

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra Řídící Techniky



Bakalářská práce

**Analýza vlivu obnovitelných zdrojů energie na trh s  
elektrickou energií a systémovou odchylku přenosové soustavy**

*Sufjan Doula*

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák

Studijní program: Kybernetika a robotika, Bakalářský

Obor: Systémy a řízení

3. ledna 2014

## Poděkování

Velice rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Novákovi za jeho odborné vedení, velkou míru trpělivosti, přátelskou atmosféru a především za cenné rady ke zpracování práce. Můj vděk také patří ostatním vyučujícím za nabyté vědomosti, kterých jsem mohl během vypracování bakalářské práce využít.

## 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 2. 1. 2014

*Sufjan Soula*

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra řídicí techniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Sufjan Doula**

Studijní program: Kybernetika a robotika  
Obor: Systémy a řízení

Název tématu: **Analýza vlivu obnovitelných zdrojů energie na trh s elektrickou energií a systémovou odchylku přenosové soustavy**

Pokyny pro vypracování:

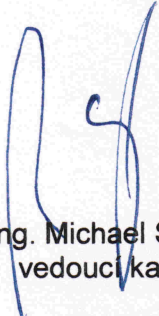
1. Seznamte se s organizací trhu s elektrickou energií a systémem zúčtování odchylky na trhu s elektřinou.
2. Porovnejte způsoby integrace OZE v ČR a v okolních státech.
3. Analyzujte vliv nejistoty výroby OZE na systémovou odchylku v přenosové soustavě.
4. Analyzujte vliv nejistoty výroby OZE na obchodování na krátkodobých trzích s elektrickou energií.

Seznam odborné literatury:

Kolektiv autorů (2011) Trh s elektřinou. Úvod do liberalizované energetiky. Praha: Asociace Energetických manažerů

Vedoucí: Ing. Ondřej Novák

Platnost zadání: do konce letního semestru 2013/2014

  
Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 16. 9. 2013

# Abstract

The constantly increasing efforts of public institutions to protect the natural environment encourage greater use of renewable resources such as wind power, hydropower, biomass, geothermal energy or solar energy. However, one of the disadvantages of this approach is the irregularity in the supply of energy that depends on the weather conditions in wind power plants, or problems with fluctuations in energy supply based on the intensity of sunlight in photovoltaic power plants.

The aim of this bachelor thesis is both to clarify the functioning of the electricity market and mainly to find out how the difficult forecasting of energy production in photovoltaic power plants influences the stability of electricity transmission systems and trading on the electricity markets.

The outcome of this thesis is a statistical analysis of market data, that processes the influence of the difference between the predicted and actual electricity produced by photovoltaic power plants on the sum of deviation in transmission system and on the quantity and price of energy traded on power spot markets.

# Abstrakt

Stále zvyšující se snaha veřejných institucí o ochranu životního prostředí klade důraz na rozvoj využívání obnovitelných zdrojů energie, jakými jsou energie větrná, vodní, biomasy, geotermální, či slunečního záření. Jednou z nevýhod tohoto přístupu je nepravidelnost v dodávkách energie závisající na příhodnosti povětrnostních podmínek u větrných elektráren, či problémy s výkyvy v dodávce elektřiny na základě slunečního záření u fotovoltaických elektráren.

Cílem bakalářské práce je jednak objasnit fungování trhu s elektřinou, ale především zjistit jakou mírou ovlivňuje obtížná predikovatelnost výroby energie ve fotovoltaických elektrárnách stabilitu elektrizační soustavy a obchodování na trhu s elektrickou energií.

Výstupem této práce je statistická analýza tržních dat, která zpracovává vliv rozdílu mezi predikovanou a skutečně vyrobenou elektrickou energií ve fotovoltaických elektrárnách na velikost systémové odchylky a množství a cenu zobchodované energie na krátkodobých trzích s elektřinou.

## Key words

Electricity, electricity market, power spot markets, renewable resource, photovoltaics, transmission system deviation, clearing of system deviation, statistical analysis

## Klíčová slova

Elektrina, trh s elektřinou, krátkodobé trhy s elektřinou, obnovitelné zdroje energie, fotovoltaika, systémová odchylka, zúčtování odchylek, statistická analýza

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Teoretická část</b>	<b>2</b>
2.1 Trh s elektřinou se zaměřením na obnovitelné zdroje energie a krátkodobé trhy s elektřinou	3
2.1.1 Trh s elektřinou v ČR	3
2.1.1.1 Subjekty trhu s elektřinou, schéma jejich vztahů a jejich funkce	3
2.1.1.2 Druhy trhů s elektřinou	7
2.1.2 Obchodování s elektřinou na organizovaných trzích	13
2.1.3 Systém zúčtování odchylek	15
2.1.3.1 Původ odchylek	15
2.1.3.2 Systém zúčtování odchylek	15
2.1.4 Specifika pro trh s OZE se zaměřením na FVE	16
2.1.5 Trh s elektřinou v zahraničí	16
2.1.5.1 Trh s elektřinou v SRN	16
<b>3 Praktická část</b>	<b>21</b>
3.1 Analýza vlivu FVE na systémovou odchylku a obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou	22
3.1.1 Obecný popis provedené analýzy	22
3.1.2 Vlastní analýza	27
3.1.2.1 Neredukovaná data	27
3.2 Vyhodnocení analýzy, Vliv obnovitelných zdrojů energie na chod přenosové soustavy a obchodování na trhu s elektřinou	61
<b>4 Závěr</b>	<b>63</b>
<b>Literatura</b>	<b>64</b>

<b>A Granulace dat a související změny dFVE</b>	<b>66</b>
A.0.0.2 Den: 6:00-22:00 hodin . . . . .	66
A.0.0.3 Sluneční den: 9:00-14:00 hodin . . . . .	67
A.0.0.4 Pracovní dny . . . . .	68
A.0.0.5 Nepracovní dny . . . . .	69
<b>B Příručka k analýze</b>	<b>72</b>
<b>C Seznam použitých zkratk</b>	<b>75</b>
<b>D Obsah přiloženého CD</b>	<b>76</b>



# Seznam obrázků

2.1	Schéma subjektů na trhu s elektřinou . . . . .	4
2.2	Schematické vztahy SZ s ostatními účastníky trhu . . . . .	7
2.3	Standardní obchodované produkty na trhu [1] . . . . .	9
2.4	Blokový trh/Base, Duben 2013 [8] . . . . .	10
2.5	Výsledné ceny denního trhu z 23.04.2013 [8] . . . . .	11
2.6	Zobchodované množství na denním trhu z 23.04.2013 [8] . . . . .	11
2.7	Výsledky na vnitrodenním trhu z 23.04.2013 [8] . . . . .	12
2.8	Rozdělení výroby elektrické energie v SRN, 2012 [14] . . . . .	17
2.9	Hlavní výrobci elektrické energie na německém trhu[15] . . . . .	18
2.10	Vývoj zastoupení jednotlivých zdrojů OZE v SRN, 1990-2011 [15] . . . . .	19
2.11	Organizátoři krátkodobých trhů s elektřinou [22] . . . . .	20
3.1	pravděpodobnostní rozdělení spojitě náhodné veličiny dle hodnoty směrodatné odchyly [23] . . . . .	23
3.2	Srovnání skutečně dodaného a predikovaného výkonu FVE 2012/13 . . . . .	28
3.3	Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE . . . . .	28
3.4	Průměrný den dle dFVE . . . . .	29
3.5	Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového grafu . . . . .	30
3.6	Procentuální vliv odchyly FVE na celkovou systémovou odchyly . . . . .	30
3.7	Korelační graf mezi dFVE a Systémovou odchyly . . . . .	32
3.8	Korelační grafy mezi dFVE a Systémovou odchyly dle rozdělení intervalového modelu . . . . .	33
3.9	Korelační graf mezi dFVE a Systémovou odchyly . . . . .	35
3.10	Korelační grafy mezi dFVE a Systémovou odchyly dle rozdělení intervalového modelu . . . . .	36
3.11	Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchyly . . . . .	38
3.12	Závislost středních hodnot dFVE a Zúčtovací ceny . . . . .	40
3.13	Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT . . . . .	41
3.14	Korelační grafy mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT dle rozdělení intervalového modelu . . . . .	42

3.15	Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT . . .	43
3.16	Korelační grafy mezi dFVE a zobchodovaným množstvím na VDT dle rozdělení intervalového modelu . . . . .	44
3.17	Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky . . . . .	45
3.18	Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky . . . . .	47
3.19	Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na DT . . .	48
3.20	Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na DT . . .	49
3.21	Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky . . . . .	50
3.22	Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky . . . . .	52
3.23	Korelační graf mezi dFVE a poptávkou po RE- . . . . .	53
3.24	Korelační grafy mezi dFVE a poptávkou po RE- dle rozdělení intervalového modelu . . . . .	54
3.25	Korelační graf mezi dFVE a poptávkou po RE+ . . . . .	55
3.26	Korelační grafy mezi dFVE a poptávkou po RE- dle rozdělení intervalového modelu . . . . .	56
3.27	Závislost středních hodnot dFVE a poptávky na VT . . . . .	56
3.28	Korelační graf mezi dFVE a nabídkou RE- . . . . .	57
3.29	Korelační graf mezi dFVE a nabídkou RE+ . . . . .	58
3.30	Korelační graf mezi dFVE a nákupem RE- . . . . .	59
3.31	Korelační graf mezi dFVE a nákupem RE+ . . . . .	60
A.1	Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE . . . . .	66
A.2	Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu . . . . .	67
A.3	Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE . . . . .	67
A.4	Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu . . . . .	68
A.5	Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE . . . . .	69
A.6	Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu . . . . .	69
A.7	Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE . . . . .	70
A.8	Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu . . . . .	70

# Seznam tabulek

2.1	Hlavní rozdíly mezi subjektem zúčtování a registrovaným účastníkem trhu . . .	8
2.2	Data z vyrovnávacího trhu z 23.4.2013 [8] . . . . .	13
3.1	Průměrné platby za odchylku v Kč/MWh od roku 2006 do 2010 při kladné a při záporné systémové odchylce . . . . .	26
3.2	Shrnutí výsledků korelační analýzy . . . . .	61

# Kapitola 1

## Úvod

Podpora využívání obnovitelných zdrojů energie v poslední době nabyla v Evropě nových rozměrů hlavně v souvislosti s přijetím směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů [25]. Tato byla implementována do českého právního řádu zákonem č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie. Cílem legislativních úprav je především snížení zatížení životního prostředí a šetrnější nakládání s neobnovitelnými zdroji energie.

Bakalářská práce se věnuje problematice zvyšujícího se podílu obnovitelných zdrojů energie z hlediska stability přenosové soustavy a z hlediska vlivu na obchodování na trhu s elektřinou. Práce je rozdělena na dvě hlavní části. Úvodní, teoretická, část práce je věnována trhu s elektřinou v ČR, jeho fungování, subjektům na něm působícím, systému účtování odchylky, a způsobům obchodování s hlavní komoditou trhu - elektřinou. Taktéž je zmíněn trh ve Spolkové republice Německo, přesněji způsoby využívání zdrojů energie a legislativní integrace obnovitelných zdrojů energie na trhu. Ve druhé, hlavní, části projektu jsou kvantitativně vyhodnocena získaná tržní data. Jsou určeny střední hodnoty rozdílu mezi skutečně vyrobeným a predikovaným množstvím elektrické energie (dFVE). Následně je zkoumán vliv dFVE na systémovou odchylku přenosové soustavy a na obchodování s elektřinou na krátkodobých trzích. Práce je ukončena vyhodnocením výsledků a závěry, které z analýzy plynou pro výskyt obnovitelných zdrojů energie na trhu s elektřinou.

## Kapitola 2

# Teoretická část

Tato kapitola pojednává o trhu s elektřinou v České republice. Nejprve jsou zmíněni nejpodstatnější účastníci na trhu působící a jejich vzájemné vztahy. Následně se práce věnuje různým druhům trhů s elektřinou a to především trhům s dlouhodobými produkty, trhům krátkodobým a trhům s regulační energií. Mechanismy obchodování, tedy obchodování bilaterální, prostřednictvím brokerských platforem a obchodování na burze následující, jsou doplněny o způsob zúčtování odchylek v elektrizační soustavě a specifika pro obchodování s elektřinou pocházející z fotovoltaických elektráren. Poslední část se zabývá trhem v SRN, především pak rozdělením zdrojů elektrické energie, institucím na trhu s elektřinou a specifickým platících pro obnovitelné zdroje energie.

## 2.1 Trh s elektřinou se zaměřením na obnovitelné zdroje energie a krátkodobé trhy s elektřinou

### 2.1.1 Trh s elektřinou v ČR

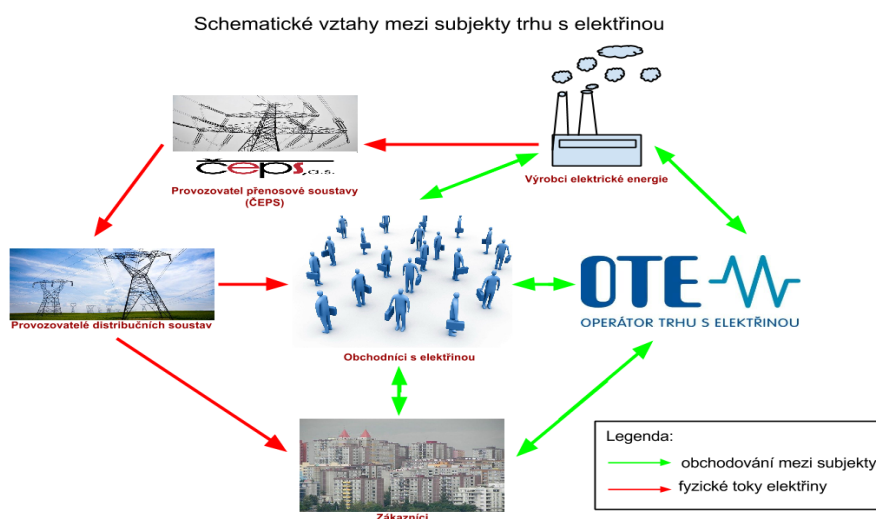
Trh s elektřinou představuje jeden z nejkompexnějších systémů ve srovnání s ostatními regulovanými trhy s plynem, či telekomunikacemi. Historicky prošel obrovským vývojem, od úplné státní regulace až po liberalizaci, která u nás počala rokem 2000 a je stále prohlubována. Regulace elektroenergetiky je u nás realizována především zákonem č. 458/2000 Sb. (energetický zákon) a dalšími prováděcími předpisy, ve kterých je promítána samozřejmě i evropská právní úprava tohoto trhu. Cílem první části mé práce je popsat, jak trh s elektřinou funguje, kdo na něm vystupuje a jaké typy jednotlivých, především krátkodobých, trhů zde máme.

#### 2.1.1.1 Subjekty trhu s elektřinou, schéma jejich vztahů a jejich funkce

Při uvažování o subjektech na trhu s elektřinou, musíme vzít v potaz, že tento trh je regulovaný a řídí se tzv. "principem regulovaného přístupu k sítím"[1]. Tento princip definovala směrnice Evropské Unie "O společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou" č. 2009/72/ES, která byla řádně implementována do českého právního řádu. Dle principu je pro přístup k obchodování na trhu třeba splnit zákonné podmínky a být držitelem licence vydané Energetickým regulačním úřadem (dále jen ERÚ).

Elektřina putuje přes výrobce do přenosové soustavy, na kterou jsou napojeny velké elektrárny, zpravidla nad 200 MW výkonu. Síť přenosové soustavy tvoří vedení velmi vysokého napětí 400 kV, 220 kV, vybraná vedení 110 kV a třicet transformačních stanic. Odtud se paprskovitě rozvádí distribuční soustavou, kam jsou připojeny menší producenti elektřiny (FVE, větrné elektrárny). Distribuční soustava je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení o napětí 0.23 kV, 0.4 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV sloužící k zajištění distribuce elektřiny na stanovená území České republiky a tímto tedy ke konečným zákazníkům. Toto je velice zjednodušené schéma dodávky elektřiny ke konečným zákazníkům, neboť přímý vztah mezi výrobcem a zákazníkem zde není běžný, avšak často bývá realizován především v případě velkých výrobců a velkých odběratelů. Mezi tyto dva hlavní subjekty (výrobce a zákazníka) vstupují další, jakými jsou OTE- operátor trhu s elektřinou a obchodníci s elektřinou. Obrázek č. 2.1 schematicky zachycuje základní vztahy mezi těmito subjekty.

V následujícím textu popíši jednotlivě ty účastníky trhu s elektřinou, kteří jsou pro mou práci směrodatní.



Obrázek 2.1: Schéma subjektů na trhu s elektřinou

## Jednotliví účastníci trhu s elektřinou

### 1. Výrobce

Poté co potenciální výrobce obdrží licenci od Energetického regulačního úřadu [2], je po dobu životnosti zařízení připojen do sítě. Vydaná licence ho opravňuje k výrobě, připojení do sítě, přepravě a následnému prodeji jím vyrobené elektrické energie. Pokud splní technické požadavky, je taktéž oprávněn dodávat provozovateli přenosové soustavy (ČEPS a.s.) tzv. podpůrné služby [3]. Podpůrné služby (dále jen PpS) jsou činnosti fyzických, či právnických osob, které slouží k zajištění provozu elektrizační soustavy, kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie. PpS umožňují korigovat rozdíly mezi odběrem a výrobou, a to změnami spotřeby či výkonů výroby. Ceny jejich výkupu jsou vytvářeny na základě tržního principu. V neposlední řadě je povinností výrobců el. energie dodávat operátorovi trhu (OTE) potřebná data pro vyhodnocení trhu.

### 2. Provozovatel přenosové soustavy

Jeho úkolem je zajišťování spolehlivosti provozu a rozvoje přenosové soustavy, plánování a příprava provozu elektrizační soustavy a zajišťování systémových služeb, mezi které patří udržování kvality elektřiny (udržovat správné parametry frekvence a napětí), udržování výkonové rovnováhy v reálném čase, obnovení provozu a dispečerské řízení. Taktéž je zodpovědný za koordinaci spolupráce s přenosovými soustavami v zahraničí. U nás je jediným držitelem potřebné licence na přenos (ČEPS a.s.). K tomuto potřebuje obdržet licenci na přenos od ERÚ.

### 3. Provozovatel distribuční soustavy

Úkolem provozovatele distribuční soustavy je rozvod elektřiny z přenosové soustavy ke konečným spotřebitelům a zároveň připojení výrobců elektřiny o malých výkonech.

Provozovatel dbá na spolehlivost distribuční soustavy. Provozovatel je držitelem licence na distribuci vydanou ERÚ.

#### 4. Obchodník

Je držitelem licence pro obchod s elektřinou. Za účelem vlastního zisku nakupuje a prodává elektřinu, přičemž ho licence opravňuje k přístupu k síti, dopravě elektřiny a za stanovených podmínek rovněž k přístupu na trh. Má právo na získávání potřebných informací, ale taktéž má povinnosti vůči Operátorovi trhu s elektřinou (dále jen OTE), kterými je jeho registrace zde a předávání zúčtování a jiných získaných dat.

#### 5. Operátor trhu s elektřinou

Tato, pro regulaci trhu s elektřinou, velice důležitá instituce zajišťuje fungování trhu s elektřinou tím, že registruje účastníky trhu, přijímá data (o dodané regulační energii), vyhodnocuje poskytnutá data, především zúčtování odchylek subjektů zúčtování a zpracovává dlouhodobý budoucí vývoj nabídky a poptávky elektřiny. Je zodpovědný za zpracování bilance nabídek a poptávek na dodej a odběr elektřiny, jež předává dále ČEPSu a provozovatelům distribučních soustav. Je provozovatelem krátkodobého trhu s elektřinou, tedy trhů denních, vnitrodenních a vyrovnávacích.

#### 6. Subjekt zúčtování

Subjekt zúčtování je takový účastník trhu s elektřinou, pro kterého Operátor trhu s elektřinou na základě uzavření Smlouvy o zúčtování provádí vyhodnocení, zúčtování a vypořádání odchylek. Subjekty zúčtování mají právo přístupu k sítím a zodpovídají za odchylky sjednané a naměřené dodané energie v jednotlivých obchodních hodinách tržního dne. Pouze se subjektem zúčtování lze uzavřít smlouvu na dodávku elektřiny pro dovoz a vývoz elektřiny, tuto musí ovšem potvrdit provozovatel přenosové sítě [9]. Povinností subjektu zúčtování je hradit tzv. "roční cenu za činnost zúčtování" (cca. 1000 Kč/měsíc) a cenu za zúčtování (cca. 5 Kč/ MWh), která se vztahuje na skutečné odběry z elektrizační soustavy Subjektu zúčtování a dalších účastníků trhu, za něž daný Subjekt zúčtování převzal odpovědnost. Všechny subjekty působící na velkoobchodním trhu s elektřinou musí být subjekty zúčtování. Základní požadavky k uzavření Smlouvy o zúčtování s OTE, dle vyhlášky ERÚ č. 541/2005 Sb. O pravidlech trhu s elektřinou, jsou:

- (a) Zápis společnosti, případně její organizační složky, v Obchodním rejstříku ČR
- (b) Platná licence na obchod s elektřinou udělená Energetickým regulačním úřadem
- (c) Založený bankovní účet v bance v ČR nebo v pobočce zahraniční banky na území ČR
- (d) Zpracování a předání kompletních podkladů pro vyhotovení smlouvy

Pro lepší pochopení tohoto institutu se bude následující text zabývat tzv. "Režimem odpovědnosti za odchylku" a obrázek č. 2.2 znázorní graficky nejdůležitější vztahy mezi Subjektem zúčtování a ostatními účastníky trhu s elektřinou.

##### (a) Režim odpovědnosti za odchylku

Jednotliví účastníci trhu s právem přístupu k elektrizační soustavě ČR (dále jen ESČR) mají na výběr mezi dvěma základními režimy odpovědnosti za odchylku



jimi uskutečňovaných obchodů. Odpovědnost za odchylku se vztahuje jednotlivě ke každému odběrnému místu zákazníka, souhrnu předávacích míst jednotlivých výroben elektřiny, či souhrnu předávacích míst na území vymezeném pro jednotlivé provozovatele distribučních soustav. V případě, že by daný účastník trhu nezvolil ani jeden režim odpovědnosti za odchylku, pak by jeho případná odchylka v odběru, či dodávce elektrické energie do ESČR byla považována za neoprávněný odběr/dodávku z/do ESČR a podléhala by odpovídajícím postihům. Režimy se volí na základě "Smlouvy o přistoupení ke společným závazným pravidlům pro vyhodnocení a zúčtování odchylek" a jsou následující:

i. Režim vlastní odpovědnosti za odchylku

Účastník trhu s elektřinou se tímto zavazuje nést odpovědnost za svůj závazek dodat či odebrat sjednané množství el. energie z/do ESČR. Účastník je povinen nakupovat na své odběrové diagramy a registrovat tyto nákupy po hodinách v informačním systému OTE. OTE pak vypočítává rozdíl mezi nákupem a skutečným odběrem všech příslušných odběrných míst a vyhodnotí velikost odchylky a její cenu, která je zpravidla mnohem vyšší než cena na trhu běžně kupované elektřiny [5]. Tomuto účastníkovi je přiděleno identifikační číslo na základě registrace u OTE a stává se Subjektem zúčtování.

ii. Režim přenesené odpovědnosti za odchylku

Svou odpovědnost za odchylku ve sjednané dodávce, či odběru el. energie do/z ESČR může subjekt trhu přenést na jiný, pouze jediný (dodávka a odběr jsou vnímány separátně), Subjekt zúčtování. Takovýto účastník je u OTE registrován pouze jako "registrovaný účastník trhu" a nemá povinnost nahlašovat své odběry/dodávky z/do ESČR. Tuto službu za účastníka provádí za něj zodpovědný subjekt zúčtování a jsou účtovány přímo jemu. Trh rozeznává tři základní typy smluv s přenesením odpovědnosti za odchylku na subjekt zúčtování. Těmito jsou [1]:

- Smlouva o dodávce elektřiny s převzetím závazku dodat elektřinu do ESČR

- Smlouva o dodávce elektřiny s převzetím závazku odebrat elektřinu z ESČR

- Smlouva o dodávce elektřiny dodavatelem poslední instance



Obrázek 2.2: Schematické vztahy SZ s ostatními účastníky trhu

Tabulka 2.1 na straně 8 poukazuje na hlavní rozdíly mezi subjektem zúčtování (dále jen "SZ") a registrovanými účastníky trhu (dále jen "RÚT"):

### 2.1.1.2 Druhy trhů s elektřinou

#### Rozlišení trhů dle délky trvání a charakteru dodávek

(a) Trhy s dlouhodobými produkty

Na trzích s dlouhodobými produkty se realizují obchody s dodávkou elektřiny v horizontu delším než jeden měsíc. Maximální doba trvání trhu není sice omezena, nicméně vzhledem k dynamickému vývoji trhu, nejisté predikovatelnosti a obtížnému stanovení ceny na tomto trhu, se tento v principu realizuje maximálně na dobu dvou let. Zajímavé jsou tyto trhy z hlediska dlouhodobého rozhodování o nákupu a prodeji a tedy míry rizika, jež na sebe obchodník bere. Působení na tomto trhu je možné jen pro ekonomicky silné subjekty, které si mohou dovolit zmrazit značnou hotovost na zajištění.

(b) Krátkodobé trhy

Zde jsou realizovány obchody v intervalu několika hodin až několika dnů. Horní hranice obchodování je jeden týden. Blíže se těmto trhům bude věnovat následující část práce.

(c) Trhy s regulační energií

Na těchto trzích se nakupuje regulační energie, za účelem zajištění spolehlivosti přenosu a vypořádání se se systémovou odchylkou (tj. odchylkou mezi smluvně

	<b>SZ</b>	<b>RÚT</b>
Součástí:	Velkoobchodního trhu s elektřinou	Maloobchodního trhu s elektřinou
Možná účast na krátkodobých organizovaných trzích:	ANO	NE
Režim odpovědnosti za odchylku	Vlastní odpovědnost	Přenesená odpovědnost
Způsob vyhodnocení a zúčtování odchylek	Odchytky dodávky stanoveny vůči smluvním hodnotám pro každý den a každou hodinu a zúčtovány operátorem trhu (OTE)	Provedeno na v souladu s ustanoveními smlouvy uzavřené mezi RÚT a jeho SZ
Počet obchodních partnerů:	Libovolný	Každé odběrné a předávací místo RÚT může mít pouze jediný SZ
Zajištění dodávek:	Minimální kauce 5 mil. Kč, včetně zajištění obchodů v souladu s pravidly OTE	Na základě smlouvy mezi RÚT a SZ

Tabulka 2.1: Hlavní rozdíly mezi subjektem zúčtování a registrovaným účastníkem trhu

zajištěnými a skutečně realizovanými dodávkami). Je potřeba dodat, že regulační energie může být nakoupena jak kladná tak i záporná. I tomuto trhu je blíže věnována následující část.

### Krátkodobé trhy

Pro přístup na krátkodobé trhy je třeba, aby subjekt zúčtování s OTE uzavřel smlouvu o vstupu na krátkodobý trh s elektřinou (po uzavření smlouvy o zúčtování odchylek). Právě OTE organizuje krátkodobý trh s elektřinou. Rozlišujeme tyto tři (pokud bychom sem zařadili i trh s regulační energií, tak čtyři) typy krátkodobých trhů s elektřinou. Fungování krátkodobého trhu stanovuje vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 541/2005 Sb. v ustanovení §10.

#### (a) Blokový trh

Na blokovém trhu se obchodují dodávky s denními krátkodobými kontrakty v blocích. Produkty bloků jsou standardního charakteru Base, Peak a Offpeak [1]. Tyto nejsou směrodatné tedy pouze jen pro blokový trh a jsou charakterizovány takto:

##### i. Base

Blok Base reprezentuje dodávku ve všech hodinách dne dodávky, tedy 0:00-23/24/25 (v závislosti na počtu hodin v obchodovacím dni)

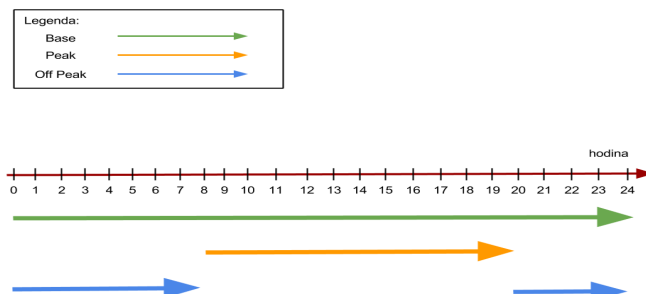
##### ii. Peak

Blok typu Peak reprezentuje dodávku v pracovních dnech od 8:00-20:00 hodin

##### iii. Off Peak

Blok Off Peak pak vyplňuje dobu mimo blok Peak, tedy od 0:00-8:00 a od

20:00-0:00 v pracovních dnech.



Obrázek 2.3: Standardní obchodované produkty na trhu [1]

Obchodování na blokovém trhu sleduje tzv. princip **forward trading**

- i. Forward trading znamená, že produkt je po dodávce finančně vypořádán (skrz OTE) za cenu uskutečněného obchodu. Jako obchody typu forward trading jsou považovány tzv. obchody "Over-the-Counter", kde účastníci vyjednávají přímo mezi sebou a obchodování s produkty tedy nepodléhá žádné oficiální instituci, jež by vykonávala nad transakcemi dohled a dále obchody uzavřené na blokovém a spotovém (denním) trhu. Na spotovém trhu se obchoduje pouze s fyzickou dodávkou elektřiny a cílem jeho institucionalizace je zajištění optimalizovaného nasazení jednotlivých výrobních bloků v ESČR. V obecné rovině, je na burzách za forward trading považována situace, kdy makléř s vědomím, že určitá společnost plánuje nakoupit velký počet určitých akcií, což zvedne jejich cenu, nakoupí stejné předem a poté prodá. V těchto případech je považován forward trading za krajně neetický.

Minimální obchodovatelná úroveň je zde 1 MWh. Poptávky a nabídky mohou obchodníci podávat nejprve třicet dní před obchodním dnem v závislosti na jednotlivých blocích, přičemž dodávka/odběr elektřiny je sjednán při střetu nabídky s poptávkou. Protistranou obchodování je, jak již bylo řečeno, OTE. Obchodování se ukončí ve 13:00 v den přede dnem dodávky. Dle ustanovení §10a vyhlášky č. 541/2005 Sb. do 13:30 hodin každého obchodního dne, kdy je blok obchodován, je povinností operátora trhu oznámit každému účastníkovi trhu způsobem uvedeným ve smlouvě o přístupu na organizovaný krátkodobý trh s elektřinou informace o výsledcích obchodování předložených nabídek a poptávek na blokovém trhu. Těmito informacemi se rozumí:

- a) Velikost sjednané dodávky elektřiny a velikost sjednaného odběru elektřiny v MWh
- b) Dosažená cena

Po tomto zahrne OTE sjednané dodávky a odběry elektřiny pro dané obchodní ho-

diny do systému vyhodnocování a zúčtování odchylek. Po fyzické dodávce je produkt finančně vypořádán za cenu uskutečněného obchodu v den, který následuje dny dodávky. V roce 2010 bylo na tomto trhu, dle výroční zprávy OTE, zobchodováno 23 GWh [6].

**Charakteristické vlastnosti obchodování** na blokovém trhu jsou následující:

**i. Kontinuální obchodování**

Po vstupu do oblasti kontinuálního obchodování začnou subjekty zúčtování vkládat své vlastní objednávky a požadavky na prodej a nákup elektrické energie, přičemž je zapotřebí, aby udali informaci o požadované ceně. V případě, že objednávka na prodej vyhovuje podmínkám totožné objednávky na nákup, či opačně, dochází k tzv. spárování dvou či více objednávek a uzavírá se obchod.

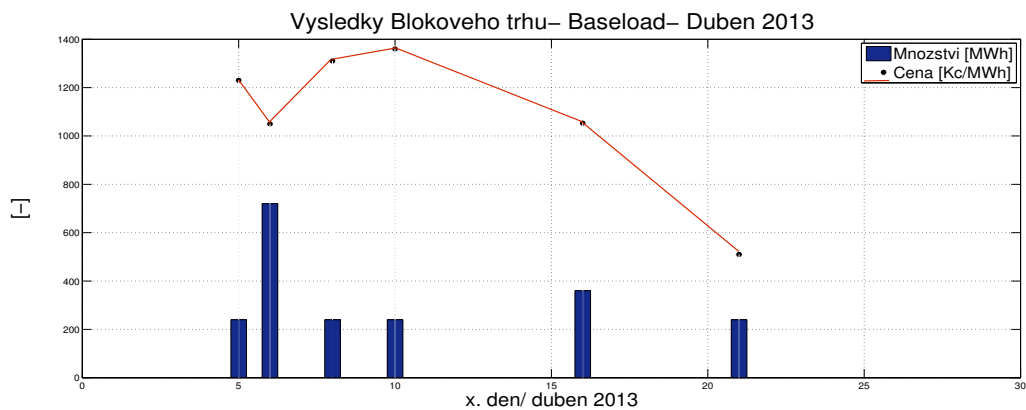
**ii. Období dodávky**

Skutečná dodávka elektřiny je realizací den předtím uzavřených kontraktů na blokovém trhu.

**iii. Finanční vypořádání**

V rámci finančního vypořádání OTE, jako protistrana všech obchodů, finančně vypořádá všechny uzavřené obchody na blokovém trhu.

Obrázek 2.4 zachycuje stav obchodování na blokovém trhu typu base za duben 2013:

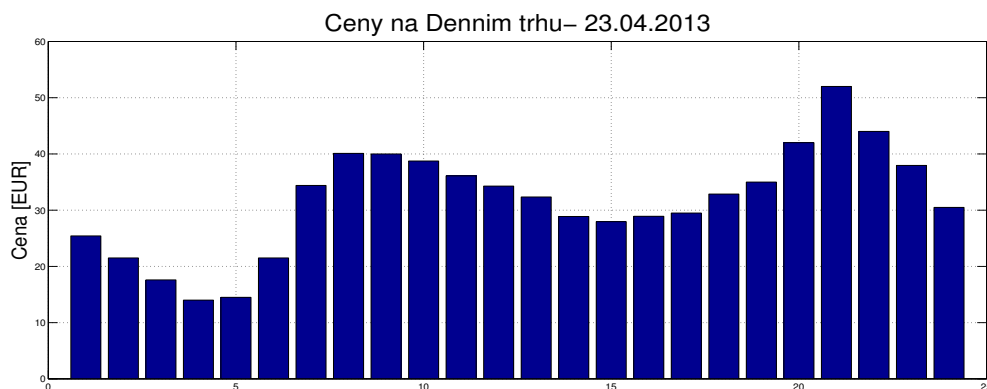


Obrázek 2.4: Blokovaný trh/Base, Duben 2013 [8]

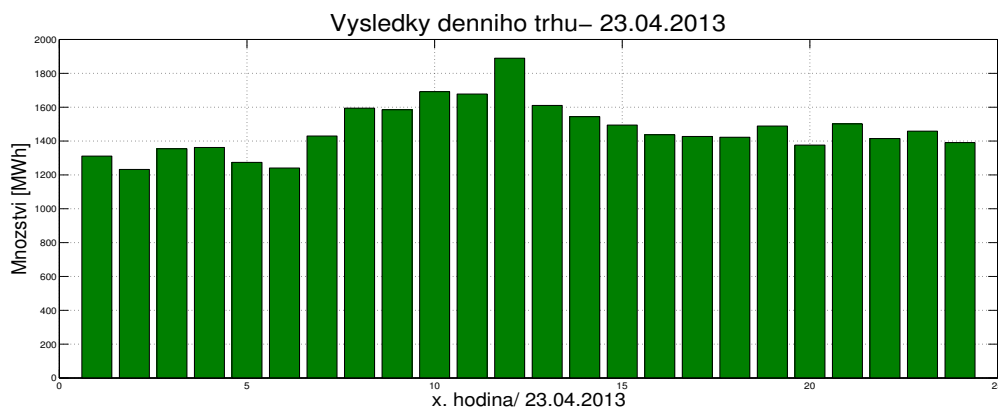
**(b) Denní trh**

Na denním trhu se obchodují dodávky, které mají být dodány další den. Tento je založen na principu aukce, která je organizována dle obdržených nabídek a poptávek elektřiny na 24 obchodních hodin následujícího dne. Obchody jsou prováděny v EUR. Uzavřené obchody jsou opět skrz OTE vypořádány v den následující po dni dodávky. Na konci jednotlivých obchodních hodin je vždy stanovován výsledný přenos elektřiny do zahraničí, či ze zahraničí (pokud je propo-

jena tržní oblast daného státu a ČR), dále výsledná dosažená cena elektřiny na daném trhu a v neposlední řadě zobchodované množství elektřiny. Po oznámení výsledků denního trhu jednotlivým účastníkům, shodně jak je tomu u trhu blokového, zveřejní OTE množství elektřiny z uskutečněných obchodů, dosažené ceny pro každou obchodní hodinu, množství elektřiny z neuskutečněných nabídek a poptávek, počet přijatých úspěšných a neúspěšných nabídek/poptávek. Pro ilustraci přikládám v obrázku 2.5 a 2.6 výsledky denního trhu z 23.04.2013.



Obrázek 2.5: Výsledné ceny denního trhu z 23.04.2013 [8]

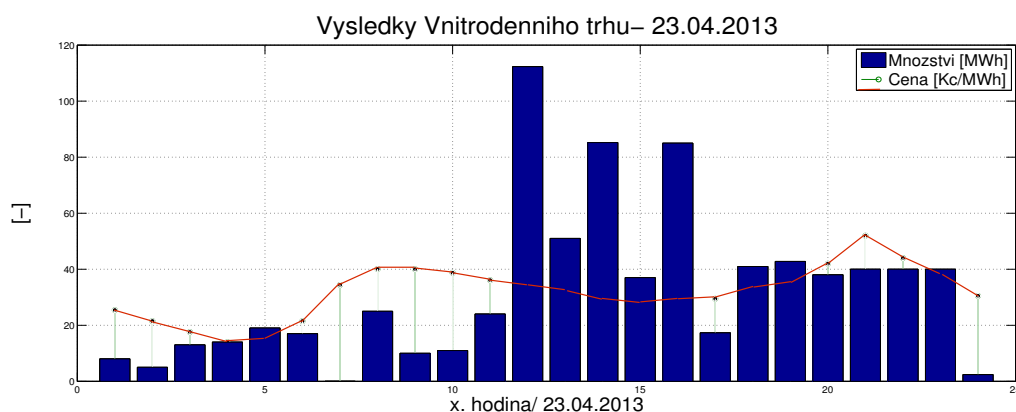


Obrázek 2.6: Zobchodované množství na denním trhu z 23.04.2013 [8]

### (c) Vnitrodenní trh

Hlavním cílem vnitrodenního trhu je, aby obchodníci na krátkodobých trzích mohli vyrovnat a nárazově řešit svůj aktuální přebytek, či nedostatek elektřiny. Snaží se tím vylepšit svou obchodní pozici v době blízké hodině dodávky. Tento princip přispívá k optimalizaci chodu elektrizační soustavy v ČR. Trh je organizován pro jednotlivé hodiny uvnitř obchodního dne a pro daný obchodní den

je v 15:00 předcházejícího obchodního dne otevřen pro všechny hodiny daného obchodního dne. Poté má subjekt zúčtování možnost nabízet/poptávat dodávku, či odběr elektřiny. Uzavírán je tento trh po jednotlivých hodinách. Úkolem OTE je do 30 minut po uzavření každé obchodované hodiny upravit celková sjednaná množství elektřiny pro závazek odebrat či dodat elektřinu z/do ESČR každého SZ o údaje z obchodů uzavřených na vnitrodenním trhu. Upravené hodnoty musí být jednotlivým SZ poskytnuty. Vzhledem k stále narůstajícímu zastoupení OZE a jejich obtížné predikovatelnosti v poslední době prošel tento trh obrovským růstem a je využíván mnohem více obchodníky. Na obrázku 2.7 je vidět celkové zobchodované množství na vnitrodenním trhu z 23.04.2013.



Obrázek 2.7: Výsledky na vnitrodenním trhu z 23.04.2013 [8]

### Trh s regulační energií (Vyrovňovací trh)

Taktéž vyrovňovací trh s regulační energií je provozován OTE. Náplní obchodování na tomto trhu je elektřina, kterou provozovatel přenosové soustavy, u nás ČEPS a.s., využije k regulaci výkonové rovnováhy v elektrizační soustavě, tedy k zajištění regulační energie potřebné k vyrovnaní systémové odchylky. Účastníci trhu nabízí volný výkon 60 minut před začátkem každé dodávky, přičemž je obchodování zde uzavřeno 30 minut před začátkem dodávky obchodní hodiny. Nutno dodat, že nabízená energie k regulaci může být jak kladná, tak záporná. Dalšími možnostmi jak provozovatel přenosové soustavy může bilancovat nerovnováhu elektřiny v elektrizační soustavě je nakoupit/prodat elektřinu ze/do zahraničí. Pro názornou představu je přiložena tabulka 2.2 s daty z vyrovňovacího trhu.

Hodina	RE+ [Kč/MWh]	RE- [Kč/MWh]	RE+ [MWh]	RE- [MWh]
1	-	-1.00	0	-10
2	-	-	0	0
3	-	-	0	0
4	-	-	0	0
5	897.00	-	5	0
6	2350.00	-	0	0
7	-	-	0	0
8	-	2.00	0	-10
9	-	-	5	0
10	-	-	0	0
11	-	-1.00	0	-30
12	-	-1.00	0	-30
13	-	-1.00	0	-30
14	-	-	0	0
15	-	-1.00	0	-50
16	-	-1.00	0	-30
17	-	-	0	0
18	-	-	0	0
19	-	-1.00	0	-50
20	-	-	0	0
21	-	-	0	0
22	-	-	0	0
23	-	-	0	0
24	-	-	0	0

Tabulka 2.2: Data z vyrovnávacího trhu z 23.4.2013 [8]

### Finanční vypořádání obchodů na organizovaném krátkodobém trhu s elektřinou

Finančnímu vypořádání obchodů se věnuje ustanovení §13 vyhlášky č.541/2005 ERÚ. Finanční vypořádání obchodů na organizovaném krátkodobém trhu s elektřinou je nezávislé na skutečných hodnotách dodávek/odběrů elektřiny do/z ESČR. Každý obchodní den do 14:00 hodin oznámí OTE jednotlivým účastníkům trhu informace o velikosti sjednané dodávky/oběru elektřiny v MWh s rozlišením na desetinné místo, dosažených cenách a platbách za sjednaný odběr/dodávku elektřiny.

#### 2.1.2 Obchodování s elektřinou na organizovaných trzích

V současné době obchodování s elektřinou probíhá těmito způsoby:

- (a) Bilaterální obchodování
- (b) Obchodování prostřednictvím brokerských platforem
- (c) Obchodování na burze

##### a) Bilaterální obchodování

Bilaterální obchodování se děje na principu obchodů "Over-the-Counter", který byl



vysvětlen v rámci blokového trhu. Smluvní strany se zde mezi sebou domluví na předmětu dodávky, cenu dodávky a sankci při nedodržení smlouvy, a tuto smlouvu uzavřou. Bylo třeba nějak sjednotit vzory smluv, neboť vzhledem k velkému počtu uzavíraných smluv v krátkém časovém intervalu se stalo bilaterální obchodování pro obchodníky velice nepřehledným. To dalo za vznik celoevropské rámcové smlouvě EFET [7]. Ta se standardně skládá ze tří částí: 1. Základní textová část, 2. Dodatky smlouvy, 3. Election sheet. Základní textová část obsahuje 23 paragrafů a jedná se o základní ujednání dohody od předmětu smlouvy, přes způsoby uzavírání transakcí, technické aspekty realizace dodávek, přerušení dodávek až po problematiku fakturace a daní. Dodatky smlouvy obsahují ve své první části definici pojmů ve smlouvě užívaných a ve druhé vzor konfirmací, určených k potvrzení uzavřených transakcí. Poslední částí je tzv. Election sheet, tedy formulář, ve kterém mají strany možnost se dohodnout na obsahu smlouvy, na tom která ustanovení pro ně budou účinná a která nikoli, případně v jeho druhé části modifikovat smlouvu jimi domluvenými speciálními články, či dodatky. Vypořádáním bilaterálních obchodů strany podstupují riziko nedodržení dodávky či odběru dle smluveného diagramu a riziko nezaplacení odebrané elektřiny.

#### b) Obchodování prostřednictvím brokerských platforem

Broker je společnost, která zprostředkovává obchody mezi dvěma obchodníky, ovšem není součástí transakce, nýbrž za transakci požaduje určitý poplatek. Výhodou brokerských platforem je, že shromáždí všechny dostupné nabídky a poptávky, zpřehlední jejich podmínky (seřazení dle ceny etc.) a tím usnadní obchodníkům obchodování. V Evropě nejvýznamnějšími brokerskými platformami jsou GFI, ICAP, Spectron, Traditional Financial Services a Tullett Prebon.

#### c) Obchodování na burze a burzovní platformy

K úplné představě o obchodování s elektřinou je stále třeba dodat na jakých burzách se v našem prostoru obchoduje. Výhodou burzovního obchodování je anonymita obchodníků a fakt, že protistranou každého obchodu je burza samotná.

Co se týče evropských burz, jsou zde nejvýznamnější tyto tři:

- (a) **EEX** Jedná se o německou komoditní burzu, kde se obchoduje s elektřinou na území Německa, Francie, Rakouska, Švýcarska a České republiky. Mimo to se zde obchoduje s plynem, uhlím a s emisními povolenkami.
- (b) **Nordpool** Tato burza zahrnuje obchod ve skandinávských zemích a dále v Estonku a Velké Británii. Původně byl celý Nordpool vlastněn operátorem přenosových soustav, nicméně dnes vlastní pouze část této burzy.
- (c) **APX-Endex** Tato burza pokrývá obchodování na území Beneluxu. I zde se kromě elektrické energie obchoduje s plynem a emisními povolenkami.

V České republice máme dvě burzovní platformy, jimiž je trh organizovaný OTE a.s. a termínový trh společnosti POWER EXCHANGE CENTRAL EUROPE a.s..

### 2.1.3 Systém zúčtování odchylek

#### 2.1.3.1 Původ odchylek

Naplánovat přesnou výrobu, či spotřebu elektrické energie je velice obtížné. Problémy v predikci výroby elektřiny vznikají především s poruchami výrobních zařízení, těžce předvídatelným počasím a na něm závislých producentů energie, využívajících obnovitelné zdroje energie. Další zanesenou odchylkou je odchylka ve spotřebě konečných zákazníků, neboť ta se předvídá pomocí statistických metod. Zajišťování výkonové rovnováhy v ESČR je nutnou podmínkou pro udržení kvality elektrické energie. Proto v každém čase musí platit následující bilanční rovnice [1]:

$$\begin{aligned} P_{dod} + P_{imp} &= P_{odb} + P_{exp} + P_Z \\ P_{dod} &= P_V + P_{reg+} \\ P_{odb} &= P_S + P_{reg-} \end{aligned}$$

**Kde je:**

$P_{dod}$  [MW] - celková okamžitá dodávka elektřiny do ESČR

$P_{odb}$  [MW] - celkový okamžitý odběr elektřiny z ESČR

$P_V$  [MW] - celková výroba elektrické energie

$P_{reg}$  [MW] - celkový kladný resp. záporný dodaný regulační výkon

$P_S$  [MW] - celková spotřeba elektrické energie

$P_Z$  [MW] - celkové ztráty v ESČR

$P_{imp}$  [MW] - celkový dovoz elektrické energie

$P_{exp}$  [MW] - celkový vývoz elektrické energie

#### 2.1.3.2 Systém zúčtování odchylek

Po liberalizaci trhu s elektřinou vznikl problém jakým způsobem odchylku účtovat. V monopolním modelu bylo odregulování odchylek zahrnuto do celkové ceny dodávané elektřiny, nicméně vzhledem k vysokému počtu subjektů, jejichž dodávky jsou při dopravě společnou sítí nerozeznatelné, je systém zúčtování složitější. Je potřeba náklady vyvolané odchylkami v dodeji/odběru z ESČR vyúčtovat přímo původcům těchto odchylek. Odregulování odchylek provádí provozovatel přenosové sítě ČEPS a.s. dodávkou kladné, či záporné regulační energie a následné zúčtování odchylek provádí OTE. Náklady na regulační energii jsou poté v rámci systému zúčtování odchylek rozděleny mezi účastníky trhu, dle jejich podílu. Ten je stanoven na základě rozdílu mezi obchodními sjednanými a skutečnými dodávkami, či odběry elektrické energie. OTE stanovuje jednotlivým subjektům zúčtování (a jejich přidruženým RÚT) skutečné dodávky a odběry elektřiny v každé obchodní hodině v MWh s rozlišením na jedno desetinné místo (narozdíl např. od SR- zde je zúčtovací období dlouhé 15 min.). Pro toto platí rovnice  $E_{skutSZ} = E_{SZ}^{skutDOD} - E_{SZ}^{skutODB}$ . Odchylka je pak definována jako rozdíl skutečnému saldu energie a sjednaného salda energie, tedy  $O_{SZ} = E_{SZ}^{skut} - E_{SZ}^{sjed}$ . Dle energetického zákona č. 458/2000 Sb. rozlišujeme teď mezi odchylkou subjektu a systémovou odchylkou, která je součtem všech odchylek subjektů zúčtování. Důležité je rozlišovat mezi orientacemi odchylek. Na trhu je zavedený termín "protiodchylka", který značí odchylku subjektu zúčtování, která má opačný směr než systémová odchylka.

### 2.1.4 Specifika pro trh s OZE se zaměřením na FVE

Jedním z důležitých globálních cílů dnes je snížení emisí "skleníkových" plynů a tím zvýšená podpora obnovitelných zdrojů energie. Problémem je ovšem mnohdy závislost obnovitelných zdrojů energie na těžko předvídatelných faktorech, například na klimatických podmínkách. Tím se přispívá k nerovnováze elektrizačních soustav a vůbec obecně k nestabilitě trhu s elektřinou. Státní podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v ČR byla nejprve legalizována zákonem č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů [11], který byl s datem účinnosti 1.1.2013 nahrazen zákonem č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie [12]. Mezi státní intervence, institucionalizované prvním ze zákonů řadíme povinné připojení zařízení vyrábějících energií z OZE do sítě a stanovení výkupních cen elektrické energie vyrobené za využití OZE. Co se týče fotovoltaických elektráren, ty jsou dlouhodobě podporovány formou garantovaných výkupních cen, které jsou vyhlášovány každý rok Energetickým regulačním úřadem a jsou fixovány po dobu 20 let (cena se navíc každý rok valorizuje o minimálně 2 %)[13]. Původní nastavení dotací vedlo do roku 2010 k rapidnímu nárůstu počtu fotovoltaických elektráren. Aby se tomuto zamezilo byla pro další nově postavené solární elektrárny, zejména velkoplošné, podpora značně omezena. Důvodem omezení podpory byla především hrozba vysokého nárůstu ceny elektrické energie pro konečné spotřebitele v důsledku velice nevýhodně stanovených výkupních cen[13]. V roce 2011 byly tyto ceny stanoveny v případě povinného výkupu na 7.50 Kč/kWh bez DPH pro instalace do 30kWp [10]<sup>1</sup>. Tato cena je státem garantována po dobu 20 let. Takový způsob je určen zejména pro instalace, kde není možno realizovat vlastní spotřebu elektrické energie. V případě tzv. "Zeleného bonusu" jde o způsob připojení, kdy je část elektrické energie spotřebovávaná v místě výroby a eventuální přebytky elektrické energie, které zde nejsou spotřebovány jsou dodávány do distribuční sítě. Tento způsob platby je ideální pro domácnosti či objekty, které mají významný podíl vlastní spotřeby elektrické energie. Zde je cena nastavena na hodnotu 6.50 Kč/kWh bez DPH pro instalace do 30kWp [10].

### 2.1.5 Trh s elektřinou v zahraničí

#### 2.1.5.1 Trh s elektřinou v SRN

##### 1. Úvod

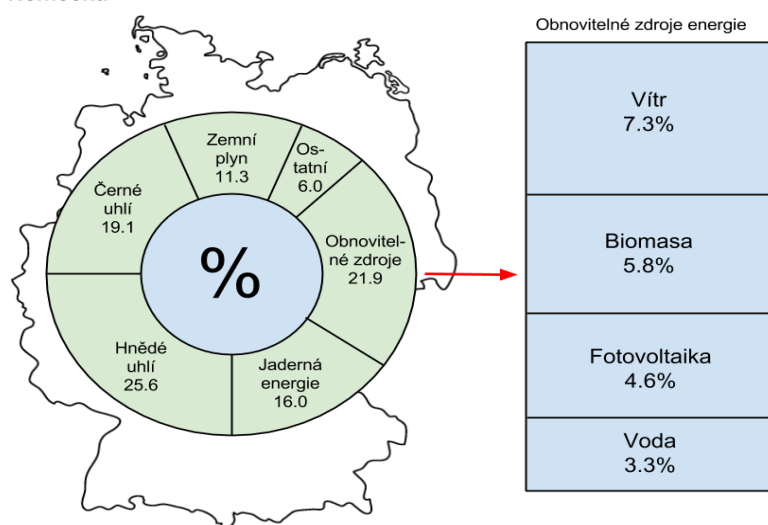
Jeden z největších evropských trhů s elektřinou prošel v posledních letech značným vývojem. Především díky úsilí o zvýšenou integraci elektráren využívající obnovitelné zdroje energie, která byla legislativně zavedena zákonem o přednosti OZE v roce 2000, činil podíl OZE v roce 2012 21.9%, oproti českým 9.3 %. Státní podpora využívání OZE s sebou přináší ovšem spoustu negativních důsledků. V následující části práce bude analyzován trh v SRN z hlediska rozdělení zdrojů energie, územního rozdělení, specifik platících pro OZE a krátkodobých trhů.

##### 2. Výroba elektrické energie [14]

Na obrázku č. 2.8 je vidět jakým způsobem byla rozdělena výroba energie mezi jednotlivé zdroje v roce 2012. Ačkoli jsou s 25,6% nejvíce zastoupeny hnědouhelné elektrárny,

<sup>1</sup>Watt-peak (Wp) je jednotka špičkového výkonu fotovoltaické elektrárny při standardních podmínkách (kolmý dopad energie na fotovoltaický panel o hodnotě  $E=1 \text{ kW/m}^2$  při teplotě článků  $T=25 \text{ C}$  a průzračnosti atmosféry  $A_m=1.5$ )

Výroba elektřiny dle zdrojů energie v roce 2012 v Německu



Obrázek 2.8: Rozdělení výroby elektrické energie v SRN, 2012 [14]

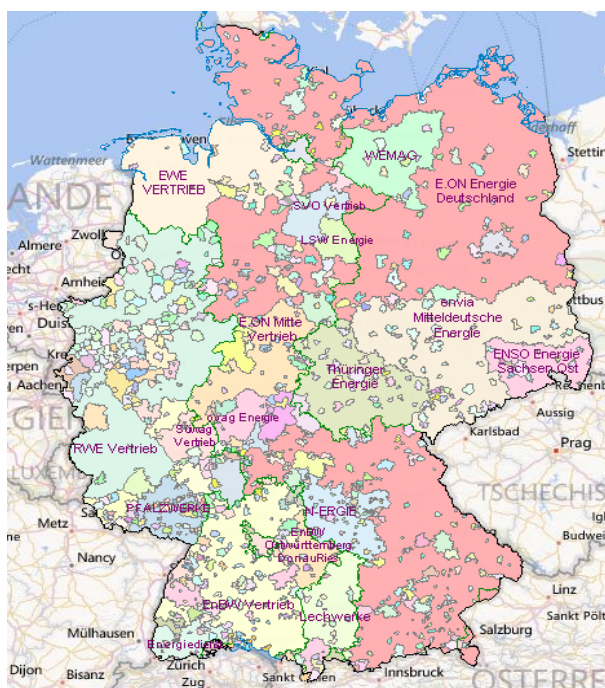
je téměř dvacetidvou procentní podíl OZE poměrně vysoký. Co se týče zastoupení FVE, to je s celkovými 4,6% třetím největším obnovitelným zdrojem el. energie. Jeho podíl, jak si můžeme všimnout v obrázku 2.11, se začal zvyšovat počátkem roku 2000 v souvislosti se vstupem "zákona na přednost obnovitelných zdrojů energie" do účinnosti.

### 3. Struktura výroby elektrické energie[15]

Pro pochopení zvláštnosti trhu s elektřinou v Německu je třeba znalost vlastnických poměrů výroben a distribučních sítí. V důsledku historicky vzniklých struktur zde existují čtyři největší hráči ve výrobě energie (E.ON, RWE, EWE a EnBW). Tito vlastní zhruba 75% kapacity produkce elektrické energie v rámci všech elektráren. Vedle hlavních výrobců na trhu najdeme další produkce elektřiny patřící komunálním službám, či velkým továrnám. Tyto jsou zejména typu zemního plynu, či uhelné (většinou kombinované výroby elektřiny a tepla). Velká část měst a regionálních dodavatelů jsou skrz finanční podíly integrovány do koncernových strategií zmíněných čtyřech velkých hráčů. Toto vede k hromadění moci v rukou malého počtu hráčů a přináší riziko tržní cenové manipulace. Na obrázku 2.9 na straně 18 je tato situace lépe zobrazena.

### 4. Mechanismy a instituce regulace trhu s elektřinou[16]

Ačkoli došlo v roce 1998 k liberalizaci trhu s elektřinou, je přenos a distribuce elektrické energie po novele zákona o energetice v roce 2005 federálně regulována tzv. Bundesnetzagentur, sídlící v Bonnu. Tato je taktéž zodpovědná za regulaci trhu s plynem, telekomunikacemi a drahami. Mimo to existují v některých spolkových zemích zemské regulační orgány. Tyto mají za cíl kontrolovat ceny za dodané množství elektřiny evtl. stanovovat horní limity. Od roku 2009 provozují tyto regulační úřady nové, tzv. motivačně-regulační metody. Pro tento účel se vypočítá tzv. hodnota účinnosti. Ta se



Obrázek 2.9: Hlavní výrobci elektrické energie na německém trhu[15]

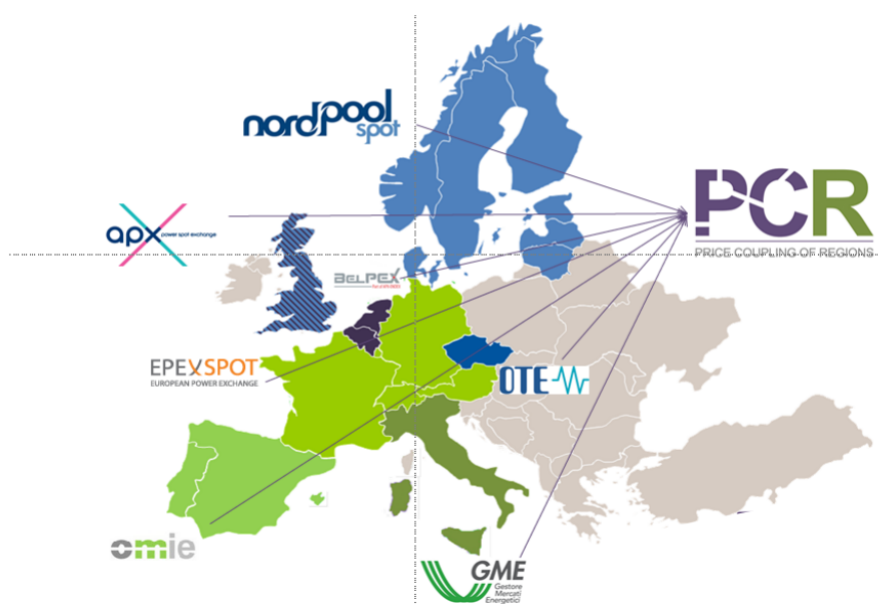
stanovuje pro každou společnost zvlášť, dle jejích nákladů na provoz sítě ve srovnání s čistými náklady srovnatelných společností. V případě zjištěných neefektivností, tj. při vysokých nákladech za stejný výkon, omezí regulační úřad příjmy ze síťových poplatků a stanoví maximální cenové stropy. Provozovatel sítě je takto nucen v průběhu několika let snížit své náklady na provoz sítě a zvýšit svou efektivitu.

##### 5. Obchodování s elektrickou energií

Liberalizace trhu s elektrickou energií dala za vznik novým tržním mechanismům. Na těchto trzích se střetávají obchodníci s elektřinou, dodavatelé, provozovatelé elektráren a koordinují výměnu el. energie. Větší část obchodů je uskutečňována bilaterálně pomocí makléřů a brokerů. Nejvýznamnější krátkodobý trh s elektřinou poskytuje burza EPEX SPOT SE, která vznikla spojením burz Powernext a EEX. EPEX SPOT působí v SRN, Francii, Rakousku a Švýcarsku, přičemž Německo s Rakouskem tvoří společnou cenovou zónu. Mapa na obrázku č. 2.10 ukazuje jednotlivé organizátory krátkodobých trhů v Evropě. Burza EPEX SPOT má více než 200 členů [19], mimo jiné z českých můžeme jmenovat společnosti ČEZ a.s., Ekologické zdroje s.r.o., či Energy trading company s.r.o.. V roce 2012 odpovídalo množství zobchodované na burze 339TWh [17]. Burza rozlišuje dva druhy trhů:

###### (a) Day-Ahead trhy

Na Day-Ahead trzích se konají aukce, ve kterých se jednou za den setkají agregované křivky poptávky a nabídky a tím jsou určeny ceny anonymně, transparentně a bezpečně. Účastníci burzy odevzdávají své nabídky a poptávky do registru a



Obrázek 2.10: Vývoj zastoupení jednotlivých zdrojů OZE v SRN, 1990-2011 [15]

tento se ve 12:00 uzavře. Na burze je posléze spočítán průsečík křivky poptávky a nabídky a výsledky jsou zveřejněny ve 12:40 [17].

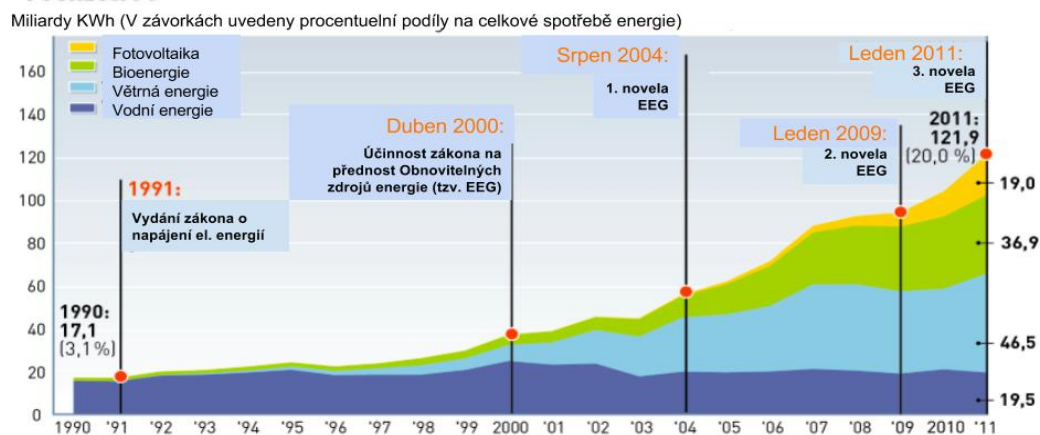
(b) Intraday trhy

Na intraday trzích se obchoduje nepřetržitě. Do registru jsou nabídky a poptávky po energii zapisovány kontinuálně, jakmile se setká nabídka s poptávkou je transakce provedena. Obchodováno může být až do doby 45 minut před fyzickým uskutečněním dodávky. Počínaje 14.12.2010 je možné provádět přesahovací transakce mezi SRN a Francií a od roku 2012 po zavedení Intraday trhu v Rakousku i zde. Důležitým novým počinem na tomto typu trhu bylo zavedení tzv. 15 minutových kontraktů oproti standardním hodinovým. Tímto mohou členové burzy vyrovnat svá portfolia nabídek a poptávek i během jednotlivých hodin a tím vyrovnávat výkyvy výroby elektřiny v elektrárnách využívajících OZE. Hlavním cílem je tedy stabilita elektrizační soustavy. 15 minutové kontrakty se otevírají vždy 2 hodiny před danou dodávkou energie a uzavírají se 45 minut před danou 15 minutovou dodávkou. Hned v prvním dnu zavedení, bylo takto zobchodováno 177.5 MWh [18].

6. Zákon na podporu OZE

Důležitým instrumentem na trhu s elektřinou je tzv. Zákon na podporu OZE, neboli das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Tento reguluje odkupování a ocenění elektrické energie pocházející z OZE. Takto vyrobená elektrická energie je odebrána provozovateli přenosových soustav, přičemž jsou stanoveny cenová minima, dle druhů zdroje. Provozovatel distribuční sítě dodá energii provozovateli přenosové soustavy a obdrží náhradu nákladů za připojení. Následuje celostátní kompenzace takto zobchodovaných objemů provozovateli distribučních sítí. Podle EEG jsou všichni dodavatelé elektrické energie ke konečným zákazníkům povinni, dle objemu prodejů konečným zákazníkům, odebrat

### Vývoj produkce elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v Německu v letech 1990-2011



Obrázek 2.11: Organizátoři krátkodobých trhů s elektřinou [22]

federálně pevně stanovené množství elektrické energie vyrobené OZE a vyplatit stanovenou cenu výrobcům "čisté" energie. V roce 2013 tato cena činí zhruba 14 centů/kWh. [20] Finanční podpora využívání OZE má ovšem i negativní dopad na trh s elektrickou energií [21]. Maloobchodní ceny se dále zvyšují, aby pokryly náklady na výstavbu nových solárních a větrných elektráren, to odporuje situaci na velkoobchodním trhu, kde ceny tlačí dolů nadměrná výroba státně podporované "čisté" elektřiny. Hlavní problém plynoucí z vysokých vyprodukovaných objemů solárních elektráren je v tom, že ve špičce poptávky snižuje ceny právě energie pocházející ze slunečního záření (Kolem poledne se ceny elektřiny původně zvyšovaly, protože se zvyšovala poptávka). Navíc nyní výrazně klesla cena a náklady na instalaci FVE. Všechny tyto problémy velice zneštábilňují trh s elektřinou v SRN. Obrázek č. 2.11 ukazuje vývoj OZE. V 1. novele EEG došlo k implementaci směrnice EU 2001/77/EG o podpoře OZE a cílem 2. novely je dosáhnout 35% podílu elektřiny pocházející z OZE.

## Kapitola 3

# Praktická část

### **Analýza vlivu FVE na systémovou odchylku a obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou**

Cílem praktické části bakalářské práce je v první řadě zjistit, zda-li a jaký vliv má stále se zvyšující zastoupení obnovitelných zdrojů energie na chod přenosové soustavy a na obchodování na trhu s elektřinou. Abychom toto mohli prokázat, bude spočten rozdíl mezi množstvím skutečně vyrobené a predikované elektrické energie z fotovoltaických elektráren a to v období od 01/2012 - 08/2013. Tento následně zpracuji, zjistím střední hodnotu rozdílu, ve kterou hodinu lze čekat nejvyšší rozdíly, či jak vypadá průměrný den z pohledu těchto rozdílů. Pro zjištění závislosti chyby predikce na systémové odchylce, zobchodovaném množství a cen na různých typech trhů budou spočtena kovariance, korelace a stanoven koeficient závislosti pomocí lineární regrese. Ze spočtených hodnot bude možné zjistit jaká byla úspěšnost provedené analýzy a zda se dají činit závěry, případně jaké, pro vliv obnovitelných zdrojů na trh s elektřinou v České republice.



### 3.1 Analýza vlivu FVE na systémovou odchylku a obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou

Pro vyhodnocení dat jsem se rozhodl využít softwaru MATLAB. Data, ze kterých práce vychází pokrývají období od ledna 2012 do srpna 2013 po jednotlivých hodinách. Většina těchto údajů je volně dostupná na webových stránkách OTE a.s. [8], či na stránkách ČEPS a.s. [9], kromě odhadu výroby FVE. Ten je pro obchodníky s elektřinou velice zásadní a proto není volně dostupný. Pro větší názornost analýzy dat, budou tato vyhodnocována zvlášť, dle jednotlivých skupin:

1. Neredukovaná data
2. Den: 6:00-22:00 hodin
3. Sluneční den: 9:00-14:00 hodin
4. Pracovní dny
5. Nepracovní dny

V MATLABu implementuji funkci, jejíž hlavními argumenty jsou *odhad výroby FVE 2012/13, skutečná produkce FVE 2012/13, systémová odchylka 2012/13*. Jejím úkolem bude nejprve zpracovat a porovnat fakticky dodanou energii z FVE s předpovídanou, a tedy zjistit přesnost předpovědi. Pro tyto účely funkce vykreslí graf a spočítá střední hodnotu odchylky a střední kvadratickou fluktuaci (rozptyl). Tímto zjistím jak je spočítaná střední hodnota kvalitní, respektive jak se moc data od sebe liší. Následně rozdělím získaný rozdíl mezi skutečnou a predikovanou produkcí FVE do vhodného počtu skupin, dle hodnoty rozdílu v [MW] a zjistím jejich četnost. V těchto intervalech pro přehled taktéž spočítám jejich střední hodnotu a rozptyl.

Dalším bodem analýzy je zjistit závislost rozdílu skutečné a predikované výroby energie FVE (dále jen dFVE) na celkové systémové odchylce v přenosové soustavě, zúčtovací cenu a obchodování na krátkodobých trzích, včetně trhu vyrovnávacího. V práci bude tato analýza provedena pro nejpočetnější skupinu dat- neredukovaná data. V ostatních skupinách bude zpracována analýza dFVE, aby bylo zřejmé ve kterých časových intervalech činí predikce největší problémy. Cílem analýzy závislosti dat je vyzorovat, zda-li problematická predikce FVE (v ohledu na problematickou dlouhodobou předpověď počasí) skutečně tolik ovlivňuje a zneštábilňuje přenosovou soustavu a dále jakým způsobem stimuluje obchodování s elektřinou na těchto trzích, případně poukázat na nesrovnalosti ve výsledcích a zamyslet se jak tyto mohly vzniknout.

#### 3.1.1 Obecný popis provedené analýzy

##### 1. Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný

Zde budou zobrazeny tři grafy. První graf srovnává skutečnou výrobu el. energie ve FVE s výrobou predikovanou. Druhý graf zobrazuje čistý rozdíl mezi výrobou skutečnou a predikovanou a úkolem třetího grafu je zobrazit průměrný den a průměrné směrodatné odchylky. Poté bude spočtena střední hodnota rozdílu mezi skutečnou a

predikovanou výrobou a rozptyl, přičemž data pro spočtení těchto parametrů jsou v absolutní hodnotě (rozdíly mohou být kladné i záporné, což pro určení přesnosti predikce není směrodatné).

Střední hodnotu  $n$  získaných dat stanovíme jako aritmetický průměr dat podle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde:

$x_i$  ... hodnota  $i$ -tého stavu

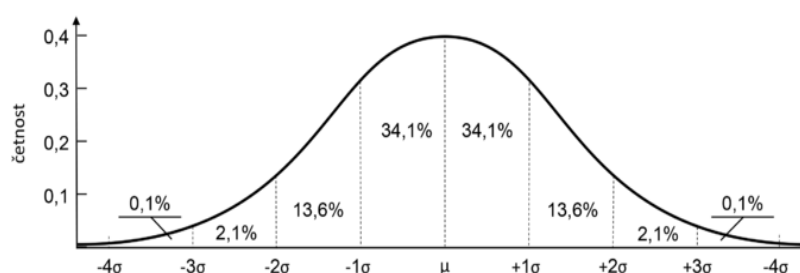
$p_i$  ... pravděpodobnost  $i$ -tého stavu této střední hodnotě odpovídá empirický rozptyl:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

a empirická směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Směrodatná odchylka stejně jako rozptyl vypovídají o tom jak moc se zkoumané vzorky od sebe navzájem liší. Tyto parametry vyjadřují rozptyl hodnot kolem střední hodnoty, tedy jak se hodnoty od této střední hodnoty liší, případně jak hustě jsou kolem střední hodnoty seskupeny. O tom jak jsou vzorky diversifikovány dle směrodatné odchylky, předpokládáme-li normální rozdělení hodnot, vypovídá pravděpodobnostní rozdělení spojitě naměřené veličiny na obrázku 3.1. Pro spočtení těchto parametrů bude využit software MATLAB a příkazy `mean(dFVE)`, `var(dFVE)` a `std(dFVE)`.



Obrázek 3.1: pravděpodobnostní rozdělení spojitě náhodné veličiny dle hodnoty směrodatné odchylky [23]

Z těchto hodnot bude možné určit jak jsou predikce přesné a především, vzhledem ke granulaci dat, bude možné říci pro kterou skupinu je predikce nejpřesnější/nejnepřesnější a tím ve který čas je predikce nejobtížnější.

## 2. Sloupcový model četnosti dat

Vzhledem k hodnotám dFVE, rozdělím hodnoty odchylek FVE do následujících skupin dle rozdílu v MW:

1.  $\rightarrow \langle -1, 1 \rangle$
2.  $\rightarrow \langle -20, -1 \rangle (1, 20)$
3.  $\rightarrow \langle -100, -20 \rangle (20, 100)$
4.  $\rightarrow \langle -250, -100 \rangle (100, 250)$
5.  $\rightarrow \langle -500, -250 \rangle (250, 500)$
6.  $\rightarrow \langle -\infty, -500 \rangle (500, \infty)$

Sloupcový model zobrazuje ve sloupcovém grafu četnost jednotlivých skupin rozdílů mezi výrobou FVE skutečnou a predikovanou. Tím jak se bude graf měnit, bude možné dedukovat v jakých časových intervalech je predikce nejméně, či nejvíce přesná.

## 3. Závislost rozdílu predikce a výroby na určitých veličinách

Jak již bylo zmíněno, budeme závislost mezi dFVE a jinými veličinami zkoumat na základě spočtení kovariance, korelace a testu středních hodnot. Co se týče spočtení kovariance a korelace budou data z dFVE rozdělena na kladná (vyrobilo se více než bylo predikováno- přebytek el. energie) a záporná (nedostatek el. energie). Je to jednak z toho důvodu, že kladná a záporná energie má pro obchodníky s elektřinou odlišný význam a také protože by záporná korelace ovlivňovala tu kladnou a v důsledku toho by data mohla vyjít kupříkladu nekorelovaná.

### Kovariance

O závislosti dvou veličin do určité míry vypovídá kovarianční matic. Kovarianční koeficienty použijí pro zjištění, zda-li mezi veličinami existuje vůbec nějaká závislost. Mohu je jednoduše získat pomocí MATLAB funkce  $cov(X, Y)$ , kde X a Y odpovídají zkoumaným datům. Pokud by X a Y byly nezávislé, pak by vycházelo  $cov(X, Y) = 0$ . Zjištěním, že jsou veličiny závislé má smysl poté pokračovat ve zkoumání korelace a zjistit míru jejich závislosti.

### Korelace

- (a) Alternativní hypotéza:  
Rozdíl ve skutečné výrobě a predikce výroby je korelovaný se zkoumanými daty.
- (b) Nulová hypotéza:  
Rozdíl ve skutečné výrobě a predikce výroby je nekorelovaný se zkoumanými daty.
- (c) Řešení:
  - i. Nejprve bude korelace zkoumána pomocí nástroje MATLABu- scatterplot

Zde budou data ke zjištění korelace graficky zobrazena a následně bude pro zjištění závislosti provedena lineární aproximace dat.

ii. Poté bude tento ověřen výpočtem koeficientu korelace takto:

- A. Výpočet: Realizace výběrového koeficientu korelace:  
Realizaci výběrového koeficientu korelace vypočteme dle následujícího vzorce:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2)(\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2)}}$$

- B. Výpočet testovací statistiky:  
Pro výpočet je nutné spočítat testovací kritérium t:

$$t = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

toto má studentovo rozdělení  $t(n-2)$ . N je v našem případě počet hodin, které zkoumáme. Kritická hodnota pro 5% hladinu významnosti je  $qT(\text{počet hodin})(0.975)$ . Z toho plyne, že pokud platí  $qT(\text{počet hodin})(0.975) > t$ , není možno hypotézu zamítnout.

- C. Výpočet hladiny významnosti testu:  
Tuto vypočteme dle následujícího vzorce:

$$v = 2(1 - F_{T(n-2)}(t))$$

Dosaženou hladinu významnosti porovnáme s 5%. V případě, že je vyšší nepovažujeme tento výsledek za staticky významný.

### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Data rozdílu predikce a skutečné výroby budou rozdělena dle skupin vulkanického modelu. V rámci těchto skupin bude spočtena střední hodnota a směrodatná odchylka vzorků zmíněného rozdílu a vzorků další zkoumané veličiny. Dle jejich hodnot a změn v jednotlivých skupinách bude možné vysledovat, zda-li závislost mezi zkoumanými veličinami existuje, či nikoli.

### Výčet testovaných dat:

#### (a) Systémová odchylka/Regulační energie a zúčtovací cena

Bude se zkoumat závislost dFVE na systémové odchylce, jak již bylo popsáno pomocí kovariance, korelace a spočtení středních hodnot. Vedle toho bude uveden graf procentuálního projevení dFVE v systémové odchylce pro zjištění vlivu dFVE na systémovou odchylku. Ještě jednou krátce zopakují co znamenají pojmy

systémová odchylka a regulační energie, které jsou pro tuto čas analýzy stěžejní.

#### Systémová odchylka

Výrobci/Obchodníci s elektřinou plánují výrobu předem a pokud dodají do přenosové soustavy jiné než smluvené množství jsou poté sankcionováni. Tyto pokuty jsou stanovovány Energetickým regulačním úřadem každý rok. Systémová odchylka (SO) je součtem individuálních odchylek mezi smluveným a skutečně dodaným výkonem. Za tyto odchylky je, jak již bylo řečeno na začátku mé práce zodpovědný subjekt zúčtování. Pro informaci zde průměrné platby za odchylku v Kč/MWh od roku 2006 do 2010 při kladné a při záporné systémové odchylce.

Rok	SO + [Kč/MWh]	SO + [Kč/MWh]	SO - [Kč/MWh]	SO - [Kč/MWh]
	Odchylka SZ +	Odchylka SZ -	Odchylka SZ +	Odchylka SZ -
2006	-93.30	17.96	1991.26	2237.39
2007	-342.38	-80.76	2555.33	2925.82
2008	-602.66	-435.10	2800.65	3213.24
2009	-522.26	-386.42	2997.59	3382.30
2010	-409.09	-269.08	2577.87	3141.33

Tabulka 3.1: Průměrné platby za odchylku v Kč/MWh od roku 2006 do 2010 při kladné a při záporné systémové odchylce

Úkolem provozovatele přenosové soustavy je vyrovnat vzniklé odchylky. To se děje skrz zajištění tzv. regulační energie. Poté dojde k finálnímu vypořádání odchylek, tedy určení kdo a kolik zaplatí za regulační energie, což zajišťuje OTE. Každý výrobce/obchodník je sankcionován za dodání nadbytku, či nedostatku elektřiny do přenosové soustavy. Sankce, subjektem trhu zaplacená, je použita na uhrazení části poplatku za systémové služby. Zbývající část poplatku za systémové služby je naúčtována každému konečnému spotřebiteli ve výsledné ceně jako “cena za systémové služby”.

Dále bude zkoumána závislost dFVE na **zúčtovací ceně** za systémovou odchylku.

- Je-li systémová odchylka záporná nebo rovna nule, je zúčtovací cenou protiodchylky vážený průměr cen z aktivované kladné regulační energie (včetně vyrovnávacího trhu). Nebyla-li v této obchodní hodině dodána žádná elektřina podle §24 odst. 2 vyhlášky č. 541/2005 Sb., použije se cena stanovená ERÚ.
- Je-li systémová odchylka kladná, je zúčtovací cenou protiodchylky vážený průměr cen z aktivované záporné regulační energie (včetně vyrovnávacího trhu). Nebyla-li v této obchodní hodině dodána žádná elektřina, použije se taktéž cena stanovená ERÚ.<sup>[11]</sup>

### (b) Obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou

Zde bude zkoumána závislost mezi dFVE a:

- 1) Zobchodovaným množstvím a jeho cenou na vnitrodenním trhu (VDT)
- 2) Zobchodovaným množstvím a jeho cenou na denním trhu (DT)
- 3) Poptávkou, nabídkou a nákupem na vyrovnávacím trhu (VT)

## 3.1.2 Vlastní analýza

### 3.1.2.1 Neredukovaná data

#### 1. Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný

Jak již bylo řečeno, nejprve se zaměřím na srovnání fakticky dodaného výkonu FVE s predikovaným výkonem FVE, abych zjistil vůbec v jakém rozmezí se odchylky pohybují a jaké přesnosti dosahují predikce FVE. Toto zobrazují grafy na obrázku 3.2 a 3.3.

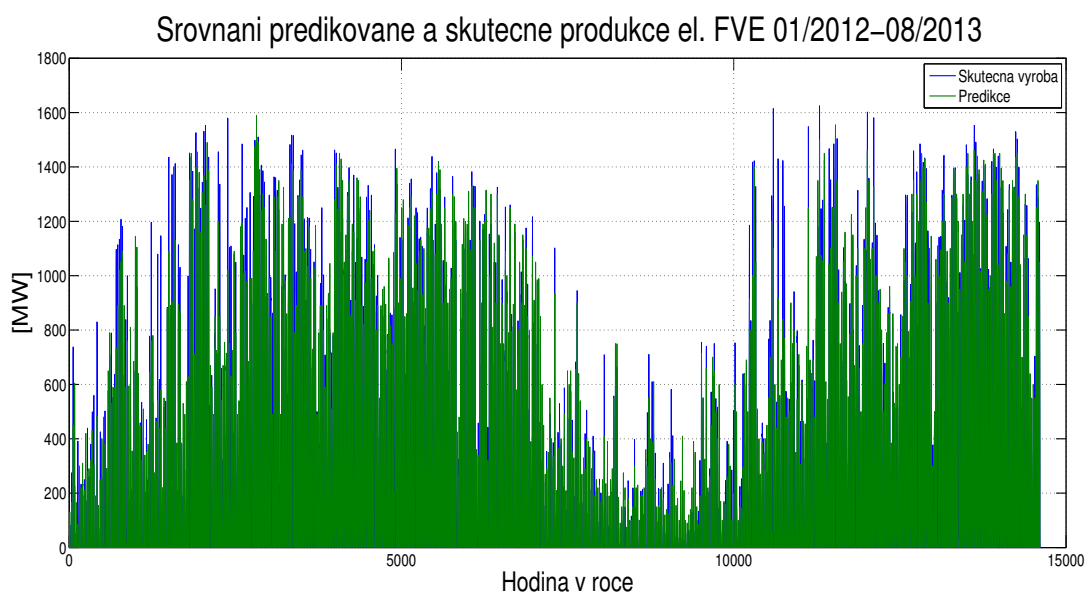
**Výsledná data:**

$$\bar{x} = 60.06 \text{ MW}$$

$$s^2 = 1.34 \cdot 10^4$$

$$s = 115.56$$

Hodnotu 60.06 MW odpovídající střední hodnotě rozdílu mezi odhadem výroby FVE a skutečnou produkcí FVE můžeme považovat za poměrně uspokojivou, pokud vezmeme v potaz průměrnou skutečnou výrobu FVE, která činí 264.74 MW, složitou dlouhodobou předpověď počasí a další jevy výkon ovlivňující. Předpokládáme-li normální rozdělení dFVE, pak se 99.9% nachází v intervalu od  $-3 s$  do  $3 s$ , tedy v  $(-346.67, 346.56)$  a o 68.12% dat lze tvrdit, že se nachází v intervalu  $(-115.56, 115.56)$ . V příloze A (granulace dat a související změny dFVE) je zobrazeno jakým způsobem se mění predikovatelnost v různých hodinových intervalech, či v pracovních/nepracovních dny.

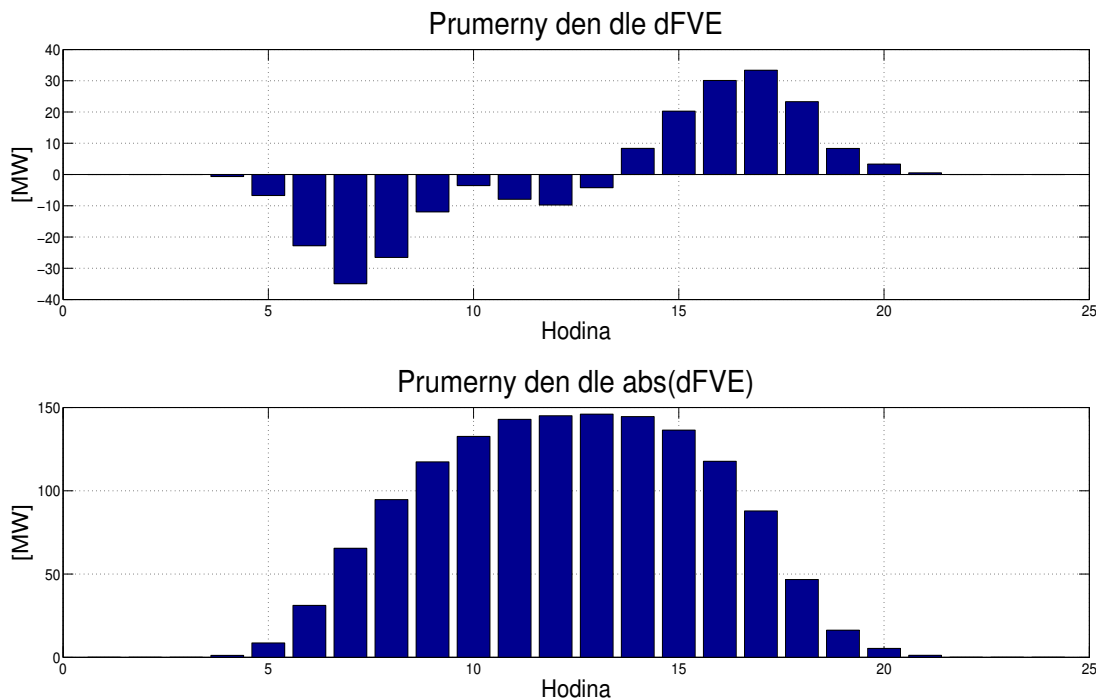


Obrázek 3.2: Srovnání skutečně dodaného a predikovaného výkonu FVE 2012/13



Obrázek 3.3: Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE

## Průměrný den



Obrázek 3.4: Průměrný den dle dFVE

Obrázek č. 3.4 ukazuje průměrný den dle dFVE v období od 01/2012 do 08/2013 odpovídající neredukovaným datům. V první části grafu jsou hodinová data dFVE původní a ve druhé části je pro názornost spočtena vždy absolutní hodnota hodinových dat dFVE. Z grafu lze vyčíst, že největší potíže s předpovědí produkce fotovoltaických elektráren jsou kolem poledne, úplně nejvíce pak od 12:00 do 13:00. Zde predikce dosahuje chyb kolem 150 MW. Naopak je pochopitelné, že v nočních hodinách jsou rozdíly nulové.

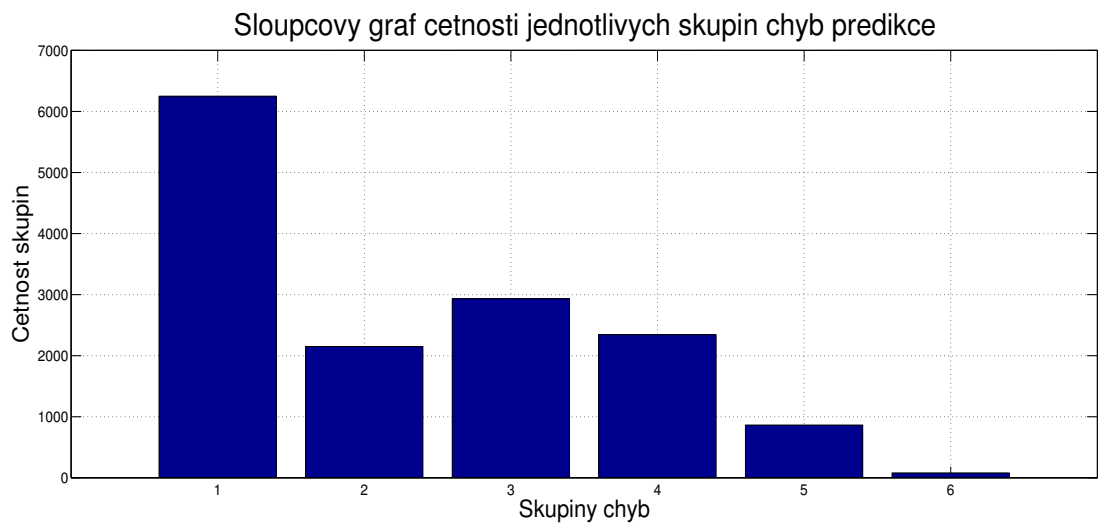
## 2. Sloupcový graf četnosti dat

Ze sloupcového grafu lze vidět, že nejvíce je zastoupena první skupina s 6250 hodinami v intervalu  $dFVE < -1, 1 >$  MW. Přičemž naprostá většina je nulová, vzhledem k tomu, že byla předpovídána nulová výroba a taková vskutku byla (v nočních hodinách). Druhou nejpočetnější skupinou je skupina s rozdílem od 100 do 250 MW s 2343 hodinami. 79 členů a tím nejméně má skupina poslední, která reprezentuje množinu rozdílů od 500MW výše. Pro informaci uvádím střední hodnoty jednotlivých skupin.

$$1.skupina : \mathbf{EX} = 0.0217$$

$$2.skupina : \mathbf{EX} = 7.7805$$





Obrázek 3.5: Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového grafu

3.skupina :  $EX = 54.6912$

4.skupina :  $EX = 161.1278$

5.skupina :  $EX = 320.6301$

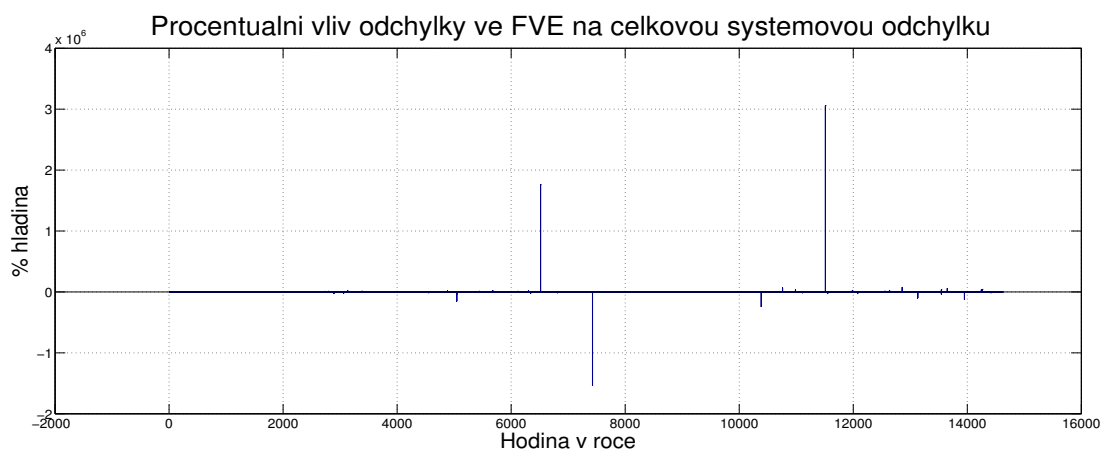
6.skupina :  $EX = 586.8658$

### 3. Závislost rozdílu predikce a výroby na veličinách

#### (a) Systémová odchylka a zúčtovací cena

##### i. Závislost dFVE a Systémové odchylky

Nejprve uvedu v grafu na obrázku č. 3.6 jak se procentuelně promítá dFVE do celkové systémové odchylky.



Obrázek 3.6: Procentuální vliv odchylky FVE na celkovou systémovou odchylku

Jak je z grafu č. 2.6 vidět některé hodiny (př. 11431) vykazují ohromnou procentuální závislost odchylky FVE na systémové odchylce, zde přesněji dojde až k 10000%. Odchylka ve FVE, která právě 11431 hodinu nastala tedy mnohonásobně převyšuje systémovou odchylku. Patrně jediné vysvětlení tohoto faktu je, že obchodníci s FVE elektřinou vyrovnávali v tuto hodinu vysokou odchylku mezi nasmlouvaným a skutečně dodaným výkonem a získali elektrickou energii jinak (např. přeshraniční), aby dodali jak bylo smlouveno. To ovšem z dat, na kterých zkoumám závislost, nemohu ověřit. Graf tedy ukazuje, že obchod s elektřinou je velice běžný a že jsou situace, kdy je potřeba vyrovnávat poměrně veliký rozdíl mezi smlouvenou (predikovanou) dodávkou energie do soustavy a skutečně vyrobenou. V další analýze již tohoto grafu nebudu využívat.

### Kovariance mezi dFVE a systémovou odchylkou

#### A. Kladné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nadbytkem energie (kladnými hodinovými hodnotami dFVE) a celkovou systémovou odchylkou vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE+, SO) = \begin{pmatrix} 12427 & \mathbf{5064} \\ \mathbf{5064} & 12558 \end{pmatrix}$$

Hodnoty v matici vychází větší než nulové, je možno konstatovat, že změřená data jsou závislá.

#### B. Záporné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nedostatkem energie (zápornými hodinovými hodnotami dFVE) a celkovou systémovou odchylkou vychází takto:

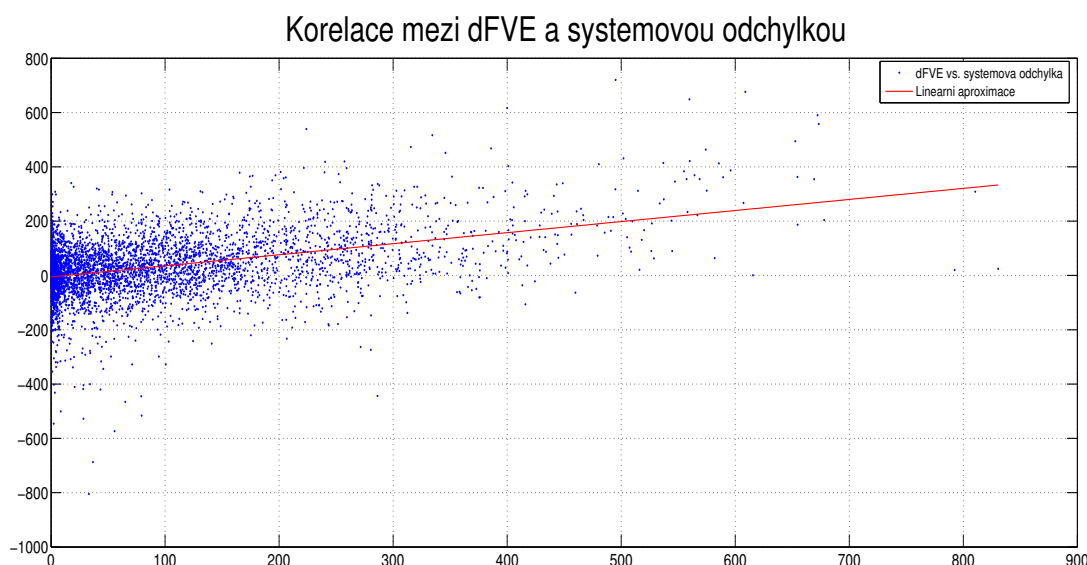
$$\text{cov}(dFVE-, SO) = \begin{pmatrix} 12667 & \mathbf{5320} \\ \mathbf{5320} & 12827 \end{pmatrix}$$

### Korelace mezi dFVE a systémovou odchylkou

#### A. Kladné hodnoty dFVE

##### Grafické řešení

Vzhledem k umístění dat je vidět, že jsou korelovaná. Pomocí Curve Fitting Toolbox, který je součástí softwaru MATLAB mohu provést lineární aproximaci a zjistit koeficient, přes který jsou data na sebe závislá (nikoli koeficient korelace).



Obrázek 3.7: Korelační graf mezi dFVE a Systémovou odchylkou

```

fitresultPlus =

Linear model Poly1:
fitresultPlus(x) = p1*x + p2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
    p1 =      0.4075   (0.3805, 0.4344)
    p2 =     -5.318   (-9.332, -1.304)

gofPlus =

    sse: 4.6744e+07
  rsquare: 0.1643
    dfe: 4453
adjrsquare: 0.1641
    rmse: 102.4562

```

Směrnice "nafittované" přímky nám udává koeficient závislosti dFVE a systémové odchylky.

$$\mathbf{Koeff\_zav} = 0.40$$

. Pro mou práci tento výsledek znamená, že 100 megawattový rozdíl mezi predikovanou a skutečnou výrobou el. energie způsobí zhruba 40 megawatt v systémové odchylce. Tedy bereme v potaz, že obchodníci s elektřinou se snaží dodat smluvené množství elektřiny a v případě přebytku dokoupit zápornou energii, či opačně energii kladnou a to nějakým ze způsobů zmiňovaných v teoretické části. Dále Matlab Curve Fitting Tool spočetl tyto parametry:

$$sse = 4.67 \cdot 10^7$$

Sse hodnota odpovídá celkové deviaci výsledných nafittovaných hodnot k

hodnotám zobrazeným.

$$r^2 = 0.16$$

Parametr  $r^2$  odpovídá přesnosti fittování.

$$rmse = 109.12$$

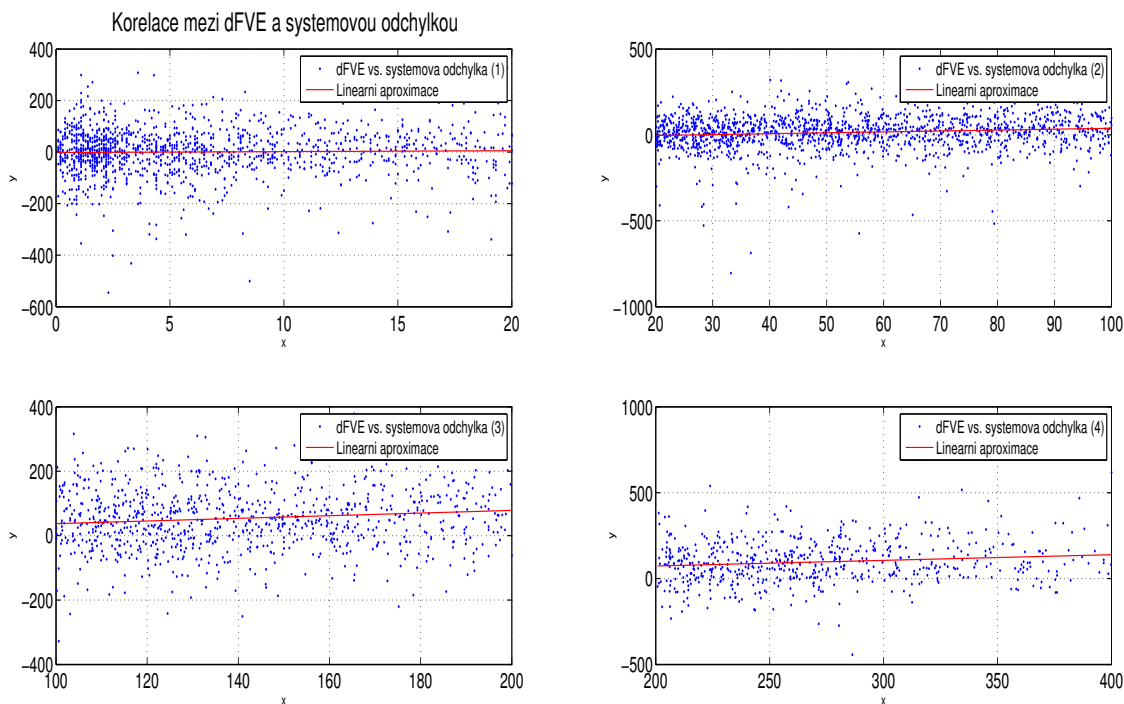
Tedy RMS standardní chybu matematické regrese.

### Intervalový model korelace

Ve intervalovém modelu zjistíme závislost graficky pro následující skupiny dFVE. Tyto jsou rozděleny takto:

1.  $\rightarrow (0, 20)$
2.  $\rightarrow (20, 100)$
3.  $\rightarrow (100, 200)$
-li>
4.  $\rightarrow (200, 400)$

Tímto modelem na obrázku č. 3.8 bych chtěl zjistit ve kterých případech je závislost mezi dFVE a systémovou odchylkou vyšší a kdy je naopak nižší, jednodušeji řečeno, která data dFVE ovlivňují systémovou odchylku nejmarkantněji.



Obrázek 3.8: Korelační grafy mezi dFVE a Systémovou odchylkou dle rozdělení intervalového modelu

Dostávám tyto výsledky:

Pro: **1.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.35, RMS = 90.75$

Pro: **2.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.53, RMS = 101.36$

Pro: **3.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.41, RMS = 98.03$

Pro: **4.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.33, RMS = 123.39$

Největší míru závislosti pozorujeme mezi daty dFVE a systémovou odchylkou v mezích  $\rightarrow (20, 100)MW$ , pro které byl koeficient závislosti spočten na 0.53.

### Numerické řešení

Korelační koeficient se dá dle předchozí definice taktéž jednoduše spočítat za pomoci softwaru MATLAB a funkce *corrcoef*. Pomocí příkazu:

```
[kor_koef, dos_vyzn, DM_intspol, HM_intspol] = corrcoef(dFVE, SysOdch);
```

kde: **kor\_koef** = realizace výběrového koeficientu korelace, **dos\_vyzn**= dosažená hladina významnosti testu, **DM\_intspol** = dolní mez intervalu spolehlivosti, **HM\_intspol**= horní mez intervalu spolehlivosti.

Funkce vrátí maticové výsledky,

$$\mathbf{kor\_koef} = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.41 \\ 0.41 & 1.00 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{dos\_vyzn} = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{DM\_intspol} = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.38 \\ 0.38 & 1.00 \end{pmatrix}$$

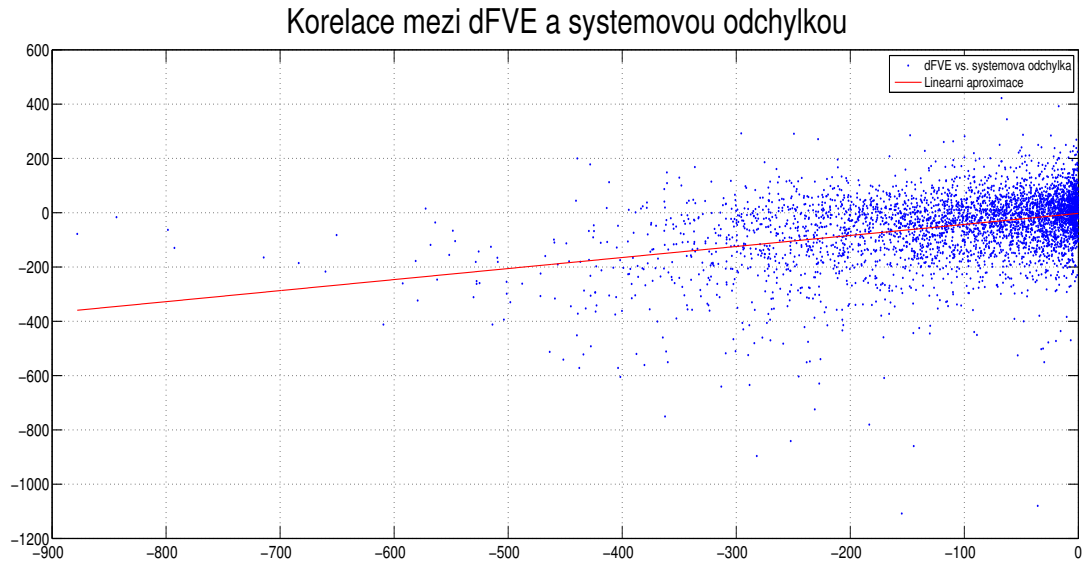
$$\mathbf{HM\_intspol} = \begin{pmatrix} 1.00 & 0.43 \\ 0.43 & 1.00 \end{pmatrix}$$

které **interpretuji** takto:

V potaz bereme pouze výsledky na místě (1,2), či (2,1), neboť ostatní vznikly pouze rozměrem vektorů. Výběrový korelační koeficient je roven 0.41. Závislost mezi dFVE a Systémovou odchylkou je střední. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a Systémovou odchylkou. Interval spolehlivosti je (0.38, 0.43). Vzhledem k absenci nulové hodnoty se potvrzuje zamítnutí nulové hypotézy o nekorelovanosti dat.

## B. Záporné hodnoty dFVE

## Grafické řešení



Obrázek 3.9: Korelační graf mezi dFVE a Systémovou odchylkou

Taktéž u záporných dat můžeme korelaci mezi nimi z grafu vypočítat. Provedu opět lineární aproximaci a zjistím koeficient, přes který jsou data na sebe závislá, který odpovídá směrnici "nafittované přímky".

$$\mathbf{Koeff\_zav} = 0.41$$

. Tedy závislost pro hodinová záporná data dFVE je zhruba stejná jako pro data kladná. Standardní chyba lineární regrese vychází  $\mathbf{rmse} = 115.89$ .

**Intervalový model korelace**

V intervalovém modelu na obrázku č. 3.10 opět zjistíme závislost graficky pro jednotlivé skupiny dFVE, které jsou rozděleny takto:

1.  $\rightarrow \langle -400, -200 \rangle$
2.  $\rightarrow \langle -200, -100 \rangle$
3.  $\rightarrow \langle -100, -20 \rangle$
4.  $\rightarrow \langle -20, 0 \rangle$

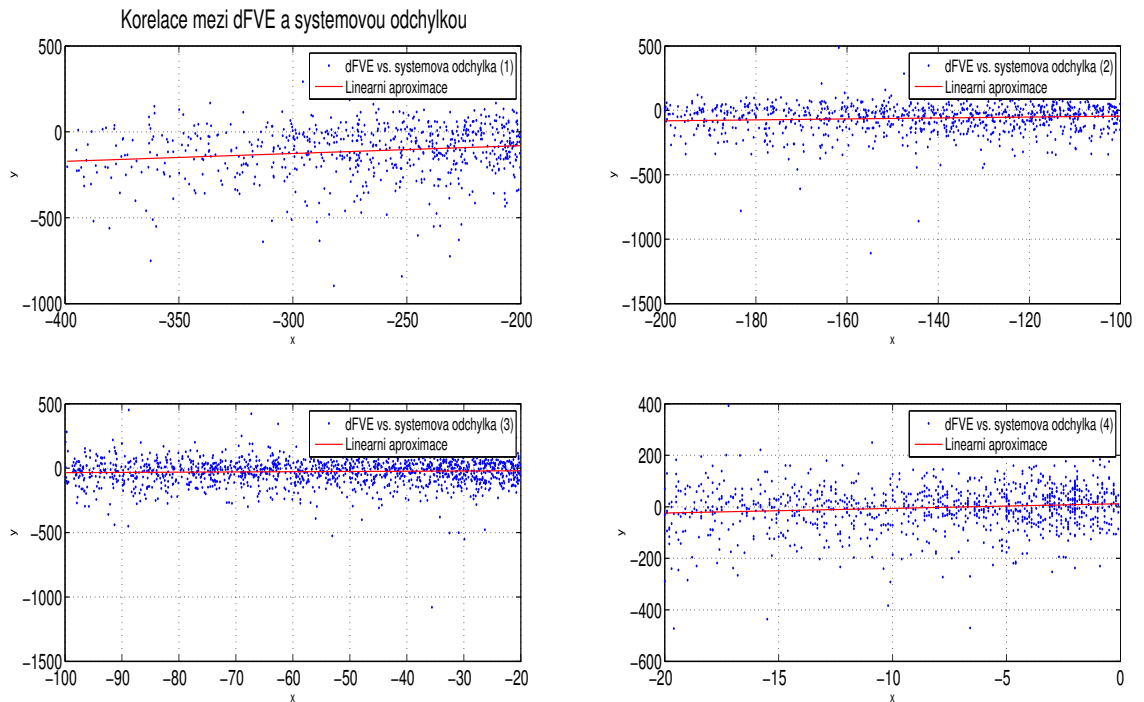
Dostávám tyto výsledky:

Pro: 1.  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.46, RMS = 153.43$

Pro: 2.  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.37, RMS = 119.69$

Pro: 3.  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.18, RMS = 105.82$

Pro: 4.  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.88, RMS = 87.59$



Obrázek 3.10: Korelační grafy mezi dFVE a Systémovou odchylkou dle rozdělení intervalového modelu

Největší míru závislosti pozorujeme mezi daty dFVE a systémovou odchylkou v mezích  $\rightarrow \langle -20, 100 \rangle MW$ , pro které byl koeficient závislosti spočten na 0.88

### Numerické řešení

Pomocí příkazu:

```
[kor_koef, dos_vyzn, DM_intspol, HM_intspol] = corrcoeff(dFVE, SysOdch);
```

dostávám výsledky:

$$kor\_koef = 0.36$$

$$dos\_vyzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = 0.33$$

$$HM\_intspol = 0.39$$

které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.36. Závislost mezi dFVE a Systémovou odchylkou je střední, o málo slabší než u dat kladných. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05

zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a Systémovou odchylkou. Interval spolehlivosti je  $(0.33, 0.39)$ , což potvrzuje zamítnutí nulové hypotézy o nekorelovanosti dat.

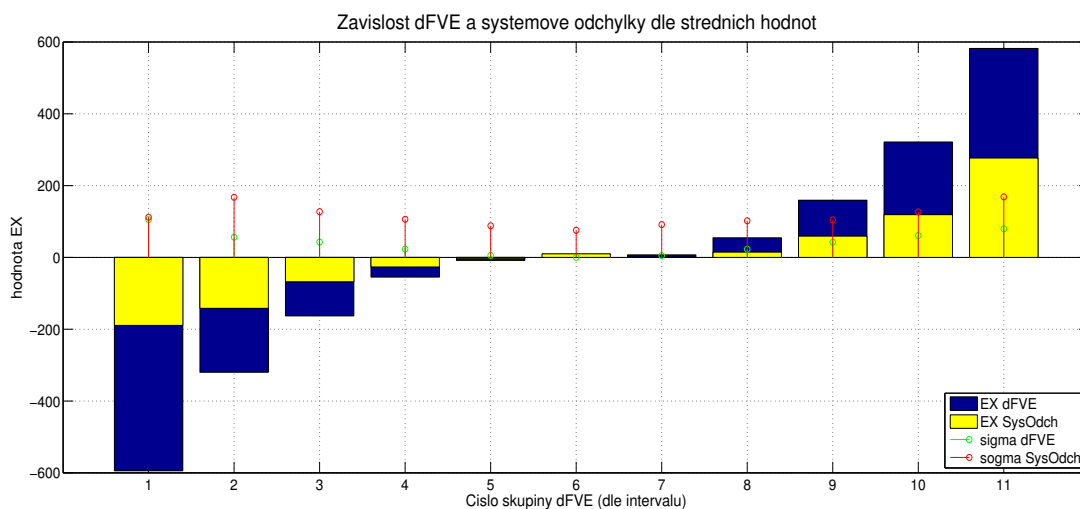
### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Pro testování závislosti pomocí proměny středních hodnot dvou náhodných veličin, v tomto případě dFVE a systémové odchylky budou data rozdělena dle vulkanického modelu četnosti dat, ovšem zde nebudeme uvažovat absolutní hodnoty rozdílů. Dostaneme tedy 11 skupin s následujícími vztahy mezi středními hodnotami.

Parametr	interval dFVE	dFVE [MW]	Systémová odchylka [MW]
EX	$(-\infty, -500)$	-594.26	-189.53
EX	$(-500, -250)$	-319.94	-141.86
EX	$(-250, -100)$	-163.04	-67.81
EX	$(-100, -20)$	-54.74	-26.61
EX	$(-20, -1)$	-8.51	-3.62
EX	$(-1, 1)$	0.01	10.08
EX	$(1, 20)$	6.94	0.00
EX	$(20, 100)$	54.58	14.67
EX	$(100, 250)$	159.28	59.28
EX	$(250, 500)$	321.34	119.03
EX	$(500, \infty)$	581.83	276.72
s	$(-\infty, -500)$	105.16	111.81
s	$(-500, -250)$	56.35	167.31
s	$(-250, -100)$	42.88	127.38
s	$(-100, -20)$	23.13	106.01
s	$(-20, -1)$	5.55	87.96
s	$(-1, 1)$	0.11	75.47
s	$(1, 20)$	5.27	0.00
s	$(20, 100)$	23.09	102.08
s	$(100, 250)$	42.43	104.66
s	$(250, 500)$	60.77	126.68
s	$(500, \infty)$	79.51	168.56

Taktéž je závislost mezi zkoumanými náhodnými vektory vidět z grafu na obrázku 3.11 (sigma=směrodatná odchylka, EX= střední hodnota).





Obrázek 3.11: Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky

ii. **Závislost dFVE a zúčtovací ceny za systémovou odchylku**

Pro určení závislosti mezi dFVE a zúčtovací cenou již spočteme pouze kovarianci a korelaci numericky. **Kovariance mezi dFVE a zúčtovací cenou**

A. **Kladné hodnoty dFVE**

Kovarianční matice mezi nadbytkem energie (kladnými hodinovými hodnotami dFVE) a zúčtovací cenou vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE+, ZC) = \begin{pmatrix} 12400 & -49700 \\ -49700 & 2368900 \end{pmatrix}$$

Hodnoty v matici nevychází nulové. Budeme dále zjišťovat jakým způsobem jsou data závislá.

B. **Záporné hodnoty dFVE**

Kovarianční matice mezi nedostatkem energie (zápornými hodinovými hodnotami dFVE) a zúčtovací cenou vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE-, ZC) = \begin{pmatrix} 12100 & -54900 \\ -54900 & 2786500 \end{pmatrix}$$

Taktéž u záporných hodnot dFVE jsou data závislá se systémovou odchylkou. Proto v korelační analýze prozkoumáme jak je závislost silná.

**Korelace mezi dFVE a zúčtovací cenou**

Numerické řešení

**A. Kladné hodnoty dFVE**

Dostáváme výsledky,

$$kor\_koeff = -0.29$$

$$dos\_vyzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.32$$

$$HM\_intspol = -0.26$$

které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven -0.29. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a Systémovou odchylkou. Interval spolehlivosti je (-0.32,-0.26), což potvrzuje zamítnutí nulové hypotézy o nekorelovanosti dat.

**B. Záporné hodnoty dFVE**

Dostáváme výsledky,

$$kor\_koeff = -0.30$$

$$dos\_vyzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.33$$

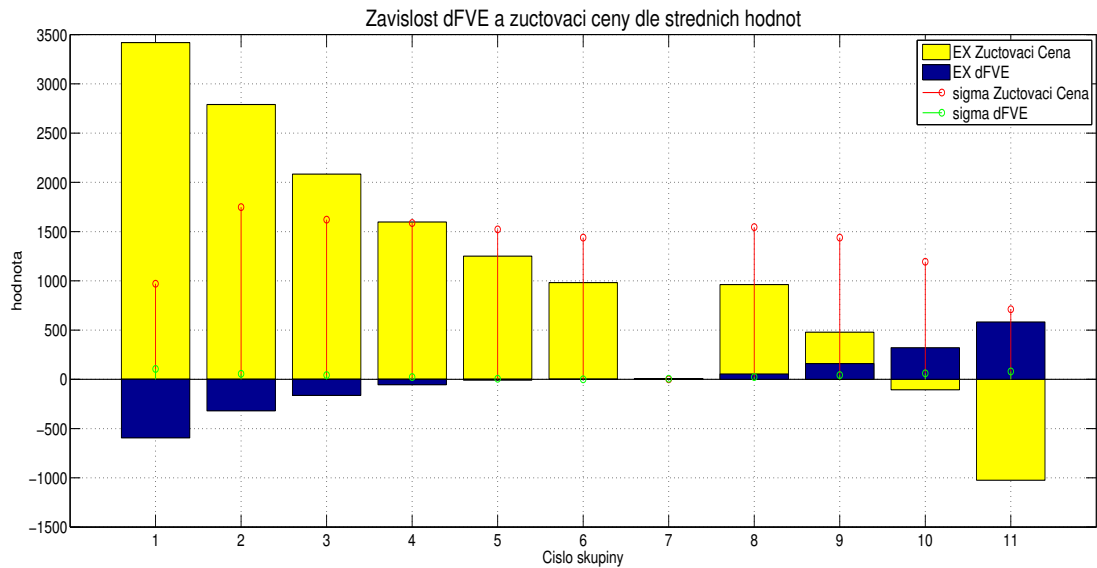
$$HM\_intspol = -0.27$$

které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven -0.30. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a Systémovou odchylkou. Interval spolehlivosti je (-0.33,-0.27), což potvrzuje zamítnutí nulové hypotézy o nekorelovanosti dat.

**Testování závislosti pomocí středních hodnot**

Z grafu na obrázku 3.12 lze vidět jakým způsobem se promítá záporný koeficient korelace u vztahu dFVE se zúčtovací cenou za systémovou odchylku.



Obrázek 3.12: Závislost středních hodnot dFVE a Zúčtovací ceny

(b) **Obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou****Obchodování na vnitrodenním trhu (VDT)**i. **Závislost dFVE a zobchodovaného množství energie na VDT****Kovariance mezi dFVE a zobchodovaným množstvím na VDT****A. Kladné hodnoty dFVE**

Kovarianční matice mezi nadbytkem energie z FVE a zobchodovaným množstvím na VDT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE+, VDTMno) = \begin{pmatrix} 12427 & 1385 \\ 1385 & 3597 \end{pmatrix}$$

Kovarianční koeficienty vychází kladné, nenulové. Jsou tedy závislé v "pozitivním smyslu"- vyšší hodnoty dFVE jsou svázány s vyšším zobchodovaným množstvím.

**B. Záporné hodnoty dFVE**

Kovarianční matice mezi nedostatkem energie z FVE a zobchodovaným množstvím na VDT vychází takto:

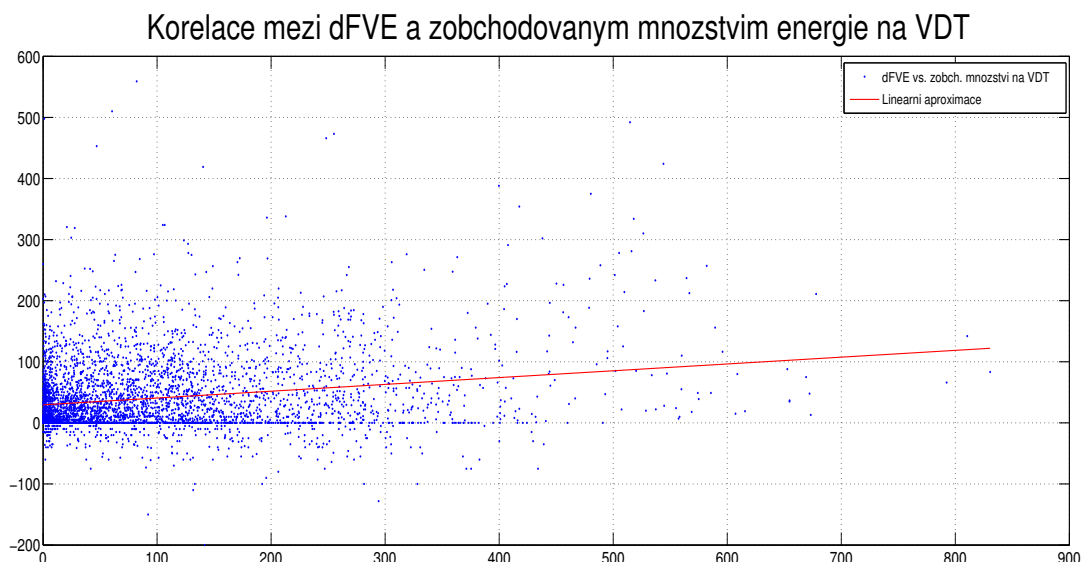
$$\text{cov}(dFVE-, VDTMno) = \begin{pmatrix} 12087 & -1134 \\ -1134 & 2939 \end{pmatrix}$$

Závislost mezi veličinami je patrná ze záporných koeficientů kovariance.

## Korelace mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT

## A. Kladné hodnoty dFVE

## Grafické řešení



Obrázek 3.13: Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT

Z umístění dat je korelace poměrně dobře patrná. Opět zjistíme lineární aproximací koeficient, přes který jsou data na sebe závislá. Tento je roven

$$\mathbf{Koeff\_zav} = 0.11$$

Standardní chyba matematické regrese je rovna  $rmse = 58.68$ .

**Intervalový model korelace**

Ve intervalovém modelu opět zjistíme závislost graficky pro skupiny dFVE, jak tomu bylo u systémové odchylky (**1.**  $\rightarrow (0, 20)$ , **2.**  $\rightarrow (20, 100)$ , **3.**  $\rightarrow (100, 200)$ , **4.**  $\rightarrow (200, 400)$ ).

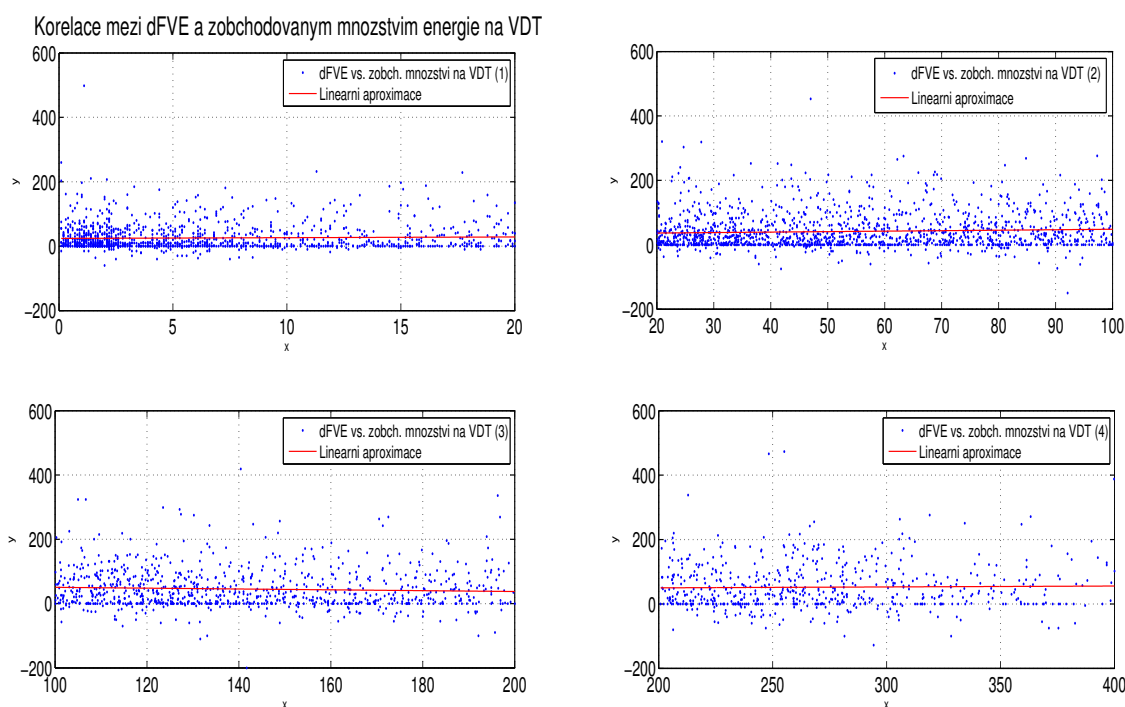
Dostávám tyto výsledky:

Pro: **1.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.22, RMS = 40.72$

Pro: **2.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.15, RMS = 57.85$

Pro: **3.**  $\rightarrow Koeff\_zav = -0.13, RMS = 61.72$

Pro: **4.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.03, RMS = 71.93$



Obrázek 3.14: Korelační grafy mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT dle rozdělení intervalového modelu

### Numerické řešení

Numerická analýza vrací následující výsledky:

$$kor\_koeff = 0.21$$

$$dos\_vzrn = 0.00$$

$$DM\_intspol = 0.18$$

$$HM\_intspol = 0.24$$

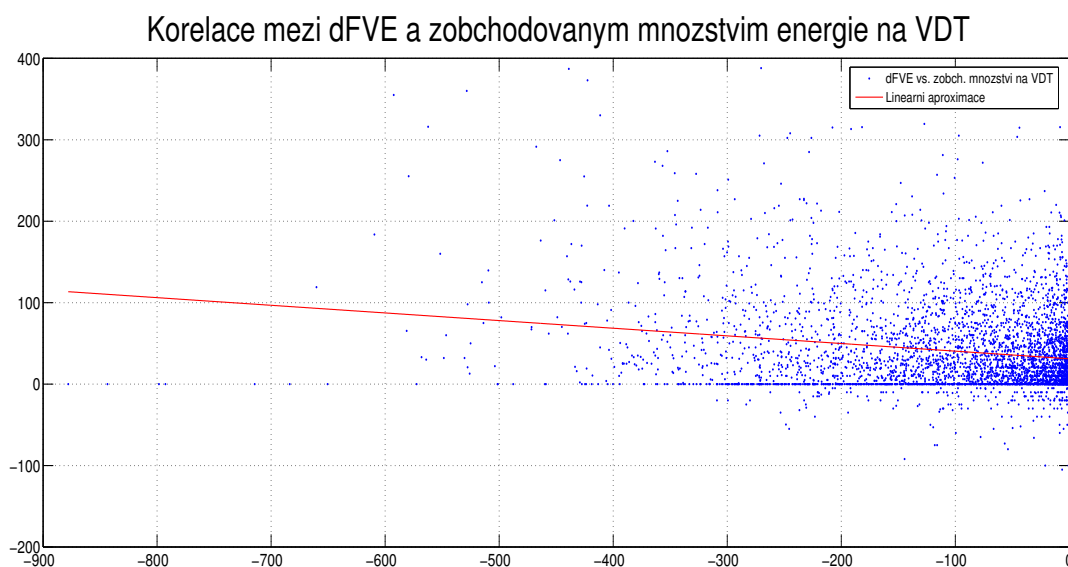
které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.21. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , na hladině významnosti 0.05 tedy zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a zobchodovaným množstvím na VDT. Interval spolehlivosti je (0.18,0.24).

### B. Záporné hodnoty dFVE

#### Grafické řešení

Směrnice "nafittované přímky" je rovna **Koef\_zav** = -0.09, což poukazuje na to, že energie obchodovaná na VDT má z větší části kladnou



Obrázek 3.15: Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na VDT

orientaci. Standardní chyba lineární regrese vychází  $\mathbf{rmse} = 53.23$ .

### Intervalový model korelace

Dle grafu na obrázku č. 3.16 dostávám následující výsledky:

Pro: **1.**  $\rightarrow Koeff\_zav = -0.15, RMS = 66.77$

Pro: **2.**  $\rightarrow Koeff\_zav = 0.00, RMS = 53.86$

Pro: **3.**  $\rightarrow Koeff\_zav = -0.20, RMS = 47.31$

Pro: **4.**  $\rightarrow Koeff\_zav = -0.67, RMS = 42.72$

### Numerické řešení

Pomocí příkazu:

```
[kor_koeff, dos_vyzn, DM_intspol, HM_intspol] = corrcoef(dFVE, Mnozstvi_VDT);
```

dostávám výsledky:

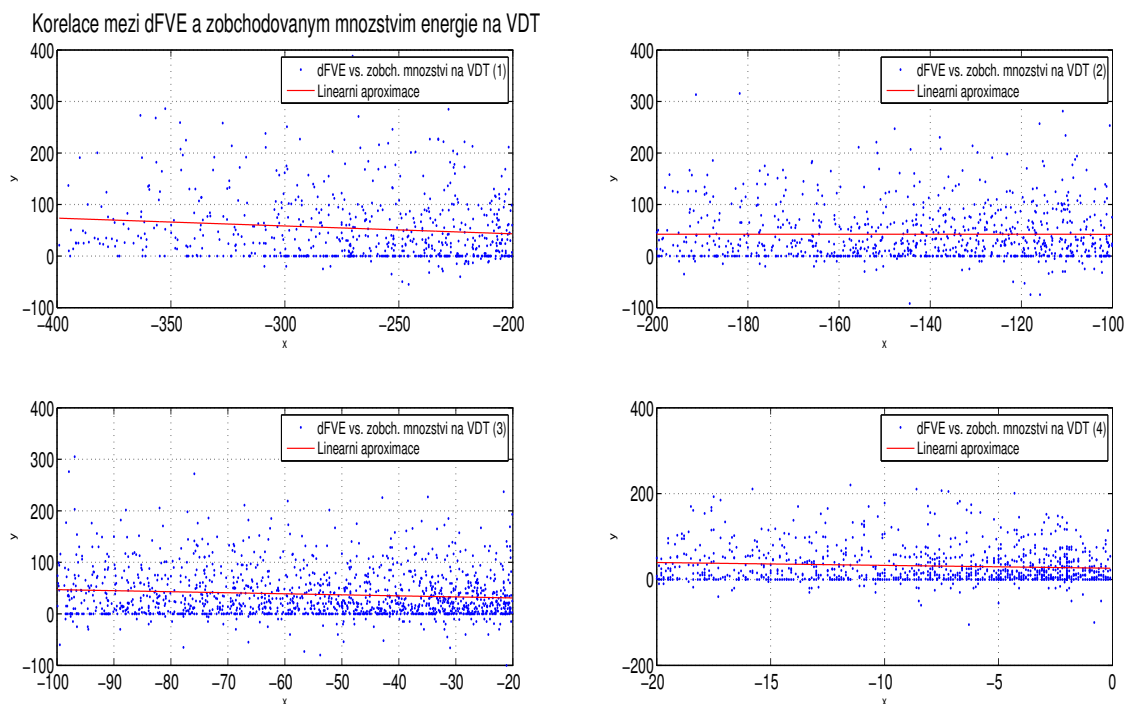
$$kor\_koeff = -0.19$$

$$dos\_vyzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.22$$

$$HM\_intspol = -0.16$$

které **interpretuji** takto:

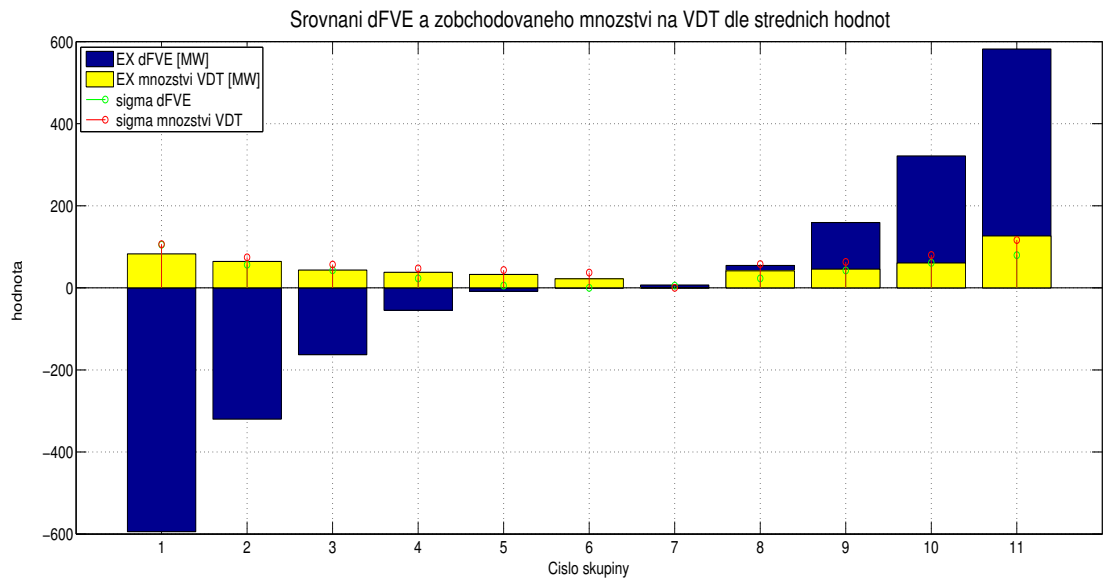


Obrázek 3.16: Korelační grafy mezi dFVE a zobchodovaným množstvím na VDT dle rozdělení intervalového modelu

Výběrový korelační koeficient je roven  $-0.19$ . Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti  $0.05$  zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a Systémovou odchylkou. Interval spolehlivosti je  $(-0.22, -0.16)$ .

### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Ověřme závislost dFVE a zobchodovaného množství elektriny na VDT ještě pomocí grafu srovnávající střední hodnoty. Z grafu č. 2.17 zobrazujícího závislost středních hodnot a směrodatné odchylky je možné závislost dat vysledovat, a to jak záporný koeficient korelace u záporných hodnot dFVE a kladný koeficient u kladných. Tento graf potvrzuje správnost úvahy rozdělení dat z dFVE na kladná a záporná- pokud bychom zkoumali data společně vycházela by korelace téměř nulová ( $0.004$ ).



Obrázek 3.17: Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky

## ii. Závislost dFVE a ceny za zobchodované množství energie na VDT

Vzhledem k tomu, že cena za množství energie zobchodované na VDT již sama o sobě souvisí s množstvím na ni nakoupeným, bude analýza provedena totožně jako pro zúčtovací cenu. Bude spočtena kovariance, korelace numericky a analýza středních hodnot.

### Kovariance mezi dFVE a cenou na VDT

#### A. Kladné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nadbytkem energie ve FVE a cenou za energii na VDT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE+, CVDT) = \begin{pmatrix} 0 & 400000 \\ 400000 & 3775100000 \end{pmatrix}$$

Cena na VDT a dFVE+ nejsou nezávislé vektory.

#### B. Záporné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nedostatkem energie ve FVE a cenou za energii na VDT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE-, CVDT) = \begin{pmatrix} 0 & -2200000 \\ -2200000 & 6298100000 \end{pmatrix}$$



Cena na VDT a dFVE- nejsou nezávislé vektory.

### Korelace mezi dFVE a cenou na VDT

#### Numerické řešení

##### A. Kladné hodnoty dFVE

Dle:

$$[kor\_koeff, dos\_vyzn, DM\_intspol, HM\_intspol] = corrcoeff(dFVE, CenaVDT);$$

Dostáváme výsledky,

$$kor\_koeff = 0.06$$

$$dos\_vyzn = 0.09$$

$$DM\_intspol = 0.03$$

$$HM\_intspol = 0.09$$

které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.06. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.09 > 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE+ a cenou za energii na VDT. Interval spolehlivosti je (0.03,0.09).

##### B. Záporné hodnoty dFVE

Dostáváme výsledky,

$$kor\_koeff = -0.25$$

$$dos\_vyzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.28$$

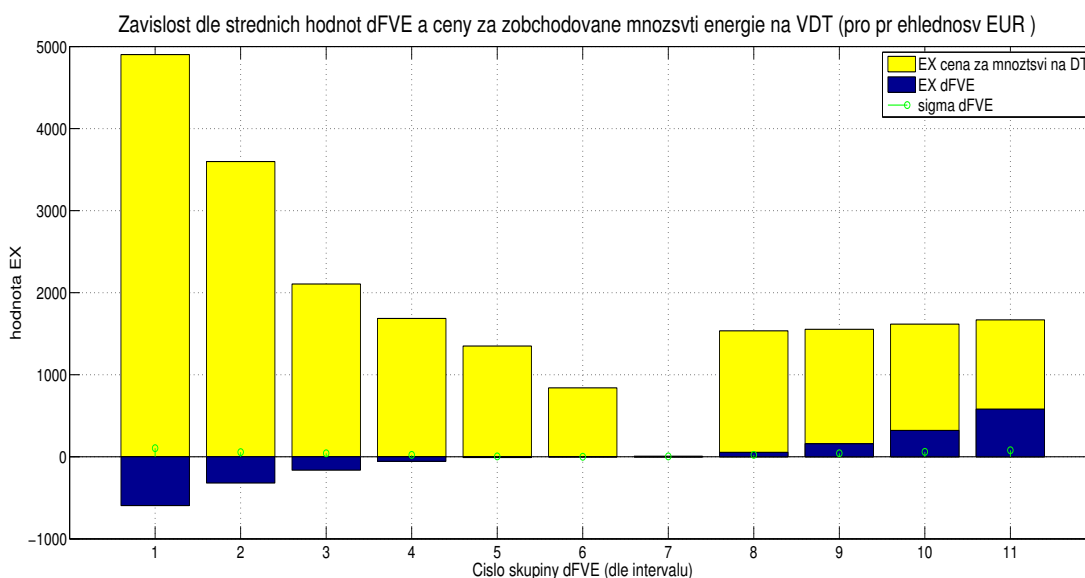
$$HM\_intspol = -0.22$$

které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven -0.25. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE- a cenou na energii na VDT. Interval spolehlivosti je (-0.28,-0.22).

### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Dle grafu závislosti středních hodnot na obrázku č. 3.18 jednotlivých skupin dFVE a jim odpovídajícím hodnotám cen za zobchodovanou energii na VDT, která je pro přehlednost uvedena v EUR, je závislost záporných hodnot poměrně dobře patrná. Slabá závislost lze vypořadovat i u hodnot kladných.



Obrázek 3.18: Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky

## Obchodování na denním trhu (DT)

### i. Závislost dFVE a zobchodovaného množství energie na DT

#### Kovariance mezi dFVE a zobchodovaným množstvím na DT

##### A. Kladné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nadbytkem energie z FVE a zobchodovaným množstvím na DT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE+, DTMno) = \begin{pmatrix} 12430 & 780 \\ 780 & 103270 \end{pmatrix}$$

Dále prozkoumáme jak jsou hodnoty dFVE a množství zobchodované na denním trhu závislé.

##### B. Záporné hodnoty dFVE

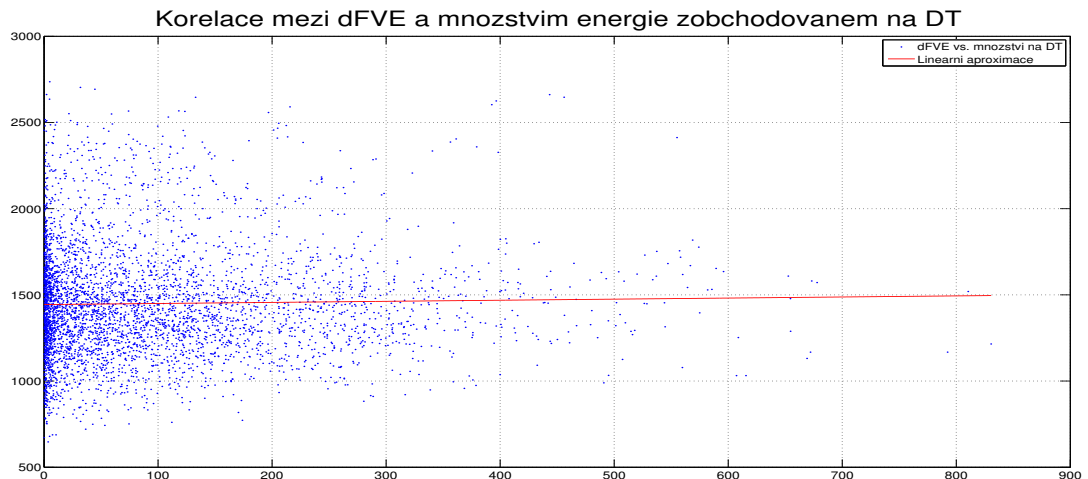
Kovarianční matice mezi nedostatkem energie z FVE a zobchodovaným množstvím na DT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE-, DTMno) = \begin{pmatrix} 12090 & 150 \\ 150 & 104170 \end{pmatrix}$$

#### Korelace mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na DT

## A. Kladné hodnoty dFVE

## Grafické řešení



Obrázek 3.19: Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na DT

Z umístění dat již korelace tak dobře patrná není, zjistíme ji tedy numericky. Koeficient, přes který jsou data na sebe eventuelně závislá je roven

$$\mathbf{Koef\_zav} = 0.06$$

Standardní chyba matematické regrese je rovna  $rmse = 321.31$ , což vypovídá o velkém rozpětí dat a potenciální nekorelovanosti. Zda-li je třeba provést zkoumání intervalovým modelem korelace, zjistíme až po numerickém spočtení korelačního koeficientu, tedy provádět budu pouze pokud zjistím korelaci mezi daty.

## Numerické řešení

Numerická analýza vrací následující výsledky:

$$kor\_koeff = 0.02$$

$$dos\_vzrn = 0.15$$

$$DM\_intspol = 0.01$$

$$HM\_intspol = 0.05$$

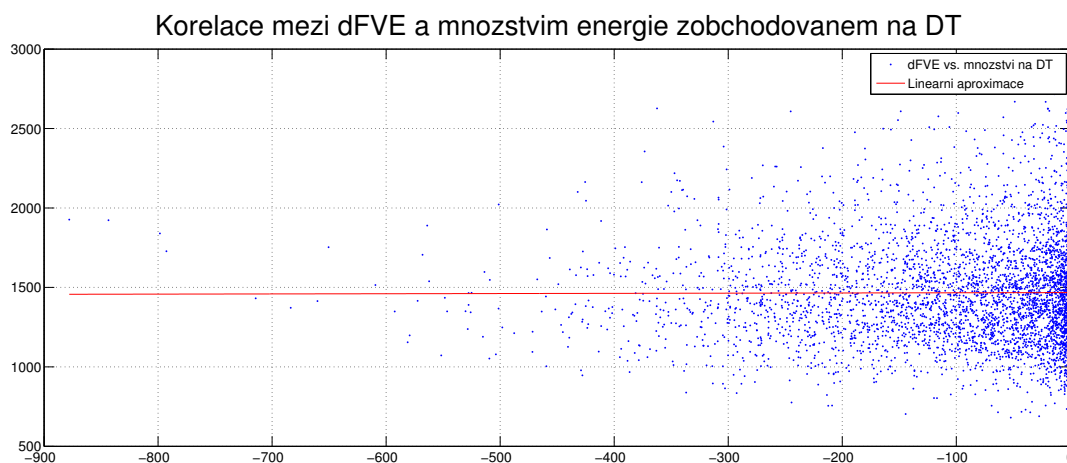
které **interpretuji** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.02. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.14 < 0.05$ , na hladině významnosti 0.05 tedy nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a zobchodovaným množstvím

na DT. Interval spolehlivosti je (0.01,0.05).

## B. Záporné hodnoty dFVE

### Grafické řešení



Obrázek 3.20: Korelační graf mezi dFVE a zobchodovaným množstvím energie na DT

Směrnice "nafittované přímky" vychází  $\mathbf{Koeff\_zav} = 0.01$ . Standardní chyba lineární regrese vychází  $\mathbf{rmse} = 322.79$ . Rozložení dat tedy zhruba odpovídá hodnotám kladným dFVE. Opět zjistím rovnou numericky korelační koeficient.

### Numerické řešení

Dostávám tyto výsledky:

$$kor\_koeff = 0.00$$

$$dos\_vzgn = 0.79$$

$$DM\_intspol = 0.03$$

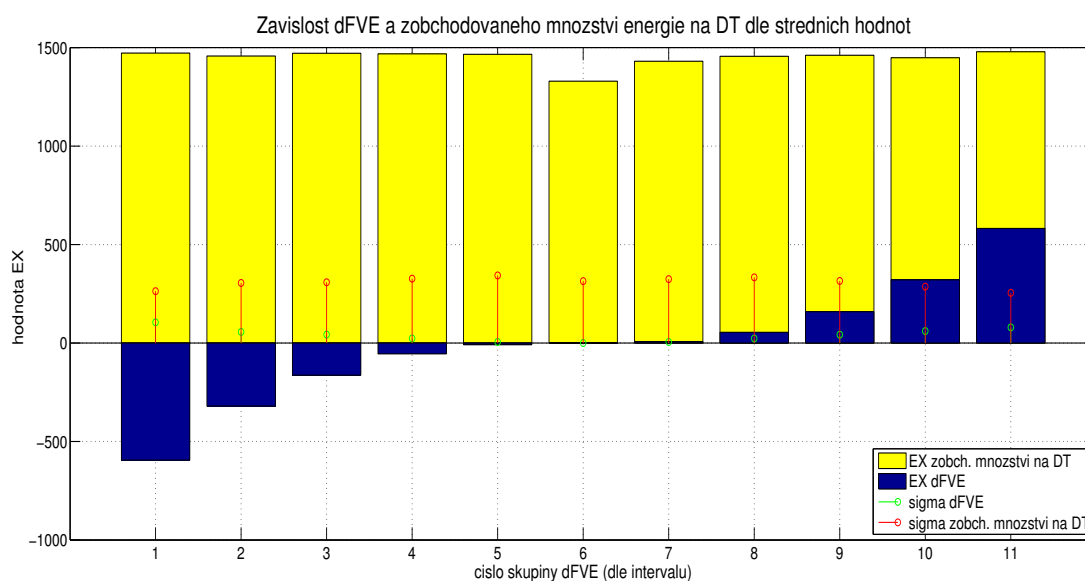
$$HM\_intspol = 0.03$$

které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.00, vektory jsou nekorelované. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.79 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 nezamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a zobchodovaným množstvím na DT. Interval spolehlivosti je  $(-0.03, 0.03)$ .

### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Z grafu na obrázku č. 3.21 je patrné, že nelze naleznout závislost mezi zobchodovaným množstvím na DT, které je pro dané intervaly hodnot dFVE téměř



Obrázek 3.21: Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky

konstantní a mezi vlastními hodnotami dFVE.

## ii. Závislost dFVE a ceny za zobchodované množství energie na DT

Pro cenu za zobchodované množství energie na denním trhu budou spočteny kovarianční a korelační koeficienty, dále bude zobrazen model středních hodnot.

### Kovariance mezi dFVE a cenou na DT

#### A. Kladné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nadbytkem energie ve FVE a cenou za energii na DT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE+, CDT) = \begin{pmatrix} 10000 & -450000 \\ -450000 & 95379000 \end{pmatrix}$$

Cena na DT a dFVE+ nejsou nezávislé vektory.

#### B. Záporné hodnoty dFVE

Kovarianční matice mezi nedostatkem energie ve FVE a cenou za energii na DT vychází takto:

$$\text{cov}(dFVE-, CDT) = \begin{pmatrix} 10000 & -50000 \\ -50000 & 964220000 \end{pmatrix}$$

Cena na DT a dFVE- nejsou nezávislé vektory.

### Korelace mezi dFVE a cenou na DT

#### Numerické řešení

##### A. Kladné hodnoty dFVE

Dostáváme výsledky,

$$kor\_koeff = -0.13$$

$$dos\_vyzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.16$$

$$HM\_intspol = -0.10$$

které **interpretuji** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven -0.13. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE+ a cenou za energii na VDT. Interval spolehlivosti je (-0.16,-0.10).

##### B. Záporné hodnoty dFVE

Dostáváme výsledky,

$$kor\_koeff = 0.02$$

$$dos\_vyzn = 0.31$$

$$DM\_intspol = -0.01$$

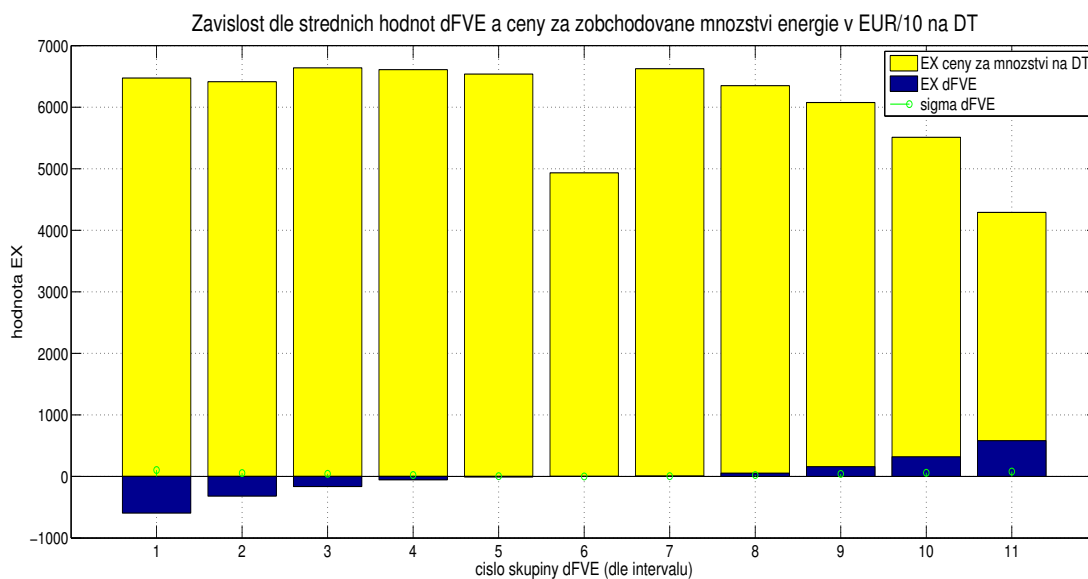
$$HM\_intspol = 0.05$$

které **interpretuji** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.02. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.31 > 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE- a cenou na energii na VDT. Interval spolehlivosti je (-0.01,0.05).

#### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Graf na obrázku č. 3.22 přesně reprodukuje korelační koeficienty, které byly v předchozí části spočteny. V záporných hodnotách dFVE korelace není patrná, narozdíl od hodnot kladných, kde se setkáváme s korelací zápornou.



Obrázek 3.22: Závislost středních hodnot dFVE a Systémové odchylky

### Závislost dFVE a poptávky, nabídky a nákupu na vyrovnávacím trhu (VT)

Závislost dFVE u vyrovnávacího trhu (trhu s regulační energií) bude zkoumána u celkového nákupu, celkové poptávky a nabídky kladné i záporné regulační energie. Pro tento typ trhu je tedy třeba analýzu trochu upravit. Záporné hodinové hodnoty dFVE znamenají, že v danou hodinu byla predikce vyšší než skutečná výroba energie a tím došlo k nedostatku elektrické energie vzhledem k původně predikované. Bylo tedy potřeba dokoupit RE+ (kladnou regulační energii). Totéž platí i opačně. Proto bude závislost pro záporné dFVE zkoumána vždy v souvislosti s kladnou regulační energií a naopak.

#### i. Závislost dFVE a poptávky na VT

##### Kovariance mezi dFVE a poptávkou po regulační energii

###### A. Kladné hodnoty dFVE

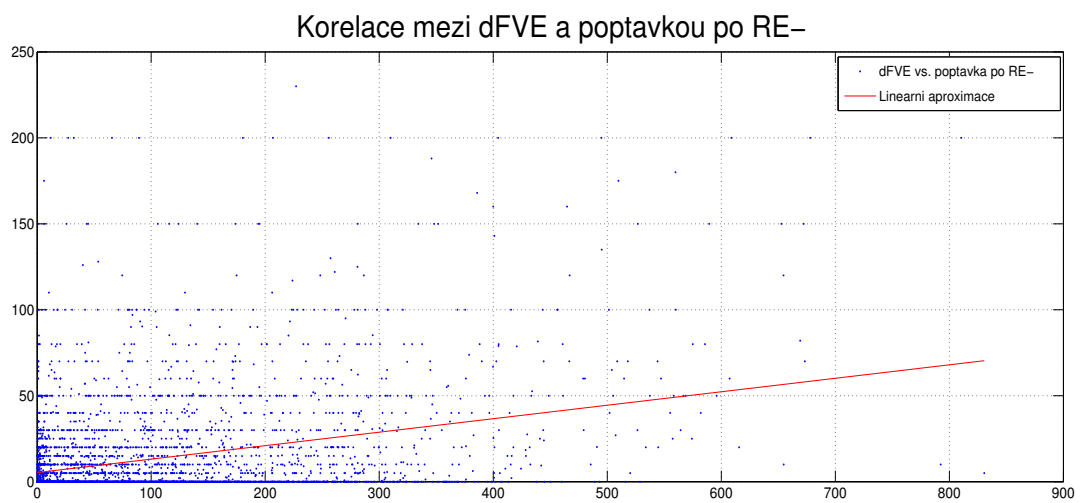
Kovarianční matice mezi nadbytkem energie ve FVE a poptávkou po RE- vychází:

$$\text{cov}(dFVE+, demRE-) = \begin{pmatrix} 12427 & 974 \\ 974 & 706 \end{pmatrix}$$

**B. Záporné hodnoty dFVE**

Kovarianční matice mezi nedostatkem energie ve FVE a poptávkou po RE+ vychází:

$$\text{cov}(dFVE-, demRE+) = \begin{pmatrix} 12087 & -847 \\ -847 & 582 \end{pmatrix}$$

**Korelace mezi dFVE a poptávkou po regulační energii****A. Kladné hodnoty dFVE****Grafické řešení**

Obrázek 3.23: Korelační graf mezi dFVE a poptávkou po RE-

Směrnice lineárně aproximované přímky je rovna  $Koef\_zav = 0.08$ , přičemž chyba aproximace je rovna  $rmse = 25.10$ .

**Intervalový model korelace**

Dle grafu na obrázku č. 2.24 dostávám následující výsledky:

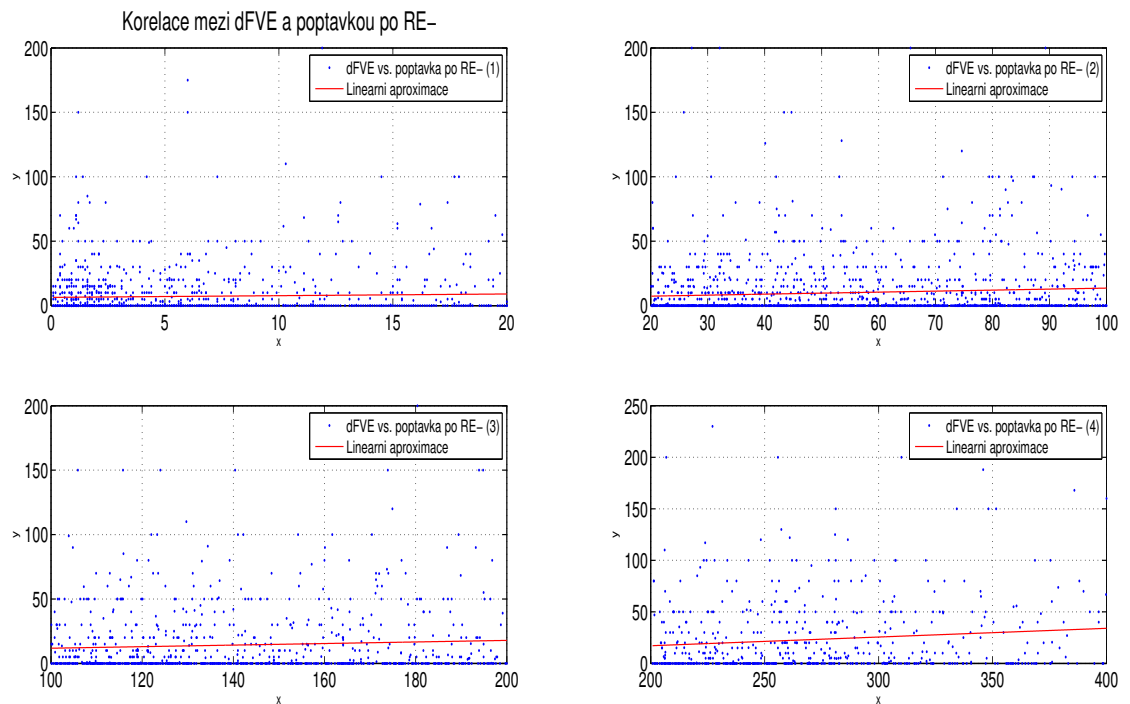
Pro: **1.** →  $Koef\_zav = 0.13$ ,  $RMS = 17.67$

Pro: **2.** →  $Koef\_zav = 0.08$ ,  $RMS = 21.82$

Pro: **3.** →  $Koef\_zav = 0.06$ ,  $RMS = 25.60$

Pro: **4.** →  $Koef\_zav = 0.08$ ,  $RMS = 35.17$





Obrázek 3.24: Korelační grafy mezi dFVE a poptávkou po RE- dle rozdělení intervalového modelu

### Numerické řešení

Numerická analýza vrací následující výsledky:

$$kor\_kof = 0.33$$

$$dos\_vzn = 0.00$$

$$DM\_intspol = 0.30$$

$$HM\_intspol = 0.35$$

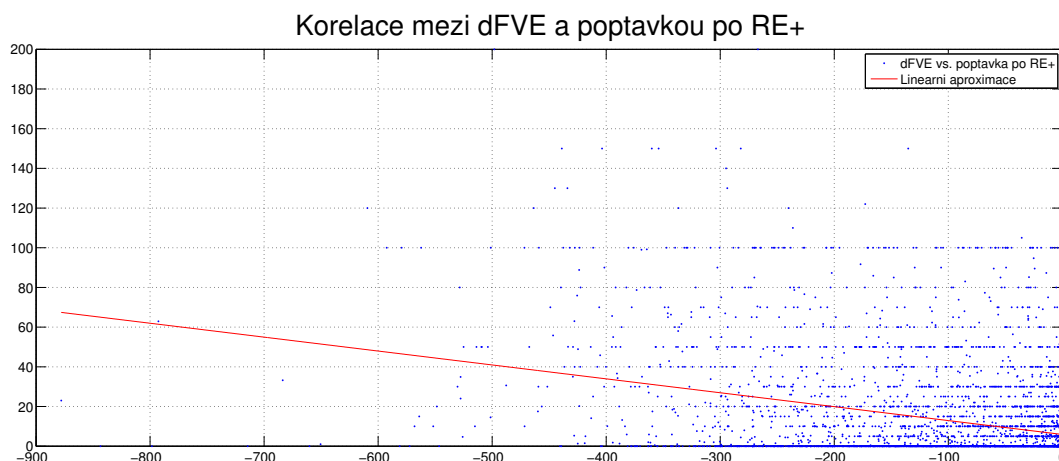
které **interpretují** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.33. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , na hladině významnosti 0.05 tedy zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a poptávkou po RE-. Interval spolehlivosti je (0.30, 0.35).

### B. Záporné hodnoty dFVE

#### Grafické řešení

Směrnice "nafittované přímky" vychází  $Koef\_zav = -0.07$ . Standardní



Obrázek 3.25: Korelační graf mezi dFVE a poptávkou po RE+

chyba lineární regrese vychází  $rmse = 22.87$ .

#### Intervalový model korelace

Dle grafu na obrázku č. 2.26 dostávám následující výsledky:

Pro: **1.** →  $Koef\_zav = -0.12$ ,  $RMS = 31.65$

Pro: **2.** →  $Koef\_zav = -0.02$ ,  $RMS = 23.12$

Pro: **3.** →  $Koef\_zav = -0.02$ ,  $RMS = 20.57$

Pro: **4.** →  $Koef\_zav = -0.23$ ,  $RMS = 13.92$

#### Numerické řešení

Dostávám tyto výsledky:

$$kor\_koeff = -0.32$$

$$dos\_vzvn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.35$$

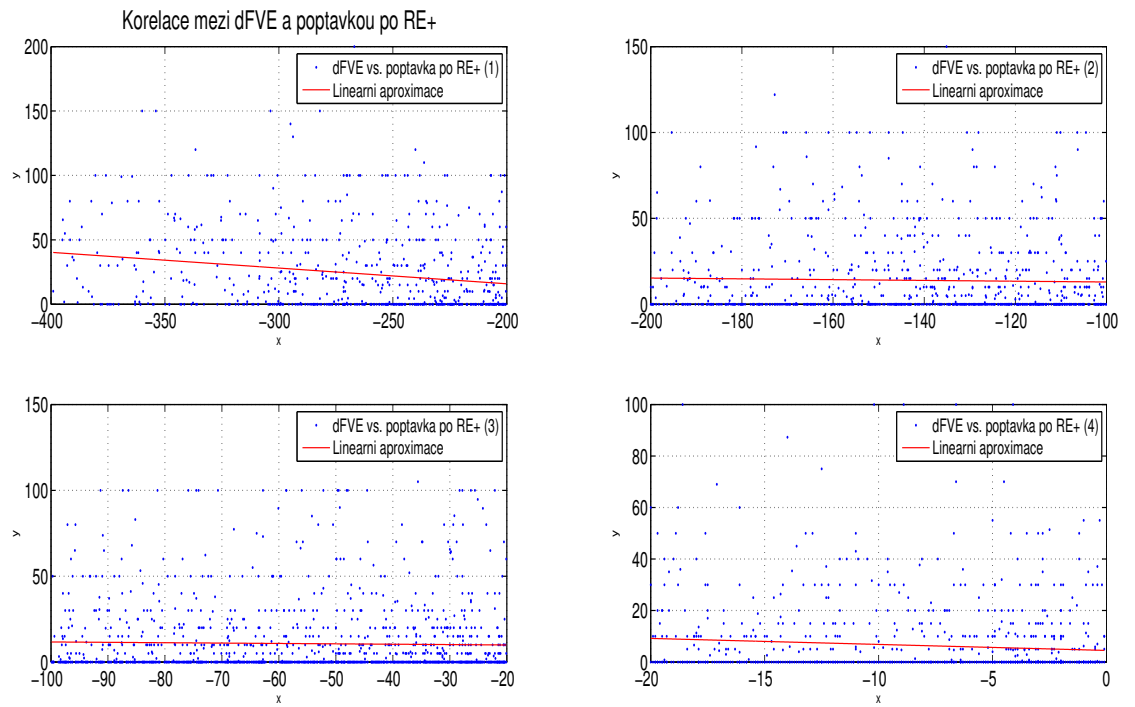
$$HM\_intspol = -0.29$$

které **interpretuji** takto:

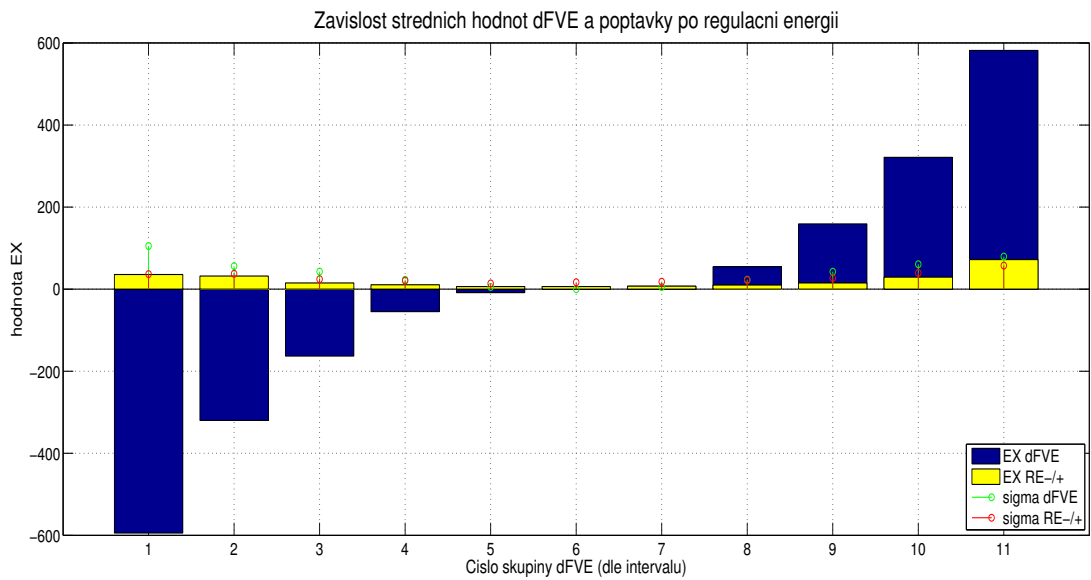
Výběrový korelační koeficient je roven  $-0.32$ . Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a poptávkou po RE+. Interval spolehlivosti je  $(-0.35, -0.29)$ .

#### Testování závislosti pomocí středních hodnot

Graf na obrázku č. 3.27 ukazuje závislost dFVE a regulační energie pomocí jejich středních hodnot. V záporných intervalech dFVE byla v souladu s předchozí analýzou brána v potaz kladná regulační energie a naopak.



Obrázek 3.26: Korelační grafy mezi dFVE a poptávkou po RE- dle rozdělení intervalového modelu



Obrázek 3.27: Závislost středních hodnot dFVE a poptávky na VT

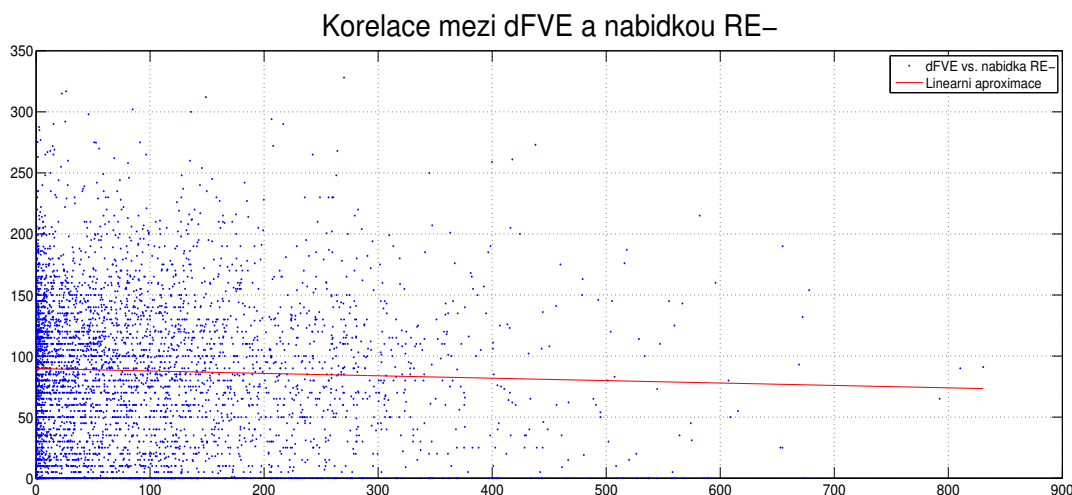
## ii. Závislost dFVE a nabídky energie na VT

Pro předposlední a poslední analýzu bude spočtena korelační analýza.

## Korelace mezi dFVE a nabídkou regulační energie

## A. Kladné hodnoty dFVE

## Grafické řešení



Obrázek 3.28: Korelační graf mezi dFVE a nabídkou RE-

Směrnice lineárně aproximované přímky je rovna  $Koeff\_zav = 0.03$ , přičemž chyba aproximace je rovna  $rmse = 57.33$ .

## Numerické řešení

Numerická analýza vrací následující výsledky:

$$kor\_koeff = -0.04$$

$$dos\_vzvn = 0.10$$

$$DM\_intspol = -0.07$$

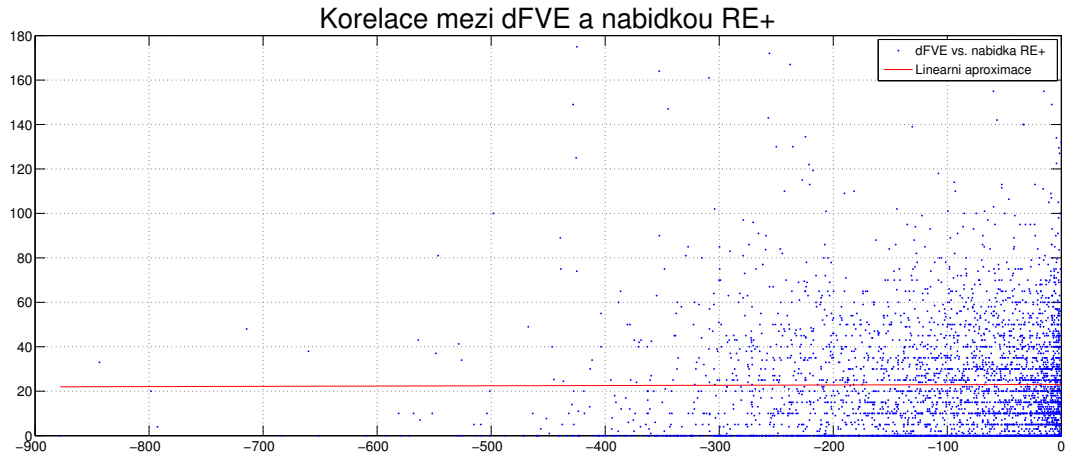
$$HM\_intspol = -0.01$$

které **interpretuji** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven  $-0.04$ . Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.10 > 0.05$ , na hladině významnosti  $0.05$  tedy nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a nabídkou RE-. Interval spolehlivosti je  $(-0.07, -0.01)$ .

## B. Záporné hodnoty dFVE

## Grafické řešení



Obrázek 3.29: Korelační graf mezi dFVE a nabídkou RE+

Směrnice "nafittované přímky" vychází  $\mathbf{Koeff\_zav} = 0.01$ . Standardní chyba lineární regrese vychází  $\mathbf{rmse} = 24.39$ .

## Numerické řešení

Dostávám tyto výsledky:

$$kor\_koeff = 0.01$$

$$dos\_vyzn = 0.73$$

$$DM\_intspol = -0.03$$

$$HM\_intspol = 0.04$$

které **interpretují** takto:

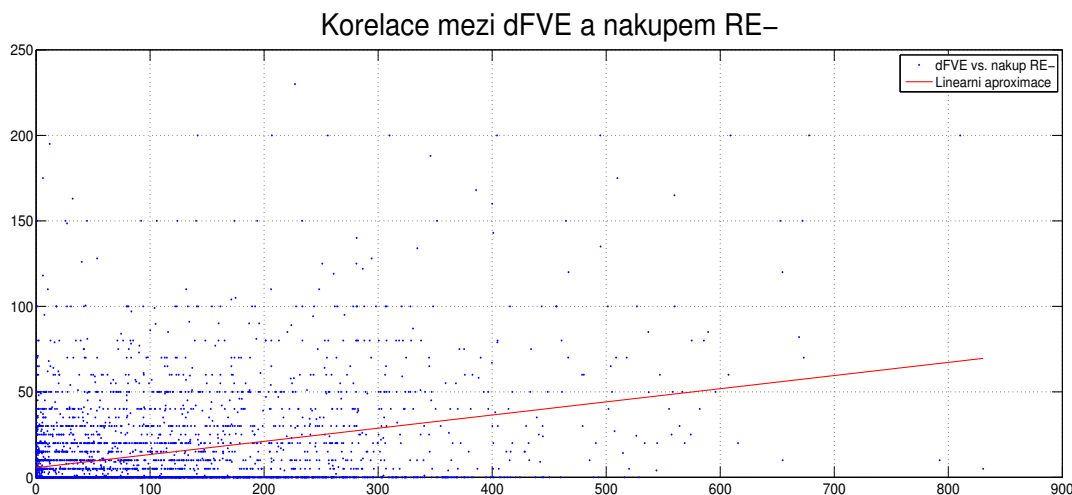
Výběrový korelační koeficient je roven 0.01. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.73 > 0.05$ , proto na hladině významnosti 0.05 nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a nabídkou RE+. Interval spolehlivosti je  $(-0.03, 0.04)$ .

## iii. Závislost dFVE a nákupu na VT

## Korelace mezi dFVE a nákupem regulační energie

## A. Kladné hodnoty dFVE

## Grafické řešení



Obrázek 3.30: Korelační graf mezi dFVE a nákupem RE-

Směrnice lineárně aproximované přímky je rovna  $Koef\_zav = 0.08$ , přičemž chyba aproximace je rovna  $rmse = 24.02$ .

## Numerické řešení

Numerická analýza vrací následující výsledky:

$$kor\_koef = 0.33$$

$$dos\_vzvn = 0.00$$

$$DM\_intspol = 0.31$$

$$HM\_intspol = 0.36$$

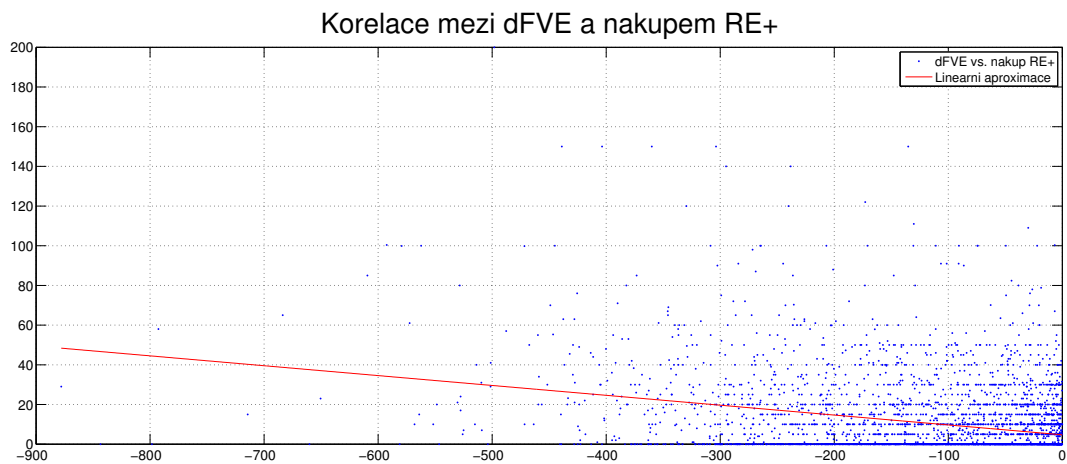
keré **interpretuji** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven 0.33. Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , na hladině významnosti 0.05 tedy zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a nákupem RE-. Interval spolehlivosti je (0.31, 0.36). Výsledky jsou téměř totožné jako u poptávky po RE-.

## B. Záporné hodnoty dFVE

## Grafické řešení

Směrnice "nafittované přímky" vychází  $Koef\_zav = -0.05$ . Standardní chyba lineární regrese vychází  $rmse = 17.24$ .



Obrázek 3.31: Korelační graf mezi dFVE a nákupem RE+

**Numerické řešení**

Dostávám tyto výsledky:

$$kor\_koeff = -0.30$$

$$dos\_vzgn = 0.00$$

$$DM\_intspol = -0.33$$

$$HM\_intspol = -0.27$$

které **interpretuji** takto:

Výběrový korelační koeficient je roven  $-0.30$ . Dosažená hladina významnosti je rovna  $0.00 < 0.05$ , proto na hladině významnosti  $0.05$  zamítáme nulovou hypotézu o nekorelovanosti mezi dFVE a nákupem RE+. Interval spolehlivosti je  $(-0.33, -0.27)$ .

### 3.2 Vyhodnocení analýzy, Vliv obnovitelných zdrojů energie na chod přenosové soustavy a obchodování na trhu s elektřinou

Praktická část bakalářské práce se nejprve věnovala analýze dFVE pro různou granularitu dat. Bylo zjištěno, že nejvyšší střední hodnotu dFVE odpovídající **140.82 MW** mají hodiny tzv. slunečního dne od 9:00 do 14:00, kde je predikovatelnost nejobtížnější. Toto je způsobeno především nezahrnutím nočních hodin, kdy fotovoltaické elektrárny nevyrábějí žádnou elektrickou energii. Aritmetický průměr neredukovaných dat pak odpovídal hodnotě **60.06 MW**. Nejobtížněji predikovatelná hodina byla zobrazena modelem průměrného dne ve 12:00-13:00, přičemž hodnoty chyb predikce od 10:00 do 14:00 byly téměř totožné a pohybovaly se těsně pod hranicí 150 MW. Sloupcový model četnosti jednotlivých skupin chyb predikce stanovil, že se chyba nejčastěji nacházela v intervalu  $abs(20, 100)$ , pokud nebereme v úvahu nulové hodnoty rozdílu získané v nočních hodinách.

Další zkoumanou oblastí práce byl vliv dFVE na stabilitu přenosové soustavy a obchodování na krátkodobých trzích. Pro přehlednost nejprve shrnu v tabulce 3.2 výsledky korelační analýzy.

Závislost dFVE a	Kor.koef (dFVE +)	Kor.koef (dFVE-)
Systémová odchylka	0.41	0.36
Zúčtovací cena	-0.29	-0.30
Množství energie na VDT	0.21	-0.19
Cena za energii na VDT	0.06	-0.25
Množství energie na DT	0.02	0.00
Cena za energii na DT	-0.13	0.02
Poptávka po RE -/+ na VT	0.33	-0.32
Nabídka RE -/+ na VT	-0.04	0.01
Nákup RE -/+ na VT	0.33	-0.30

Tabulka 3.2: Shrnutí výsledků korelační analýzy

Poměrně dobře patrnou střední závislost jsme našli mezi chybou predikce výroby FVE a systémovou odchylkou přenosové soustavy. Pro záporné dFVE vyšel kladný korelační koeficient **0.36**, vzhledem k tomu, že jak dFVE, tak systémová odchylka nabývají záporných hodnot. Pro kladné hodnoty dFVE pak dostáváme korelační koeficient **0.41**. Směrnice přímky lineární regrese zde vyšla 0.4. Je tedy vidět, že vliv dFVE na systémovou odchylku a tím na stabilitu přenosové soustavy existuje. Korelační koeficient může být nadhodnocen, proto byla spočtena testovací kritéria a hladiny významnosti testů.

Co se týče vlivu chyby predikce na obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou, pak zcela nejvyšší korelační koeficient vyšel u poptávky a nákupu na trhu vyrovnávacím a to **0.33** u kladných dFVE a **-0.32** u záporných dFVE. Záporný koeficient korelace zde dává smysl, neboť čím jsou záporné hodnoty dFVE nižší, tím je i nižší zobchodované množství na trhu. Pouze je vidět, že nabídka na vyrovnávacím trhu nesouvisí s poptávkou a nákupem regulační energie. Dalším trhem, kde byla nalezena závislost je trh vnitrodenní s korelačním



koeficientem ca. **0.20.**, tedy závislost zde není tak silná. Naopak u trhu denního nebyla nalezena žádná závislost mezi chybou predikce výroby FVE a zobchodovaným množstvím a cenou. U cen za zobchodované množství energie na trzích nebyl nijak markantní vliv nalezen. Zapojení fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy dle získaných výsledků tedy stimuluje obchodování především na trhu vnitrodenním a na trhu vyrovnávacím.

## Kapitola 4

### Závěr

Práce se ve své teoretické části věnovala popisu trhu s elektřinou a způsobů obchodování na něm. Prostřednictvím analýzy pak bylo zjištěno jaké chyby predikce se zhruba dají v jednotlivých časových intervalech očekávat a hlavně jaký vliv má chyba predikce FVE na stabilitu přenosové soustavy a na obchodování na trzích s elektřinou. Vliv dFVE byl nalezen u systémové odchylky, vyrovnávacího a vnitrodenního trhu. Koeficienty vyjadřující míru vztahu mezi chybou predikce pomocí lineární regrese byly spočteny v příslušných kapitolách. Pro lepší zajištění stability elektrizační soustavy by na českém trhu s elektřinou mohla být zvážena možnost zavedení 15 minutových kontraktů, jak tomu je na trhu v SRN.

Do budoucna by bylo zajímavé na práci navázat zjištěním vlivu energie pocházející i z jiných obnovitelných zdrojů energie. Další směr práce vidím v seznámení se s algoritmy predikce výroby fotovoltaických elektráren a jejich možnou optimalizací.

# Literatura

- [1] Benček, K. & et al.(2011), Trh s elektřinou, Úvod do liberalizované energetiky, Asociace Energetických Manažerů, Praha.
- [2] vyhláška č. 426/2005 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích, ve znění pozdějších předpisů
- [3] ČEPS a.s. Systémové služby. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Systemove-sluzby/Stranky/default.aspx> [Navštíveno: 27.09.2013].
- [4] Němeček, B. (2011), Požadavky ERÚ a povinnosti českého účastníka při účasti na německém trhu. Dostupné z: [http://svse.aem.cz/sd031120/eru\\_nemecek.ppt](http://svse.aem.cz/sd031120/eru_nemecek.ppt) [Navštíveno: 2.12.2011].
- [5] Východočeská Energie (2011), FAQ. Dostupné z: <http://www.venergie.cz/faq> [Navštíveno: 2.12.2013].
- [6] OTE, a.s. (2010), 2010 Výroční zpráva/Annual report OTE, a.s.. Dostupné z: [http://www.ote-cr.cz/o-spolecnosti/soubory-vyrocní-zprava-ote/Vyrocní\\_zprava\\_2010.pdf](http://www.ote-cr.cz/o-spolecnosti/soubory-vyrocní-zprava-ote/Vyrocní_zprava_2010.pdf) [Navštíveno: 3.12.2013].
- [7] European Federation of Energy Traders (2007), Standardisation: Legal EFET Standard Contracts and Documentation, Electricity & Electricity Annexes. Dostupné z: [http://www.efet.org/Cms\\_Data/Contents/EFET/Media/Documents/Public](http://www.efet.org/Cms_Data/Contents/EFET/Media/Documents/Public) [Navštíveno: 12.10.2013].
- [8] Operátor trhu s elektřinou. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz> [Navštíveno: 19.11.2013].
- [9] ČEPS a.s. Dostupné z: <https://www.ceps.cz> [Navštíveno: 23.11.2013].
- [10] (2012), ERÚ: Výkupní ceny solární energie v roce 2013 prudce poklesnou. Dostupné z: [www.solarninovinky.cz](http://www.solarninovinky.cz) [Navštíveno: 6.8.2013].
- [11] (2005), ZÁKON o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Dostupné z: <http://www.eru.cz/> [Navštíveno: 17.11.2013].
- [12] (2012), ZÁKON o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Dostupné z: <http://eru.cz/user> [Navštíveno: 17.11.2013].
- [13] Chalupa, S. (2013), Na solární problém mohl dříve upozornit i polostátní ČEZ. Ihned.cz. Dostupné z: <http://byznys.ihned.cz/analyzy-a-komentare/> [Navštíveno: 24.11.2013].

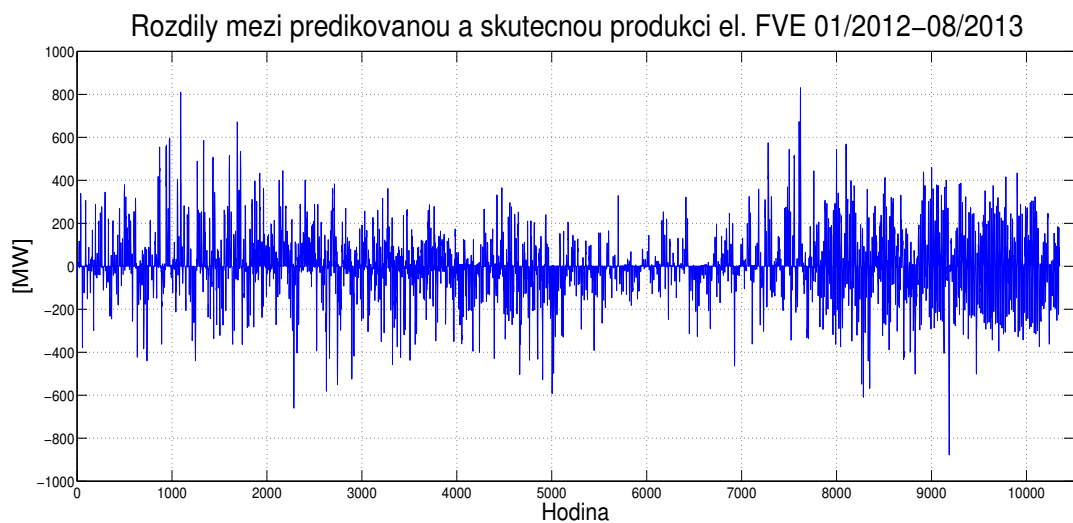
- [14] Wetzel, D. (2013), Energiewende wirft den Klimaschutz zurück. Welt.de. Dostupné z: <http://www.welt.de/wirtschaft/article112672815/Energiewende-wirft-den-Klimaschutz-zurueck.html> [Navštíveno: 9.11.2013].
- [15] Energiemarktdaten, Dostupné z: <http://www.energiemarktdaten.de> [Navštíveno: 2.12.2013]
- [16] Bundesnetzagentur, Dostupné z: <http://www.bundesnetzagentur.de>
- [17] EPEX SPOT SE, Dostupné z: <http://www.epexspot.com/fr> [Navštíveno: 4.12.2013]
- [18] 15-MINUTEN-KONTRAKTE ERFOLGREICH AUF DEUTSCHEM INTRADAY-MARKT GESTARTET. EPEX SPOT SE. Dostupné z: <http://static.epexspot.com/document/14763> [Navštíveno: 2.12.2013].
- [19] EPEX SPOT SE: List of members, Dostupné z: <http://www.epexspot.com/en/membership> [Navštíveno: 2.12.2013]
- [20] Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, Dostupné z <http://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare-Energien-Gesetz> [Navštíveno: 4.12.2013]
- [21] (2013), Analytici: Trh s elektřinou v Německu kvůli podpoře OZE nefunguje, Dostupné z: <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/analytici-trh-s-elektřinou-v-nemecku-kvuli-podpore-oze-nefunguje> [Navštíveno: 5.12.2013]
- [22] (2013), Entwicklung erneuerbare Stromerzeugung Dostupné z: <http://blog.metropolsolar.de/2013/05/entwicklung-erneuerbare-stromerzeugung/> [Navštíveno: 6.12.2013]
- [23] Pravděpodobnostní rozdělení náhodné veličiny. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/images/thumb/0/07/Normalni\\_rozdeleni.png/700px-Normalni\\_rozdeleni.png](http://www.wikiskripta.eu/images/thumb/0/07/Normalni_rozdeleni.png/700px-Normalni_rozdeleni.png) [Navštíveno: 15.12.2013].
- [24] ERÚ (2011), Příloha č. 5 k vyhlášce č. 541/2005 Sb., Způsob zúčtování regulační energie. Dostupné z: [http://www.eru.cz/user/data/files/Vyhlaska/541/Priloha\\_5\\_541.pdf](http://www.eru.cz/user/data/files/Vyhlaska/541/Priloha_5_541.pdf) [Navštíveno: 5.12.2013].
- [25] (2009), SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF> [Navštíveno: 4.12.2013].

## Příloha A

# Granulace dat a související změny dFVE

### A.0.0.2 Den: 6:00-22:00 hodin

#### 1. Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný



Obrázek A.1: Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE

#### Výsledná data:

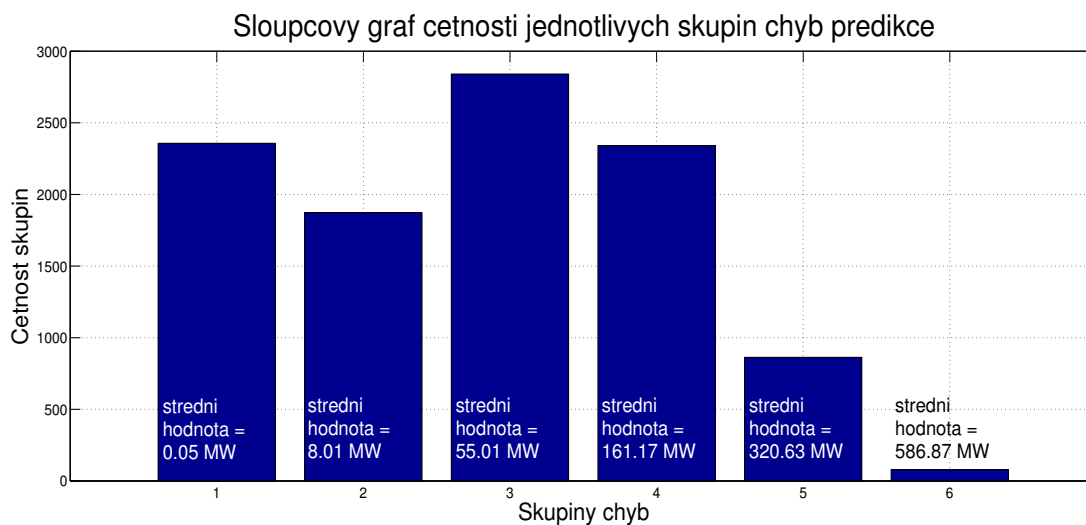
$$\bar{x} = 84.20 \text{ MW}$$

$$s^2 = 1.88 \cdot 10^4$$

$$s = 115.56$$

Oproti neredukovaným datům narostla střední hodnota o ca. 20 MW. To vyplývá z faktu, že zde nejsou zcela zahrnuty noční hodiny, kdy je predikce nulová a skutečně vyrobená energie tatktěž.

## 2. Sloupcový model četnosti dat

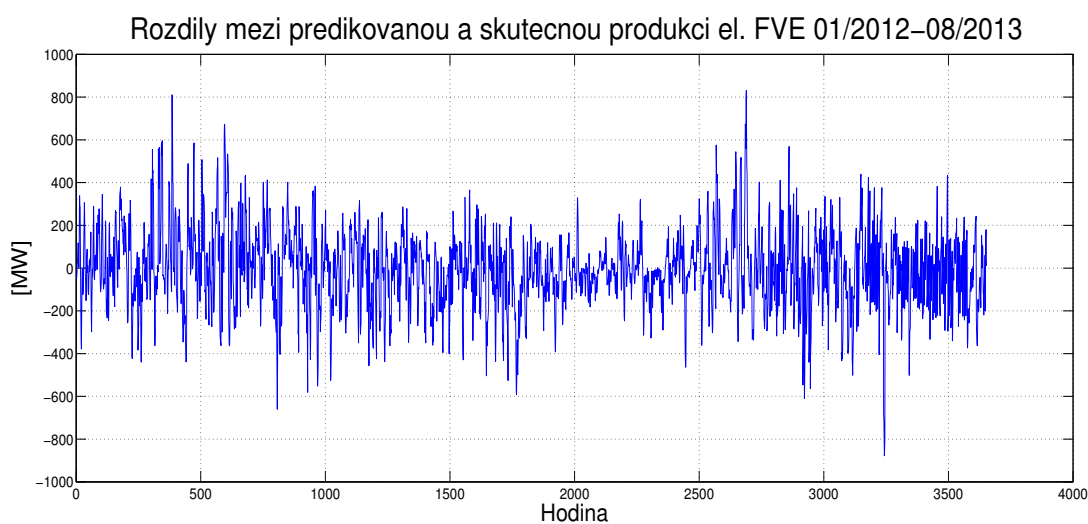


Obrázek A.2: Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu

U modelu pro 6:00-22:00 došlo pochopitelně k redukci počtu prvků v první skupině  $(-1, 1)$ , z důvodu již zmiňované složitější predikci ve zkoumaném intervalu hodin.

### A.0.0.3 Sluneční den: 9:00-14:00 hodin

#### 1. Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný



Obrázek A.3: Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE

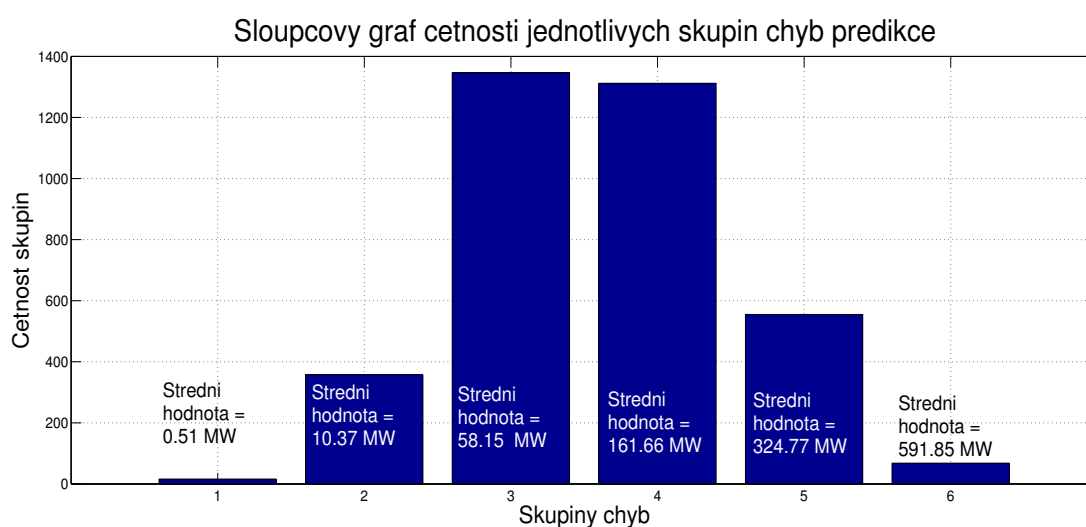
**Výsledná data:**

$$\bar{x} = 140.82 \text{ MW}$$

$$s^2 = 3.47 \cdot 10^4$$

$$s = 186.39$$

Zde činí rozdíl ke střední hodnotě neredukovaných dat dokonce zhruba 80 MW. To lze přičíst faktu, že predikovatelnost v hodinách, kdy očekáváme nejintenzivnější sluneční záření, je nejobtížnější.

**2. Sloupcový model četnosti dat**

Obrázek A.4: Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu

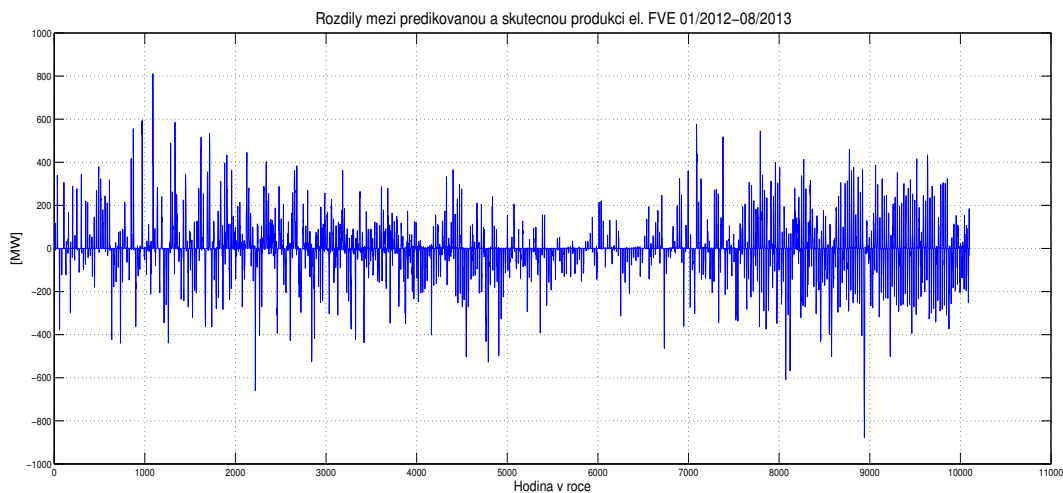
U modelu slunečního dne došlo k maximální redukci počtu prvků v první skupině  $\langle -1, 1 \rangle$  z obdobných důvodů jako o případ výše.

**A.0.0.4 Pracovní dny****1. Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný****Výsledná data:**

$$\bar{x} = 59.03 \text{ MW}$$

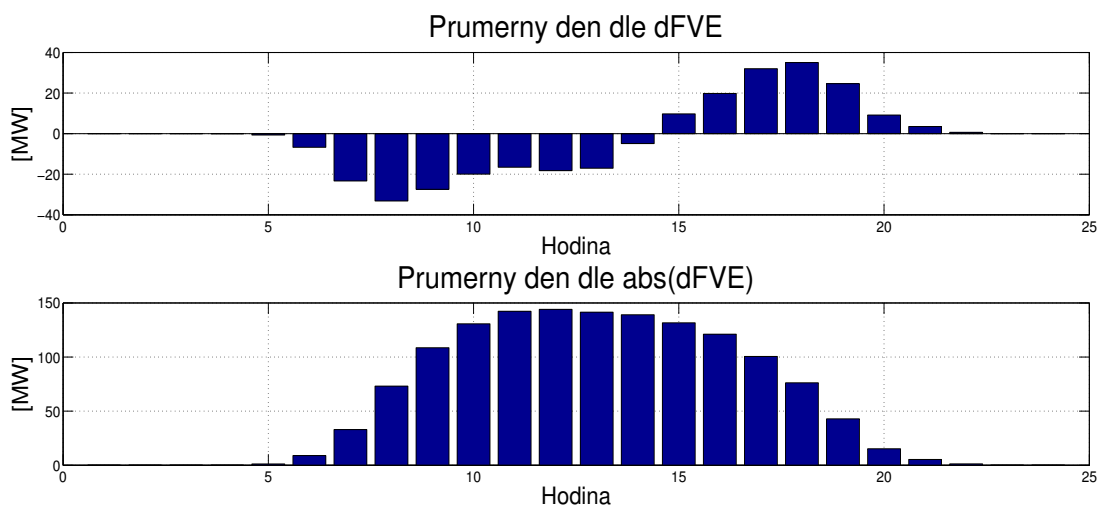
$$s^2 = 11.29 \cdot 10^4$$

$$s = 113.78$$



Obrázek A.5: Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE

## 2. Průměrný den

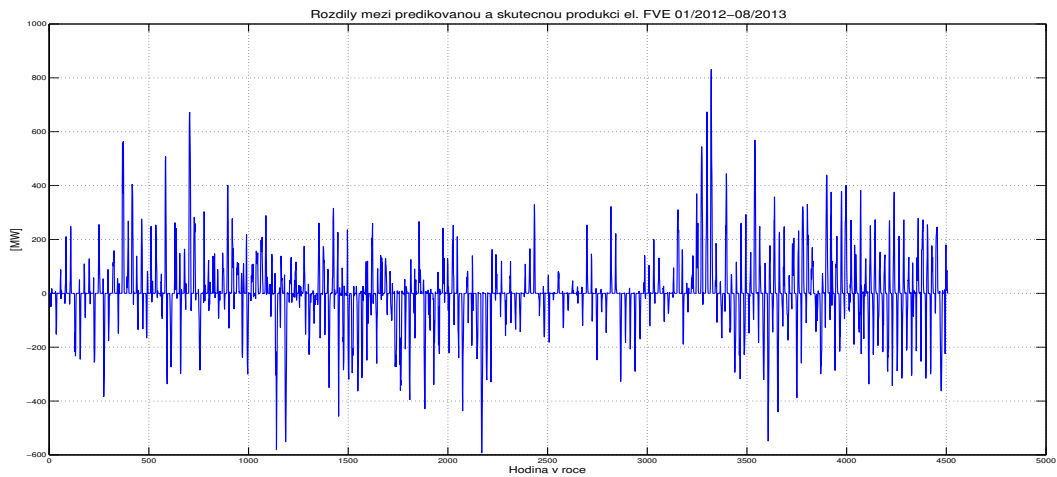


Obrázek A.6: Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu

### A.0.0.5 Nepracovní dny

#### 1. Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný





Obrázek A.7: Rozdíly mezi skutečně dodaným a predikovaným výkonem FVE

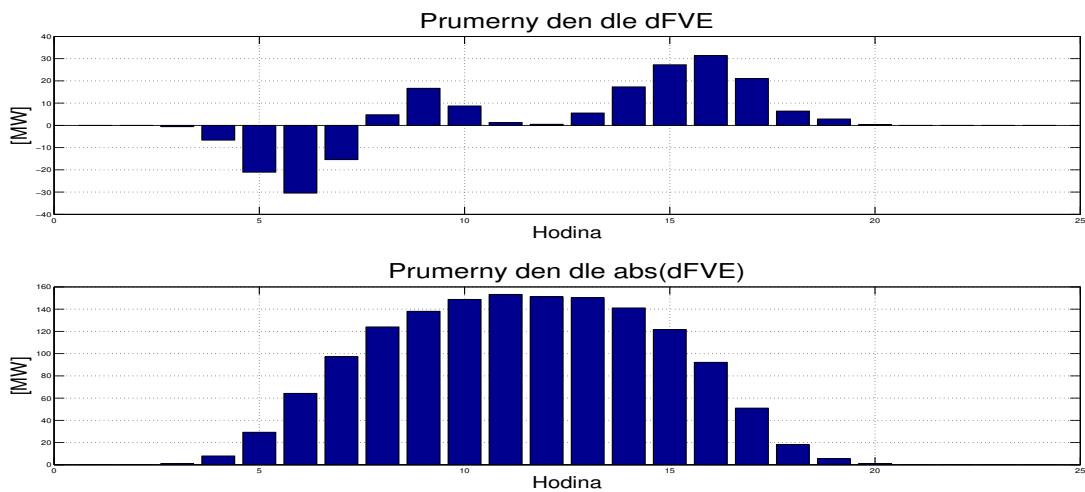
Výsledná data:

$$\bar{x} = 62.38 \text{ MW}$$

$$s^2 = 1.43 \cdot 10^4$$

$$s = 119.41$$

## 2. Průměrný den



Obrázek A.8: Četnost údajů ve skupinách dle sloupcového modelu

Po srovnání výsledků pracovního a nepracovního dne, lze tvrdit, že mezi nimi jsou

rozdíly minimální. Mohlo by se zdát, že v pracovních dnech, kdy je spotřeba energie pravděpodobně vyšší, budou i rozdíly v predikci a skutečné výrobě vyšší, nicméně výsledky analýzy toto tvrzení nepotvrzují.

# Příloha B

## Příručka k analýze

### B.1 Fakticky dodaný výkon FVE vs. predikovaný

Zobrazeny 3 grafy:

1. graf srovnává skutečnou a predikovanou výrobu el. energie ve FVE
2. graf zobrazuje rozdíl mezi výrobou skutečnou a predikovanou
3. graf zobrazuje průměrné hodinové dFVE, tedy průměrný den

U dFVE je zjišťována: **střední hodnota** jako aritmetický průměr dat dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde:

$x_i$  ... hodnota i-tého stavu

$p_i$  ... pravděpodobnost i-tého stavu

**empirický rozptyl:**

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

**empirická směrodatná odchylka:**

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

### B.2 Sloupcový model četnosti dat

Rozdělení zobrazovaných skupin četností dle dFVE v [MW]:

1.  $\rightarrow \langle -1, 1 \rangle$

2.  $\rightarrow \langle -20, -1 \rangle (1, 20)$

3.  $\rightarrow \langle -100, -20 \rangle (20, 100)$

4.  $\rightarrow \langle -250, -100 \rangle (100, 250)$

5.  $\rightarrow \langle -500, -250 \rangle \langle 250, 500 \rangle$

6.  $\rightarrow \langle -\infty, -500 \rangle \langle 500, \infty \rangle$

Sloupcový model zobrazuje ve sloupcovém grafu četnost jednotlivých skupin rozdílů mezi výrobou FVE skutečnou a predikovanou. Tím jak se bude graf měnit, bude možné dedukovat v jakých časových intervalech je predikce nejméně, či nejvíce přesná.

### B.3 Závislost rozdílu predikce a výroby na určitých veličinách

#### Kovariance

O závislosti dvou veličin do určité míry vypovídá kovarianční matic. Kovarianční koeficienty použijí pro zjištění, zda-li mezi veličinami existuje vůbec nějaká závislost. Mohu je jednoduše získat pomocí MATLAB funkce *cov(X, Y)*, kde X a Y odpovídají zkoumaným datům. Pokud by X a Y byly nezávislé, pak by vycházelo  $\text{cov}(X, Y) = 0$ . Zjištěním, že jsou veličiny závislé má smysl poté pokračovat ve zkoumání korelace a zjistit míru jejich závislosti.

#### Korelace

1. Alternativní hypotéza:

Rozdíl ve skutečné výrobě a predikce výroby je korelovaný se zkoumanými daty.

2. Nulová hypotéza:

Rozdíl ve skutečné výrobě a predikce výroby je nekorelovaný se zkoumanými daty.

3. Řešení:

(a) Nejprve bude korelace zkoumána pomocí nástroje MATLABu- scatterplot

Zde budou data ke zjištění korelace graficky zobrazena a následně bude pro zjištění závislosti provedena lineární aproximace dat.

(b) Poté bude tento ověřen výpočtem koeficientu korelace takto:

i. Výpočet: Realizace výběrového koeficientu korelace:

Realizaci výběrového koeficientu korelace vypočteme dle následujícího vzorce:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2)(\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2)}}$$

ii. Výpočet testovací statistiky:

Pro výpočet je nutné spočítat testovací kritérium t:

$$t = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

toto má studentovo rozdělení  $t(n-2)$ .  $N$  je v našem případě počet hodin, které zkoumáme. Kritická hodnota pro 5% hladinu významnosti je  $qT(\text{počet hodin})(0.975)$ . Z toho plyne, že pokud platí  $qT(\text{počet hodin})(0.975) > t$ , není možno hypotézu zamítnout.

- iii. Výpočet hladiny významnosti testu:  
Tuto vypočteme dle následujícího vzorce:

$$v = 2(1 - F_{T(n-2)}(t))$$

Dosaženou hladinu významnosti porovnáme s 5%. V případě, že je vyšší nepovažujeme tento výsledek za staticky významný.

### Intervalový model korelace

V intervalovém modelu je zjišťována závislost u těchto rozdělení (skupin) dle dFVE v [MW]:

1.  $\rightarrow (0, 20)$
2.  $\rightarrow (20, 100)$
3.  $\rightarrow (100, 200)$
4.  $\rightarrow (200, 400)$

### B.4 Testování závislosti pomocí středních hodnot

Data rozdílu predikce a skutečné výroby budou rozdělena dle skupin vulkanického modelu (bez uvažování absolutní hodnoty):

1.  $(-\infty, -500)$
2.  $(-500, -250)$
3.  $(-250, -100)$
4.  $(-100, -20)$
5.  $(-20, -1)$
6.  $(-1, 1)$
7.  $(1, 20)$
8.  $(20, 100)$
9.  $(100, 250)$
10.  $(250, 500)$
11.  $(500, \infty)$

V rámci těchto skupin jsou spočteny střední hodnoty a směrodatné odchylky rozdělení dFVE a další zkoumané veličiny. Dle jejich hodnot a změn v jednotlivých skupinách bude možné vysledovat, zda-li závislost mezi zkoumanými veličinami existuje, či nikoli. Taktéž je zobrazen sloupcový graf.

## Příloha C

# Seznam použitých zkratek

**ČEPS** Provozovatel české energetické přenosové soustavy

**dFVE** Rozdíl mezi skutečně vyrobenou a predikovanou energií vyrobenou fotovoltaickými elektrárnami ( $dFVE = \text{výrobaFVE} - \text{predikceFVE}$ ) / chyba predikce

**EEG** Erneuerbare-Energien-Gesetz, Zákon o přednosti obnovitelných zdrojů energie v SRN (účinnost 2000)

**ERÚ** Energetický regulační úřad ČR

**ESČR** Elektrizační soustava ČR

**FVE** Fotovoltaická elektrárna

**OTE** Operátor trhu ČR

**OZE** Obnovitelné zdroje energie

**PpS** Podpůrné služby

**RÚT** Registrovaný účastník trhu

**SO** Systémová odchylka

**SZ** Subjekt zúčtování

## Příloha D

# Obsah přiloženého CD

**Bakalářská práce ve formátu pdf**

**Příručka k analýze ve formátu pdf**

**EFET rámcová smlouva ve formátu pdf**

**Zdrojové kódy** Analýza vlivu FVE na systémovou odchylku a obchodování na krátkodobých trzích s elektřinou

**Poskytnutá data výroby FVE a obchodování na krátkodobých trzích**