

Modelování časových řad výroby a spotřeby elektrické energie v ČR

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Václav Adamec, Ph.D.

Autorka:

Markéta Pánková

Brno 2015

Děkuji panu doc. Ing. Václavu Adamcovi, Ph. D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které jsem využila při zpracování této bakalářské práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Modelování časových řad výroby a spotřeby elektrické energie v ČR** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 21. prosince 2015

Abstract

Pánková, M. *Modeling of time series of production and consumption of electricity in the Czech Republic*. Bachelor thesis. Brno: Mendel University, 2015.

This bachelor thesis describes the energy market in the Czech Republic. It presents the breakdown into different sources of electric energy production and the basic principle of trading in electricity. One-dimensional time series models, created in the statistical program Gretl, were used for data processing of the production and consumption of electric energy between 2002 and 2014, and the import and export of electric energy in the years 2006 - 2014 in the Czech Republic. The chosen method was the decomposition of the time series focusing on working with systematic component of a series, that consists of trend, seasonal and cyclical component. Based on the description of the data evolution, a two year prediction was created and evaluated using chosen statistical criteria.

Keywords

Energy mix, sources of electric energy, production, national consumption, trade with electric energy, one-dimensional time series, decomposition, prediction, quality of prediction.

Abstrakt

Pánková, M. *Modelování časových řad výroby a spotřeby elektrické energie v ČR*. Bakalářská práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015.

V této bakalářské práci je popsán energetický trh České republiky. Je zde uvedeno rozdělení na jednotlivé zdroje výroby elektrické energie a základní princip obchodování s elektřinou. Pro zpracování dat výroby a spotřeby elektrické energie v letech 2002 až 2014 a importu a exportu elektrické energie v letech 2006 až 2014 v České republice jsou využity jednorozměrné modely časových řad vytvořené v statistickém programu Gretl. Jako metoda byla zvolena dekompozice časových řad, která se zaměřuje na práci se systematickou složkou řady, která se skládá z trendové, sezónní a cyklické složky. Na základě popisu vývoje dat byla vytvořena predikce na dva roky a byla zhodnocena její kvalita pomocí vybraných statistických kritérií.

Klíčová slova

Energetický mix, zdroje elektrické energie, výroba, národní spotřeba, obchod s elektrickou energií, jednorozměrná časová řada, dekompozice, predikce, kvalita predikce.

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíle práce	12
3	Literární přehled	13
3.1	Energetický sektor ČR.....	13
3.1.1	Legislativní a institucionální rámec českého energetického odvětví	13
3.1.2	Účastníci trhu s elektřinou	14
3.2	Zdroje elektrické energie	15
3.3	Neobnovitelné zdroje energie	16
3.3.1	Jaderné elektrárny	16
3.3.2	Uhelné elektrárny	17
3.3.3	Paroplynové elektrárny.....	17
3.4	Obnovitelné (alternativní) zdroje elektrické energie	18
3.4.1	Vodní elektrárny.....	18
3.4.2	Sluneční (fotovoltaické) elektrárny	19
3.4.3	Větrné elektrárny	19
3.4.4	Energie z biomasy	20
3.5	Spotřeba elektrické energie	20
3.6	Cena elektřiny	21
3.7	Obchod s elektrickou energií.....	21
4	Materiál a metodika	23
4.1	Data.....	23
4.2	Časové řady.....	23
4.3	Elementární charakteristiky vývoje.....	24
4.4	Metody analýzy časových řad.....	26
4.4.1	Kvalitativní metody	26
4.4.2	Kvantitativní metody	27
4.4.3	Dekompozice časové řady	27

4.4.4	Box-Jenkinsova metodologie	28
4.5	Trend a volba trendové funkce	29
4.5.1	Typy trendových funkcí	30
4.6	Sezónní složka a její očištění	32
4.7	Náhodná složka	33
4.8	Testy ověřující kvalitu modelu	34
4.9	Extrapolace systematické složky	35
4.10	Postup zpracování dat	36
5	Výsledky a diskuze	38
5.1	Časové řady celkové výroby a národní spotřeby elektrické energie.....	38
5.1.1	Celková výroba	39
5.1.2	Národní spotřeba.....	40
5.1.3	Ověření vhodnosti a kvality vybraných modelů.....	42
5.2	Časové řady výroby elektrické energie z jednotlivých zdrojů energie.....	44
5.2.1	Parní elektrárny.....	44
5.2.2	Jaderné elektrárny	45
5.2.3	Paroplynové elektrárny	46
5.2.4	Alternativní zdroje energie.....	47
5.2.5	Vodní elektrárny.....	48
5.3	Časové řady exportu a importu elektrické energie	50
5.3.1	Export elektrické energie	50
5.3.2	Import elektrické energie	52
5.3.3	Ověření vhodnosti a kvality vybraných modelů.....	52
6	Závěr	55
7	Seznam použité literatury	60
8	Seznam obrázků	63
9	Seznam tabulek	65
A	Zdrojová data	68
B	Doplnění k vlastní práci	77

1 Úvod

Odvětví energetiky, konkrétněji elektroenergetiky je v dnešní době jedno z nejdiskutovanějších témat vůbec. Rostoucí spotřeba a poptávka po energii sebou nese nárůst potřeby surovin - především fosilních zdrojů, mezi které patří uhlí, ropa a zemní plyn. Protože jsou tyto suroviny ve světě omezené a jejich spotřeba je mnohonásobně rychlejší než jejich obnova, stávají se v mnoha zemích jedním z hlavních nástrojů zahraniční politiky. Producentům státům roste vyjednávací pozice a ve spotřebitelských zemích je jednou z priorit zahraniční politiky dlouhodobé zajištění těchto strategických surovin.

Nárůst spotřeby elektrické energie je také spojován s otázkami zachování udržitelného rozvoje a zvyšování objemu skleníkových plynů. Současný globální vývoj výroby a spotřeby elektrické energie je nerovnoměrný a dlouhodobě neudržitelný. Světová populace se zvyšuje pomaleji, než spotřeba energií, která má exponenciální charakter růstu. Zvyšování objemu skleníkových plynů je spojováno s výrobou energií v tepelných elektrárnách, které spalují především uhlí. Proto je cílem EU snižovat podíl uhelných elektráren na energetickém mixu a nahrazovat jejich produkci energií z obnovitelných zdrojů.

Od roku 1919, kdy byl v Československu přijat zákon o všeobecné elektrizaci, uplynulo několik desítek let a dnes už si jen málokdo z nás dokáže představit život bez elektřiny. V 21. století je energetický sektor nenahraditelnou součástí národní ekonomiky a jeho efektivní fungování je základním předpokladem pro všechna ostatní odvětví. Dnešní struktura energetického odvětví České republiky zahrnuje tři základní sektory – sektor elektroenergetiky, plynárenství a teplárenství.

K roku 2015 je Česká republika ve výrobě elektrické energie surovinově soběstačná a v rámci EU patříme k zemím, které jsou prozatím čistými exportéry elektřiny. Ostatní energetické suroviny (hlavně ropu a zemní plyn) dovážíme. Největší část produkce elektřiny je v České republice kryta uhelnými elektrárnami spalujícími hnědé uhlí, které se nejvíce těží v Severních Čechách. Další významnou surovinou pro výrobu elektřiny je jaderné palivo U^{235} . Na spotřebě elektřiny má největší podíl průmysl (okolo 40 %), následně domácnosti a služby (každý asi po 25 %). Zbývá procenta si pak rozděluje doprava, zemědělství a stavebnictví.

2 Cíle práce

Tématem bakalářské práce je modelování časových řad výroby, spotřeby, importu a exportu elektrické energie v České republice. Práce je rozdělena na dvě části - teoretickou část, která zahrnuje kapitoly Literární přehled a Metodika, a praktickou část, do které spadají kapitoly Výsledky a diskuze a Závěr.

V kapitole Literární přehled je napřed popsán energetický sektor ČR z pohledu legislativního a institucionálního rámce a účastníci trhu s elektrickou energií. Následně jsou v práci představeny jednotlivé druhy elektráren, které se vyskytují na území naší republiky. Další podkapitoly se zabývají spotřebou elektrické energie, tvorbou ceny elektrické energie a mezinárodním obchodováním s elektřinou.

V kapitole Metodika jsou uvedena data využitá v této práci. Kapitola dále popisuje základní charakteristiky časových řad a metody jejich zpracování. Důraz je přitom kladen na práci se systematickou složkou časové řady, která se skládá z trendové, sezonní a cyklické složky. Na konci kapitoly je popsán princip vytváření predikcí časových řad a kritéria pro hodnocení kvality zvolených modelů.

Kapitola Výsledky a diskuze je rozdělena na 4 části. V první části je popsán postup vytváření jednorozměrných modelů časových řad na základě kvantitativní metody dekompozice, která je uplatněna na zpracovávaná data. Zbýlé tři části jsou věnovány popisu vývoje jednotlivých časových řad. U časové řady celkové výroby, národní spotřeby, exportu a importu elektrické energie je vytvořena předpověď pro roky 2015 a 2016.

Hlavní cíl je rozdělen na tyto dílčí cíle:

1. Popsat energetický trh České republiky a nastudovat problematiku modelování sezónních a nesezónních časových řad.
2. Vytvořit jednorozměrné modely pro řadu národní spotřeby, výroby, dovozu a vývozu elektrické energie a řady výroby elektrické energie z jednotlivých zdrojů energie. Pro vybrané modely vytvořit predikce pro následné 2 roky.
3. Zhodnotit vhodnost konstrukce predikce zvoleným způsobem.
4. Interpretovat vývoj jednotlivých ukazatelů a parametry výsledných modelů.
5. Zformulovat na základě vytvořených modelů předpokládaný budoucí vývoj jednotlivých ukazatelů ze sektoru energetiky a dát ho do kontextu s vývojem v Evropě - zda je v souladu s cíli EU.

3 Literární přehled

3.1 Energetický sektor ČR

3.1.1 Legislativní a institucionální rámec českého energetického odvětví

Základní legislativní rámec energetického sektoru upravuje *Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (tzv. energetický zákon)*. Dalším dokumentem je například *Zákon č.18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (tzv. atomový zákon)*, který upravuje činnosti spojené s provozem jaderných elektráren a bezpečné zacházení s jaderným palivem a odpadem.

Dle *energetického zákona § 15* náleží výkon státní správy v energetických odvětvích v České republice Ministerstvu průmyslu a obchodu, Energetickému regulačnímu úřadu a Státní energetické inspekci, která vykonává kontrolu v energetických odvětvích.

V působnosti **ministerstva průmyslu a obchodu** je zpracovávání státní energetické koncepce (poslední schválená aktualizace je z roku 2015), vydávání státního souhlasu k výstavbě nových zdrojů v elektroenergetice a zabezpečení plnění závazků vyplývajících z mezinárodních smluv a z členství v mezinárodních organizacích. (Energetický zákon)

Energetický regulační úřad vznikl k 1. 1. 2001. Do jeho působností spadá podpora hospodářské soutěže a ochrana zájmů spotřebitele v oblastech energetického odvětví, kde není možná konkurence. ERÚ také rozhoduje o udělování, změně nebo zrušení licence v oblasti energetiky a reguluje ceny elektřiny dle zvláštních právních předpisů. Další aktivitou je například podpora využívání obnovitelných zdrojů energie.

K 1. lednu 2006 byla zrealizována poslední etapa liberalizace trhu s elektřinou, která vedla ke změně postavení zákazníků elektřiny – koneční zákazníci jsou oprávněnými zákazníky. Tato změna umožňuje konečným zákazníkům elektřiny vybrat si svého dodavatele dle vlastního rozhodnutí. Druhou podstatnou změnou je, že ERÚ již nestanovuje konečnou cenu elektřiny, ale pouze její regulovanou část. Výše neregulované části ceny je tvořena smlouváním v liberálním prostředí a na trhu, kde je v rukou samotných dodavatelů. (O úřadu, 2014)

Státní energetická inspekce má dle *energetického zákona* za úkol kontrolovat dodržování zákona o hospodaření energií, zákona o podporovaných zdrojích energie a zákona o cenách. Následně může dle vlastních zjištění ukládat pokuty.

3.1.2 Účastníci trhu s elektřinou

Energetický zákon v § 22 vymezuje účastníky trhu s elektřinou. Jsou jimi výrobci, provozovatel přenosové soustavy, provozovatelé distribučních soustav, operátor trhu, obchodníci s elektřinou a koneční zákazníci.

Na českém energetickém trhu v současné době působí několik společností zaměřených na výrobu elektrické energie. Největší podíl na výrobě má společnost ČEZ, a.s. která dominuje našemu trhu s tržním podílem 34,1 %. Dalšími významnými dodavateli elektřiny jsou E. ON Energie a.s. a Pražská energetika a.s.

Vznik **akciové společnosti ČEZ, a.s.** se datuje k roku 1992. V roce 2003 vznikla Skupina ČEZ spojením energetické společnosti ČEZ s distribučními společnostmi. ČEZ, a.s. je jádrem Skupiny ČEZ a je největším energetickým uskupením v České republice. Nejvýznamnějším akcionářem společnosti je Česká republika s podílem na základním kapitálu 70 % (rok 2014). Kromě elektrické energie poskytuje ČEZ svým zákazníkům také teplo a plyn. Dalšími činnostmi této skupiny je těžba surovin, výroba, distribuce a obchod s elektřinou, oblast jaderného výzkumu, telekomunikací a informatiky.

V dnešní době se Skupina ČEZ řadí mezi 10 největších energetických uskupení v Evropě z hlediska instalovaného výkonu a počtu zákazníků. V ČR se na celkovém objemu vyrobené elektrické energie podílí asi ze tří čtvrtin, kdy část vyrobené elektřiny exportuje do zahraničí. (Energetická skupina ČEZ, 2015)

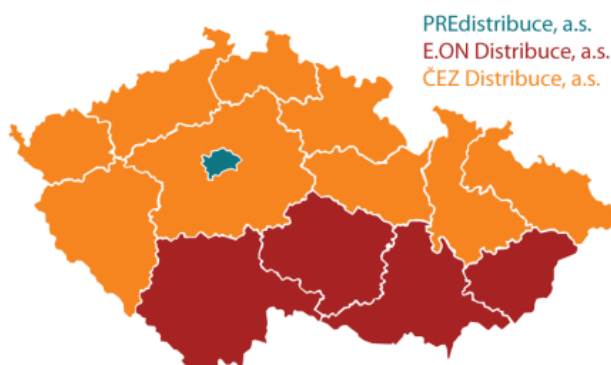
E. ON Energie a.s. poskytuje své služby převážně na Jižní Moravě a v Jižních Čechách. **Pražská energetika a.s.** působí v hlavním městě Praze a v oblasti středních Čech.

Provozovatelem přenosové soustavy České republiky na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem je **Společnost ČEPS, a.s.** Tato společnost vznikla v roce 1999 jako dceřiná společnost společnosti ČEZ, a.s., která od roku 2001 působí samostatně a je ve 100% vlastnictví Ministerstva průmyslu a obchodu. ČEPS poskytuje přenosové služby a stará se o rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v reálném čase. V rámci svých činností také udržuje, obnovuje a rozvíjí rozvodny, transformátory a elektrické vedení na našem území. Dalším úkolem společnosti je zajišťovat přeshraniční přenosy pro export, import a tranzit elektrické energie. (O společnosti, 2015)

Území České republiky je pokryto třemi provozovateli distributorských soustav. Největší část území pokrývá společnost **ČEZ Distribuce a.s.**, která se stará o severní Moravu a Čechy, kromě jižních Čech. Jižní Čechy společně s jižní Moravou jsou obsluhovány společností **E. ON Distribuce a.s.** Poslední společností je **PREdistribuce a.s.**, která distribuuje elektřinu v Praze – viz obrázek 1. (Distribuce elektřiny, 2012)

Provozovatelé distribuční soustavy zajišťují spolehlivé provozování, obnovu a rozvoj distribuční soustavy na jejich vymezeném území. Poskytují distribuci elektřiny na základě uzavřených smluv se svými zákazníky. Jejich hlavní činností je

také bezpečné řízení toků elektřiny v soustavě ve spolupráci s ostatními distributory a provozovatelem přenosové soustavy. (Energetický zákon §25)



Obr. 1 Provozovatelé distribučních soustav

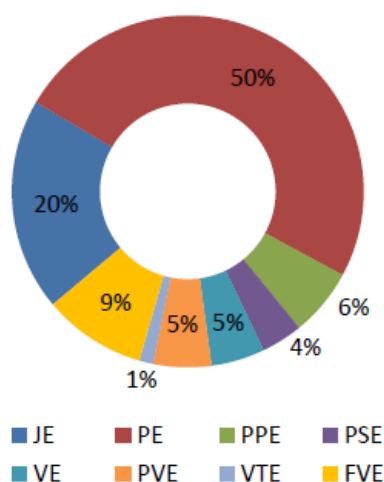
Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/211-jak-zjistim-ke-ktere-distribucni-soustave-elektřiny-patrim-a-mohu-si-zvolit-jinou>

Operátor trhu s elektřinou (OTE) je podle *energetického zákona § 20a* akciová společnost zřízená státem a vykonává svoji činnost na základě udělené licence Energetickým regulačním úřadem. V jeho působnosti je například organizování krátkodobého trhu s elektřinou a krátkodobého trhu plynem. Zpracovává a zveřejňuje měsíční a roční zprávy o trhu s elektřinou. Jeho úkolem je také zpracovávání různých bilancí zaměřených na elektřinu, které následně předává Ministerstvu a ERÚ. Dále hradí výrobcům elektřiny zelený bonus na elektřinu z obnovitelných zdrojů a mnoho dalších činností spojených s trhem elektřiny a plynu.

3.2 Zdroje elektrické energie

V dnešní době se přírodní zdroje dělí na neobnovitelné přírodní zdroje a obnovitelné přírodní zdroje. Dle *Zákona č. 17/1992 Sb. o životním prostředí* jsou tyto zdroje v § 7 definovány následovně. „Přírodní zdroje jsou ty části živé nebo neživé přírody, které člověk využívá nebo může využívat k uspokojování svých potřeb. Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka. Neobnovitelné přírodní zdroje spotřebováváním zanikají.“

Podle Výroční zprávy ERÚ k 31. 12. 2014 Česká republika disponuje ve své energetické soustavě instalovaným výkonem 21 920,3 MW. Největší zastoupení na energetickém mixu ČR mají parní (uhelné) elektrárny s podílem 50% a jaderné elektrárny s podílem 20%. Zastoupení dalších zdrojů elektrické energie je vidět na obrázku 2.



Obr. 2 Podíl instalovaného výkonu v ES ČR – 2014
Zdroj: Výroční zpráva ERÚ

3.3 Neobnovitelné zdroje energie

Mezi neobnovitelné zdroje energie se řadí fosilní paliva (uhlí, rašelina, ropa a zemní plyn), štěpné radioaktivní látky a vodík vázaný ve vodě. Elektrárny zpracovávající neobnovitelné zdroje patří do skupiny tepelných elektráren, v nichž se pomocí turbíny převádí energie tepelná na energii elektrickou. (Libra a Poulek, 2007)

3.3.1 Jaderné elektrárny

Jaderná energetika je v současné době jedno s nejperspektivnějších odvětví energetiky vůbec. Základním principem výroby elektřiny v jaderných elektrárnách je štěpná reakce v reaktoru, která vytváří tepelnou energii. Ta je v turbíně přeměněna na mechanickou a nakonec pomocí generátoru na elektrickou energii. Obě české jaderné elektrárny využívají tlakovodní reaktory typu VVER chlazené a moderované lehkou vodou. Jako palivo je využíván obohacený uran ^{235}U . (Baran, 2002)

V současné době má Česká republika na svém území dvě jaderné elektrárny, které mají instalovaný výkon 4290 MWe a na výrobě celkové elektřiny v ČR se nyní podílí asi z 35 %. Obě elektrárny jsou ve vlastnictví společnosti ČEZ, a.s.

Starší z nich je **elektrárna Dukovany**, jejíž výstavba začala v roce 1978. Plán byl postavit 4 reaktory, každý o výkonu 440 MW. První blok byl připojen do sítě roku 1985. Ostatní bloky byly spuštěny následně a od roku 1988 je v provozu celá elektrárna. V dnešní době mají všechny 4 bloky výkon 510 MW. O výstavbě druhé české jaderné elektrárny **Temelín** bylo rozhodnuto roku 1978 s plánem 4 reaktory o výkonu 1000 MW. Stavba započala roku 1986, kdy po politických změnách v roce 1989 bylo rozhodnuto, že 3. a 4. blok nebude postaven. Provoz Temelína byl zahájen v roce 2002 resp. 2003. Nyní je instalovaný výkon jaderné elektrárny Temelín 1x 1078 MW a 1 x 1055 MW.

Nyní se už několik let hovoří o dostavbě dalších dvou bloků pro elektrárnu Temelín. Tyto bloky by měly zajistit náhradu výkonu výroby elektrické energie za uhelné elektrárny, které na našem území postupně dosluhují a končí jim jejich životnost. (Jaderné elektrárny ČEZ, 2015)

3.3.2 Uhelné elektrárny

Uhelné elektrárny fungují na principu přeměny tepelné energie na mechanickou (pohybovou) a následně na elektrickou energii. Teplo uvolněné v kotli při spalování uhlí ohřívá vodu, která je umístěna v trubkách uvnitř kotle. Z vody se stává pára, která pomocí lopatek roztáčí turbínu a ta následně pohání generátor. V generátoru pak probíhá přeměna mechanické energie na elektrickou.

Většina uhelných elektráren má blokové uspořádání. Instalovaný výkon dále v textu je vždy uveden jako součet všech bloků jedné elektrárny.

Uhelný sektor má na našem území dlouholetou tradici, kdy z počátku byla těžba a spotřeba uhlí spojena s rozvojem hutnictví a železářství a se stavbou železnic. Okolo poloviny 19. století se těžba rozšířila a změnila v systémové dolování, kvůli vysokým nárokům průmyslu na energetické suroviny.

První velká uhelná elektrárna na českém území nesla název Ervěnice a byla dostavěna roku 1926 s výkonem 70 MW. Velký rozmach uhelných elektráren pak nastal v letech 1950 – 1960, kdy byla energetika jednostranně zaměřena na využívání uhlí. V této době byly postaveny například elektrárny - Hodonín, Poříčí II, Tisová a Mělník. V této době byla většina elektráren budována v blízkosti uhelných zdrojů. (Vlček a Černoch, 2012)

Výstavba uhelných elektráren pokračovala až do 80. let 20. století. Většina těchto elektráren je ve vlastnictví společnosti ČEZ, a.s., která v 90. letech investovala obrovské prostředky (asi 46 mld. Kč) do odsíření, denitrifikace a modernizaci uhelných elektráren.

V současnosti jsou největšími uhelnými elektrárnami v ČR elektrárny Prunéřov II s výkonem 1050 MW, Počerady (1000 MW) a Dětmárovice (800 MW).

Předpokládaná životnost některých uhelných elektráren je odhadována do období let 2020-2030, kdy bude potřeba tento výkon nahradit jinými zdroji výroby. Jednalo by se o modernizaci stávajících elektráren nebo výstavbu nových. (Uhelné elektrárny, 2015)

3.3.3 Paroplynové elektrárny

Výroba elektřiny v paroplynovém cyklu je zajištěna společným využitím dvou tepelných oběhů – parního a plynového. Energie uvolněná spalováním plynu/paliva (nejčastěji jde o zemní plyn) je nejprve využita v plynové turbíně. Následně pak ve spalínovém kotli k výrobě páry, která pohání parní turbínu. Obě turbíny pohání své generátory, které vyrábí elektrickou energii.

Paroplynové elektrárny patří k vysoce flexibilním zdrojům elektrické energie (hned za vodními elektrárnami), které je možné připojit k síti v několika minutách.

Díky této flexibilitě jsou převážně využívány k vykrývání špiček spotřeby elektřiny nebo ke stabilizaci elektrizační soustavy.

V České republice se ze zemního plynu vyrobí ročně asi 1,1 – 1,5 % elektřiny. Jedinou paroplynovou elektrárnou u nás je PPC Počerady, která je umístěna v areálu uhelné elektrárny Počerady. PPC Počerady disponuje instalovaným výkonem 840 MW. (Paroplynové elektrárny, 2015)

3.4 Obnovitelné (alternativní) zdroje elektrické energie

Za obnovitelné zdroje se považuje vodní energie, sluneční energie, větrná energie, geotermální energie, biomasa a bioplyn. Kromě biomasy a bioplynu jsou tyto zdroje energie časově velmi proměnlivé a závislé na poloze a podnebí státu. (Cenek, 2001)

Podle společnosti ČEZ, a.s. nemá naše republika nejoptimálnější přírodní podmínky pro vysoký podíl OZE na energetickém mixu. Za důvod uvádí také obtížnou predikci výroby elektřiny z těchto zdrojů, s čímž souvisí riziko přetěžování kapacity sítě. Pro ČEZ je v dnešní době nejvíce využívaným obnovitelným zdrojem energie vody. Do budoucnosti však dává největší šanci rozšíření využití biomasy. (Energie z obnovitelných zdrojů, 2015)

Zvyšování podílu obnovitelných zdrojů elektřiny je jak v zájmu EU a OSN, tak v zájmu jednotlivých států. Státy si pomocí obnovitelných zdrojů mohou zvýšit energetickou bezpečnost využitím vlastních zdrojů místo dovozu surovin. Mezinárodní instituce se více zajímá o problematiku změny klimatu a s tím spojené produkce skleníkových plynů. Proto OSN vydalo Kjótský protokol, který Česká republika podepsala v roce 1998 a ratifikovala roku 2001. V něm se státy zavazují ke snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020 o 20 % oproti stavu roku 1990. (MŽP ČR, 2015)

Dle databáze Eurostatu měla Česká republika v roce 2013 podíl mezi vyrobenou elektřinou z obnovitelných zdrojů (bez přečerpávacích elektráren) a hrubou tuzemskou spotřebou 12,8 %.

3.4.1 Vodní elektrárny

Elektřina z vodních elektráren je vyráběna na principu spádové vody, která roztáčí turbínu (v ČR jde nejčastěji o Kaplanovu turbínu). Ta je na společné hřídeli s elektrickým generátorem a vytváří spolu tzv. turbogenerátor. Mechanická energie vody je tak přeměněna na elektrickou energii, bez spotřeby jakékoliv suroviny a produkce odpadu. Nakonec se energie transformuje a následně odvádí do míst spotřeby. (Vlček a Černocho, 2012)

V České republice jsou využívány tři druhy elektráren, které získávají elektrickou energii prostřednictvím vody. Celkově se podílí na instalovaném výkonu výroby elektřiny 2 254,8 MW. (Registrace, 2015)

Vodní elektrárny Největšími jsou Orlický s instalovaným výkonem 364 MWe, Slapy (144 MWe) a Lipno I (120 MWe).

Přečerpávací elektrárny V České republice se nacházejí čtyři přečerpávací elektrárny a tři největší jsou ve vlastnictví společnosti ČEZ, a.s. Jsou jimi Dlouhé stráně (650 MWe), Dalešice (480 MWe), Štěchovice II a Černé Jezero I. Jejich hlavním úkolem je udržovat rovnováhu v elektrizační soustavě díky rychle ovladatelnému výkonu a možnosti elektrickou energii jak vyrábět, tak i spotřebovat. (Voda, 2015)

Malé vodní elektrárny (MVE) jsou elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW. Česká republika má díky své geografické poloze, rozvodí tří moří a prameny řek, dobré podmínky pro získávání energie z MVE. Potenciál řek pro MVE je okolo 1570 GWh/rok, z něhož je zatím využíváno asi 30 %. Pro tento zdroj energie je důležité, aby získaná energie byla ekonomicky výhodnější než z jiných zdrojů. V mnoha případech mají MVE také dobrý vliv na režim vodních toků. (Cenek, 2001)

3.4.2 Sluneční (fotovoltaické) elektrárny

Fotovoltaické elektrárny využívají k výrobě elektřiny sluneční svit, který dopadá na fotovoltaické kolektory. Na nich dochází k fotovoltaickému jevu, kdy se světelné záření přeměňuje na elektřinu. Účinnost solárních panelů se v dnešní době pohybuje okolo 15 % a jejich životnost je 20-30 let. Fotovoltaické elektrárny fungují i bez přímého slunečního svitu, ale jejich účinnost se v takových situacích snižuje. (Vlček a Černocho, 2012)

První fotovoltaická elektrárna na našem území byla postavena v roce 1997 společností ČEZ v lokalitě komplexu větrných elektráren Mravenečník. Nyní společnost ČEZ, a.s. provozuje v České republice 13 fotovoltaických elektráren. Největším komplexem této společnosti stojí v lokalitě Ralsko s výkonem 38 MW. Dalšími většími elektrárny jsou FVE Vepřek (35,1 MW), FVE Ševětín (29,9 MW) a FVE Brno – Letiště Tuřany (21,2 MW). (Slunce, 2015)

Dle Energetického regulačního úřadu se v republice nachází skoro 28 tisíc fotovoltaických elektráren o celkovém instalovaném výkonu 2 078,9 MW.

3.4.3 Větrné elektrárny

Výroba elektřiny z větrných elektráren je závislá na proudění vzduchu, které by mělo mít průměrnou rychlost 6 m/s a více. Proud vzduchu roztáčí lopatky vrtule a ta následně generátor elektrické energie. Za nejvhodnější místa pro větrné elektrárny jsou považovány horské oblasti v nadmořských výškách nad 600 m. (Vlček a Černocho, 2012)

K roku 2015 je v České republice instalovaný výkon všech větrných elektráren 277,2 MW, čímž se řadíme k státům Evropy, které nejméně využívají tento druh energie. Problémem naší republiky je, že vhodné lokality s potenciálem pro větrnou energii se ve většině případů nachází v zákonem chráněných oblastech. (Registrace, 2015)

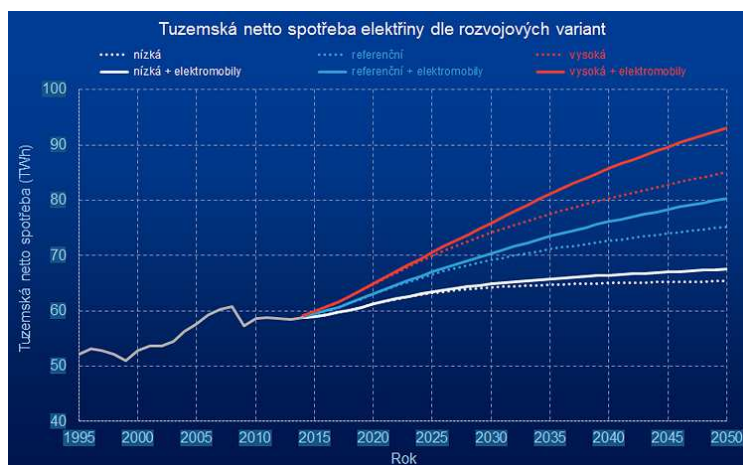
3.4.4 Energie z biomasy

Biomasa je u nás využívána spíše pro teplárenské účely, ale svůj podíl má i na výrobě elektrické energie. V dnešní době je biomasa nejčastěji spalována v uhelných elektrárnách – například v elektrárně Hodonín. Zdrojem biomasy jsou zbytky ze zemědělských plodin, lesnictví, potravinářství a část odpadů. Jednou z možných definic je, že biomasa je biologicky rozložitelná část výrobků a zbytků ze zemědělství a lesnictví. Dále pak rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu. Výhodou tohoto obnovitelného zdroje je její stabilní dodávka elektřiny do soustavy na rozdíl od větrné či solární energie. (Damborský, 2013)

3.5 Spotřeba elektrické energie

Dle dat ze stránek OTE, a.s. je vidět, že spotřeba elektřiny v České republice měla v letech 1995 – 2008 rostoucí charakter. Tento nárůst je způsoben mnoha faktory, mezi které se řadí například zvyšování životní úrovně obyvatelstva, technologický vývoj, který potřebuje velké množství energie, demografický vývoj a mnoho dalších. V roce 2008 nastal zlom, kdy roční brutto spotřeba elektřiny klesla asi o 3,5 TWh (tj. přibližně o 5 %). Příčinou tohoto snížení byla ekonomická krize, která Českou republiku zasáhla ve druhé polovině roku 2008 a v roce 2009, kdy byla spotřeba elektřiny na úrovni roku 2004. Od roku 2010 se úroveň brutto spotřeby pohybuje okolo 63 TWh ročně.

OTE, a.s. staví své predikce spotřeby elektrické energie hlavně na prognózách makroekonomického a demografického vývoje s respektováním vlivů očekávaných úspor. Obrázek 3 graficky znázorňuje tři možné vývojové predikce. Dle střední referenční predikce by netto spotřeba k roku 2050 měla být na úrovni 75 TWh. (Spotřeba elektřiny, 2010)



Obr. 3 Tuzemská netto spotřeba elektřiny v letech 1995 – 2015 s následnou predikcí 3 rozvojových variant do roku 2050

Zdroj: <http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobavrovnovaha/spotreba-elektřiny>

3.6 Cena elektřiny

Cena elektrické energie je ovlivňována mnoha faktory, mezi které se řadí na straně nabídky výrobní kapacity, provozní náklady výroby, počasí a světová cena energetických surovin. Na straně poptávky jsou to makroekonomické faktory a počasí.

Na liberalizovaném trhu je výsledná cena elektřiny tvořena regulovanou činností monopolního charakteru a neregulovanou složkou. **Regulovaná část ceny** zahrnuje činnosti monopolního charakteru, mezi které se řadí činnosti spojené s dopravou elektřiny od výrobce přes přenosovou a distribuční soustavu ke konečnému zákazníkovi. Dále je v této části ceny obsažena složka systémových služeb, které zajišťují stabilitu elektroenergetického systému. Poslední částí je cena na krytí vícenákladů spojených s podporou výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů. **Neregulovaná část ceny** je cena za samotnou tzv. silovou elektřinu, která má smluvní charakter, kdy dodavatelé sami určují cenu silové elektřiny pro své odběratele. Tato cena se odvíjí především od situace na domácím trhu, ale taktéž je ovlivněna působením vnějších tržních vlivů, protože elektrické soustavy států jsou propojeny. (Vlček a Černoch, 2012)

3.7 Obchod s elektrickou energií

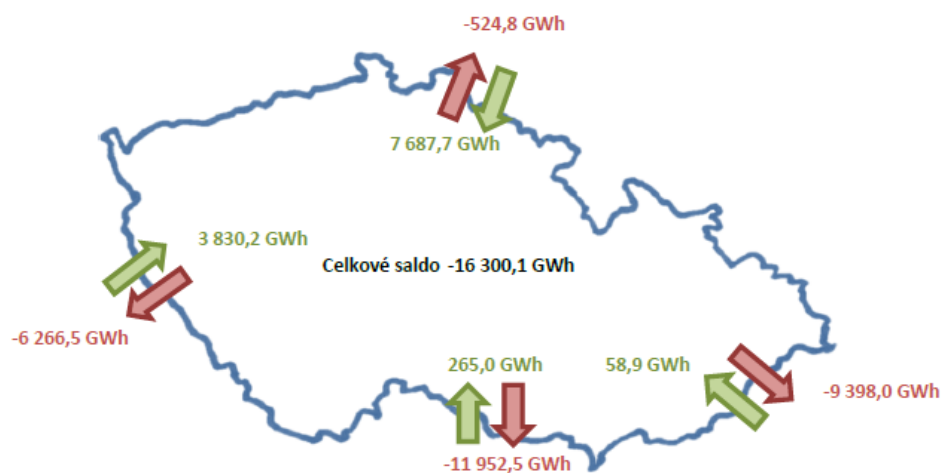
Hlavním kritériem pro obchod s elektřinou je neskladovatelnost elektřiny. Proto je potřeba, aby se nabídka a poptávka v čase rovnaly. Dalším kritériem je jednotný evropský trh s elektřinou, kdy nestačí mít státní vyrovnanou bilanci v soustavě, ale rovnováha musí být na celém trhu. Proto snad žádný stát EU elektřinu pouze nevyváží nebo jen dováží, ale jde o oboustranné obchody, které kryjí výkyvy ve výrobě a spotřebě celé soustavy. (Vlček a Černoch, 2012)

Česká republika obchoduje s elektřinou se všemi svými sousedními státy. Hodnoty importu (zelené šipky) a exportu (červené šipky) v roce 2014 jsou znázorněny na obrázku 4. Celkově se náš stát řadí mezi čisté exportéry elektřiny, což má pozitivní vliv na naši ekonomiku. V roce 2014 Česká republika vyvezla do zahraničí 28 142 GWh elektřiny a dovezla 11 841 GWh. Celkové saldo tedy tvořilo 16 300 GWh. (Roční zpráva o provozu ES ČR, 2014)

Obchodování s elektřinou je na dnešním liberalizovaném trhu zajišťováno burzou. K nejvýznamnějším Evropským burzám s elektřinou patří NordPool, která pokrývá oblast Skandinávie, European Energy Exchange (EEX), která zajišťuje obchody v německé a francouzské oblasti Evropy a Power Exchange Central European (PXE). PXE byla založena 5. března 2007 a uskutečňuje obchody v České republice a na Slovensku, dále pokrývá také trh střední a východní Evropy.

Pozitivem burzovních obchodů je jejich standardizace, kdy kontrakty mají přesně určený objem, splatnost a charakter dodávky. U obchodování s elektřinou se jedná o kalendářní (roční), kvartální a měsíční kontrakty. Dodávky jsou členěny podle času – base load (0:00 – 24:00), peak load (8:00 – 20:00) a offpeak load (0:00 – 8:00 a 20:00 – 24:00).

Objemově největší obchody s elektřinou probíhají na OTC (Over the Counter) trzích. Zde se obchoduje na základě bilaterálních obchodů mezi dvěma protistranami prostřednictvím brokerů, kteří usnadňují střet nabídky a poptávky nebo pomocí telefonického kontaktu. Účastníky tohoto trhu jsou pouze větší subjekty. (Vaškovic, 2009)



Obr. 4 Přeshraniční fyzikální toky v roce 2014 [GWh]
Zdroj: Výroční zpráva ERÚ

4 Materiál a metodika

4.1 Data

Pro práci jsou využita data měsíčních hodnot výroby, národní spotřeby, importu a exportu elektrické energie ČR, která byla získána z měsíčních výkazů společnosti ČEPS a.s. a ročních zpráv ERÚ.

V kapitole *Vlastní práce* budou jako první zpracována data o celkové výrobě a národní spotřebě elektrické energie v ČR. Druhá část bude popisovat vývoj jednotlivých zdrojů elektrické energie ve sledovaném období. Poslední část vlastní práce bude věnována importu a exportu elektřiny. U první a třetí části bude provedena predikce budoucího vývoje pro následující dva roky.

Při práci s daty budou využity programy Microsoft Office Excel a statistický program Gretl.

Tab. 1 Základní charakteristika zdrojových dat

	Jednotka	Sledované období	Časový interval	Zdroj dat	Umístění dat
Celková výroba	[GWh]	2003 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 8
Národní spotřeba	[GWh]	2002 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 9
Výroba - PE	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 10
Výroba - JE	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 11
Výroba - PPE	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 12
Výroba - AE	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 13
Výroba - VE	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 14
Export	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 15
Import	[GWh]	2006 - 2014	Měsíční data	ČEPS a.s./ERÚ	tabulka 16

4.2 Časové řady

Časová (chronologická) řada je řada hodnot určitého ukazatele, která je seřazena z hlediska času ve směru od minulosti do přítomnosti. Podstatné přitom je, aby náplň a prostorové vymezení ukazatele bylo v celém sledovaném časovém období shodné. (Kropáč, 2007)

Časové řady je možné členit dle různých hledisek, mezi základní patří rozdělení na časové řady intervalové a okamžikové.

Intervalové časové řady se vztahují k určitému časovému úseku nenulové délky a popisují, kolik jevů vzniklo nebo zaniklo v daném časovém intervalu. Při zpracovávání intervalových řad je potřeba pracovat se stejnou délkou intervalu v celém období. V případě nestejného intervalu by mohlo docházet ke zkreslení

vývoje ukazatele. Pro grafické znázornění lze využít tři způsoby - sloupkový, hůlkový nebo spojnicový graf. U tohoto typu řad je možné sčítat její hodnoty a tím získat údaj za delší časové období. Naopak pro **okamžikové časové řady** je typická nesčititelnost hodnot, protože součet hodnot by neměl reálnou interpretaci. Okamžikové řady popisují, kolik jevů existuje v daném okamžiku a nejčastěji jsou znázorňovány spojnicovým grafem.

Dalším způsob je rozdělení na **dlohodobé časové řady** s periodou delší než jeden rok a **krátkodobé**, kdy perioda je do jednoho roku – čtvrtletní, měsíční, týdenní data apod.

Při práci s měsíčními daty se setkáváme s problémem délky jednotlivých kalendářních měsíců. Protože se v roce střídají měsíce s různou délkou dnů, je potřeba pro lepší přesnost analýzy převést data na stejně dlouhé časové úseky. Existuje více možností, jak očistit data od vlivu různého počtu kalendářních dnů. Příkladem může být vydělení měsíčních dat skutečným počtem dnů v měsíci a následně toto číslo vynásobit průměrnou délkou měsíce, která je 30,42 dnů. (Minařík, 2008)

V praxi se setkáváme se dvěma typy modelů.

S **jednorozměrným modelem**, který zahrnuje pouze faktor času a má následující tvar funkce:

$$Y_t = f(t) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

kde Y_t je hodnota ukazatele v čase t a $t = 1, 2, \dots, T$.

A **vícerozměrným modelem**, který není ovlivňován pouze časovým faktorem, ale i jinými ukazateli. Funkci pro vícerozměrný model zapisujeme takto:

$$Y_t = f(t; x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon_t, \quad (2)$$

kde x_1, x_2, \dots, x_n značí faktory, které ovlivňují analyzovaný ukazatel. Dále je tato práce zaměřena pouze na práci s jednorozměrným modelem. (Hindls, 1999)

4.3 Elementární charakteristiky vývoje

Základní charakteristiky se dělí na popisné charakteristiky, pomocí kterých vypočítáme průměrné hodnoty řad a míry dynamiky. Míry dynamiky popisují základní rysy chování časových řad a je možné z nich zjistit kritéria pro následné modelování. (Arlt, 2002)

Popisné charakteristiky

Popisnými charakteristikami zjišťujeme průměrné hodnoty časových řad. Pro intervalovou řadu stačí použít prostý aritmetický průměr, protože hodnoty této řady je možné sčítat a následně interpretovat. Pro výpočet průměrných hodnot okamžikových časových řad je nutné použít chronologický, popř. vážený chronologický průměr. (Arlt, 2002)

- **Prostý aritmetický průměr**

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^T y_t}{T}, \quad (3)$$

kde $t = 1, 2, \dots, T$ je délka časové řady a y_t jsou jednotlivé hodnoty časové řady.

- **Chronologický průměr**

$$\bar{y} = \frac{\frac{1}{2}y_1 + \sum_{t=2}^{T-1} y_t + \frac{1}{2}y_T}{T-1}, \quad (4)$$

kde $t = 2, 3, \dots, T$. Předpokladem pro výpočet je stejná vzdálenost mezi jednotlivými sledováními v okamžikové řadě.

Míry dynamiky

Míry dynamiky využíváme k popisu absolutních nebo relativních změn časové řady. Mezi míry dynamiky patří: (Arlt, 2002)

- **Absolutní přírůstek (tzv. první diference)**

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}, \quad (5)$$

kde $t = 2, 3, \dots, T$. První diference popisují změnu hodnoty v čase t proti času $t - 1$. V časové řadě délky T můžeme vypočítat $T - 1$ přírůstků.

- **Průměrný absolutní přírůstek**

$$\bar{\Delta} = \frac{(y_2 - y_1) + (y_3 - y_2) + \dots + (y_T - y_{T-1})}{T-1} = \frac{y_T - y_1}{T-1}, \quad (6)$$

Z absolutního přírůstku lze dopočítat průměrný absolutní přírůstek, který vyjadřuje, o kolik se průměrně změnila hodnota časové řady za jednotkový časový interval.

- **Koeficient růstu**

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}} \quad (7)$$

Když vynásobíme koeficientu růstu 100, dostaneme **tempo růstu**, které vyjadřuje procentní změnu hodnoty v čase $t - 1$ oproti hodnotě v čase t .

- **Průměrný koeficient růstu**

$$\bar{k}_t = \sqrt[T-1]{k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_T} = \sqrt[T-1]{\frac{y_T}{y_1}}, \quad (8)$$

který se vypočítá jako geometrický průměr jednotlivých koeficientů růstu. Koeficienty růstu je možné použít i jako jedno z kritérií pro nalezení vhodné trendové funkce.

- **Koeficient přírůstku**

$$\delta_t = \frac{\Delta y_t}{y_{t-1}} = k_t - 1, \quad (9)$$

když se koeficient přírůstku vynásobí 100, dostaneme **tempo přírůstku**, které popisuje, o kolik procent se změnila hodnota časové řady v čase t ve srovnání s časem $t - 1$.

- **Průměrný koeficient přírůstku**

$$\bar{\delta} = \bar{k} - 1, \quad (10)$$

V případě že chceme porovnat hodnoty stejného období v dvou po sobě jdoucích letech (např. prosincové hodnoty dvou po sobě jdoucích let), můžeme využít tzv. **sezónní difference** ${}^{sez}d_t$ nebo **meziroční koeficient růstu** ${}^{sez}k_t$.

$${}^{sez}d_t = y_t - y_{t-m} \quad (11)$$

$${}^{sez}k_t = \frac{y_t}{y_{t-m}}, \quad (12)$$

kde m udává počet dílčích období v roce.

4.4 Metody analýzy časových řad

4.4.1 Kvalitativní metody

Kvalitativní (tzv. expertní) metody jsou založeny na subjektivních názorech odborníků. Tyto metody se většinou využívají v případech, když nemáme k dispozici starší data pro analýzu. Mezi kvalitativní metody patří například subjektivní vyrovnávání křivkou (expert se snaží odhadnout budoucí vývoj do grafu), Delfi metoda (odborníci jsou postupně dotazováni a jejich odpovědi porovnávány, takto se postupuje stále dokola, dokud není nalezena většinová shoda), technologie srovnání a další. (Cipra, 1986)

4.4.2 Kvantitativní metody

V kvantitativních metodách jsou předpovědi vytvářeny na základě statistické analýzy naměřených dat. Kvůli tomu jsou výsledné předpovědi závislé na předpokladu, že se v budoucnosti nezmění dosavadní charakter vývoje řady.

S predikcí do budoucnosti souvisí také chyba předpovědi. Tu je možné zjistit tak, že vytvoříme předpověď pro již známá data a porovnáme je se skutečnými naměřenými hodnotami. Velká chyba v předpovědi může znamenat, že reziduální složka představuje velký podíl v analyzované řadě nebo také nevhodnost použité předpovědní metody. (Cipra 1986)

Kvantitativní metody se dále člení na:

Neadaptivní metody, které popisují časovou řadu jako celek. Pro analýzu se časová řada proloží matematickou křivkou vycházející z metody dekompozice časové řady.

Adaptivní přístup, který vychází z předpokladu, že zákonitosti vývoje nejsou v celé pozorované délce časové řady stálé. Důležitou vlastností adaptivních metod je, že mají schopnost pracovat s trendovými složkami, které v čase mění svůj charakter a které není možné vyjádřit matematickou funkcí. Příkladem adaptivních metod jsou dle Minaříka (2008) například Box-Jenkinsova metodologie, metoda klouzavých průměrů a metoda exponenciálního vyrovnávání.

Mezi základní kvantitativní metody analýzy časových řad patří dekompozice časové řady, Box-Jenkinsova metodologie, regresní (příčinné) modely a lineární dynamické modely, spektrální analýza a další metody, mezi které se řadí např. naivní modely a modely na principu filtrů. (Hampel, 2012)

4.4.3 Dekompozice časové řady

Aby bylo možné lépe identifikovat pravidelné chování časové řady, provádí se v klasickém (formálním) modelu při práci s řadou dekompozice (rozklad) na 4 složky, i když ne každá řada je musí všechny obsahovat. Dle Cipry (1986) to jsou tyto složky:

- Trend
- Sezónní složka
- Cyklická složka
- Reziduální (náhodná) složka

První tři složky – trend, sezónnost a cyklická složka tvoří tzv. **systematickou složku** časové řady.

Trend odráží dlouhodobé změny v průměrném chování časové řady (např. dlouhodobý růst nebo dlouhodobý pokles). Je možné si představit, že trendová složka vznikla v důsledku působení sil, které systematicky působí ve stejném směru. Této složce je připisován relativní charakter, protože dlouhodobá změna je pro každého jinak časově vymezena.

Sezónní složka popisuje periodické změny v časové řadě, které se odehrávají během jednoho kalendářního roku a každý rok se opakují. Pro sledování sezónní složky jsou nejvhodnější měsíční nebo čtvrtletní data, protože sezónnost je v mnoha případech způsobena střídáním ročních období.

Cyklická složka popisuje kolísání okolo trendu (fáze růstu a poklesu) v důsledku dlouhodobého vývoje s délkou periody delší jak jeden rok. Délka cyklů je většinou proměnlivá, stejně jako intenzita jednotlivých fází cyklu. Eliminace cyklické složky je obtížná jak z věcných důvodů, díky obtížnému nalezení příčin jejího vzniku, tak z výpočetních důvodů, kvůli proměnlivosti charakteru cyklické složky v čase.

Reziduální složka je část časové řady, která zůstane po odstranění systematické složky. Je tvořena náhodnými pohyby (fluktuacemi), které nemají rozpoznatelný systematický charakter. V této složce jsou obsaženy také chyby měření a chyby, kterých se může dopustit statistik při vlastní práci (např. zaokrouhlování hodnot). Pro odůvodnění některých statistických postupů existuje předpoklad, že reziduální složka je bílý šum. V některých případech může jít o bílý šum s normálním rozdělením.

Samotný tvar rozkladu může mít dva typy:

- **Aditivní tvar** dekompozice, při kterém jsou jednotlivé složky uvažovány ve svých skutečných absolutních hodnotách a jsou měřeny v jednotkách řady y_t .

$$y_t = T + C + S + E \quad (13)$$

- **Multiplikativní tvar** dekompozice, při kterém je pouze trendová složka uvažována ve své absolutní hodnotě v jednotkách řady y_t . Zbylé složky jsou v relativních hodnotách vůči trendu. Multiplikativní model lze pomocí logaritmické transformace převést na aditivní.

$$y_t = T \cdot C \cdot S \cdot E \quad (14)$$

4.4.4 Box-Jenkinsova metodologie

Pro konstrukci modelu pomocí Box-Jenkinsovy metodologie je základním prvkem nesystematická složka – tedy reziduální složka, která může být tvořena korelovanými náhodnými veličinami. Tato metoda pak vychází z identifikace závislostí mezi jednotlivými daty. Box-Jenkinsova metodologie se člení na modely stacionárních časových řad a modely nestacionárních časových řad.

Mezi **modely stacionárních časových řad** se řadí autoregresní proces řádu p – $AR(p)$, kde hodnota časové řady v čase t je tvořena lineární kombinací minulých hodnot řady a náhodnou veličinou. Proces klouzavých průměrů reziduální složky řádu q – $MA(q)$, kde hodnota vysvětlované veličiny v čase t je tvořena lineární kombinací současné hodnoty a minulých hodnot náhodné veličiny. Třetí mož-

ností je využít smíšený proces $ARMA(p, q)$. Všechny tyto tři metody předpokládají, že náhodná složka má charakter bílého šumu.

U **nestacionárních časových řad** se provádí stacionarizace diferencováním a zjišťuje se nutný řád diferencování d . Výsledný model se potom označuje $ARIMA(p, d, q)$. V případě sezónních vlivů se do modelu zahrnují také sezónní diference a sezónní koeficienty, které popisují závislost mezi sobě odpovídajícími veličinami v jednotlivých sezónách. Takový model potom označujeme $SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$, kde s určuje počet sezón.

- Jednoduché diferencování prvního řádu odstraňuje stochastický trend:

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \quad (15)$$

- Sezónní diferencování pro měsíční data, které odstraňuje sezónní složku:

$$\Delta^{12} y_t = y_t - y_{t-12} \quad (16)$$

Pro práci s Box-Jenkinsovou metodologií je potřeba alespoň padesát pozorování. Model se sestavuje v následných krocích – identifikace modelu, odhad parametrů modelu a verifikace modelu. Při identifikaci modelu využíváme graf autokorelační funkce (ACF) a parciální autokorelační funkce (PACF). Autokorelační funkce poskytuje informaci o síle lineární závislosti mezi veličinami y_t a y_{t-k} . PACF podává informaci o korelaci veličin y_t a y_{t-k} očištěnou o vliv veličin, které leží mezi nimi. Odhad koeficientů modelu se dělá na základě metody maximální věrohodnosti. S modelem lze dále pracovat, pokud jsou odhadnuté koeficienty statisticky významné (z-test) a rezidua vykazují vlastnosti bílého šumu (tj. rezidua mají nulovou střední hodnotu, nulový rozptyl a sériovou nezávislost).

Kvalitu modelu hodnotíme pomocí **minimalizačních kritérií AIC, BIC a HQC** a vybereme ten, který má hodnoty nejnižší. Při verifikaci modelu pak testujeme přítomnost **autokorelace** (Ljung-Boxův test), **normalitu rozdělení** (Chí-kvadrát test dobré shody) a **podmíněnou heteroskedasticitu** (ARCH test). (Hampel a kol., 2012)(Arlt, 2002)

4.5 Trend a volba trendové funkce

Mezi metody eliminace trendu patří subjektivní metody, které, jsou postaveny na grafickém znázornění časové řady. Nejjednodušší metoda spočívá v tom, že graf řady proložíme křivkou středů vytypovaných cyklů, čímž se snažíme vyrovnat horní a dolní výkyvy periodických fluktuací okolo trendu. Další možnou metodou je tzv. průměrování cyklů, kdy spojujeme horní body zvratu jednou a dolní body zvratu. Nakonec pro každý časový okamžik najdeme středy mezi horní a dolní čarou.

Druhým způsobem je analytický popis trendu pomocí matematické křivky (trendové funkce). (Cipra 2013)

4.5.1 Typy trendových funkcí

Vhodný typ matematické křivky určujeme na základě předběžného grafického rozboru nebo pomocí informativních testů. Nejpoužívanější metodou pro odhad parametrů trendových funkcí je metoda nejmenších čtverců, kterou je možno využít v případech, kdy trendová funkce je lineární v parametrech. Základní typy trendových funkcí jsou následující, kdy pro všechny uvedené trendové funkce nabývá časová proměnná t hodnoty $t = 1, 2, \dots, T$. (Hindls, 1999)

Konstantní trend

$$T_t = \beta_0, \quad (17)$$

kde se hodnoty trendu vzhledem k časové proměnné t nemění, jsou konstantní. Odhad parametru β_0 se vypočte pomocí metody nejmenších čtverců jako průměr hodnot časové řady. (Arlt, 2002)

Lineární trend (trendová přímka)

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t, \quad (18)$$

kde parametr β_0 udává, jaká byla hodnota trendu v čase $t = 0$, parametr β_1 je směrnici přímky, která popisuje, jak se změnila hodnota trendu zvýšením časové proměnné t o jedničku. (Hindls, 1999)

Kvadratický (parabolický) trend (trendová parabola)

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2, \quad (19)$$

kde parametry β_0 , β_1 a β_2 jsou neznámé parametry. Protože jde o funkci lineární v parametrech, pro odhad parametrů použijeme metodu nejmenších čtverců. (Hindls, 1999)

Exponenciální trend

$$T_t = \beta_0 \cdot \beta_1^t, \quad (20)$$

kde neznámé parametry jsou β_0 a β_1 a parametr $\beta_1 > 0$. Protože je tato funkce nelineární v parametrech, musíme před použitím metody nejmenších čtverců provést linearizující transformaci logaritmováním, díky které dostaneme model lineární podoby. Rovnice pro výpočet odhadu parametrů vypadá následovně: (Arlt, 2002)

$$\ln T_t = \ln \beta_0 + t \ln \beta_1 \quad (21)$$

Dalšími typy trendových funkcí jsou modifikovaný exponenciální trend, logistický trend, Gompertzův trend a tzv. technika splajnových funkcí. (Cipra, 2013)

Kritéria pro volbu vhodné trendové funkce

Z hlediska účelu modelování časových řad jsou kritéria rozdělena na interpolační a extrapolaci. Rozdílem je, zda chceme pouze popisovat minulý vývoj ukazatele (interpolační) nebo konstruujeme předpovědi vývoje (extrapolační).

Interpolační kritéria jsou založena na porovnávání součtu (průměrů) čtverců odchylek skutečných a vyrovnaných hodnot. Čím menší je takto vypočtený součet, tím kvalitnější by model měl být. Nejčastěji se dnes využívá průměrná čtvercová odchylka (M. S. E.)

Mezi interpolační kritéria patří: (Hindls, 2000)

Střední chyba odhadu = Mean Error (M. E.)

$$M.E. = \frac{\sum (y_t - \hat{T}_t)}{n}, \quad (22)$$

Střední čtvercová chyba odhadu = Mean Squared Error (M. S. E.)

$$M.S.E. = \frac{\sum (y_t - \hat{T}_t)^2}{n}, \quad (23)$$

Střední absolutní chyba odhadu = Mean Absolute Error (M. A. E.)

$$M.A.E. = \frac{\sum |y_t - \hat{T}_t|}{n}, \quad (24)$$

Střední absolutní procentní chyba odhadu = Mean Absolute Percentage Error (M. A. P. E.)

$$M.A.P.E. = \sum \left(\frac{|y_t - \hat{T}_t|}{y_t} \right) \cdot 100/n, \quad (25)$$

Střední procentní chyba odhadu = Mean Percentage Error (M. P. E.)

$$M.P.E. = \sum \left(\frac{y_t - \hat{T}_t}{y_t} \right) \cdot 100/n, \quad (26)$$

Extrapolaci kritéria jsou nejčastěji založena na simulaci. Tu provádíme tak, že z analyzované řady oddělíme část pozorování. Vhodnost trendové funkce pak posuzujeme na základě toho, jak dobře umí extrapolovat tato pozorování. (Hindls, 2000)

4.6 Sezónní složka a její očištění

Sezónnost se projevuje opakovaním pravidelných výkyvů o periodě kratší než jeden rok nebo právě jeden rok. Toto kolísání do určité míry zakrývá dynamiku ekonomických jevů, čímž znemožňuje provádět objektivní srovnání hodnot v rámci roku. Proto při práci s časovou řadou, ve které byla nalezena sezónnost, provádíme sezónní očištění hodnot, které vyloučí sezónní vlivy z dat.

Pro vyjádření sezónnosti se v koncepci klasického modelu časové řady využívá model konstantní nebo proporcionální sezónnosti.

Model konstantní sezónnosti (někdy také model aditivní) je postaven na předpokladu, že sezónní výkyvy jsou každý rok stejné a nejsou ovlivněny vývojovými změnami trendové složky – tzn. amplituda výkyvů zůstává při jakémkoliv vývoji trendu skoro beze změny.

$$y_{ij} = T_{ij} + S_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad (27)$$

kde $i = 1, 2, \dots, m$ označuje pořadové číslo let a $j = 1, 2, \dots, r$, kde r určuje počet dílčích období v roce (př. pro měsíční data se $r = 12$). (Hindls, 2000)

Model proporcionální sezónnosti (někdy také multiplikativní model) je založen na předpokladu, že v daných dílčích obdobích $j = 1, 2, \dots, r$ dochází ke změnám výkyvů související s trendem – tzn. amplituda výkyvů je úměrná vývoji trendové složky. (Hindls, 2000)

Regresní přístup

Regresní přístup využívá pro modelaci řady kvalitativní umělé proměnné D_{jt} (tzv. dummy proměnné), které mají binární charakter - nabývají hodnot 1 a 0. Jestliže čas t odpovídá j -té roční sezóně, potom dummy proměnná nabývá hodnoty 1, jinak je nulová.

$$Y_t = T_t + S_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 D_{2t} + \dots + \beta_m D_{mt} + \varepsilon_t, \quad (28)$$

kde je současně modelována jak trendová, tak sezónní složka. Počet dummy proměnných, které jsou do modelu zahrnuty je vždy o jednu menší než sezón v roce. Parametry umělých proměnných popisují přírůstek nebo pokles hodnoty daného období sledovaného ukazatele oproti období, u kterého není dummy proměnná obsažena v modelu. (Cipra, 2013) (Adamec, 2013)

4.7 Náhodná složka

Náhodnou složku v časové řadě můžeme vyjádřit ve tvaru:

$$\varepsilon_t = y_t - Y_t \quad (29)$$

Obecně můžeme tuto složku brát jako výsledek působení náhodných (stochastických) vlivů, které nelze zachytit žádnou funkcí času. Jejím zdrojem jsou vzájemně nezávislé náhodné vlivy, které se v průběhu časové řady vykompenzují, což by mělo ve výsledku znamenat, že jejich střední hodnoty jsou nulové. (Hindls, 1999)

$$E(\varepsilon_t) = 0, \quad \text{pro } t = 1, 2, \dots, T \quad (30)$$

Dalšími předpoklady jsou konstantní rozptyl v čase a lineární (sériová) nezávislost, tzn. platí: (Hindls, 2004)

$$D(\varepsilon_t) = \sigma^2, \quad \text{pro } t = 1, 2, \dots, T, \quad (31)$$

$$E(\varepsilon_t, \varepsilon_{t'}) = 0, \quad \text{pro } t, t' = 1, 2, \dots, T, \quad t \neq t' \quad (32)$$

V případě splnění těchto tří předpokladů můžeme hovořit o tom, že náhodná složka tvoří tzv. **bílý šum**. Pokud náhodná složka splňuje také předpoklad normality, hovoříme o normálním bílém šumu. (Hindls, 1999)

Pro hodnocení normality reziduí se může využít například **Chí-kvadrát test dobré schody**, který pokládá hypotézy následovně.

<i>Nulová hypotéza:</i>	<i>chybový člen má normální rozdělení</i>
<i>Alternativní hypotéza:</i>	<i>chybový člen nemá normální rozdělení</i>

Dalším testem, který pracuje s náhodnou složkou je **Durbin-Watsonův test autokorelace**, který ověřuje, zda jsou náhodné poruchy nezávislé vůči sobě. Nulovou hypotézou je nezávislost náhodných složek, alternativní hypotéza tvrdí, že náhodné poruchy jsou závislé. Pro testové kritérium se využívá Durbin-Watsonova statistika:

$$DW = \frac{(e_2 - e_1)^2 + \dots + (e_{n-1} - e_{n-2})^2 + (e_n - e_{n-1})^2}{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2} = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}, \quad (33)$$

kde hodnoty DW se pohybují v intervalu $<0,4>$ a platí, že v případě nezávislosti náhodných poruch se statistika DW pohybuje okolo hodnoty 2. Přímou závislost popisují kladné hodnoty blízké nule, nepřímou závislost potom hodnoty blízké čtyřem. (Hindls, 2004)

4.8 Testy ověřující kvalitu modelu

Po vytvoření modelu je vhodné model podrobit několika testům, kde rozhodujeme, zda platí nulová nebo alternativní hypotéze. Pomocí porovnání p -hodnoty se zvolenou hladinou významnosti α určujeme, jestli bude nulová hypotéza zamítnuta ($p\text{-hodnota} < \alpha$) nebo zda platí ($p\text{-hodnota} > \alpha$). Vybrané testy, které budou v praktické části použity, jsou popsány níže.

Základními testy při konstrukci modelu jsou t -test, který ověřuje statistickou významnost jednotlivých regresních parametrů modelu a F -test, který hodnotí statistickou průkaznost modelu. Pro **t-test** jsou hypotézy stanoveny následovně

Nulová hypotéza: parametr je statisticky nevýznamný (je nulový)
Alternativní hypotéza: parametr je statisticky významný (je nenulový)

Pro **F-test** platí

Nulová hypotéza: model není statisticky významný
Alternativní hypotéza: model je statisticky významný

Vhodným testem k diagnostice specifikačních chyb vzniklých v důsledku vynechání podstatných vysvětlujících proměnných nebo chybnou specifikací funkční formy modelu je **RESET test**, který pokládá hypotézy takto:

Nulová hypotéza: model je správně specifikován
Alternativní hypotéza: model není správně specifikován

Pro určení správné funkční formy se také využívá **LM test specifikace**, pro který mají hypotézy následující tvar:

Nulová hypotéza: specifikace modelu je správná
Alternativní hypotéza: specifikace modelu je chybná

Whiteův test používáme k testování heteroskedasticity chybového členu a je možné ho aplikovat na model, kde nelze předem jednoznačně určit, který z regresorů a jak ovlivňuje změny rozptylu náhodných složek či reziduí. Testovací hypotézy jsou následující: (Hušek, 2007)

Nulová hypotéza: homoskedasticita chybového členu
Alternativní hypotéza: heteroskedasticita chybového členu

Durbin-Watsonův test je využíván k testování autokorelace 1. řádu.

Nulová hypotéza: *autokorelace chybového členu nevyskytuje*
Alternativní hypotéza: *chybový člen vykazuje autokorelaci*

Jestliže v modelu časové řady prokážeme výskyt autokorelace reziduí, znamená to, že reziduální složka ε_t je korelovaná se svými zpožděnými a budoucími hodnotami. (Cipra, 2008)

Kromě testů uvedených výše se pro hodnocení kvality modelu používají minimalizační informační kritéria, například **Akaikovo informační kritérium AIC** a **Schwarzovo bayesovské informační kritérium SBIC**, které silněji penalizuje rostoucí počet parametrů a tím preferuje oproti AIC jednodušší specifikace modelu.

$$AIC = \ln \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 + \frac{2k}{n}, \quad (34)$$

$$SBIC = \ln \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 + \frac{k}{n} \ln n, \quad (35)$$

kde n je počet pozorování (reziduí) a k je počet odhadovaných parametrů modelu. (Hušek 2007)

4.9 Extrapolace systematické složky

Základem pro extrapolaci (předpověď) systematické složky časové řady je co nejlepší popis předchozího vývoje sledované řady (tzv. interpolace) a předpoklad, že v budoucnosti nedojde k náhlé změně zákonitostí vývoje zkoumaného jevu.

Jednou z možností je **bodová předpověď**, kterou získáme dosazením příslušné hodnoty časové proměnné t_{n+1}, t_{n+2}, \dots do vzorce systematické složky časové řady.

Další možností je vytvořit tzv. **horizont předpovědi**, kde se snažíme konstruovat budoucí hodnoty y_{n+i} a platí, že $i > 0$ a y_n je poslední známá hodnota časové řady.

U předpovědi budoucího vývoje se nikdy zcela nevyhneme **chybě předpovědí**. Velikost této chyby se zvětšuje s rostoucí délkou horizontu předpovědi, s nedokonalostmi popisu uplynulého vývoje časové řady a se zkracující se délkou uplynulých pozorování. Velikost chyby může být také ovlivněna změnou zákonitostí budoucího vývoje oproti sledovému období. **Skutečnou chybu předpovědi** je možné určit až v případě, kdy známe skutečné hodnoty y_{n+i} . Proto se často vychází z tzv. **pseudopredikce**, ve které se za neznámé budoucí hodnoty použije několik posledních m pozorovaných hodnot řady.

Pro charakteristiku míry přesnosti předpovědi časové řady se využívá **Theilův koeficient nesouladu**

$$T^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{n+i} - Y_{n+i})^2}{\sum_{i=1}^m y_{n+i}^2}, \quad (36)$$

kde $y_{n+i} - Y_{n+i}$ jsou rozdíly mezi pozorovanými a předpovídanými hodnotami. Aby bylo možno výsledek koeficientu lépe interpretovat, převádí se pomocí vzorce:

$$100 \cdot \sqrt{T^2}, \quad (37)$$

na **procentní chybu předpovědi**. (Minařík, 2008)

4.10 Postup zpracování dat

Data, se kterými pracuji, jsou krátkodobé intervalové časové řady s měsíční periodou. Tato data jsem očistila o měsíční variace na průměrný měsíc o délce 30,42 dnů. Pro zpracování je využit ekonometrický program Gretl. Vysvětlovanou proměnnou v modelu tvoří měsíční data, která jsou v grafu znázodněna na ose Y. Za vysvětlující proměnnou (regresor) byl použit čas zobrazený na ose X. Práce s modely byla následující:

- Do modelu byl přidán časový trend (t nebo t^2) a periodické indikátorové proměnné (tzv. dummy proměnné dm_1 až dm_{11}), protože dle grafického zobrazení dat bylo patrné, že jde o sezonní časové řady. Proměnná dm_{12} je z modelu vynechána z důvodu přesné kolinearity.
- Dále jsem zkontrolovala významnost jednotlivých regresních parametrů modelu pomocí srovnání p-hodnoty proměnných s $\alpha = 5\%$ (tzn. na 95% hladině významnosti) a celkovou významnost modelu pomocí F-testu.
- Následně jsem modely podrobila QLR testu, který vyhledává zlomy, díky kterým je možno lépe popsat zpracovávanou časovou řadu. Zlom byl do modelu zařazen, pokud byl průkazný a byl v souladu s teorií.
- Při porovnání kvality modelů jsem využívala srovnání hodnot koeficientu determinace, který by měl být co největší, a dvou minimalizačních kritérií – Akaikovo a Schwarzovo kritérium. Při výběru modelu jsem také brala ohled na statistická kritéria, mezi která patří střední chyba, střední čtvercová chyba, směrodatná odchylka apod.
- K ověření správnosti sestavení modelu jsem využila 4 testů – RESET test, LM test specifikace, Whiteův test heteroskedasticity a test normality reziduí, u kterých jsem opět porovnávala p-hodnoty testů s hodnotou $\alpha = 5\%$.

- Pro vizuální zhodnocení modelu jsem použila grafy skutečných a vyrovnaných hodnot v závislosti na čase.

Pro modely celkové výroby, národní spotřeby, importu a exportu jsem vytvořila v programu Gretl predikce pro roky 2015 a 2016. Následně jsem zhodnotila kvalitu předpovědi pomocí Theilova koeficientu a ukazatelů průměrné absolutní procentní chyby (MAPE) a směrodatné odchylky (RMSE).

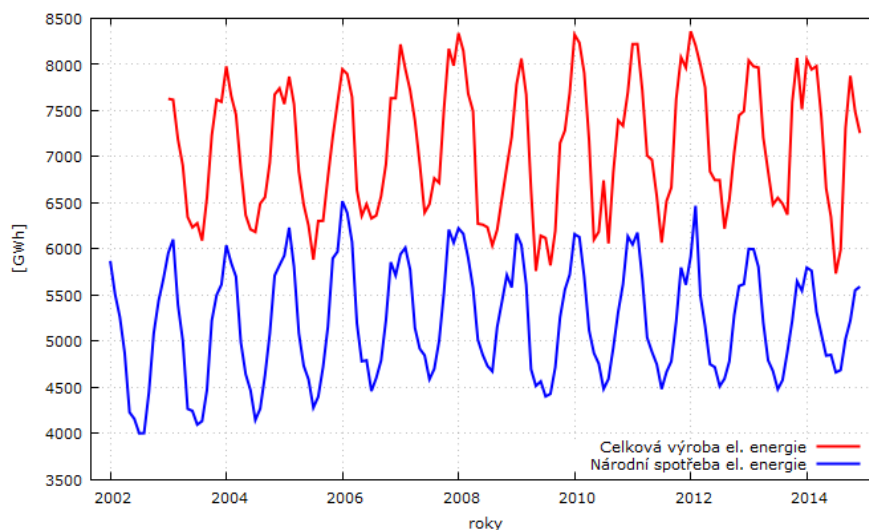
5 Výsledky a diskuze

5.1 Časové řady celkové výroby a národní spotřeby elektrické energie

V práci pracuji s hodnotami celkové brutto výroby, které zahrnují veškerou elektřinu vyrobenou na území České republiky. Hodnoty netto výroby by byly sníženy o vlastní spotřebu elektráren na výrobu elektrické energie, které tvoří 7 až 9 % brutto výroby. Výroba elektřiny v ČR se pohybuje v intervalu okolo 5,8 až 8,5 tisíc GWh měsíčně. Průměrná měsíční výroba je přibližně 7 101 GWh. Nejvyšší měsíční hodnota produkce elektřiny ve sledovaném období byla v lednu 2012 a dosáhla 8 520 GWh, minimální byla v červenci roku 2014 s hodnotou 5 842 GWh.

Druhým sledovaným ukazatelem je národní spotřeba, která zahrnuje netto výrobu elektřiny bez spotřeby na čerpání PVE a salda. Měsíční národní spotřeba elektřiny v ČR se nachází v rozmezí od 4 do 6,6 tisíc GWh s průměrnou hodnotou 5 212 GWh. Rozdíl mezi výrobou a spotřebou tvoří v průměru asi 1 880 GWh. Svého maxima 6 641 GWh dosáhla spotřeba v lednu 2006, minimum 4 078 GWh připadá na červenec 2002.

Grafické znázornění celkové výroby a národní spotřeby elektrické energie představuje obrázek 5. Je zde patrné, že obě časové řady mají podobný průběh, který je způsoben nemožností skladovat elektrickou energii. Rozdíl mezi hodnotami výroby a spotřeby elektrické energie tvoří ztráty v ES, obchodní bilance s elektřinou a vlastní spotřeba elektřiny elektráren na její výrobu. Dalším zjevným rysem obou časových řad je jejich každoročně se opakující průběh a stejná období, ve kterém dosahují řady svých maxim a minim. Maxima nastávají v lednových obdobích, minima okolo července.



Obr. 5 Vývoj měsíčních hodnot celkové výroby a národní spotřeby elektrické energie v ČR

5.1.1 Celková výroba

Model celkové výroby elektrické energie byl popsán modelem s rostoucím lineárním trendem a zlomem v období 05/2008 (výstup QLR testu o nalezení strukturálního zlomu je vidět na obr. 17 v příloze). Koeficient determinace dosáhl hodnoty 0,89028, což znamená, že vytvořený model popisuje skutečný průběh řady z 89 % a má následující podobu.

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 7428,3^{(**)} + 7,82^{(**)}t + 277,07dm_1 + 179,6dm_2 - 142,18dm_3 - 671,1^{(**)}dm_4 \\ & - 1160,79^{(**)}dm_5 - 1348,27^{(**)}dm_6 - 1438,88^{(**)}dm_7 - 1276,45^{(**)}dm_8 \\ & - 1144,38^{(**)}dm_9 - 618,64^{(**)}dm_{10} - 39,46dm_{11} - 499,83^{(*)}zlom - 2,08zt \quad (38) \\ & + 334,33zdm_1 + 404,35zdm_2 + 486,11^{(*)}zdm_3 + 338,36zdm_4 + 143,49zdm_5 \\ & + 224,57zdm_6 + 232,42zdm_7 - 80,81zdm_8 + 200,08zdm_9 + 400zdm_{10} + 10,96zdm_{11}, \end{aligned}$$

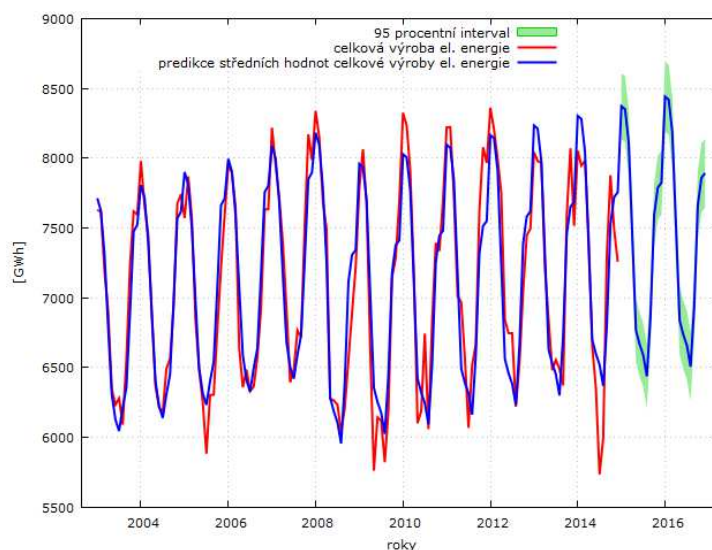
kde ** v horním indexu označují průkaznost koeficientu na 99% hladině významnosti a * značí průkaznost na 95% hladině významnosti. Hodnoty modelů jsou zaokrouhlovány na dvě desetinná místa.

Model nám potvrdil, že v lednu je výroba elektrické energie maximální a nejméně elektřiny se vyrábí v červenci. Velký pokles výroby nastává z března na duben, následný výrazný nárůst pak v říjnu. Zlom v květnu 2008, který je průkazný a má zápornou hodnotu popisuje změnu v průběhu časové řady, kdy výroba elektřiny klesla více než v předchozím roce. Po zlomu došlo také ke zpomalení rostoucího trendu výroby, který je úzce spjat s vývojem spotřeby elektrické energie. Ta na přelomu roku 2008 a 2009 klesla a zastavila svůj každoroční růst.

Předpověď celkové výroby elektrické energie zobrazuje obr. 6. Do roku 2015 představují modré křivky vyrovnané hodnoty skutečných veličin. Pro následující dva roky znázorňují střední hodnoty predikce a zelená plocha vyznačuje interval, ve kterém by se měly s 95% pravděpodobností skutečné hodnoty výroby vyskytovat.

Z obrázku 6 je patrné, že predikce výroby má rostoucí trend, který byl popsán v modelu výše. Avšak u konce sledovaného období vidíme, že tento rostoucí trend se ve skutečnosti v roce 2013 změnil na mírně klesající a v roce 2014 došlo k dalšímu poklesu. Tato změna trendu nebyla modelem zachycena, což může způsobit zvýšení odchylky předpovědi od skutečných hodnot. Přesné hodnoty vztahující se k předpovědi celkové výroby jsou uvedeny v tabulce tab. 17 v příloze, kde vidíme, že 95% konfidenční interval má rozsah okolo 500 GWh.

Velmi výrazný pokles v červenci 2014, kdy výroba klesla asi o 800 GWh oproti předchozímu roku, mohl být způsoben nějakou poruchou nebo plánovanou odstávkou některé z elektráren. Na celkový nízký objem výroby v roce 2014 mělo s velkou pravděpodobností vliv počasí, kdy průměrná roční teplota dosáhla 11,5°C, což je nejvyšší průměrná teplota za celé sledované období.



Obr. 6 Vývoj měsíčních hodnot celkové výroby elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016

5.1.2 Národní spotřeba

Pro národní spotřebu jsem opět zvolila model s lineárním trendem a zlomem v období 11/2008 (výstup QLR testu je na obr. 18 v příloze), kde došlo ke změně trendu z rostoucího na přibližně konstantní. Tato změna byla způsobena celosvětovou hospodářskou krizí, která byla odstartována v Americe hypoteční krizí v roce 2007. Tato krize se v České republice začala projevovat koncem roku 2008 a nejvíce postihla rok 2009. Z hodnoty koeficientu determinace vidíme, že průběh časové řady spotřeby byl popsán vybraným modelem z 95,52 %. Odhad modelu je popsán rovnicí níže.

$$\begin{aligned}
 \hat{Y}_t = & 5445,29^{(**)} + 8,68^{(**)} t + 301,11^{(**)} dm_1 + 261,2^{(**)} dm_2 - 82,69 dm_3 - 670,24^{(**)} dm_4 \\
 & - 1147,79^{(**)} dm_5 - 1248,49^{(**)} dm_6 - 1492,35^{(**)} dm_7 - 1432,76^{(**)} dm_8 - 1092,44^{(**)} dm_9 \\
 & - 597,52^{(**)} dm_{10} - 33,41 dm_{11} + 226,76 zlom - 8,56^{(**)} zt + 26,99 z dm_1 + 148,77 z dm_2 \\
 & - 2,89 z dm_3 + 32,01 z dm_4 + 235,73^{(*)} z dm_5 + 279,8^{(*)} z dm_6 + 306,92^{(**)} z dm_7 \\
 & + 334,72^{(**)} z dm_8 + z 257,25^{(**)} dm_9 + 162,1 z dm_{10} - 12,33 z dm_{11}
 \end{aligned} \quad (39)$$

Z modelu vidíme, že spotřeba má podobný trend a průběh řady jako výroba. Výrazný pokles spotřeby kopíruje model výroby a nastává v dubnu a klesá až do července, kde nastává minimum. Od srpna pak spotřeba opět roste a v lednu dosáhne svého maxima. Tento opakující jev je způsoben každoročními změnami počasí, které určují topnou sezónu, ve které roste spotřeba elektřiny. Naopak na nízkou spotřebu v letních měsících můžou mít kromě absence vytápění vliv také letní dovolené.

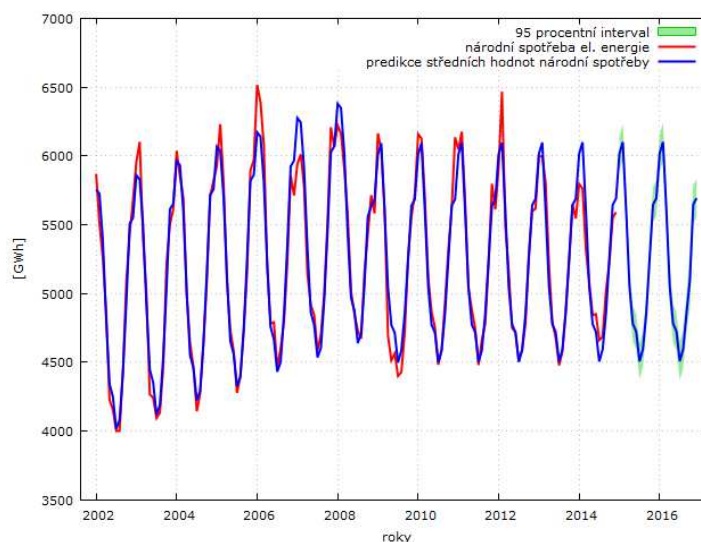
Na přelomu roku 2008 a 2009 se trend mění a stává se téměř konstantní. Pokles spotřeby a zastavení rostoucího trendu byl nastartován celosvětovou hospo-

dářskou krizí a jeho průběh se nemění až do konce sledovaného období, tj. do roku 2014. Tento skoro konstantní trend může být také ovlivněn několika dalšími faktory - například zateplováním domů, zefektivněním výrobních zařízení a snižováním ztrát elektrických zařízení.

Z obr. 7 vidíme, že vyrovnané hodnoty poměrně dobře kopírují skutečné hodnoty spotřeby, kromě 4 výrazných odchylek. První nastala v lednu 2006, kdy měsíční spotřeba dosáhla svého maxima v celém sledovaném období. Tato vysoká spotřeba byla ovlivněna studeným lednem roku 2006, ve kterém byla průměrná naměřená teplota $-4,9^{\circ}\text{C}$. Druhá odchylka se nachází na přelomu roku 2006 a 2007, kdy šlo o velmi teplou zimu, ve které se v žádném měsíci nedostala průměrná měsíční teplota pod bod mrazu. Třetí vychýlení spotřeby vyrovnaných hodnot od skutečných nastalo v únoru 2012 a mělo znovu příčinu v nízké teplotě tohoto měsíce. Čtvrtá odchylka pokryla období konce roku 2013 a celý rok 2014, kdy spotřeba byla nižší než v předchozím roce. Na nižší objem spotřeby měla opět vliv teplota, která dosáhla v roce 2014 svého průměrného ročního maxima $11,5^{\circ}\text{C}$.

Zajímavé je také zvýšení a ustálení minim spotřeby od roku 2010 na úrovni okolo 4 500 GWh, s výjimkou v roce 2014, kdy byla tato hodnota ještě vyšší. Domnívám se, že toto zvýšení spotřeby v letních obdobích může být způsobeno častým používáním klimatizací.

Obrázek 7 dále představuje grafické znázornění predikce středních hodnot národní spotřeby elektrické energie pro roky 2015 a 2016. Přesné hodnoty předpovědi jsou uvedeny v tab. 18 v příloze, u kterých 95% konfidenční interval má rozsah okolo 265 GWh.



Obr. 7 Vývoj měsíčních hodnot národní spotřeby elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016

5.1.3 Ověření vhodnosti a kvality vybraných modelů

U obou modelů bylo F-testem potvrzeno, že jsou modely statisticky významné a pomocí LM testu byla zkontrolována správně zvolená funkční forma. V obou případech RESET test zamítl nulovou hypotézu o správné specifikaci modelu. To jsem ale nepovažovala za významný problém, protože LM test vyšel pozitivně a graf skutečných a vyrovnaných hodnot nevykazoval výrazné odchylky. Whiteův test potvrdil, že chybové členy modelů nevykazují heteroskedasticitu. Normální rozdělení chybového členu bylo prokázáno jen u modelu celkové výroby. P-hodnoty vybraných testů jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 P-hodnoty vybraných testů vztahující se k modelům celkové výroby a národní spotřeby

	<i>p - hodnota</i>	
	<i>Celková výroba</i>	<i>Národní spotřeba</i>
<i>F - test</i>	2,94*10 ⁻⁴⁵	1,38*10 ⁻⁷⁶
<i>RESET test</i>	1,016*10 ⁻⁵	0,032
<i>LM test specifikace</i>	0,457	0,065
<i>Whiteův test heteroskedasticity</i>	0,090	0,115
<i>Chí-kvadrát test normality</i>	0,283	0,008

Jako další jsem se při hodnocení kvality zvolených modelů zaměřila na míry přesnosti vyrovnání a informační kritéria. V obou případech jde o minimalizaci výsledných hodnot, které ukazuje tab. 3. Pro srovnání jsem uvedla hodnoty výsledných modelů využitých v práci a modelů, které zahrnovaly pouze neměnný trend a sezónnost. Z tabulky vidíme, že u obou zvolených modelů vyšly nižší hodnoty kritérií, než u modelů bez zlomu. Z toho usuzuji, že zařazení zlomů do modelů bylo vhodné.

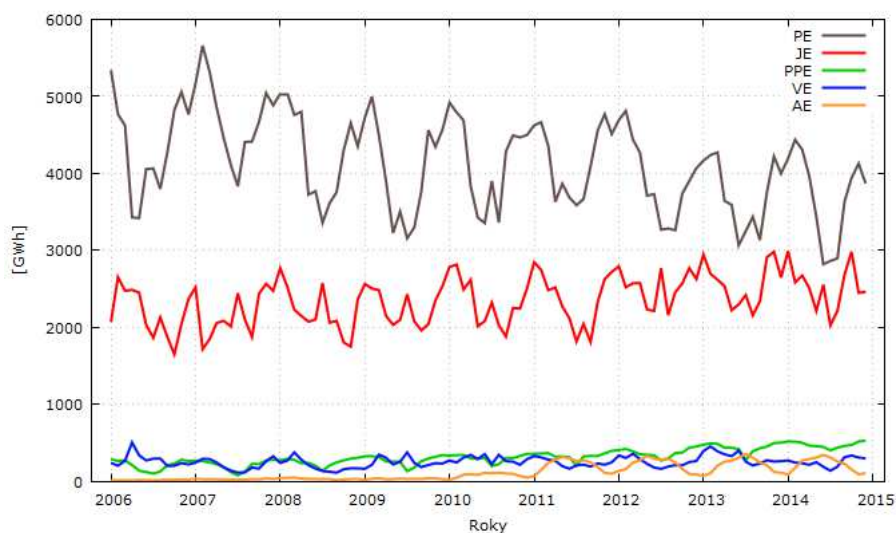
Hodnocení kvality předpovědi jsem prováděla pomocí hodnot Theilova koeficientu nesouladu a průměrné absolutní procentní chyby (MAPE). Theilův koeficient samostatně nevykazoval příliš vysokou kvalitu předpovědi, protože hodnoty 0,515 a 0,338 nejsou blízké nule. Na rozdíl od toho průměrná absolutní procentní chyba dosáhla u obou modelů nižší hodnoty než 5 %, čímž potvrdila, že tento způsob predikce lze považovat za využitelný a dostačující. Z hodnot také vidíme, že lepší kvality dosáhl model národní spotřeby. To bylo zřejmé i z toho, že model spotřeby popsal lépe skutečný průběh řady, a to z 95 %. Model celkové výroby dosáhl o 6 procentních bodů nižší hodnoty a popsal skutečný průběh z 89 %.

Tab. 3 Hodnoty statistických kritérií výstižnosti modelu a hodnoty informačních kritérií pro celkovou výrobu a národní spotřebu elektrické energie

Kritérium	Hodnota			
	Celková výroba		Národní spotřeba	
	Vybraný model	Model bez zlomu	Vybraný model	Model bez zlomu
<i>Střední chyba (M.E.)</i>	5,73*10 ⁻¹²	-3,41*10 ⁻¹³	1,67*10 ⁻¹²	3,96*10 ⁻¹³
<i>Středí kvadratická chyba (M.S.E.)</i>	55 810	73 397	16 465	37 209
<i>Směrodatná odchylka (R.M.S.E.)</i>	236,2	270,9	128,3	192,9
<i>Průměrná absolutní procentní chyba (M.A.P.E)</i>	2,65%	3,11%	1,83%	2,84%
<i>Akaikovo kritérium</i>	2 034	2 047	2 009	2 110
<i>Schwarzovo kritérium</i>	2 111	2 086	2 088	2 150
<i>Theilův koeficient nesouladu</i>	0,515	0,589	0,338	0,534
<i>Koeficient determinace</i>	0,891	0,856	0,957	0,903
<i>Adjustovaný koef. determinace</i>	0,867	0,843	0,949	0,895

5.2 Časové řady výroby elektrické energie z jednotlivých zdrojů energie

V práci byly zdroje elektrické energie rozděleny do 5 skupin a jejich průběh je zobrazen na obrázku 8. Nejvíce elektrické energie vyrábí parní elektrárny (PE) a jaderné elektrárny (JE). V řádech stovek GWh měsíčně produkují elektřinu paroplynové elektrárny (PPE) a vodní elektrárny (VE). Vodní elektrárny zahrnují jak klasické tak i přečerpávací elektrárny, díky kterým je jejich průběh poměrně proměnlivý oproti ostatním zdrojům. Poslední skupinu tvoří alternativní zdroje elektřiny (AE), mezi které se řadí větrné a fotovoltaické elektrárny a elektrárny spalující biomasu.



Obr. 8 Vývoj měsíčních hodnot jednotlivých zdrojů výroby elektrické energie v ČR

Energetický mix na počátku sledovaného období, tj. v roce 2006 byl tvořen ze 62 % parními elektrárnami a z 31 % jadernými elektrárnami. Zbýlých 7 % si rozdělily vodní elektrárny (3,9 %), paroplynové elektrárny (2,9 %) a pouhých 0,2 % výroby pokryly alternativní zdroje energie. V průběhu sledovaného období se energetický mix změnil. Parní elektrárny v roce 2014 kryly 51 % výroby elektřiny a jaderné elektrárny 35 %. Zbýlé tři druhy zdrojů vyrobily ve stejném roce 13 % elektřiny, kdy procentně nejvýraznější růst zaznamenali alternativní zdroje energie se 3 % zastoupením v energetickém mixu.

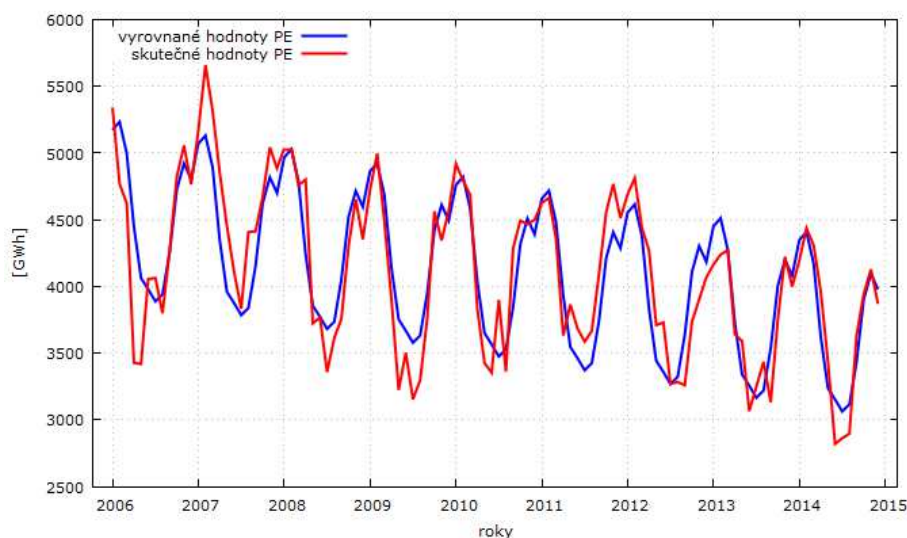
5.2.1 Parní elektrárny

Parní elektrárny vykazují ve sledovaném období klesající trend, který je způsoben omezováním těžby uhlí a postupným odstavováním starých uhelných elektráren. Z obr. 9 vidíme, že v roce 2007 dosáhly parní elektrárny své maximální výroby okolo 5 800 GWh, o 8 let později v roce 2014 se maximum pohybuje na úrovni

4 400 GWh, což je skoro o čtvrtinu méně. Dalším faktorem způsobujícím klesající trend výroby elektřiny z parních elektráren je snaha o zvýšení podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů (tzv. čisté energie), díky kterým by se měly snížit vyprodukované emisní látky. Rovnice popisující model výroby elektrické energie z parních elektráren je následující:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 4906,66^{(**)} - 8,6^{(**)}t + 275,37dm_1 + 345,05^{(*)}dm_2 + 115,91dm_3 \\ & - 423,77^{(**)}dm_4 - 800,88^{(**)}dm_5 - 876,68^{(**)}dm_6 - 958,41^{(**)}dm_7 \\ & - 896,372^{(**)}dm_8 - 571,17^{(**)}dm_9 - 92,39dm_{10} + 110,3dm_{11} \end{aligned} \quad (40)$$

Z modelu, který popsal průběh časové řady ze 79 %, je patrné, že parní elektrárny mají podobný průběh jako řada celková výroba elektřiny. Nejvíce elektřiny je vyrobeno v zimních měsících, minimum nastává v červenci.



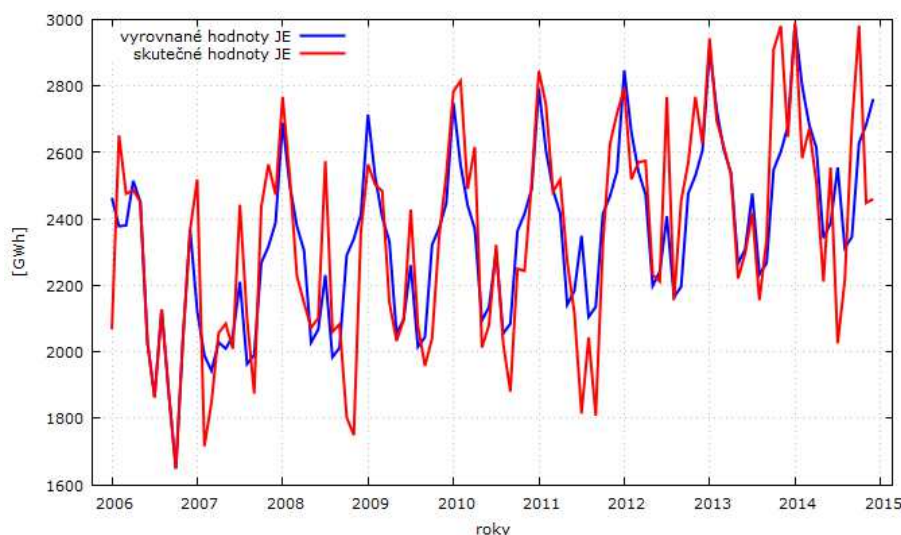
Obr. 9 Měsíční vývoj výroby elektřiny tepelnými elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty

5.2.2 Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny jsou poměrně stabilním zdrojem elektrické energie, i když průběh časové řady je značně kolísavý, což můžeme vidět na obr. 10. Česká republika má 2 jaderné elektrárny, které dohromady disponují 6 jadernými reaktory. V těchto reaktorech se postupně přibližně každý rok až rok a půl mění 25 až 30 % palivových kazet. Protože po celou dobu výměny paliva, která trvá okolo 1,5 až 2 měsíců musí být reaktor zastaven, je kolísavý průběh během roku pro jaderné elektrárny poměrně snadno předvídatelný. Rovnice popisující průběh vyrovnané řady je popsána níže.

$$\begin{aligned}
\hat{Y}_t = & 2659,94^{(**)} - 2,02^{(**)} t^2 - 194,36dm_1 - 273,68dm_2 - 261,27dm_3 - 112,77dm_4 \\
& - 158dm_5 - 557,67^{(*)} dm_6 - 697,68^{(*)} dm_7 - 402,75dm_8 - 621,39^{(*)} dm_9 \\
& - 809,24^{(**)} dm_{10} - 372,7dm_{11} - 290,12zlom + 2,06^{(**)} zt^2 + 492,93zdm_1 \\
& + 382,62zdm_2 + 245,23zdm_3 + 22,11zdm_4 - 211,87zdm_5 + 224,89zdm_6 \\
& + 526,62zdm_7 - 17,25zdm_8 + 227,49zdm_9 + 690,88^{(*)} zdm_{10} + 301,96zdm_{11}
\end{aligned} \tag{41}$$

Model výroby elektrické energie jadernými elektrárnami byl vytvořen se zlomem v květnu 2007 (výstup QLR testu o nalezení strukturálního zlomu zobrazuje obr. 19 v příloze), díky němuž byl v modelu popsán klesající trend v roce 2006 a první polovině roku 2007. Po zlomu nastává obrát, kdy se trend mění na rostoucí. Maximálních hodnot výroby dosahují jaderné elektrárny nejčastěji v lednu. Měsíc, ve kterém jaderné elektrárny vyrábí nejméně elektřiny, se ve sledovaném období mění. Většinou však jde o měsíc nacházející se v podzimním období.



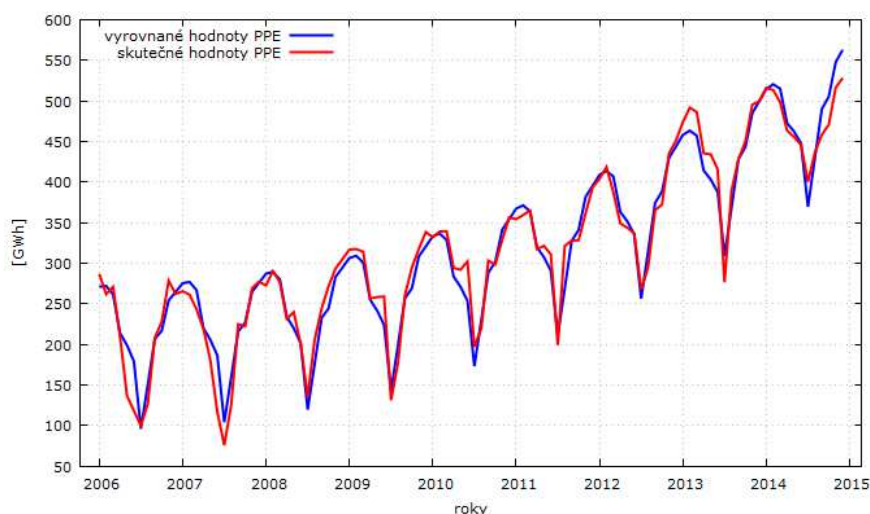
Obr. 10 Měsíční vývoj výroby elektřiny jadernými elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty

5.2.3 Paroplynové elektrárny

Paroplynové elektrárny jsou ekologickým zdrojem elektrické energie, které produkují až o 70 % nižší emise oxidu uhličitého. Ve sledovaném období dosáhl tento zdroj nárůstu výroby o 70 % oproti hodnotám roku 2006. Dlouhodobě je tento zdroj využíván dispečinkem energetické soustavy ke krytí špiček spotřeby elektrické energie nebo při výpadcích jiných energetických zdrojů, díky možnosti zapojit tento zdroj do sítě v řádu několika minut od spuštění.

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 260,87^{(**)} + 0,03^{(**)} t^2 + 10,01dm_1 + 10,89dm_2 + 0,26dm_3 \\ & - 47,42^{(**)} dm_4 - 62,84^{(**)} dm_5 - 82,91^{(**)} dm_6 - 166,24^{(**)} dm_7 \\ & - 111,87^{(**)} dm_8 - 56,63^{(**)} dm_9 - 46,71^{(**)} dm_{10} - 9,78dm_{11} \end{aligned} \quad (42)$$

Z odhadu modelu popisujícího průběh časové řady z 95 %, je opět patrné, že paroplynové elektrárny dosahují maxim v zimních měsících a minim v létě. Na obr. 11 je také vidět, že tento zdroj energie má velice stabilní vývoj v průběhu roku, který je každoročně skoro neměnný. Jedinou změnou od počátku sledovaného období je zvýšení ročního objemu výroby, který je v modelu popsán rostoucím kvadratickým trendem.



Obr. 11 Měsíční vývoj výroby elektřiny paroplynovými elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty

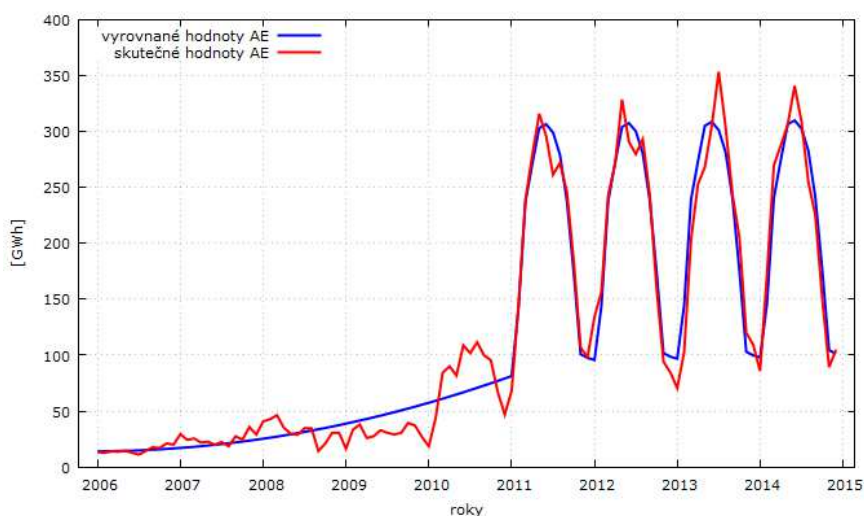
5.2.4 Alternativní zdroje energie

Alternativní zdroje elektřiny jsou v posledních letech diskutovaným tématem a naše republika stejně jako mnoho dalších zemí se snaží zapojit tyto zdroje do svého energetického mixu. Z obr. 12 je patrné, že do roku 2010 tvořily alternativní zdroje zanedbatelnou položkou energetického mixu. V roce 2010 se výroba z těchto zdrojů elektrické energie zdvojnásobila oproti předchozímu roku a v roce 2011 dosáhla trojnásobku roku 2010, kdy maxima se pohybují okolo 330 GWh za měsíc. Tento výrazný růst výroby byl způsoben velkým rozmachem ve stavbě fotovoltaických elektráren, na které stát poskytoval vysoké dotace, při splnění podmínek dostavby a spuštění elektrárny do konce roku 2010.

$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 13,93^{(**)} + 0,018^{(**)} t^2 + 80,72^{(**)} zlom - 0,017^{(**)} zt^2 - 1,89zdm_1 + 45,88^{(**)} zdm_2 \\ & + 140,5^{(**)} zdm_3 + 174,36^{(**)} zdm_4 + 206,19^{(**)} zdm_5 + 209,53^{(**)} zdm_6 \\ & + 202,15^{(**)} zdm_7 + 182,18^{(**)} zdm_8 + 140,9^{(**)} zdm_9 + 76,27^{(**)} zdm_{10} + 3,36dm_{11} \end{aligned} \quad (43)$$

Model popisující 96 % skutečného vývoje výroby elektřiny z alternativních zdrojů energie byl vytvořen se zlomem v únoru 2011 (výstup QLR testu o nalezení struk-

turálního zlomu zobrazuje obr. 20 v příloze). Období před zlomem bylo pouze s rostoucím kvadratickým trendem, bez sezónnosti. Po zlomu došlo k výraznému nárůstu výroby elektřiny, který byl způsoben spuštěním fotovoltaických elektráren v roce 2010. Tento vysoký podíl fotovoltaických elektráren v alternativních zdrojích způsobuje, že průběh časové řady je opačný, oproti ostatním zdrojům. Nejvíce elektřiny je vyrobeno v letních měsících, kdy jsou dlouhé slunné dny. Nejnižších hodnot výroby dosahuje tento zdroj v zimě, kdy slunce svítí méně. Díky protichůdnému vývoji spotřeby a výroby elektřiny z alternativních zdrojů, jsou v naší republice alternativní zdroje prozatím považovány spíše za doplňkový zdroj elektrické energie.



Obr. 12 Měsíční vývoj výroby elektřiny z alternativních zdrojů a jejich vyrovnané hodnoty

5.2.5 Vodní elektrárny

Časová řada výroby elektřiny z vodních elektráren, která je zobrazena na obr. 13 vykazuje nejméně pravidelný průběh ze všech zdrojů elektřiny. Tento, na první pohled náhodný charakter řady je způsoben proměnlivými klimatickými podmínkami a využíváním přečerpávacích elektráren v elektrizační soustavě. Protože přečerpávací elektrárny tvoří asi polovinu instalovaného výkonu vodních elektráren, způsobují tím vysoké výkyvy ve výrobě elektřiny.

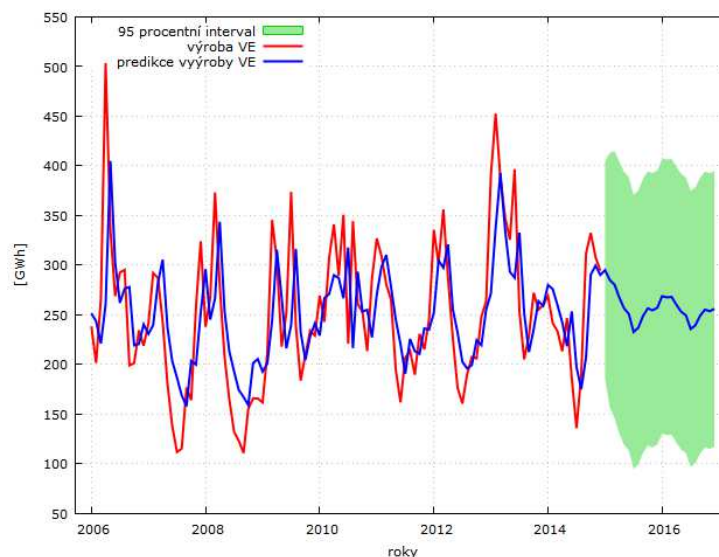
Pro model výroby elektrické energie vodními elektrárnami byla využita Box-Jenkinsova metodologie, která se zaměřuje na práci s nesytematickou (náhodnou) složkou. Rovnice popisující výrobu elektřiny vodními elektrárnami má následující podobu a je označována jako SARIMA $(1,0,0) \times (1,0,1)_{12}$.

$$\hat{Y}_t = 251,33 + 0,61Y_{t-1} + 0,79Y_{t-12} - 0,68a_{t-12} \quad (44)$$

Odhad hodnot jednotlivých měsíců je dán hodnotou konstanty, hodnotou předšlého měsíce (Y_{t-1}), hodnotou stejného měsíce předchozího roku (Y_{t-12}) a hodnotou zpožděné náhodné složky (a_{t-12}). Průkaznost koeficientů modelu zobrazuje tab. 4.

Tab. 4 P-hodnoty z-testu ověřující průkaznost koeficientů modelu výroby elektřiny VE

koeficient	const	phi_1	Phi_1	Theta_1
p-hodnota	$9,37 \cdot 10^{-45}$	$9,42 \cdot 10^{-16}$	0,00222	0,02498



Obr. 13 Vývoj měsíčních hodnot výroby elektřiny vodními elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016

K ověření vhodnosti modelu výroby elektřiny vodními elektrárnami jsem využila testy, které jsou uvedeny v tabulce 5. Z testů normality vidíme, že chybový člen nemá normální rozdělení a proto tento model vykazuje pouze bílý šum. Dále jsem zjistila, že autokorelace chybového členu se v modelu nevyskytuje, což nám potvrdil jak Ljung-Boxův test, tak korelogram reziduí, který je uveden na obr. 21 v příloze. V modelu nebyl nalezen ARCH efekt. Předpověď výroby je zachycena na obr. 13 a její přesné hodnoty jsou v tab. 19 v příloze. Hodnoty Theilova koeficientu a MAPE naznačují, že takto vytvořená predikce není vhodná, protože vykazuje vysoký rozptyl.

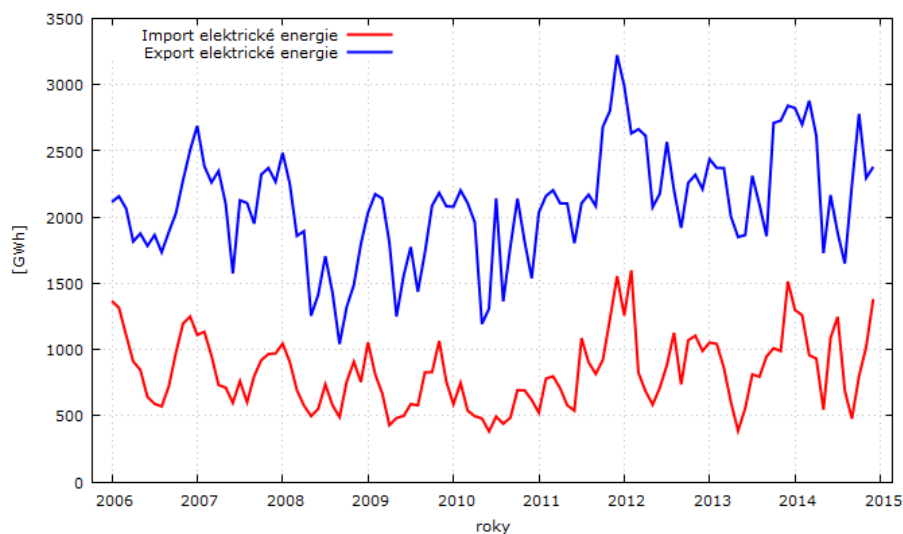
Tab. 5 P-hodnoty testů vztahující se k modelu výroby elektřiny vodními elektrárnami

	P - hodnota
<i>Chí-kvadrát test normality</i>	$2,35 \cdot 10^{-5}$
<i>Ljung-Box test autokorelace</i>	0,189
<i>ARCH test</i>	0,169
<i>Akaikovo kritérium</i>	1 186,8
<i>Schwarzovo kritérium</i>	1 200,2
<i>Hannan-Quinnovo kritérium</i>	1 192,2
<i>Theilův koeficient</i>	0,954
<i>Průměrná absolutní procentní chyba (M.A.P.E)</i>	17,91%
<i>Středí kvadratická chyba (M.S.E.)</i>	3 158,3

5.3 Časové řady exportu a importu elektrické energie

Časové řady importu a exportu elektrické energie jsou zobrazeny na obr. 14, ze kterého vidíme, že v České republice po celé sledované období převažuje vývoz nad dovozem. Proto je také Česká republika označována jako čistý exportér. Toto kladné saldo se v průměru pohybuje okolo 1 260 GWh měsíčně.

Obchod s elektřinou naší republiky je úzce spojen s energetickým trhem našich sousedních států. Německá energetika, která postupně odstavuje své jaderné elektrárny, využívá jako jeden z významných zdrojů elektřiny větrné elektrárny. Objem výroby z větrných elektráren je v dnešní době již poměrně dobře předvídatelný, ač lidskou činností neovlivnitelný. Naším druhým sousedním státem je Rakousko, ve kterém převládají vodní elektrárny. Podobně jako u větrných elektráren není tento zdroj moc ovlivnitelný lidskou činností, ale závisí na množství vody v říčních tocích a vodních nádržích. Proto oba státy v době, kdy jsou vhodné klimatické podmínky elektřinu vyváží, ale v nepříznivých obdobích potřebují elektřinu dovážet. Protože velkou část energetického mixu Česká republika tvoří uhelné a jaderné elektrárny, máme oproti Německu a Rakousku stabilnější a více ovlivnitelný objem výroby elektrické energie.



Obr. 14 Vývoj měsíčních hodnot importu a exportu elektrické energie

5.3.1 Export elektrické energie

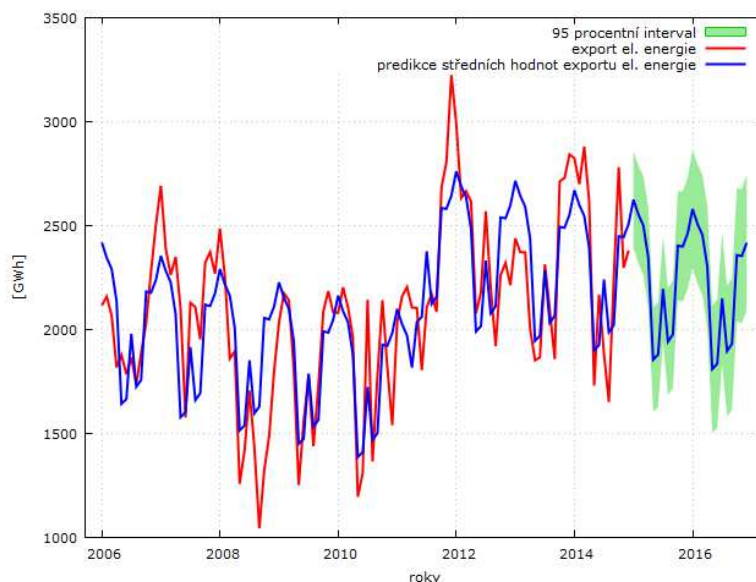
Postavení České republiky jako čistého exportéra na trhu s elektrickou energií je způsobeno prozatímními dostatečnými zásobami uhlí na našem území. Ač v posledních letech je těžba omezována a dlouhodobě se diskutuje, zda prolomit těžební limity nebo ne. Druhým významným zdrojem jsou jaderné elektrárny, které kryjí až 35 % národní spotřeby. Tyto dva zdroje poskytují České republice stabilní ob-

jem výroby na krytí domácí spotřeby a určitou část výroby pro export. Model exportu byl popsán následujícími rovnicí.

$$\hat{Y}_t = 2302,01^{(**)} - 5,34^{(**)}t + 121,2dm_1 + 53,04dm_2 + 4,15dm_3 - 145,03dm_4 - 634,48^{(**)}dm_5 - 605,61^{(**)}dm_6 - 286,36^{(*)}dm_7 - 536,01^{(**)}dm_8 - 498,18^{(**)}dm_9 - 66,43dm_{10} - 67,24dm_{11} + 613,1^{(*)}zlom + 1,56zt \quad (45)$$

Model, který popisuje průběh časové řady z 66 %, má klesající trend, i když objem exportu v průběhu sledovaného období vzrostl. Aby bylo možné toto zvýšení alespoň z části popsat, byl do modelu zařazen zlom v květnu 2011 (výstup QLR testu zachycuje obr. 22 v příloze), kde hodnota exportu začala růst dříve, než dosáhla květnových hodnot předchozích let. Koeficienty sezónnosti po zlomu nebyly průkazné a tak jsem je do výsledného modelu nezahrnula. Po zlomu dosáhl export na přelomu roku 2011 a 2012 extrémních hodnot, které překročila 3 000 GWh za měsíc.

Nejvíce elektřiny je vyváženo v prvním čtvrtletí roků, v květnu a červnu dosahuje export svých minim. V červenci dochází každoročně ke skokovému nárůstu exportu. V srpnu dojde opět k poklesu. Od září pak export znovu roste, až dosáhne svého maxima v lednu. Celý průběh skutečných hodnot časové řady exportu, jeho vyrovnaných hodnot a predikce je zachycen na obr. 15. Z něj také vidíme, že do zlomu v roce 2011 vystihuje popsáný model poměrně dobře průběh řady. Po zlomu se však rozdíl mezi skutečnými a vyrovnanými hodnotami zvětšily a tím došlo ke zhoršení kvality popisu. Přesné hodnoty předpovědi jsou uvedeny v tab. 20 v příloze.



Obr. 15 Vývoj měsíčních hodnot exportu elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016

5.3.2 Import elektrické energie

Na první pohled by se mohlo zdát, proč Česká republika dováží elektrickou energii, když sama pokryje celou svoji spotřebu a zbude část na vývoz. Důvodem oboustranného obchodování s elektřinou je to, že nestačí mít vyrovnanou bilanci výroby a spotřeby v naší republice, ale v celé Evropě. Protože poloha České republiky je ve středu Evropy, proudí přes naši soustavu také elektrická energie, která se v naší republice nespotřebuje, ale pouze přes ni přejde do sousedních energetických soustav.

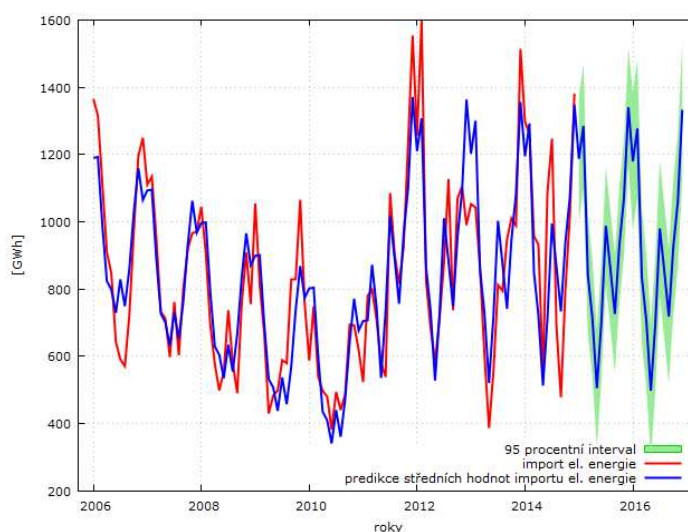
$$\begin{aligned} \hat{Y}_t = & 1162,14^{(**)} - 8,1^{(**)}t + 36,37dm_1 + 46,6dm_2 - 150,6dm_3 - 306,42^{(**)}dm_4 \\ & - 323,48^{(**)}dm_5 - 384,69^{(**)}dm_6 - 277,11^{(**)}dm_7 - 348,65^{(**)}dm_8 - 229,66^{(*)}dm_9 \\ & - 52,13dm_{10} + 86,55dm_{11} + 255,13z_{lom} + 7,46^{(**)}z_t - 197zdm_1 - 108,78zdm_2 \\ & - 354,5^{(*)}zdm_3 - 326,84^{(*)}zdm_4 - 517,13^{(**)}zdm_5 - 255,58zdm_6 - 79,49zdm_7 \\ & - 134,78zdm_8 - 387,54^{(**)}zdm_9 - 358,32^{(*)}zdm_{10} - 360,69^{(*)}zdm_{11} \end{aligned} \quad (46)$$

Vývoj časové řady importu má podobný průběh jako řada exportu. Model popisující 78 % skutečného průběhu časové řady má klesající trend do zlomu, který se nachází v březnu 2011 (výstup QLR zachycuje obr. 23 v příloze). Po zlomu dochází k rychlému nárůstu importu do maxima na přelomu roku 2011 a 2012, od kterého pak mnou vytvořený model vykazuje mírně klesající trend. Značný pokles objemu importu v roce 2013 nebyl modelem zachycen, což můžeme vidět na obr. 16. Ten znázorňuje vývoj skutečných a vyrovnaných hodnot a předpověď pro následujících 24 období. Jednotlivé měsíční hodnoty predikce jsou uvedeny v tab. 21 v příloze.

Z odhadu modelu dále vidíme, že nejvíce elektřiny je dovezeno od listopadu do února. Minima dle odhadu nastávají v červnu. Z obrázku 16 je ale patrné, že skutečné hodnoty řady dovozu mají kolísavější průběh během roku oproti vyrovnaným hodnotám. To je způsobeno tím, že import elektřiny je ovlivněn mnoha faktory, které do modelu nebyly zahrnuty.

5.3.3 Ověření vhodnosti a kvality vybraných modelů

Oba modely byly podrobeny testům uvedeným v tab. 6. Pro model exportu vyšly všechny testy pozitivně, čímž jsem si ověřila, že model je statisticky průkazný, má správně zvolenou funkční formu a specifikaci. Dále jsem zjistila, že chybový člen má normální rozdělení a není postižen heteroskedasticitou. U modelu importu byla zamítnuta nulová hypotéza RESET testu o správně specifikaci modelu. Protože ostatní testy vyšly správně, nebrala jsem chybnou specifikaci za významný problém.



Obr. 16 Vývoj měsíčních hodnot importu elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016

Tab. 6 P-hodnoty vybraných testů vztahující se k modelům importu a exportu el. energie

	<i>p - hodnota</i>	
	<i>Export</i>	<i>Import</i>
<i>F - test</i>	$1,1 \cdot 10^{-16}$	$5,1 \cdot 10^{-18}$
<i>RESET test</i>	0,344	0,042
<i>LM test specifikace</i>	0,459	0,647
<i>Whiteův test heteroskedasticity</i>	0,736	0,080
<i>Chí-kvadrát test normality</i>	0,398	0,389

Pro hodnocení kvality modelů importu a exportu elektrické energie, jsem využila kritéria uvedená v tab. 7. Opět jsem v tabulce uvedla modely před zařazením zlomu a výsledné modely se zlomem. Vidíme, že hodnoty u vybraných modelů jsou nižší, což potvrzuje, že zařazení zlomů do modelů bylo správné.

Kvalitu predikce jsem hodnotila pomocí Theilova koeficientu, kdy jde taktéž o minimalizaci hodnoty. Čím bližší je hodnota nule, tím přesnější by předpověď měla být. Druhým kritériem, které jsem sledovala, byla průměrná absolutní procentní chyba, která při kvalitní předpovědi dosahuje maximálně 5%. Protože u obou modelů vyšly poměrně vysoké hodnoty Theilova koeficientu a průměrná absolutní procentní chyba přesáhla 10 %, myslím, že nemůžeme mluvit o kvalitní předpovědi. Příčinou nízké kvality předpovědi je to, že modely popisovaly vývoj časových řad pouze z 66 % u řady exportu a ze 78 % u řady importu. Proto si myslím, že využití jednorozměrného modelu, který zahrnuje pouze faktor času, není vhodné pro predikci importu a exportu elektrické energie. Na tyto dvě veličiny

totiž působí velké množství dalších faktorů, jako např. klimatické podmínky, neplánovaný výpadek některé velké elektrárny v naší energetické soustavě a nevyrovnaná bilance v evropské energetické soustavě.

Tab. 7 Hodnoty statistických kritérií výstižnosti modelu a hodnoty informačních kritérií pro export a import elektrické energie

Kritérium	Hodnota			
	Export		Import	
	<i>Vybraný model</i>	<i>Model bez zlomu</i>	<i>Vybraný model</i>	<i>Model bez zlomu</i>
<i>Střední chyba (M.E.)</i>	-6,31*10 ⁻¹⁵	-4,8*10 ⁻¹⁴	3,46*10 ⁻¹³	-9,6*10 ⁻¹⁴
<i>Středí kvadratická chyba (M.S.E.)</i>	58 408	93 257	16 171	42 093
<i>Směrodatná odchylka (R.M.S.E.)</i>	241,2	305,4	127,2	205,2
<i>Průměrná absolutní procentní chyba (M.A.P.E.)</i>	10,21%	12,98%	12,81%	21,08%
<i>Akaikovo kritérium</i>	1 521	1 568	1 405	1 482
<i>Schwarzovo kritérium</i>	1 562	1 603	1 474	1 517
<i>Theilův koeficient</i>	0,796	0,982	0,623	1,001
<i>Koeficient determinace</i>	0,668	0,470	0,783	0,435
<i>Adjustovaný koef. determinace</i>	0,618	0,403	0,717	0,364

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat časové řady výroby a spotřeby elektrické energie v letech 2002 – 2014 a časové řady dovozu a vývozu elektrické energie v letech 2006 – 2014. Pro tato data bylo také úkolem vytvořit předpověď na následující 2 roky (tj. 24 období).

Dílčí cíl 1

V teoretické části práce byly uvedeny tři instituce - Ministerstvo průmyslu a obchodu, Energetický regulační úřad a Státní energetická inspekce, které vykonávají dohled nad energetickým sektorem České republiky a účastníci trhu s elektřinou. Následně jsem se zaměřila na energetický mix České republiky, který je tvořen obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji. Instalovaný výkon k roku 2014 je tvořen z 80 % neobnovitelnými zdroji elektřiny, mezi které se řadí parní elektrárny, jaderné elektrárny a paroplynové elektrárny. Zbýlých 20 % instalovaného výkonu připadá na obnovitelné zdroje, do kterých jsou zařazeny vodní, větrné a fotovoltaické elektrárny a elektrárny spalující biomasu. Další kapitola popisuje spotřebu elektrické energie, která se od roku 2010 pohybuje na úrovni okolo 63 TWh ročně. V práci bylo také nastíněno, na jakém principu je vytvářena cena elektrické energie, která se skládá z regulované a neregulované části. Poslední část je věnována obchodu s elektrickou energií, která probíhá na burze nebo OTC trzích.

Dílčí cíl 2

Ve vlastní práci jsem pracovala s krátkodobými časovými řadami s měsíční periodou, které byly očištěny na průměrný měsíc s 30,42 dny. Ve statistickém programu Gretl jsem vytvořila jednorozměrné modely časových řad, které zahrnují časový trend a sezónní složku v podobě měsíčních dummy proměnných. Predikce na následné 2 roky byla taktéž vytvořena v programu Gretl.

Dílčí cíl 3

V práci byly vytvořeny předpovědi pro časové řady celkové výroby, národní spotřeba, dovozu a vývozu elektrické energie a pro řadu výroby elektrické energie vodními elektrárnami. Pro hodnocení kvality predikce byl využit Theilův koeficient nesouladu a průměrná absolutní procentní chyba (MAPE).

Pro model celkové výroby a národní spotřeby elektrické energie byly vyhodnoceny vytvořené předpovědi jako vyhovující. Dle mého názoru by bylo možné u popisu minulého a budoucího vývoje dosáhnout ještě lepších výsledků, kdyby se do modelu zahrnul další faktor v podobě teplot. Také jsem zjistila, že vyšší kvality popisu budoucího vývoje dosahuje model národní spotřeby, který do jisté míry určuje vývoj celkové výroby.

Modely popisující export a import elektrické energie vykazují výrazně horší hodnoty průměrné absolutní procentní chyby a vyšší hodnoty Theilova koeficientu než předchozí dva modely. Zjistila jsem, že pro modely dovozu a vývozu elektrické

energie je popis budoucího vývoje na základě jednorozměrného modelu, který zahrnuje pouze faktor času nedostačující. Domnívám se, že by bylo možné lépe popsat vývoj těchto řad rozšířením modelu o další faktory působící na dovoz a vývoz elektřiny. Ale ani po zahrnutí dalších faktorů by modely nevykazovaly tak kvalitní hodnoty predikce jako modely výroby a spotřeby elektřiny.

U modelu výroby elektřiny vodními elektrárnami hodnoty MAPE a Theilova koeficientu neprokázaly, že vytvořená predikce je vhodná. Na nízkou kvalitu predikce mají vliv hlavně přečerpávací elektrárny. Ty jsou využívány nepravidelně a tak nevykazují stabilní objem produkce elektřiny během roku.

Dílčí cíl 4

Jako první byla zpracována data o celkové brutto výrobě a národní spotřebě elektrické energie v ČR. Celková roční výroba ve sledovaném období vzrostla z 83,2 TWh o 3,34 % na 86 TWh, ač průběh byl proměnlivý a maximální roční objem výroby byl zaznamenán v roce 2007, kdy bylo vyrobeno 88,2 TWh elektřiny. Naopak nejnižší roční objem výroby připadá na rok 2009. V tomto roce se celková brutto výroba pohybovala na úrovni 82,2 TWh. Popis vývoje časové řady celkové výroby potvrdil, že nejvíce elektřiny je vyráběno v lednu a nejméně v červenci. Rozdíl mezi těmito dvěma extrémy se v sledovaném období pohybuje od 1 376 GWh do 2 195 GWh, v průměru se pak jedná o rozdíl 1 715 GWh. Předpověď na základě prodloužení časové řady o 2 roky popisuje pokračování rostoucího trendu, kdy pro rok 2015 by se výroba měla zvýšit přibližně o 3,3 % a pro rok 2016 ještě o 0,9 % na 89,6 TWh.

U modelu národní spotřeby byl nalezen stejně jako u řady výroby rostoucí trend, kdy od roku 2002 do roku 2014 vzrostl objem roční spotřeby z 58,5 TWh na 62,3 TWh, což představuje 6,57% nárůst. Maximální roční spotřeby bylo dosaženo v roce 2008, kdy Česká republika spotřebovala 65,1 TWh. Následné přerušení rostoucího trendu ve spotřebě bylo vyvoláno celosvětovou hospodářskou krizí, která způsobila pokles spotřeby v roce 2009 o 5,4 % na 61,6 TWh. Průměrná hodnota měsíční spotřeby se pohybuje na úrovni okolo 5 212 GWh. Rozdíl mezi maximem spotřeby, která nastává v lednu a červencovým minimem tvoří v průměru asi 1 667 GWh. Vytvořená předpověď popisuje růst spotřeby v roce 2015 o 0,8 % a v roce 2016 o 0,6 %, oproti roku 2014, tj. na 62,7 TWh v roce 2016. Na každoročně se opakující průběh časové řady spotřeby, a tím i řady výroby, mají největší vliv změny teplot v průběhu roku, které určují topnou sezónu, ve které spotřeba výrazně roste.

Další část vlastní práce je věnována popisu vývoje časových řad jednotlivých zdrojů elektrické energie, kterým na počátku sledovaného období v roce 2006 dominovaly parní elektrárny s 62% zastoupením v energetickém mixu. Druhým významným zdrojem byly jaderné elektrárny s 31 %. Zbýlých 7 % pokryly paroplynové, vodní, větrné a fotovoltaické elektrárny a elektrárny spalující biomasu. V průběhu sledovaného období došlo k poklesu objemu výroby elektřiny parními elektrárnami o 13,5 %, což je způsobeno snahou o snížení produkce škodlivých emisí. Tuto vzniklou mezeru zaplnily ostatní zdroje elektřiny, které zvýšily svůj

podíl v energetickém mixu. Nejvyšší růst zaznamenaly alternativní zdroje energie, které v roce 2014 dosáhly osmnácti násobku objemu výroby roku 2006. Tento výrazný nárůst byl způsoben velkým rozmachem ve výstavbě fotovoltaických elektráren, na které stát poskytoval vysoké dotace do konce roku 2010.

V mezinárodním obchodu s elektřinou se Česká republika řadí mezi čisté exportéry, což pozitivně ovlivňuje českou ekonomiku. Saldo dosahuje v průměru 1 260 GWh měsíčně. Pozici čistého exportéra elektrické energie si naše republika drží díky vysokému podílu neobnovitelných zdrojů v energetickém mixu.

Vývoz ve sledovaném období vzrostl z 24,1 TWh v roce 2006 na 28,1 TWh v roce 2014, což představuje nárůst o 16,6 %. Trend ve sledovaném období však rostoucí nebyl. Průběh řady je rozdělen na dvě části. První popisuje vývoj do roku 2010, kdy export klesal a zastavil se až na úrovni 21,6 TWh v daném roce. V roce 2011 pak došlo k výraznému nárůstu vývozu o 27% na 27,5 TWh a do konce sledovaného období se drží na úrovni okolo 28 TWh. Průměrná měsíční hodnota exportu se pohybuje okolo 2 094 GWh. Z modelu časové řady jsem zjistila, že nejvíce elektřiny je vyváženo v prvním čtvrtletí roku, minima nastávají v květnu nebo červnu. Na zvýšení ročního objemu vývozu elektřiny má s velkou pravděpodobností vliv uzavírání jaderných elektráren v Německu a zvyšující se podíl větrných elektráren v energetickém mixu Německa. Predikce, kterou jsem vytvořila pro roky 2015 a 2016, počítá s poklesem exportu o 1 TWh v roce 2015 a o další 0,5 TWh v roce 2016.

U dovozu elektřiny je situace České republiky taková, že přes naše území proudí elektřina do dalších zemí, bez toho, aby byla v naší republice spotřebována. Tato přeshraniční výměna elektřiny je vynucená k vyrovnávání evropské energetické soustavy. Objem ročního importu elektrické energie zaznamenal ve sledovaném období nárůst o 1,9 % na 11,6 TWh v roce 2014. Vývoj dovozu elektřiny má klesající trend do roku 2010, kdy objem importu byl pouze 6,6 TWh. V roce 2011 se dovoz skokově zvýšil o 57 % a udržuje si hodnotu okolo 10,5 až 11,5 TWh ročně. Předpověď na následné dva roky popisuje mírný pokles dovozu oproti roku 2014 na úroveň okolo 11 TWh ročně.

Dílčí cíl 5

Problematikou energetiky se zabývá celá EU. Ta stanovila jako hlavní cíle v oblasti energetiky zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energií a snížit spotřebu energií ve všech členských státech.

Model národní spotřeby elektrické energie ČR popisuje predikci spotřeby na úrovni okolo 63 TWh. Tento konstantní trend je způsoben snahou o úspory energií, kterých je možno dosáhnout např. zvýšením účinnosti elektrických zařízení a úsporami energií v budovách.

Celková výroba elektřiny v ČR vykazuje mírně rostoucí trend. Vývoj jednotlivých zdrojů energie se ale různí. Neobnovitelné zdroje zaznamenávají pokles výroby, díky útlumu uhelných elektráren a do budoucna se předpokládá, že budou postupně uzavírány další uhelné elektrárny. Proces dekarbonizace není ojedinělý v naší republice, ale pracuje na něm celá Evropa, USA, Kanada a Čína. Tento pokles

ve výrobě elektřiny se státy snaží eliminovat rostoucím zastoupením ostatních (hlavně obnovitelných) zdrojů elektřiny v energetickém mixu.

Ve sledovaném období naše dvě jaderné elektrárny poskytovaly České republice konstantní a stabilní objem výroby elektrické energie. Z jádra bude i v příštích několika letech vyrobeno stejné množství elektřiny, protože výstavba dalších bloků (hovoří se až o 4 blocích) zatím nebyla schválena. Největší zastoupení jaderných elektráren v Evropě má Francie, která z jádra produkuje okolo 75 % výroby. Dalšími státy s vysokým zastoupením jádra na výrobě elektřiny jsou Slovensko a Maďarsko (asi 55 %).

Posledním neobnovitelným zdrojem jsou paroplynové elektrárny, které v ČR zaznamenávají ve sledovaném období velký nárůst. Nevýhodou tohoto zdroje elektřiny je závislost na dovozu zemního plynu. Proto se domnívám, že tento růst bude v horizontu několika let zastaven a tento zdroj bude nadále stagnovat. Zemní plyn má vysoké zastoupení v energetickém mixu například ve Velké Británii, Nizozemí a Itálii.

Obnovitelné zdroje elektřiny byly v práci rozděleny na vodní elektrárny (53,2% podíl OZE), které mají poměrně stabilní roční objem výroby, a předpokládá se, že i v budoucnu bude tento objem podobný. Rozvoj vodní energie v podmínkách naší republiky je spojen pouze s rozvojem malých vodních elektráren, protože potenciál výstavby velkých vodních elektráren je prakticky vyčerpán.

Dalšími alternativními zdroji energie jsou větrné elektrárny s podílem 8,5 % a fotovoltaické elektrárny s 38,2% zastoupením na OZE. Fotovoltaické zdroje zaznamenaly boom v roce 2011. Od té doby však jejich objem výroby stagnuje. V následujících letech má sluneční energie potenciál ve využívání fotovoltaických panelů domácnostmi a firmami pro vlastní spotřebu. Výstavbu nových fotovoltaických elektráren neočekávám. Prozatím nevýznamným zdrojem výroby elektrické energie je u nás biomasa, kterou chce Skupina ČEZ v budoucnosti více uplatňovat.

Skladba a vývoj energetického mixu v jednotlivých zemích Evropské unie jsou odlišné. Některé státy využívají jako dominantní zdroj uhlí či jádro, některé se více přiklání k obnovitelným zdrojům. Tato skladba je určována politikou státu a také klimatickými podmínkami a surovinovými zásobami, které určují potenciál jednotlivých zdrojů.

Pro zvýšení bezpečnosti a snížení ekologického zatížení předložila Evropská komise v roce 2008 návrhy, ve kterých se členské státy zavazují k plnění určitých cílů, mezi které patří např. redukovat emise skleníkových plynů, zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na spotřebě energie na 20 % do roku 2020 a snížit spotřebu energie zvyšováním energetické efektivity. Prozatím se EU podařilo snížit emise skleníkových o 18 % mezi lety 1990 a 2012, což nasvědčuje tomu, že do roku 2020 by mohl být splněn a možná i překročen cíl 20 %. Podíl zelené energie na konečné spotřebě energie zaznamenává růst ve všech státech EU a v roce 2013 dosáhl 15 % spotřeby. Proto věřím, že i tento cíl (20 % spotřeby) je možné do roku 2020 splnit.

Pro Českou republiku byl schválen upravený cíl, ve kterém by měli obnovitelné zdroje energie v roce 2020 pokrýt 13 % hrubé spotřeby. V roce 2014 tvořily

OZE 9,1 % národní spotřeby ČR a proto si myslím, že splnění tohoto cíle do roku 2020 je reálné. Problematikou zvyšování podílu OZE na energetickém mixu se zabývala také Nezávislá odborná komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu (NEK), která ve své zprávě prognostikovala, že OZE v roce 2015 vyprodukuje 4,5 TWh elektřiny. V roce 2014 však OZE vyrobily již 5,7 TWh elektřiny a předpokládám, že nadále budou své zastoupení v energetickém mixu zvyšovat na úkor uhelných elektráren.

Nevýhodou rozšiřování obnovitelných zdrojů elektřiny je zvyšování zátěže přenosových soustav, protože se jedná o nestabilní zdroje elektřiny. Pro českou přenosovou soustavu může být rizikový například nečekaně velký přetok elektřiny z německých větrných elektráren do sousedních států.

Dovoz a vývoz elektřiny je těžko předvídatelný bez znalostí dalších souvislostí. Export je určován přebytkem výroby elektřiny nad její spotřebou. V příštích letech očekávám dle vytvořeného modelu mírný nárůst výroby elektřiny. Spotřeba by se měla držet na podobné úrovni jako nyní okolo 63 TWh. Za těchto podmínek by se export zvýšil. Avšak vývoj spotřeby a výroby elektřiny je ovlivňován faktory, jako jsou klimatické podmínky, výstavba nových elektráren či uzavírání stávajících do-sluhujících elektráren, a tak je přesný odhad špatně předvídatelný, což mi potvrdily i vytvořené modely. Import elektřiny je ovlivněn vývojem výroby elektřiny v sousedních státech a tak jej bez těchto znalostí není možné jednoznačně předpovědět.

7 Seznam použité literatury

Knížní zdroje

- [1] ADAMEC, Václav, Luboš STŘELEČEK a David HAMPEL. *Ekonometrie I: učební text*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 162 s. ISBN 978-80-7375-703-8.
- [2] ARLT, Josef, Markéta ARLTOVÁ a Eva RUBLÍKOVÁ. *Analýza ekonomických časových řad s příklady*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola ekonomická, 2002, 147 s. ISBN 8024503077.
- [3] BARAN, Václav. *Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 159 s. ISBN 80-200-1048-3.
- [4] CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. ISBN 80-901-9858-9.
- [5] CIPRA, Tomáš. *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii: celostátní vysokoškolská učebnice pro stud. matem.-fyz. fakult studijních oborů 11 Fyzikálně matematické vědy*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.
- [6] CIPRA, Tomáš. *Finanční ekonometrie*. 2., upr. vyd. Praha: Ekopress, 2013, 538 s. ISBN 9788086929934.
- [7] DAMBORSKÝ, Milan. *Obnovitelné zdroje energie v místním rozvoji*. Vyd. 1. Brno: Pavel Křepela, 2013, 131 s. ISBN 978-80-86669-23-6.
- [8] HAMPEL, David, Veronika BLAŠKOVÁ a Luboš STŘELEČEK. *Ekonometrie 2*. 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012, 144 s. ISBN 978-80-7375-664-2.
- [9] HINDLS, Richard, Ilja NOVÁK a Stanislava HRONOVÁ. *Metody statistické analýzy pro ekonomy*. 2. přeprac. vyd. Praha: Management Press, 2000, 259 s. ISBN 8072610139.
- [10] HINDLS, Richard, Stanislava HRONOVÁ a Ilja NOVÁK. *Analýza dat v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 358 s. ISBN 8071692557.
- [11] HINDLS, Richard, Stanislava HRONOVÁ a Jan SEGER. *Statistika pro ekonomy*. 5. vyd. Praha: Professional Publishing, 2004, 415 s. ISBN 80-86419-59-2.
- [12] KROPÁČ, Jiří. *Statistika B: jednorozměrné a dvourozměrné datové soubory, regresní analýza, časové řady*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007, 149 s. ISBN 9788021432956.
- [13] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Zdroje a využití energie*. 1. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007, 141 s. ISBN 978-80-213-1647-8.
- [14] MINAŘÍK, Bohumil. *Statistika I*. 3., přeprac. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008, ISBN 978-80-7375-152-4.
- [15] VAŠKOVIC, Petr a Jiří ČESAL. *Energetika a udržitelný rozvoj*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 66 s. ISBN 978-80-01-04153-6.

- [16] VLČEK, Tomáš a Filip ČERNOCH. *Energetický sektor České republiky*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012, 501 s. ISBN 978-80-210-5982-5.

Elektronické zdroje

- [17] Distribuce elektřiny. *Dodavatelé energií.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: <http://www.dodavatele-energie.cz/distribuce-energie-/distribuce-elekriny.html>
- [18] Elektrická energie z obnovitelných zdrojů. *Databáze Eurostatu* [online]. 2015 [cit. 2015-10-08]. Dostupné z: <http://apl.czso.cz/pll/eutab/html.h?ptabkod=tsdcc330>
- [19] Energetická skupina ČEZ. *Skupina ČEZ, o společnosti* [online]. 2015 [cit. 2015-10-16]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/o-spolecnosti/skupina-cez/o-skupine-cez/profil-skupiny-cez.html>
- [20] Energie z obnovitelných zdrojů. *Skupina ČEZ, výroba elektřiny* [online]. 2015 [cit. 2015-10-05]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje.html>
- [21] Jaderné elektrárny ČEZ. *Skupina ČEZ, výroba elektřiny* [online]. 2015 [cit. 2015-10-16]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrarny-cez.html>
- [22] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2015 [cit. 2015-10-22]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol
- [23] O společnosti. *ČEPS a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-10-22]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/O-spolecnosti/Stranky/Default.aspx>
- [24] O úřadu. *Energetický regulační úřad* [online]. 2014 [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/o-uradu>
- [25] Paroplynové elektrárny. *Skupina ČEZ, výroba elektřiny* [online]. 2015 [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/paroplynov-elekrarny.html>
- [26] Předpis č. 17/1992 Sb. Zákon o životním prostředí. *Zákony pro lidi.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17#f1401850>
- [27] Předpis č. 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). *Zákony pro lidi.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-10-16]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458#cast1>
- [28] Registrace. *OTE* [online]. 2015 [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/statistika-poze/registrace>

- [29] Roční zpráva o provozu ES ČR. *ERÚ* [online]. 2014 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2014.pdf/933fc41a-ad79-4282-8d0f-01eb25a63812
- [30] Slunce. *Skupina ČEZ, výroba elektřiny* [online]. 2015 [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/slunce.html>
- [31] Spotřeba elektřiny. *OTE* [online]. 2010 [cit. 2015-10-21]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobavaharovnovaha/spotreba-elektriny>
- [32] Uhelne elektrárny. *Skupina ČEZ, výroba elektřiny* [online]. 2015 [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny.html>
- [33] Voda. *Skupina ČEZ, výroba elektřiny* [online]. 2015 [cit. 2015-10-07]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda.html>

8 Seznam obrázků

Obr. 1	Provozovatelé distribučních soustav Zdroj: http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/211-jak-zjistim-ke-ktere-distribucni-soustave-elektřiny-patrim-a-mohu-si-zvolit-jinou	15
Obr. 2	Podíl instalovaného výkonu v ES ČR – 2014 Zdroj: Výroční zpráva ERÚ	16
Obr. 3	Tuzemská netto spotřeba elektřiny v letech 1995 – 2015 s následnou predikcí 3 rozvojových variant do roku 2050 Zdroj: http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobarovnovaha/spotreba-elektřiny	20
Obr. 4	Přeshraniční fyzikální toky v roce 2014 [GWh] Zdroj: Výroční zpráva ERÚ	22
Obr. 5	Vývoj měsíčních hodnot celkové výroby a národní spotřeby elektrické energie v ČR	38
Obr. 6	Vývoj měsíčních hodnot celkové výroby elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016	40
Obr. 7	Vývoj měsíčních hodnot národní spotřeby elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016	41
Obr. 8	Vývoj měsíčních hodnot jednotlivých zdrojů výroby elektrické energie v ČR	44
Obr. 9	Měsíční vývoj výroby elektřiny tepelnými elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty	45
Obr. 10	Měsíční vývoj výroby elektřiny jadernými elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty	46
Obr. 11	Měsíční vývoj výroby elektřiny paroplynovými elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty	47
Obr. 12	Měsíční vývoj výroby elektřiny z alternativních zdrojů a jejich vyrovnané hodnoty	48
Obr. 13	Vývoj měsíčních hodnot výroby elektřiny vodními elektrárnami a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016	49
Obr. 14	Vývoj měsíčních hodnot importu a exportu elektrické energie	50

Obr. 15	Vývoj měsíčních hodnot exportu elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016	51
Obr. 16	Vývoj měsíčních hodnot importu elektrické energie a jejich vyrovnané hodnoty s predikcí na roky 2015 a 2016	53
Obr. 17	Výstup QLR testu pro strukturální zlom celkové výroby elektrické energie v období 5/2008	77
Obr. 18	Výstup QLR testu pro strukturální zlom národní spotřeby elektrické energie v období 8/2008	77
Obr. 19	Výstup QLR testu pro strukturální zlom výroby elektrické energie jadernými elektrárnami v období 5/2007	80
Obr. 20	Výstup QLR testu pro strukturální zlom výroby elektrické energie alternativními zdroji energie v 2/2011	80
Obr. 21	Korelogram reziduí pro model výroby elektřiny vodními elektrárnami	81
Obr. 22	Výstup QLR testu pro strukturální zlom exportu elektrické energie v období 5/2011	83
Obr. 23	Výstup QLR testu pro strukturální zlom importu elektrické energie v období 3/2011	83

9 Seznam tabulek

Tab. 1	Základní charakteristika zdrojových dat	23
Tab. 2	P-hodnoty vybraných testů vztahující se k modelům celkové výroby a národní spotřeby	42
Tab. 3	Hodnoty statistických kritérií výstižnosti modelu a hodnoty informačních kritérií pro celkovou výrobu a národní spotřebu elektrické energie	43
Tab. 4	P-hodnoty z-testu ověřující průkaznost koeficientů modelu výroby elektřiny VE	49
Tab. 5	P-hodnoty testů vztahující se k modelu výroby elektřiny vodními elektrárnami	49
Tab. 6	P-hodnoty vybraných testů vztahující se k modelům importu a exportu el. energie	53
Tab. 7	Hodnoty statistických kritérií výstižnosti modelu a hodnoty informačních kritérií pro export a import elektrické energie	54
Tab. 8	Hodnoty celkové výroby elektrické energie v období 2003-2014 v GWh	68
Tab. 9	Hodnoty národní spotřeby elektrické energie v období 2002-2014 v GWh	69
Tab. 10	Hodnoty výroby elektrické energie parními elektrárnami v období 2006-2014 v GWh	70
Tab. 11	Hodnoty výroby elektrické energie jadernými elektrárnami v období 2006-2014 v GWh	71
Tab. 12	Hodnoty výroby elektrické energie paroplynovými elektrárnami v období 2006-2014 v GWh	72
Tab. 13	Hodnoty výroby elektrické energie alternativními zdroji energie v období 2006-2014 v GWh	73
Tab. 14	Hodnoty výroby elektrické energie vodními elektrárnami v období 2006-2014 v GWh	74
Tab. 15	Hodnoty exportu elektrické energie v období 2006-2014 v GWh	75

Tab. 16	Hodnoty importu elektrické v období 2006-2014 v GWh	76
Tab. 17	Predikce celkové výroby elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016	78
Tab. 18	Predikce národní spotřeby elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016	79
Tab. 19	Predikce výroby elektrické energie vodními elektrárnami v GWh pro roky 2015 a 2016	82
Tab. 20	Predikce exportu elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016	84
Tab. 21	Predikce importu elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016	85

Přílohy

A Zdrojová data

Tab. 8 Hodnoty celkové výroby elektrické energie v období 2003-2014 v GWh

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>leden</i>	7 774	8 132	7 716	8 100	8 376	8 499
<i>únor</i>	7 012	7 306	7 243	7 269	7 320	7 769
<i>březen</i>	7 326	7 597	7 715	7 794	7 867	7 830
<i>duben</i>	6 809	6 774	6 745	6 549	7 290	7 391
<i>květen</i>	6 467	6 488	6 604	6 479	7 053	6 393
<i>červen</i>	6 147	6 126	6 165	6 395	6 305	6 177
<i>červenec</i>	6 398	6 302	5 994	6 451	6 609	6 353
<i>srpen</i>	6 206	6 615	6 422	6 484	6 895	6 152
<i>září</i>	6 464	6 471	6 218	6 482	6 624	6 123
<i>říjen</i>	7 368	7 067	6 907	7 050	7 661	6 677
<i>listopad</i>	7 514	7 568	7 116	7 528	8 059	6 797
<i>prosinec</i>	7 741	7 889	7 735	7 780	8 140	7 354
celkem	83 226	84 335	82 580	84 361	88 198	83 512

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	7 931	8 484	8 378	8 520	8 197	8 208
<i>únor</i>	7 423	7 580	7 569	7 825	7 345	7 315
<i>březen</i>	7 821	8 059	7 871	8 149	8 119	8 134
<i>duben</i>	6 547	7 076	6 915	7 643	7 112	7 336
<i>květen</i>	5 870	6 217	7 099	6 970	6 971	6 784
<i>červen</i>	6 058	6 100	6 478	6 653	6 391	6 259
<i>červenec</i>	6 235	6 871	6 183	6 874	6 679	5 842
<i>srpen</i>	5 931	6 173	6 641	6 337	6 613	6 105
<i>září</i>	6 108	6 735	6 573	6 443	6 283	7 208
<i>říjen</i>	7 283	7 534	7 769	7 178	7 737	8 028
<i>listopad</i>	7 183	7 234	7 967	7 345	7 960	7 389
<i>prosinec</i>	7 841	7 846	8 118	7 636	7 658	7 395
celkem	82 231	85 909	87 561	87 573	87 065	86 003

Tab. 9 Hodnoty národní spotřeby elektrické energie v období 2002-2014 v GWh

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>leden</i>	5 982	6 069	6 153	6 041	6 641	6 055	6 342
<i>únor</i>	5 069	5 617	5 576	5 735	5 882	5 534	5 875
<i>březen</i>	5 361	5 497	5 807	5 915	6 190	5 885	6 014
<i>duben</i>	4 802	4 934	4 918	5 014	5 123	5 071	5 499
<i>květen</i>	4 307	4 346	4 729	4 822	4 872	5 009	5 110
<i>červen</i>	4 097	4 183	4 404	4 519	4 724	4 778	4 784
<i>červenec</i>	4 075	4 171	4 222	4 359	4 542	4 672	4 820
<i>srpen</i>	4 077	4 210	4 347	4 479	4 687	4 788	4 760
<i>září</i>	4 381	4 406	4 568	4 653	4 724	4 933	5 081
<i>říjen</i>	5 182	5 321	5 178	5 254	5 325	5 637	5 533
<i>listopad</i>	5 361	5 423	5 632	5 815	5 775	6 123	5 636
<i>prosinec</i>	5 784	5 720	5 932	6 085	5 821	6 182	5 688
celkem	58 478	59 897	61 466	62 691	64 306	64 667	65 142

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	6 282	6 276	6 162	6 030	6 113	5 907
<i>únor</i>	5 562	5 640	5 685	6 166	5 520	5 304
<i>březen</i>	5 717	5 804	5 790	5 596	5 915	5 420
<i>duben</i>	4 629	5 045	4 968	5 089	5 130	5 007
<i>květen</i>	4 599	4 961	4 975	4 839	4 882	4 934
<i>červen</i>	4 499	4 688	4 682	4 652	4 610	4 783
<i>červenec</i>	4 483	4 566	4 564	4 596	4 562	4 749
<i>srpen</i>	4 511	4 676	4 753	4 678	4 663	4 774
<i>září</i>	4 649	4 860	4 714	4 715	4 816	4 952
<i>říjen</i>	5 357	5 415	5 312	5 381	5 321	5 322
<i>listopad</i>	5 480	5 539	5 718	5 520	5 570	5 474
<i>prosinec</i>	5 831	6 253	5 718	5 724	5 651	5 697
celkem	61 599	63 723	63 041	62 986	62 753	62 323

Tab. 10 Hodnoty výroby elektrické energie parními elektrárnami v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	5 444	5 264	5 117	4 814	5 014
<i>únor</i>	4 390	5 210	4 787	4 600	4 413
<i>březen</i>	4 711	5 417	4 850	4 579	4 776
<i>duben</i>	3 381	4 785	4 735	3 849	3 780
<i>květen</i>	3 485	4 538	3 794	3 286	3 492
<i>červen</i>	4 000	4 052	3 716	3 455	3 303
<i>červenec</i>	4 142	3 906	3 422	3 215	3 975
<i>srpen</i>	3 871	4 492	3 682	3 359	3 421
<i>září</i>	4 215	4 353	3 705	3 710	4 226
<i>říjen</i>	4 897	4 760	4 383	4 651	4 579
<i>listopad</i>	4 961	4 974	4 589	4 285	4 406
<i>prosinec</i>	4 828	4 977	4 436	4 653	4 586
celkem	52 324	56 728	51 216	48 456	49 970

	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	4 735	4 781	4 244	4 470
<i>únor</i>	4 293	4 587	3 902	4 196
<i>březen</i>	4 442	4 524	4 354	4 523
<i>duben</i>	3 582	4 209	3 592	4 064
<i>květen</i>	3 582	3 805	3 660	3 564
<i>červen</i>	3 609	3 679	3 024	2 852
<i>červenec</i>	3 655	3 332	3 312	3 000
<i>srpen</i>	3 737	3 346	3 500	3 034
<i>září</i>	4 037	3 215	3 077	3 596
<i>říjen</i>	4 643	3 807	3 825	3 995
<i>listopad</i>	4 703	3 848	4 162	4 049
<i>prosinec</i>	4 597	4 146	4 076	3 926
celkem	49 614	47 280	44 726	45 270

Tab. 11 Hodnoty výroby elektrické energie jadernými elektrárnami v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	2 107	2 567	2 820	2 613	2 837
<i>únor</i>	2 441	1 579	2 409	2 304	2 591
<i>březen</i>	2 523	1 883	2 271	2 531	2 538
<i>duben</i>	2 453	2 028	2 118	2 119	2 581
<i>květen</i>	2 498	2 125	2 113	2 071	2 052
<i>červen</i>	2 002	1 982	2 072	2 067	2 053
<i>červenec</i>	1 899	2 489	2 623	2 475	2 366
<i>srpen</i>	2 168	2 139	2 100	2 118	2 064
<i>září</i>	1 849	1 849	2 054	1 931	1 854
<i>říjen</i>	1 680	2 482	1 837	2 079	2 293
<i>listopad</i>	2 014	2 529	1 725	2 317	2 216
<i>prosinec</i>	2 414	2 520	2 408	2 582	2 558
celkem	26 047	26 172	26 551	27 208	28 002

	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	2 900	2 847	3 000	3 048
<i>únor</i>	2 527	2 402	2 481	2 381
<i>březen</i>	2 529	2 620	2 667	2 730
<i>duben</i>	2 484	2 539	2 499	2 479
<i>květen</i>	2 484	2 274	2 263	2 257
<i>červen</i>	2 088	2 181	2 265	2 520
<i>červenec</i>	1 849	2 820	2 465	2 064
<i>srpen</i>	2 083	2 197	2 196	2 258
<i>září</i>	1 783	2 421	2 305	2 644
<i>říjen</i>	2 369	2 618	2 966	3 033
<i>listopad</i>	2 590	2 729	2 940	2 415
<i>prosinec</i>	2 770	2 677	2 698	2 505
celkem	28 454	30 325	30 745	30 332

Tab. 12 Hodnoty výroby elektrické energie paroplynovými elektrárnami v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	297	271	278	323	338
<i>únor</i>	245	240	277	292	312
<i>březen</i>	280	248	282	320	346
<i>duben</i>	210	216	228	253	290
<i>květen</i>	144	184	244	263	298
<i>červen</i>	120	115	197	255	298
<i>červenec</i>	105	77	138	133	201
<i>srpen</i>	132	128	209	181	224
<i>září</i>	208	222	241	257	299
<i>říjen</i>	236	227	277	300	304
<i>listopad</i>	279	265	289	313	324
<i>prosinec</i>	268	283	311	345	363
celkem	2 525	2 474	2 970	3 235	3 597

	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	353	410	486	307
<i>únor</i>	331	398	456	375
<i>březen</i>	372	394	496	413
<i>duben</i>	313	344	430	347
<i>květen</i>	313	357	441	424
<i>červen</i>	312	331	409	431
<i>červenec</i>	204	272	282	435
<i>srpen</i>	327	299	395	493
<i>září</i>	323	360	391	466
<i>říjen</i>	340	377	459	637
<i>listopad</i>	361	428	489	517
<i>prosinec</i>	401	460	509	521
celkem	3 949	4 430	5 240	5 363

Tab. 13 Hodnoty výroby elektrické energie alternativními zdroji energie v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	10	26	42	17	18
<i>únor</i>	9	22	41	31	38
<i>březen</i>	10	24	47	39	84
<i>duben</i>	9	20	35	26	84
<i>květen</i>	11	21	30	28	81
<i>červen</i>	10	18	28	32	83
<i>červenec</i>	9	20	35	31	104
<i>srpen</i>	12	19	35	30	107
<i>září</i>	15	26	14	30	97
<i>říjen</i>	15	15	21	40	99
<i>listopad</i>	17	35	30	37	73
<i>prosinec</i>	20	30	31	27	59
celkem	146	275	390	366	925

	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	75	137	78	90
<i>únor</i>	126	149	100	172
<i>březen</i>	238	248	207	296
<i>duben</i>	282	265	223	305
<i>květen</i>	282	312	250	280
<i>červen</i>	291	287	301	311
<i>červenec</i>	266	280	351	324
<i>srpen</i>	281	295	310	271
<i>září</i>	243	241	271	225
<i>říjen</i>	191	162	210	171
<i>listopad</i>	108	95	117	100
<i>prosinec</i>	100	86	112	125
celkem	2482	2558	2530	2670

Tab. 14 Hodnoty výroby elektrické energie vodními elektrárnami v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	250	237	242	165	272
<i>únor</i>	188	260	255	195	226
<i>březen</i>	272	291	380	352	313
<i>duben</i>	495	254	275	301	330
<i>květen</i>	342	202	212	222	284
<i>červen</i>	264	136	163	248	342
<i>červenec</i>	305	108	135	381	235
<i>srpen</i>	302	117	125	244	346
<i>září</i>	234	174	109	181	257
<i>říjen</i>	229	167	158	213	267
<i>listopad</i>	240	255	163	231	219
<i>prosinec</i>	223	330	169	233	299
celkem	3 343	2 531	2 386	2 966	3 389

	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	333	344	394	270
<i>únor</i>	277	300	404	247
<i>březen</i>	286	363	395	260
<i>duben</i>	270	285	340	233
<i>květen</i>	270	270	317	266
<i>červen</i>	180	174	389	207
<i>červenec</i>	203	168	264	143
<i>srpen</i>	214	203	215	203
<i>září</i>	187	205	214	301
<i>říjen</i>	219	213	277	256
<i>listopad</i>	206	236	254	317
<i>prosinec</i>	250	268	265	295
celkem	2 892	3 029	3 727	2 997

Tab. 15 Hodnoty exportu elektrické energie v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	2 155	2 742	2 532	2 073	2 118
<i>únor</i>	1 986	2 196	2 149	2 001	2 027
<i>březen</i>	2 105	2 305	1 894	2 181	2 147
<i>duben</i>	1 791	2 317	1 868	1 784	1 933
<i>květen</i>	1 912	2 139	1 280	1 273	1 216
<i>červen</i>	1 758	1 553	1 396	1 534	1 290
<i>červenec</i>	1 900	2 168	1 738	1 808	2 183
<i>srpen</i>	1 768	2 147	1 459	1 464	1 389
<i>září</i>	1 861	1 924	1 028	1 710	1 752
<i>říjen</i>	2 067	2 366	1 347	2 127	2 181
<i>listopad</i>	2 246	2 339	1 466	2 153	1 794
<i>prosinec</i>	2 554	2 310	1 832	2 122	1 567
celkem	24 105	26 506	19 989	22 230	21 598

	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	2 074	3 048	2 485	2 878
<i>únor</i>	1 988	2 509	2 183	2 485
<i>březen</i>	2 245	2 716	2 416	2 934
<i>duben</i>	2 076	2 579	1 977	2 578
<i>květen</i>	2 143	2 116	1 886	1 761
<i>červen</i>	1 778	2 147	1 839	2 137
<i>červenec</i>	2 145	2 617	2 357	1 917
<i>srpen</i>	2 212	2 246	2 136	1 682
<i>září</i>	2 055	1 893	1 831	2 210
<i>říjen</i>	2 735	2 303	2 764	2 834
<i>listopad</i>	2 765	2 288	2 691	2 264
<i>prosinec</i>	3 286	2 254	2 896	2 425
celkem	27 502	28 715	27 460	28 105

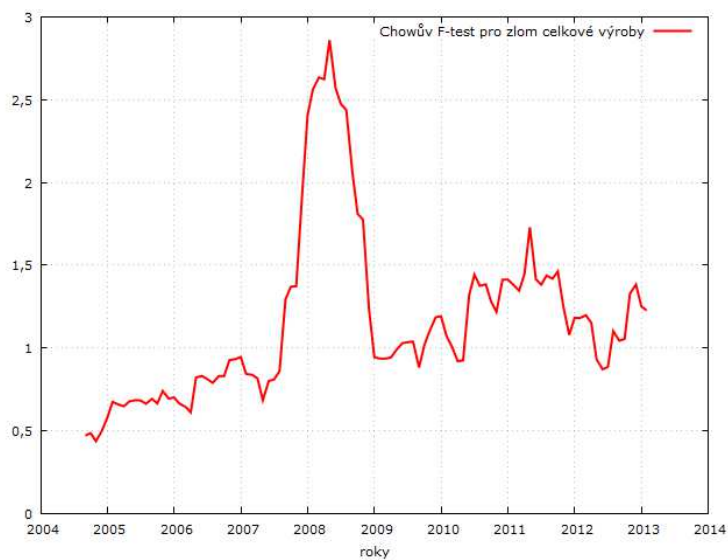
Tab. 16 Hodnoty importu elektrické v období 2006-2014 v GWh

	2006	2007	2008	2009	2010
<i>leden</i>	1 392	1 132	1 065	1 074	598
<i>únor</i>	1 210	1 044	865	748	689
<i>březen</i>	1 131	971	708	682	549
<i>duben</i>	897	722	569	424	490
<i>květen</i>	862	726	507	492	489
<i>červen</i>	634	589	545	491	377
<i>červenec</i>	602	776	751	599	503
<i>srpen</i>	581	614	592	590	448
<i>září</i>	712	790	483	817	479
<i>říjen</i>	992	937	772	845	707
<i>listopad</i>	1 179	953	896	1 050	683
<i>prosinec</i>	1 274	989	770	773	631
celkem	11 466	10 243	8 522	8 586	6 643

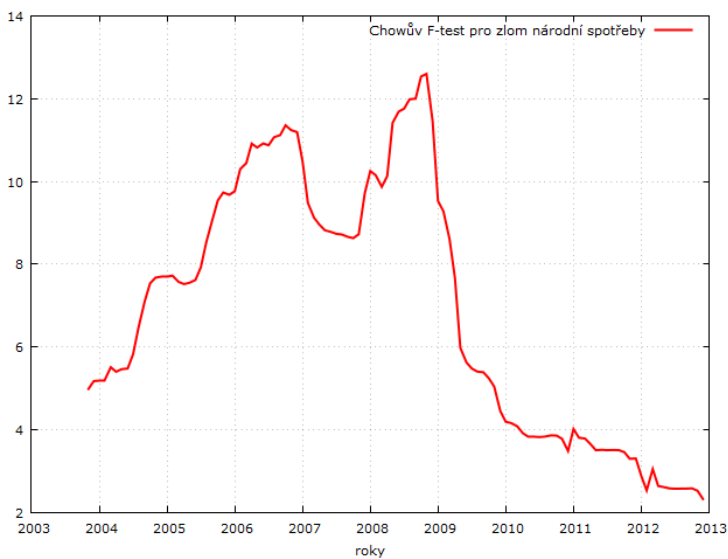
	2011	2012	2013	2014
<i>leden</i>	533	1 281	1 073	1 323
<i>únor</i>	718	1 524	960	1 160
<i>březen</i>	813	840	880	975
<i>duben</i>	698	675	595	919
<i>květen</i>	591	595	394	556
<i>červen</i>	531	702	548	1 073
<i>červenec</i>	1 106	898	828	1 271
<i>srpen</i>	922	1 149	810	704
<i>září</i>	805	727	935	471
<i>říjen</i>	941	1 090	1 030	815
<i>listopad</i>	1 214	1 090	975	1 007
<i>prosinec</i>	1 584	1 009	1 543	1 408
celkem	10 455	11 578	10 570	11 681

B Doplnění k vlastní práci

Obr. 17 Výstup QLR testu pro strukturální zlom celkové výroby elektrické energie v období 5/2008



Obr. 18 Výstup QLR testu pro strukturální zlom národní spotřeby elektrické energie v období 8/2008



Tab. 17 Predikce celkové výroby elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016

období	<i>předpověď celkové výroby</i>	<i>směrodatná chyba</i>	<i>95% konfidenční interval</i>
01/2015	8 372,4	119,1	8136,6 - 8608,3
02/2015	8 350,7	119,1	8114,8 - 8586,6
03/2015	8 116,5	119,1	7880,6 - 8352,3
04/2015	7 445,5	119,1	7209,6 - 7681,4
05/2015	6 766,7	115,9	6537,2 - 6996,2
06/2015	6 666,1	115,9	6436,5 - 6895,6
07/2015	6 589,0	115,9	6359,5 - 6818,6
08/2015	6 437,0	115,9	6207,4 - 6666,5
09/2015	6 862,7	115,9	6633,1 - 7092,2
10/2015	7 594,1	115,9	7364,5 - 7823,6
11/2015	7 790,0	115,9	7560,4 - 8019,5
12/2015	7 824,2	115,9	7594,73 - 8053,7
01/2016	8 441,3	126,7	8190,5 - 8692,2
02/2016	8 419,6	126,7	8168,8 - 8670,4
03/2016	8 185,4	126,7	7934,5 - 8436,2
04/2016	7 514,4	126,7	7263,6 - 7765,2
05/2016	6 835,6	124,6	6588,9 - 7082,3
06/2016	6 735,0	124,6	6488,2 - 6981,7
07/2016	6 657,9	124,6	6411,2 - 6904,6
08/2016	6 505,9	124,6	6259,2 - 6752,6
09/2016	6 931,6	124,6	6684,9 - 7178,3
10/2016	7 663,0	124,6	7416,3 - 7909,7
11/2016	7 858,9	124,6	7612,1 - 8105,6

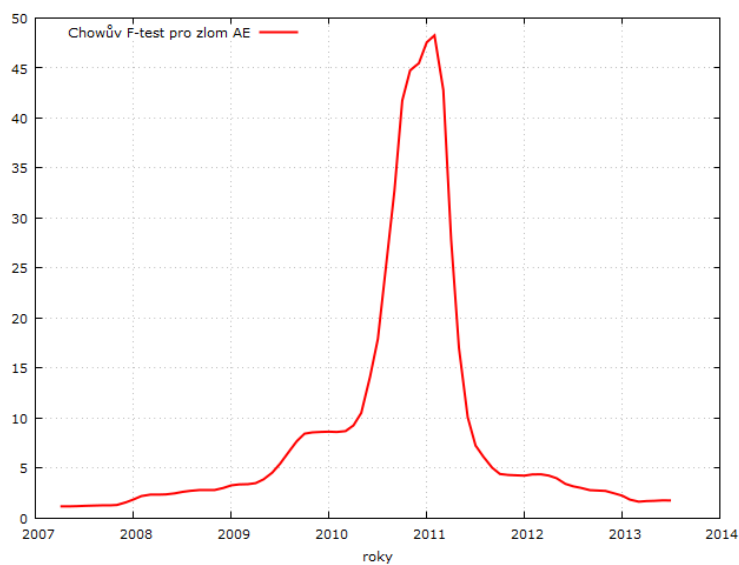
Tab. 18 Predikce národní spotřeby elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016

období	<i>předpověď národní spotřeby</i>	<i>směrodatná chyba</i>	<i>95% konfidenční interval</i>
01/2015	6 018,6	65,9	5888,3 - 6149,0
02/2015	6 100,6	65,9	5970,2 - 6230,9
03/2015	5 605,2	65,9	5474,8 - 5735,5
04/2015	5 052,6	65,9	4922,3 - 5183,0
05/2015	4 778,9	65,9	4648,6 - 4909,3
06/2015	4 722,4	65,9	4592,1 - 4852,7
07/2015	4 505,8	65,9	4375,4 - 4636,1
08/2015	4 593,3	65,9	4462,9 - 4723,6
09/2015	4 856,2	65,9	4725,9 - 4986,6
10/2015	5 256,1	65,9	5125,8 - 5386,5
11/2015	5 645,9	64,7	5517,9 - 5774,0
12/2015	5 691,8	64,7	5563,7 - 5819,9
01/2016	6 020,0	70,9	5879,8 - 6160,3
02/2016	6 102,0	70,9	5961,8 - 6242,2
03/2016	5 606,6	70,9	5466,3 - 5746,8
04/2016	5 054,0	70,9	4913,8 - 5194,3
05/2016	4 780,3	70,9	4640,1 - 4920,6
06/2016	4 723,8	70,9	4583,6 - 4864,1
07/2016	4 507,2	70,9	4367,0 - 4647,4
08/2016	4 594,7	70,9	4454,5 - 4734,9
09/2016	4 857,7	70,9	4717,4 - 4997,9
10/2016	5 095,5	104,6	4888,5 - 5302,4
11/2016	5 647,4	70,4	5508,0 - 5786,7
12/2016	5 693,2	70,4	5553,9 - 5832,6

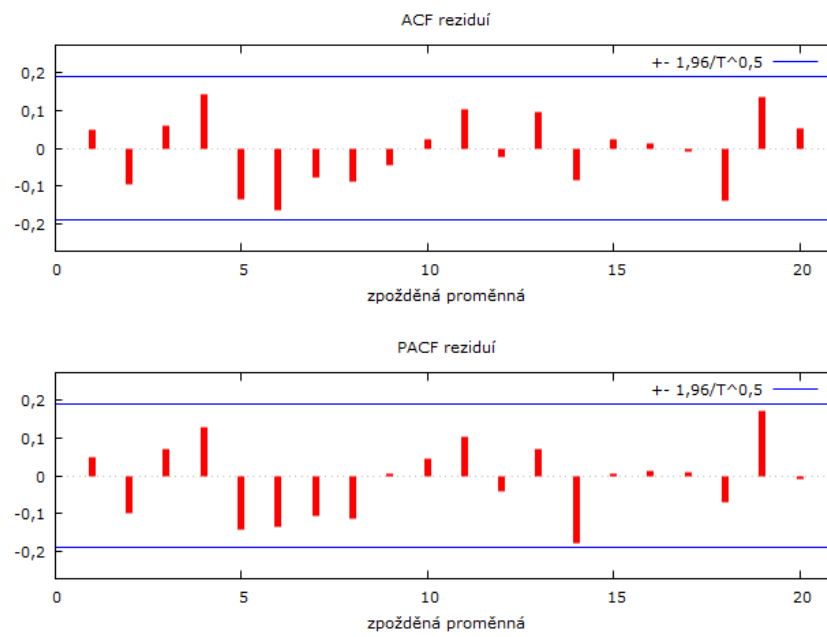
Obr. 19 Výstup QLR testu pro strukturální zlom výroby elektrické energie jadernými elektrárnami v období 5/2007



Obr. 20 Výstup QLR testu pro strukturální zlom výroby elektrické energie alternativními zdroji energie v 2/2011



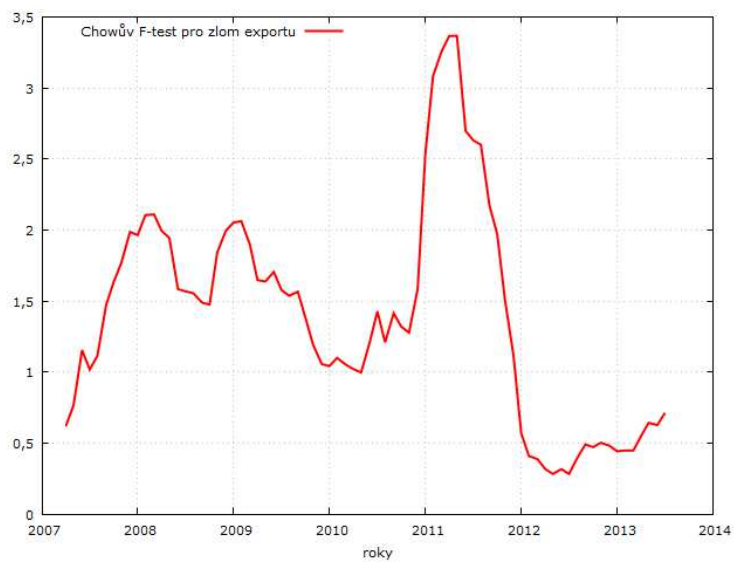
Obr. 21 Korelogram reziduí pro model výroby elektřiny vodními elektrárnami



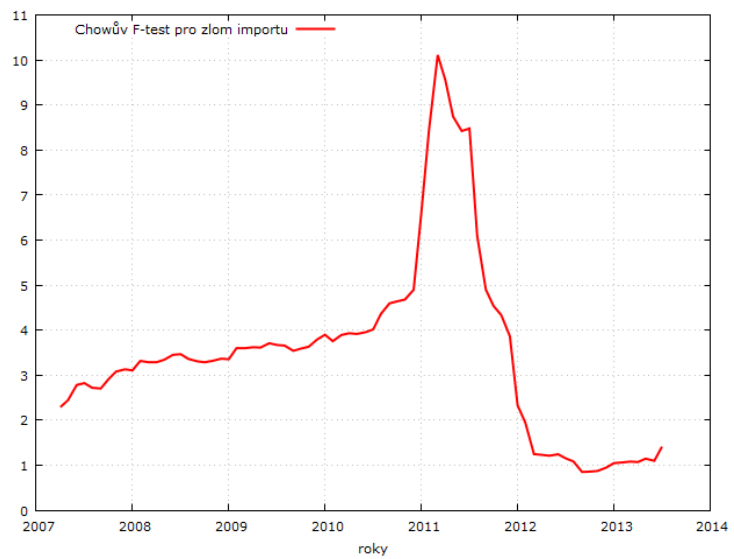
Tab. 19 Predikce výroby elektrické energie vodními elektrárnami v GWh pro roky 2015 a 2016

období	<i>předpověď výroby VE</i>	<i>směrodatná chyba</i>	<i>95% konfidenční interval</i>
01/2015	295,0	55,9	185,4 - 404,6
02/2015	285,0	65,4	156,7- 413,3
03/2015	280,3	68,6	145,7 - 414,8
04/2015	267,3	69,8	130,5 - 404,1
05/2015	256,4	70,2	118,8 - 394,0
06/2015	250,8	70,4	112,9 - 388,7
07/2015	232,6	70,4	94,6 - 370,6
08/2015	236,9	70,4	98,9 - 375,0
09/2015	248,9	70,5	110,8 - 387,0
10/2015	256,4	70,5	118,3 - 394,5
11/2015	254,4	70,5	116,3 - 392,5
12/2015	257,1	70,5	119,0 - 395,2
01/2016	268,7	70,8	130,0 - 407,3
02/2016	267,5	70,9	128,7 - 406,4
03/2016	267,9	70,9	128,9 - 406,8
04/2016	260,1	70,9	121,1 - 399,1
05/2016	253,0	70,9	114,0 - 392,0
06/2016	249,5	70,9	110,5 - 388,5
07/2016	235,6	70,9	96,6 - 374,6
08/2016	239,4	70,9	100,4 - 378,4
09/2016	249,1	70,9	110,1 - 388,1
10/2016	255,1	70,9	116,1 - 394,1
11/2016	253,6	70,9	114,6 - 392,6
12/2016	255,8	70,9	116,8 - 394,8

Obr. 22 Výstup QLR testu pro strukturální zlom exportu elektrické energie v období 5/2011



Obr. 23 Výstup QLR testu pro strukturální zlom importu elektrické energie v období 3/2011



Tab. 20 Predikce exportu elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016

období	<i>předpověď exportu</i>	<i>směrodatná chyba</i>	<i>95% konfidenční interval</i>
01/2015	2 624,4	117,6	2390,9 - 2857,9
02/2015	2 552,5	118,8	2316,5 - 2788,5
03/2015	2 499,8	120,1	2261,3 - 2738,4
04/2015	2 346,9	121,5	2105,7 - 2588,0
05/2015	1 853,6	126,4	1602,6 - 2104,6
06/2015	1 878,7	127,6	1625,4 - 2132,1
07/2015	2 194,2	128,8	1938,5 - 2449,9
08/2015	1 940,8	130,0	1682,7 - 2198,9
09/2015	1 974,8	131,2	1714,3 - 2235,3
10/2015	2 402,8	132,4	2139,8 - 2665,8
11/2015	2 398,2	133,7	2132,7 - 2663,7
12/2015	2 461,7	135,0	2193,6 - 2729,7
01/2016	2 579,1	143,4	2294,4 - 2863,8
02/2016	2 507,1	144,9	2219,3 - 2795,0
03/2016	2 454,5	146,5	2163,5 - 2745,4
04/2016	2 301,5	148,1	2007,4 - 2595,7
05/2016	1 808,3	154,5	1501,4 - 2115,2
06/2016	1 833,4	155,9	1523,8 - 2143,0
07/2016	2 148,9	157,3	1836,5 - 2461,2
08/2016	1 895,4	158,7	1580,3 - 2210,5
09/2016	1 929,5	160,1	1611,6 - 2247,4
10/2016	2 357,4	161,5	2036,7 - 2678,2
11/2016	2 352,9	162,9	2029,3 - 2676,4
12/2016	2 416,3	164,4	2089,9 - 2742,8

Tab. 21 Predikce importu elektrické energie v GWh pro roky 2015 a 2016

období	předpověď importu	směrodatná chyba	95% konfidenční interval
01/2015	1 187,3	93,2	1002,0 - 1372,6
02/2015	1 285,1	93,2	1099,7 - 1470,4
03/2015	841,5	88,3	666,0 - 1017,1
04/2015	712,7	88,3	537,1 - 888,3
05/2015	504,7	88,3	329,1 - 680,3
06/2015	704,4	88,3	528,8 - 880,0
07/2015	987,5	88,3	811,9 - 1163,0
08/2015	860,0	88,3	684,4 - 1035,6
09/2015	725,6	88,3	550,0 - 901,2
10/2015	931,7	88,3	756,1 - 1107,3
11/2015	1 067,4	88,3	891,8 - 1243,0
12/2015	1 340,9	88,3	1165,3 - 1516,4
01/2016	1 179,6	103,2	974,3 - 1384,9
02/2016	1 277,4	103,2	1072,1 - 1482,7
03/2016	833,9	100,8	633,4 - 1034,4
04/2016	705,1	100,8	504,6 - 905,5
05/2016	497,1	100,8	296,6 - 697,6
06/2016	696,8	100,8	496,3 - 897,3
07/2016	979,8	100,8	779,3 - 1180,3
08/2016	852,4	100,8	651,8 - 1052,8
09/2016	717,9	100,8	517,5 - 918,4
10/2016	924,1	100,8	723,6 - 1124,5
11/2016	1 059,7	100,8	859,3 - 1260,2
12/2016	1 333,2	100,8	1132,8 - 1533,7