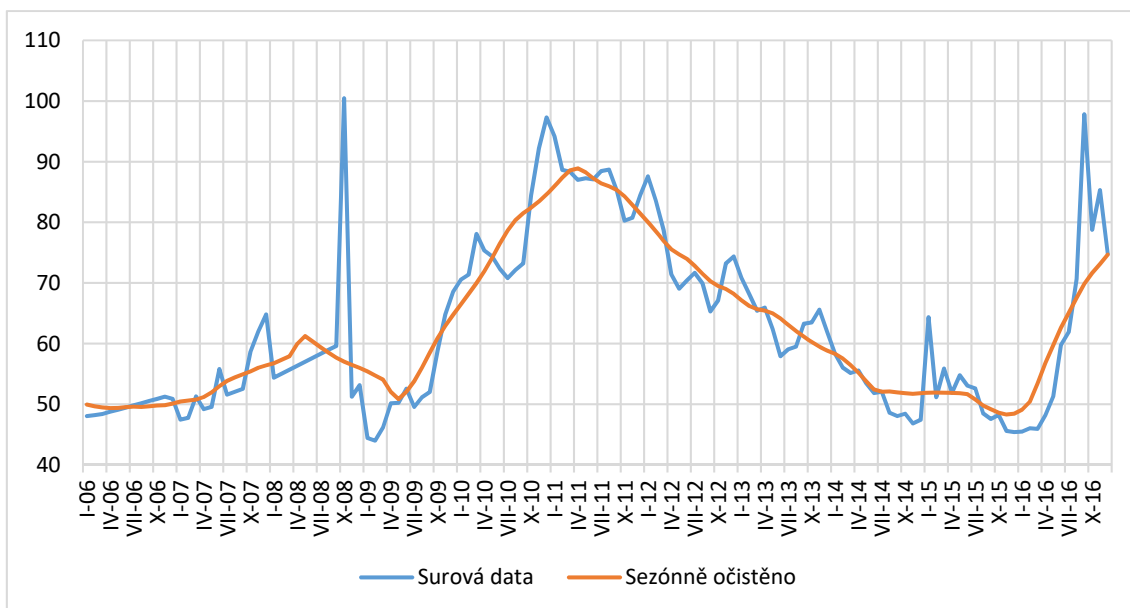
- Cena uhlí,
- cena ropy,
- cena zemního plynu,
- cena mědi,
- cena zlata,
- cena emisních povolenek,
- míra inflace (průměrný index spotřebitelských cen),
- PRIBOR,
- index průmyslové produkce,
- index průmyslových cen (pouze vybrané ukazatele),
 - nerostné suroviny,
 - zpracovatelský průmysl,
 - voda, úprava vody a rozvod.

Všechny zde uvedené ukazatele jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách. Statistické vyhodnocení z hlediska regresního modelu je poté uvedeno v kapitole 4.

3.1 Cena uhlí

V České energetice stále převládají uhelné zdroje i přes postupný pokles těchto zdrojů v energetickém mixu za posledních 10 let a lze předpokládat, že i v příštích letech budou mít nadále majoritní podíl na výrobě. Jen za rok 2016 vyrobily přes 55 % veškeré elektrické energie. To je jeden z hlavních důvodů, proč bylo vybráno uhlí jako jeden z ukazatelů.

Pro tvorbu regresního modelu bylo zvoleno tzv. ARA uhlí. ARA je zkratka pro černé energetické uhlí, které se dováží do přístavů Amsterdamu, Rotterdamu a Antverpách (odtud právě zkratka ARA) z Afrických států a Austrálie. Právě toto uhlí určuje cenu uhlí na trhu pro celé Německo, potažmo pro celý region střední Evropy, ČR nevyjímaje. Vývoj ceny je vyneseno na následujícím grafu.



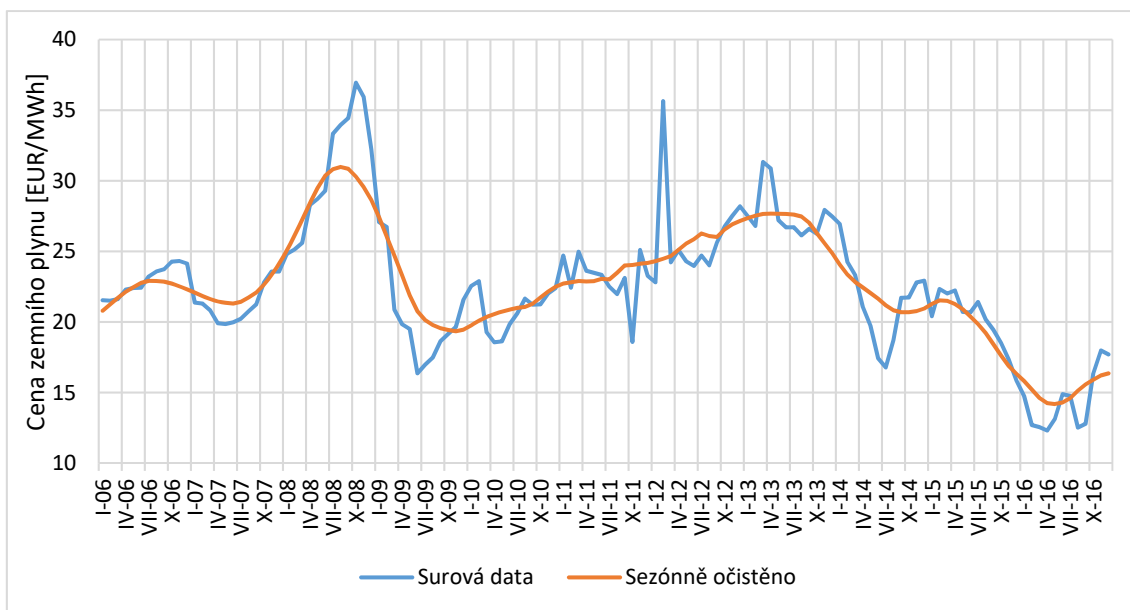
Graf 3.1: Vývoj ceny ARA uhlí na trhu v letech 2006-2016. Zdroj dat: Trading Economics [9]. Graf: vlastní zpracování.

Cena uhlí od začátku roku 2006 do konce roku 2008 rostla lineárně s občasnými sezónními výkyvy. To je zapříčiněno obecným zvyšováním cenové hladiny a zvětšující se spotřebou v energetice. Ke konci roku 2008 však cena prudce vzrostla až na svou maximální hodnotu 101 EUR/t, po tomto prudkém růstu spadla cena na minimum s hodnotou 44 EUR/t. Důvodem může být světová hospodářská recese v letech 2007 až 2009. Poté cena konstantně rostla až na hodnotu 94 EUR/t. Po tomto období až do roku 2016 cena opět klesala. Mohlo to být způsobeno několika faktory. Hlavním z nich byl však celoevropský trend v obnovitelných zdrojích, kdy jsou postupně odstavovány uhelné elektrárny a uhlí nenalézá své odbytiště, dochází ke snížení cen uhlí. V průběhu roku opět cena rostla, zde je jedním z důvodů opětovný návrat k některým dříve uzavřeným uhelným elektrárnám a také regulace dovozu uhlí na Čínský trh [10], který byl mimo evropský jedním z hlavních.

3.2 Cena zemního plynu

Dalším palivem, které se využívá k výrobě elektrické energie, je zemní plyn. V roce 2016 bylo za pomoci zemního plynu vyrobeno přes 10 % veškeré elektrické energie. Zemní plyn se však nevyužívá pouze v energetice na výrobu elektřiny a tepla, ale i v dalších průmyslových odvětvích a v domácnostech. Česká republika je závislá na importu zemního plynu, kdy pouze 1,8 % spotřeby je pokryto tuzemskou těžbou. 73 % je pomoci plynovodu Bratrství dopraveno z Ruska a zbývající část pomoci plynovodu Gazela z Norska.

Zdrojem dat je operátor trhu (OTE), u kterého musí být dle zákona zaznamenány veškeré obchodní transakce mezi účastníky trhu z důvodu vyhodnocení odchylek v plynárenské síti. Jedná se o vážené průměry za dané měsíce tak, aby data nebyly ovlivněny zobchodovaným množstvím. Vývoj ceny komodity je uveden v grafu 3.2.



Graf 3.2: Vývoj ceny zemního plynu v letech 2006-2016. Zdroj dat: OTE [11]. Graf: vlastní zpracování.

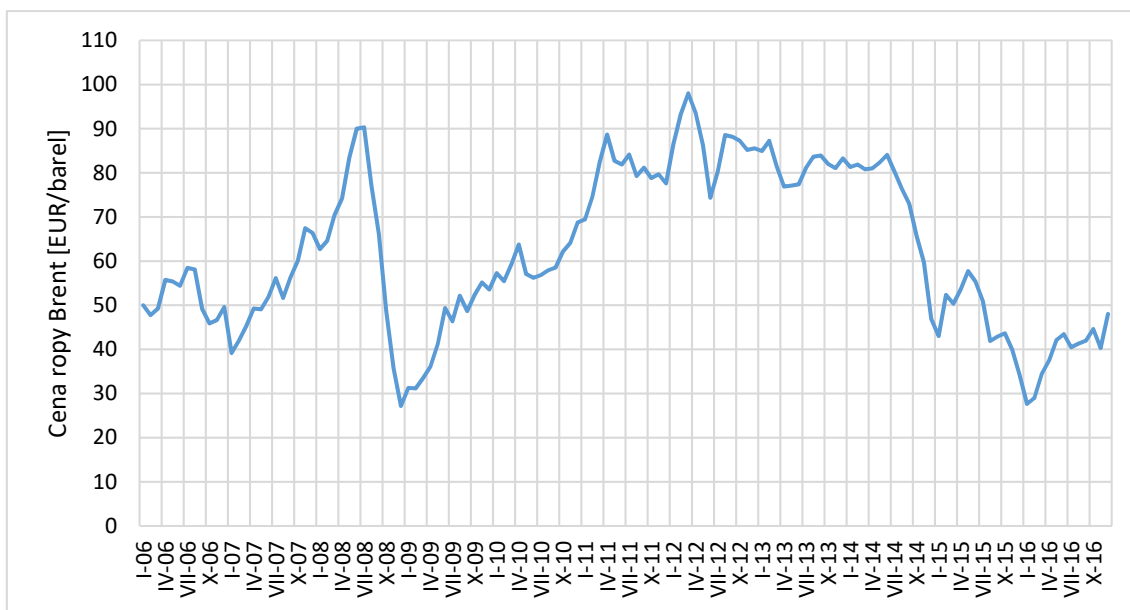
Cena zemního plynu má podobný vývoj jako cena uhlí, co se týče prudkého nárůstu na začátku sledovaného období a poté opětovného poklesu. I zde může být důvodem celosvětová hospodářská recese. Ve svém maximu posledního čtvrtletí 2008 dosahuje cena hodnoty 35,95 EUR/MWh. Od roku 2009 cena lineárně roste až do roku 2013, kdy se trend obrací a cena klesá až ke svému minimu v roce 2016. Cena zemního plynu v tomto období činí 12,31 EUR/MWh.

3.3 Cena ropy

Mezi další primární suroviny v energetice lze zařadit produkty na bázi ropy. Jedná se především o topné oleje, naftu, benzín, různé oleje a mazadla, chemická rozpouštědla atd. Aby všechny tyto položky mohly být zahrnuty a zachovala se určitá přehlednost a jednoduchost, je zvolena ropa jako nadřazený prvek všech těchto produktů.

Česká republika je, podobně jako u zemního plynu, závislá na importu ropy, tuzemská těžba představuje pouze 2 % z celkové spotřeby. Hlavním importérem je opět Rusko, které pomocí ropovodu Družba dodává až 2/3 celkové ropy. Z důvodu omezení závislosti právě na ropě z Ruska byl vybudován ropovod IKL začínající v německém Ingolstadtu a končící v Kralupech nad Vltavou, který zásobuje ČR zbývajícím množstvím ropy.

Pro účely regresního modelu byla zvolena ropa Brent, která pochází z ropných oblastí Severního moře. Její aktuální hodnota se využívá k ocenění veškeré obchodovatelné ropy na evropském trhu.



Graf 3.3: Vývoj ceny ropy Brent v letech 2006-2016. Zdroj dat: EIA [12]. Graf: vlastní zpracování.

Cena ropy byla také ovlivněna hospodářskou krizí v letech 2007 až 2009, kdy v roce 2007 cena ropy začala stoupat a v roce 2008 dosáhla hodnoty 90 EUR/barel. Poté prudce klesla a na začátku roku 2009 byla cena minimální za sledované období, a činila 27 EUR/barel. Od tohoto roku začala cena opět růst a svého naprostého maxima dosáhla ve druhém čtvrtletí 2012 s hodnotou 98 EUR/barel. Po tomto nárůstu se cena ustálila na hodnotě kolem 80 EUR/barel až do konce roku 2014, kdy cena opět začala klesat a oscilovat kolem hodnoty 40 EUR/barel. Důvodem bylo především otevření nových břidlicových nalezišť v Severní Americe a zvýšení produkce na Blízkém východě. Na obě tyto skutečnosti zareagovala i cena evropské ropy Brent.

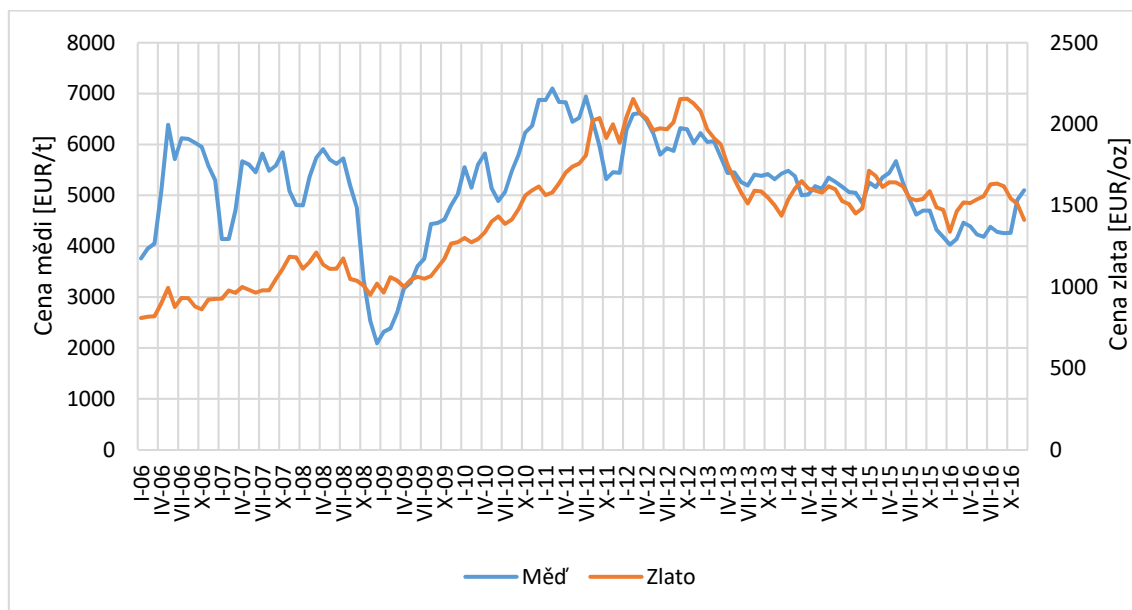
3.4 Cena mědi a zlata

V elektrotechnice patří bezesporu mezi nejdůležitější materiály měď a zlato. Měď je nejlepším materiálem na výrobu elektrických vodičů díky svým vlastnostem, především v elektrické a tepelné vodivosti. Mezi další výhody patří vysoká odolnost proti korozi a dobrá tvarovatelnost. Měď se využívá nejen při výrobě vodičů, ale i v elektromotorech, transformátorech a dalších průmyslových zařízeních na výrobu elektrické energie. Z tohoto důvodu je cena mědi zařazena mezi potencionální regresní proměnné.

Obdobné vlastnosti jako měď má zlato. Má nižší elektrickou vodivost než měď, avšak je mnohem více odolné proti vnějším vlivům. Z tohoto důvodu se většina elektrických kontaktů pokrývá tenkou vrstvou zlata, aby se zvýšila vodivost mezi kontakty a díky odolnosti zůstane tato vodivost po celou dobu životnosti zařízení konstantní. Zlato lze také řadit mezi důležité elektrotechnické materiály.

V České republice jsou odhadované zásoby mědi přibližně 40 tis. t, nicméně těžba byla ukončena v roce 1990. Z tohoto důvodu je i cena mědi brána z evropského trhu. Stejná situace nastává i

v případě zlata, které se na českém území vyskytuje, ale pro elektrotechniku je nevyužitelné, a proto se importuje ze zahraničí. Cena zlata, obdobně jako cena mědi, je určena z evropského trhu.



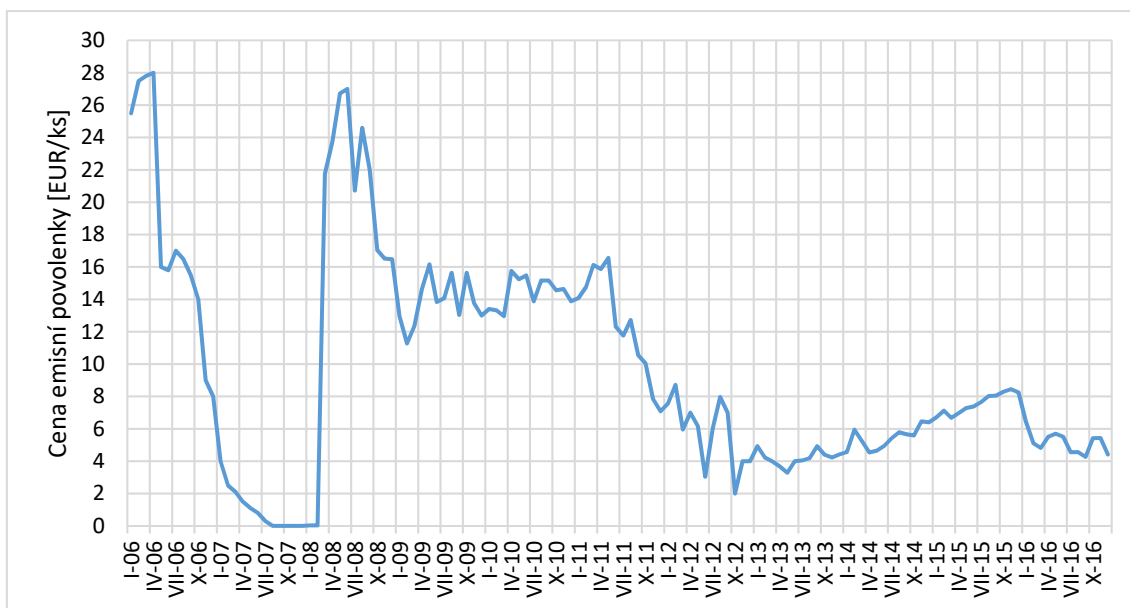
Graf 3.4: Vývoje ceny mědi a zlata v letech 2006–2016. Zdroj dat: Ycharts [13] [14]. Graf: vlastní zpracování

Cena zlata stabilně stoupala do konce roku 2011, kde dosáhla svého maxima 2 154 EUR/oz. V tomto období až do roku 2013 byla cena zlata konstantní. Tento nárůst byl zapříčiněn především velkými investicemi do zlata jako investiční komodity. Po odeznění tohoto trendu v roce 2014 se cena zlata snížila na hodnotu 1 500 eur/oz, kolem které osciluje až do konce sledovaného období. Zajímavostí je, že oproti ostatním komoditám, nebylo zlato tak silně poznamenáno světovou hospodářskou krizí v letech 2007 až 2009 a udrželo si svou hodnotu.

Oproti ceně zlata byla cena mědi na začátku sledovaného období velmi kolísavá, a to především v letech 2006 až 2010. Na konci roku 2008 se cena mědi propadla na své minimum 2 089 EUR/t. Kolísání může být zapříčiněno uzavíráním průmyslových podniků, které byly postihnuty hospodářskou krizí, díky tomu se snížil odbyt mědi jakožto průmyslové suroviny a cena začala kolísat. Po skončení krize v roce 2009 cena mědi začala opět růst až na hodnotu 6 836 EUR/t v roce 2011. Po tomto roce se cena mědi ustálila a začala klesat až do konce sledované období kdy cena mědi je 5 100 EUR/t.

3.5 Emisní povolenky

Emisní povolenky jsou jedním z nástrojů, jak omezit vypouštěné emise do ovzduší a tím zabránit dalšímu znečišťování životního prostředí. V evropské unii funguje systém EU ETS. Systém je založen na přerozdělování emisních povolenek, které opravňují vypustit jednu tunu emisí. Důležitým prvkem je však to, že povolenky jsou plně obchodovatelné na trhu a tím mohou ovlivňovat výslednou cenu elektrické energie, jelikož i přes současný trend „zelené“ energie je stále v provozu vysoké procento elektráren na tuhá paliva [15].

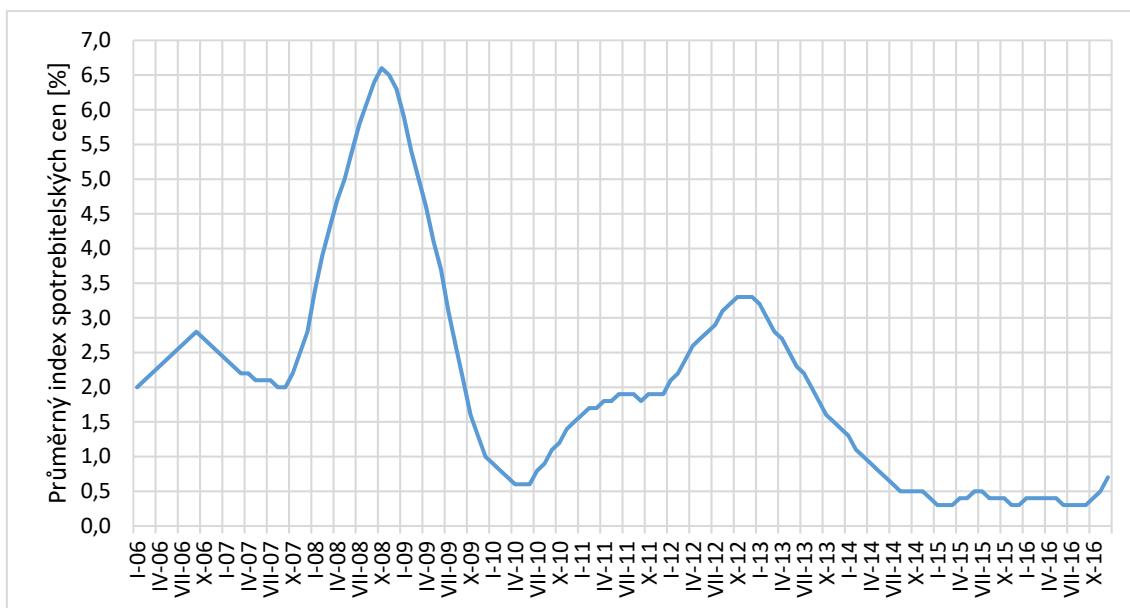


Graf 3.5: Vývoj ceny emisních povolenek v letech 2006-2016. Zdroj dat: EEX [16]. Graf: vlastní zpracování.

Celá alokace emisních povolenek byla rozdělena na tři fáze. První testovací fáze začala v roce 2006 a skončila v roce 2008. Cena jedné povolenky byla stanovena na hodnotu 25 EUR, avšak důsledkem příliš velké emítace se cena postupem času dostala až na nulovou hodnotu a tím byla povolenka prakticky bezcenná. Na začátku roku 2008 začala druhá fáze, kdy alokace povolenek byla svěřena vládám jednotlivých členských států. I v této fázi nedošlo k dokonalému rozdělení a cena povolenek postupně klesala až na minimální hodnotu 2 EUR/ks. V roce 2013 začala třetí a zatím poslední fáze. V této fázi rozděluje povolenky samotná Evropská unie a tím po vyčerpání povolenek z předchozích fází došlo k postupnému růstu ceny až na hodnotu 8,45 EUR/ks na konci roku 2015. Poté došlo k opětovnému snížení ceny na trhu na konečnou hodnotu 4,41 EUR/ks (prosinec 2016).

3.6 Inflace (průměrný index spotřebitelských cen)

Inflace je definována jako všeobecný vzestup celkové cenové hladiny a je jedním z hlavních makroekonomických ukazatelů. Z tohoto důvodu je zde zařazena jako jedna z možných proměnných vstupující do regresního modelu a je zde zkoumán její případný vliv na cenu elektřiny. Inflace se měří pomocí indexu cen, přesněji jako poměr vybraného indexu na začátku a na konci měřeného období. Nejčastějšími používanými indexy jsou index spotřebitelských cen nebo index cen výrobců. Pro diplomovou práci byl vybrán index spotřebitelských cen. Vývoj tohoto indexu je znázorněn na následujícím grafu.



Graf 3.6: Vývoj indexu spotřebitelských cen v letech 2006-2016. Zdroj dat: ČSÚ [17]. Graf: vlastní zpracování.

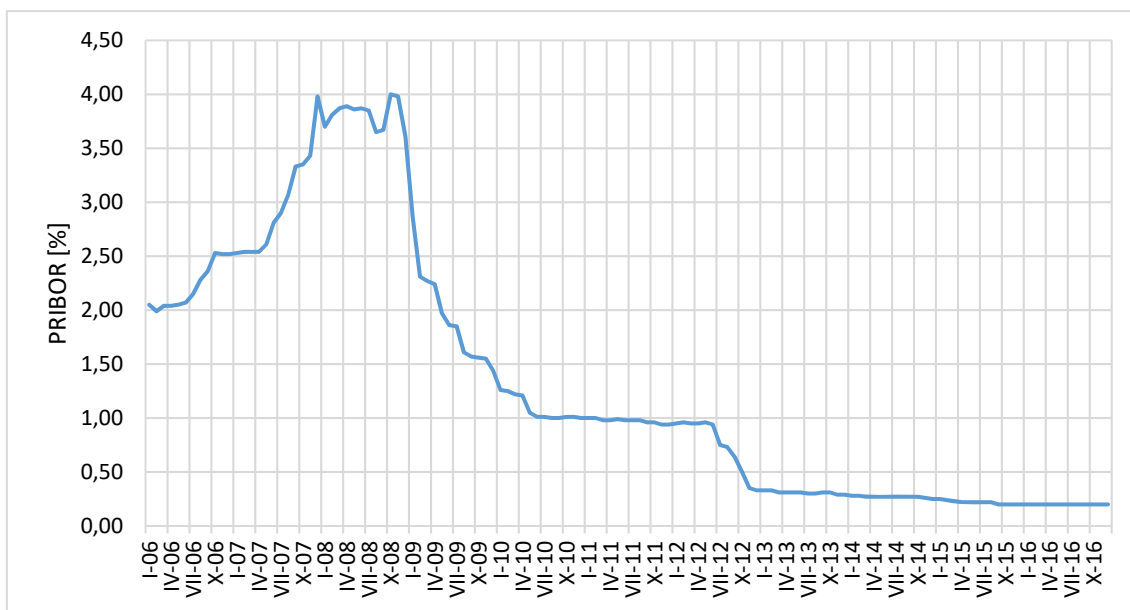
Vývoj spotřebitelských cen vykazuje dva největší výkyvy, a to v roce 2008 a na přelomu roku 2012 a 2013. Maxima za sledované období bylo dosaženo v listopadu 2008, kdy index dosáhl hodnoty 6,6 %. Poté následoval pád na hodnotu 0,6 %. Od tohoto období byl sledován postupný růst, který se zastavil v prosinci 2012 na hodnotě 3,3 %. Další vývoj až do konce 2016 má klesající trend. V červenci 2016 bylo dosaženo minima s hodnotou 0,3 %. Na konci sledovaného období dosahuje index hodnoty 0,7 % s mírným rostoucím trendem.

3.7 PRIBOR

PRIBOR (Prague Interbank Offered Rate) je průměrná úroková sazba, za kterou by banka byla ochotná jiné bance poskytnout úvěr na mezibankovním trhu a její hodnotu určuje agentura Reuters [6]. V praxi se tato hodnota využívá jako referenční úroková sazba pro nejrůznější bankovní produkty, jako jsou výnosy z cenných papírů, úroky hypotečních a korporátních úvěrů atd.

Z hlediska energetiky, přesněji výroby elektrické energie, může mít tato úroková míra vliv na konečnou cenu elektrické energie, jelikož výstavba nových zdrojů je velmi nákladná a zdlouhavá. Z tohoto důvodu se většina projektů financuje pomocí dlouhodobých úvěrů. To se netýká pouze samotné výstavby, ale například i budoucích modernizací stávajících zdrojů, příkladem může být rozsáhlá modernizace uhelných zdrojů v 90. letech v hodnotě stovek miliónů korun. [18]

PRIBOR je určen vždy na každý jednotlivý den v roce. V této práci jsou však využity měsíční data ze systému časových řad ARAD České národní banky.



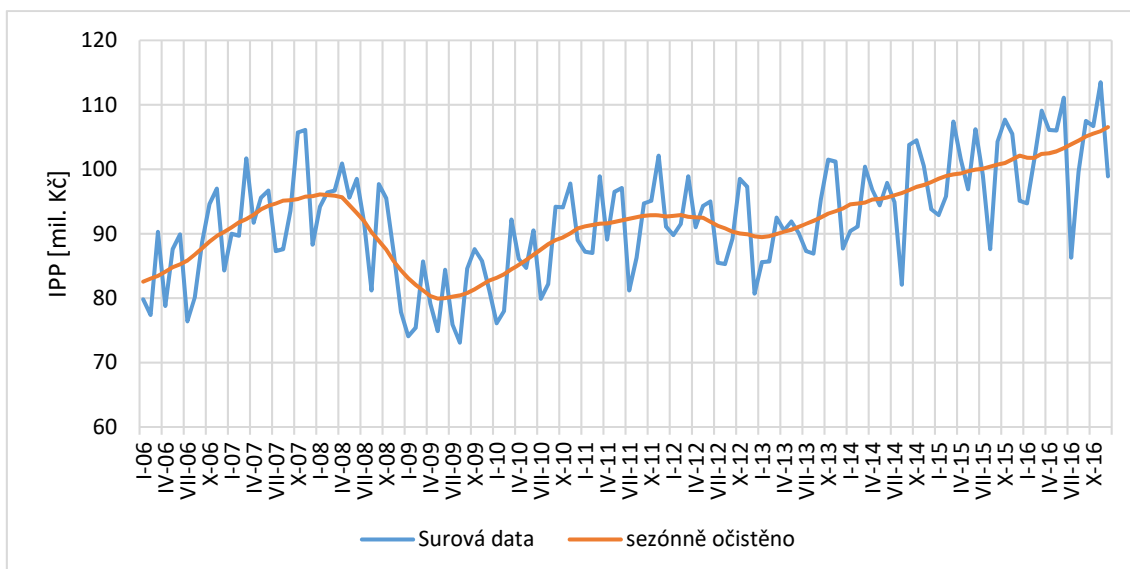
Graf 3.7: Vývoj PRIBOR v letech 2006-2016. Zdroj dat: ARAD [19]. Graf: vlastní zpracování.

Velký výkyv ve vývoji PRIBORu v letech 2007 až 2009 může být způsoben stejně jako u některých předchozích ukazatelů světovou hospodářskou krizí. Kdy nejsou banky a podobné instituce ochotny půjčovat peníze a pokud jsou ochotny, tak za mnohem vyšší úrok, než byl například v roce 2006. Maximální hodnota úroku byla 3,98 % v listopadu 2008. Po skončení krize se hodnota postupně snižovala, poslední skok nastal v roce 2012, kdy se hodnota skokově snížila na 0,35 %. Od tohoto okamžiku úroková sazba lineárně klesá na hodnotu 0,20 % v září 2015. Poté je sazba konstantní až do konce sledovaného období.

3.8 Index průmyslové produkce

Index průmyslové produkce (IPP) je základním ukazatelem průmyslové výroby jako takové. Podle metodiky Eurostatu pokrývá sekce CZ-NACE B, C, D (B – těžba a dobývání, C – zpracovatelský průmysl, D – výroba a rozvod elektřiny, plynu a tepla). Výpočet má měsíční charakter, je očištěn od cenových vlivů a lze pomocí tohoto ukazatele hodnotit celkový vývoj průmyslové produkce. [20]

Energetika je mimo jiné provázaná také s těžkým průmyslem. Především co se týče různých materiálů, techniky a surovin. Z tohoto důvodu je vhodné analyzovat cenu elektrické energie i z pohledu celkového průmyslu.

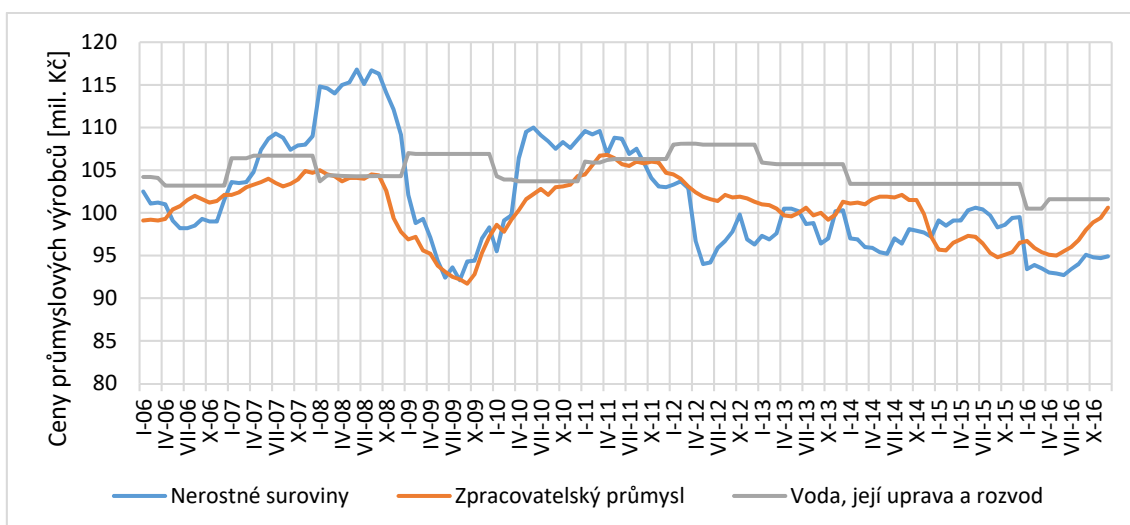


Graf 3.8: Vývoj IPP v letech 2006-2016. Zdroj dat: ARAD [19]. Graf: vlastní zpracování.

Vývoj indexu průmyslové produkce má rostoucí trend, který je dvakrát přerušen v letech 2008-2009 a 2012-2013. To může být způsobeno jako v ostatních případech světovou hospodářskou krizí, kdy se produkce průmyslu omezovala nebo se průmyslové podniky přímo uzavíraly. Po skončení krize IPP postupně rostlo z minima 79 mil Kč až na hodnou 92 mil. Kč, kdy došlo k další ekonomické recesi a produkce klesala. Poté index už pouze roste. Ve druhé polovině roku 2014 se produkce dostala na svou hodnotu před začátkem první ekonomické recese a v prosinci 2016 dosáhla svého maxima na hodnotě 106 mil. Kč.

3.9 Ceny průmyslových výrobců

Podobně jako IPP fungují i ceny průmyslových výrobců, které zahrnují ceny vybraných výrobků (4800) v odvětví dle CZ-NACE B až E. Hodnoty cen jsou smluvené ceny mezi dodavatelem a odběratelem očištěné od daní. Pro potřeby regresní analýzy byly vybrány všechny kategorie krom kategorie D z důvodu předpokladu vysoké korelace. [21]



Graf 3.9: Vývoj vybraných cen průmyslových výrobců v letech 2006-2016. Zdroj dat: ARAD [19]. Graf: vlastní zpracování.

Křivka nerostných surovin a zpracovatelského průmyslu vykazuje určitou korelaci. Nerostné suroviny ale vykazují mnohem větší míru oscilace. Opět během ekonomické recese v letech 2007-2009 hodnoty obou ukazatelů stoupají a poté prudce klesnou až na svou minimální hodnotu. V případě nerostných surovin je tento skok více viditelný, kdy se z maximální hodnoty 116 mil. Kč propadne na hodnotu 92 mil Kč během 10 měsíců. Obdobně je na tom zpracovatelský průmysl, který ze své hodnoty 104 mil. Kč v srpnu 2008 propadl na své minimum 91,7 mil. Kč. Po opětovném nárůstu do roku 2012 oba ukazatele vykazují klesající trend s několika výkyvy. Poslední rok sledovaného období vykazuje určitý růst cen.

Oproti tomu ukazatel cen vody je stabilní. Zajímavostí je, že během roku jsou ceny vždy konstantní nebo vykazují jen minimální změnu a ke změně vždy dojde pouze meziročně. Ani hospodářská recese vývoj ukazatele příliš nepostihla.

3.10 Vzájemná závislost mezi ukazateli

Jedním z Gaussovo-Markovových předpokladů je vzájemná nezávislost vysvětlujících proměnných. Z předchozích grafů bylo možné vyčíst určité vzájemné závislosti, ale pouze porovnání trendů v grafech není dostačující. Z tohoto důvodu se sestavuje korelační matice obsahující párové korelační koeficienty všech vysvětlujících proměnných, které mohou vstupovat do regresního modelu a na základě této matice se vyloučí ty proměnné, jež jsou vzájemně závislé a mohly by způsobit porušení jednoho ze základních předpokladů. Tabulka obsahuje párové korelační koeficienty jednotlivých proměnných s popisem pro jednodušší orientaci.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
x_1 uhlí	1,00	0,17	0,46	0,51	0,54	0,05	-0,06	-0,19	0,06	0,26	0,49	0,22
x_2 plyn	0,17	1,00	0,49	0,19	0,03	0,22	0,68	0,40	-0,21	0,50	0,44	0,40
x_3 ropa	0,46	0,49	1,00	0,72	0,59	-0,05	0,11	-0,15	0,01	0,20	0,62	0,45
x_4 měď	0,51	0,19	0,72	1,00	0,48	-0,07	-0,21	-0,18	0,12	0,22	0,63	0,22
x_5 zlato	0,54	0,03	0,59	0,48	1,00	-0,38	-0,33	-0,69	0,28	-0,25	0,17	0,20
x_6 povov.	0,05	0,22	-0,05	-0,07	-0,38	1,00	0,38	0,38	-0,39	0,35	0,01	-0,10
x_7 CPI	-0,06	0,68	0,11	-0,21	-0,33	0,38	1,00	0,74	-0,37	0,46	0,23	0,43
x_8 PRIB.	-0,19	0,40	-0,15	-0,18	-0,69	0,38	0,74	1,00	-0,26	0,67	0,31	0,22
x_9 IPP	0,06	-0,21	0,01	0,12	0,28	-0,39	-0,37	-0,26	1,00	-0,04	0,06	-0,36
x_{10} IPC	0,26	0,50	0,20	0,22	-0,25	0,35	0,46	0,67	-0,04	1,00	0,67	0,15
x_{11} IPC	0,49	0,44	0,62	0,63	0,17	0,01	0,23	0,31	0,06	0,67	1,00	0,27
x_{12} IPC	0,22	0,40	0,45	0,22	0,20	-0,10	0,43	0,22	-0,36	0,15	0,27	1,00

Tabulka 3.1: Korelační matice vybraných ukazatelů.

Kde	x_1	je cena uhlí	[EUR/t]
	x_2	je cena zemního plynu	[EUR/MWh]
	x_3	je cena ropy	[EUR/barel]

x_4	je cena mědi	[EUR/t]
x_5	je cena zlata	[EUR/oz]
x_6	je cena emisních povolenek	[EUR/ks]
x_7	je průměrný index spotřebitelských cen	[%]
x_8	je úroková hodnota PRIBOR	[%]
x_9	je index průmyslové výroby IPP	[mil. Kč]
x_{10}	jsou ceny nerostných surovin dle IPC	[mil. Kč]
x_{11}	jsou ceny zpracovatelského průmyslu dle IPC	[mil. Kč]
x_{12}	jsou ceny vody, úprav vod a rozvodů dle IPC	[mil. Kč]

Z potenciálních vstupních proměnných do modelu je vhodné vyřadit ty proměnné, které vykazují absolutní hodnotu korelace vyšší než 0,7. V tomto případě vzniká silná korelace mezi proměnnými x_3 , x_4 a x_7 , x_8 . S přihlédnutím k ostatním korelačním koeficientům daných proměnných se jeví jako nejvhodnější varianta vyřadit proměnné x_4 a x_7 , tedy cena mědi a index spotřebitelských cen nebudou vstupovat jako potenciální regresní koeficienty do modelu.

4 Vlastní ekonometrické modelování

Vlastní ekonometrický model obsahující vysvětlovanou proměnnou y , jako cenu silové elektřiny na trhu v České republice, byl sestaven v programu SPSS Statistics 25. Vysvětlující proměnné x_i vstupující do výsledného modelu byly vybrány na základě lineární regrese s nejlepšími výsledky za použití metody vstupu proměnných „stepwise“, „backward“ a „remove“. Dále byla použita metoda odvíjecí se od teoretického předpokladu, tedy růstu ceny elektřiny na základě růstu ceny pevně daných vysvětlujících proměnných neboli metoda „enter“. Závislost ceny silové elektřiny je zkoumána s měsíční periodou za desetileté období od roku 2006 do roku 2016. Prognóza ex post je provedena na hodnotách z roku 2017.

Za použití těchto metod bylo sestaveno 40 regresních modelů, ze kterých bylo vybráno 6 modelů s nejlepšími výsledky a z těchto šesti modelů byly posléze vybrány dva, u kterých byla provedena prognóza ex post a ex ante.

U vybraných modelů byla provedena statistická verifikace a kvantifikace pomocí softwaru Gretl, jejichž výsledky jsou popsány v následující podkapitole. Na základě této statistické verifikace jsou vybrány dva modely, které obsahují i kompletní ekonometrickou verifikaci potřebnou pro uskutečnění prognóz.

4.1 Sestavené regresní modely

Pomocí metody nejmenších čtverců a výše popsaných metod bylo sestaveno 6 lineárních regresních modelů \hat{y}_1 až \hat{y}_6 s následujícími vysvětlujícími proměnnými:

$$\hat{y}_1 = -9,159 + 0,233x_1 + 0,038x_2^2 - 0,001x_2^3 + 0,007x_5 - 0,496x_6 + 132x_6^2 - 0,004x_6^3 + 0,330x_8^3$$

$$\hat{y}_2 = 10,179 + 1,8 * 10^{-5}x_1^3 + 0,011x_2^2 + 0,008x_5 + 0,546x_6 + 0,382x_8^3$$

$$\hat{y}_3 = -66,441 + 0,213x_1 + 0,745x_2 + 0,047x_5 - 1,196 * 10^{-5}x_5^2 + 0,610x_6 + 6,405x_8 + 0,245x_9$$

$$\hat{y}_4 = -42,054 + 0,102x_1 + 0,066x_5 - 1,597 * 10^{-5}x_5^2 + 0,504x_6 + 8,567x_8$$

$$\hat{y}_5 = -35,224 + 6,75 * 10^{-6}x_1^3 + 0,004x_2^2 + 0,072x_5 - 1,792 * 10^{-5}x_5^2 + 0,451x_6 + 8,075x_8 - 0,067x_9$$

$$\hat{y}_6 = -39,110 + 6,422 * 10^{-6}x_1^3 + 0,068x_5 - 1,623 * 10^{-5}x_5^2 + 0,506x_6 + 8,673x_8$$

Kompletní výstup z programu SPSS Statistics je uveden v příloze. V následující tabulce je uvedena základní statistická verifikace modelů a intenzity závislostí.

Model	R	R ²	Reziduální rozptyl	Reziduální sm. odchylka	sm. odchylka regrese	F statistika
1.	0,897	0,804	3308	57,515	5,207	55,965
2.	0,878	0,771	3875	62,249	5,545	84,722
3.	0,890	0,792	3524	59,632	5,331	67,256
4.	0,965	0,931	664	25,768	2,297	339,859
5.	0,964	0,930	672	25,922	2,310	335,793
6.	0,971	0,944	541	23,259	2,089	297,323

Tabulka 4.1: Statistická verifikace a míry intenzity závislosti sestavených regresních modelů.

Pro další testování a pro použití prognózy ex post a ex ante byly vybrány modely č. 3 a 6. Model č. 3 byl vybrán z důvodu nejlepších ekonometrických výsledků, které jsou uvedeny dále, oproti ostatním modelům a model č. 6 byl vybrán z důvodu největší hodnoty koeficientu determinace.

Výsledný model by měl obsahovat přiměřený počet vysvětlujících proměnných. V ideálním případě by to mělo být 4 až 6 proměnných na model. Jeden z vybraných modelů má ale vysvětlujících proměnných sedm, avšak jak bylo výše řečeno, pro účely prognózy byly vybrány modely s nejlepší testovací statistikou a nevyšším koeficientem determinace.

4.2 Ekonomická verifikace vybraných modelů

Ekonomická verifikace spočívá v kvantitativní interpretaci vysvětlujících proměnných, které ovlivňují hodnotu vysvětlované proměnné. Třetí model ve tvaru:

$$\hat{y}_3 = -66,441 + 0,213x_1 + 0,745x_2 + 0,047x_5 - 1,196 * 10^{-5}x_5^2 + 0,610x_6 + 6,405x_8 + 0,245x_9$$

Lze následovně interpretovat:

- Zvýší-li se cena o 1 euro za tunu, zvýší se cena silové elektřiny o 0,213 EUR.
- Zvýší-li se cena zemního plynu o 1 euro za MWh, cena silové elektřiny se zvýší o 0,745 EUR
- Zvýší-li se cena zlata o 1 euro za trojskou unci, cena silové elektřiny se zvýší o 0,012 EUR.
- Zvýší-li se cena emisní povolenky o 1 euro za kus, zvýší se cena silové elektřiny o 0,610 EUR.
- Zvýší-li se hodnota PRIBOR o 1 %, cena silové elektřiny se zvýší o 6,405 EUR.
- Zvýší-li se hodnota IPP o 1 mil. Kč, cena silové elektřiny se zvýší o 0,245 EUR.

Na základě koeficientu determinace tento model vysvětluje 79,2 % změn vysvětlované proměnné.

Stejným způsobem se interpretuje i model č. 6 ve tvaru:

$$\hat{y}_6 = -39,110 + 6,422 * 10^{-6}x_1^3 + 0,068x_5 - 1,623 * 10^{-5}x_5^2 + 0,506x_6 + 8,673x_8$$

- Zvýší-li se cena uhlí o 1 euro za tunu, zvýší se cena silové elektřiny o 0,002 EUR.
- Zvýší-li se cena zlata o 1 euro za trojskou unci, zvýší se cena silové elektřiny o 0,021 EUR.
- Zvýší-li se cena emisní povolenky o 1 euro za kus, cena silové elektřiny se zvýší o 0,506 EUR.
- Zvýší-li se hodnota PRIBOR o 1 %, zvýší se cena silové elektřiny o 8,673 EUR.

Na základě koeficientu determinace tento model vysvětluje 94,4 % změn vysvětlované proměnné.

Oba dva modely splňují ekonomický předpoklad, že se zvýšením cen komodit se zvýší i cena samotné silové elektřiny na trhu. To samé platí i v případě dvou zahrnutých ekonomických ukazatelů, IPP a PRIBOR. V obou případech se zvýšením ukazatelů se zvýší i cena elektřiny.

Ve druhém modelu nemá cena uhlí takový vliv na změnu jako v prvním případě. Oproti tomu PRIBOR má velmi výrazný vliv na konečnou cenu silové elektřiny v obou případech. Ostatní vstupní proměnné mají přibližně stejné regresní koeficienty a jejich interval spolehlivosti je testován dále.

4.3 Statistická verifikace vybraných modelů

Výše uvedena tabulka 4.1 obsahuje základní statistickou verifikaci a míry intenzity závislostí, které jsou základem pro následující testování. Testování je prováděno na hladině významnosti 5 %, neboli s 95% pravděpodobností nedojde k chybné interpretaci hypotézy a interval spolehlivosti je také sestaven na hladině 5 %.

4.3.1 Interval spolehlivosti

Interval spolehlivosti je sestaven na hladině 5 % za použití Studentova t rozdělení se stupni volnosti 124 a 126 pro které je $t = 1,979$. Vypočtené hodnoty regresních koeficientů pro model 3 a 6 jsou obsaženy v následujících tabulkách.

Proměnná	Koeficient	Interval spolehlivosti	
Úrovňová konstanta	-66,441	-86,936	-45,945
x_1	0,213	0,125	0,300
x_2	0,745	0,498	0,991
x_5	0,047	0,020	0,073
x_5^2	$-1,196 \cdot 10^{-5}$	$-2,020 \cdot 10^{-5}$	$-3,721 \cdot 10^{-6}$
x_6	0,610	0,444	0,776
x_8	6,405	4,869	7,940
x_9	0,245	0,123	0,367

Tabulka 4.2: Interval spolehlivosti regresních koeficientů modelu č. 3.

Proměnná	Koeficient	Interval spolehlivosti	
Úrovňová konstanta	-39,110	-47,828	-30,393
x_1^3	$6,422 \cdot 10^{-6}$	$4,013 \cdot 10^{-6}$	$8,831 \cdot 10^{-6}$
x_5	0,068	0,057	0,078
x_5^2	$-1,623 \cdot 10^{-5}$	$-1,961 \cdot 10^{-5}$	$-1,284 \cdot 10^{-5}$
x_6^6	0,506	0,437	0,574
x_8	8,673	8,116	9,229

Tabulka 4.3: Interval spolehlivosti regresních koeficientů modelu č. 6.

Vypočtené regresní koeficienty se s 95% pravděpodobností nacházejí v intervalech uvedených v tabulce 4.2 a 4.3.

4.3.2 Test významnosti modelů

Test významnosti regresního modelu je proveden na základě koeficientu determinace za použití F statistiky.

- H_0 : Model je statisticky bezvýznamný
- H_1 : Model je statisticky významný

Model		Vypočtená F hodnota	Kritická F hodnota
3	df (7, 124)	67,256	4,199
6	df (5, 126)	297,323	6,069

Tabulka 4.4: Test významnosti modelů.

Vypočtené F hodnoty jsou vyšší než kritické hodnoty, na základě tohoto je nulová hypotéza zamítnuta a s 95% pravděpodobností lze modely považovat za statisticky významné.

4.3.3 Test významnosti regresních parametrů

Test významnosti regresních parametrů je proveden pomocí vzorce (2.45) a t statistiky se stupni volnosti 124 a 126 pro které je $t = 1,979$.

- H_0 : Parametr je statisticky bezvýznamný
- H_1 : Parametr je statisticky významný

	x_1	x_1^3	x_2	x_5	x_5^2	x_6	x_8	x_9
t hodnota modelu 3	4,832	-	5,983	3,470	-2,873	7,280	8,258	3,979
t hodnota modelu 6	-	5,276	-	12,510	-9,492	14,630	30,850	-

Tabulka 4.5: Test významnosti regresních parametrů.

Vypočtené t hodnoty uvedené v tabulce neleží v intervalu $< -1,979; 1,979 >$, tímto se zamítá nulová hypotéza a s 95% pravděpodobností jsou parametry statisticky významné.

4.3.4 Test specifikace modelu

K posouzení správnosti specifikace regresního modelu byl použit Ramseyuv RESET test s využitím F statistiky.

- H_0 : Model je správně specifikovaný
- H_1 : Model není správně specifikovaný

Model	Vypočtená F hodnota	Kritická F hodnota
3	1,551	3,921
6	0,787	3,921

Tabulka 4.6: RESET test správné specifikace modelů.

Vypočtené F hodnoty uvedené v tabulce jsou menší než kritická F hodnota. Na základě těchto hodnot není nulová hypotéza zamítnuta a 95% pravděpodobností jsou modely správně specifikovány.

4.4 Ekonometrická verifikace vybraných modelů

Ekonometrická verifikace spočívá v testování vybraných regresních modelů, zda splňují dané předpoklady a mohou být bez potíží využity pro prognózu. Testování je provedeno na hladině významnosti 5 %.

4.4.1 Test heteroskedasticity

K testu heteroskedasticity je využit Whiteův test za pomoci χ^2 statistiky se stupni volnosti 34 a 19. Hypotézy jsou definovány následovně:

- H_0 : Náhodná složka je homoskedastická
- H_1 : Náhodná složka je heteroskedastická

Model	Hodnota $n \cdot R_p^2$	Kritická χ^2 hodnota
3	42,903	48,600
6	26,204	30,140

Tabulka 4.7: Testování heteroskedasticity.

Vypočtené hodnoty koeficientu determinace pomocných regresních modelů jsou menší než kritická hodnota. Tímto se zamítá alternativní hypotéza H_1 a náhodná složka je s 95% pravděpodobností homoskedastická.

4.4.2 Test autokorelace

Testování autokorelace je provedeno pomocí Durbin-Watsonovy statistiky, při které není určena nulová hypotéza a rozhodnutí o autokorelaci je provedeno na základě hodnoty v intervalu (kap. 2.3.7).

Model	Hodnota d	Dolní mez d_D	Horní mez d_H
3	1,723	1,530	1,693
6	0,952	1,557	1,693

Tabulka 4.8: Test autokorelace.

Hodnota d u modelu 3 leží v intervalu $<d_H; 2>$ a jedná se tedy o bezvýznamnou pozitivní autokorelaci. Hodnoty náhodných složek jsou nezávislé.

V případě druhého testovaného modelu leží hodnota d v intervalu $<0; d_D>$ která značí pozitivní autokorelaci. Tato autokorelace může být způsobena cyklickými změnami trendu, které jsou výraznější v časových řadách jenž jsou použity v tomto regresním modelu.

4.4.3 Test multikolinearity

Problematika kolinearity, resp. multikolinearity je vysvětlena v kap. 3.10 věnující se vzájemné závislosti mezi vysvětlujícími proměnnými. Korelační matice odhalila vzájemné závislosti a příslušné proměnné byly vyřazeny a nezasahují do ekonometrického modelování. Vstupující proměnné lze tedy považovat za lineárně nezávislé.

5 Prognóza pomocí sestavených modelů

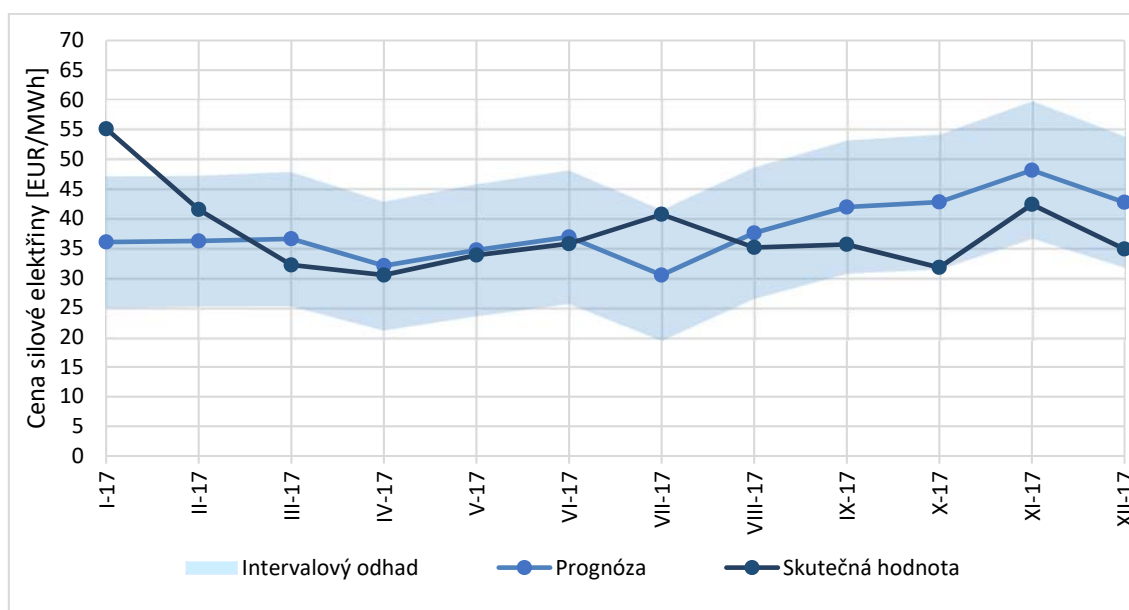
Hlavním cílem sestavení regresních modelů je provedení prognózy ex post a ex ante. V rámci ex post prognózy je provedeno zhodnocení prognostických vlastností a kvality vybraných modelů za účelem ex ante prognózy pro rok 2018.

5.1 Prognóza ex post

Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny na trhu za rok 2017 byla provedena pomocí modelů 3 a 6 a je znázorněna v následujících tabulkách a grafech, které obsahují skutečnou hodnotu, prognózu a intervalový odhad s 95% pravděpodobností.

Období	Skutečná hodnota	Prognóza	Dolní interval	Horní interval	Směrodatná chyba
Leden	55,12	36,04	25,02	47,05	5,564
Únor	41,52	36,22	25,28	47,16	5,527
Březen	32,18	36,58	25,32	47,83	5,685
Duben	30,48	32,05	21,27	42,84	5,446
Květen	33,83	34,69	23,64	45,75	5,586
Červen	35,76	36,89	25,71	48,06	5,647
Červenec	40,70	30,48	19,54	41,42	5,528
Srpen	35,12	37,56	26,56	48,57	5,560
Září	35,64	41,93	30,78	53,08	5,633
Říjen	31,76	42,77	31,48	54,07	5,708
Listopad	42,38	48,14	36,62	59,66	5,821
Prosinec	34,86	42,73	31,75	53,71	5,546

Tabulka 5.1: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 3 [MWh/EUR].



Graf 5.1: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 3.

Předpověď ceny silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 3 se velmi blíží skutečné hodnotě až na několik výkyvů. První z nich je v lednu 2017, který je i mimo předpovídaný interval. Předpověď ceny elektřiny je 36,04 EUR/MWh, avšak skutečná hodnota je 55,12 EUR/MWh. S ohledem na sestavený model a jeho vstupní proměnné je to způsobeno zvýšenou cenou zemního plynu, kdy se cena zvýšila o 15,25 %. Jelikož se jedná o zimní měsíc, důvodem mohlo být chladné počasí. Průměrná teplota v prosinci 2016 byla 0,1 °C, v lednu 2017 byla průměrná teplota -5,8 °C. To mohlo způsobit náhlé zvýšení cen zemního plynu. Dalším důvodem mohla být pokračující Rusko-Ukrajinská krize, jelikož Ukrajina je i nadále hlavním tranzitem pro zemní plyn a v lednu 2017 podala ukrajinská vláda žalobu proti Rusku u mezinárodního soudního dvora. Tento akt mohl na trhu se zemním plynem způsobit spekulace, které zapříčinily zvýšení cen zemního plynu.

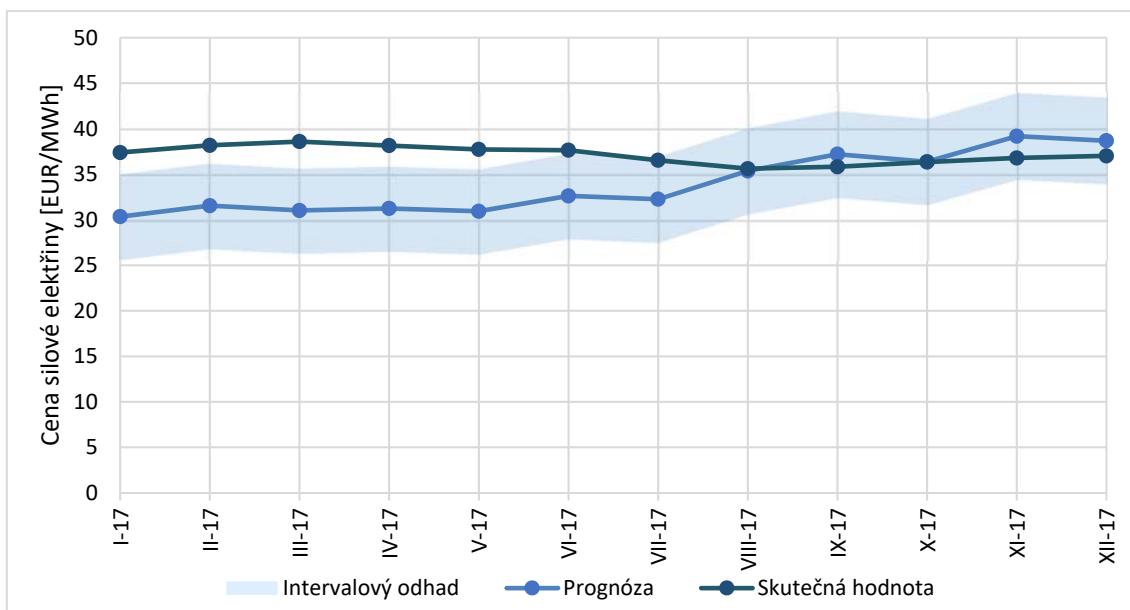
Skutečné ceny silové elektřiny se poté pohybovaly pouze v předpovídaném intervalu cen. Největší rozdíl mezi předpovědí a skutečnou hodnotou v rámci intervalu cen nastává v červenci a říjnu. V červenci je skutečná cena o 10 EUR/MWh vyšší než prognózovaná cena. Důvodem mohlo být opět počasí, kdy v letních dnech byla zvýšená spotřeba elektřiny v rámci používaných klimatizačních jednotek. Z pohledu vstupních proměnných nebyl v tomto měsíci zaznamenán výrazný nárůst hodnot. Opakem je říjen, kdy předpověď ceny elektřiny je o 11 EUR/MWh vyšší než skutečná hodnota. Důvodů mohlo být opět několik, ale z hlediska vstupních hodnot nedochází k výraznému navýšení či snížení.

Až na výše zmíněné výchyly trend předpovídané ceny silové elektřiny kopíruje trend skutečné ceny a předpověď lze považovat za přijatelnou. Kvantitativní zhodnocení předpovědi je uvedeno na konci kapitoly.

Hodnoty prognózy ex post za pomocí modelu 6 jsou znázorněny v následující tabulce a grafu.

Období	Skutečná hodnota	Prognóza	Dolní interval	Horní interval	Směrodatná chyba
Leden	37,39	30,34	25,66	35,03	2,366
Únor	38,17	31,55	26,88	36,22	2,36
Březen	38,59	31,02	26,37	35,67	2,351
Duben	38,15	31,24	26,61	35,87	2,34
Květen	37,73	30,93	26,28	35,57	2,346
Červen	37,64	32,62	27,94	37,31	2,368
Červenec	36,54	32,26	27,56	36,97	2,375
Srpen	35,61	35,36	30,65	40,07	2,38
Září	35,82	37,2	32,47	41,92	2,386
Říjen	36,34	36,37	31,67	41,08	2,376
Listopad	36,79	39,18	34,43	43,93	2,4
Prosinec	37,01	38,68	33,94	43,41	2,39

Tabulka 5.2: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 6 [EUR/MWh].



Graf 5.2: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 6.

Prognóza pomocí modelu 6 se více vychyluje od skutečných hodnot než model 3. V měsících leden až květen je skutečná cena silové elektřiny mimo intervalový odhad. Rozdíl mezi skutečnou a předpovídanou cenou je přibližně 7 EUR/MWh. Od června až do prosince je již skutečná cena silové elektřiny v intervalovém odhadu a rozdíl oproti předpovídané hodnotě je minimální. Důvody vychýlení od skutečných hodnot v první polovině roku mohou být dva, ekonometrický a ekonomický.

Ekonomickým důvodem mohlo být snížení cen emisních povolenek v první polovině roku 2017 důsledkem přesycení trhu. Cena emisních povolenek poklesla o 12,22 % oproti předchozím měsícům. Z pohledu regresního modelu toto snížení zapříčinilo i pokles prognózované ceny, avšak skutečná cena byla vyšší. Důvodem mohlo být předzásobování povolenkami na zimní období roku 2016/2017 a provozovatelé neměli důvod snižovat cenu elektrické energie z důvodu poklesu cen povolenek.

Ekonometrickou příčinou mohla být úprava vstupních dat z hlediska sezonních cyklů. Z testování v kapitole 4.4 vyšlo najevo, že model 6 je zatížen autokorelací. Díky tomuto se může předpověď vychylovat od skutečných hodnot i přes velkou hodnotu koeficientu determinace, který udává míru vysvětlení změn zkoumané veličiny, v tomto případě ceny silové elektřiny.

5.1.1 Zhodnocení prognózy ex post

Kvantitativní zhodnocení kvality prognózy je provedeno pomocí střední kvadratické chyby, střední procentuální chyby a Theilova koeficientu, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Model	Střední procentuální chyba	Střední kvadratická chyba	Theilův koeficient
3	0,039	65,24	0,212
6	-0,090	24,89	0,134

Tabulka 5.3: Hodnocení kvality ex post prognózy silové elektřiny pro rok 2017

Střední procentuální chyba je v obou případech nízká. Model 3 udává dle této chyby nadhodnocené prognózy, které jsou o 3,9 % vyšší než skutečná hodnota. Oproti tomu model 6 udává podhodnocené prognózy, přesněji jsou průměrně o 9 % nižší. Z hlediska těchto chyb lze modely považovat za přijatelné.

Theilův koeficient udává míru nepřesnosti se skutečnými hodnotami. V případě modelu 3 je tato hodnota 0,212 a čím menší je tato hodnota, tím má model lepší predikční schopnosti. Model 6 má v tomto případě lepší výsledek i přes své nedostatky a vychýlení uvedené předchozí kapitole. Dle Theilova koeficientu lze považovat oba dva modely za vhodné k prognóze ex ante.

5.2 Prognóza ex ante

Pro prognózování ex ante je nutné odhadnout všechny vysvětlující proměnné vstupující do regresního modelu, aby mohl být proveden výpočet zkoumané veličiny. Toho lze docílit dvěma způsoby. Prvním z nich je odhadnutí vysvětlujících proměnných pomocí procentuální změny oproti minulému období. Tím lze zahrnout určitý trend vývoje dané komodity, ale nelze tím obsáhnout náhodné výkyvy. Druhý způsob je založen na použití expertních odhadů vývoje dané komodity neboli pomocí vnější analýzy.

5.2.1 Prognóza ex ante na základě expertního odhadu

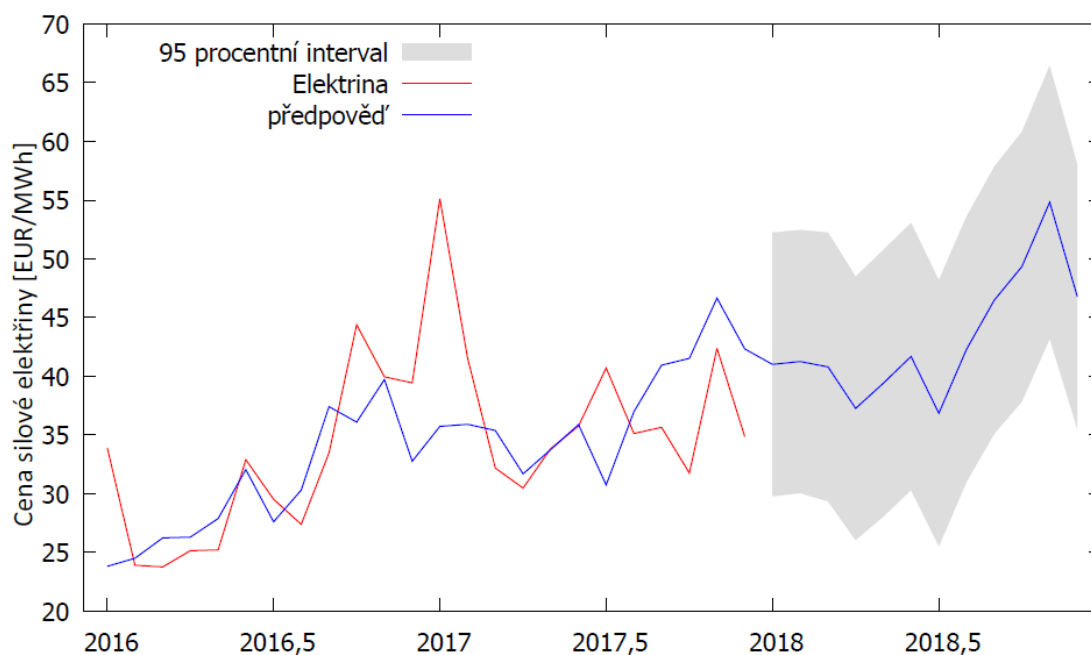
Expertní odhady byly převzaty od České národní banky, Českého statistického úřadu, Světové banky a agentury Reuters. Dle těchto institucí je vývoj daných komodit pro rok 2018 následující, v závorce je uveden zdroj předpovědi.

- Cena uhlí poklesne o 4 % (Světová banka)
- Cena zemního plynu vzroste o 2,5 % (agentura Reuters)
- Cena zlata poklesne o 1,3 % (agentura Reuters)
- Index IPP vzroste o 0,2 % (ČSÚ)
- Hodnota PRIBOR poroste až na hodnotu 1,2 % (ČNB)
- Cena povolenek vzroste o 39 % (agentura Reuters)

Na základě těchto hodnot byla provedena ex ante prognóza cen silové elektřiny za rok 2018 pomocí modelu 3 a 6, která je uvedena v následujících tabulkách a grafech.

Období	Prognóza	Dolní interval	Horní interval	Směrodatná chyba
Leden	41,01	29,78	52,24	5,68
Únor	41,25	30,05	52,45	5,66
Březen	40,80	29,36	52,24	5,79
Duben	37,27	26,05	48,48	5,67
Květen	39,41	28,06	50,76	5,74
Červen	41,69	30,31	53,06	5,75
Červenec	36,85	25,53	48,17	5,72
Srpen	42,29	31,00	53,58	5,71
Září	46,48	35,12	57,84	5,74
Říjen	49,34	37,86	60,82	5,81
Listopad	54,82	43,22	66,43	5,87
Prosinec	46,77	35,51	58,03	5,69

Tabulka 5.4: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 3 [EUR/MWh]



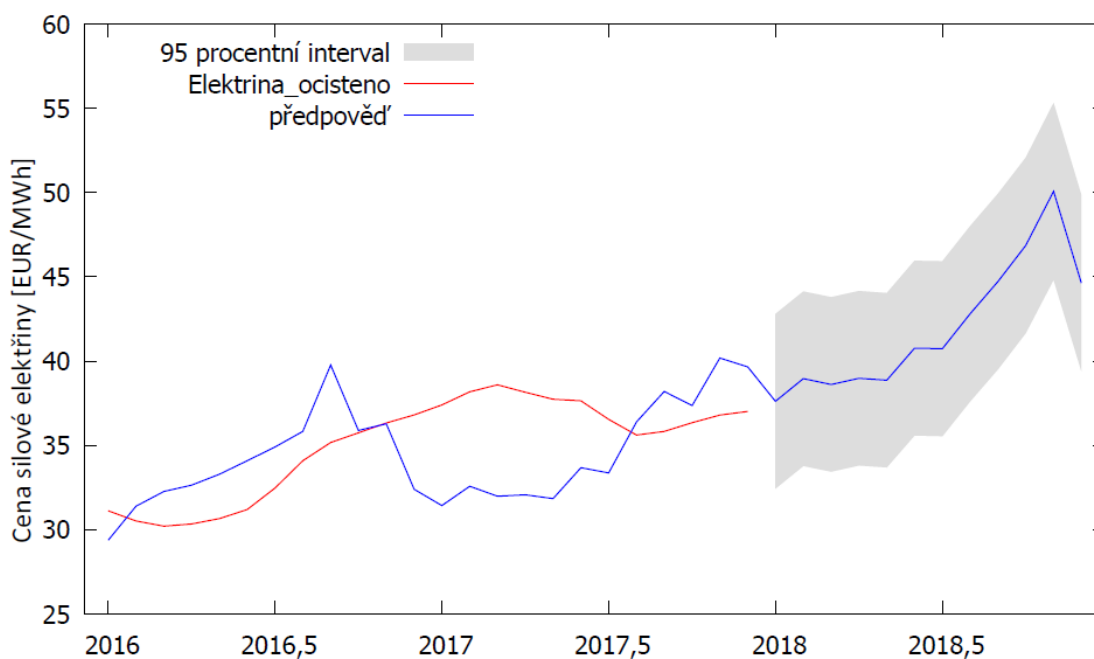
Graf 5.3: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 3

Na základě této prognózy je průměrná cena elektrické energie 43,16 EUR/MWh za rok 2018. Nejvyšší hodnoty je dosaženo v listopadu, kdy je cena 54,82 EUR/MWh a poté cena klesá. Nejnižší cena je v červenci na hodnotě 36,85 EUR/MWh.

Podobných výsledků je dosaženo pomocí modelu 6:

Období	Prognóza	Dolní interval	Horní interval	Směrodatná chyba
Leden	37,61	32,43	42,79	2,62
Únor	38,95	33,77	44,13	2,62
Březen	38,61	33,43	43,78	2,62
Duben	38,98	33,80	44,15	2,62
Květen	38,86	33,69	44,04	2,62
Červen	40,77	35,58	45,95	2,62
Červenec	40,73	35,54	45,92	2,62
Srpen	42,80	37,60	48,00	2,63
Září	44,72	39,51	49,93	2,63
Říjen	46,86	41,65	52,06	2,63
Listopad	50,07	44,82	55,31	2,65
Prosinec	44,63	39,42	49,85	2,64

Tabulka 5.5: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 6 [EUR/MWh]



Graf 5.4: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 6

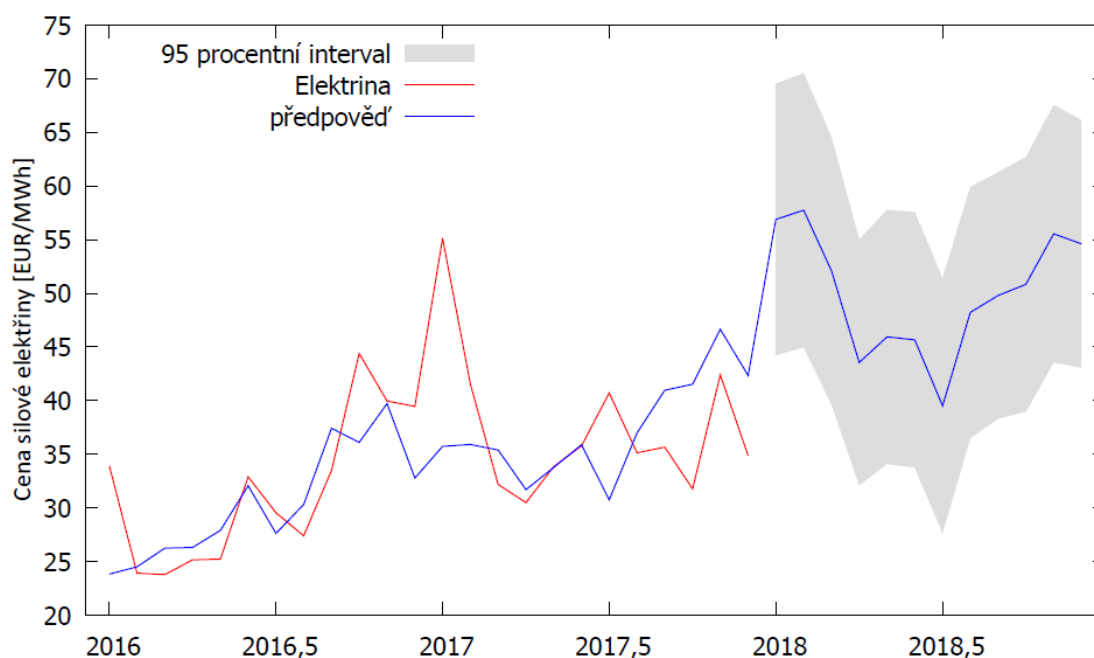
Předpověď pomocí modelu 6 předpokládá růst ceny silové elektřiny až do listopadu 2018 kdy dosáhne svého maxima 50 EUR/MWh, poté cena klesne stejně jako v předchozí prognóze. Průměrná cena za rok 2018 je 41,97 EUR/MWh. Minimální cena 37,61 EUR/MWh je na začátku prognózovaného období.

5.2.2 Prognóza ex ante na základě procentuální změny

Stejným způsobem jako expertní odhad je sestavena ex ante předpověď s použitím procentuální změny oproti minulému období. K přepočtu vysvětlujících proměnných byly použity změny mezi roky 2016 a 2017. Dále jsou uvedeny pouze výsledky prognózy a přepočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze.

Období	Prognóza	Dolní interval	Horní interval	Směrodatná chyba
Leden	56,88	44,22	69,55	6,40
Únor	57,74	44,97	70,50	6,45
Březen	52,09	39,64	64,53	6,29
Duben	43,54	32,09	54,98	5,78
Květen	45,94	34,09	57,78	5,98
Červen	45,66	33,76	57,56	6,01
Červenec	39,50	27,63	51,38	6,00
Srpen	48,22	36,51	59,92	5,91
Září	49,79	38,31	61,27	5,80
Říjen	50,83	38,95	62,70	6,00
Listopad	55,55	43,55	67,54	6,06
Prosinec	54,61	43,07	66,15	5,83

Tabulka 5.6: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 3 [EUR/MWh]



Graf 5.5: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 3

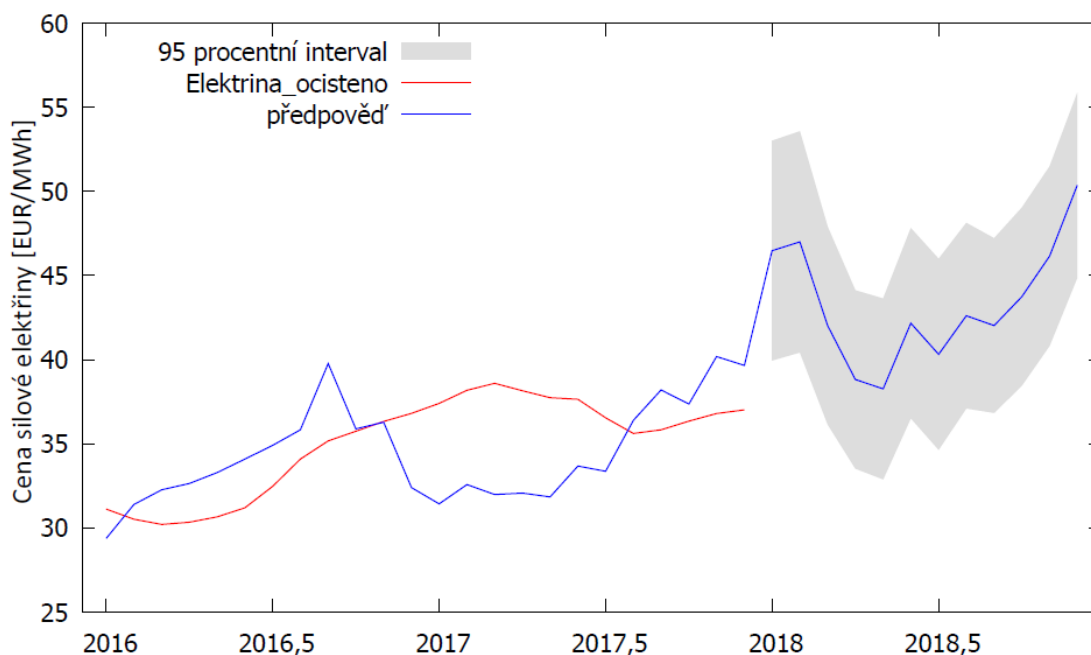
Prognóza ex ante na základě procentuální změny se již na první pohled liší od expertního odhadu. V předchozích prognózách byl určitý trend, který zde chybí a cena silové elektřiny je velmi proměnlivá

s určitými cykly. Průměrná cena za rok 2018 je 50,03 EUR/MWh. Maxima je dosaženo v únoru při hodnotě 57,74 EUR/MWh. Minimální cena je 39,50 EUR/MWh v červenci, což odpovídá klasickým předpokladům o ceně elektřiny v letních měsících.

Pro model 6 jsou výsledky předpovědí následující.

Období	Prognóza	Dolní interval	Horní interval	Směrodatná chyba
Leden	46,47	39,94	53,00	3,30
Únor	46,99	40,42	53,56	3,32
Březen	42,01	36,14	47,89	2,97
Duben	38,82	33,52	44,11	2,68
Květen	38,26	32,88	43,63	2,72
Červen	42,16	36,51	47,82	2,86
Červenec	40,31	34,64	45,99	2,87
Srpen	42,61	37,09	48,12	2,79
Září	42,02	36,83	47,21	2,62
Říjen	43,74	38,45	49,03	2,68
Listopad	46,15	40,82	51,48	2,70
Prosinec	50,36	44,86	55,85	2,78

Tabulka 5.7: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 6 [EUR/MWh]



Graf 5.6: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 6

Stejně jako v předchozím případě i zde dochází k nárůstu ceny elektřiny na začátku prognózovaného období, který je následován poklesem až na minimální hodnotu 38,26 EUR/MWh. Maximální hodnoty 50,36 EUR/MWh je dosaženo v prosinci. Průměrná cena elektřiny za rok 2018 je 43,32 EUR/MWh.

5.2.3 Porovnání výsledků prognóz ex ante

Zhodnocení, jaká forma prognózy je přesnější, není v tuto chvíli možné už z její podstaty, lze však alespoň zjištěné hodnoty porovnat mezi sebou.

Model	Expertní odhad		Procentuální změna	
	3	6	3	6
Maximální hodnota [EUR/MWh]	54,82 listopad	50,07 listopad	57,74 únor	50,36 prosinec
Minimální hodnota [EUR/MWh]	36,85 červenec	37,61 leden	39,50 červenec	38,26 květen
Průměrná hodnota [EUR/MWh]	43,16	41,97	50,03	43,32

Tabulka 5.8: Porovnání výsledků předpovědí cen silové elektřiny pro rok 2018

Z tabulky vyplývá že sestavené prognózy se od sebe příliš neliší. Rozdíl nastává až při pohledu na předchozí grafy, kde rozložení ceny silové elektřiny během roku je rozdílné. Model 3 při expertním odhadu vysvětlujících proměnných vykazuje maximální hodnoty v listopadu, oproti tomu prognóza založená na procentuální změně vykazuje své maximum na začátku sledovaného období. Minimální cena je však ve stejném měsíci, a to v červenci. Průměrná cena silové elektřiny je rozdílná o 7 EUR/MWh což vzhledem k úrovni ceny elektřiny je velký rozdíl.

Model 6 má v obou případech rostoucí trend s několika málo výkyvy. Maximální hodnota je téměř ve stejném období, s rozdílem pouze jeden měsíc. Minimální cena se liší už zásadněji, kdy v případě expertního odhadu připadá na leden a u druhého v květnu. Minimální cena elektrické energie v zimním měsíci lze považovat za neobvyklou. Průměrná cena elektřiny je téměř totožná, a to s rozdílem 2 EUR/MWh.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo provést analýzu ceny silové elektřiny na trhu v České republice v letech 2006 až 2016 s následnou prognózou ceny této komodity na rok 2018. Celá tato problematika byla rozdělena do několika částí.

První část byla věnována základnímu popisu fungování trhu s elektrickou energií. Tento trh je rozdělen na dvě základní části, a to na velkoobchodní a maloobchodní trh. Právě velkoobchodní trh s elektrickou energií, který není regulován ze strany státu, byl hlavním místem analýzy cen v této práci. Celkový vývoj ceny byl poznamenán několika událostmi, především dvěma ekonomickými recesemi způsobující náhlé zvýšení ceny a dále celoevropským trendem „zelené energie“ za posledních pět let, který napomáhal snižovat cenu silové elektřiny v dlouhodobém měřítku. Vývoj ceny byl také porovnán s vývojem HDP České republiky, kde je patrný vliv zmíněné recese, a s vývojem instalovaného výkonu poukazujícího na vliv solárních a větrných elektráren. I přes vliv obnovitelných zdrojů elektrické energie bylo v roce 2016 pozorováno mírné zvýšení ceny silové elektřiny oproti předchozím rokům a tento trend nadále pokračoval v roce 2017 i z těchto důvodů byla provedena prognóza na rok 2018.

Pro účely analýzy a prognózy bylo nutné sestavit ekonometrický model na jehož základě lze pozorovat hlavní vlivy na cenu elektřiny a provést prognózu ex post a ex ante. Metodika ekonometrického modelování byla popsána ve druhé části této práce. Pro potřeby dané práce bylo použito lineární regresní modelování za použití odhadové metody nejmenších čtverců.

Vývoj ceny silové elektřiny je ovlivněn mnoha faktory, pro účely vlastního regresního modelování bylo vybráno celkově dvanáct ukazatelů, které byly analyzovány ve stejném časovém měřítku jako zkoumaná elektrická energie. Mezi tyto vysvětlující proměnné patří ceny uhlí, zemního plynu, ropy, zlata, mědi a emisních povolenek. Dále ukazatelé inflace, indexu průmyslové výroby a cen průmyslových výrobců. Posledním ukazatelem je úrokový index PRIBOR. Všechny tyto ukazatele byly vzájemně porovnány pomocí párového korelačního koeficientu. Na základě korelačního koeficientu byly odebrány z modelování ceny mědi a inflace. Pokud by byly v modelování ponechány, způsobilo by to nepřesnost při použití odhadové funkce, a i následná prognóza by byla nevyhovující z hlediska přesnosti.

Za použití softwaru SPSS Statistics bylo vytvořeno šest základních regresních modelů, lišících se v použité metodě sestavování, a především ve využitých vysvětlujících proměnných. Z těchto šesti byly vybrány dva. První z nich, model č. 3, byl vybrán z důvodu dobrých výsledků při ekonometrické verifikaci a druhý model pod číslem 6 byl vybrán z důvodu vysoké hodnoty koeficientu determinace. Model 3 vysvětluje změny cen silové elektřiny pomocí vysvětlujících proměnných mezi které patří cena uhlí, zemního plynu, zlata, emisních povolenek a ukazatelé PRIBOR a IPP. Model číslo 6 poté vysvětluje změny pomocí ceny uhlí, zlata, emisních povolenek a ukazatele PRIBOR. Právě PRIBOR má jeden z největších vlivů na celkovou cenu, i při malé jednoprocenní změně se cena silové elektřiny

výrazně zvýší. Podobný vliv má i cena uhlí. V obou případech jsou tyto vlivy ekonomicky opodstatněné. V případě uhlí se jedná o hlavní palivovou surovinu v uhelných elektrárnách a jelikož uhelné elektrárny tvoří přes polovinu instalovaného výkonu v České republice, ovlivňují tím i cenu elektrické energie na trhu. PRIBOR je hlavním zdrojem úrokových sazeb, elektrárny jsou ve většině případů dlouhodobě financovány pomocí úvěrů a tímto je ovlivňována konečná cena silové elektřiny. Podobný vliv má i cena emisních povolenek, protože i přes trend zelené energie jsou stále klasické zdroje v převaze. Při analýze vývoje ceny silové elektřiny byla vyslovena hypotéza, že cena elektřiny je ovlivněna cenou ropy, jakožto hlavní průmyslovou komoditou, avšak výsledné modely vliv ropy nezahrnují a ze statistického hlediska je cena ropy bezvýznamná. Z hlediska ekonometrické verifikace oba modely splňovaly veškeré podmínky, pouze model 6 vykazuje autokorelaci, která však může být způsobena druhem použitých dat.

Na základě dvou hlavních regresních modelů byla sestavena prognóza ex post cen silové elektřiny na rok 2017. Z výsledků prognózy vyplynulo, že oba modely jsou vhodné i k použití prognózy ex ante. Model 3 udává lehce nadhodnocené výsledky, naopak model 6 udává podhodnocené výsledky, avšak obě prognózy mají stejný trend jako skutečná cena silové elektřiny. Následná prognóza ex ante na rok 2018 byla provedena na základě expertního odhadu vysvětlujících proměnných a procentuální změny vysvětlujících proměnných mezi roky 2016/2017. Výsledky obou prognóz udávají pokračující rostoucí trend ceny silové elektřiny. Rozdíl je pouze v průběhu tohoto vývoje, kdy prognóza na základě procentuální změny více reflektuje cyklické změny v průběhu roku. Oproti tomu prognóza na základě expertního odhadu předpovídá pouze určitý trend vývoje ceny silové elektřiny. Lze tedy předpokládat i nadále rostoucí trend v příštích letech, pokud nenastane významná ekonomická změna.

Z výsledků práce lze usuzovat, že analýza ceny silové elektřiny, a především její prognóza, je vcelku problematická, protože výslednou cenu neovlivňují pouze používaná paliva a elektrotechnické materiály, ale i různé ekonomické ukazatele a mimo jiné i stav elektrárenské soustavy. Z tohoto hlediska je velmi obtížné zvolit správné proměnné, které vstupují do modelu, aby výsledný model co nejpřesněji odrážel skutečnost. Při prognóze se vyskytuje další problém a tím je nepředvídatelný vývoj ekonomiky, který zamezuje prognózovat jakoukoliv veličinu v dlouhodobém horizontu. Ale i přes tyto problémy lze sestavit adekvátní a nezkrácený model a prognózovat přibližný vývoj alespoň v krátkodobém horizontu jako v případě této práce.

Literatura

Knižní zdroje

- [1] **Kolektiv autorů.** *Úvod do liberalizované energetiky: Trh s elektřinou.* Praha : Asociace energetických manažerů, 2016. ISBN 978-80-260-9212-4.
- [2] **Chemišinec, Igor, a další.** *Obchod s elektřinou.* Praha : Conte, 2010. ISBN 978-80-254-6695-7.
- [4] **Sb., Zákon č. 180/2005.** o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů).
- [6] **Fialová, Helena a Fiala, Jan.** *Ekonomický výkladový slovník.* Praha : A plus, 2011. ISBN 978-80-903804-5-5.
- [7] **Hušek, Roman.** *Ekonometrická analýza.* Praha: Oeconomica, 2007. ISBN 978-80-245-1300-3.
- [8] **Kaňok, Miloslav.** *Statistické metody v managementu.* Praha : ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02539-X.
- [18] **Košťál, Michal.** Výpočet dlouhodobých nákladů zdrojů elektřiny. Praha : 2016. Bakalářská práce (Bc.). ČVUT, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd, 26.5.2016.

Elektronické zdroje

- [3] **Mints, Paula.** Solar Power Myths and the Saving Grace of a Worthwhile Cause. *RenewableEnergyWorld.com.* [Online] 10. 12 2012. [Citace: 19. 11 2017.] Dostupné z: <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2012/12/12-solar-power-myths-and-the-saving-grace-of-a-worthwhile-cause.html>>.
- [5] **AGEE.** Net installed electricity generation capacity in Germany. *Energy-charts.de.* [Online] 2. 1 2017. [Citace: 18. 11 2017.] Dostupné z: <https://www.energy-charts.de/power_inst.htm>.
- [9] **Trading Economics.** Coal. *Trading Economics.* [Online] 11. 3 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <<https://tradingeconomics.com/commodity/coal>>.
- [10] **Cinert, Vojtěch.** Co přispělo k růstu cen uhlí. *W4T.* [Online] W4T, 4. 10 2016. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <<https://www.w4t.cz/co-prispelo-k-rustu-cen-uhli-odpoved-je-jednoducha/>>.
- [11] **OTE, a.s.** Roční zpráva. *OTE-cr.* [Online] 16. 1 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <<http://www.otecr.cz/statistika/rocni-zprava>>.

-
- [12] **EIA**. Petroleum and other liquids. *U.S. Energy Information Administration*. [Online] 16. 2 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <<https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler>>
- [13] **Ycharts**. Copper Price. *Ycharts*. [Online] 1. 3 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <https://ycharts.com/indicators/copper_price>.
- [14] **Ycharts**. UK Gold Price. *Ycharts*. [Online] 1. 3 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <https://ycharts.com/indicators/uk_gold_price>.
- [15] *Obchodování s emisemi skleníkových plynů*. **Strecker, Ondřej**. Praha : ČEZ, a.s., 2015.
- [16] **European Energy Exchange**. Results EUA Primary Auction Spot. *EEX*. [Online] 12. 12 2017. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <<https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction/european-emission-allowances-auction-download>>.
- [17] **Český statistický úřad**. Inflace, spotřebitelské ceny - Publikace. *czso*. [Online] 2. 14 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/inflace-spotrebitelske-ceny>>.
- [19] **Česká národní banka**. Datové droje. *ARAD systém časových řad*. [Online] 2018. [Citace: 11. 3 2018.] Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cnb/STAT.ARADY_PKG.DATOVE_ZDROJE>.
- [20] **Český statistický úřad**. *Index průmyslové produkce*. [PDF] Praha : ČSÚ, 2015.
- [21] **Český statistický úřad**. *Ceny průmyslových výrobců*. [PDF] Praha : ČSÚ, 2015.

Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Korelační matice vybraných ukazatelů	55
Tabulka 4.1: Statistická verifikace a míry intenzity závislostí sestavených regresních modelů	58
Tabulka 4.2: Interval spolehlivosti regresních koeficientů modelu č. 3	59
Tabulka 4.3: Interval spolehlivosti regresních koeficientů č. 6	59
Tabulka 4.4: Test významnosti modelů	60
Tabulka 4.5: Test významnosti regresních parametrů modelů	60
Tabulka 4.6: RESET test správné specifikace modelů	61
Tabulka 4.7: Testování heteroskedasticity	61
Tabulka 4.8: Test autokorelace	62
Tabulka 5.1: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 3	63
Tabulka 5.2: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 6	64
Tabulka 5.3: Hodnocení kvality ex post prognózy silové elektřiny pro rok 2017	66
Tabulka 5.4: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 3	67
Tabulka 5.5: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 6	68
Tabulka 5.6: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 3	69
Tabulka 5.7: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 6	70
Tabulka 5.8: Porovnání výsledků předpovědí cen silové elektřiny pro rok 2018	71

Seznam grafů

Graf 1.1: Měsíční vývoj ceny silové elektřiny v letech 2006 až 2016	20
Graf 1.2: Roční vývoj ceny silové elektřiny v letech 2006 až 2016	21
Graf 1.3: Porovnání ceny silové elektřiny s výrobou elektřiny v letech 2006 až 2016	22
Graf 1.4: Porovnání ceny silové elektřiny s instalovaným výkonem v letech 2006 až 2016	22
Graf 1.5: Porovnání vývoje HDP ČR a ceny silové elektřiny	23
Graf 2.1: Grafické znázornění metody nejmenších čtverců	32
Graf 3.1: Vývoj ceny ARA uhlí na trhu v letech 2006-2016	47
Graf 3.2: Vývoj ceny zemního plynu v letech 2006-2016	48
Graf 3.3: Vývoj ceny ropy Brent v letech 2006-2016	49
Graf 3.4: Vývoje ceny mědi a zlata v letech 2006-2016	50
Graf 3.5: Vývoj ceny emisních povolenek v letech 2006-2016	51
Graf 3.6: Vývoj indexu spotřebitelských cen v letech 2006-2016	52
Graf 3.7: Vývoj PRIBOR v letech 2006-2016	53
Graf 3.8: Vývoj IPP v letech 2006-2016	54
Graf 3.9: Vývoj vybraných cen průmyslových výrobců v letech 2006-2016	54
Graf 5.1: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 3	63
Graf 5.2: Prognóza ex post měsíčních cen silové elektřiny za rok 2017 pomocí modelu 6	65
Graf 5.3: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 3	67
Graf 5.4: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě expertního odhadu pomocí modelu 6	68
Graf 5.5: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 3	69
Graf 5.6: Ex ante prognóza měsíčních cen silové elektřiny pro rok 2018 na základě procentuální změny pomocí modelu 6	70

Seznam příloh

Příloha 1: Kompletní výstup modelu 1	78
Příloha 2: Kompletní výstup modelu 2	79
Příloha 3: Kompletní výstup modelu 3	80
Příloha 4: Kompletní výstup modelu 4	81
Příloha 5: Kompletní výstup modelu 5	82
Příloha 6: Kompletní výstup modelu 6	83

Přílohy

Příloha 1: Kompletní výstup modelu 1

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,897 ^a	,804	,790	5,207911461

a. Predictors: (Constant), Povolenky_kvadrat, Uhli, Zemni_plyn_kubicke, IPP_kubicke, PRIBOR_kubicke, Zlato, Povolenky, Zemni_plyn_kvadrat, Povolenky_kubicke

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13595,170	9	1510,574	55,695	,000 ^b
	Residual	3308,926	122	27,122		
	Total	16904,096	131			

a. Dependent Variable: Elektrina

b. Predictors: (Constant), Povolenky_kvadrat, Uhli, Zemni_plyn_kubicke, IPP_kubicke, PRIBOR_kubicke, Zlato, Povolenky, Zemni_plyn_kvadrat, Povolenky_kubicke

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-9,159	4,991		-1,835	,069
	Uhli	,233	,047	,293	4,980	,000
	Zemni_plyn_kvadrat	,038	,015	,769	2,580	,011
	Zemni_plyn_kubicke	-,001	,000	-,509	-1,698	,092
	Zlato	,007	,002	,221	2,867	,005
	Povolenky	-,496	,834	-,295	-,594	,553
	IPP_kubicke	8,243E-6	,000	,165	3,326	,001
	PRIBOR_kubicke	,330	,054	,506	6,106	,000
	Povolenky_kubicke	-,004	,002	-1,451	-2,075	,040
	Povolenky_kvadrat	,132	,075	2,060	1,755	,082

a. Dependent Variable: Elektrina

Příloha 2: Kompletní výstup modelu 2

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,878 ^a	,771	,762	5,545849506

a. Predictors: (Constant), PRIBOR_kubicke, Uhli_kubicke, Povolenky, Zemni_plyn_kvadrat, Zlato

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13028,783	5	2605,757	84,722	,000 ^b
	Residual	3875,312	126	30,756		
	Total	16904,096	131			

a. Dependent Variable: Elektrina

b. Predictors: (Constant), PRIBOR_kubicke, Uhli_kubicke, Povolenky, Zemni_plyn_kvadrat, Zlato

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	10,179	3,073		3,312	,001
	Zlato	,008	,002	,252	3,638	,000
	Zemni_plyn_kvadrat	,011	,003	,222	3,959	,000
	Povolenky	,546	,085	,325	6,428	,000
	Uhli_kubicke	1,805E-5	,000	,332	6,415	,000
	PRIBOR_kubicke	,382	,043	,586	8,985	,000

a. Dependent Variable: Elektrina

Příloha 3: Kompletní výstup modelu 3

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,890 ^a	,792	,780	5,331057707

a. Predictors: (Constant), Zlato, Zemni_plyn, IPP, Povolenky, Uhli, PRIBOR, Zlato_kvadrat

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13379,994	7	1911,428	67,256	,000 ^b
	Residual	3524,102	124	28,420		
	Total	16904,096	131			

a. Dependent Variable: Elektrina

b. Predictors: (Constant), Zlato, Zemni_plyn, IPP, Povolenky, Uhli, PRIBOR, Zlato_kvadrat

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-66,441	10,355		-6,416	,000
	Zlato_kvadrat	-1,196E-5	,000	-1,120	-2,873	,005
	Zemni_plyn	,745	,124	,315	5,983	,000
	IPP	,245	,062	,190	3,979	,000
	Povolenky	,610	,084	,363	7,280	,000
	Uhli	,213	,044	,268	4,832	,000
	PRIBOR	6,405	,776	,676	8,258	,000
	Zlato	,047	,013	1,490	3,470	,001

a. Dependent Variable: Elektrina

Příloha 4: Kompletní výstup modelu 4

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,965 ^a	,931	,928	2,297042913

a. Predictors: (Constant), PRIBOR, Uhli, Povolenky, Zlato_kvadrat, Zlato

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8966,161	5	1793,232	339,859	,000 ^b
	Residual	664,827	126	5,276		
	Total	9630,988	131			

a. Dependent Variable: Elektrina_ocisteno

b. Predictors: (Constant), PRIBOR, Uhli, Povolenky, Zlato_kvadrat, Zlato

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-42,055	4,244		-9,909	,000
	Uhli	,103	,019	,171	5,440	,000
	Zlato	,067	,005	2,827	12,165	,000
	Zlato_kvadrat	-1,597E-5	,000	-1,981	-9,353	,000
	Povolenky	,504	,034	,398	14,639	,000
	PRIBOR	8,568	,285	1,198	30,056	,000

a. Dependent Variable: Elektrina_ocisteno

Příloha 5: Kompletní výstup modelu 5

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,964 ^a	,931	,941	2,310804000

a. Predictors: (Constant), IPP, Uhli_kubicke, Zemni_plyn_kvadrat, Povolenky, PRIBOR, Zlato_kvadrat, Zlato

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9089,445	7	1298,492	335,793	,000 ^b
	Residual	672,543	124	4,367		
	Total	9630,988	131			

a. Dependent Variable: Elektrina_ocisteno

b. Predictors: (Constant), IPP, Uhli_kubicke, Zemni_plyn_kvadrat, Povolenky, PRIBOR, Zlato_kvadrat, Zlato

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-35,224	4,128		-8,532	,000
	Uhli_kubicke	6,758E-6	,000	,165	6,115	,000
	Zemni_plyn_kvadrat	,004	,001	,119	4,384	,000
	Zlato	,072	,005	3,033	13,803	,000
	Zlato_kvadrat	-1,792E-5	,000	-2,222	-11,060	,000
	Povolenky	,451	,033	,356	13,646	,000
	PRIBOR	8,075	,299	1,129	27,023	,000
	IPP	-,067	,024	-,069	-2,817	,006

a. Dependent Variable: Elektrina_ocisteno

Příloha 6: Kompletní výstup modelu 6

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,971 ^a	,944	,927	2,089116000

a. Predictors: (Constant), PRIBOR, Uhli_kubicke, Povolenky, Zlato_kvadrat, Zlato

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8958,572	5	1791,714	297,324	,000 ^b
	Residual	541,416	126	5,337		
	Total	9630,988	131			

a. Dependent Variable: Elektrina_ocisteno

b. Predictors: (Constant), PRIBOR, Uhli_kubicke, Povolenky, Zlato_kvadrat, Zlato

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-39,111	4,405		-8,879	,000
	Uhli_kubicke	6,422E-6	,000	,157	5,276	,000
	Zlato	,068	,005	2,888	12,506	,000
	Zlato_kvadrat	-1,623E-5	,000	-2,013	-9,492	,000
	Povolenky	,506	,035	,399	14,627	,000
	PRIBOR	8,673	,281	1,213	30,850	,000

a. Dependent Variable: Elektrina_ocisteno