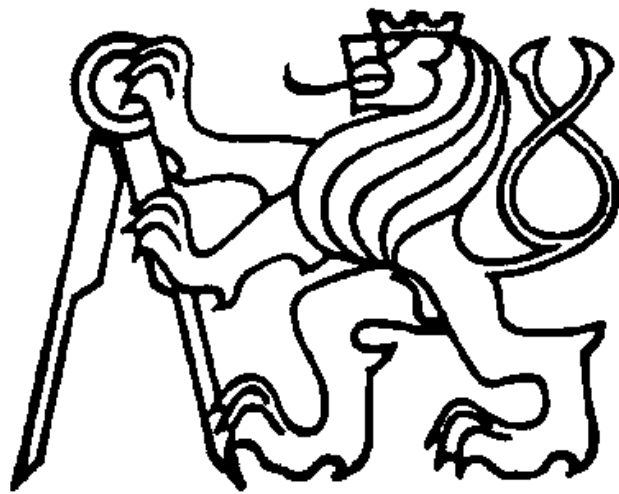


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Tůma Ladislav

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Tůma Ladislav

**ANALÝZA A PREDIKCE CENY SYSTÉMOVÉ
ODCHYLKY V DIAGRAMU ZATÍŽENÍ**

Bakalářský studijní program:

Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor:

Elektrotechnika a management

Praha, květen 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Tůma** Ladislav

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení

Pokyny pro vypracování:

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování
2. Analýza historických cen systémové odchylky
3. Návrh predikce cen za systémovou odchylku

Seznam odborné literatury:

1. Vyhláška 541/2005 Sb.
2. OTE Product Shect. OTE,a.s., 2013.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Mirza Karajica

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

~~Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.~~

vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2014

Prohlášení

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

V Praze dne

podpis

Anotace

Bakalářská práce pojednává o systémové odchylce. Text je rozdělen do tří kapitol. První kapitola obsahuje popis výpočtu systémové odchylky a stanovení její ceny. V této části jsou rovněž popsány subjekty, jejichž činnost souvisí se systémovou odchylkou. V druhé kapitole jsou analyzována historická data. Tato kapitola obsahuje statistické zpracování systémové odchylky, její ceny a také ceny protiodchylky. V poslední třetí kapitole jsou navrženy modely předpovídající směr systémové odchylky, včetně posouzení jejich přesnosti.

Annotation

The bachelor's thesis discusses the system imbalance. The content is divided into three chapters. The first chapter contains description of determination of the system imbalance and its price. The chapter also describes entities, which deal with the system imbalance. The data analysis is presented in the second chapter. The chapter includes statistical research on the system imbalance, the price of the system imbalance and also the price of the counter-imbalance. Models predicting the system imbalance are presented in the third chapter. The chapter also includes the evaluation of the accuracy of proposed models.

Poděkování

Tímto chci poděkovat Ing. Mirzovi Karajicovi za vedení práce. Ocenil jsem jeho odborné i formální rady pro zpracování práce. Dále vyjadřuji poděkování Ing. Jaroslavu Hodánkovi z OTE, a.s. za zodpovězení mých dotazů týkajících se odborné stránky věci. Nakonec děkuji všem, kteří mě při psaní práce podporovali.

Obsah

Prohlášení.....	I
Anotace	II
Annotation	II
Poděkování.....	II
Obsah	III
Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení.....	1
Úvod.....	1
Struktura práce	2
1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování	3
1.1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování	3
1.2. Subjekty na trhu s elektrickou energií	6
1.3. Zúčtování a stanovení ceny systémové odchylky	13
2. Analýza historických dat	19
2.1. Data.....	19
2.2. Četnost typů odchylek	20
2.3. Velikost systémové odchylky	23
2.4. Cena systémové odchylky	28
2.5. Cena protiodchylky	34
3. Předpověď směru systémové odchylky	37
3.1. Metodologie.....	37

3.2. Předpověď směru systémové odchylky	44
Závěr	54
Apendix.....	56
Seznam grafů, modelů, obrázků, rovnic a tabulek.....	62
Seznam zkratk	66
Seznam příloh	67
Použité zdroje	67

Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení

Úvod

Elektrina patří mezi síťové služby (dále voda, plyn a teplo). Nicméně elektrina má na rozdíl od ostatních síťových komodit dvě specifika. Prvním je nemožnost skladovat energii ve větším množství, jak je to možné např. u plynu. Druhé specifikum je rychlost šíření elektřiny. Elektrická energie se šíří rychlostí světla. [1]

V moderní přenosové síti platí vysoké požadavky na kvalitu dodávané elektrické energie (napětí, frekvence atd.). Aby mohly být tyto požadavky splněny, musí být v elektrické síti zajištěna výkonová bilance. To znamená, že okamžitá výroba se musí rovnat okamžité spotřebě. Výpadek výroby nebo naopak pokles spotřeby může způsobit nerovnováhu v síti. [1]

Pokud k nerovnováze dojde, musí provozovatel přenosové soustavy aktivovat podpůrné služby a tím zvýšit nebo naopak snížit výrobu, aby došlo k obnovení rovnováhy.

Provozovatel přenosové soustavy má před každou hodinou informaci, kolik mají subjekty zúčtování energie dodat nebo odebrat ze sítě. Nicméně předpoklady se nemusí vždy vyplnit a subjekt zúčtování může odebrat více nebo naopak méně energie, než bylo původně předpokládáno.

V tuto chvíli vzniká nerovnováha v přenosové síti a její provozovatel musí aktivovat podpůrné služby, které dodají do sítě regulační energii, která zajistí dodržení výkonové bilance.

Pro každou hodinu operátor trhu s elektřinou vyhodnotí, který subjekt zúčtování odebral více nebo méně, než měl nebo který subjekt více nebo méně vyrobil. U těchto subjektů pak říkáme, že jsou v odchylce. Suma odchylek všech subjektů zúčtování se nazývá systémová odchylka.

Obsahem této práce je popis vzniku a zúčtování systémové odchylky, analýza historických údajů o velikosti a ceně systémové odchylky a nakonec návrh modelu na predikci směru systémové odchylky. Schopnost předpovídat směr systémové odchylky

je důležitá např. pro obchodníky s elektrickou energií, kteří mohou tuto informaci použít k optimalizaci svého portfolia.

Struktura práce

Cílem této práce je navrhnout model, který je schopen předpovídat směr systémové odchylky. Práce je rozčleněna do tří částí

První část představuje teoretický popis systémové odchylky. V této části je popsáno její určení a také stanovení její ceny. Dále pasáž obsahuje popis jednotlivých subjektů na trhu s elektrickou energií, které mají něco společného se systémovou odchylkou. Pasáž také zahrnuje popis jejich role vzhledem k systémové odchylce.

Druhá část obsahuje analýzu historických dat týkajících se systémové odchylky. Je zkoumán její směr, velikost a také cena.

V poslední části je navržen a otestován model pro předpověď směru systémové odchylky.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Tato pasáž obsahuje vysvětlení, co jsou subjekt zúčtování a systémová odchylka. Také je zde popsán systém zúčtování. V této části také popisujeme nejdůležitější subjekty na českém trhu s elektrickou energií, které hrají důležitou roli při stanovování ceny systémové odchylky. Tři subjekty, které odchylku řeší, jsou OTE, ČEPS a ERÚ. Dále je ještě uveden popis Power Exchange Central Europe.

1.1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

1.1.1. Subjekt zúčtování

OTE definuje účastníky trhu, kteří sami zodpovídají za svou odchylku jako tzv. subjekty zúčtování. Ne každý odběratel elektrické energie je subjektem zúčtování, nicméně každý odběr nebo dodávka do elektrizační soustavy jsou přiřazeny nějakému subjektu zúčtování. OTE registruje cca. 100 subjektů zúčtování. Subjekty zúčtování jsou obchodníci s elektrickou energií, producenti elektřiny nebo velcí odběratelé.

Například domácnosti nejsou subjekty zúčtování, ale zodpovědnost za jejich odběr je přiřazena jejich dodavateli elektřiny (např. ČEZ prodej). Dodavatel takto odpovídá za odběr několika tisíců domácností a musí poté vypořádat svoji odchylku.

Subjekt zúčtování se může, ale nemusí, stát registrovaným účastníkem na krátkodobých trzích provozovaných OTE (blokový, denní, vnitrodenní). Rovněž se může subjekt zúčtování zaregistrovat na vyrovnávacím trhu s regulační energií. Entity, které nejsou subjekty zúčtování, se nemohou obchodování na trzích provozovaných OTE účastnit.

1.1.2. Odchylka

Odchylka subjektu zúčtování je rozdílem elektřiny dodané do soustavy nebo elektřiny pořízené na trzích a odběru ze soustavy. Způsob výpočtu odchylky subjektu zúčtování je uveden na obrázku 1. Odchylka subjektu zúčtování je vyhodnocována každou hodinu. První obchodní hodina trvá od 0:00 do 1:00, 2. obchodní hodina trvá od 1:00 do 2:00 atd.

1. Popis výpočtu odchyly a jejího zúčtování

Obrázek 1: Odchylyka subjektu zúčtování

+	Suma výroby dodané do soustavy
-	Suma odběru ze soustavy
+	Saldo objemu elektřiny pořízené/prodané pomocí krátkodobých trhů
+	Saldo elektřiny z dvoustranných obchodů registrovaných u OTE
+	Saldo exportu a importu do/ze zahraničí
<hr/>	
Odchylyka subjektu zúčtování	

Zdroj: [2]

Systémová odchylyka v každé hodině je rovna součtu odchylek všech subjektů zúčtování. Postup pro výpočet systémové odchylyky je uveden v rovnici 1. Systémová odchylyka je poté kryta regulační energií, kterou obstarává provozovatel přenosové soustavy společnost ČEPS, a.s. ČEPS může obstarat aktivaci podpůrných služeb, nákupem na vyrovnávacím trhu regulační energií nebo nákupem regulační energie ze zahraničí.

Rovnice 1: Výpočet systémové odchylyky

$$\text{Systémová odchylyka} = \sum_{i=1}^n (\text{Odchylyka subjektu zúčtování})_i$$

1.1.3. Protiodchylyka

Subjekt zúčtování platí za svoji odchylyku pouze, pokud má jeho odchylyka stejný směr jako systémová odchylyka. Pokud je směr odchylyky subjektu zúčtování opačný oproti systémové odchylyce (např. Systémová odchylyka je kladná, ale subjekt zúčtování má zápornou odchylyku.), inkasuje subjekt zúčtování obnos za protiodchylyku. Pokud je subjekt zúčtování v protiodchylyce, pomáhá síť dostat do výkonové rovnováhy a je za to odměněn.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

1.1.4. Regulační energie

Provozovatel přenosové soustavy společnost ČEPS spojitě reguluje síť za účelem udržení rovnováhy. Pokud řídicí algoritmus detekuje, že dochází k odchylce v síti, musí být odchylka vykompenzována dodáním regulační energie.

Tabulka 1: Regulační energie dodané aktivací podpůrných služeb

Regulační energie kladná (RE+)	Regulační energie záporná (RE-)
Výroba dodatečné energie	Nevyrobení plánované energie
Kryje zápornou SO	Kryje kladnou SO

Zdroj: [2]

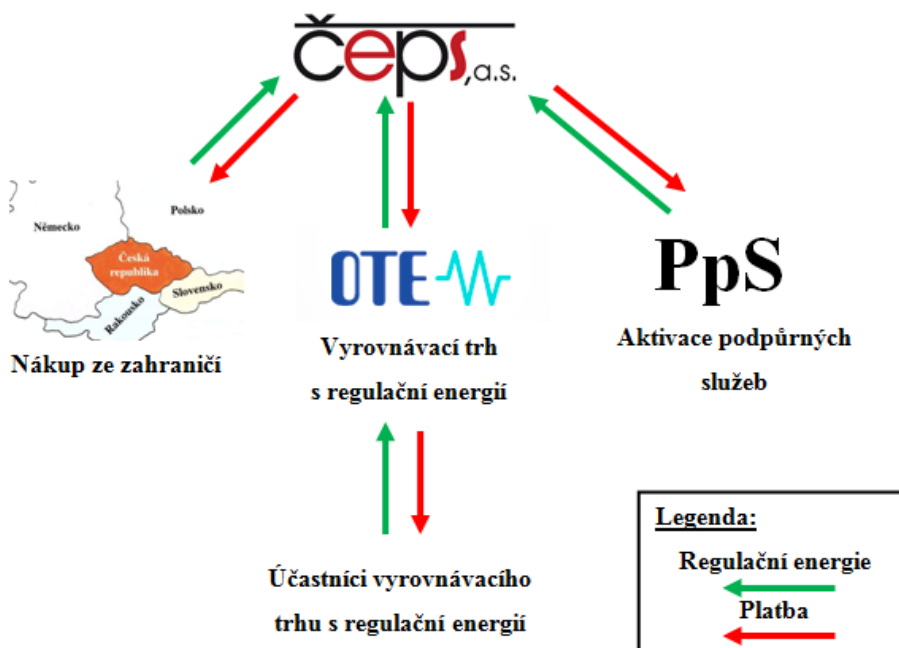
V tabulce 1 je uveden základní princip dodání regulační energie. Pokud je systémová odchylka záporná, je v síti nedostatek energie a musí být dodána kladná regulační energie. V případě, že je systémová odchylka kladná, je v síti energie přebytek a výkon bloků poskytujících podpůrné služby musí být snížen. **Systémová odchylka se rovná zápornému součtu dodané regulační energie v dané obchodní hodině.**

Společnost ČEPS má s poskytovateli podpůrných služeb uzavřeny smlouvy. Výrobní bloky musí být certifikovány, aby mohly dodávat regulační energii. Provozovatel přenosové soustavy platí fixní platbu poskytovatelům za rezervaci regulační energie a v případě využití regulační energie obdrží poskytovatelé podpůrných služeb platbu za dodané množství energie.

Aktivace podpůrných služeb je pouze jedna z možností obstarání regulační energie. Celkově existují tři možnosti. Kromě podpůrných služeb je to nákup regulační energie ze zahraničí a pořízení přebytečné energie od subjektů zúčtování na vyrovnávacím trhu s regulační energií, který spoluorganizují společnosti ČEPS a OTE. Obrázek 2 shrnuje možnosti obstarání regulační energie.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Obrázek 2: Způsoby obstarání regulační energie¹



Zdroj: Autor

1.2. Subjekty na trhu s elektrickou energií

V textu již byly zmíněny některé subjekty, které vystupují na trhu s elektrickou energií. V této podkapitole budou aktéři popsáni. Nejedná se o úplný popis všech činností, ale spíš jejich nástin. Důraz je kladen na popis vztahu, který má daná entita vzhledem k systémové odchylce. [3]

1.2.1. Operátor trhu s elektřinou (OTE a.s.)

Společnost OTE, a.s. byla založena v roce 2001. Jejím zakladatelem a jediným akcionářem je stát. Akcionářská práva jsou vykonávána Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO). [2]

Mezi činnosti OTE, které souvisejí se systémovou odchylkou, patří vyhodnocování, zúčtování a vypořádání odchylek mezi sjednanými a skutečnými dodávkami a odběry elektřiny nebo plynu. Dále OTE organizuje krátkodobý trh s elektřinou a krátkodobý trh s plynem a ve spolupráci s provozovatelem přenosové soustavy organizuje vyrovnávací trh s regulační energií. [2]

¹ ČEPS platí pouze za rezervaci podpůrných služeb. Poskytovatelé PpS za svůj dodaný výkon dostávají peníze od OTE ze systému zúčtování.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Mezi další činnosti patří zpracování dat o trhu s elektřinou a plynem, administrace výplaty podpory OZE, správa rejstříku emisních povolenek, zpracování shrnujících zpráv o trzích s elektřinou a plynem a zpracování výhledu očekávané spotřeby energií. [2].

V říjnu roku 2013 OTE registroval asi 100 subjektů, které mají povolení obchodovat na krátkodobých trzích s elektřinou, a přibližně stejný počet subjektů zúčtování (tj. samy zodpovídají za systémovou odchylku). Obě skupiny společností se téměř překrývají. Patří do nich čeští producenti a distributoři elektřiny, čeští a zahraniční obchodníci s elektřinou a také několik firem, které elektřinu nakupují přes trhy provozované OTE a které zpovídají za svou odchylku, ale jejich hlavní předmět podnikání nesouvisí s energiemi (např. Dopravní podnik Ostrava a.s.).

Provoz společnosti je převážně hrazen z příspěvku na činnost OTE, který je součástí koncové ceny elektrické energie a který platí každý koncový zákazník.

1.2.1.1. Krátkodobý trh s elektrickou energií

Krátkodobý trh s elektřinou je jednou z nejdůležitějších činností, které OTE provozuje. OTE [2] charakterizuje krátkodobý trh s elektřinou jako prostor pro možnost optimalizace své obchodní pozice i v době krátce před termínem dodávky (den, hodina) v reakci na aktuální situaci ve výrobním, resp. odběratelském portfoliu. Krátkodobý trh s elektřinou je tvořen následujícími platformami:

- 1) Blokovaný trh
- 2) Denní trh
- 3) Vnitrodenní trh
- 4) Vyrovnávací trh s regulační energií

1.2.1.1.1. *Blokovaný trh*

“Organizovaný blokovaný trh s elektřinou umožňuje kontinuálním způsobem obchodovat pevně určené bloky elektřiny na daný obchodní den, konkrétně se jedná o standardní bloky typu Base (0:00 – 24:00 hod.), Peak (8:00 – 20:00 hod.) a Offpeak(0:00 – 8:00 hod.; 20:00 – 24 hod.)” [2]

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

1.2.1.1.2. *Denní spotový trh*

“Organizovaný denní trh s elektřinou je provozován od roku 2002. Od roku 2009 je propojen prostřednictvím implicitních aukcí s organizovaným denním trhem ve Slovenské republice a od roku 2012 také s denním trhem v Maďarsku. Požadavky na nákup či prodej elektřiny registrovaných účastníků trhu v ČR, SR a Maďarsku na následující den jsou uspokojeny společně i ze sousedních tržních míst bez nutnosti získání přenosové kapacity, a to až do výše vyhrazené přenosové kapacity. Na denním trhu je možné anonymně nabízet nebo poptávat elektřinu pro každou z 24 hodin obchodního dne. Výsledkem jsou uzavřené obchody na pevně stanovené množství elektřiny a cena pro každou obchodní hodinu tohoto dne.” [2]

1.2.1.1.3. *Vnitrodenní trh*

“Prostřednictvím organizovaného vnitrodenního trhu s elektřinou obchodníci anonymně nabízejí nebo poptávají elektřinu (formou akceptační vývěsky) v průběhu obchodního dne, a to až do limitního času 60 minut před realizací dodávky či odběru.” [2]

1.2.1.1.4. *Vyrovnávací trh s regulační energií*

„Vyrovnávací trh s regulační energií je provozován společně s provozovatelem přenosové soustavy – společností ČEPS, a.s., a umožňuje účastníkům trhu poskytovat přebytečnou kladnou či zápornou elektrickou energii v čase velmi blízkém obchodní hodině (až do 30 min. před danou hodinou). Význam tohoto trhu spočívá ve snížení podílu aktivované regulační energie a snížení výdajů za podpůrné služby při regulaci elektrizační soustavy ČR.“ [2]

Jediným nakupujícím na tomto trhu je provozovatel přenosové soustavy společnost ČEPS.

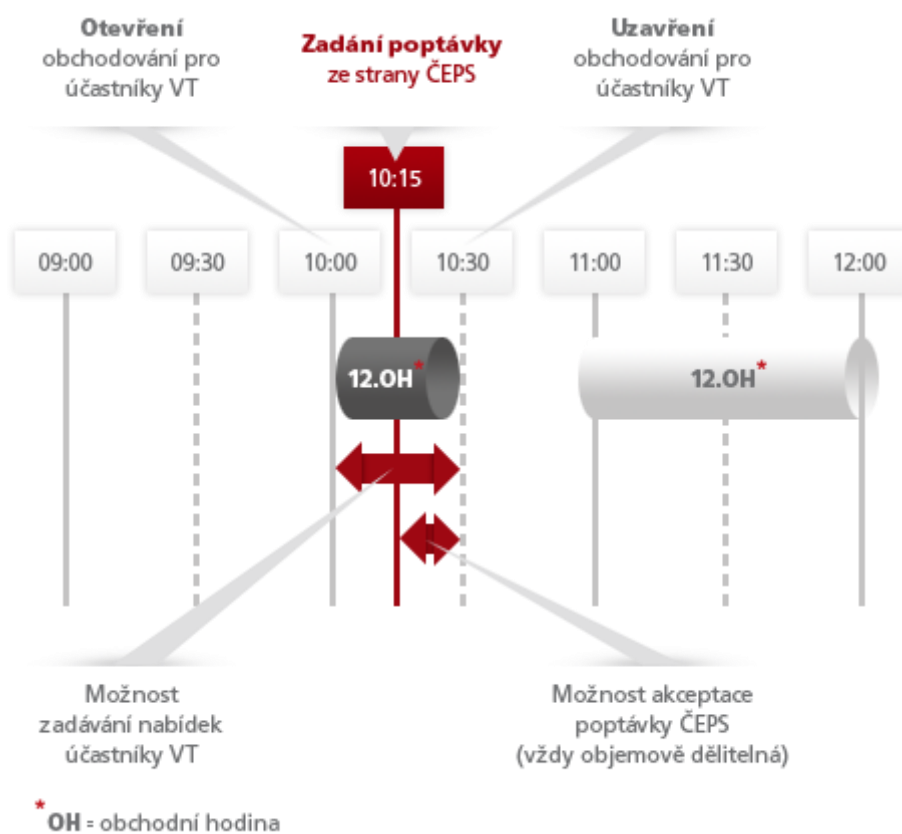
Na vyrovnávacím trhu se obchoduje kladná a záporná regulační energie. Kladná regulační energie představuje situaci, kdy registrovaný účastník trhu energii vyrobí nebo neodebere. Zápornou regulační energií se rozumí situace, když registrovaný účastník trhu elektřinu nevyrobí nebo odebere jí více, nežli měl. [2] Situace okolo regulační energie je shrnuta v tabulce 1.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Na vyrovnávacím trhu s regulační energií obchodují registrovaní účastníci s provozovatelem přenosové soustavy společností ČEPS. Průběh obchodování na vyrovnávacím trhu pro jednu konkrétní hodinu je zobrazen na obrázku 1.

Cílem vyrovnávacího trhu s regulační energií je snížit množství energie dodávané z podpůrných služeb, a tak zvyšovat efektivitu provozu přenosové soustavy.

Obrázek 3: Průběh obchodování na vyrovnávacím trhu pro 12. OH



Zdroj: [3]

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Tabulka 2: Trhy provozované OTE

	Blokový trh	Denní trh	Vnitrodenní trh	Vyrovnávací trh
Forma trhu	kontinuální párování	denní aukce	akceptační vývěska	akceptační vývěska
Obchodovaná perioda	12 nebo 24 hod.	1 hod.	1 hod.	1 hod.
Minimální možné obchodovatelné množství	1 MW x 12 nebo 24 hod	1 MWh	1 MWh	1 MWh
Maximální možné obchodovatelné množství	50 MW x 12 nebo 24 hod.	99 999 MWh	99 999 MWh	99 999 MWh
Nejmenší možný inkrement množství	1 MW x 12 nebo 24 hod.	0.1 MWh	0.1 MWh	0.1 MWh
Měna obchodování	CZK	EUR	CZK	CZK
Minimální možná cena	1 CZK/MWh	-3 000 EUR/MWh	99 999 CZK/MWh	99 999 CZK/MWh
Maximální možná cena	9 999 CZK/MWh	3 000 EUR/MWh	99 999 CZK/MWh	99 999 CZK/MWh
Nejmenší možný inkrement ceny	1 CZK/MWh	0,01 EUR/MWh	1 CZK/MWh	1 CZK/MWh
Čas otevření trhu	9:30 D-5	neomezené	15:00 D-1	H-1:00
Čas uzavření trhu	13:30 D-1	11:00 D-1	H-1:00	H-0:30

Zdroj: [2]

V tabulce 2 je shrnutí parametrů trhů provozovaných OTE. Údaje časů otevření trhů znamenají odkdy a dokdy, mohou účastníci trhu nakupovat příslušnou kategorii elektřiny. Denní trh se uzavírá den před dodávkou elektřiny. Uzávěrka je v 11:00 dopoledne pro všechny obchodní hodiny následujícího dne.

U vnitrodenního trhu, kde obchodují účastníci trhu mezi sebou, dochází k otevření až po uzavření denního trhu, v 15:00 před dnem dodávky. Na vnitrodenním trhu je možné obchodovat formou akceptační vývěsky až do jedné hodiny před začátkem dodávky.

Vyrovnávací trh s regulační energií umožňuje účastníkům trhu poslední možnost pro obchodování pro danou obchodní hodinu. Až do půl hodiny před dodávkou elektřiny mohou účastníci vyrovnávacího trhu s elektrickou energií nabízet kladnou či zápornou elektrickou energii. Průběh obchodování na vyrovnávacím trhu je zobrazen na obrázku 3.

V tabulce 3 je zobrazeno množství zobchodované elektrické energie, které bylo registrováno u OTE. Z tabulky je patrné, že většina dodávek je sjednaná přes dvoustranné smlouvy a krátkodobé trhy slouží jako doplněk pro zajištění dodávek.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Tabulka 3: Množství elektřiny registrované v OTE v roce 2012

	Prodej	Nákup
Blokový trh	19 GWh	19 GWh
Denní trh	10 971 GWh	10 562 GWh
Vnitrodenní trh	328 GWh	328 GWh
Dvoustranné smlouvy	112 466 GWh	112 466 GWh
Export/Import	27 291 GWh	9 168 GWh

Zdroj: [2]

1.2.2. ČEPS, a.s.

ČEPS je firma plně vlastněná státem. Jeho hlavní činností je vnitrostátní a přeshraniční přenos elektrické energie. Dalšími stěžejními činnostmi společnosti je udržování kvality elektřiny, obnovení provozu a dispečerské řízení.

Dále je posláním ČEPSu udržování výkonové rovnováhy v reálném čase. Aby bylo možné rovnováhu mezi výrobou a odběrem v síti udržet, využívá ČEPS podpůrné služby.

Podpůrné služby, které ČEPS využívá k udržení rovnováhy v síti, jsou:

- 1) Primární regulace frekvence bloku (PR)
- 2) Sekundární regulace výkonu bloku (SR)
- 3) Minutová záloha 5minutová (MZ5)
- 4) Minutová záloha 15minutová kladná (MZ 15+)
- 5) Minutová záloha 30minutová (MZ30)
- 6) Snížení výkonu (SV30)

Tyto kategorie podpůrných služeb ČEPS nakupuje na denním trhu s podpůrnými službami, anebo je obstarává ve výběrových řízeních.

Celkově existují tři možnosti, jak může ČEPS regulační energii obstarat. Prvním způsobem je aktivace podpůrných služeb, druhým je nákup vyrovnávací energie na denním trhu, který organizuje OTE. Poslední možností je nákup elektřiny ze zahraničí.

Ke krytí systémové odchylky používá ČEPS nejčastěji sekundární regulaci výkonu bloku, která je automaticky řízená, cena za regulační energii dodanou ze sekundární

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

regulace je stanovena cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu. Při obstarávání regulační energie by se provozovatel přenosové sítě měl řídit zásadami efektivity a minimalizace nákladů. [1]

Platby za systémovou odchylku putují finálně do společnosti ČEPS. Ziskem společnosti z podpůrných služeb je rozdíl mezi platbami za systémovou odchylku a náklady na obstaranou regulační energii. [1]

1.2.3. Energetický regulační úřad

Energetický regulační úřad (ERÚ) existuje od 1. ledna 2001. Úřad byl zřízen na základě zákona č. 458/2000 Sb. ERÚ působí ve třech hlavních oblastech elektřina, plyn a teplo. Jeho hlavními působnostmi je regulace cen, výkon dohledu nad trhy v energetických odvětvích, ochrana zákazníků a spotřebitelů a podpora využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie a kombinované výroby elektřiny a tepla. [4]

Ve vztahu k odchylce jsou nejdůležitější cenová rozhodnutí o velikosti poplatku za odchylku, ve kterých ERÚ stanovuje cenu regulační energie ze sekundární regulace a cenu systémové odchylky. Finální způsob určení ceny odchylky je uveden v příloze č. 5 k vyhlášce č. 541/2005 Sb, stanovení ceny se budeme věnovat v další části práce.

1.2.4. Power Exchange Central Europe

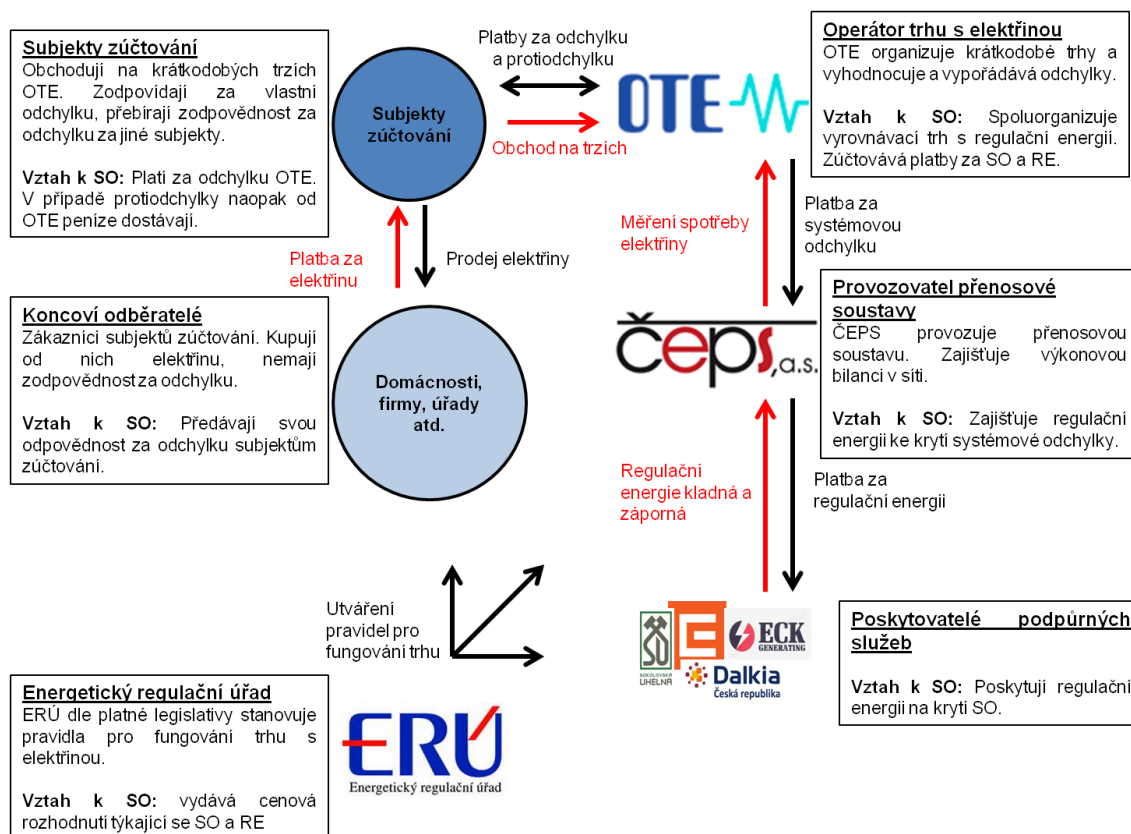
Power Exchange Central Europe (PXE) existuje od roku 2007 a je dceřinou společností Burzy cenných papírů Praha. Umožňuje obchodování standardizovaných derivátů, jejichž podkladovým aktivem je elektřina. PXE nabízí možnost fyzického nebo finančního vypořádání. Místo dodání pro fyzické vypořádání může být Česká republika, Slovensko nebo Maďarsko. [5]

Hlavními produkty, které jsou obchodovány na PXE jsou futures. Na burze je možno obchodovat futures s délkou dodávky měsíční, čtvrtletní nebo roční. Dále se pak dá volit mezi variantou Base load nebo Peak load. Velikost kontraktu odpovídá délce období a variantě kontraktu tak, že po celé sjednané období je každou hodinu doručena 1 MWh.

Obrázek 4 zjednodušeně shrnuje předchozí dvě podkapitoly této práce.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Obrázek 4: Schéma shrnující vztahy týkající se systémové odchylky



Zdroj: Autor

1.3. Zúčtování a stanovení ceny systémové odchylky

1.3.1. Systém zúčtování

Systém zúčtování se dá rozdělit do tří částí [1]:

- 1) Určení kdo má kolik elektřiny dodat nebo odebrat
- 2) Měření dodávky a odběru
- 3) Výpočet individuálních odchylek a zúčtovacích cen

Systémová odchylka se vyhodnocuje pro každou hodinu. Provozovatel přenosové sítě dopředu odhaduje množství vyrobené a spotřebované energie. Od subjektů zúčtování dostává plány výroby, má informace z trhů s elektrickou energií, používá typové denní diagramy pro odhad spotřeby jednotlivých subjektů v elektrické síti a využívá také elektrická měření. Z těchto údajů sám ČEPS predikuje odchylku. V průběhu dané hodiny pak obstarává regulační energii.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Z údajů z měření, dodávek regulační energie, sjednaných dodávek jednotlivými subjekty zúčtování a příhraničních toků se poté podle výpočtu, který je zobrazen na obrázku 1 stanoví odchylka jednotlivých subjektů zúčtování. Jejichž suma udá systémovou odchylku.

V další části je popsáno, jakým způsobem se určuje cena odchylky a kdy musí subjekty zúčtování platit OTE za odchylku a kdy naopak musí OTE platit jim.

1.3.2. Určení ceny odchylky

Cena odchylky je určována a zúčtována pro každou hodinu. Od roku 2011 je podle přílohy č. 5 k vyhlášce č. 541/2005 Sb stanovena následujícím způsobem:

- a) Cenou odchylky je nejvyšší nabídková cena regulační elektřiny dodaná v této obchodní hodině; byla-li takto stanovena cena nižší než cena stanovená cenovým rozhodnutím ERÚ, použije se cena stanovená ERÚ
- b) V případě, že pro některou obchodní hodinu nebyla obstarána žádná regulační energie, použije se zúčtovací cena podle cenového rozhodnutí ERÚ. [6]

Energetický úřad stanovuje zúčtovací cenu systémové odchylky svými cenovými rozhodnutími. Od roku 2011 mají vzorce pro výpočet zúčtovací ceny odchylky stejnou podobu. Pro každou obchodní hodinu jsou ceny určovány podle rovnice 2 nebo rovnice 3.

Rovnice 2: Cena systémové odchylky pro zápornou a nulovou systémovou odchylku stanovená ERÚ

$$\text{Cena systémové odchylky} = 2350 + 5,5x|\text{systémová odchylka}| \left[\frac{\text{Kč}}{\text{MWh}}; \text{MWH} \right]$$

Rovnice 3: Cena systémové odchylky pro kladnou systémovou odchylku stanovená ERÚ

$$\text{Cena systémové odchylky} = 1 + 3,5x|\text{systémová odchylka}| \left[\frac{\text{Kč}}{\text{MWh}}; \text{MWH} \right]$$

Zdroj: [2]

1. Popis výpočtu odchyly a jejího zúčtování

Výše uvedené rovnice popisují, že mezi cenou odchyly a systémovou odchyly je lineární závislost. Se zvětšující odchyly roste i její jednotková cena. Tento atribut je nastaven, aby motivoval účastníky trhu k minimalizaci vlastní odchyly.

1.3.3. Zúčtovací cena systémové odchyly

V případě záporné systémové odchyly je zúčtovací cena systémové odchyly rovna ceně odchyly (vypočítané z nabídkové ceny regulační energie nebo z přímkou v cenovém rozhodnutí ERÚ). V případě kladné systémové odchyly je zúčtovací cena odchyly rovna záporné hodnotě ceny odchyly. [2]

Dále v textu, pokud se budeme bavit o ceně systémové odchyly, bude používána zúčtovací cena, kde se znaménko ceny systémové odchyly liší podle směru systémové odchyly a lze pouze z informace o ceně určit, jaký směr systémová odchyly v dané obchodní hodině měla.

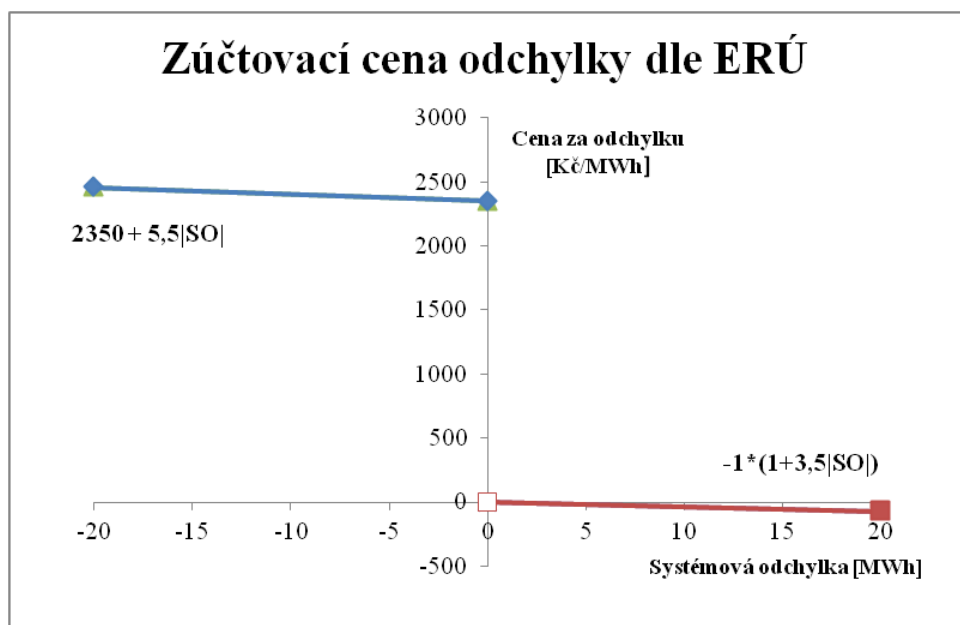
Závislost ceny odchyly podle vztahů daných ERÚ je zobrazena v grafu 1. Z grafu vyplývá, že při záporné systémové odchyly je zúčtovací cena za odchyly absolutně vyšší než při kladné systémové odchyly. Pokud má subjekt zúčtování při záporné systémové odchyly vlastní odchyly zápornou (např. odebral více energie, než měl sjednáno.), zaplatí za každý MWh minimálně 2350 Kč.

V opačném případě – kladná systémová odchyly a kladná odchyly subjektu zúčtování, je subjekt za každou MWh penalizován méně. Nicméně pro detailnější úvahy je třeba započítat náklady na výrobu elektřiny nebo na nákup elektřiny, která nebyla spotřebována.

Hodnoty 2350 Kč/MWh a -1 Kč/MWh nejsou stanoveny náhodně. 2350 Kč/MWh je cena, kterou dostávají dodavatelé kladné regulační energie ze sekundárních zdrojů a 1 Kč/MWh dostávají dodavatelé záporné regulační energie. [7] Dodání regulační energie ze sekundárních zdrojů je nejčastější způsob krytí systémové odchyly.

1. Popis výpočtu odchyly a jejího zúčtování

Graf 1: Zúčtovací cena odchyly dle ERÚ



Zdroj: Autor z [2]

1.3.4. Cena protiodchyly

OTE stanovuje pro každou obchodní hodinu zúčtovací cenu protiodchyly. Určení ceny protiodchyly závisí na skutečnosti, zda je systémová odchylka záporná nebo kladná.

Je-li systémová odchylka záporná nebo rovná nule, je zúčtovací cena protiodchyly vážený průměr cen z aktivované kladné regulační energie (včetně vyrovnávacího trhu).

Je-li systémová odchylka kladná, je zúčtovací cenou protiodchyly vážený průměr cen z aktivované záporné regulační energie včetně vyrovnávacího trhu. [6]

1.3.5. Cena regulační energie

Jak bylo výše uvedeno cena odchyly i protiodchyly je ovlivňována cenou regulační energie, která byla v dané obchodní hodině použita na krytí odchyly. Již jsme uvedli, že existují tři způsoby, jak regulační energii obstarat: aktivací podpůrných služeb, nákupem na vyrovnávacím trhu nebo dovozem ze zahraničí.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

1.3.5.1. Kladná regulační energie

Cena za dodanou kladnou regulační energii (např. zvýšení výkonu bloku) je rovna nabídkové ceně kladné energie dodané na blocích poskytujících podpůrné služby nebo opatřené ze zahraničí.

Cena za dodávku kladné regulační energie pořízené na vyrovnávacím trhu závisí na směru systémové odchylky.

V případě je-li systémová odchylka záporná (To je případ, že kladná regulační energie kryje zápornou systémovou odchylku.), je cena za dodanou kladnou regulační energii vyšší z cen: nabídková cena sjednaná na vyrovnávacím trhu a vážený průměr cen z podpůrných služeb a ze zahraničí.

V situaci, kdy je odchylka v dané obchodní hodině kladná, je cena kladné regulační energie rovna nabídkové ceně. [6]

1.3.5.2. Záporná regulační energie

U záporné regulační energie je situace analogická ke kladné regulační energii. U dodávek z podpůrných služeb a ze zahraničí je cena rovna nabídkové ceně.

U záporné regulační energie sjednané na vyrovnávacím trhu závisí cena na směru systémové odchylky.

Pokud je systémová odchylka kladná, je cena za dodanou zápornou regulační energii rovna nižší z cen: nabídková cena sjednaná na vyrovnávacím trhu a vážený průměr cen z aktivované záporné regulační energie.

V případě záporné systémové odchylky je cena za dodanou zápornou regulační energii rovna nabídkové ceně sjednané na vyrovnávacím trhu. [6]

1.3.6. Zúčtování plateb

Tabulka 4 shrnuje čtyři případy, které mohou nastat pro subjekt zúčtování. Znaménko zúčtovací ceny systémové odchylky i protiodchylky je v jedné obchodní hodině stejné.

1. Popis výpočtu odchylky a jejího zúčtování

Tabulka 4: Zúčtování systémové odchylky

Systémová odchylka [MWh]	Odchylka SZ [MWh]	Zúčtovací cena [Typ]	Cena za odchylku [Kč/MWh]	Kdo komu platí
Kladná	Kladná	Odchylka	Záporná	SZ→OTE
Kladná	Záporná	Protiodchylka	Záporná	OTE→SZ
Záporná	Kladná	Protiodchylka	Kladná	OTE→SZ
Záporná	Záporná	Odchylka	Kladná	SZ→OTE

Zdroj: [2]

Obrázek 5 ukazuje příklad statistiky za jeden den ze stránek OTE. Na obrázku je vidět prvních deset obchodních hodin. Ke každé hodině se dají vyčíst informace o velikosti systémové odchylky, nákladů na regulační energie i velikost zúčtovací ceny systémové odchylky a protiodchylky.

Příjmy za systémovou odchylku musí pokrýt platby za regulační energii a platby za protiodchylku. Jejich rozdílem je přebytek zúčtování regulační energie. Na obrázku lze vidět, že např. v první hodině při záporné systémové odchylce je zúčtovací cena kladná, stejně tak je záporná i cena protiodchylky. Náklad na odchylku je záporný, protože představuje příjem do systému zúčtování a je roven rozdílu mezi poplatky za systémovou odchylku a platbami za protiodchylku.

Obrázek 5: Příklad výpisu OTE o systémové odchylce

Zúčtování odchylek, denní vypořádání (verze 0) - 26.04.2014									
Hodina	Systémová odchylka (MWh)	Součet absolutních odchylek (MWh)	Kladné odchylky (MWh)	Záporné odchylky (MWh)	Zaokrouhlení odchylek (MWh)	Náklady na RE (Kč)	Náklady na odchylku (Kč)	Zúčtovací cena odchylky (Kč/MWh)	Zúčtovací cena protiodchylky (Kč/MWh)
1	-24,294	160,772	68,239	-92,533	-0,006	100 833,60	-69 454,23	2 483,61	2 350,00
2	-28,204	197,786	84,791	-112,995	0,004	115 170,80	-83 807,18	2 505,12	2 350,00
3	16,020	182,428	99,224	-83,204	-0,020	24 253,80	-5 579,51	-57,07	-1,00
4	-12,000	178,790	83,395	-95,395	0,000	52 415,30	-34 496,07	2 416,00	2 350,00
5	-7,000	145,574	69,287	-76,287	0,000	62 999,80	-19 387,05	2 388,50	2 350,00
6	37,106	147,322	92,214	-55,108	-0,006	11 086,80	-12 012,94	-130,87	-1,00
7	-83,696	192,920	54,612	-138,308	-0,004	196 695,00	-260 351,54	2 810,32	2 350,00
8	-91,694	213,338	60,822	-152,516	-0,006	215 965,20	-292 396,24	2 854,31	2 350,00
9	-67,788	254,078	93,145	-160,933	-0,012	159 565,10	-219 302,45	2 722,83	2 350,00
10	2,006	273,750	137,878	-135,872	-0,006	2,00	-969,91	-8,02	-1,00

Zdroj: [8]

2. Analýza historických dat

Tato kapitola bude obsahovat analýzu historických údajů o systémové odchylce. Pro analýzu si můžeme stanovit tři úrovně zkoumání - směr systémové odchylky, velikost systémové odchylky a cena systémové odchylky.

Nejprve začneme zkoumat směr systémové odchylky. Směr je binární veličina, může nabývat pouze dvou hodnot. Je kladná nebo záporná. Pokud by byla někdy rovna nule, bude v souladu zúčtovací metodologií ERÚ považována za zápornou.

Velikost odchylky obsahuje údaje o jejím směru a velikosti. Může nabývat hodnot v oboru reálných čísel, teoreticky s neomezeným maximem a minimem. Nicméně v praxi, jak bude ukázáno, se pohybuje v nějakém omezeném pásmu.

Poslední úroveň je cena systémové odchylky. Jak je výše popsáno, způsob určení ceny systémové odchylky závisí na jejím směru a navíc existují dva způsoby, jak spočítat zúčtovací cenu odchylku podle situace v dané obchodní hodině. Pro výpočet je použito maximum z ceny určené podle vzorce Energetického regulačního úřadu nebo nabídkové ceny regulační energie dodané v dané obchodní hodině. Cena systémové odchylky tedy závisí na směru a velikosti systémové odchylky a bude zkoumána jako poslední.

Na závěr této kapitoly bude uvedena ještě analýza ceny protiodchylky

2.1. Data

Data určená pro analýzu pocházejí ze stránek OTE. OTE zveřejňuje pro všechny obchodní hodiny údaje za předešlý den do 14:00 v rámci denního vyhodnocení odchylek [9]. Data obsahují velikost systémové odchylky, velikost záporné odchylky, velikost kladné odchylky a také zúčtovací cenu systémové odchylky. Výpis je zobrazen na obrázku 5. Denní publikační zpoždění znamená, že neznáme cenu systémové odchylky za předchozí obchodní hodinu, která právě skončila.

Nicméně, jak bylo vysvětleno výše systémová odchylka je rovna opačné hodnotě dodané regulační energie. Údaj o poskytnuté regulační energii lze zjistit ze stránek provozovatele přenosové soustavy. Tudíž hodnotu systémové odchylky známe a navíc ji můžeme sledovat takřka v reálném čase, protože ČEPS zveřejňuje minutové údaje o dodané regulační energii s pouze přibližně pětiminutovým zpožděním.

2. Analýza historických dat

Statistická analýza je prováděna na datech v tříletém horizontu. Soubor dat obsahuje údaje za všechny obchodní hodiny od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2013.

Data jsou zkoumána po hodinách, protože OTE k zúčtování používá také hodinový interval. Pro každý rok je k dispozici 8760 pozorování (obchodních hodin). Rok 2012 obsahuje ještě navíc 24 obchodních hodin, protože se jedná o rok přestupný.

Pokud jsou někde popisovány agregované údaje za stejnou obchodní hodinu ve více dnech, opomíjíme 25. obchodní hodinu, která představuje přechod na zimní čas. Naopak 24. obchodní hodina má o tři pozorování méně než u ostatních hodin, protože OTE alokuje přechod na letní čas vždy na poslední obchodní hodinu dne předcházející časové změně.

2.2. Četnost typů odchylek

Nejprve se budeme věnovat statistickému popisu jednotlivých typů systémové odchylky. Popis je zjednodušen faktem, že máme pouze dva typy systémové odchylky. Systémová odchylka může být kladná anebo záporná.

Systém zúčtování odchylky by měl motivovat subjekty zúčtování k minimalizaci jejich absolutní odchylky. Pokud by systém skutečně fungoval a existoval by nějaký dokonalý způsob jak regulovat výkon elektrárenských bloků, předpokládali bychom, že systémová odchylka bude v průměru skutečně nulová a směr odchylky bude náhodně kladný nebo záporný a že systémová odchylka bude přibližně v padesáti procentech případů kladná a v padesáti procentech záporná.

Tabulka 5 popisuje absolutní četnost typů směru systémové odchylky. Je vidět, že náš předpoklad, že bude směr odchylky rozdělen rovnoměrně mezi oba směry, není platný. Z tabulky 6 vyplývá, že ve všech třech letech kladný směr byl o 6 % až 14 % častější než záporný směr.

Z tabulky 6 je patrné, že výskyt kladné systémové odchylky byl méně častý v roce 2012 než v dvou dalších sledovaných letech. Příčiny tohoto faktu nejsou v dostupné literatuře popsány. Důvodem nižší četnosti, může být situace ohledně vypínání jaderných elektráren v Německu, vliv obnovitelných zdrojů nebo jiný důvod. Pokles četnosti kladné systémové odchylky je patrnější v případě některých dnů, jak se dá vyčíst v tabulce 7.

2. Analýza historických dat

Tabulka 5: Četnost typů systémové odchylky

Směr systémové odchylky	2011	2012	2013	Celkem
Záporná	3 862	4 105	3 800	11 767
Kladná	4 898	4 679	4 960	14 537
Celkem	8 760	8784	8 760	26 304

Zdroj: Autor z [8]

Tabulka 6: Procentuální zastoupení typů systémové odchylky

Směr systémové odchylky	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Záporná	44%	47%	43%	45%
Kladná	56%	53%	57%	55%
Celkem	100%	100%	100%	100%

Zdroj: Autor z [8]

Tabulka 7 obsahuje údaje o směru systémové odchylky v jednotlivých dnech v týdnu. Ve všech třech letech je jednoznačně procentuální výskyt kladné systémové odchylky větší o víkendech než ve všedních dnech. Přičemž v neděli v letech 2011 a 2013 byl výskyt kladné systémové odchylky téměř 70 %.

Situace je dále shrnuta v tabulce 8, kde je porovnána četnost odchylky v pracovních a nepracovních (víkendy, státní svátky a dny pracovního klidu). V nepracovních dnech je znatelně vyšší četnost kladné systémové odchylky.

Je zajímavé si povšimnout vztahu mezi tabulkou 8 grafem 2. V nepracovních dnech je kvůli nefungujícím provozům nižší spotřeba elektrické energie a zároveň ve stejnou dobu byla v minulosti větší pravděpodobnost, že směr systémové odchylky bude kladný. Z předchozího je možné usuzovat, že kvůli snížené spotřebě je soustavě přebytek elektřiny, který musí ČEPS kompenzovat obstaráním záporné regulační energii.

2. Analýza historických dat

Tabulka 7: Procentuální zastoupení kladné systémové odchylky ve dnech v týdnu

Den v týdnu	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Pondělí	58%	53%	52%	54%
Úterý	50%	53%	57%	53%
Středa	45%	50%	50%	48%
Čtvrtek	53%	52%	55%	53%
Pátek	57%	52%	57%	55%
Sobota	60%	55%	59%	58%
Neděle	68%	59%	67%	64%
Celkem	56%	53%	57%	55%

Zdroj: Autor z [8]

Tabulka 8: Procentuální zastoupení kladné systémové odchylky v pracovních a nepracovních dnech

Typ dne	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Pracovní den	53%	51%	54%	53%
Nepracovní den	63%	58%	63%	61%
Celkem	56%	53%	57%	55%

Zdroj: Autor z [8]

V tabulce 9 je popsán rozdělení výskytu typů systémové odchylky ve všedních dnech v pohledu peak load a off-peak load. Časový interval pro peak load je definován od 8:00 do 20:00 v pracovních dnech. Off-peak load trvá od 20:00 do 8:00 v pracovní dny, tedy den je v tomto pohledu rozdělen na dvě poloviny. V grafu 2 můžeme vidět, že v rozmezí od 8:00 do 20:00 je spotřeba elektrické energie vyšší než v brzkých ranních nebo pozdních večerních hodinách. Rozdíl mezi průměrným maximem a minimem spotřeby je zhruba 2 000 MWh.

Brzy ráno nebo pozdě večer, tedy v době nižší průměrné spotřeby, je vyšší zastoupení podílu kladné systémové odchylky než v průběhu pracovního dne, jak je patrné z tabulky 9. Po dobu off-peak loadu převažovala kladná systémová odchylka, zatímco v době trvání peak loadu byla mírná převaha výskytu záporné systémové odchylky. Z pozorování můžeme vyvodit stejné závěry pro všechny tři sledované roky.

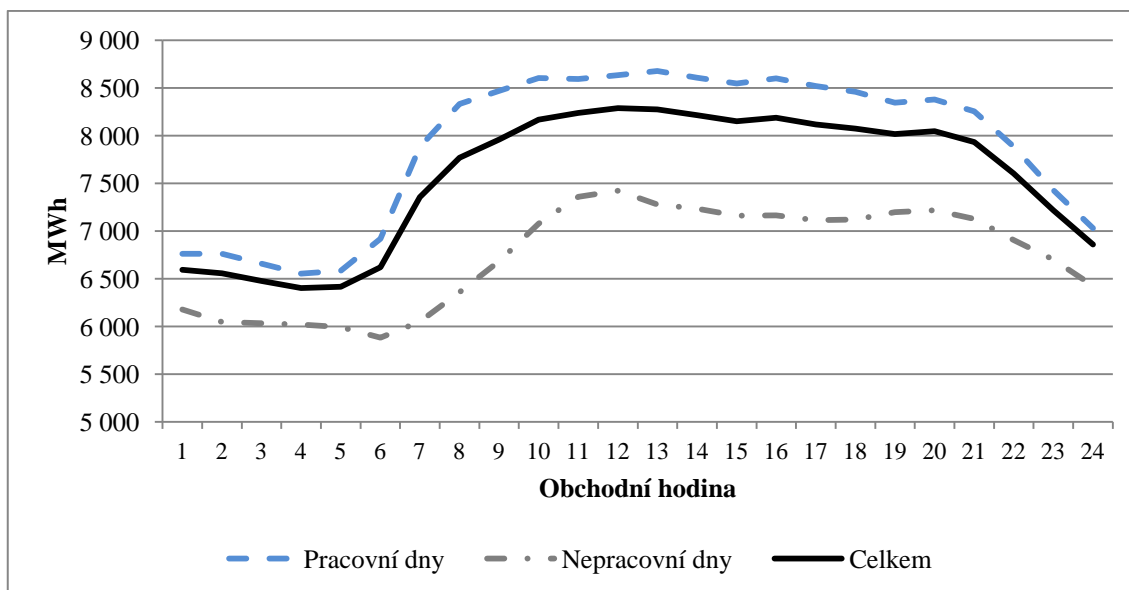
Tabulka 9: Procentuální zastoupení kladné systémové odchylky v pracovních dnech

Typ dne	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Off-peak load	57%	55%	59%	57%
Peak-load	49%	48%	49%	48%
Celkem	53%	51%	54%	53%

Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

Graf 2: Průměrná spotřeba v ČR 2011 - 2013



Zdroj: Autor z [10]

Z analýzy výskytu jednotlivých typů odchylky se dají vyvodit následující závěry. Všeobecně převažuje podíl výskytu kladné systémové odchylky. Na podíl výskytu mají vliv časové parametry jako den v týdnu, pracovní nebo nepracovní den a obchodní hodina. Dále je patrné, že ve dnech a v hodinách, kdy je spotřeba elektrické energie nižší, podíl výskytu kladné systémové odchylky roste. Naopak pokud zkoumáme časové období s velkou spotřebou například pracovní dny kolem poledne, převažuje záporná systémová odchylka. Tato zjištění budou posléze použity pro predikci systémové odchylky.

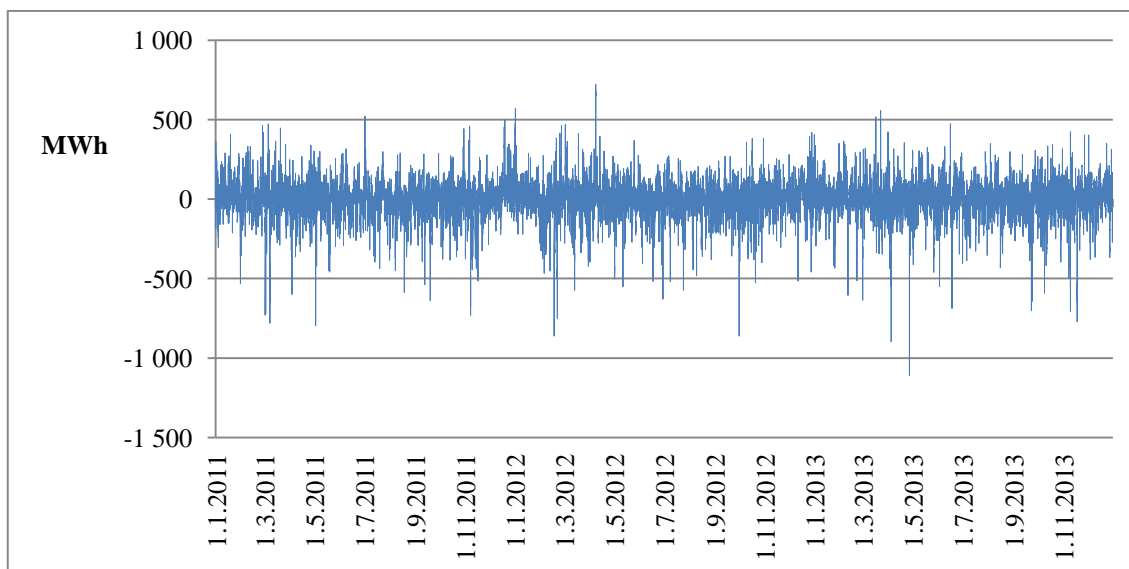
2.3. Velikost systémové odchylky

V této podkapitole je zkoumána samotná systémová odchylka, jak je k nalezení v dokumentaci OTE. Systémová odchylka se publikuje pro každou hodinu a její jednotkou je megawatthodina

V grafu 3 je zobrazena časová řada průběhu systémové odchylky za námi sledované období tří let. Pohledem na graf se časová řada zdá být přibližně stacionární, tj. její střední hodnota je nezávislá na čase. Je vidět, že velikost odchylky se pohybuje okolo nuly a občas dosáhne záporného či kladného extrému.

2. Analýza historických dat

Graf 3: Časová řada průběhu systémové odchylky

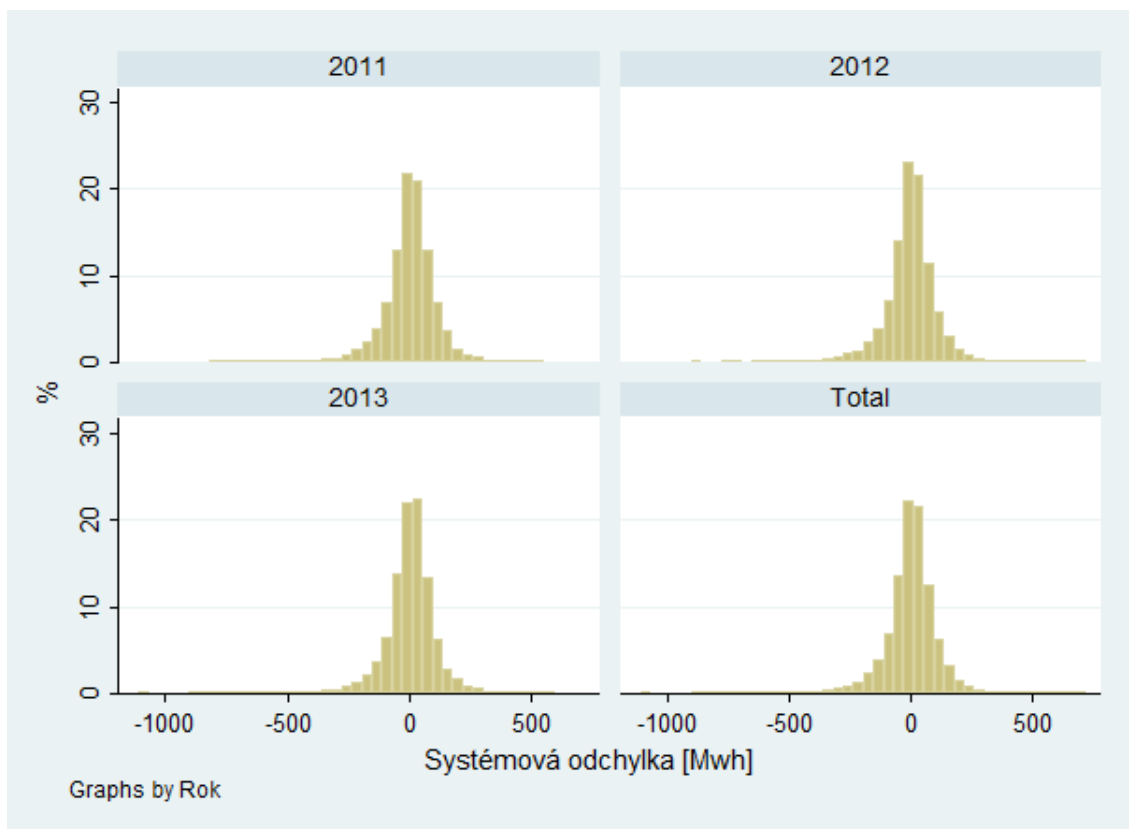


Zdroj: Autor z [8]

Graf 4 zobrazuje histogram systémové odchylky. Jsou zobrazeny separátně frekvence výskytu pro všechny tři sledované roky. Z grafu je patrné, že většina hodnot je koncentrována kolem nuly a že extrémních hodnot je ve srovnání s těmi v absolutní hodnotě menšími minimum. V histogramu je možné také spatřit vyšší výskyt kladných systémových odchylek oproti těm záporným, jak bylo popsáno už v předchozí kapitole. Histogram má podobný tvar ve všech třech sledovaných letech, na tomto základě budeme moci později vytvořit předpoklad stability rozdělení odchylek, který budeme moci využít v predikční části práce.

2. Analýza historických dat

Graf 4: Histogram systémové odchylky



Zdroj: Autor z [8]

Dále, jako v předchozí části, jsou prezentovány statistické souhrny. Tabulka 10 obsahuje statistické shrnutí údajů o velikosti statistické odchylky za tři sledované roky. V tabulce je vidět, že všechny sledované statistiky jsou ve všech letech podobné. Pouze maximum a minimum se liší, což je pochopitelné, protože se jedná o mimořádné hodnoty. Celkově za tři roky se 90 % pozorování nachází v rozmezí mezi -173 a 158 MWh.

2. Analýza historických dat

Tabulka 10: Statistické shrnutí systémové odchylky [MWh]

	2011	2012	2013	Celkem
Minimum	-795	-861	-1 108	-1 108
Percentil 5	-171	-179	-169	-173
Percentil 25	-41	-43	-39	-41
Medián	10	6	11	9
Průměr	5	-0	4	3
Percentil 75	60	52	57	56
Percentil 95	164	156	156	158
Maximum	520	720	557	720
Směrodatná odchylka	107	107	107	107

Zdroj: Autor z [8]

Rozdíly mezi pracovními a nepracovními dny jsou zobrazeny v tabulce 11. Nejzajímavější je rozdíl v mediánové hodnotě. Vyšší hodnota u mediánu v nepracovních dnech koresponduje s větším výskytem kladné systémové odchylky v nepracovních než v pracovních dnech, jak již bylo shrnuto v tabulce 8.

Druhou pozoruhodnou věcí je rozdíl v pátém a pětadvacátém percentilu. V pracovních dnech jsou hodnoty těchto statistik menší (v absolutní hodnotě větší). Můžeme z toho usoudit, že v pracovních dnech dochází k výskytu větších záporných systémových odchylek častěji, než je tomu v nepracovních dnech. Jedním z možných vysvětlení může být, že v pracovních dnech při větším zatížení mohou zákazníci odebrat více elektrické energie, než standardně odebírají. U kladné systémové odchylky tedy u 75. a 95. percentilu jsou hodnoty pro oba typy dnů podobné.

2. Analýza historických dat

Tabulka 11: Statistické shrnutí systémové odchylky v pracovních a nepracovních dnech [MWh] (2011-2013)

	Pracovní den	Nepracovní den	Celkem
Minimum	-896	-1 108	-1 108
Percentil 5	-184	-148	-173
Percentil 25	-46	-28	-41
Medián	5	20	9
Průměr	-3	19	3
Percentil 75	51	49	56
Percentil 95	146	140	158
Maximum	720	422	720
Směrodatná odchylka	107	105	107

Zdroj: Autor z [8]

Tabulka 12 obsahuje statistické údaje o systémové odchylce v pracovních dnech v období peak load (8:00 – 20:00) a off-peak load (0:00 – 8:00 a 20:00 – 24:00). Je patrné, že v době off-peak load jsou uvedené percentilové (5, 25, 75, 95) hodnoty v absolutní hodnotě menší než je tomu u peak loadu. Hodnoty systémové odchylky v období off-peak load mají i výrazně nižší směrodatnou odchylku.

Z těchto dvou faktů vyplývá, že hodnoty systémové odchylky jsou v období off-peak load více shluklé okolo nuly než při peak loadu.

Tabulka 12: Statistické shrnutí systémové odchylky v pracovních dnech [MWh] (2011-2013)

	Peak-load	Off-peak	Celkem
Minimum	-896	-730	-896
Percentil 5	-245	-103	-184
Percentil 25	-77	-28	-46
Medián	-2	9	5
Průměr	-15	7	-3
Percentil 75	58	46	51
Percentil 95	176	115	146
Maximum	720	569	720
Směrodatná odchylka	133	72	107

Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

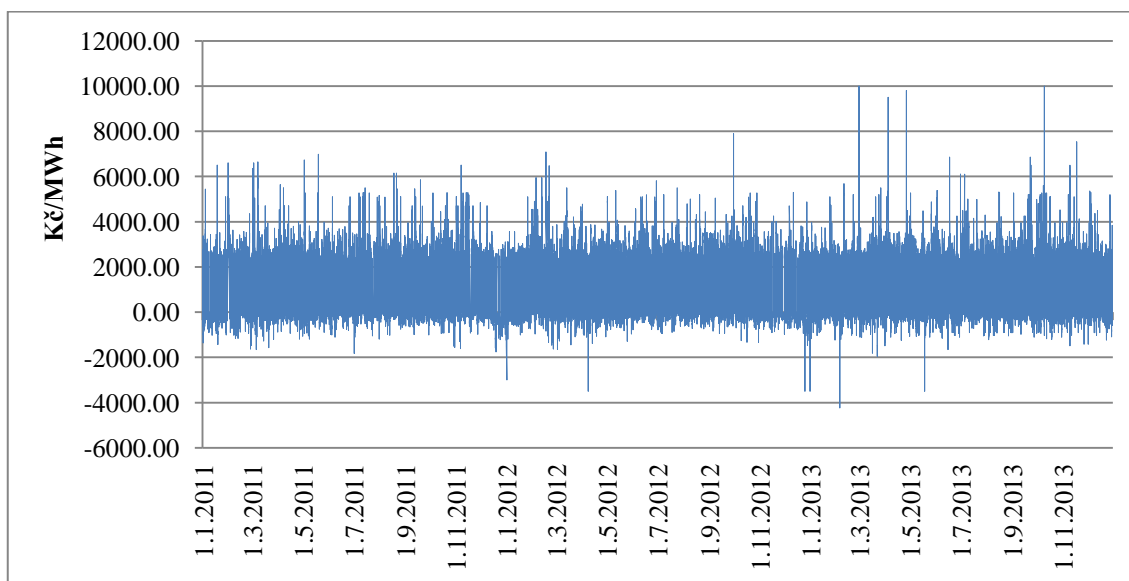
2.4. Cena systémové odchyly

V této podkapitole se budeme věnovat statistické analýze ceny systémové odchyly. Určení ceny je, jak bylo popsáno v první kapitole, závislé na směru systémové odchyly a její velikosti. Cena systémové odchyly je pro subjekty zúčtování nejdůležitější informace, protože se od ní odvíjí, kolik zaplatí za svoji odchyly.

V grafu 5 je zobrazen průběh časové řady ceny systémové odchyly. Tvar průběhu je dán omezením ceny systémové odchyly. Pro zápornou systémovou odchyly byla minimální cena systémové odchyly 2350 Kč/MWh. Omezení je dáno vzorcem stanovený ERÚ pro výpočet ceny systémové odchyly a rovněž odpovídá stanové ceně za sekundární regulační energii 2350 Kč/MWh

Naopak u kladné systémové odchyly je omezením hodnota -1 Kč/MWh. Hodnota je zase dána cenou za sekundární zápornou regulační energii, která činí 1 Kč/MWh.

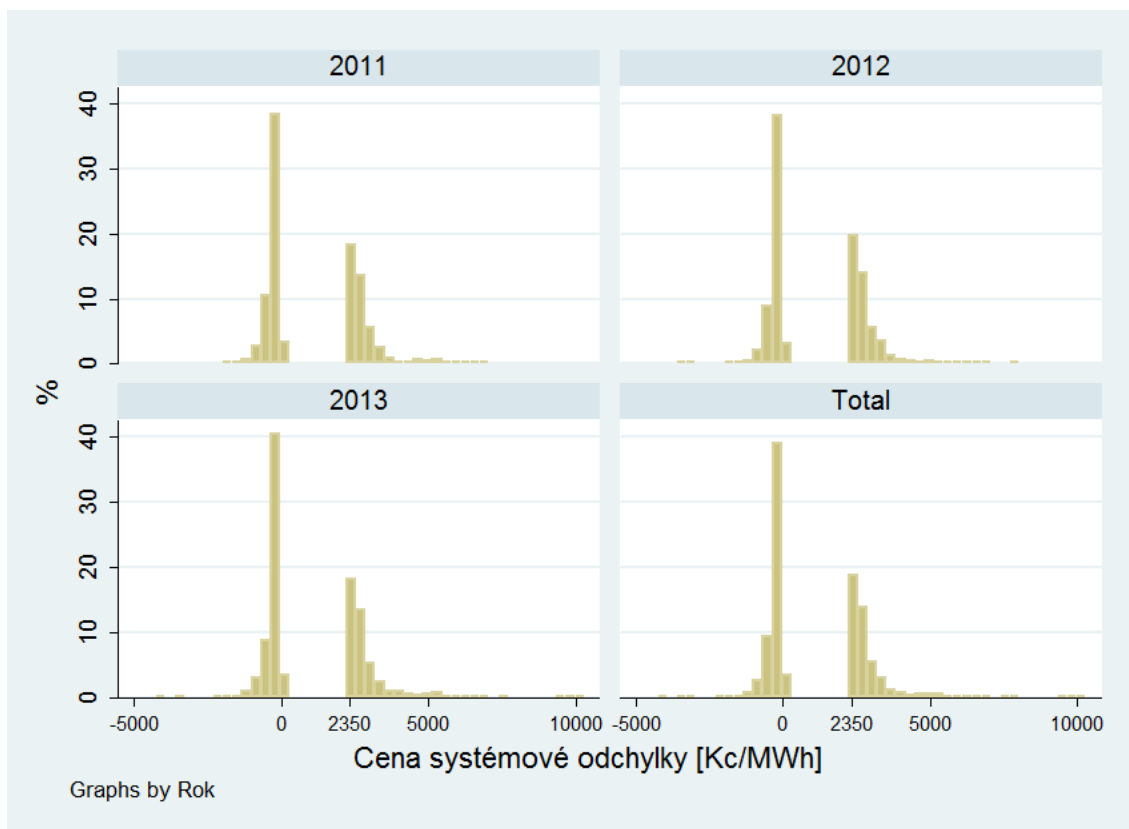
Graf 5: Časová řada průběhu ceny systémové odchyly



Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

Graf 6: Histogram ceny systémové odchylky po letech



Zdroj: Autor z [8]

Vliv těchto omezení na rozložení ceny je dobře vidět v grafu 6. Jak je patrné, žádná cena systémové odchylky se nevyskytuje mezi hodnotami -1 a 2350 Kč/MWh. Statistické shrnutí údajů o ceně systémové odchylky je v tabulce 13.

Tabulka 13: Statistické shrnutí ceny systémové odchylky [Kč/MWh]

	2011	2012	2013	Celkem
Minimum	-1 821	-3 500	-4 224	-4 224
Percentil 5	-586	-555	-612	-579
Percentil 25	-218	-184	-204	-202
Medián	-37	-22	-40	33
Průměr	1 117	1 184	1 095	1 132
Percentil 75	2 579	2 594	2 568	2 579
Percentil 95	3 396	3 396	3 411	3 399
Maximum	6 990	7 890	10 000	10 000
Směrodatná odchylka	1 620	1 587	1 628	1 612

Zdroj: Autor z [8]

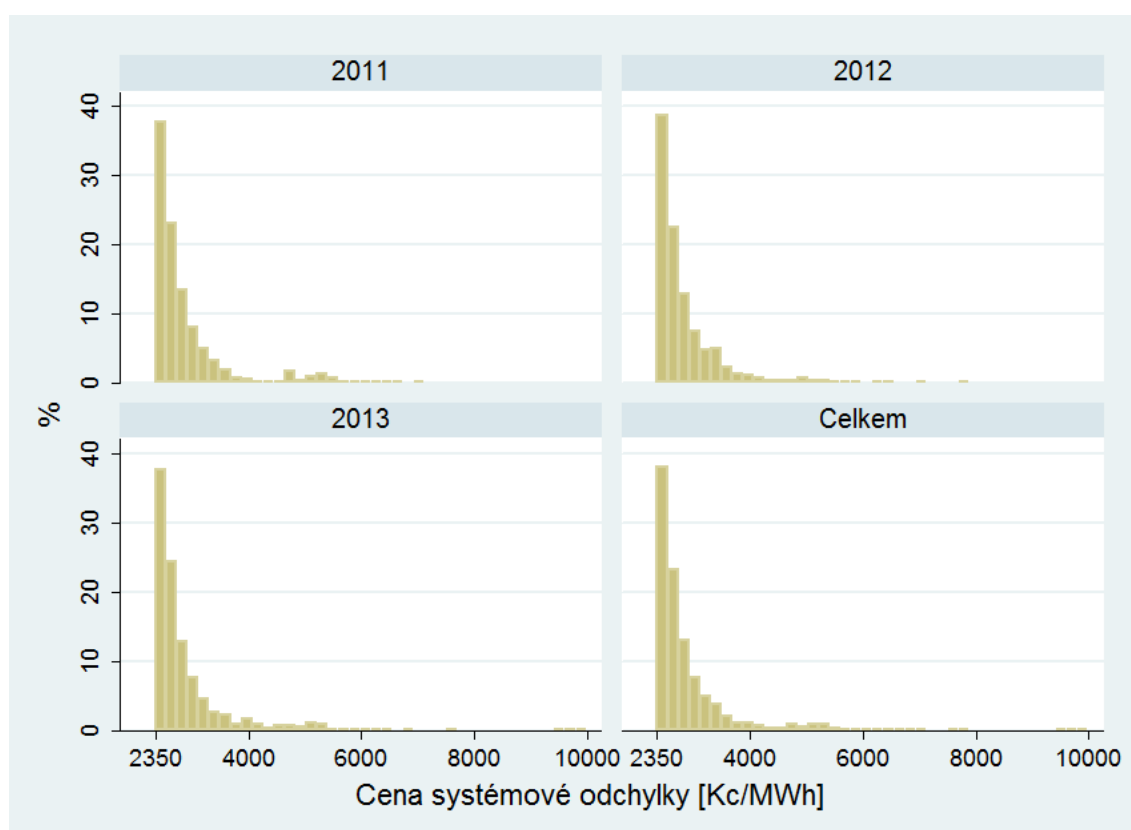
2. Analýza historických dat

Protože statistické údaje za cenu jako celek mohou být zavádějící kvůli nespojitosti rozložení. Podíváme se na statistické vlastnosti cen ve dvou případech. Prvně budeme zkoumat situaci, když je systémová odchylka záporná a za druhé se podíváme na případ, když je systémová odchylka kladná.

Graf 7 obsahuje histogram ceny systémové odchylky při záporném směru odchylky. Je vidět omezení ceny na úrovni 2350 Kč/MWh. Nejvíce je hodnota koncentrována právě za touto hranicí a pak frekvence výskytu klesá. V tabulce 14 jsou k vidění statistiky při záporné systémové odchylce. Je zajímavé si povšimnout, že v 75 % případech cena nepřekročí hranici 3000 Kč/MWh a nad hranici 4150 Kč/MWh se dostane pouze přibližně pět procent hodnot.

Nicméně mohou existovat výjimečné situace, kdy ČEPS musí aktivovat dražší typ regulačního zdroje. V takovém případě může hodnota dosáhnout až 10 000 Kč/MWh.

Graf 7: Histogram ceny systémové odchylky po letech při záporné systémové odchylce



Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

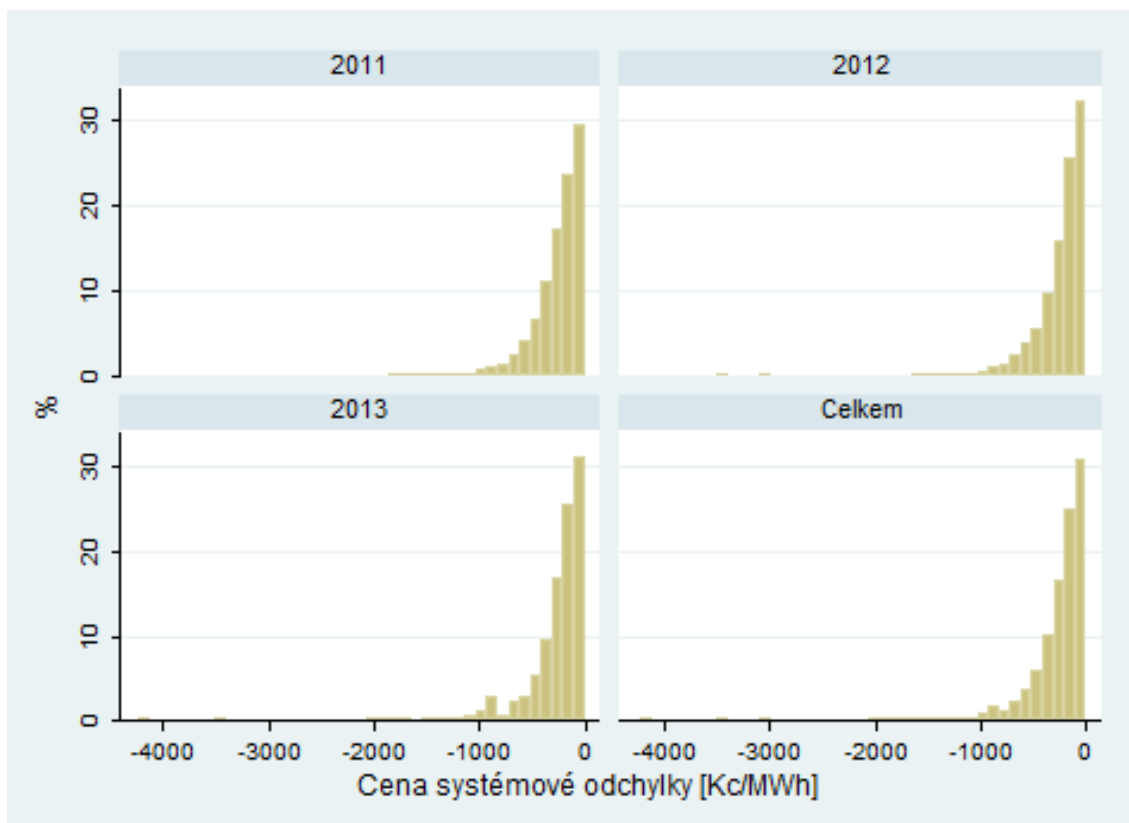
Tabulka 14: Statistické shrnutí ceny systémové odchytky [Kč/MWh] při záporné systémové odchylce (2011-2013)

	2011	2012	2013	Celkem
Minimum	2 350	2 350	2 350	2 350
Percentil 5	2 369	2 371	2 374	2 371
Percentil 25	2 468	2 468	2 472	2 469
Medián	2 630	2 622	2 620	2 623
Průměr	2 857	2 814	2 857	2 842
Percentil 75	2 938	2 943	2 929	2 937
Percentil 95	4 700	3 890	4 250	4 153
Maximum	6 990	7 890	10 000	10 000
Směrodatná odchytka	682	561	721	656

Zdroj: Autor z [8]

U kladné systémové odchytky je cena zase omezena hodnotou -1 Kč/MWh. Rozložení cen připomíná tvarem rozložení u záporné systémové odchytky. 95 % hodnot se znovu pohybuje v poměrně úzkém intervalu. Pouze 5 % pozorování je menších než -745 Kč/MWh. Nicméně opět může znovu nastat situace, že ČEPS musí aktivovat mnohonásobně dražší zdroj energie. Extrémní hodnota ceny systémové odchytky v kladném směru byla -4 224 Kč/MWh.

Graf 8: Histogram ceny systémové odchytky po letech při kladné systémové odchylce



Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

Tabulka 15: Statistické shrnutí ceny systémové odchylky [Kč/MWh] při kladné systémové odchylce (2011-2013)

	2011	2012	2013	Celkem
Minimum	-1821	-3500	-4224	-4224
Percentil 5	-723	-713	-885	-744
Percentil 25	-346	-321	-322	-331
Medián	-191	-170	-179	-179
Průměr	-255	-245	-255	-252
Percentil 75	-89	-79	-82	-83
Percentil 95	-18	-18	-18	-18
Maximum	-1	-1	-1	-1
Směrodatná odchylka	233	274	281	264

Zdroj: Autor z [8]

V textu bylo už vícekrát zmíněno, že existují dvě možnosti, jak je odvozena cena za systémovou odchylku. První vychází z lineárních rovnic stanovených vyhláškou Energetického regulačního úřadu, viz rovnice 2 a rovnice 3 v předchozí kapitole. Druhá z nabídkové ceny regulační energie, kterou provozovatel přenosové soustavy v dané hodině využil. Pro určení ceny OTE použije jejich maximum. Pro kladnou systémovou odchylku se pak takto určená cena vynásobí minus jednou, aby zúčtovací cena byla záporná, jak je popsáno v první kapitole.

V tabulce 16 je shrnuto, v kolika procentech případů byla použita nabídková cena a v kolika byla cena určena podle vzorce ERÚ. Je patrné, že v drtivé většině případů je cena určena ze vzorců stanovených ERÚ. Ve třech sledovaných letech byla cena systémové odchylky podle vzorce ERÚ určena alespoň v 95 % případů.

Tabulka 16: Způsob výpočtu ceny systémové odchylky (2011-2013)

	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Nabídková cena	4%	3%	5%	4%
Vzorec ERÚ	96%	97%	95%	96%
Celkem	100%	100%	100%	100%

Zdroj: Autor z [8]

Tabulka 17 a tabulka 18 obsahují náhled na situaci, jestli se způsob určení ceny liší při různém typu odchylky. Při záporné systémové odchylce je podíl určení konečné ceny z nabídkové ceny regulační energie vyšší než při kladné. Při kladné systémové odchylce byla nabídková cena použita v průměru za tři roky pouze ve dvou procentech obchodních hodin. Nicméně u záporné systémové odchylky to bylo v 6 % obchodních hodin. V roce 2013 podíl činil dokonce 7 %.

2. Analýza historických dat

Tabulka 17: Způsob výpočtu ceny systémové odchylky při záporné systémové odchylce

	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Nabídková cena	6%	5%	7%	6%
Vzorec ERÚ	94%	95%	93%	94%
Celkem	100%	100%	100%	100%

Zdroj: Autor z [8]

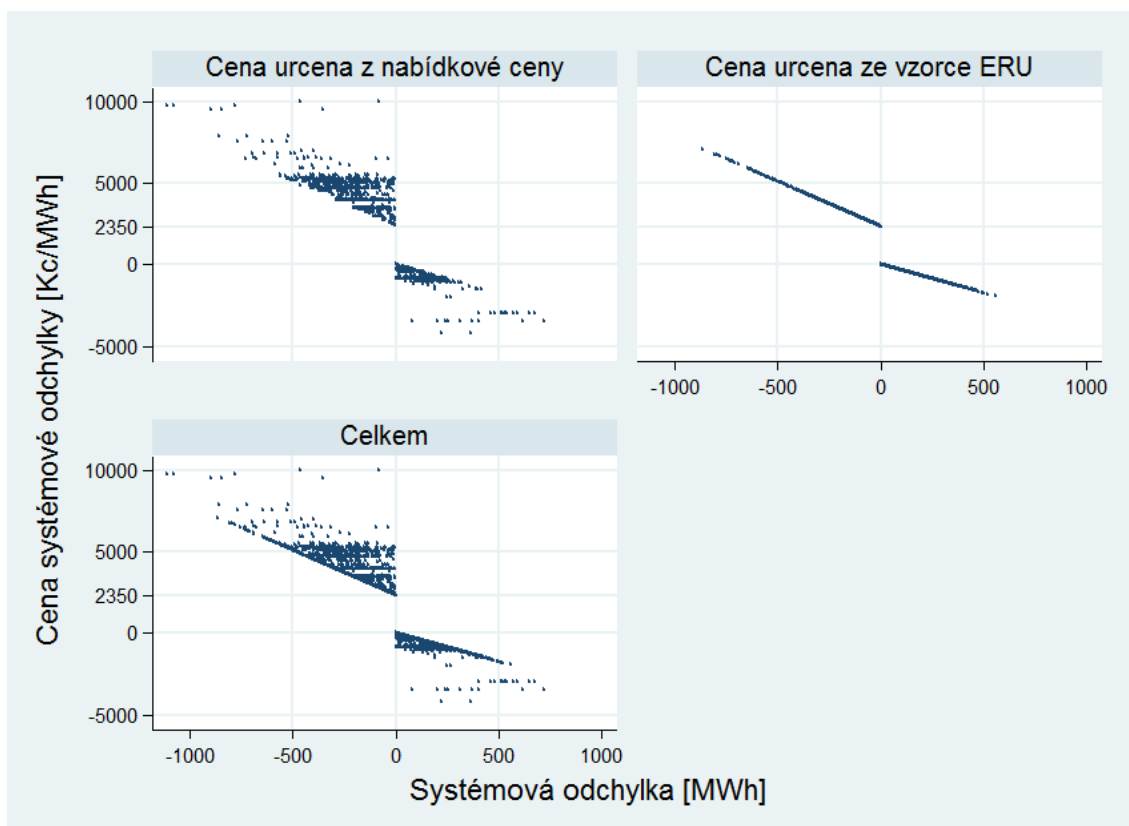
Tabulka 18: Způsob výpočtu ceny systémové odchylky při kladné systémové odchylce

	2011	2012	2013	Celkem za 3 roky
Nabídková cena	3%	1%	3%	2%
Vzorec ERÚ	97%	99%	97%	98%
Celkem	100%	100%	100%	100%

Zdroj: Autor z [8]

V grafu 9 jsou zobrazeny závislosti ceny systémové odchylky na její velikosti. Graf vpravo nahoře svým tvarem odpovídá grafu 1 z předchozí kapitoly a zachycuje oněch 96 % případů, kdy byla účtovací ceny systémové odchylky určena podle vzorců daných ERÚ.

Graf 9: Závislost ceny systémové odchylky na její velikosti (2011 – 2013)



Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

Graf vlevo nahoře obsahuje menšinu případů, kdy byla cena určena z nabídkové ceny regulační energie. Je vidět, že hodnoty jsou ohraničeny vodorovnou osou procházející nulou a funkcemi ERÚ. Za povšimnutí stojí fakt, že cena systémové odchylky v těchto případech nemusí být vůbec závislá na velikosti odchylky. Je vidět, že existují i rozměrově malé systémové odchylky, které mají velkou cenu. Taková situace může nastat v případě velkého náporu na síť např. v době horka, kdy je dodáno velké množství regulační energie v obou směrech.

2.5. Cena protiodchylky

V této části je zanalyzována cena protiodchylky. Subjekt zúčtování je v protiodchylce, pokud má jeho vlastní odchylka opačný směr k systémové protiodchylce. Jak bylo vysvětleno výše subjekty, které jsou v protiodchylce pomáhají redukovat systémovou odchylku a dostávají za to od OTE peníze. Zúčtovací cena protiodchylky se rovná váženému průměru cen z aktivované regulační energie (včetně vyrovnávacího trhu).

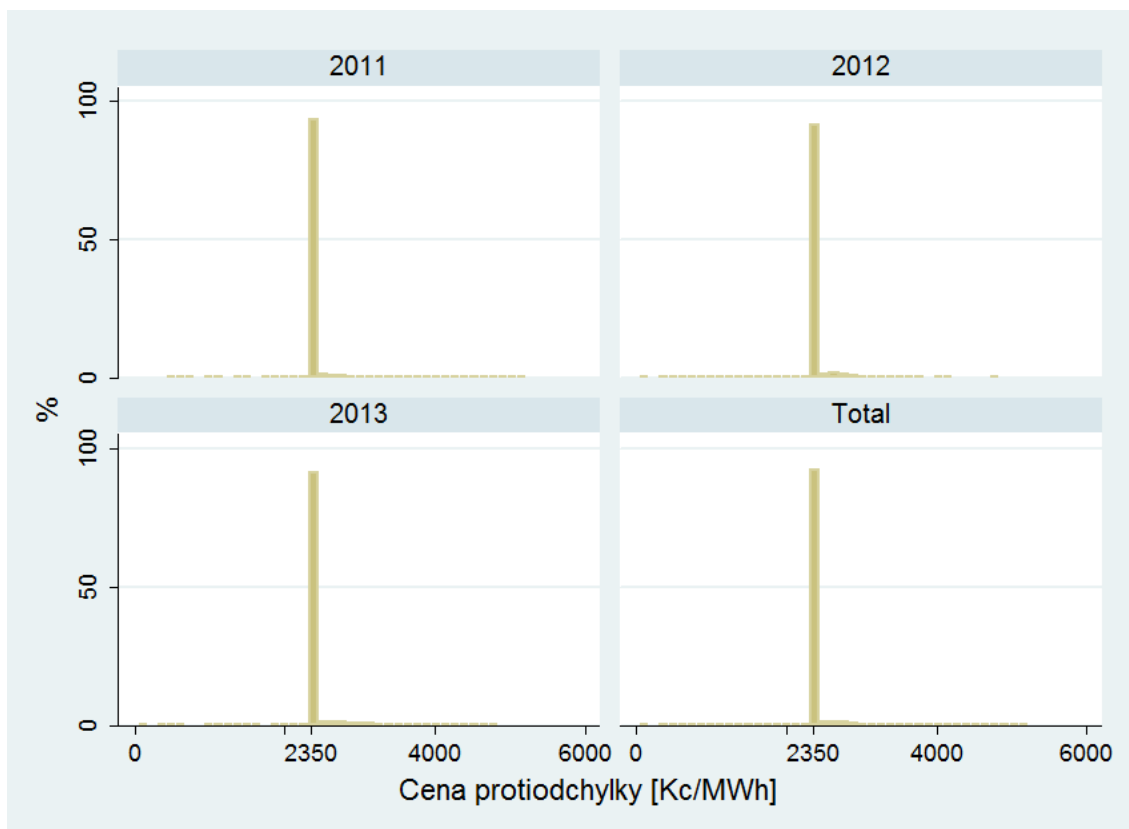
Tabulka 19: Statistické shrnutí ceny protiodchylky [Kč/MWh] při záporné systémové odchylce

	2011	2012	2013	Celkem
Minimum	438	50	121	50
Percentil 5	2 350	2 350	2 350	2 350
Percentil 25	2 350	2 350	2 350	2 350
Medián	2 350	2 350	2 350	2 350
Průměr	2 387	2 367	2 399	2 384
Percentil 75	2 350	2 350	2 350	2 350
Percentil 95	2 549	2 611	2 764	2 632
Maximum	5 100	4 739	252.	5 100
Směrodatná odchylka	236	205	252	232

Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

Graf 10: Histogram ceny protiodchylky po letech při záporné systémové odchylce



Zdroj: Autor z [8]

Z grafu 10 je jednoznačně vidět, že nejčastější hodnotou ceny protiodchylky při záporném směru systémové odchylky je 2350 Kč/MWh, což je také cena za dodanou kladnou regulační energii ze zdroje sekundární regulace. Z tabulky 19 je pak patrné, že 90 % procent hodnot za sledované tři roky bylo mezi 2350 Kč/MWh a 2632 Kč/MWh.

Tabulka 20: Statistické shrnutí ceny protiodchylky [Kč/MWh] při kladné systémové odchylce

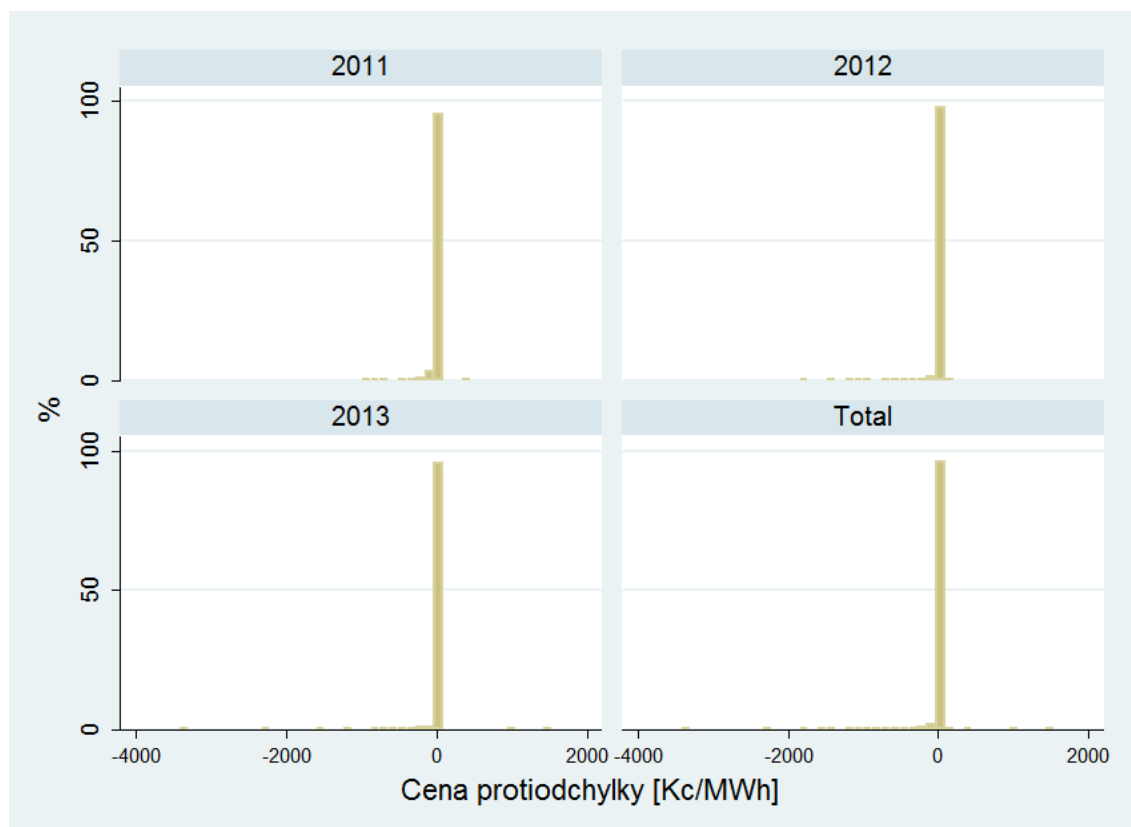
	2011	2012	2013	Celkem
Minimum	-885	-1 754	-3 412	-3 412
Percentil 5	-21	-1	-5	-1
Percentil 25	-1	-1	-1	-1
Medián	-1	-1	-1	-1
Průměr	-8	-6	-15	-10
Percentil 75	-1	-1	-1	-1
Percentil 95	-1	-1	-1	-1
Maximum	350	152	1 550	1 550
Směrodatná odchylka	44	60	101	73

Zdroj: Autor z [8]

2. Analýza historických dat

Co se týče zúčtovací ceny protiodchylky při kladné systémové odchylce je situace analogická k opačnému směru. Nejčastější hodnotou je -1 Kč/MWh, což odpovídá ceně za zápornou regulační energii. Znovu drtivá většina hodnot se rovná této ceně. Naprostá většina zúčtovacích cen má záporné znaménko. To znamená, že subjekt zúčtování, který má zápornou odchylku, obdrží od OTE platbu.

Graf 11: Histogram ceny protiodchylky po letech při kladné systémové odchylce



Zdroj: Autor z [8]

Nicméně existuje určitý malý počet případů, kdy je zúčtovací cena kladná. To znamená, že i subjekt, který je v protiodchylce musí zaplatit OTE. Tento případ nastává, pokud prodejce regulační energie na vyrovnávacím trhu zaplatí kupci za to, že od něj energii převezme. Nicméně tato situace nastává méně než v 1 % procentu případů.

3. Předpověď směru systémové odchylky

V této části se pokusíme navrhnout model pro předpověď systémové odchylky. Podkapitola bude obsahovat modely předpovídající směr systémové odchylky.

Pro subjekt zúčtování má smysl znát směr odchylky v předstihu, protože tato informace mu dává možnost vědět, zda bude v odchylce nebo protiodchylce. To znamená, jestli bude při vyúčtování plátcem nebo příjemcem peněz.

Data z let 2011 a 2012 použijeme k sestavení předpovědních ekonometrických modelů. Pomocí dat z těchto dvou let určíme parametry modelů. Schopnost navržených modelů bude testována na datech z roku 2013, na kterých budeme předpovědi simulovat.

Směr odchylky bude předpovídán na začátku dané obchodní hodiny, ale i ve větších předstizích. Čím větší je předstih, tím větší jsou možnosti subjektu zúčtování, jak optimalizovat svoje portfolio např. na trzích organizovaných OTE.

Odhady jsou provedeny v programu STATA SE 11.

3.1. Metodologie

3.1.1. *Stacionarita časové řady*

Abychom mohli pracovat s časovou řadou, musíme ověřit, zda je časová řada stacionární. Stacionarita časové řady znamená, že rozdělení pravděpodobnosti časové řady je nezávislé na čase. [11]

K vyhodnocení stacionarity použijeme Dickey-Fullerův test. Jedná se o typ testu jednotkového kořene. Nulovou hypotézou je přítomnost jednotkového kořene, pokud nulovou hypotézu zamítneme, můžeme pracovat s řadou jako by byla stacionární.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Rovnice 4: Dickey-Fullerův test (princip)

$$y_t = \alpha y_{t-1} + u_t$$

y_t je časová řada $t = 1 \dots n$

u_t je reziduum

$$H_0: \alpha = 1$$

$$H_1: \alpha \neq 1$$

Zdroj: [11]

3.1.2. Logit a probit model

Logit a probit model jsou ekonometrické modely s více nezávislými proměnnými a s jednou závislou proměnou, která může nabývat pouze právě dvou hodnot. Popis těchto modelů, včetně metody jejich odhadu, je možno nalézt ve *Wooldridge* [11] nebo v *Greene* [12]. *Gurný & Gurný* [13] jsou autoři stručného shrnutí, které je níže představeno.

Vysvětlovaná proměnná je směr systémové odchylky v hodině h a může být buďto kladná nebo záporná.

Rovnice 5: Vysvětlovaná proměnná

$$y_h = \text{směr systémové odchylky}_h \begin{cases} 1 \text{ pokud je SO kladná} \\ 0 \text{ pokud je SO záporná} \end{cases}$$

Zdroj: Autor z [13]

Dále předpokládejme, že pravděpodobnost toho, že nastane kladná systémová odchylka je P_h a tedy pravděpodobnost toho, že nastane záporná systémová odchylka je $1 - P_h$.

Rovnice 6: Pravděpodobnost vysvětlované proměnné

$$y_h = \begin{cases} 1 \text{ s pravděpodobností } P_h \\ 0 \text{ s pravděpodobností } 1 - P_h \end{cases}$$

Zdroj: Autor z [13]

Naším cílem je tedy navrhnout model, který bude schopen předpovídat s jakou pravděpodobností, nastane kladná systémová odchylka, jak je zobrazeno v *Rovnice 7*.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Rovnice 7: Pravděpodobnostní model

$$P_h = f(\alpha + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}_h)$$

kde α a $\boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix}$ jsou odhadované parametry (koeficienty)

a $\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ jsou nezávislé proměnné

(může být např. plán výroby, výroba ve FVE atd.)

Zdroj: [13]

Konkrétní forma funkcí pro logit a probit model je popsána v *Rovnice 8* a *Rovnice 9*.

Rovnice 8: Logit model

$$P_h = \frac{\exp(\alpha + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}_h)}{1 + \exp(\alpha + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}_h)}$$

Rovnice 9: Probit model

$$P_h = \int_{-\infty}^{\alpha + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{x}_h} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt$$

Zdroj: [13]

Oba modely nabývají omezených hodnot. Výsledná hodnota pravděpodobnosti se v obou případech může pohybovat v intervalu od 0 do 1.

Jelikož jsou oba modely nelineární, nemůžeme použít standardní metodu nejmenších čtverců. Nicméně víme, že rozdělení závislé proměnné je binomické a proto můžeme využít metodu maximální věrohodnosti. Tato metoda je vhodná, protože pokud máme správně specifikováno rozdělení, je odhad asymptoticky normálně rozdělen a má nejmenší rozptyl vůči jiným alternativním metodám odhadu [12].

Budeme maximalizovat funkci věrohodnosti, respektive její logaritmickou transformaci. Transformace se provádí, abychom se zbavili součinu a maximalizace byla početně méně náročná. Logaritmickou transformaci můžeme provést, protože se jedná o transformaci rostoucí. Funkce věrohodnosti pro binomické rozdělení a její transformace jsou zobrazeny v rovnici 10.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Rovnice 10: Funkce věrohodnosti pro binomické rozdělení a její log-transformace

$$L = \prod_{h=1}^n P_h^{y_h} (1 - P_h)^{1-y_h}$$
$$\ln(L) = \sum_{h=1}^n \ln(P_h) + \sum_{h=1}^n (1 - y_h) \ln(1 - P_h)$$

Zdroj: [13]

Rovnice 11 a rovnice 12 popisují log-transformace probit a logit modelu. Požadované parametry α a β dostaneme, pokud dané rovnice maximalizujeme vzhledem k těmto parametrům.

Rovnice 11: Log-věrohodnostní funkce logit modelu

$$\ln(L) = \sum_{h=1}^n \ln \left(\frac{\exp(\alpha + \beta^T x_h)}{1 + \exp(\alpha + \beta^T x_h)} \right) + \sum_{h=1}^n (1 - y_h) \ln \left(1 - \frac{\exp(\alpha + \beta^T x_h)}{1 + \exp(\alpha + \beta^T x_h)} \right)$$

Zdroj: [13]

Rovnice 12: Log-věrohodnostní funkce probit modelu

$$\ln(L) = \sum_{h=1}^n \ln \left(\int_{-\infty}^{\alpha + \beta^T x_h} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt \right)$$
$$+ \sum_{h=1}^n (1 - y_h) \ln \left(1 - \int_{-\infty}^{\alpha + \beta^T x_h} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt \right)$$

Zdroj: [13]

3.1.3. Vyhodnocení binární předpovědi

K posouzení, jestli byl správně určen směr systémové odchylky, použijeme vyhodnocení popsané v PSU [14].

Systémová odchylka může nabývat dvou směrů. Může být kladná (P – pozitivní) nebo záporná (N – negativní).

3. Předpověď směru systémové odchylky

Při vyhodnocení předpovědi mohou nastat čtyři možnosti:

- Předpověděno N a skutečná hodnota N (výsledek označen True Negative[TN])
- Předpověděno N a skutečná hodnota P (výsledek označen False Negative[FN])
- Předpověděno P a skutečná hodnota P (výsledek označen True Positive[TP])
- Předpověděno P a skutečná hodnota P (výsledek označen False Positive[FP])

Z těchto hodnot můžeme poté vypočítat statistiky, které nám umožní vyhodnotit, jak je model pro předpověď vhodný. Kritériem vyhodnocení je velikost uvedených statistik. Statistika mohou nabývat hodnot mezi nulou a jedničkou. Čím jsou statistiky větší, tím je navržený model vhodnější.

Rovnice 13: Vyhodnocení binární předpovědi

$$\text{Přesnost} = \frac{TN + TP}{TN + TP + FN + FP}$$

podíl správných předpovědí

$$\text{Prediktivní hodnota pozitivního testu} = \frac{TP}{TP + FP} \text{ [PHP]}$$

pravděpodobnost, že nastane P, pokud bylo předpovězeno P

$$\text{Prediktivní hodnota negativního testu} = \frac{TN}{NP + FN} \text{ [PHN]}$$

pravděpodobnost, že nastane N, pokud bylo předpovězeno N

$$\text{Senzitivita} = \frac{TP}{TP + FN}$$

pravděpodobnost správné předpovědi kladné systémové odchylky

$$\text{Specificita} = \frac{TN}{TN + FP}$$

pravděpodobnost správné předpovědi záporné systémové odchylky

Zdroj: [14]

Senzitivita vyjadřuje, jak je model úspěšný při identifikaci kladné systémové odchylky. Specificita zase analogicky vyjadřuje schopnost modelu správně identifikovat zápornou systémovou odchylku.

3. Předpověď směru systémové odchylky

3.1.4. ROC křivka

K vyhodnocení vhodnosti binární předpovědního modelu můžeme použít ROC křivku (Receiver Operating Characteristic). Logit a probit model nám vrací hodnotu pravděpodobnosti, že nastane nějaký jev. V našem případě je to pravděpodobnost toho, že systémová odchylka bude v dané hodině kladná.

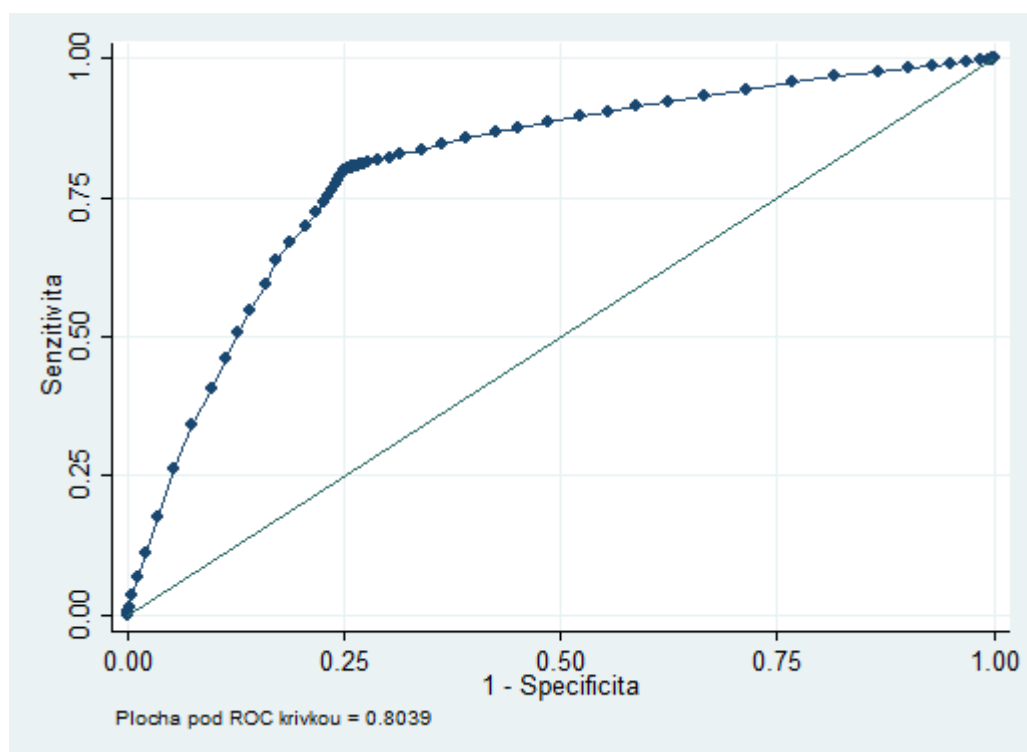
Nicméně oba modely nám vrací hodnoty mezi nulou a jedničkou. Je poté na jedinci, který model interpretuje, jakou hranici zvolí, aby klasifikoval předpověď jako budoucí kladnou systémovou odchylku. Nabízí se standardně hodnota 0,5. Hodnoty nad ní vyhodnotíme jako výskyt kladné systémové odchylky a naopak hodnoty pod ní identifikujeme jako zápornou systémovou odchylku. Avšak můžeme zvolit vyšší nebo nižší rozhodovací hladinu

V grafu 12 je příklad ROC křivky. ROC křivka zobrazuje závislost mezi doplňkem senzitivity do jedné a specificitou. Každý bod na křivce představuje kombinaci senzitivity a specificity pro určitou rozhodovací hladinu. Nicméně naším hlavním rozhodovacím kritériem pro volbu hladiny bude maximální přesnost, ale ROC křivky jsou vhodný grafický doplněk k posouzení vhodnosti modelu.

Tvar ROC křivky by měl pro vhodný model nejprve prudce růst a od určitého bodu by pak měl být růst jen pozvolný. Pro ideální model, který by dokázal správně předpověď směr systémové odchylky pro všechny obchodní hodiny, by byl tvar ROC křivky pravoúhlý tak, je to vyobrazeno v grafu 13.

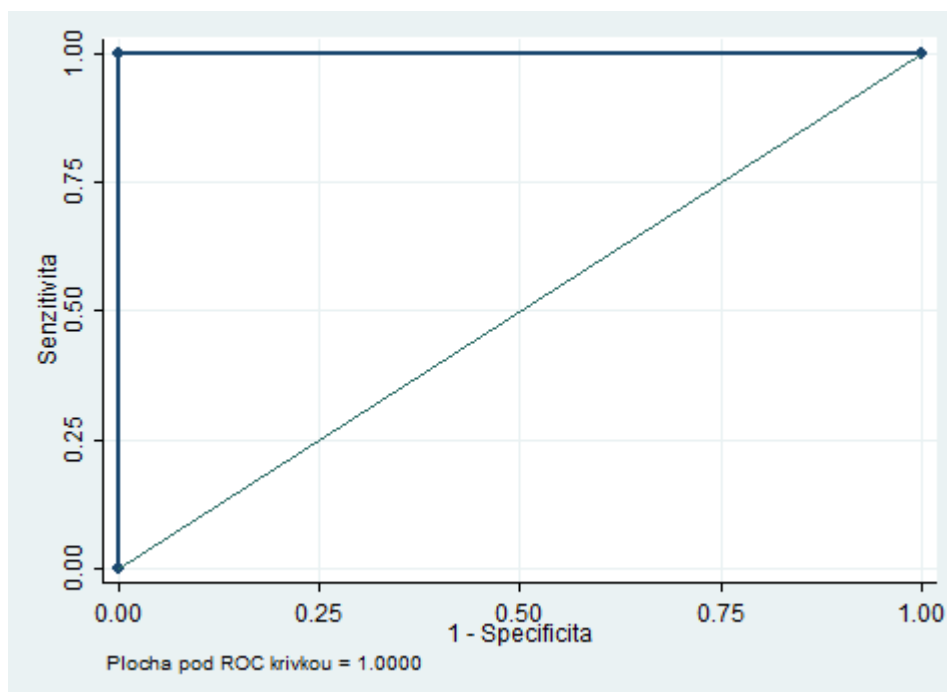
3. Předpověď směru systémové odchylky

Graf 12: ROC křivka



Zdroj: Autor

Graf 13: ROC křivka pro ideální model



Zdroj: Autor

Na obou grafech můžeme dole vidět uváděný údaj o ploše pod křivkou. Je to plocha kvadrantu, která je pod křivkou a podle její velikosti můžeme posoudit vhodnost

3. Předpověď směru systémové odchylky

předpovědního modelu. *FEL* [15] navrhuje následující posouzení vhodnosti binárního předpovědního modelu.

Posouzení vhodnosti předpovědního modelu podle plochy pod ROC křivkou:

- 0.50 to 0.75 = použitelný?
- 0.75 to 0.92 = dobrý
- 0.92 to 0.97 = velmi dobrý
- 0.97 to 1.00 = vynikající

3.2. Předpověď směru systémové odchylky

3.2.1. Předpověď na základě zpožděných hodnot

Nejprve otestujeme úplně základní model, kdy směr systémové odchylky budeme předpovídat na základě směru v minulých hodinách.

Vhodnost modelu posoudíme podle úspěšnosti predikce. Bude testováno, zda platí vztah popsáný v rovnici 14, tedy zda směr systémové odchylky v námi zkoumané obchodní hodině shodný se zpožděnými hodnotami směru systémové odchylky.

Logika předpovědi je následující. Pokud byl směr systémové odchylky v předchozí hodině (nebo více zpožděné, v závislosti na volbě) kladný, předpovídáme, že směr systémové odchylky bude v předpovídané hodině také kladný. Analogicky bude předpověď fungovat, pokud byla ve zpožděné hodině systémová odchylka záporná.

Pokud je uveden stupeň zpoždění Z , znamená to, že předchozí hodina už proběhla a predikce probíhá na začátku obchodní hodiny, jejíž směr předpovídáme. Zpoždění 1 značí, že předpovídáme hodinu před začátkem obchodní hodiny.

Rovnice 14: Předpověď směru systémové odchylky na základě její minulé hodnoty

$$\text{Směr odchylky}_h = \text{Směr odchylky}_{h-k}$$

$$k = Z, 1, 2, 3, 4, 5, 24, 48, 168 \text{ (stupeň zpoždění)}$$

Zdroj: Autor

3. Předpověď směru systémové odchylky

Tabulka 21: Výsledky předpovědi směru systémové odchylky na základě její minulé hodnoty (předpovědi pro rok 2013)

Stupeň zpoždění	Přesnost	PHP	PHN	Senzitivita	Specificita
Z	77.8%	80.3%	74.3%	80.3%	74.3%
1	69.6%	73.1%	65.0%	73.1%	65.0%
2	64.6%	68.7%	59.2%	68.7%	59.2%
3	62.1%	66.5%	56.3%	66.5%	56.3%
4	60.1%	64.7%	54.0%	64.7%	54.0%
24	57.3%	62.3%	50.8%	62.4%	50.8%
48	53.6%	59.0%	46.5%	59.0%	46.5%
168	53.2%	58.3%	46.6%	58.4%	46.5%

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Tabulka 21 shrnuje výsledky předpovědi. Je vidět, že se zvyšujícím se zpožděním hodnota přesnosti klesá. K poklesu dochází u celkové přesnosti i u prediktivních hodnot předpovědi kladné i záporné odchylky. Zajímavé je si povšimnout, že prediktivní hodnota kladné systémové odchylky je vždy vyšší, než je tomu u záporného směru. Tedy můžeme říci, že kladná systémová odchylka se vyskytuje vícekrát za sebou častěji, než je tomu u záporné systémové odchylky.

3.2.2. Předpověď na základě logit a probit modelu

V této části, jsou sestaveny logit a probit modely, pomocí nichž se budeme snažit předpovídat směr systémové odchylky. Tabulka 22 obsahuje seznam proměnných, které budeme při odhadech používat. Modely obsahují různé nezávislé proměnné. Jednotlivé modely byly optimalizovány tak, aby obsahovaly pouze statisticky signifikantní veličiny. V tabulce 23 je statistické shrnutí použitých veličin.

Zpožděné hodnoty budou používány podle stejného principu jako v předchozí části.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Tabulka 22: Seznam proměnných použitých v probit a logit modelech

Proměnná	Rozměr	Zdroj	Stacionarita
Systémová odchylka	MWh	OTE, ČEPS	Ano
Směr so	1 (kladná); 0(záporná)	OTE, ČEPS	Ano
Víkend	1 (nepracovní den); 0 (pracovní den)	-	Ano
Peak load	1 (Peak load); 0 (Off-peak load)	-	Ano
Výroba FVE	MWh	ČEPS	Ano
Výroba VTE	MWh	ČEPS	Ano
Zatížení	MWh	ČEPS	Ano
Plán výroby	MWh	ČEPS	Ano
Marginální cena na DT	EUR	OTE	Ano

Zdroj: Autor

Tabulka 23: Statistické shrnutí použitých veličin (2011-2013)

Proměnná	Poč.	Průměr	Směr. odch.	Min	Max
Systémová odchylka	26 304	2.91	107.71	-1 108.19	720.21
Směr so	26 304	0.55	0.50	0.00	1
Víkend	26 304	0.29	0.45	0.00	1
Peak load	26 304	0.36	0.48	0.00	1
Výroba FVE	26 304	219.85	360.34	0.00	1 625.00
Výroba VTE	26 304	33.74	30.93	0.00	182.70
Zatížení	26 304	7 563.67	1 270.45	4401.10	13 606.43
Plán výroby	26 304	9 576.48	1 218.28	5356.00	12 829.00
Marginální cena na DT	26 304	43.23	16.81	-150.00	170.00

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Jako první otestujeme jednoduchý model, kde budeme předpovídat směr systémové odchylky pomocí velikosti systémové odchylky v předchozí hodině. Odhad modelu jsou popsány v tabulce model 1.

P hodnota jediné vysvětlované proměnné má malou hodnotu a plocha pod ROC křivkou, která je zobrazena v grafu 14 je vysoká, proto můžeme usoudit, že tento model je vhodný pro předpověď. Koeficient u systémové odchylky je kladný, což znamená, že čím větší systémová odchylka v předešlé hodině, tím větší pravděpodobnost, že v další hodině bude odchylka také kladná.

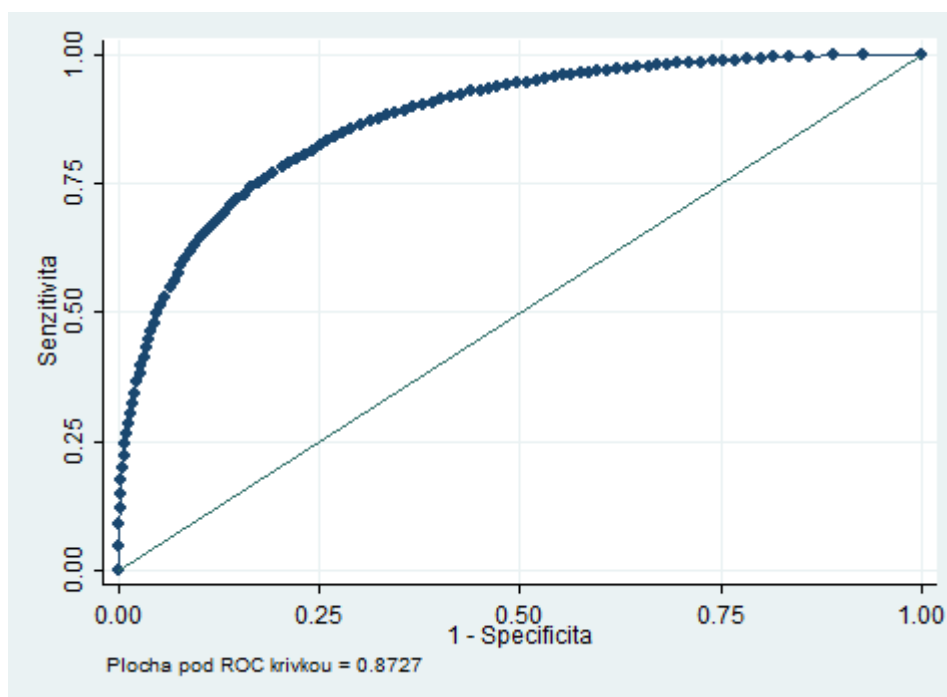
3. Předpověď směru systémové odchylky

Model 1: Logit model (Zpoždění – Z, jednoduchý)

Závislá proměnná: Směr systémové odchylky				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylka	P hodnota
Konstanta (α)		0.135	0.020	0.000
Systémová odchylka	Z	0.025	0.000	0.000
Pseudo R ²				0,348
Počet pozorování				17 543

Zdroj: Autor z [8]

Graf 14: ROC křivka pro Model 1



Zdroj: Autor z [8]

Rovněž bychom měli zvážit, jakou zvolíme rozhodovací mez. Tabulka A1 v apendixu zobrazuje údaje o specifitě, senzitivě a přesnosti pro různé rozhodovací meze. Nejvyšší přesnosti dosáhne model pro mez 0.5, a proto právě tuto mez budeme používat při naší simulované předpovědi pro rok 2013. Hodnotu 0.5 budeme kvůli konzistentnosti používat i pro ostatní modely.

Dále se pokusíme rozšířit předchozí model o další nezávislé proměnné a otestovat, zdali dosáhneme lepších výsledků při předpovědi. Do modelu 1 jsme přidali proměnné, které popisují směr systémové odchylky, výrobu ve větrných elektrárnách, která představuje i vliv počasí a marginální cenu pro danou obchodní hodinu, jenž vyjadřuje poptávku po

3. Předpověď směru systémové odchylky

elektřině v dané obchodní hodině. Byly testovány i jiné proměnné například výroba ve FVE, spotřeba nebo zatížení. Nicméně jejich **p hodnota** byla příliš vysoká.

Model 2: Logit model (Zpoždění – Z, rozšířený)

Závislá proměnná: Směr systémové odchylky				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylka	P hodnota
Konstanta (α)		0.051	0.077	0.505
Systémová odchylka	Z	0.025	0.000	0.000
Směr so	24	0.344	0.040	0.000
Směr so	48	0.190	0.040	0.000
Výroba VTE	Z	0.002	0.001	0.000
Marginální cena na DT		-0.006	0.001	0.001
Pseudo R²				0,3543
Počet pozorování				17 496

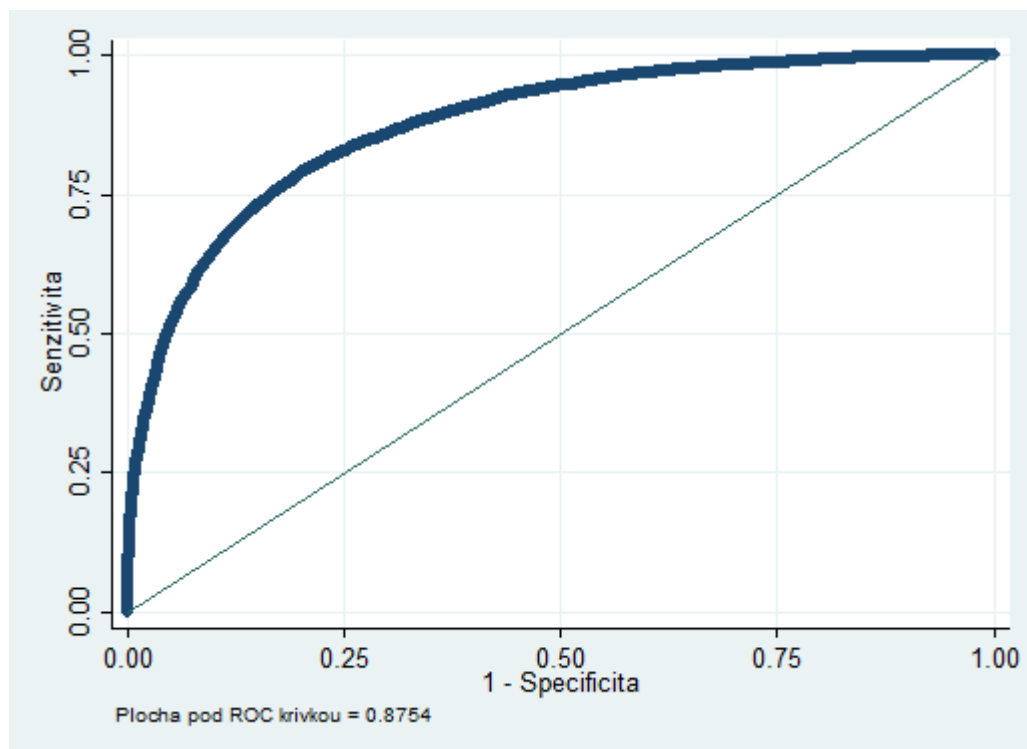
Zdroj: Autor z [8] a [10]

Výsledky rozšířeného modelu lze najít v tabulce model 2 a v grafu 15. Koeficient u systémové odchylky je kladný, stejně jako u zpožděných hodnot směru. U výroby ve větrných elektrárnách je také koeficient kladný, to znamená, že se zvyšující produkcí ve VTE roste pravděpodobnost kladné systémové odchylky. Marginální cena má záporné znaménko, což je logické. Čím je cena vyšší, tím je větší spotřeba a tedy i pravděpodobnost záporné systémové odchylky.

I když byl model rozšířen o 4 statisticky významné veličiny, pseudo R² vzrostlo pouze nepatrně stejně jako plocha pod ROC křivkou.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Graf 15: ROC křivka pro Model 2



Zdroj: Autor z [8] a [10]

V tabulce 24 na konci kapitoly jsou porovnány přesnosti předpovědí. Ani zde se model 2 příliš neliší od modelu 1. Některé statistiky jsou vyšší jiné menší, nicméně nedošlo k žádnému zásadnímu zlepšení, jak by mohlo být očekáváno.

Dále sestavíme ještě dva modely, které budou předpovídat směr systémové odchylky 24 a 48 hodin před předpovídanou obchodní hodinou.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Model 3: Logit model (Zpoždění – 24)

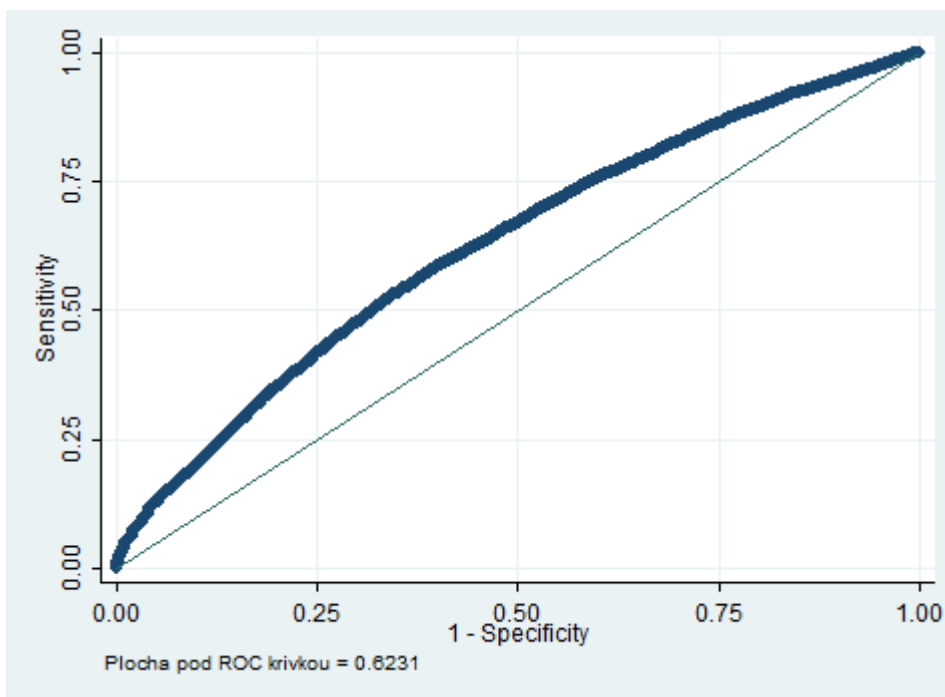
Závislá proměnná: Směr systémové odchylky				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylka	P hodnota
Konstanta (α)		-0.509	0.133	0.000
Směr so	24	0.569	0.032	0.000
Směr so	48	0.173	0.032	0.000
Směr so	168	0.077	0.032	0.015
Víkend		0.369	0.036	0.000
Výroba FVE	24	-0.0003	0.000	0.000
Výroba VTE	24	0.0026	0.001	0.001
Zatížení	24	-0.0002	0.000	0.000
Plán výroby		0.0002	0.000	0.000
Pseudo R ²				0,0338
Počet pozorování				17 376

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Model 3 popisuje výsledky při předpovědi o jeden den dopředu. V takovémto předstihu má subjekt zúčtování řadu možností, jak optimalizovat svoje portfolio s elektřinou. Víkend má kladný koeficient, což je v souladu s vyzorovanou skutečností, že o víkendu je častější výskyt kladné systémové odchylky. Překvapivé je záporné znaménko u výroby FVE, ale to může být ovlivněno tím, že největší výroba ve FVE je přes den, kdy je i větší šance, že nastane záporná systémová odchylka, Pro některé hodiny může obchodovat ještě na denním trhu, pro ostatní může využít vnitrodenní trh.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Graf 16: ROC křivka pro Model 3



Zdroj: Autor z [8] a [10]

Model 4: Logit Model (Zpoždění – 48)

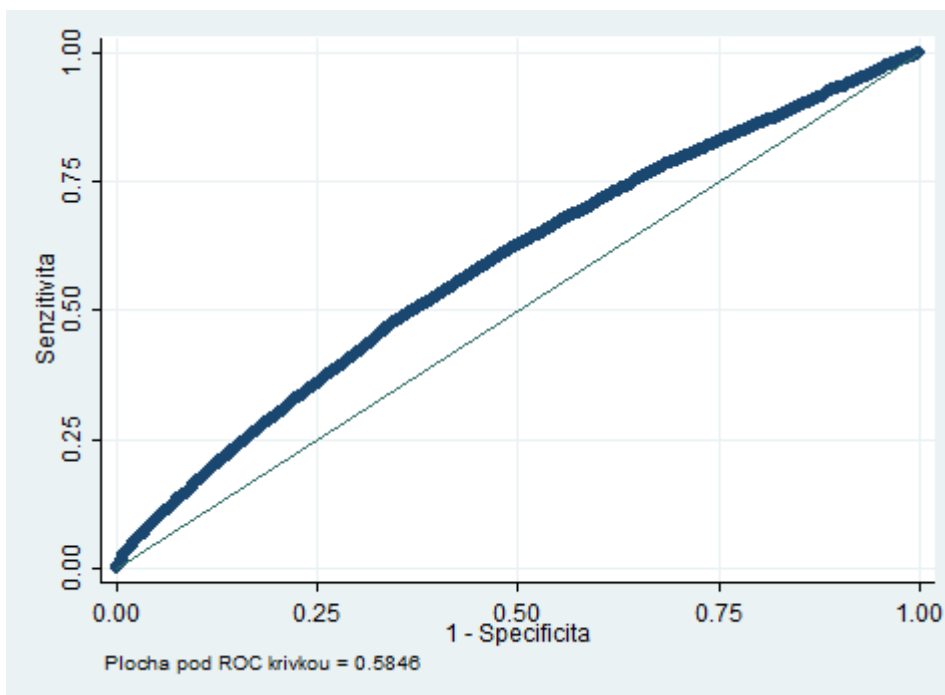
Závislá proměnná: Směr systémové odchylky				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylka	P hodnota
Konstanta (α)		-0.412	0.133	0.002
Směr so	48	0.272	0.032	0.000
Směr so	168	0.119	0.031	0.000
Víkend		0.363	0.046	0.000
Peak load		-0.171	0.046	0.000
Výroba FVE	48	-0.0002	0.000	0.000
Výroba VTE	48	0.0022	0.001	0.000
Zatížení	48	-0.0001	0.000	0.000
Plán výroby		0.0001	0.000	0.000
Pseudo R ²				0,0338
Počet pozorování				17 376

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Model 4 popisuje předpověď dva dny dopředu. V takovém případě může subjekt zúčtování obchodovat všechny hodiny na denním trhu. Tedy případná praktická využitelnost této předpovědi by byla velmi vysoká.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Graf 17: ROC křivka pro Model 4



Zdroj: Autor z [8] a [10]

Výsledky modelu 3 a 4 byly už podstatně horší v porovnání s modelem 1 a 2, jak lze vidět v tabulce 24. Plocha pod ROC křivkou se v obou případech rovnala přibližně 0.6, což oba modely řadí do nejnižší kategorie vhodnosti podle kritérií uvedených v předchozí části práce. Oba modely se také vyznačují nízkou specificitou a nevysokou přesností. V roce 2013 byl podíl výskytu kladné systémové odchylky 57%. Pokud by naše předpověď pro každou obchodní hodinu byla, že systémová odchylka bude kladná, přesnost předpovědi by byla srovnatelná s těmi v případě použití modelu 3 a 4.

Nyní ještě uděláme probit verzi předchozích modelů. Modely obsahují totožné proměnné. Pouze použijeme jinou strukturu modelu. Příslušné tabulky a grafy jsou uvedeny v appendixu.

3. Předpověď směru systémové odchylky

Tabulka 24: Výsledky předpovědi směru systémové odchylky na základě logit modelu (předpovědi pro rok 2013)

Model č.	Popis modelu (zpoždění)	Přesnost	PHP	PHN	Senzitivita	Specificita
1	Logit (Z) zákl.	78.14%	79.28%	76.47%	83.10%	71.66%
2	Logit (Z) roz.	78.13%	78.58%	77.43%	84.38%	69.97%
3	Logit (24)	58.86%	61.68%	53.38%	72.36%	41.32%
4	Logit (48)	56.10%	58.54%	48.97%	77.02%	28.79%
A1	Probit (Z)	78.06%	78.88%	76.83%	83.65%	70.76%
A2	Probit (24)	58.88%	61.67%	53.36%	72.32%	41.34%
A3	Probit (48)	56.14%	58.56%	49.06%	77.08%	28.82%

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Tabulka 24 shrnuje výsledky předpovědi logit a probit modelů. Celkově bylo navrženo 7 modelů s různým zpožděním. Zpoždění rovněž značí, na jak dlouhou dobu dopředu předpovídáme směr odchylky. V hodinovém předstihu dokazovali tři navržené modely přesnost předpovědi 78%.

Hlavní předpovědní ukazatel byla velikost systémové odchylky v předchozí hodině. Když byl základní model obsahující pouze zpožděnou hodnotu rozšířen o další vysvětlující proměnné, přesnost modelu se nezvýšila.

Modely předpovídající směr systémové odchylky den nebo dva dopředu měly přesnost porovnatelnou s tím, pokud bychom předpovídaly pro každou hodinu pouze výskyt kladné systémové odchylky. Z toho můžeme usoudit, že předpověď směru odchylky ve větším předstihu navrhovanými modely není možná.

Z porovnání tabulky 21 s tabulkou 24 také vyplývá, že použitím sofistikovanějších ekonometrických modelů jsme nedosáhli lepších předpovědních výsledků než úvahou, že směr systémové odchylky bude totožný jako v některé z předešlých hodin.

Závěr

Obsahem této bakalářské práce je analýza a předpověď systémové odchylky v elektrické síti.

Statistickým zkoumáním bylo zjištěno, že převažuje výskyt kladné systémové odchylky. Převaha výskytu kladné systémové odchylky se zvyšuje, pokud je daná obchodní hodina v čase s nižší průměrnou spotřebou. V nepracovních dnech a době off-peak byl častější výskyt kladné systémové odchylky než v pracovních dnech a v čase peak load.

Velikost systémové odchylky se v 90 % případů pohybuje v rozmezí -173 až 158 MWh. Průměrná systémová odchylka za námi sledované tři roky je 2 MWh. V nepracovních dnech je průměr vyšší, v pracovních dnech dokonce záporný. V nepracovních dnech je průměrná velikost systémové odchylky 19 MWh a v pracovních dnech -3 MWh. V pracovních dnech byla navíc vyzorována větší směrodatná odchylka v čase peak-load než off-peak load.

Cenu odchylky je možno stanovit dvěma způsoby buď pomocí vzorců daných ERÚ nebo na základě nabídkové ceny. Nicméně jednoznačně převažuje použití vzorců ERÚ, které byly pro určení ceny použity v 96 % případů. Na krytí systémové odchylky se nejčastěji využívá sekundární regulace a od toho se odvíjí i cena protiodchylky, která je nejčastěji 2350 Kč/MWh nebo -1 Kč/MWh.

V závěrečné kapitole jsme se věnovali návrhu modelu, pro předpověď směru systémové odchylky. Směr systémové odchylky je zásadní informace, která určuje, zda bude subjekt zúčtován za odchylku platit, nebo se naopak stane příjemcem platby za protiodchylku. Použili jsme dva přístupy předpovědi pouze na základě předešlých hodnot a ekonometrické modely logit a probit.

S použitím prvního přístupu bylo zjištěno, že v nejbližším možném předstihu, tj. na začátku předpovídané hodiny, lze při předpovědi dosáhnout přesnosti až 78%, tato vysoká přesnost je ale vyvážena poměrně nízkým praktickým využitím. V dvouhodinovém předstihu, kdy je ještě možné obchodovat na vnitrodenním trhu nebo později na trhu s regulační energií, jsme dosáhli přesnosti předpovědi 65%. Při použití modelu pro dlouhodobou předpověď nebylo dosaženo uspokojivé přesnosti.

Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení

Navržené metody, které používají k odhadu směru probit a logit modely, nepřinesly lepší přesnost než předpovědi na základě zpožděných hodnot.

Tato práce je jednou z prvních, která se analýzou systémové odchylky zabývá, a proto je zde stále ještě velký prostor pro další výzkum. Další bádání by se mohl zabývat modelováním systémové odchylky a její ceny pomocí ARIMA a GARCH modelů.

Apendix

Tabulka A 1: Rozhodovací meze pro model 1

Rozhodovací mez	Senzitivita	Specifická	Přesnost
0.00	100.00%	0.00%	54.59%
0.01	99.90%	7.17%	57.79%
0.02	99.74%	11.12%	59.50%
0.03	99.59%	14.06%	60.75%
0.04	99.50%	16.52%	61.82%
0.05	99.31%	18.44%	62.59%
0.06	99.13%	20.07%	63.23%
0.07	99.00%	21.73%	63.91%
0.08	98.85%	23.27%	64.53%
0.09	98.74%	24.67%	65.10%
0.10	98.62%	25.87%	65.59%
0.11	98.49%	27.37%	66.19%
0.12	98.29%	29.06%	66.85%
0.13	98.16%	30.42%	67.40%
0.14	98.01%	31.67%	67.88%
0.15	97.82%	32.95%	68.36%
0.16	97.66%	33.94%	68.73%
0.17	97.53%	35.40%	69.32%
0.18	97.32%	36.69%	69.79%
0.19	97.11%	37.97%	70.26%
0.20	96.91%	39.12%	70.67%
0.21	96.69%	40.36%	71.11%
0.22	96.51%	41.48%	71.52%
0.23	96.27%	42.49%	71.85%
0.24	96.12%	43.61%	72.27%
0.25	95.82%	44.61%	72.57%
0.26	95.50%	45.74%	72.91%
0.27	95.18%	46.77%	73.20%
0.28	94.96%	47.84%	73.56%
0.29	94.62%	49.06%	73.93%
0.30	94.40%	50.29%	74.37%
0.31	94.05%	51.61%	74.78%
0.32	93.69%	52.74%	75.10%
0.33	93.38%	53.77%	75.39%
0.34	93.05%	54.80%	75.68%
0.35	92.69%	56.04%	76.05%
0.36	92.16%	57.23%	76.30%

Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení

0.37	91.60%	58.55%	76.59%
0.38	91.20%	59.78%	76.93%
0.39	90.68%	60.80%	77.11%
0.40	90.14%	62.00%	77.36%
0.41	89.66%	63.21%	77.65%
0.42	89.02%	64.34%	77.81%
0.43	88.49%	65.53%	78.07%
0.44	88.08%	66.58%	78.32%
0.45	87.47%	67.61%	78.45%
0.46	87.00%	68.64%	78.66%
0.47	86.36%	69.76%	78.82%
0.48	85.58%	70.93%	78.93%
0.49	84.80%	71.96%	78.97%
0.50	84.03%	73.09%	79.06%
0.51	83.20%	73.95%	79.00%
0.52	82.24%	74.86%	78.89%
0.53	81.30%	75.85%	78.82%
0.54	80.44%	76.83%	78.80%
0.55	79.62%	77.79%	78.79%
0.56	78.90%	78.63%	78.78%
0.57	77.96%	79.58%	78.69%
0.58	76.81%	80.67%	78.56%
0.59	75.90%	81.66%	78.52%
0.60	75.11%	82.53%	78.48%
0.61	74.05%	83.42%	78.30%
0.62	72.83%	84.26%	78.02%
0.63	71.72%	85.12%	77.81%
0.64	70.61%	86.04%	77.62%
0.65	69.19%	86.78%	77.18%
0.66	68.02%	87.50%	76.86%
0.67	66.87%	88.20%	76.55%
0.68	65.72%	88.93%	76.26%
0.69	64.52%	89.66%	75.93%
0.70	63.09%	90.32%	75.45%
0.71	61.63%	91.02%	74.98%
0.72	60.30%	91.60%	74.51%
0.73	59.08%	92.13%	74.09%
0.74	57.56%	92.46%	73.41%
0.75	56.11%	92.95%	72.84%
0.76	54.65%	93.52%	72.30%
0.77	53.02%	94.24%	71.74%
0.78	51.38%	94.70%	71.05%

Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení

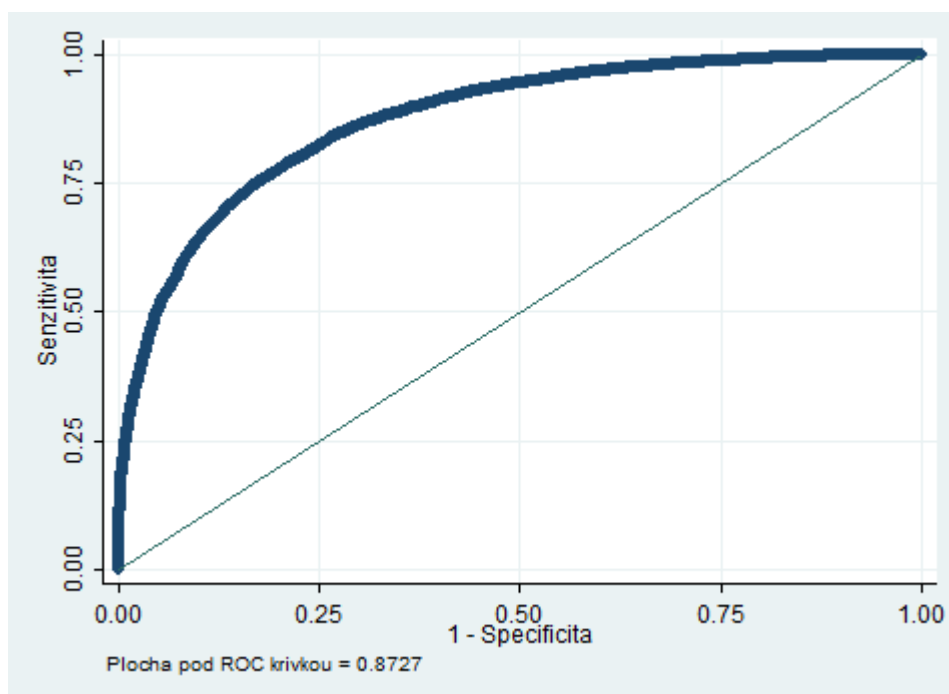
0.79	49.62%	95.22%	70.32%
0.80	47.79%	95.51%	69.46%
0.81	46.29%	95.83%	68.79%
0.82	44.74%	96.21%	68.11%
0.83	43.11%	96.40%	67.31%
0.84	41.21%	96.74%	66.43%
0.85	39.53%	97.06%	65.66%
0.86	38.04%	97.25%	64.93%
0.87	36.31%	97.63%	64.15%
0.88	34.35%	97.90%	63.21%
0.89	32.29%	98.20%	62.22%
0.90	30.37%	98.43%	61.28%
0.91	28.31%	98.67%	60.26%
0.92	26.34%	98.88%	59.28%
0.93	24.26%	99.11%	58.25%
0.94	22.01%	99.21%	57.07%
0.95	19.91%	99.38%	56.00%
0.96	17.35%	99.62%	54.71%
0.97	14.80%	99.71%	53.35%
0.98	11.95%	99.76%	51.82%
0.99	8.83%	99.85%	50.16%
1.00	0.00%	100.00%	45.41%

Model A 1: Probit model (Zpoždění – Z)

Závislá proměnná: Směr systémové odchyly				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylyka	P hodnota
Konstanta (α)		0.092	0.011	0.000
Systémová odchylyka	Z	0.014	0.000	0.000
Pseudo R ²				0.3402
Počet pozorování				17 543

Zdroj: Autor z [8]

Graf A 1: ROC křivka pro A1



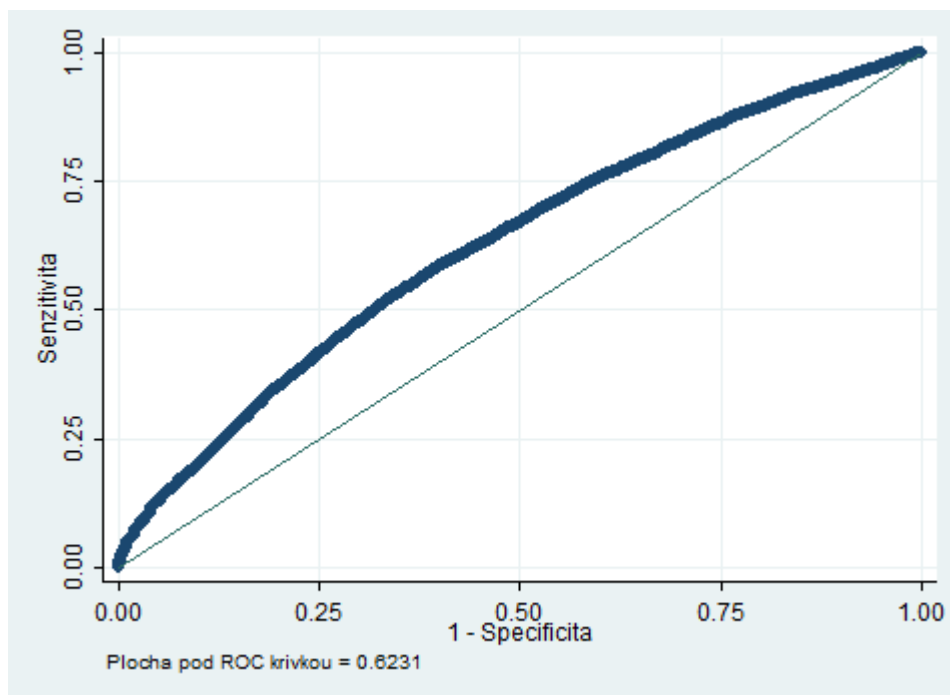
Zdroj: Autor z [8] a [10]

Model A 2: Probit model (Zpoždění – 24)

Závislá proměnná: Směr systémové odchylky				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylka	P hodnota
Konstanta (α)		-0.316	0.083	0.000
Směr so	24	0.354	0.020	0.000
Směr so	48	0.107	0.020	0.000
Směr so	168	0.048	0.020	0.015
Víkend		0.229	0.022	0.000
Výroba FVE	24	-0.000	0.000	0.000
Výroba VTE	24	0.002	0.000	0.000
Zatížení	24	-0.0001	0.000	0.000
Plán výroby		0.0001	0.000	0.000
Pseudo R ²				0,0399
Počet pozorování				17 376

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Graf A 2: ROC křivka pro Model A2



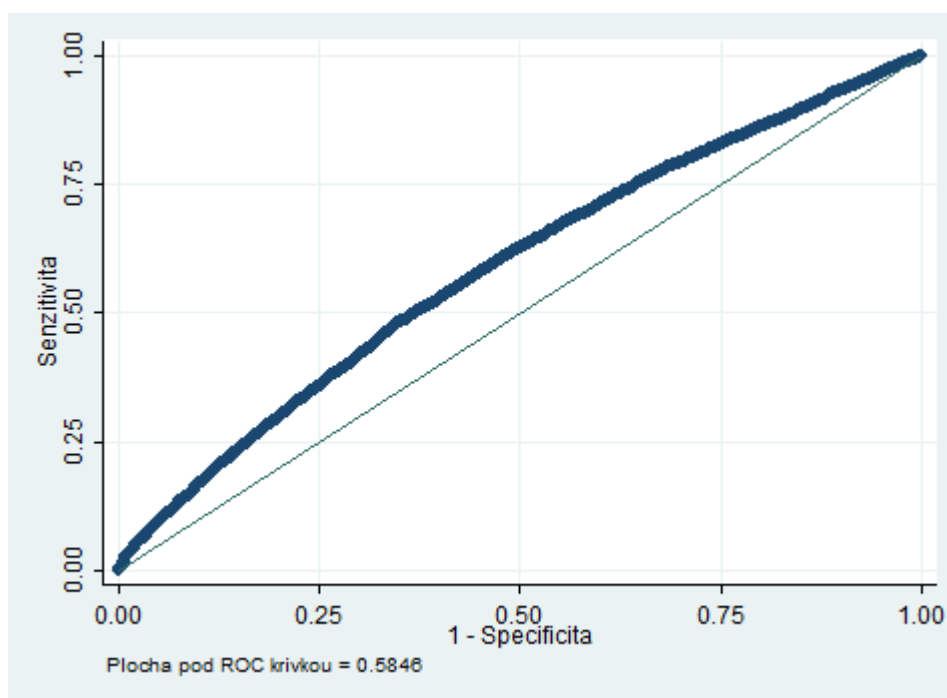
Zdroj: Autor z [8] a [10]

Model A 3: Probit model (Zpoždění – 48)

Závislá proměnná: Směr systémové odchylky				
Indikátor	Stupeň zpoždění	Koeficient	Směrodatná odchylka	P hodnota
Konstanta (α)		-0.257	0.084	0.002
Směr so	48	0.169	0.020	0.000
Směr so	168	0.074	0.020	0.000
Víkend		0.227	0.028	0.000
Peak load		-0.107	0.029	0.000
Výroba FVE	48	-0.000	0.000	0.000
Výroba VTE	48	0.001	0.000	0.000
Zatížení	48	-0.0001	0.000	0.000
Plán výroby		-0.257	0.000	0.000
Pseudo R ²				
Počet pozorování	17 376			

Zdroj: Autor z [8] a [10]

Graf A 3: ROC křivka pro Model A3



Zdroj: Autor z [8] a [10]

Seznam grafů, modelů, obrázků, rovnic a tabulek

Obrázek 1: Odchylka subjektu zúčtování	4
Rovnice 1: Výpočet systémové odchylky.....	4
Tabulka 1: Regulační energie dodané aktivací podpůrných služeb.....	5
Obrázek 2: Způsoby obstarání regulační energie	6
Obrázek 3: Průběh obchodování na vyrovnávacím trhu pro 12. OH.....	9
Tabulka 2: Trhy provozované OTE	10
Tabulka 3: Množství elektřiny registrované v OTE v roce 2012	11
Obrázek 4: Schéma shrnující vztahy týkající se systémové odchylky	13
Rovnice 2: Cena systémové odchylky pro zápornou a nulovou systémovou odchylku stanovená ERÚ	14
Rovnice 3: Cena systémové odchylky pro kladnou systémovou odchylku stanovená ERÚ	14
Graf 1: Zúčtovací cena odchylky dle ERÚ	16
Tabulka 4: Zúčtování systémové odchylky	18
Obrázek 5: Příklad výpisu OTE o systémové odchylce	18
Tabulka 5: Četnost typů systémové odchylky	21
Tabulka 6: Procentuální zastoupení typů systémové odchylky	21
Tabulka 7: Procentuální zastoupení kladné systémové odchylky ve dnech v týdnu	22
Tabulka 8: Procentuální zastoupení kladné systémové odchylky v pracovních a nepracovních dnech	22
Tabulka 9: Procentuální zastoupení kladné systémové odchylky v pracovních dnech ..	22

Graf 2: Průměrná spotřeba v ČR 2011 - 2013	23
Graf 3: Časová řada průběhu systémové odchylky	24
Graf 4: Histogram systémové odchylky	25
Tabulka 10: Statistické shrnutí systémové odchylky [MWh].....	26
Tabulka 11: Statistické shrnutí systémové odchylky v pracovních a nepracovních dnech [MWh] (2011-2013)	27
Tabulka 12: Statistické shrnutí systémové odchylky v pracovních dnech [MWh] (2011-2013).....	27
Graf 5: Časová řada průběhu ceny systémové odchylky	28
Graf 6: Histogram ceny systémové odchylky po letech	29
Tabulka 13: Statistické shrnutí ceny systémové odchylky [Kč/MWh]	29
Graf 7: Histogram ceny systémové odchylky po letech při záporné systémové odchylce	30
Tabulka 14: Statistické shrnutí ceny systémové odchylky [Kč/MWh] při záporné systémové odchylce (2011-2013)	31
Graf 8: Histogram ceny systémové odchylky po letech při kladné systémové odchylce	31
Tabulka 15: Statistické shrnutí ceny systémové odchylky [Kč/MWh] při kladné systémové odchylce (2011-2013)	32
Tabulka 16: Způsob výpočtu ceny systémové odchylky (2011-2013).....	32
Tabulka 17: Způsob výpočtu ceny systémové odchylky při záporné systémové odchylce	33
Tabulka 18: Způsob výpočtu ceny systémové odchylky při kladné systémové odchylce	33
Graf 9: Závislost ceny systémové odchylky na její velikosti (2011 – 2013).....	33

Tabulka 19: Statistické shrnutí ceny protiodchylky [Kč/MWh] při záporné systémové odchylce	34
Graf 10: Histogram ceny protiodchylky po letech při záporné systémové odchylce	35
Tabulka 20: Statistické shrnutí ceny protiodchylky [Kč/MWh] při kladné systémové odchylce	35
Graf 11: Histogram ceny protiodchylky po letech při kladné systémové odchylce	36
Rovnice 4: Dickey-Fullerův test (princip)	38
Rovnice 5: Vysvětlovaná proměnná	38
Rovnice 6: Pravděpodobnost vysvětlované proměnné	38
Rovnice 7: Pravděpodobnostní model	39
Rovnice 8: Logit model	39
Rovnice 9: Probit model	39
Rovnice 10: Funkce věrohodnosti pro binomické rozdělení a její log-transformace	40
Rovnice 11: Log-věrohodnostní funkce logit modelu	40
Rovnice 12: Log-věrohodnostní funkce probit modelu	40
Rovnice 13: Vyhodnocení binární předpovědi	41
Graf 12: ROC křivka.....	43
Graf 13: ROC křivka pro ideální model	43
Rovnice 14: Předpověď směru systémové odchylky na základě její minulé hodnoty ...	44
Tabulka 21: Výsledky předpovědi směru systémové odchylky na základě její minulé hodnoty (předpovědi pro rok 2013)	45
Tabulka 22: Seznam proměnných použitých v probit a logit modelech.....	46
Tabulka 23: Statistické shrnutí použitých veličin (2011-2013).....	46

Analýza a predikce ceny systémové odchylky v diagramu zatížení

Model 1: Logit model (Zpoždění – Z, jednoduchý)	47
Graf 14: ROC křivka pro Model 1	47
Model 2: Logit model (Zpoždění – Z, rozšířený)	48
Graf 15: ROC křivka pro Model 2.....	49
Model 3: Logit model (Zpoždění – 24)	50
Graf 16: ROC křivka pro Model 3	51
Model 4: Logit Model (Zpoždění – 48).....	51
Graf 17: ROC křivka pro Model 4.....	52
Tabulka 24: Výsledky předpovědi směru systémové odchylky na základě logit modelu (předpovědi pro rok 2013)	53
Tabulka A 1:Rozhodovací meze pro model 1	56
Model A 1: Probit model (Zpoždění – Z)	59
Graf A 1: ROC křivka pro Model 5	59
Model A 2: Probit model (Zpoždění – 24)	60
Graf A 2: ROC křivka pro Model 6.....	60
Model A 3: Probit model (Zpoždění – 48)	61
Graf A 3: ROC křivka pro Model 7.....	61

Seznam zkratek

OTE	Operátor trhu s elektřinou
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
OZE	Obnovitelné zdroje energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
PXE	Power Exchange Central Europe
SO	Systémová odchylka
RE	Regulační energie
PpS	Podpůrné služby
ROC	Receiver Operating Characteristic
FVE	Fotovoltaické elektrárny
VTE	Větrné elektrárny
DT	Denní trh
FEL	Fakulta elektrotechnická ČVUT
PSU	Pennsylvania State University

Seznam příloh

Data pro program Stata: tuma_Data_Bc_Prace_2014.dta

Kód logit a probit pro program Stata: tuma_logit_probit_Bc_Prace_2014.do

Použité zdroje

- [1] R. Kabele, „Trh s podpůrnými službami,“ ČEPS, a.s., 2011.
- [2] OTE, a.s., „OTE Product Sheet,“ 2013. [Online]. Available: https://www.ote-cr.cz/o-spolecnosti/files-statutarni-organy/Product_Sheet_CZ.pdf. [Přístup získán 6 Říjen 2013].
- [3] ČEPS, a.s., „Vyrovňovací trh,“ ČEPS, [Online]. Available: http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Podpurne-sluzby/Regulacni-energie/Stranky/Vyrovnavaci_trh_s_regulacni_energii.aspx. [Přístup získán 15. Březen 2014].
- [4] ERÚ, „Energetický regulační úřad,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.eru.cz/o-uradu>. [Přístup získán 15 Duben 2014].
- [5] Prague Exchange Central Europe, „PXE,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.pxe.cz/>. [Přístup získán 16 Duben 2014].
- [6] Příloha č. 5 k vyhlášce č. 541/2005, *Příloha č. 5 k vyhlášce č. 541/2005 Sb*, 2011.
- [7] Energetický regulační úřad, „Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2013,“ 2013.

- [8] OTE, a.s., „OTE,“ 2014. [Online]. Available: <http://www.ote-cr.cz/statistika/odchylky-elektrina>. [Přístup získán 26 Duben 2014].
- [9] J. Hodánek, „VYHODNOCENÍ ODCHYLEK A CLEARING TDD V CS OTE,“ 16 Duben 2014. [Online]. Available: http://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/dcerine-spolecnosti/cds/pro_zakazniky/konference2014/ote_hodanek_cz.pdf. [Přístup získán 1 Květen 2014].
- [10] ČEPS, a.s., „ČEPS Data,“ 2014. [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/CZE/Data/Vsechna-data/Stranky/Default.aspx>. [Přístup získán 6 Březen 2014].
- [11] J. Wooldridge, *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, 4th editor, 2008.
- [12] W. Greene, *Econometric analysis*, 7 editor, 2012.
- [13] P. Gurný a M. Gurný, 2010. [Online]. Available: http://www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/rmfr/.content/galerie-dokumentu/2014/plnenzeni-prispevku/Gurny.Petr_2.pdf. [Přístup získán 2014].
- [14] PennState, „Sensitivity, Specificity, Positive Predictive Value, and Negative Predictive Value,“ 2014. [Online]. Available: <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat507/node/71>. [Přístup získán 18 Duben 2014].
- [15] FEL ČVUT, „ROC křivka,“ 2014. [Online]. Available: <http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/teaching/zbd/biostat3.pdf>. [Přístup získán 2014].