

Diplomová práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## Nové trendy v oblasti poskytování energetických služeb

**Bc. Michael Němý**

Školitel: Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

Obor: Elektrotechnika, energetika a management

Zaměření: Ekonomika a řízení energetiky

Květen 2018



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Němý** Jméno: **Michael** Osobní číslo: **420029**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Nové trendy v oblasti poskytování energetických služeb**

Název diplomové práce anglicky:

**New trends in energy services**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Identifikujte a analyzujte klíčové trendy v oblasti výroby a spotřeby energie
- 2) Identifikujte a popište současné trendy v oblasti poskytování energetických služeb
- 3) Navrhněte postup pro ocenění služby výkup flexibility na straně zákazníka
- 4) Verifikujte navržený postup na modelovém obchodním případě

Seznam doporučené literatury:

LOSI, Arturo, Pierluigi MANCARELLA a Antonio VICINO. Integration of Demand Response into the Electricity Chain: Challenges, Opportunities, and Smart Grid Solutions. Londýn: ISTE Ltd a John Wiley, 2015. ISBN 978-1-84821-854-3.  
CHEMIŠINEC, Igor, Miroslav MARVAN, Jakub NECESANÝ, Tomáš SÝKORA a Jiří TUMA. Obchod s elektřinou. Praha: Conte, 2010. ISBN 978-80-254-6695-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Tomáš Králík, Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL**

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

Datum zadání diplomové práce: **26.01.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta



## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tomášovi Králíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a pomoc při vedení této diplomové práce.

Mé díky patří také Ing. Ondřejovi Šišpělovi ze společnosti ČEZ ESCO za možnost seznámit se s produktem DR v této společnosti.

## 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, 15. května 2018

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou energetické služby Demand Response (DR). Cílem práce bylo analyzovat současné modely stanovení potenciálu služby DR na straně zákazníka a představit nový přístup k této problematice.

Představený inovativní model je založen na principech data miningu. K ohodnocení potenciálu využívá metod shlukové analýzy a rozhodovacího stromu.

Jednotlivé metody byly otestovány na případě modelového zákazníka, strojírenské společnosti ve středních Čechách. Navržen byl také model pro ekonomické ohodnocení DR flexibility v prostředí ČR.

Práce dále obsahuje analýzu historického vývoje evropského energetického sektoru, který vedl k masivnímu rozvoji energetických služeb.

**Klíčová slova:** energetické služby, DSM, DR, Canopy, K-Means

**Školitel:** Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

## Abstract

This master thesis deals with the Demand Response energy service (DR). The aim was to analyse current DR potential evaluation models and to present a new approach to this issue.

The presented innovative model is based on data mining principles. The cluster analysis and decision tree methods are applied to evaluate the potential.

Individual models were tested on data of a model customer, an engineering company from Central Bohemia. A model for economic evaluation of DR flexibility within the framework of the Czech energy market was proposed.

The thesis further contains analysis of the historical development of European energy sector, which has led to a massive expansion of energy services.

**Keywords:** energy services, DSM, DR, Canopy, K-Means

**Title translation:** New trends in energy service

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>		
<b>2 Trendy v oblasti výroby a spotřeby energie</b>	<b>3</b>		
2.1 Klasický energetický model	3		
2.2 Liberalizace trhu s elektřinou	4		
2.2.1 Liberalizace v EU	4		
2.2.2 Třetí liberalizační balíček	5		
2.3 Současný stav energetiky a budoucí výzvy	6		
2.3.1 Cíle EU v oblasti energetiky	7		
2.4 Energetika České republiky	8		
2.4.1 Státní energetická koncepce	8		
<b>3 Energetické služby</b>	<b>11</b>		
3.1 Poskytování služeb v energetice	11		
3.2 Významné energetické služby	12		
3.2.1 Zvyšování energetické účinnosti	12		
<b>4 Demand response</b>	<b>15</b>		
4.1 Princip služby Demand Response	15		
4.1.1 Cenové modely	17		
4.1.2 Pobídkové modely	17		
4.2 Přínosy	19		
4.3 Rozšíření v Evropě	20		
4.3.1 Velká Británie	21		
4.3.2 Německo	21		
4.3.3 Česká republika	22		
4.4 Hromadné dálkové ovládání	23		
4.4.1 Vysílání HDO	24		
<b>5 Stanovení potenciálu služby DR na straně zákazníka</b>	<b>27</b>		
5.1 Druhy DR potenciálu	27		
5.2 Existující modely	28		
5.2.1 S3C Toolkit	29		
5.2.2 Komerční software	31		
5.3 Inovativní model	34		
5.3.1 Algoritmus	34		
5.4 Srovnání analyzovaných modelů	40		
5.5 Finanční ocenění flexibility odběratele	42		
5.5.1 Systém zúčtování odchylek	42		
<b>6 Modelový případ</b>	<b>45</b>		
6.1 Modelový zákazník	45		
6.1.1 Charakteristika odběratele	45		
6.2 Analýza potenciálu odběratele	47		
6.2.1 S3C Toolkit	48		
6.2.2 Komerční software	49		
6.2.3 Inovativní model	50		
6.2.4 Srovnání technického potenciálu	54		
6.3 Ekonomické hodnocení DR potenciálu	55		
6.3.1 Postup ekonomického hodnocení	56		
6.3.2 Srovnání ekonomických výsledků	57		
<b>7 Závěr</b>	<b>59</b>		
<b>A Použité zkratky</b>	<b>61</b>		
<b>B Odběrový diagram (formát dat)</b>	<b>63</b>		
<b>C Zdrojový kód</b>	<b>65</b>		
<b>D Literatura</b>	<b>71</b>		

## Obrázky

2.1 Vývoj ceny silové elektřiny . . . . .	7
3.1 Schéma průběhu EPC projektu .	13
4.1 Kategorie Demand Response . . .	16
4.2 Schéma aplikace DR u zákazníka	18
4.3 Schéma aplikace DR u zákazníka se zohlednění „rebound effectu“ . .	19
4.4 Rozvoj DE ve vybraných evropských státech . . . . .	20
4.5 Graf HDO . . . . .	24
5.1 Dělení potenciálu DR . . . . .	28
5.2 Rozhraní pro zadávání vstupních hodnot do programu S3C . . . . .	30
5.3 Grafická reprezentace dat v programu S3C . . . . .	31
5.4 Grafická reprezentace výstupů z komerčního softwaru . . . . .	32
5.5 Teplotní závislost příkonu . . . . .	35
5.6 Princip Canopy algoritmu . . . . .	37
5.7 Rozhodovací strom pro hodnocení shluků . . . . .	39
5.8 Stanovené zúčtovací ceny odchylek platné v roce 2009 - 2018 . . . . .	44
6.1 Roční odběrový diagram . . . . .	46
6.2 Měsíční odběrový diagram . . . . .	47
6.3 Denní odběrový diagram . . . . .	47
6.4 Výsledek metody S3C Toolkit . .	48
6.5 Výsledná grafická reprezentace potenciálu - komerční software . . .	49
6.6 Řez souborem objektů rovinou 5. a 10. hodiny . . . . .	51
6.7 Řez souborem objektů rovinou 10. a 21. hodiny . . . . .	51
6.8 Denní odběrový diagram centroidů určených Canopy algoritmem . . . . .	52
6.9 Denní odběrový diagram shluků	53

## Tabulky

6.1 Tabulka popisných charakteristik pro vybrané hodiny . . . . .	49
6.2 Tabulka charakteristik jednotlivých shluků . . . . .	54
6.3 Srovnání maximálního potenciálu dle modelů . . . . .	54
6.4 Srovnání ekonomického hodnocení modelů . . . . .	57
7.1 Srovnání ekonomického hodnocení modelů . . . . .	60



# Kapitola 1

## Úvod

Evropský energetický sektor prochází v posledních několika letech dramatickým vývojem. Ten je určován nejen technologickým pokrokem, ale také legislativními změnami.

K tomu, aby v tomto prostředí uspěly, jsou stávající energetické společnosti nuceny volit nové, inovativní obchodní strategie. V dnešní době tak například nabízí široké spektrum komodit, telekomunikační, či finanční služby.

Fenoménem posledních několika let se v České republice stalo poskytování energetických služeb. Mezi ně lze zařadit široké spektrum činností. Velký potenciál z hlediska elektrizační soustavy má služba Demand Response.

Jednou z největších výzev současnosti je zajištění integrace intermitentních obnovitelných zdrojů do energetického mixu jednotlivých zemí. Hlavním problémem v případě většího zastoupení těchto zdrojů představuje zajištění výkonové rovnováhy.

Stále častěji je jako jedno z možných řešení této situace zmiňováno využití moderní technologie smart meteringu pro rychlé a adresné řízení zátěže na straně spotřeby - Demand Response.

Na základě poptávky je v rámci této služby po předem definovanou dobu u odběratel cíleně zvýšena, nebo snížena spotřeba elektřiny. Zmíněná regulace je nejběžněji realizována na tepelných akumulacích spotřebičích, malé kogeneraci, či vzduchotechnice. V blízké budoucnosti představuje pro tyto účely značný potenciál využití akumulátorů elektromobilů.

Pro prvotní rozšíření Demand Response je nutné stanovit potenciál odběratelů účastnit se této služby. Nízký potenciál může být, vzhledem k přetrvávající investiční náročnosti smart meterů, limitujícím faktorem pro aplikaci služby.

V běžné praxi je využíváno několik přístupů, jak provést ohodnocení potenciálu odběratele. Řešení jsou ve většině případů nabízena ve formě komerčních softwarů. Ty se liší ve své kvalitě a aplikovatelnosti.

Cílem této práce je analyzovat dostupné metody pro stanovení potenciálu Demand Response na straně zákazníka. Následně navrhnout model založený na současných vědeckých pracích na toto téma. Komparace modelů je provedena na analýze modelového odběratele elektřiny v České republice.

Tato práce je rozdělena do jednotlivých kapitol. Pro větší přehlednost je zde uvedeno jejich krátké shrnutí.

Po úvodní kapitole následuje kapitola analyzující vývoj evropské energetiky

od klasického modelu, přes liberalizační procesy až k dnešnímu stavu.

V následující kapitole je představen koncept energetických služeb. Zvláštní pozornost je věnována skupině služeb označovaných jako Demand Side Management a energetickým úsporám.

Pro tuto práci nejvýznamnější energetické službě Demand Response je věnována samostatná kapitola. Detailně je analyzován princip této služby a její rozšíření v některých evropských státech.

Pátá kapitola se zabývá problematikou stanovení potenciálu služby Demand Response na straně zákazníka. V ní je představen teoretický rámec této problematiky a následně provedena detailní analýza dvou existujících modelů. Představen je také inovativní model založený na dostupných vědeckých pracích. V poslední části této kapitoly je identifikován způsob finančního ocenění této služby v České republice.

V předposlední kapitole je za pomoci tří dříve představených modelů provedena analýza potenciálu modelového odběratele participovat ve službě DR. Ta je doplněna detailní komparací výsledků.

Závěry této práce jsou pro přehlednost shrnuty v závěrečné kapitole.

## Kapitola 2

### Trendy v oblasti výroby a spotřeby energie

Zásadním fenoménem několika posledních let se na energetickém trhu stalo poskytování tzv. energetických služeb. Těm je věnována tato diplomová práce. Detailněji je analyzována služba Demand Response.

Pro pochopení plného významu energetických služeb je nutné porozumět vývoji energetiky, který vedl k jejich dnešnímu, tak zásadnímu rozmachu.

Z tohoto důvodu bude v této úvodní kapitole představen historický vývoj energetických trhů od klasického vertikálně integrovaného modelu přes proces liberalizace až k současnému stavu energetického odvětví.

#### 2.1 Klasický energetický model

Energetiku většiny států světa po druhé světové válce lze charakterizovat jako ryze národní a monopolní odvětví. Důvody pro to je možné identifikovat v procesu znárodnování, které proběhlo napříč Evropou po roce 1945. Dalším zásadním faktorem byla velká investiční náročnost a dlouhý životní cyklus budovaných uhelných a vodních elektráren. Tyto vlivy společně vytvořily z odvětví energetiky přirozený monopol.

V evropských státech tak byly všechny součásti elektrizační soustavy (výroba, přenos, distribuce a prodej elektrické energie) zajišťovány jednou, vertikálně orientovanou společností. Ta byla vlastněna, nebo regulována státem. Podle Chemišince [Che10] stát určoval míru výnosnosti regulovaného podnikání a byl zárukou zabezpečení současné i budoucí dodávky energie.

Nevýhodami takového uspořádání jsou z pohledu odběratele:

- Nemožnost minimalizovat cenu elektrické energie volbou alternativního dodavatele
- Neefektivní hospodaření monopolního subjektu
- Absence nezávislého kontrolního úřadu

První a druhý ropný šok v roce 1973, respektive v roce 1979 způsobily rozkolísání cen energetických vstupů. To ve svém důsledku vedlo na jedné straně k rozvoji investičně náročné jaderné energetiky, tedy posílení vertikálně orientovaného systému. Na straně druhé, ropné krize ukázaly velkou zranitelnost a neschopnost rychlé reakce stávajícího netržního systému.



Nicméně cíle Evropské unie nelze spatřovat pouze v samotném přechodu k tržním mechanismům, ale snahu skrze liberalizaci energetických trhů dosáhnout harmonizace národních legislativ členskými státy tak, aby ty mohly být jednoduše integrovány do jednotného evropského vnitřního energetického trhu.

Snahy o liberalizaci vyústily ve vydání prvního liberalizačního balíčku v roce 1996 - Směrnice 1996/92/EC.

V něm byly stanoveny požadavky na otevřený trh. Mezi hlavní body lze zařadit zavedení nezávislých provozovatelů sítí, zajištění přístupu k sítím, či nezávislý dohled nad odvětvím. Implementace do národních legislativ jednotlivých členských států neprobíhala napříč Evropou jednotně. Ve státech s již zavedenými prvky tržního prostředí byl přechod velmi rychlý. Naproti tomu státy s jedním dominantním výrobcem, ve kterých byla elektřina vnímána jako veřejný statek (Francie, Itálie), přechod k liberalizovanému trhu odmítaly.

Na základě získaných zkušeností přijala Evropská komise druhý liberalizační balíček, který vstoupil v platnost v červenci 2004. Ten dále rozšiřoval závazné podmínky plynoucí z prvního balíčku a konkretizoval je. Cílem tak byl další rozvoj konkurenčního prostředí, ale také zajištění rovného přístupu k sítím. Mezi hlavními obsahovými body bylo: existence nezávislého regulátora, přístup k sítím pro všechny odběratele, oddělení provozovatelů distribučních sítí od dodavatelů elektřiny. Ulehčen byl také přeshraniční obchod s elektřinou.

### ■ 2.2.2 Třetí liberalizační balíček

V pořadí již třetí liberalizační balíček byl schválen v dubnu 2009. Sestává se z pěti norem:

- Směrnice č. 2009/72/EC o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou
- Směrnice č. 2009/73/EC o společných pravidlech pro vnitřní trh se zemním plynem
- Nařízení č. 713/2009, kterým se zřizuje Agentura pro spolupráci energetických regulačních úřadů
- Nařízení č. 714/2009 o podmínkách přístupu do sítě pro přeshraniční obchod
- Nařízení č. 715/2009 o podmínkách přístupu k plynárenským přepravním soustavám

Oproti výše zmíněným legislativním dokumentům již obsahoval konkrétní právní normy pro liberalizaci trhu s elektřinou a plynem. Zásadním bodem balíčku je provedení vlastnického unbundlingu - oddělení výroby elektrické energie od přenosové soustavy a od distribuce, posílení vlivu národních regulačních autorit, zvýšení přeshraniční spolupráce provozovatelů přenosových soustav v rámci ENTSO-E a další posílení postavení spotřebitele.



silové elektřiny vykazoval v několika posledních letech klesající trend, od roku 2013 se cena pohybovala pod hranicí 40 EUR/MWh.

### Vývoj cen elektrické energie



**Obrázek 2.1:** Cena silové elektřiny, reprezentováno cenou nejbližších ročních kontraktů Baseload na burze PXE<sup>1</sup> [PXE17]

Z výše popsaných důvodů přestává být cena elektřiny funkčním tržním signálem. Investoři vyhledávají pouze investice do státem garantovaných, dotovaných zdrojů energie. Absence alokační funkce trhu vede k tvorbě nevyrovnaného energetického mixu, který zvláště z důvodu rostoucího zastoupení intermitentních zdrojů elektřiny snižuje svoji stabilitu.

Odpovědí některých států na nastalou situaci je zavádění tzv. kapacitních mechanismů, tedy opatření vedoucích k zajištění dostatečného instalovaného výkonu pro pokrytí stabilních dodávek energie. Jednotlivé zdroje dostávají zaplacené za instalovaný výkon, který nabízí na trhu, nebo drží v pohotovosti tak, aby byla zajištěna výkonová přiměřenost. Některá z forem kapacitních mechanismů v současné době funguje například ve Velké Británii nebo ve Francii.

#### ■ 2.3.1 Cíle EU v oblasti energetiky

Zásadní body budoucího směřování energetického sektoru Evropské unie do roku 2020 byly stanoveny v Klimaticko-energetickém balíčku z roku 2009. Jsou jimi: Snížení emisí skleníkových plynů oproti roku 1990 nejméně o 20 %, zvýšení energetické účinnosti o 20 % a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na celkové energetické spotřebě na 20 %. Podle pravidelného

<sup>1</sup>Cena silové elektřiny na pražské burze PXE je dlouhodobě silně korelována s cenou na německé burze EEX. Podobný vývoj cen silové elektřiny byl tedy pozorovatelný v celé střední Evropě.





Strategickými prioritami jsou Vyvážený energetický mix, Úspory a účinnost, Infrastruktura a mezinárodní spolupráce, Výzkum, vývoj a inovace a Energetická bezpečnost.

Aktuální státní energetická koncepce předpokládá do roku 2040 zásadní změny ve struktuře výroby elektrické energie. Dominantní roli uhelných elektráren přezvzmou v energetickém mixu jaderné zdroje. Ty by v roce 2040 měly pokrývat výrobu elektrické energie z téměř 50 %. Více jak 22 % výroby bude pocházet z obnovitelných a druhotných zdrojů energie. Jen necelých 18 % bude připadat na uhelné elektrárny.

Důvodem snižování podílu uhelných elektráren na energetickém mixu je vysoké stáří současných zdrojů, zpřísňující se emisní limity pro stacionární zdroje, ale také surovinová omezení.

Rozvoj jaderné energetiky bude realizován výstavbou nových jaderných bloků o instalovaném výkonu do 2 500 MW. Dále poté prodloužením životnosti jaderné elektrárny Dukovany na 50, popřípadě až 60 let.

- Evropský energetický sektor prošel v posledních 60 letech zásadní proměnou od vertikálního k v současnosti využívanému horizontálnímu systému. Vývoj v jednotlivých zemích Evropské unie, včetně České republiky, je do značné míry determinován společnou evropskou legislativou. Snahy o liberalizaci, unifikaci a rozvoj obnovitelných zdrojů představují zásadní výzvy pro současný, ale i budoucí vývoj.

Energetické společnosti jsou nuceny měnit své zvyklosti, aby měly šanci uspět v dynamicky se měnícím prostředí.



## Kapitola 3

### Energetické služby

Z předchozí kapitoly je zřejmé, že evropský energetický sektor prochází v posledních několika letech dramatickým vývojem. Dynamicky se vyvíjející evropská legislativa spolu s poklesem cen silové elektřiny vedly k zásadnímu poklesu zisků většiny velkých evropských energetických společností.

Zásadní význam pro ekonomickou prosperitu těchto společností v minulosti představovaly výnosy plynoucí z výroby a prodeje elektrické energie. Provozování klasických fosilních zdrojů, které stále zastávají dominantní postavení v energetickém mixu mnoha společností, přestává být rentabilní.

Současně proces liberalizace a s ním spojeného nárůstu konkurence vedl u těchto dříve monopolních subjektů nejen k poklesu jednotkové marže, ale současně i k poklesu počtu odběratelů.

V tomto prostředí jsou energetické společnosti nuceny volit nové strategie. Zdrojem dodatečných zisků se tak stávají podporované zdroje energie, kapacitní mechanismy, stále častěji také poskytování energetických služeb.

Tato kapitola je věnována představení energetických služeb. Detailněji se následně zabývá jednou z nich - zvyšování energetické účinnosti.

#### 3.1 Poskytování služeb v energetice

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/32/ES definuje energetické služby jako [EU06]:

*„fyzický prospěch, užitek nebo dobro získané kombinací energie s energeticky účinnými technologiemi nebo činnostmi, které mohou zahrnovat provozní činnosti, údržbu a kontrolu nezbytnou pro dodání služby, jež je dodávána na základě smlouvy a u níž bylo prokázáno, že za normálních okolností vede k ověřitelnému a měřitelnému či odhadnutelnému zvýšení energetické účinnosti nebo k úsporám primární energie“*

Pojem energetické služby bude v této práci používán právě ve významu souboru činností prováděných u spotřebitele, které ve svém důsledku vedou k úsporám primárních energií.

Společnosti specializující se na poskytování těchto služeb bývají označovány anglickou zkratkou ESCO (*Energy Service Company*). Ty vystupují na B2B, v menší míře na B2C trhu jako nezávislé společnosti, nebo jako součást velkých energetických korporací.

V rámci obchodního modelu společnost ESCO oslovuje potenciálního zákazníka, kterému většinou bezplatně provede prvotní analýzu ekonomiky hospodaření s energiemi. Na jejím základě jsou navrženy vhodné energetické služby.

## 3.2 Významné energetické služby

Energetických služeb nabízených v dnešní době je široké spektrum. Jsou jimi například: zavedení systému měření a vyhodnocování hospodaření s energiemi, instalace obnovitelných zdrojů energie, či energetické poradenství.

Zásadní význam mezi energetickými službami zastává skupina služeb označovaných jako Demand Side Management (DSM) - tedy řízení spotřeby na straně odběratele. Podle [Pal11] do této skupiny řadíme hlavně zvyšování energetické účinnosti a službu Demand Response.

Z důvodu stále vzrůstajícího podílu intermitentních obnovitelných zdrojů v energetickém mixu evropských států a s tím spojených zvyšujících se nároků na výkonovou regulaci se stává velmi populární služba Demand Response. Vzhledem k očekávanému budoucímu potenciálu, je popisu této služby věnována samostatná kapitola 4 a praktická část této práce.

Zvyšování energetické účinnosti je věnována následující podkapitola.

### 3.2.1 Zvyšování energetické účinnosti

Termín zvyšování energetické účinnosti v sobě zahrnuje široké spektrum činností vedoucích ke snížení spotřeby energií nutných k vykonání určité činnosti.

Prvním krokem v procesu zvyšování energetické účinnosti je analýza využívání jednotlivých energetických zdrojů u odběratele. To je realizováno například formou energetického auditu, nebo technicko-ekonomické studie. Následně jsou doporučeny vybraná energeticky úsporná opatření.

Těmi může být výměna spotřebičů za nové s vyšší účinností, využití odpadního tepla z technologického procesu, změna primárního energetického zdroje nebo optimalizace provozních činností.

V případě zájmu jsou vybraná opatření realizována. Nedílnou součástí jakéhokoli opatření je následné měření a kontrola - ověření očekávaného efektu.

Zásadní impuls pro rozvoj služeb zvyšování energetické účinnosti byla podpora ze strany Evropské unie. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.3.1, cíl EU pro rok 2020 je zvýšit energetickou účinnost o 20 %, tedy snížit spotřebu energie o 20 % oproti referenčnímu vývoji spotřeby. Pro Českou republiku z toho vyplývá závazek do roku 2020 dosáhnout tzv. celkových nových úspor na konečné spotřebě energie ve výši 14,08 TWh.

Jednotlivé kroky, které by měla zajisti dosažení tohoto cíle, jsou aktuálně uvedeny v již 5. aktualizaci Národního akčního plánu energetické účinnosti ČR. Jedná se například o podporu formou dotačních programů, legislativní opatření, ale i o osvětu.

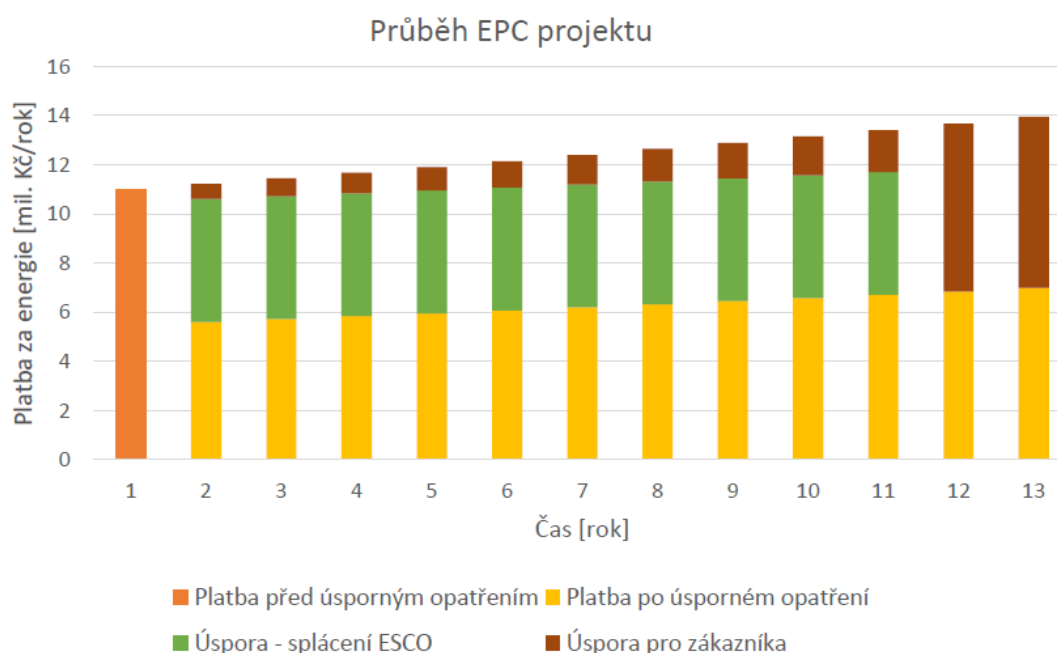
Příkladem legislativního a osvětového opatření je systém povinných energetických auditů pro velké a některé další podniky. Jejich hlavním cílem je analyzovat hospodaření s energiemi a současně upozornit auditované společnosti na možnosti energetických úspor v jejich firmě.

### ■ EPC projekty

Zásadní energetickou službou jsou takzvané „energeticky úsporná opatření s garantovanou zárukou“ (v angličtině označováno jako „Energy Performance Contracting - EPC“).

Na základě analýzy technologického zařízení a hospodaření s energiemi je spotřebiteli navrženo úporné opatření a garantována úspora. Investice na toto opatření je realizována z finančních zdrojů ESCO. Zákazník ji následně splácí z garantovaných úspor. Klíčovým prvkem EPC projektu je právě zmíněná garance. Pokud jsou úspory menší, než bylo smluvně ujednáno, platí zákazník za službu úměrně menší částku.

Na obrázku 3.1 je vyobrazen typický průběh EPC projektu. Ten zobrazuje výše výdajů na energie ve sledované společnosti. Ve druhém roce jsou provedeny energeticky úsporná opatření, která podstatně sníží spotřebu energií, a tedy i platbu za ně. Po dobu 10 let zákazník z části takto generovaných úspor splácí službu EPC - splácí investici ESCO. Současně mu vzniká úspora proti stavu, kdyby k energeticky úspornému opatření nedošlo.



**Obrázek 3.1:** Schéma průběhu EPC projektu

- Jedním z trendů v oblasti energetiky se v posledních několika letech stalo poskytování energetických služeb. Tyto činnosti vedoucí ve svém důsledku k úspoře primárních energetických surovin jsou nabízeny tzv.

ESCO společnostmi. Stávají se také významným prvkem produktového portfolia velkých energetických společností.

Zásadní skupinou služeb je tzv. Demand Side Management, do kterého lze zařadit zvyšování energetické účinnosti a službu Demand Response.

## Kapitola 4

### Demand response

Pro stabilní provoz elektrizační soustavy musí být v každém okamžiku zachována výkonová rovnováha:

$$P_V(t) = P_S(t) + P_Z(t) + P_A(t) \quad (4.1)$$

,kde:

$P_V$  je činný výkon výroby v čase  $t$  [MW]

$P_S$  je činný příkon spotřeby v čase  $t$  [MW]

$P_Z$  je výkon činných ztrát v sítích čase  $t$  [MW]

$P_A$  je činný příkon nabíjených akumulacích prvků v čase  $t$  [MW]

Zachování rovnosti uvedené rovnice je jedním z hlavních úkolů dispečerského řízení provozovatele přenosové soustavy. Nejstarším a nejrozšířenějším způsobem reakce na proměnnou spotřebu elektřiny je regulace na straně výroby. Pro tyto účely jsou využívány špičkové zdroje elektřiny (akumulační a přečerpávací vodní elektrárny, paroplynové zdroje), pro velmi rychlé změny poté hlavně tzv. podpůrné služby.

Regulaci je možné realizovat také na straně spotřeby pomocí systému hromadného dálkového ovládání (HDO). Tomu je věnována samostatná podkapitola v této práci.

Spolu s masivním rozšířením intermitentních obnovitelných zdrojů v posledních několika letech, hlavně fotovoltaických a větrných elektráren, došlo k nárůstu potřeby rychlé regulace za účelem zajištění výkonové rovnováhy.

Z výše zmíněných možností se pro potřebnou rychlou a špatně predikovatelnou potřebu regulace dají využít pouze podpůrné služby. Ostatní způsoby jsou většinou využívány pro krytí poměrně dobře predikovatelných výkyvů v denním diagramu zatížení elektrizační soustavy.

Potřebnou regulační kapacitu je možné najít na straně spotřeby díky v dnešní době rozšiřujícím se technologiím Smart Grids a službě Demand Response.

#### 4.1 Princip služby Demand Response

Demand Response (DR) je možné podle [Alb07] definovat jako program motivující konečného odběratele cíleně změnit v nadcházejícím časovém intervalu

svojí plánovanou spotřebu elektrické energie. Děje se tak na žádost specializovaného subjektu, s kterým má odběratel uzavřenou smlouvu. Aktivní účast je spojena s finanční, či nefinanční odměnou.

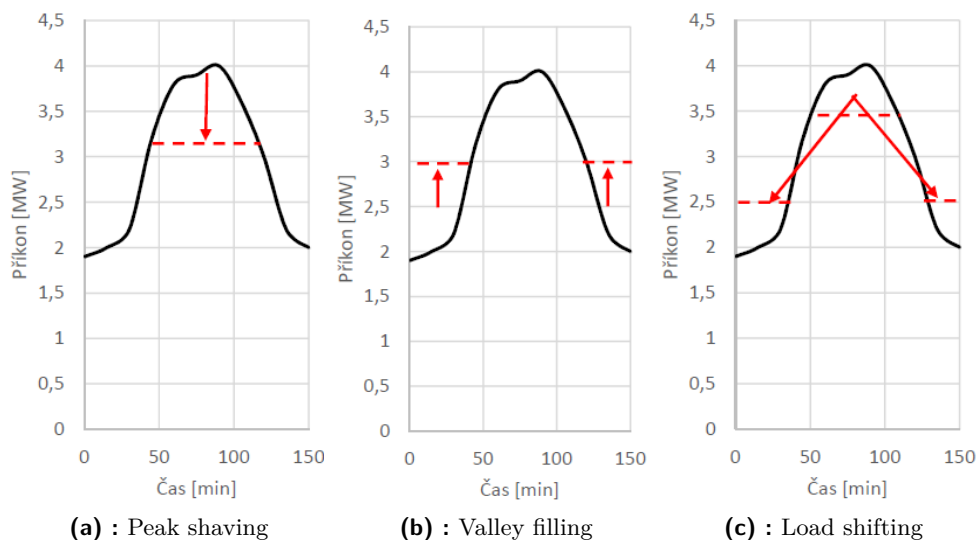
Tato flexibilita může být využita například pro velmi rychlé zajištění výkonové bilance elektrizační soustavy, jak bylo uvedeno v úvodu této kapitoly. Pro tyto účely může být nabízena jako podpůrná služba, či vstupovat na vyrovnávací trh.

Většina odběratelů (domácností a firem) však disponuje pouze relativně nízkým potenciálem, schopností snížit/zvýšit svůj příkon. Z tohoto důvodu vzniká na trhu nový subjekt - agregátor. Jeho účelem je analyzovat, vykoupit a agregovat, tedy sjednotit flexibilitu od jednotlivých spotřebitelů a vytvořit tak jakousi „virtuální elektrárnu“. Ta je již dostatečně velká, aby mohla být nabízena na energetických trzích a plnit tak svou funkci.

Funkci agregátora zastává velmi často obchodník s elektřinou, v některých zemích jím však může být i zcela nezávislý subjekt.

Odběratel může pro potřeby DR regulovat (snížit/zvýšit příkon) libovolného spotřebiče. Většinou se však snaží minimalizovat dopad na svou běžnou činnost. Z tohoto důvodu jsou vhodnými skupinami spotřebičů k regulaci například tepelné akumulární spotřebiče (technologický ohřev/chlazení), či úzká hrdla výrobních procesů.

Nejčastěji je služba DR na straně odběratele využívána k cílenému snížení spotřeby v některých časových úsecích. Na základě požadovaného cíle regulace definuje [Lun15] několik kategorií služby Demand Response (obrázek 4.1).



**Obrázek 4.1:** Kategorie Demand Response

Služba může být využita ke snížení špičkového příkonu (a), ke zvýšení spotřeby v době mimo špičku (b), nebo k posouvání zátěže během dne (c).

Konkrétní implementace služby Demand Response se může v praxi lišit. Podle toho, jakým způsobem je zákazník odměňován za aktivní participaci,



je podle [Los15] možné provést dělení na dvě skupiny modelů: cenové a pobídkové.

### ■ 4.1.1 Cenové modely

V rámci cenových modelů (v některých zdrojích označovaných jako tzv. implicitní modely) je odběratele motivován zvýšit, nebo naopak snížit svůj příkon v definovaných časových intervalech na základě proměnné ceny silové elektřiny.

Cena elektřiny může být různě drahá v jednotlivých obdobích dne (špička, mimo špičku). Cena a délka jednotlivých časových úseků je předem známa. Zákazník je tak motivován přesunout část své spotřeby do období s nižší cenou. Nevýhodou je nízká dynamika tohoto systému. Příkladem může být systém HDO v České republice.

Dalším způsobem je účtování ceny elektrické energie na základě aktuální ceny na spotovém trhu. Zákazník je tak například každou hodinu dopředu informován o ceně silové elektřiny na další hodinu. Tento model není v praxi ve větší míře využíván, a to hlavně z důvodu své složitosti. Podmínkou správného fungování je přesný predikční model vývoje ceny elektřiny na spotovém trhu. Pro efektivní využití je současně nutná velká míra participace na straně zákazníka.

### ■ 4.1.2 Pobídkové modely

Společně s rozvojem smart grids a hlavně smart metering došlo také k rozvoji pobídkových modelů (v některých zdrojích označovaných jako tzv. explicitní modely), které zmíněné technologie využívají. Ty jsou také předmětem této práce.

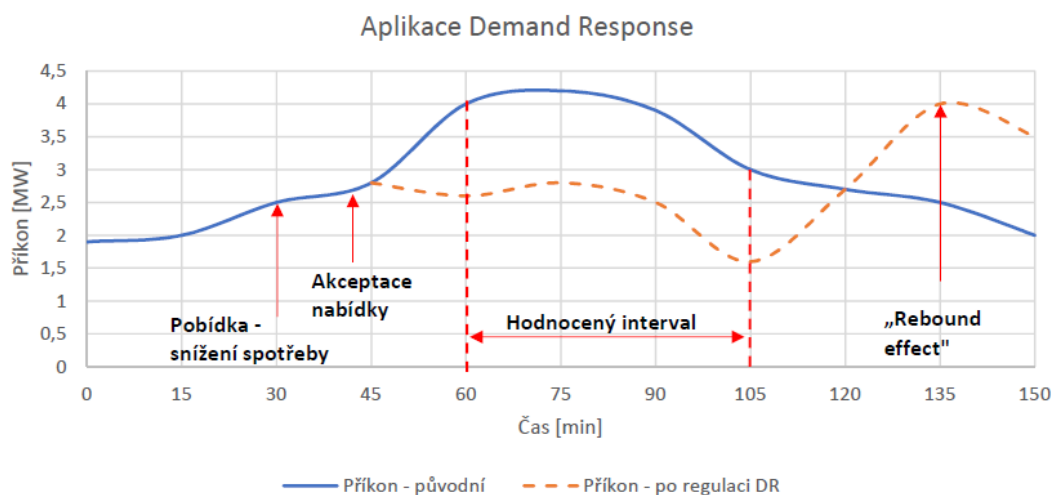
V pobídkových modelech se oproti výše uvedeným příkladům cena silové elektřiny během dne nemění. Agregátor, má pomocí smart meteru on-line přístup k aktuálním hodnotám spotřeby zákazníka. Pokud je to pro něj výhodné, žádá odběratele o snížení, popřípadě zvýšení příkonu v následujícím časovém období. V případě, že odběratel s nabídkou souhlasí, přísluší mu za to smluvní odměna. Ta může mít formu jak finanční, tak nefinanční.

Opět existuje několik forem spolupráce. Agregátor jednak může získat přímý přístup k regulovaným spotřebičům. V takovémto případě agregátor řídí zapínání a vypínání jednotlivých spotřebičů dle své potřeby, musí u toho ovšem zohlednit předem předepsané podmínky (například počet sepnutí do hodiny, aktuální teplota v místnosti). Takto nastavený systém vyžaduje vysokou míru důvěry mezi zúčastněnými stranami, a proto není v praxi příliš běžný. Pro agregátora ovšem znamená snadnější regulaci.

V praxi nejvíce používaným způsobem pobídkového modelu je takový, kdy agregátor zasílá odběrateli žádost o přesně definovaný interval a změnu příkonu. Žádost je realizována ve formě SMS, e-mailu, nebo telefonátu. Zákazník může pobídku přijmout, anebo odmítnout, například na základě současné situace ve společnosti, odstávek výrobní technologie. Odmítnutí pobídky není spojeno s penalizací. Pokud se zákazník rozhodne možnost přijmout, musí v určeném



nárůstu koncentrace  $CO_2$ , bude po opětovném spuštění systém větrání krátkodobě pracovat se zvýšeným příkonem, dokud koncentrace nepoklesne pod hraniční hodnotu. Po srovnání je stejná situace jako na obrázku 4.2, nyní se zohledněním „rebound effectu“ zobrazena na obrázku 4.3.



**Obrázek 4.3:** Schéma aplikace DR u zákazníka se zohlednění „rebound effectu“

## 4.2 Přínosy

Z cíleného řízení spotřeby elektrické energie může pro agregátora plynout několik benefitů.

V první řadě je možné DR využít pro snížení špičkového zatížení v elektrizační soustavě. Toto snížení představuje pro dodavatele elektrické energie úsporu za nákup drahé špičkové elektřiny. V dlouhém období poté tímto způsobem vyrovnaný diagram snižuje potřebu výstavby nadbytečné kapacity elektrických sítí a špičkových elektráren.

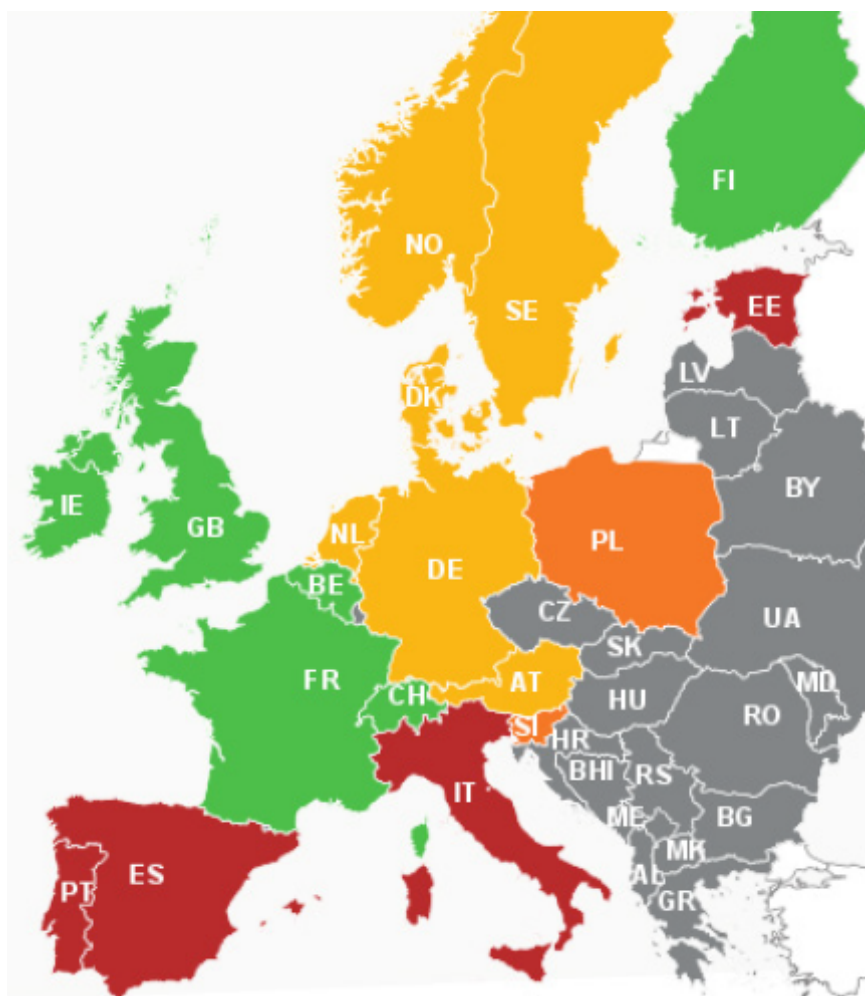
Díky rychlosti regulace na straně odběratele je DR vhodné pro poskytování podpůrných služeb elektrizační soustavě. Pokud aktuální příkon spotřeby elektřiny v síti převažuje nad výkonem výroby, jsou v současné době aktivovány podpůrné služby (primární a sekundární regulace). To v praxi představuje krátkodobé zvýšení výkonu některých zdrojů. Na místo toho je možné dosáhnout výkonové rovnováhy krátkodobým snížením potřebného příkonu spotřebitelů pomocí DR.

Toto řešení je oproti stávajícímu stavu zpravidla levnější a ekologičtější. Pokud je klasická regulace prováděna fosilními zdroji, rychlé regulační zvýšení výkonu poté představuje nevhodný nárůst spotřeby paliva a emise škodlivin.

### 4.3 Rozšíření v Evropě

Evropská unie ve své směrnici o energetické účinnosti 2012/27/EU stanovuje, aby jednotlivé členské státy učinily kroky k odstranění bariér bránících plnému rozvoji explicitního DR. Skutečný vývoj v jednotlivých státech EU je však rozdílný.

Na obrázku 4.4 je zobrazen stav implementace explicitního systému DR v 16 státech EU a dále ve Švýcarsku a Norsku tak, jak jej uvádí aktuální ročenka SEDC [SEDC17]. Zeleně jsou označeny státy, ve kterých je služba DR již tržně aktivní. Ve žlutě označených zemích je DR již částečně zaveden, existují však stále regulatorní omezení bránící plnému rozvoji. Oranžově zbarvené země poté udělaly první kroky pro rozvoj DR, avšak je u nich nutná zásadní změna regulace. Poslední hodnocenou skupinou, červeně vyznačenou, jsou ty státy, ve kterých nemá DR flexibilita umožněný vstup na trh, nebo je tento vstup z důvodu nepřizpůsobené regulace nevýhodný.



Obrázek 4.4: Rozvoj DR ve vybraných evropských státech [SEDC17]

Dále bude popsán stav implementace služby DR ve třech vybraných evropských státech: Velké Británii, Německu a v České republice.

### ■ 4.3.1 Velká Británie

Velká Británie patří mezi evropské státy s nejrozvinutějším systémem Demand Response. V něm participují hlavně zákazníci z oblasti velkých průmyslových a komerčních podniků.

Na trhu této země se pohybuje velké množství agregátorů. Těmi jsou jak dceřiné společnosti velkých energetických společností (E.On UK Plc, EnerNOC UK Limited), tak zcela nezávislí agregátoři (Flexitricity Limited, Kiwi Power Ltd).

Velká Británie byla první evropskou zemí, která umožnila obchodování s flexibilitou na některých ze svých energetických trzích. Lze jí nabízet jako podpůrnou službu, na vyrovnávacím trhu a také v rámci kapacitních aukcí.

V současné době je možné DR nabízet v rámci téměř všech podpůrných služeb včetně primární regulace frekvence. Příkladem podpůrné služby je například služba STOR (*Short term operating reserve*) - zvýšení výkonu výroby/snížení příkonu spotřeby o minimálně 3 MW po dobu minimálně 2 hodin s maximální reakční dobou 240 minut.

Flexibilita může být nabízena také na vyrovnávacím trhu. Podmínkou pro vstup na tento trh je, aby byl agregátor také subjektem zúčtování za své zákazníky, anebo tuto funkci převzal na základě bilaterální dohody. Pro účely poskytování všech ostatních zmíněných služeb není nutné, aby byl agregátor současně i subjektem zúčtování.

Agregovanou flexibilitu DR je možné také nabízet na kapacitním trhu. Například během T-4 kapacitní aukce v prosinci 2016 získali agregátoři na období 2020/2021 celkem kontrakty na téměř 1 411 MW, tedy přes 2,5 % kapacity zobchodované v tomto aukčním kole. [NG16]

### ■ 4.3.2 Německo

Z důvodu masivního rozvoje intermitentních obnovitelných zdrojů v posledních několika letech vyvstává v Německu velká poptávka po regulační energii. Z tohoto důvodu by se dalo očekávat, že bude služba Demand Response, jako jeden ze způsobů zajištění výkonové rovnováhy, silně podporována a rozšířena.

Plnému využití potenciálu DR však v současné době brání řada faktorů.

Na německém trhu se pohybuje řada agregátorů. Zvýhodnění jsou ti agregátoři, kteří jsou současně distributorem elektřiny. Vznik nezávislého agregátora není zakázán, ale je legislativně silně ztížen. Takovýto subjekt pro svou funkci potřebuje uzavřít bilaterální dohodu nejen se zákazníkem, ale i s příslušným provozovatelem přenosové soustavy, provozovatelem distribuční soustavy a subjektem zúčtování. V případě posledních dvou zmíněných subjektů je tak v mnoha případech vyžadován souhlas od potenciální konkurence.

Další omezení vyplývají z historicky zavedených pravidel na německém trhu. Podle [SEDC17] je regulace přirozeného monopolu distribučních společností nastavena tak, že zvýhodňuje investiční opatření oproti provozním.



V rámci České republiky je však možné, aby agregátor, je-li subjektem zúčtování, využil flexibility svých odběratelů ke snížení své odchylky (potažmo zvyšování své protiodchylky).

K těmto účelům je současnými českými agregátory flexibilita skutečně využívána.

I v případě budoucích legislativních změn, které by definovaly subjekt agregátora a umožňovaly jeho vstup na některé energetické trhy, lze v ČR očekávat jen pomalé rozšiřování služby DR. Stejně jako v případě výše zmíněného Německa je i český systém plateb za elektřinu navržený tak, aby motivoval odběratele mít vyrovnaný odběrový diagram. Případné překročení je penalizováno. V České republice je také široce rozšířena osvědčená varianta implicitního Demand Response - HDO.

## 4.4 Hromadné dálkové ovládání

Jedním z druhů implicitního DR je také systém hromadného dálkového ovládání - HDO. Ten spočívá ve vzdáleném řízení velké skupiny elektrických spotřebičů za účelem odstranění špiček a vyrovnaní denního diagramu zatížení.

Obecně v energetice platí, že jednotlivé prvky jsou dimenzovány na maximum výkonu. Vyrovnaný denní diagram zatížení z tohoto důvodu představuje úsporu výdajů na provoz drahých špičkových zdrojů a instalaci naddimenzovaného vedení.

Snaha o rovnoměrnější rozložení spotřeby elektřiny je dlouhodobě řešena zaváděním zvláštních sazeb s rozdílnými cenovými tarify, které zvýhodňují spotřebu v mimošpičkovém období. Odběratelé v minulosti řídili zapínání jednotlivých svých spotřebičů ve zvýhodněných časových intervalech pomocí spínacích hodin. Hlavní skupinou takto řízených zdrojů byly akumulární tepelná zařízení. Nevýhodou řešení pomocí těchto spínacích hodin je nemožnost centrálního řízení a obtížnost častého přenastavování. Z těchto důvodů dochází od 30. let minulého století k rozvoji systému HDO.

Princip HDO spočívá ve vysílání monofrekvenčního synchronizovaného signálu do všech třech fází silnoproudého vedení. Vysílače mohou být umístěny na sekundární straně transformátorů v rozvodnách  $v_n/v_n$ ,  $v_n/v_n$  i  $v_n/n_n$ . Signál se od vysílače šíří ke všem odběratelům připojeným na nižší napěťové hladině, než je vysílač. Přijímač HDO u odběratele po příjmu signálu současně změnil tarif na elektroměru a pomocí relé sepne řízenou skupinu spotřebičů. O skutečné aktivaci spotřebičů není předávána žádná zpětná vazba.

Základní znaky HDO je možné dle [Poh02] shrnout v následujících bodech:

- Přenos spínacího signálu z jednoho centrálního bodu do mnoha rozptýlených míst.
- Komunikační cesty mají poměrně nepříznivé přenosové vlastnosti.
- Přenos bez možnosti zpětné vazby provedení povelu.
- Pro zvýšení pravděpodobnosti vykonání povelu bývá signál opakován.

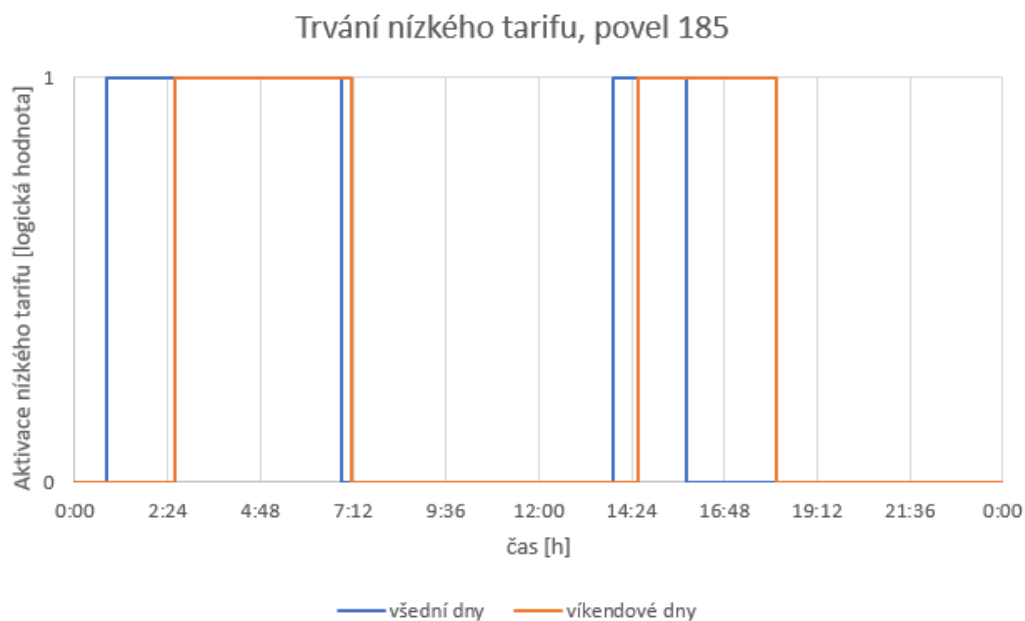
- Předpokládá se správné vykonání povelu u většiny ovládaných míst.

Hromadné dálkové ovládání je možné využít nejen ke spínání vybraných skupin spotřebičů u odběratelů (akumulační vytápění, ohřev TUV, tepelná čerpadla) a spínání dvojtarifových elektroměrů, ale také k ovládání veřejného osvětlení nebo pro provozní a bezpečnostní účely (ovládání podružných transformačních stanic, spínání kompenzátorů účinníku nebo zapínání poplachů při živelných pohromách). V ČR jsou pomocí HDO řízeni zákazníci na hladině NN - maloodběr domácnosti (MOO) a maloodběr podnikatelé (MOP).

#### 4.4.1 Vysílání HDO

Povel HDO je vyslán jako monofrekvenční synchronizovaný signál se spouštěnou časovou základnou. Pro omezení vlivu rušení je nutné, aby frekvence byla různá od vyšších harmonických síťové frekvence, a to hlavně lichým násobkům 50 Hz. Dle [Poh02] jsou v současné době v ČR nejvíce využívány kmitočty 216,6 Hz a 316,6 Hz.

Délka trvání nízkého a vysokého tarifu je odvislá od přiznané sazby elektrické energie. Například pro sazbu D25d je to 8 hodin denně, aktuálně rozdělených do hodin tak, jak je to schematicky vyobrazeno na obrázku 4.5.



**Obrázek 4.5:** Doba trvání nízkého tarifu ve všední a víkendové dny, pro zákazníky ČEZ Distribuce, kód povelu 185, sazba D25d [CEZ17]

Doba, ve kterou nastává nízký tarif je určována příslušnou distribuční společností tak, aby došlo k co největšímu využití potenciálu této služby na vyrovnání soustavy. Dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ) [ERU16] je však volba počtu a délek časových úseků platnosti nízkého tarifu regulována:



*„Pokud je osmihodinové pásmo platnosti nízkého tarifu rozděleno během dne do více časových úseků, nejvíce však do tří, žádný z nich nesmí být kratší než jedna hodina.“*

Hlavními nevýhodami technologie HDO oproti představenému principu DR a smart meteringu je nedostatečná flexibilita, nemožnost adresovat pouze jednotlivé odběratele a absence zpětné vazby.

- Dramatický rozvoj intermitentních obnovitelných zdrojů v posledních několika letech vyvolává zvýšené požadavky na regulaci výkonu v ES. Díky zavádění moderních technologií smart meteringu lze využít rychlé regulace na straně spotřeby k poskytování podpůrných služeb - Demand Response.

Tato služba přináší oproti klasickému postupu regulace řadu výhod, a proto je podporována Evropskou unií. Míra rozšíření v jednotlivých členských zemích je však rozdílná. V České republice nemůže být služba v současné době nabízena jako podpůrná služba, ani vstupovat na trh s regulační energií.



## Kapitola 5

### Stanovení potenciálu služby DR na straně zákazníka

Před aplikací explicitního modelu Demand Response je v praxi nejdříve nutné stanovit potenciál zákazníka pro tuto službu. Potenciálem se rozumí velikost příkonu, který je zákazník na žádost agregátora schopen a ochoten regulovat. Náklady spojené s instalací a provozem smart meteru, mohou být limitujícím faktorem pro aplikaci DR u zákazníků s nízkým potenciálem.

V praxi je používáno několik druhů přístupu ke stanovení potenciálu DR na straně zákazníka. V první řadě jsou to metody založené na analýze historických dat o spotřebě elektrické energie a chování odběratele, za druhé poté metody vycházející z poznatků plynoucích z konzultace se zákazníkem.

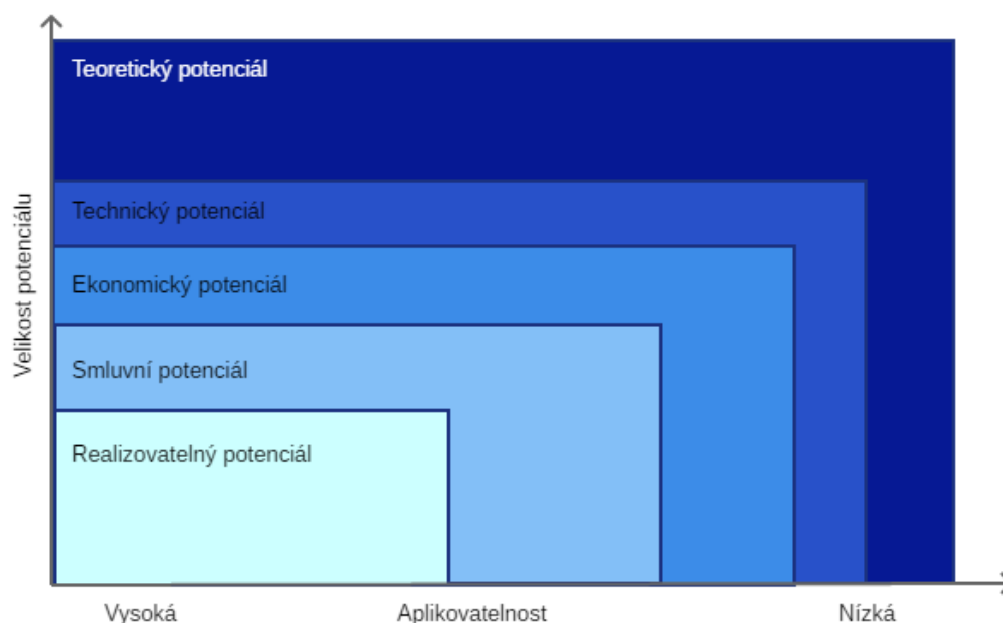
V úvodu této kapitoly budou analyzovány jednotlivé typy potenciálu DR na straně zákazníka a dále prezentovány dva způsoby v praxi používaných metod analýzy potenciálu explicitního DR. Následně bude představen návrh vlastní metody. Jednotlivé výpočetní přístupy budou porovnány. V závěru bude navržena metodika finančního ocenění DR potenciálu v České republice.

#### 5.1 Druhy DR potenciálu

Potenciál služby Demand Response na straně zákazníka je možné chápat jako velikost příkonu, který bude zákazník na žádost agregátora regulovat. Skutečná velikost je v praxi závislá na mnoha faktorech, jakými jsou například délka regulace, rychlost regulace, ekonomická výhodnost a jiné.

Z tohoto důvodu se zavádí několik druhů potenciálu odrážející vlivy jednotlivých výše zmíněných faktorů. Pro účely této práce bude využito názvosloví tak, jak je definováno v [Pec17]. Jednotlivé typy potenciálu jsou pro přehlednost graficky znázorněny na obr. 5.1. Na svislé ose je vyznačena typická velikost potenciálu, na ose vodorovné použitelnost.

Teoretický potenciál představuje celkový regulovatelný příkon u daného odběratele. Tedy v podstatě příkon všech spotřebičů, které je teoreticky možné odpojit z provozu. V praxi se běžně vyskytují technická omezení limitující možnost regulace příkonu některých spotřebičů. Příkladem může být stupňovitá regulace výkonu vzduchotechniky nebo omezený počet vypnutí daného spotřebiče během jedné hodiny. Dalšími aspekty jsou technický stav



**Obrázek 5.1:** Dělení potenciálu DR, vytvořeno dle [Pec17]

jednotlivých zařízení a aktuální disponibilita. Výsledkem po odečtení těchto vlivů je technický potenciál. Ekonomický potenciál dále zohledňuje finanční přínosy plynoucí ze zapojení do systému DR. Krátkodobé odstavení výrobní linky na žádost agregátora je spojeno s příjmy za účast v programu DR, ale také s náklady. Pro plné posouzení ekonomického potenciálu je nutné znát ekonomický přínos jednotlivých spotřebičů pro zákazníka a dále výši odměny plynoucí za participaci v programu DR.

Výše potenciálu, který je sjednán mezi agregátorem a zákazníkem je označován jako smluvní potenciál. Oproti ekonomickému potenciálu může dosahovat nižších hodnot z důvodu nedůvěry a diskomfortu na straně zákazníka. Skutečně realizovatelná regulace příkonu je ve skutečnosti zpravidla nižší a odpovídá aktuálnímu stavu regulovaných spotřebičů a nastavení výrobního procesu.

## 5.2 Existující modely

V běžné praxi se pro účely stanovení potenciálu DR na straně zákazníka využívá několik metod. Ty je možné rozdělit na dvě základní skupiny. Metody založené na analýze historických dat a metody čerpající informace z cíleného rozhovoru se zákazníkem.

Osobní rozhovor se zákazníkem je zdrojem mnoha důležitých informací, které není možné jiným způsobem získat. Ekonomický a další detailnější typy potenciálu, jak byly definovány v předchozí kapitole, jsou identifikovatelné právě pouze tímto postupem. Bohužel osobní schůzka je značně časově náročná (tedy drahá), a nelze ji proto plošně aplikovat.

Snahou agregátorů je provést prvotní hodnocení potenciálu DR na straně zákazníka za pomoci jednoduše opakovatelných postupů a při využití agregátorem běžně dostupných dat (odběrový diagram zákazníka, informace o počasí). Takovéto modely umožňují plošnou aplikaci na velké množství potenciálních zákazníků a jejich následnou segmentaci.

Ze své podstaty tyto modely nejsou schopny identifikovat jednotlivé spotřebiče, které se na regulaci příkonu budou podílet. Takto zjištěný potenciál je dle provedení dělení možné označit za teoretický, v lepším případě za technický. Výsledek slouží pro cílené oslovení zákazníků s dostatečným potenciálem.

V této kapitole budou dále analyzovány dva výpočetní modely založené na analýze dostupných historických dat.

### ■ 5.2.1 S3C Toolkit

S3C, sdružení sedmi evropských společností a výzkumných institucí, vytvořilo za grantové podpory Evropské unie program na podporu chytrých technologií v oblasti energetiky. V rámci této iniciativy vznikla webová stránka S3C Toolkit<sup>1</sup> obsahující návody a jednoduché výpočetní programy pro podporu rozvoje smart technologií. Pro účely prvotní analýzy potenciálu DR a jeho finančního ohodnocení vznikla bezplatná aplikace *Tool Peak Reduction and Energy Shift Calculation* vytvořená slovinskou společností INEA.

S3C aplikace je určena odborné i laické veřejnosti pro prvotní posouzení technického potenciálu DR a finanční úspory z toho plynoucí na straně zákazníka z oblasti SME. Pro účely této práce bude dále posuzována pouze technická část této výpočetní pomůcky.

Na základě veřejně dostupných informací o aplikaci S3C, emailové korespondence s tvůrci a analýzy vstupů a výstupů bude dále popsán výpočetní model.

#### ■ Vstupní parametry

Do vstupního rozhraní aplikace (obrázek 5.2) jsou zadány povinné, popřípadě nepovinné doplňující informace o posuzovaném odběrateli.

Vstupy pro výpočet:

- *roční spotřeba elektrické energie*
- *průmyslové odvětví*
- *poměr mezi špičkovým a průměrným příkonem\**
- *potenciál omezení peaků\**
- *15minutové hodnoty příkonu elektrické energie\**

<sup>1</sup><http://www.smartgrid-engagement-toolkit.eu/home/>

Hvězdičkou označené vstupy jsou nepovinné a slouží pouze ke zpřesnění výpočtu.

ENERGY	
SME BRANCH	Machinery
MONTHLY CONSUMPTION (kWh)	1 085 773
AVERAGE WORKDAY POWER (kW)	1 508,02
PEAK POWER TO AVERAGE POWER RATIO	1,53
PEAK POWER (kW)	2 301,49
PEAK REDUCTION (%)	10,5%
<b>SHIFTED ENERGY (kWh)</b>	<b>960,58</b>
<b>SHIFTED INTERVAL (h)</b>	<b>9,65</b>

Manual entry checkboxes are present for 'MONTHLY CONSUMPTION (kWh)', 'PEAK POWER (kW)', and 'PEAK REDUCTION (%)'.

Obrázek 5.2: Rozhraní pro zadávání vstupních hodnot do programu S3C

## Analýza výpočetního modelu

Zásadním vstupním parametrem je typ *průmyslového odvětví*. Na jeho základě je hodnocenému zákazníkovi přiřazen typový odběrový diagram a očekávaná schopnost snížení špičkového příkonu.

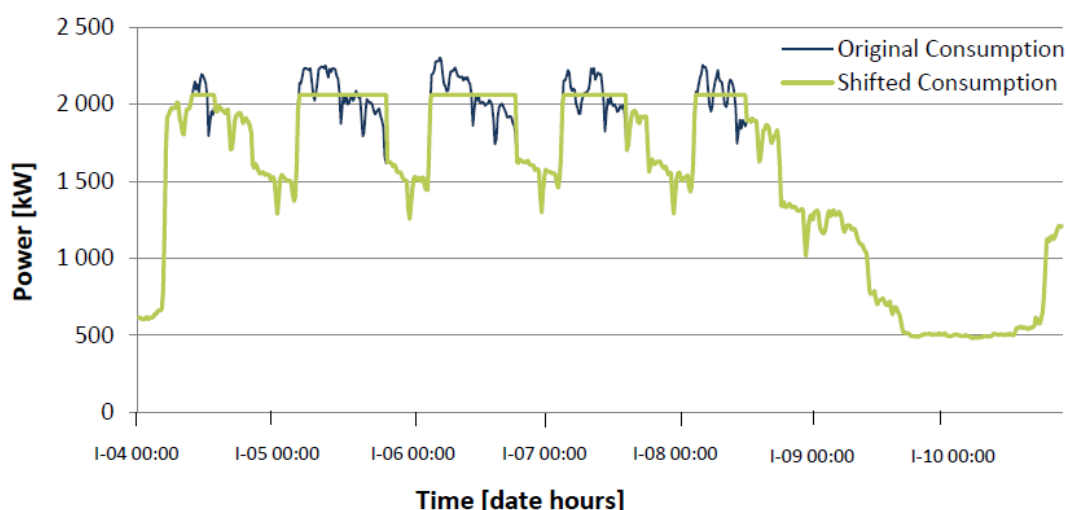
Aplikace obsahuje databázi typových ročních diagramů spotřeb pro jednotlivá průmyslová odvětví. Ta byla vytvořena na základě analýzy dat od skutečných odběratelů již participujících ve službě DR ze Slovinska a dalších zemí bývalé Jugoslávie.

Diagram spotřeby je následně přizpůsoben tak, aby odpovídal zadané roční spotřebě elektrické energie. Z parametru *potenciál omezení špičkového příkonu* je stanovena nová maximální hodnota diagramu jako současná maximální hodnota snížená právě o *potenciál omezení špičkového příkonu*.

V případě, že v původním diagramu zákazník vykazuje příkon vyšší, než je nově stanovené maximum, předpokládá se jeho schopnost snížit příkon na toto maximum. Množství spotřebované elektřiny se tímto nemění. Spotřeba se pouze odsouvá do doby, kdy příkon poklesne pod hraniční hodnotu maxima.

Celkové množství takto odložené spotřeby se může kumulovat po delší časové období a následně být postupně realizováno při poklesu příkonu.

Výstupem programu je grafické zobrazení upraveného průběhu spotřeby (obrázek 5.3) a dále hodnota maximálního nakumulovaného množství odložené spotřeby v kWh a maximální doba, po kterou byla omezena spotřeba.



Obrázek 5.3: Grafická reprezentace dat v programu S3C

Pro hodnocení potenciálu DR na straně zákazníka tak tato výpočetní pomůcka udává statisticky zjištěný potenciál snížení příkonu pro dané průmyslové odvětví, předpokládanou dobu a délku jeho využití.

### ■ 5.2.2 Komerční software

Většina velkých agregátorů si pro potřeby hodnocení velikosti potenciálu zákazníků participovat v programu DR vyvinula vlastní počítačový software. Ten dále nabízí k prodeji menším agregátorům.

V této kapitole bude hodnocen v praxi využívaný komerční software jednoho z velkých západoevropských agregátorů.

Vzhledem k charakteru softwaru není algoritmus výpočtu zveřejněn. Analýza výpočetního algoritmu byla proto provedena výhradně na základě zkoumání čtyř souborů vstupních dat a jim odpovídajících výstupů z programu.

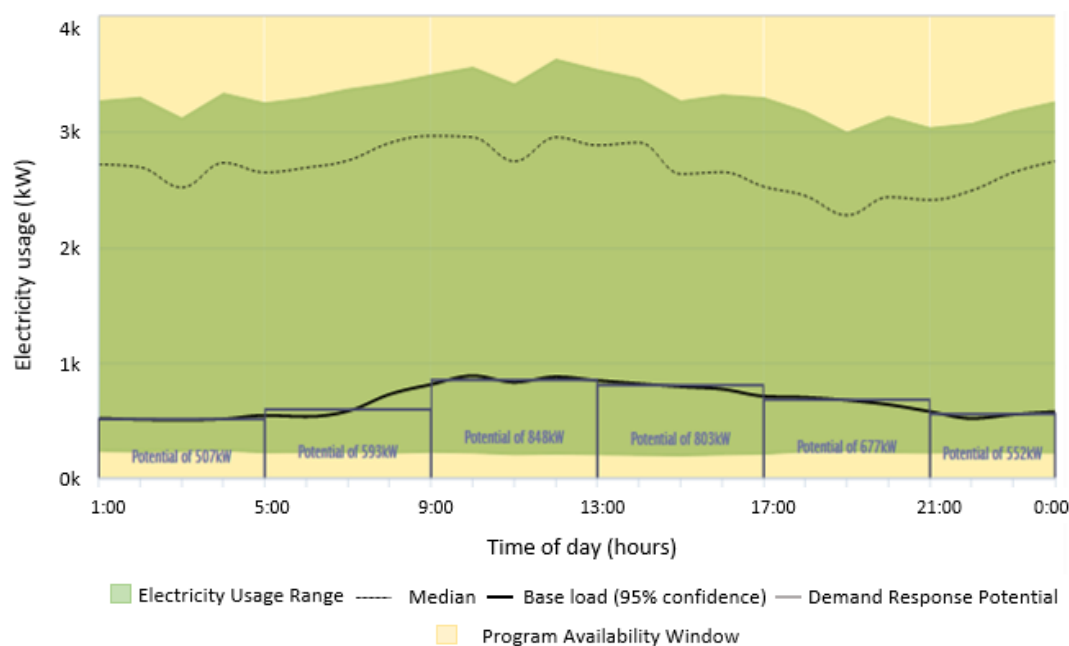
### ■ Vstupní parametry

Program pracuje pouze s jediným souborem vstupních dat.

Vstupy pro výpočet:

- *15minutové/ 1hodinové hodnoty příkonu elektrické energie*

Na základě těchto informací je vypočten potenciál zákazníka. Výsledek je prezentován graficky (obrázek 5.4), současně jsou pro několik vybraných hodin vypsané zjištěné charakteristické hodnoty (minimum, maximum, základní zatížení, medián).



**Obrázek 5.4:** Grafická reprezentace výstupu z komerčního programu (rozlišení obrázku dáno výstupem programu)

## Analýza výpočetního modelu

Ke komerčnímu softwaru není, jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, veřejně k dispozici popis algoritmu výpočtu. Analýza byla proto provedena s využitím jediných dostupných informací - vstupních dat a jim odpovídajícího výstupu.

Touto metodou (reverzní inženýrství) byl analyzován algoritmus výpočtu. Ten se svým výsledkem (potenciálem) pro zadané hodnoty neliší od originálního algoritmu. Vzhledem k nedostatku informací však nelze jednoznačně říci, že níže popsany algoritmus je totožný s tím skutečně implementovaným v programu.

Výstupem programu je grafická vizualizace vstupních numerických dat. Pro každý ze zkoumaných časových intervalů (hodina/čtvrthodina) jsou na svislou osu vyneseny jednotlivé hodnoty příkonu v každém dnu sledovaného roku. Ačkoliv jsou zkoumané hodnoty diskrétní, je graf pravděpodobně pro větší přehlednost sestaven jako spojitý.

Vizualizace pro jednotlivé časové úseky se tedy velmi podobá v deskriptivní statistice populárnímu krabicovému grafu (boxplotu). Ten má však větší vypovídající schopnost. Oproti zde použité grafické reprezentaci dat nezobrazuje pouze minimum, maximum a medián, ale také 1. a 3. kvartil, či odlehlá pozorování.

Ve výsledném grafu je dále zobrazeno základní zatížení na hladině spolehlivosti 95 %. Z analýzy dat vyplývá, že tato veličina odpovídá 5% kvantilu hodnot příkonu elektrické energie.



Tedy:

$$F_{emp,i}(P_{Bl,i}) = P(X \leq P_{Bl,i}) = 1 - \alpha \quad (5.1)$$

, kde:

$F_{emp,i}$ : je empirická distribuční funkce sestavená z naměřených hodnot příkonů v dané hodině,

$P_{Bl,i}$ : je příkon zákazníka v základním zatížení v dané hodině,

$\alpha$ : hladina spolehlivosti.

Základní zatížení v dané hodině je tedy taková hodnota příkonu, pro kterou platí, že v 95 % sledovaných dnů je příkon zákazníka větší nebo roven této hodnotě.

Potenciál služby DR je určován pro šest čtyřhodinových intervalů. (Ačkoliv ve výstupním grafu jsou některé intervaly vyznačeny jako pětihodinové) Za potenciál DR je pro každý z intervalů prohlášen výběrový průměr čtyř hodnot základního zatížení na dané hladině spolehlivosti. Pro potenciál v  $m$ -tém čtyřhodinovém intervalu platí:

$$P_{int,m} = \overline{P_{Bl,m}} = \frac{1}{4} \sum_{i=4(m-1)+1}^{4(m-1)+4} P_{Bl,i} \quad (5.2)$$

, kde:

$m$ : je pořadí čtyřhodinového intervalu,  $m \in \langle 1; 6 \rangle$ .

Jak je ze vzorce zřejmé, komerční software definuje potenciál zákazníka pro službu DR v každé hodině rovnou jeho základnímu zatížení. Z takto přijatého předpokladu de facto vyplývá, že zákazník je schopen pro účely této služby regulovat až celý svůj příkon, což bude teoreticky schopen udělat v 95 % sledovaných dnů.

Pro skupinu vždy čtyř hodin je tedy vypočten výběrový průměr, ten v tomto případě odpovídá střední hodnotě.  $P_{int,m}$  tedy představuje střední příkon, který je odběratel schopen omezit po uvažované dobu. Lze se domnívat, že čtyřhodinový interval byl zvolen dle maximální možné délky aktivace služby. Společnost, která tento software vyvíjela, se specializuje na aplikaci DR na kapacitních trzích ve Velké Británii. Maximální délka aktivace DR je v rámci této služby právě čtyři hodiny.

Za potenciál zákazníka, tedy příkon, který je zákazník schopen řídit, je následně označeno maximum z potenciálů pro jednotlivé čtyřhodinové intervaly.

$$P_{pot} = \max(P_{int,m}) \quad (5.3)$$

Z provedené analýzy dále vyplývá, že vstupní data jsou před jejich použitím předzpracovány. Konkrétně některé dny jsou vyřazeny z výběrového souboru. Tento postup je při statistickém zpracování dat běžný. Většinou je tímto způsobem možné odstranit neúplná pozorování, či očividné chyby v měření.

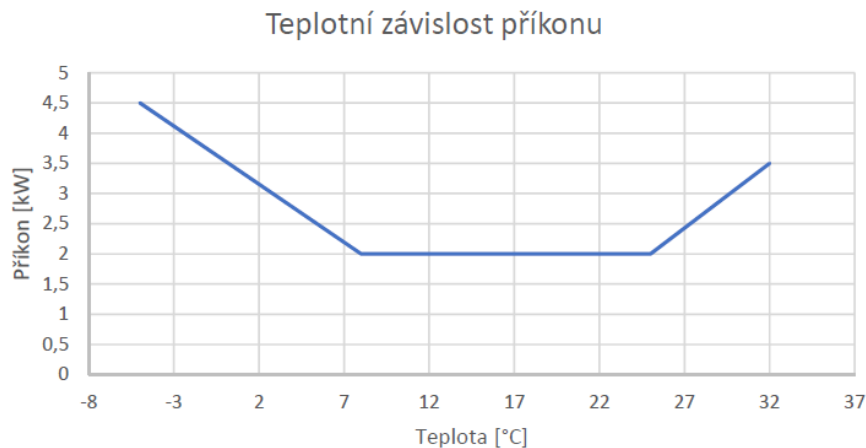
V případě zkoumaného algoritmu jsou vyřazeny víkendové dny. Takovýto postup je správný. Dny, ve kterých není podnik v provozu, by nepříznivě ovlivňovaly výsledek.



předzpracování je nutné ověřit, zda jsou data kompletní a neobsahují žádné zjevné chyby.

Dalším možným krokem v procesu předzpracování vstupních dat je odstranění teplotně závislé složky spotřeby. Lze předpokládat, že odběratel nebude chtít omezovat tepelnou pohodu svých zaměstnanců, tedy pro účely služby DR nebude chtít regulovat vytápění a chlazení svého objektu. Hodnocení potenciálu by proto mělo být prováděno výhradně na datech zbavených těchto vlivů.

Závislost příkonu na teplotě u spotřebitele, který využívá elektřinu pro topení i chlazení lze aproximovat jako po částech lineární funkci. Příklad takovéto závislosti je uveden na obrázku 5.5. V reálném případě může existovat více než zde uvedené tři lineární intervaly. Například pro velmi vysoké teploty bude závislost konstantní - všechny chladicí zařízení pracují na maximální výkon.



**Obrázek 5.5:** Teplotní závislost příkonu

Rozdílnou teplotní závislost lze očekávat v pracovní a nepracovní dny. Podobně také během pracovní doby a mimo ní. Z tohoto důvodu například [Ard14] navrhuje provést regresní analýzu časové řady zvláště pro každou hodinu pracovních i nepracovních dnů.

Je pravděpodobné, že tímto přístupem by z výpočtu byly odstraněny informace o technologických tepelných zařízeních, které jsou ke službě DR vhodné.

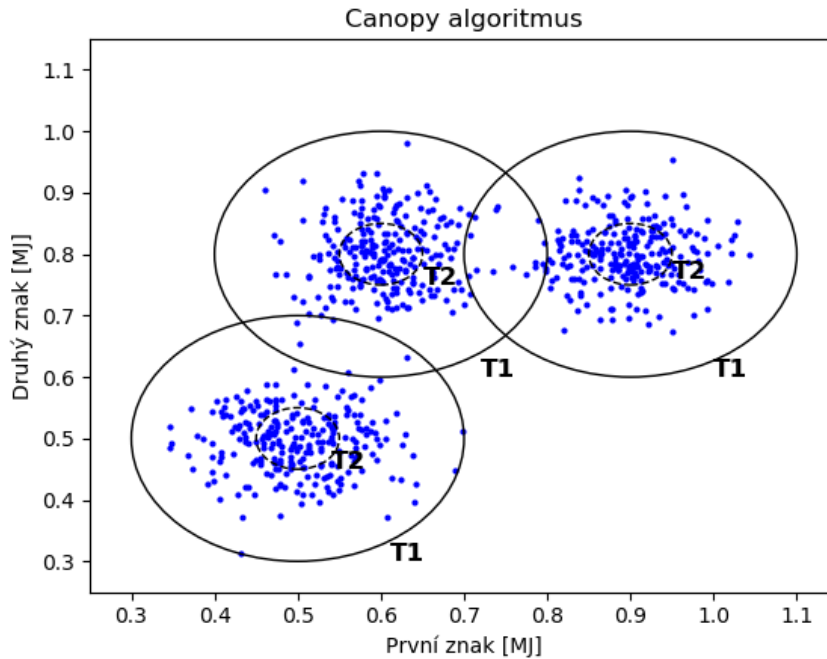
Z důvodu značné výpočetní složitosti a nejasnosti skutečného přínosu není očištění o teplotní závislost provedeno.

Následujícím krokem algoritmu je shluková analýza. V rámci ní je na každý den nahlíženo jako na samostatný objekt mající 24 různých znaků. Zkoumaný soubor tedy obsahuje 365 objektů, každý obsahující 24 znaků.

### ■ Canopy algoritmus

Shluková analýza je statistická metoda, jejímž cílem je zařadit objekty ze zkoumaného souboru do shluků tak, aby si dva objekty v rámci jednoho





**Obrázek 5.6:** Princip Canopy algoritmu

Zásadní informací nutnou pro provedení výpočtu je stanovení velikosti mezi T1 a T2. Vzhledem k tomu, že neexistuje jednoznačný postup, jak tak učinit, je tento vstup zatížen značnou subjektivitou.

V praxi používanou metodou pro stanovení velikosti T1 a T2 je testování citlivosti chybovosti algoritmu na těchto parametrech. K tomu je zapotřebí testovací soubor dat, u něhož je známé správné rozdělení do *canopů*. Dalším způsobem je určení mezí ze znalosti vzájemných vztahů objektů.

V navrhované metodě stanovení potenciálu DR není vzhledem k malému počtu objektů nutné využívat „levných“ metrik. Pro měření vzdáleností je proto implementována eukleidovská metrika:

$$D_{i,j} = D(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^m (x_{il} - x_{jl})^2} \quad (5.5)$$

, kde:

$D(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$  : je vzdálenost mezi i-tým a j-tým objektem,

$x_{il}$ : je l-tý znak i-tého objektu.

Canopy algoritmus je v tomto případě použit pro prvotní před shlukovou analýzu.

## ■ K-means

Algoritmus K-means, česky také označovaný jako metoda k-průměrů, je jedna ze základních metod nehierarchické shlukové analýzy. Algoritmus rozdělí



- Poměr střední hodnoty příkonu v období první ranní špičky (9-11 hodin) ku průměrnému příkonu:

$$a_3 = \frac{P_{avg9,11}}{P_{avg}} \quad (5.8)$$

- Poměr střední hodnoty příkonu v období druhé špičky (19-21 hodin) ku průměrnému příkonu:

$$a_4 = \frac{P_{avg19,21}}{P_{avg}} \quad (5.9)$$

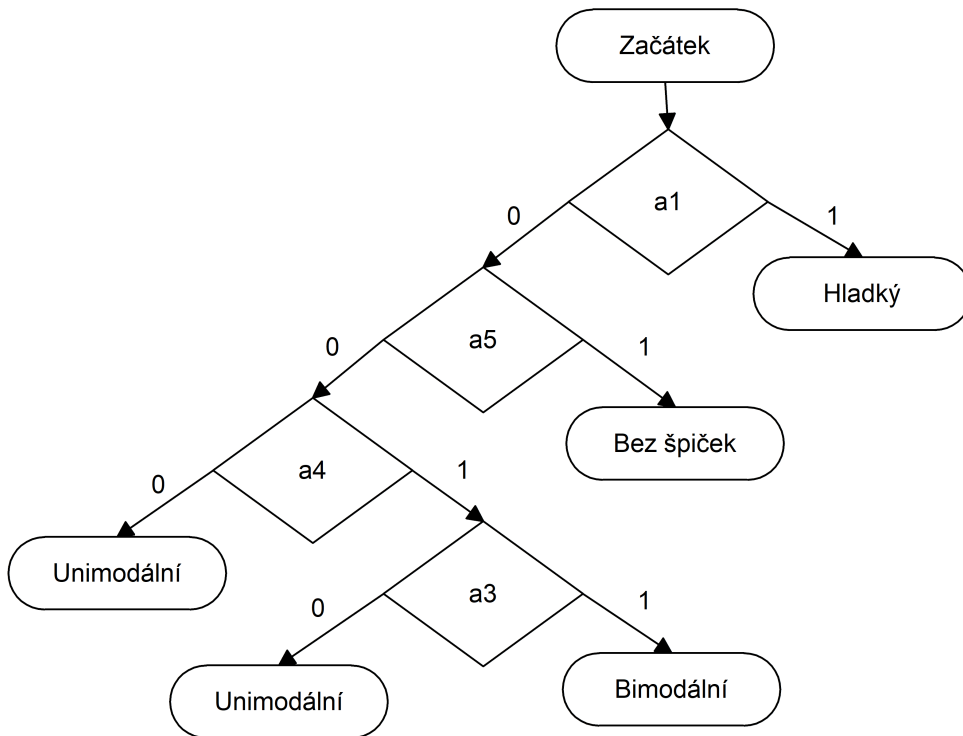
- Poměr střední hodnoty příkonu v období útlumu (22-6 hodin) ku průměrnému příkonu:

$$a_5 = \frac{P_{avg22,6}}{P_{avg}} \quad (5.10)$$

Následně se vypočítané hodnoty znormují:

$$a_i = \begin{cases} 1 & a_i \geq \frac{a_{i,max} + a_{i,min}}{2} \\ 0 & a_i \leq \frac{a_{i,max} + a_{i,min}}{2} \end{cases} \quad (5.11)$$

Za pomoci rozhodovacího stromu dojde k ohodnocení jednotlivých shluků.



**Obrázek 5.7:** Rozhodovací strom pro hodnocení shluků

Unimodální a bimodální denní diagramy jsou dle [Zha14] vhodné pro službu DR. Vyznačují se totiž jednou, nebo dvěma význačnými denními špičkami.





odstraněny všechny nepracovní dny. Například státní svátky a dny celozávodní dovolené jsou pro výpočet ponechány. Nedůsledně provedené předzpracování dat znehodnocuje výsledek algoritmu. V kapitole 5.2.2 byly také navrženy způsoby, jak tento problém odstranit.

Potenciál zákazníka participovat v jednotlivých hodinách je následně určen jako 5% kvantil z uvažovaných hodnot příkonu v dané hodině roku. Algoritmus tedy předpokládá, že odběratel bude schopen pro účely služby DR regulovat značně velký příkon. V 5 % dnů toho nebude schopen, neboť jeho skutečný příkon bude dokonce nižší než tato hodnota. V některých dnech algoritmus předpokládá regulaci téměř veškerého příkonu, tedy vypnutí všech spotřebičů ve společnosti.

To považuji za značně optimistický odhad technického potenciálu. Takto stanovená hodnota je velká a v praxi složitě realizovatelná. Spíše než o technický se tak v případě tohoto softwaru jedná o teoretický potenciál tak, jak byl definován v kapitole 5.1.

Domnívám se, že reálnějším odhadem potenciálu zákazníka by bylo využít například 80% kvantilu pro definici základního zatížení. Potenciál participovat v DR by poté byl pro každou hodinu každého dne určen jako rozdíl mezi skutečným příkonem, a právě základním zatížením.

### ■ Inovativní model

Poslední model byl vytvořen na základě několika vědeckých pracích a je založen na využití metod data miningu.

Jednotlivé dny jsou za pomoci metod shlukové analýzy rozděleny do charakteristických skupin. Pro zhodnocení potenciálu jsou vybrány jen ty skupiny, jejichž denní odběrové diagramy vykazují výraznou denní špičku příkonu. Vyřazeny jsou také shluky neobsahující dostatečný počet dnů.

Tímto postupem by z výpočtu měly být odstraněny víkendové dny, celozávodní dovolené. Současně také denní odběrové diagramy, které nejsou reprezentativní - opravy, poruchy zařízení.

Z tohoto hlediska má inovativní model vyšší vypovídající schopnost než oba výše zmíněné modely.

Maximální potenciál účastnit se služby DR je stanoven jako rozdíl mezi příkonem v dané hodině a minimem příkonu daného dne. Pokud je minimum považováno za základní zatížení, předpokládá se tedy schopnost odběratele omezit svůj příkon na nutné minimum.

Tento předpoklad je slabší, než ten zavedený v případě komerčního softwaru a více se blíží realitě.

Inovativní model tak řeší několik problému předchozích dvou modelů. Jeho nevýhodou je však nejednoznačnost určení mezí T1 a T2 pro vstupní předshlukovou Canopy analýzu. Správné zvolení těchto parametrů je podmíněno hlubším porozuměním spotřebního chování odběratele.

Na základě provedeného srovnání jednotlivých metod a na základě zkušeností autora této práce s aplikací služby DR u průmyslových zákazníků lze



, kde:

$O_{SZ}$  : je odchylka subjektu zúčtování [MWh],

$E_{SZ}^{skut}$ : Skutečná dodávka/odběr elektrické energie [MWh],

$E_{SZ}^{sjedn}$ : Sjednaná dodávka/odběr elektrické energie [MWh].

Pro platnost všech uvedených vzorců v této kapitole platí znaménková konvence: dodávka elektřiny do ES je označována kladným znaménkem, odběr elektřiny záporným. Zúčtovací periodou v České republice je jedna hodina.

Systémovou odchylku (SyO) je poté možné definovat jako součet odchylek všech subjektů zúčtování.

$$SyO = \sum_{\forall SZ} O_{SZ} \quad (5.14)$$

Vyrovnaní systémové odchylky dodávkou regulační energie je jednou ze základních činností provozovatele přenosové soustavy. Celková suma dodané regulační energie musí být co do velikosti rovna systémové odchylce.

Subjekt zúčtování může vytvářet také protiodchylku. To v tom případě, je-li jeho odchylka kladná při záporné systémové odchylce, či naopak při kladné systémové odchylce dosahuje záporné vlastní odchylky. Tedy subjekt de facto pomáhá snižovat nerovnováhu v elektrizační soustavě.

## ■ Platba za odchylku

Pro každou obchodní hodinu je operátorem trhu stanovena zúčtovací cena odchylky v Kč/MWh. Ta je určena dle:

$$ZC = \begin{cases} \max[ZC_{min}; \max_{\forall SZ}(C_{reg+,SZ})] & SyO \leq 0 \\ \min[ZC_{min}; \min_{\forall SZ}(C_{reg-,SZ})] & SyO \geq 0 \end{cases} \quad (5.15)$$

, kde:

$ZC$  : je zúčtovací cena [Kč/MWh],

$ZC_{min}$ : je minimální zúčtovací cena stanovena dle platného cenové rozhodnutí ERÚ [Kč/MWh],

$C_{reg+,SZ}/C_{reg-,SZ}$ : je sjednaná cena kladné/záporné regulační energie, vždy ve směru opačném SyO [Kč/MWh].

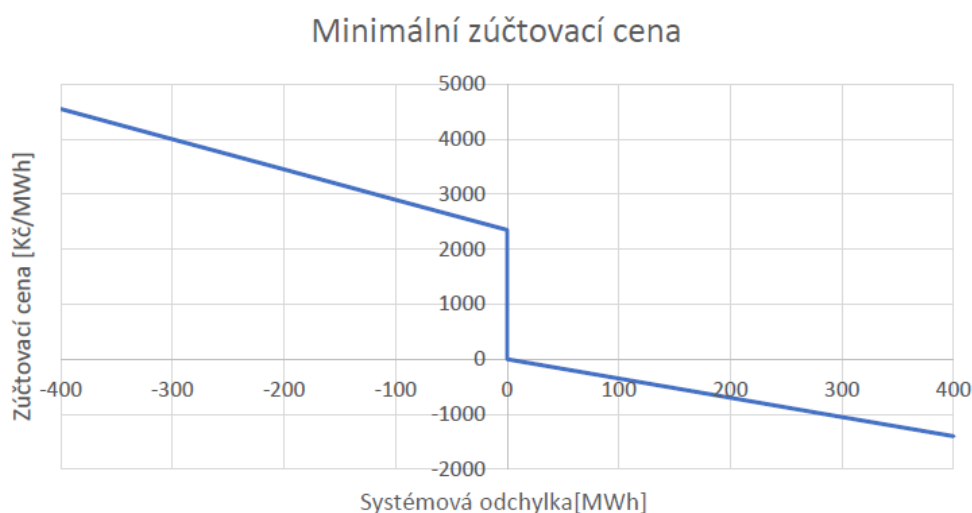
Minimální zúčtovací cena je určována v cenových rozhodnutí ERÚ. Její aktuální výše je definována [ERU17]:

$$ZC_{min} = \begin{cases} 2350 - 5,5 \cdot SyO & SyO \leq 0 \\ -1 - 3,5 \cdot SyO & SyO \geq 0 \end{cases} \quad (5.16)$$

Tato závislost je pro přehlednost zobrazena také graficky na obrázku 5.8.

Zúčtovací cena protiodchylky je definována jako průměrná cena sjednaných cen regulační energie ve směru opačném SyO:

$$ZC_{proti} = \frac{\sum_{\forall SZ} E_{reg,SZ} \cdot C_{reg,SZ}}{\sum_{\forall SZ} E_{reg,SZ}} \quad (5.17)$$



**Obrázek 5.8:** Stanovené zúčtovací ceny odchylek platné v roce 2009 - 2018

Konečná platba subjektu zúčtování za svou odchylku se v dané obchodní hodině stanoví jako součin odchylky a zúčtovací ceny. Konkrétně, pokud je odchylka subjektu stejné polarity jako systémová odchylka: součin odchylky a zúčtovací ceny; pokud je znaménko opačné: součin protiodchylky a zúčtovací ceny protiodchylky. Kladný výsledek konečné platby značí příjem, záporný výdaj:

$$IN = ZC \cdot O_{SZ} \quad (5.18)$$

Cílené řízení spotřeby pomocí služby DR může subjekt zúčtování využít k optimalizaci své odchylky (minimalizaci odchylky, maximalizaci protiodchylky). Pro finanční ohodnocení potenciálu zákazníka participovat DR bude předpokládáno využívání této služby právě pro minimalizaci odchylky agregátora - subjektu zúčtování.

- Před implementací služby DR u zákazníka je nejprve nutné identifikovat jeho potenciál pro tuto službu. To je možné několika způsoby. Metody založené na osobním rozhovoru jsou detailnější, ale časově a finančně náročnější. Pro prvotní segmentaci zákazníků se proto využívají metody založené na analýze dostupných historických dat.

V kapitole byla provedena analýza 2 stávajících modelů a představen jeden model vycházející z vědeckých prací. Přístupy jednotlivých metod se zásadně liší. V závěru kapitoly byl navržen způsob finančního ocenění zákazníka v ČR za pomoci odchylky subjektu zúčtování.

## Kapitola 6

### Modelový případ

Tři výpočetní modely analyzované v předchozí kapitole této práce budou nyní použity pro hodnocení potenciálu reálného zákazníka participovat ve službě DR. Cílem je provést prvotní hodnocení na základě agregátorovi běžně dostupných dat.

Analyzován bude tzv. technický potenciál tak, jak byl definován v kapitole 5.1. Z pohledu zákazníka bude k regulaci docházet v nejpříznivějším čase, v době špičky (Load shifting - popsany na obrázku 4.1)

Takto získané výsledky jsou v praxi využívány pro prvotní rychlou segmentaci zákazníků, na jejímž základě je kontaktováno pro další jednání jen několik zákazníků s dostatečným potenciálem.

Celé hodnocení bude prováděno z pohledu agregátora působícího na českém trhu. Ten na energetickém trhu vystupuje jako subjekt zúčtování odchylek, který využívá služby DR k minimalizaci své odchylky.

Výsledky jednotlivých modelů budou porovnány. V závěru kapitoly bude provedeno ekonomické hodnocení jednotlivých potenciálů.

#### 6.1 Modelový zákazník

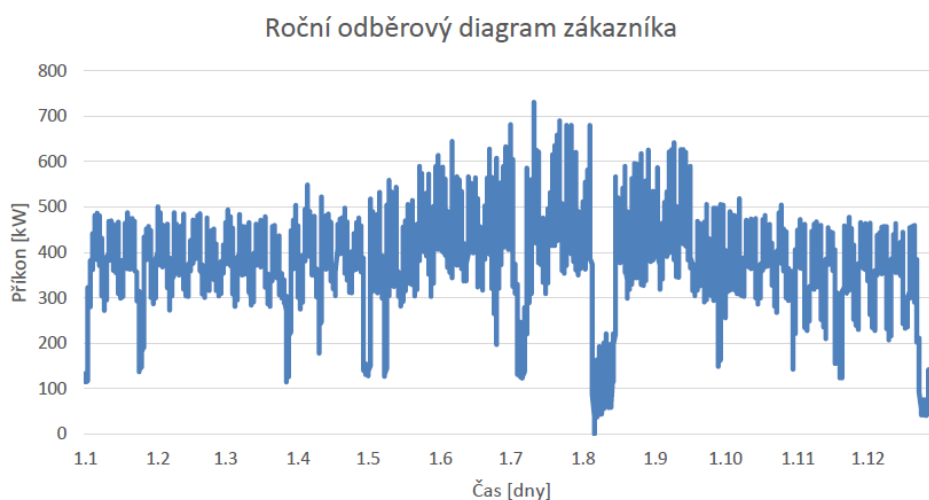
Analyzovaným odběratelem, potenciálním účastníkem DR programu, je strojírenská společnost nacházející se ve středních Čechách.

Její spotřebitelské chování je pro účely této práce reprezentováno středními hodinovými hodnotami příkonu uváděnými v kW - odběrový diagram. Analyzované hodnoty byly v odběrném místě změřeny v období od 1.1.2016 do 31.12.2016. Data byla poskytnuta a použita se svolením společnosti ČEZ. Kompletní soubor použitých dat je uveden v příloženém souboru Excel. V příloze B je pro ilustraci uveden formát vstupních dat.

##### 6.1.1 Charakteristika odběratele

Prvotní analýzu chování odběratele je možné provést pouze na základě pozorování odběrového diagramu jako grafického vyjádření závislosti příkonu na čase. Takto získaná základní charakteristika je zásadní pro plné porozumění chování spotřebitele. Z tohoto důvodu by toto pozorování mělo předcházet jakémukoliv pokročilejšímu přístupu pro analýzu dat.

Obrázek 6.1 představuje roční odběrový diagram modelového zákazníka.



**Obrázek 6.1:** Roční odběrový diagram

Příkon ve sledovaném období nabývá hodnot od 0 kW po maximum 731 kW. Patrný je také nárůst příkonu v letním období oproti zbytku roku. Dá se proto předpokládat, že v odběrném místě (OM) jsou instalována elektrická vzduchotechnická zařízení pro chlazení vzduchu. Naměřené maximum příkonu nastalo 11.7.2016, tedy v nejteplejší den roku 2016. [CHM18]

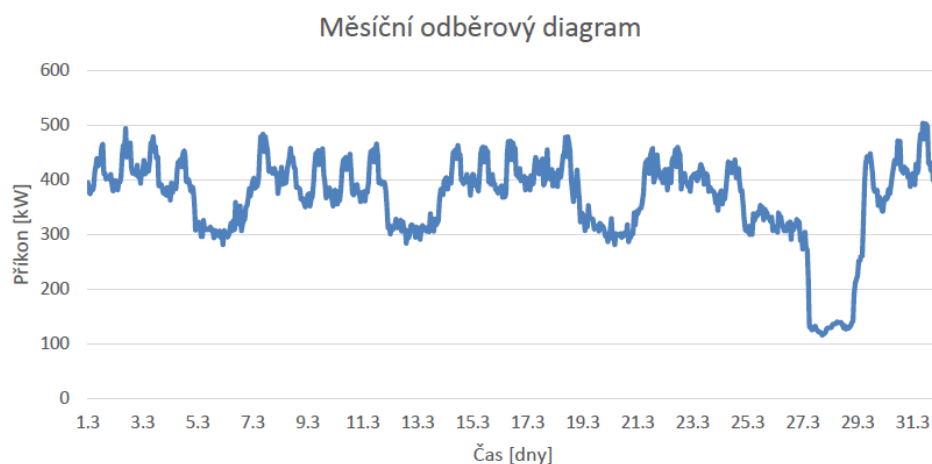
Současně lze také usuzovat, že společnost nevyužívá elektrické spotřebiče k vytápění. Příkon OM je v průběhu otopného období vyrovnaný, dle prvotní analýzy nezávislý na venkovní teplotě. Vytápění tak může být realizováno vlastní kotelnou na jiná paliva, nebo ze systému centrálního zásobování teplem.

Z průběhu příkonů je dále možné usuzovat, že v prvních 14 dnech měsíce srpna vyhlásila společnost celozávodní dovolenou. Ta vysvětluje zásadní pokles příkonu. V tomto období byla naměřena i minimální hodnota příkonu - 0 kW. Ta dle mého názoru neodpovídá skutečnému minimálnímu příkonu. Ten se pohybuje kolem 100 kW, jak je patrné z dalších dnů celozávodní dovolené. Je však možné, v tomto období mohla kupříkladu probíhat oprava, rekonstrukce na měřicím zařízení, či mohlo dojít ke krátkému odpojení OM.

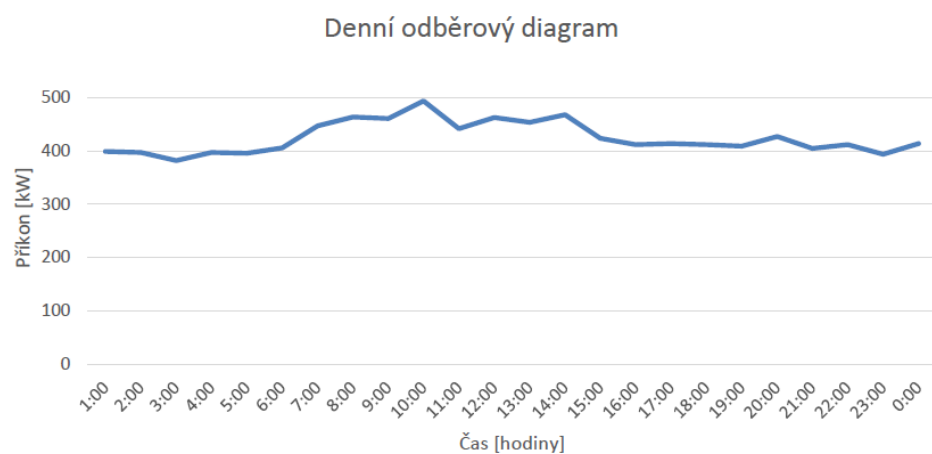
Z měsíčního odběrového diagramu za měsíc březen (obrázek 6.2) je zřejmý týdenní charakter výroby. Jako pracovní dny je možné identifikovat pondělí až pátek.

Patrný je také markantní pokles příkonu 28.3.2016, tedy během státního svátku - Velikonoční pondělí. Velmi podobný pokles příkonu nastává dle diagramu během každého státního svátku.

V porovnání s nimi je víkendová spotřeba téměř 3krát vyšší. Lze tedy předpokládat, že během víkendových dnů jsou některá zařízení stále v provozu.



Obrázek 6.2: Měsíční odběrový diagram



Obrázek 6.3: Denní odběrový diagram

Z denního odběrového diagramu (obrázek 6.3), zde 2.3.2016, lze stanovit pracovní dobu podniku od 6:00 do 16:00. Znatelné jsou také dvě špičky. První ranní nastává kolem 10. hodiny, druhá odpolední kolem 14. hodiny.

## 6.2 Analýza potenciálu odběratele

V této části práce bude provedena analýza potenciálu modelového zákazníka účastnit se služby DR. Ke stanovení technického potenciálu budou využity tři výpočetní modely analyzované v předchozí kapitole této práce.

Výpočty prvních dvou z nich (S3C Toolkit a Komerční software) byly prováděny v programu Excel a jsou součástí přílohy této práce. Výpočet poslední metodou (Inovativní metoda) byl prováděn pomocí vlastního programu implementovaného v jazyce Python, který je také součástí této práce.

### 6.2.1 S3C Toolkit

Prvním softwarem použitým pro hodnocení modelového zákazníka je bezplatný S3C Toolkit.

#### Vstupní parametry

Dle analýzy tohoto softwaru provedené v předchozí kapitole této práce je program schopen pracovat s různými skupinami vstupních parametrů. Od míry podrobnosti vstupů se odvíjí také přesnost stanovení výsledného potenciálu.

Vzhledem k dostupnosti odběrového diagramu zákazníka byl zvolen postup výpočtu umožňující zadání těchto hodnot.

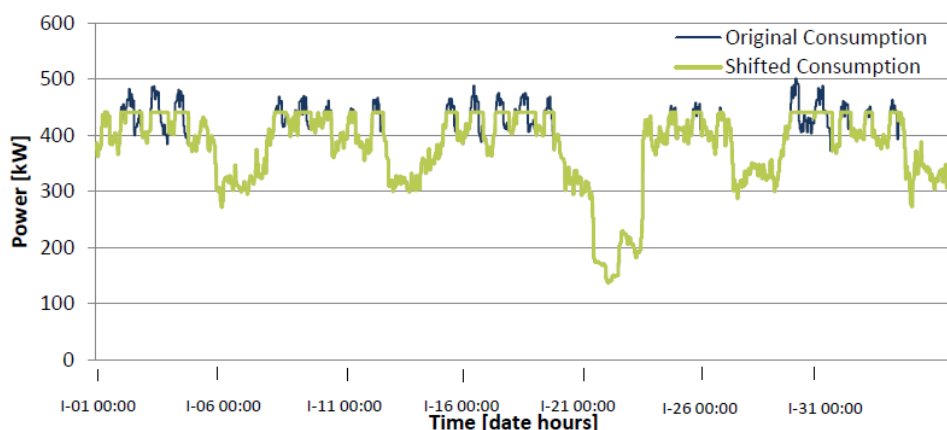
Odběrový diagram odběratele je do programu možné zadat výhradně ve formátu 15minutových hodnot příkonu zákazníka za období 35 dnů (začínajícího pondělím - vyžadováno pravděpodobně výhradně z důvodu lepšího zobrazení v grafu).

Vzhledem k tomu, že pro daného zákazníka jsou známy pouze střední hodinové hodnoty příkonu, byl zaveden zjednodušující předpoklad: čtyři 15minutové hodnoty příkonu v rámci jedné hodiny jsou stejné, rovny skutečnému vstupu - hodinovému příkonu. Z důvodu nedostatečného rozlišení vstupních dat tak nebude plně využít potenciál výpočetního softwaru.

Jako vstupní parametry výpočtu byly využity hodnoty příkonu za 35 dní od pondělí 4.1.2016 (tj. 3360 15minutových hodnot).

#### Výsledky

S3C Toolkit pro zadané vstupní parametry stanovil schopnost odběratele snížit svůj maximální špičkový příkon o 12 %. Pro maximální špičkový příkon v uvažovaném období (501 kW) z toho vyplývá, že zákazník nikdy nepřesáhne příkon 441 kW. Potenciál zákazníka účastnit se služby DR je tedy variabilní, maximální hodnoty dosahuje ve špičkách a činní 60 kW.



**Obrázek 6.4:** Graf závislosti příkonu zákazníka na čase - Výsledek metody S3C Toolkit



## 6.2.2 Komerční software

Stejná data byla analyzována také za pomoci komerčního softwaru. V předchozí kapitole provedená analýza tohoto softwaru posloužila k identifikaci pravděpodobné podoby použitého algoritmu. Ten byl následně implementován v prostředí Excel a použit pro hodnocení modelového zákazníka.

### Vstupní parametry

Vstupními parametry pro výpočet potenciálu zákazníka účastnit se služby DR byly stejně jako v ostatních případech hodinové příkony v odběrném místě (8784 hodinových hodnot za přestupný rok 2016).

Jak již bylo popsáno v kapitole 5.2.2, pro výpočet byly využity všechny hodnoty kromě víkendových.

### Výsledky

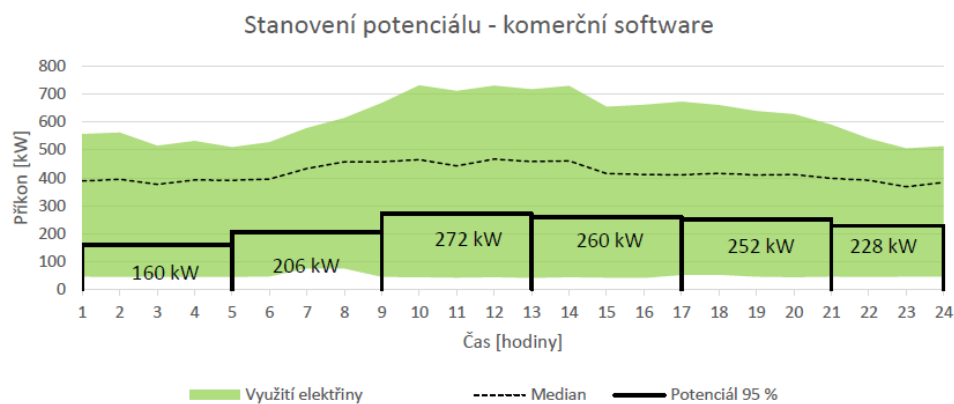
Výsledkem výpočtu bylo pro každou hodinu (1-24) určení popisných charakteristik minimum, maximum, medián a 5% kvantil (základní zatížení). Příklad pro vybrané hodiny je uveden v tabulce 6.1

Hodina	1	4	7	10	13	16	19	22	24
MIN [kW]	45	44	75	43	41	41	45	44	46
MAX [kW]	557	532	578	731	717	661	639	540	513
Medián [kW]	389	377	433	465	458	412	410	391	384
Základní zatížení [kW]	160	161	228	277	271	246	248	237	214

**Tabulka 6.1:** Tabulka popisných charakteristik pro vybrané hodiny

Ze stanovených charakteristik byl vypočten potenciál zákazníka účastnit se služby DR v jednotlivých čtyřhodinových intervalech a stanoven celkový maximální potenciál. Ten je dle komerčního softwaru 272 kW.

Grafické zobrazení výstupů výpočtu včetně stanovení potenciálů v jednotlivých časových intervalech je pro přehlednost uvedeno na obrázku 6.5.



**Obrázek 6.5:** Výsledná grafická reprezentace potenciálu - komerční software

### 6.2.3 Inovativní model

Potenciál modelového zákazníka participovat ve službě DR byl analyzován také za pomoci třetího z představených algoritmů - inovativního modelu.

Algoritmus výpočtu potenciálu DR byl implementován v jazyce Python a je nahrán v příloze této práce (*DR\_evaluation\_tool.py*). Zdrojový kód programu je také uveden v příloze C.

#### Vstupní parametry

Vstupními parametry pro výpočet potenciálu pomocí inovativního modelu jsou hodinové hodnoty příkonu za jeden kalendářní rok a dále velikost mezí T1 a T2 pro výpočet algoritmu Canopy.

##### Hodnoty příkonu

V rámci výpočtu je na hodinové hodnoty příkonu OM nahlíženo jako na soubor objektů. Konkrétně na soubor 366 objektů, každý pro jeden den ve sledovaném intervalu, každý obsahující 24 znaků (hodinových hodnot příkonu).

Zdrojový soubor obsahující informace o změřené velikosti příkonu během roku musí být pro správnou funkci algoritmu ve formátu *.xlsx* programu Excel. Data musí být uspořádána do matice  $m \times n$ , kde  $m$  je počet dnů a  $n$  je počet hodin. V případě přestupného roku 2016 tedy matice o rozměrech  $366 \times 24$ . Jednotlivé řádky představují dny (objekty) a sloupce hodiny (znaky).

Při vytváření této matice je nutné provést předzpracování dnů, ve kterých dochází ke změně času. Ty se vyznačují oproti klasickým dnům rozdílnou délkou - 23 a 25 hodin. Pro správnou funkci algoritmu jsou však vyžadovány objekty o 24 znacích.

Předzpracování bylo provedeno tak, že v případě 23hodinového dne byla chybějící hodnota příkonu nahrazena průměrem předcházející a následující hodnoty. U 25hodinového dne byla první ze dvou hodnot příkonů naměřených ve 2:00 odstraněna. Vzhledem k tomu, že tyto úpravy nastaly v nočních hodinách, je jimi způsobená nepřesnost zanedbatelná.

##### Určení mezí T1 a T2

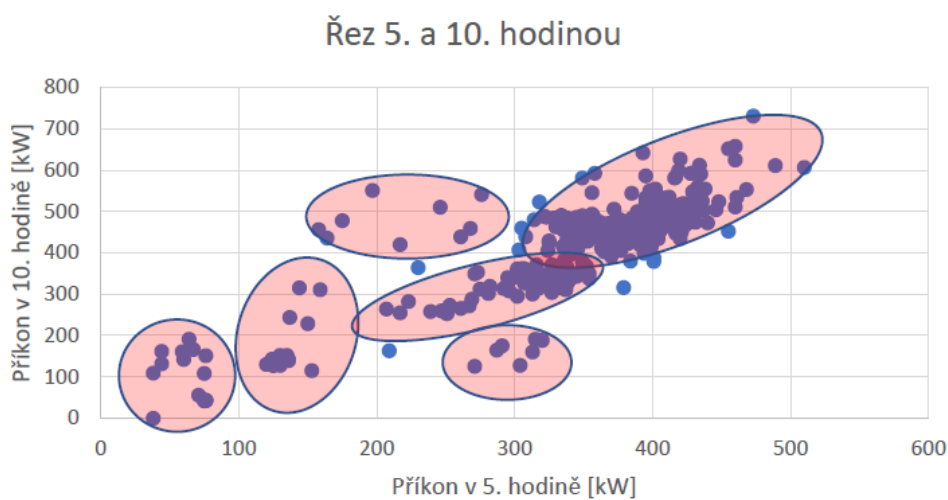
Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole zabývající se teoretickým popisem algoritmu Canopy, neexistuje jednoznačně správný postup pro určení velikosti mezí T1 a T2. V praxi používaným přístupem je například odhad velikosti mezí na základě znalosti výsledného počtu shluků při použití známých testovacích dat.

Druhým způsobem je stanovení mezí pomocí grafického zobrazení dat. Z analýzy vzájemné polohy objektů ve dvourozměrném prostoru je možné identifikovat pravděpodobné množství a rozložení shluků. Pomocí citlivostní analýzy parametru T2 je následně možné stanovit takovou hodnotu T2, pro kterou bude výsledkem algoritmu Canopy požadované množství canopů.

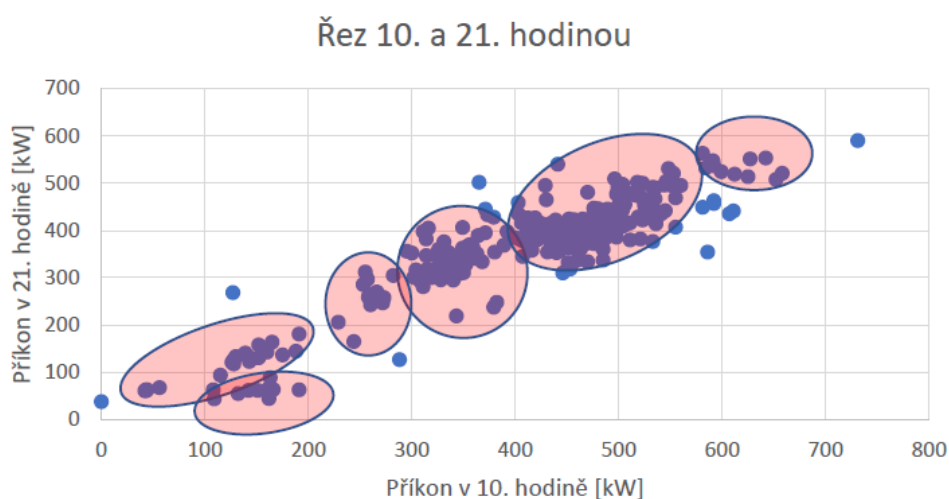
Parametr T1 je v případě zde použité aplikace algoritmu irelevantní. Určuje totiž pouze, do jaké míry se budou jednotlivé canopy překrývat. Neovlivňuje však požadované výsledné hodnoty - počet canopů a souřadnice centroidů.

Sledované objekty v případě hodinových příkonů OM mají 24 znaků. Pro správnou grafickou analýzu vzájemných vztahů objektu by proto bylo potřeba soubor dat zobrazit v 24rozměrném prostoru. To však není možné.

Pro účely analýzy byly proto provedeny dvourozměrné řezy rovinou některých význačných hodin, jak byly identifikovány v kapitole 6.1.1. Na obrázku 6.6 se jedná o řez 5. a 10. hodinou, tj. hodinou před začátkem pracovní doby a první ranní špičkou příkonu a dále řez 10. a 21. hodinou, tedy obdobím 1. ranní špičky a večerní hodinou. Na grafech jsou modře vyznačeny jednotlivé objekty, růžově návrh rozdělení do shluků.



**Obrázek 6.6:** Řez souborem objektů rovinou 5. a 10. hodiny



**Obrázek 6.7:** Řez souborem objektů rovinou 10. a 21. hodiny

Na základě dvou uvedených grafů lze usuzovat, že objekty je vhodné rozdělit do přibližně 6 shluků.

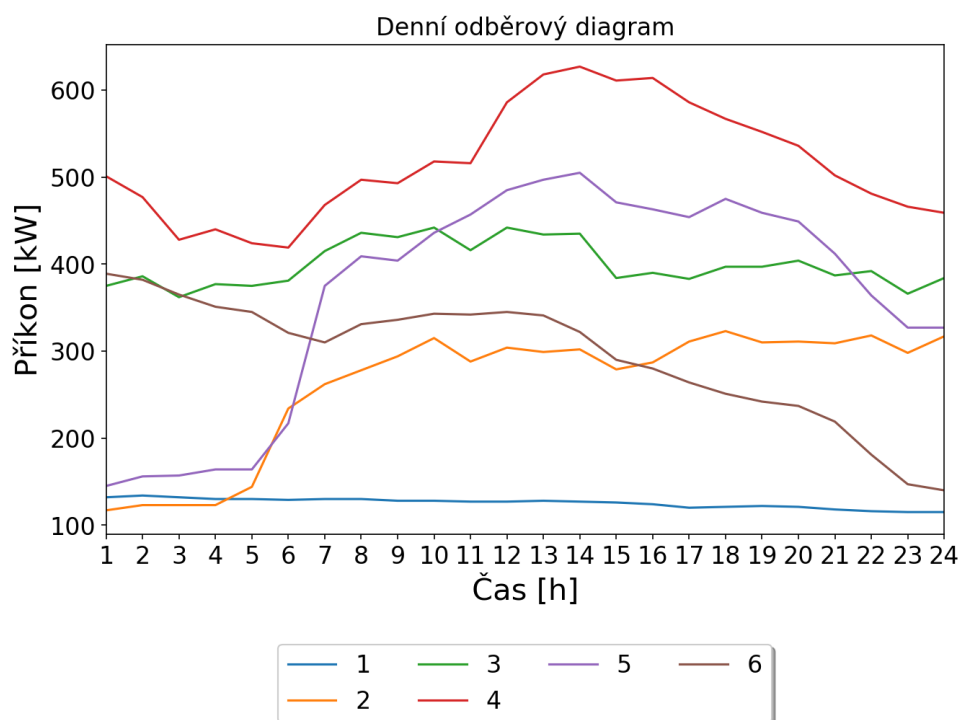
## ■ Výpočet

Výpočet inovativní metodou se sestává z několika význačných navazujících operací. Tato podkapitola je proto věnována prezentaci mezivýsledků výpočtu.

Po nahrání zdrojového souboru dat do programu je automaticky provedena citlivostní analýza závislosti počtu *canopů* (výsledek Canopy před shlukové analýzy) na mezním parametru T2. Zkoumaný interval T2 je  $\langle 300, 700 \rangle$  kW s krokem 50 kW. Pro požadovanou hodnotu 6 *canopů* byl zvolen parametr  $T2 = 550$  kW.

Následně je provedena Canopy před shluková analýza. Uživatel je programem požádán o zadání velikosti parametrů T1 s T2. V provedeném výpočtu byly zvoleny tyto hodnoty  $T1 = 1100$  kW,  $T2 = 550$  kW. Hodnota T2 tedy byla zvolena v souladu s výsledky citlivostní analýzy. Parametr T1 byl zvolen jako dvojnásobek T2. Jak již bylo uvedeno na začátku této kapitoly, parametr T1 je pro požadované výsledky irelevantní. Algoritmus povede ke stejným závěrům nezávisle na volbě T1, při zachování definiční podmínky  $T1 > T2$ .

Canopy algoritmus rozdělí vstupní data - objekty do 6 *canopů*. Ty jsou reprezentovány svými centroidy. Denní odběrový diagram těchto centroidů je pro přehlednost vyobrazen na obrázku 6.8.

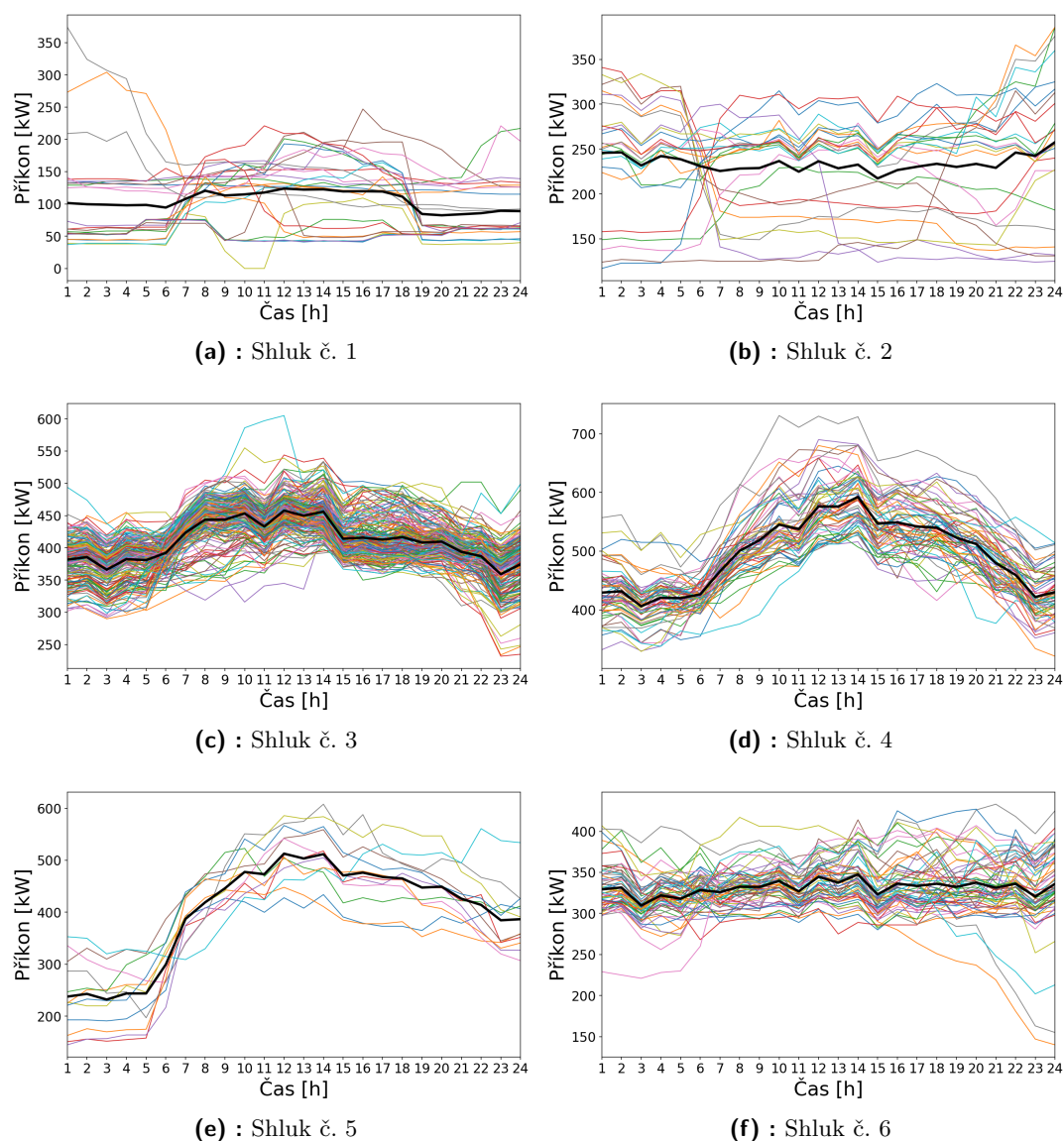


**Obrázek 6.8:** Denní odběrový diagram centroidů určených Canopy algoritmem

Počet *canopů* a souřadnice centroidů jsou následně využity jako vstupní údaje pro K-means shlukovou analýzu. Jejím cílem je finálně rozdělit zkoumané objekty do shluků dle vzájemné podobnosti.

Denní diagramy jednotlivých objektů rozdělené do shluků jsou uvedena na

obrázku 6.9. Černou barvou jsou vyznačeny centroidy jednotlivých shluků.



**Obrázek 6.9:** Denní odběrový diagram jednotlivých shluků. Tučně je vyznačen centroid.

## ■ Výsledky

Hodinové průběhy příkonů jednotlivých centroidů nalezených metodou K-means byly následně analyzovány. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 6.2.

Za reprezentativní shluk je možné označit pouze ten, který se sestává z nejméně 30 objektů. Z tohoto hlediska je pro službu DR vhodný pouze 4. shluk, tedy konkrétně 62 dní v roce. V nich odběrový diagram vykazuje vhodný průběh s dvěma peaky a maximálním dosažitelných potenciálem 186 kW.

Shluk	Počet objektů	Typ	Potenciál kW
-	-	-	-
1	26	Bez špiček	0
2	24	Hladký	0
3	182	Hladký	0
4	62	Bimodální	186
5	12	Bimodální	281
6	60	Hladký	0

**Tabulka 6.2:** Tabulka charakteristik jednotlivých shluků

Tento shluk obsahuje dny z období 5.4. až 16.9., tedy z období se zvýšenou spotřebou elektřiny, jak bylo identifikováno v úvodu této kapitoly. Téměř rovnoměrně jsou zastoupeny všechny dny pracovního týdne.

### 6.2.4 Srovnání technického potenciálu

Potenciál modelového zákazníka, strojírenské společnosti ve středních Čechách, byl v této práci hodnocen za pomoci třech rozdílných metod. Ty byly nejprve teoreticky analyzovány v kapitole 5, následně aplikovány na modelového odběratele v kapitole 6.

Vzhledem ke zcela rozdílným koncepcím dospěly zmíněné metody při analýze téhož odběratele k různým výsledkům. Ty jsou pro přehlednost shrnuty v tabulce 6.3.

Metoda	$P_{pot}$ [kW]	$n_{d,akt}$ [-]
S3C Toolkit	60	366
Komerční model	272	366
Inovativní model	186	62

**Tabulka 6.3:** Srovnání maximálního potenciálu dle modelů

V ní jsou pro každý z modelů uvedeny dva parametry:

$P_{pot}$ : maximální hodnota potenciálu zákazníka participovat ve službě DR [kW],

$n_{d,akt}$ : maximální počet dní, ve kterých může být služba DR u zákazníka v roce 2016 aktivována [-].

Nejvyšší hodnota maximálního potenciálu byla stanovena komerčním softwarem. Ten, jak již bylo diskutováno v kapitole 5.4, zavádí značně optimistické předpoklady pro svůj výpočet. Na první pohled příznivě vysoká hodnota potenciálu je oproti reálnému stavu nadhodnocena.

Nejnižší maximální potenciál byl určen pomocí S3C Toolkit. Tento nástroj předpokládá využití DR pro účely eliminace výrazných špiček příkonu, vyhlazení odběrového diagramu. Ze své podstaty tedy vede k malému potenciálu, který může být využit vícekrát denně. Jak bylo popsáno v kapitole 5.4, toto

využití není vhodné pro nejběžnější typ explicitního DR.

Maximální potenciál hodnoceného zákazníka dle inovativního modelu nabývá hodnoty 186 kW. Současně může být služba DR využívána jen v některých dnech. Celkový efekt služby je tak v porovnání s výsledky předchozích modelů omezený, avšak nejvíce odpovídá skutečné hodnotě.

186 kW je relativně malý potenciál pro aplikaci této služby. Mezní hodnota, od které je vhodné službu u zákazníka zavést, záleží na nastavení obchodního modelu daného agregátora. Lepší představu o skutečné aplikovatelnosti je možné získat z ekonomického hodnocení.

## 6.3 Ekonomické hodnocení DR potenciálu

Technický potenciál stanovený v předchozí kapitole jednotlivými modely není ze své podstaty vhodný pro ekonomické hodnocení, jak bylo detailně popsáno v 5.1. Neobsahuje totiž některé informace, například možnou frekvenci aktivací. K těmto účelům je vhodné využít přesnější potenciál smluvní.

Pro zpřesnění výpočtu bude předpokládáno, že odběratel je ochoten účastnit se služby DR pouze v době své špičky příkonu. V případě komerčního a inovativního modelu tedy nejvýše jednou denně. SC3 Toolkit ve svém výpočtu v podstatě definuje období špičky sám, bude tedy využita tato definice.

Hodnocení bude provedeno z pohledu agregátora - subjektu zúčtování, který vykupuje služby DR od zákazníka za účelem minimalizace své odchylky.

Nutnou podmínkou výpočtu je znalost odchylky subjektu zúčtování v každé hodině roku. Tato informace je nicméně neveřejná. Z tohoto důvodu bude hodnocení provedeno z pohledu fiktivního agregátora, jehož odchylka má vždy stejnou polaritu jako systémová odchylka a co do velikosti nabývá jedné desetiny této hodnoty.

Předpoklad stejné polarity odchylky subjektu zúčtování a systémové odchylky představuje velmi optimistický odhad skutečnosti. Platí totiž, že v době nedostatku energie v ES (záporná SyO), odebírá agregátor více elektřiny, než bylo sjednáno. S velkou pravděpodobností tedy u něj existuje potenciál pro potřebné snížení příkonu, čímž pomůže stabilizovat ES. Naopak, když je ES v přebytku (kladná SyO), odebírá odběratel méně než bylo sjednáno. Jeho potenciál snížit příkon je tak pravděpodobně malý a současně pro soustavu nepotřebný.

Kdyby tento předpoklad neplatil, mohla by dojít například k případu, kdy  $SyO < 0$  a  $O_{SZ} > 0$ . V tomto případě by byl nedostatek elektrické energie v elektrizační soustavě, agregátor by však již odebíral méně, než sjednal. Jeho potenciál na další snižování příkonu by byl s největší pravděpodobností značně omezený.

Příkladem reálného subjektu, jehož odchylka je v úzké vazbě se SyO, by v České republice mohla být společnost ČEZ Prodej, a.s. Vzhledem ke svému významnému postavení na energetickém trhu se lze domnívat, že odchylka této společnosti bude značným způsobem určovat SyO.

Přes výše zavedené zjednodušení je představený postup výpočtu obecně platný. Při znalosti reálného ročního průběhu odchylky jej lze aplikovat na

libovolný subjektu zúčtování.

Efektivita využití explicitní služby DR je v praxi také limitována schopností agregátora predikovat velikost své a systémové odchylky v následující obchodní hodině. Žádost o změnu příkonu v rámci programu DR musí totiž agregátor odesílat svým zákazníkům s dostatečným předstihem. Podstupuje tak riziko nesprávné predikce odchylky.

Hodnocení modelového odběratele bude provedeno za období od 1.1.2016 do 31.12.2016. Výpočty jsou prováděny v cenách roku 2016.

### 6.3.1 Postup ekonomického hodnocení

Na základě velikosti systémové odchylky a zúčtovací ceny odchylky pro jednotlivé hodiny roku 2016 [OTE16] bylo provedeno ekonomické hodnocení potenciálu zákazníka dle dříve představených modelů.

Pro každou hodinu roku bylo určeno zda bude služba DR u zákazníka aktivována a v jaké výši.

#### SC3 Toolkit

S3C Toolkit stanovil potenciál zákazníka participovat ve službě DR, jako schopnost snížit svůj stávající špičkový příkon na hodnotu 441 kW.

Služba DR byla u hodnoceného zákazníka aktivována v každé obchodní hodině při současném splnění dvou podmínek: pokud byla systémová odchylka záporná a současně pokud by bez aktivace služby DR došlo k překročení nově stanoveného maxima příkonu.

Následně byla stanovena velikost takto vyvolaného snížení odchylky SZ v dané hodině:

$$E_{pot,h} = \min(-O_{SZ,h}; (P_h - P_{DR,h}) \cdot 1h) \quad (6.1)$$

, kde:

$E_{pot,h}$  : je snížení odchylky SZ v dané hodině [MWh],

$O_{SZ,h}$ : je odchylka SZ v dané hodině [MWh],

$P_h - P_{DR,h}$ : je rozdíl mezi příkon odběratele bez a s aktivací DR v dané hodině [MW].

Snížení odchylky bylo finančně ohodnoceno dle zúčtovací ceny platné pro danou hodinu.

#### Komerční software

Maximální technický potenciál zákazníka byl na základě analýzy komerčním softwarem stanoven ve výši 272 kW.

Služba DR může být u zákazníka aktivována nejvýše jednou denně, a to v období špičky příkonu mezi 9. a 12. hodinou. Aktivace proběhne v první hodině ve sledovaném intervalu, ve kterém je systémová odchylka záporná.

Velikost snížení odchylky vyvolaného službou DR bylo stanoveno:

$$E_{pot,h} = \min(-O_{SZ,h}; P_h \cdot 1h; P_{pot} \cdot 1h) \quad (6.2)$$



, kde:

$E_{pot,h}$ : je snížení odchylky SZ v dané hodině [MWh],

$O_{SZ,h}$ : je odchylka SZ v dané hodině [MWh],

$P_h$ : je příkon odběratele v dané hodině [MW],

$P_{pot}$ : je potenciál odběratele stanovený komerčním softwarem [MW],

Z logiky výpočtu stanovení potenciálu komerčním softwarem musí být ve vzorci 6.3 hodnota  $P_h$ . V některých dnech je určený potenciál vyšší, než skutečný příkon odběratele.

### ■ Inovativní model

Na základě analýzy odběratele provedené za pomoci dříve představeného inovativního modelu bylo identifikováno 62 dní s potenciálem participovat ve službě DR. Maximální dosažitelný potenciál v těchto dnech je 186 kW.

Služba DR byla aktivována v každém z těchto dní, pokud v době odběrové špičky byla záporná systémová odchylka.

Velikost snížení odchylky je poté ve zmíněných dnech možné určit takto:

$$E_{pot,h} = \min(-O_{SZ,h}; P_h \cdot 1h; P_{pot} \cdot 1h) \quad (6.3)$$

, kde:

$E_{pot,h}$ : je snížení odchylky SZ v dané hodině [MWh],

$O_{SZ,h}$ : je odchylka SZ v dané hodině [MWh],

$P_h$ : je příkon odběratele v dané hodině [MW],

$P_{pot}$ : je potenciál odběratele stanovený inovativním modelem [MW],

### ■ 6.3.2 Srovnání ekonomických výsledků

Podstatné rozdíly v jednotlivých analyzovaných modelech se zásadně projeví při ekonomickém hodnocení.

Srovnání ekonomických výsledků hodnocených modelů je pro přehlednost uvedeno v tabulce 6.4. V něm jsou pro každý z modelů uvedeny tři parametry:

$E_{pot}$ : celkové množství energie regulované na základě služby DR [MWh],

$n_{akt}$ : počet aktivací služby DR za rok 2016 [-],

$IN$ : celkové příjmy plynoucí ze snížení odchylky SZ [Kč].

Metoda	$E_{pot}$ [MWh]	$n_{akt}$ [-]	$IN$ [Kč]
S3C Toolkit	56,3	988	171 600
Komerční model	58,7	226	157 700
Inovativní model	7,3	41	18 900

**Tabulka 6.4:** Srovnání ekonomického hodnocení modelů

Ekonomické výsledky odpovídají očekávání. Na základě závěrů S3C Toolkit je služba DR aktivována velmi často k malé regulaci příkonu. Jak bylo

diskutováno v kapitole 5.4, příliš častá aktivace služby není v nejběžnější obchodní variantě (explicitní domluva každé aktivace zúčastněnými stranami) vhodná, a tedy i reálná. Při využití automatického mechanismu spínání spotřebičů tento přístup dává smysl.

Komerční model předpokládá také značně vysoký počet aktivací - ve více než 60 % dnů roku 2016. Vzhledem k velkému uvažovanému potenciálu je i příjem plynoucí z účasti značný.

Na základě závěrů inovativního modelu bude služba DR u zákazníka aktivována jen 41krát za rok, tomu odpovídají i nejnižší příjmy z hodnocených variant. Hlavním důvodem je skutečnost, že tento přístup definuje pouze 62 dnů vhodných pro aktivaci služby.

Nicméně skutečnost, že je výpočet prováděn jen pro relativně malou skupinu vhodných dnů, představuje hlavní výhodu inovativního modelu. Díky ní se stanovená hodnota potenciálu potažmo příjmů plynoucích z aktivace služby DR nejvíce blíží skutečné hodnotě.

Lze proto očekávat, že příjmy agregátora plynoucí z cíleného řízení spotřeby modelového zákazníka se ve skutečnosti budou blížit hodnotě 18 900 Kč/rok. Tato hodnota je velmi malá. Vzhledem k investiční náročnosti instalace smart meteru, není zákazník vhodný pro aplikaci DR.

- Potenciál modelového odběratele, strojírenské společnosti ve středních Čechách, byl analyzován za pomoci tří uvažovaných metod. Zjištění technický potenciál se u jednotlivých metod zásadně lišil. To bylo způsobeno jinou filosofií výpočtu. Konkrétní rozdíly byly detailně analyzovány.

V závěru kapitoly bylo provedeno ekonomické hodnocení těchto potenciálů.

Z představených modelů se nejbliže reálné hodnotě blíží třetí, tzv. inovativní model. Analyzovaný potenciál zákazníka je značně malý, a proto pro službu DR nevhodný.

# Kapitola 7

## Závěr

Sektor výroby a spotřeby elektrické energie prošel v posledních 60 letech zásadní proměnou. Charakterizována je přechodem od vertikálního k horizontálnímu systému, liberalizací trhu, rozvojem obnovitelných zdrojů.

V tomto dynamicky se vyvíjejícím prostředí vyvstala pro energetické společnosti potřeba zásadně diverzifikovat zdroje svých příjmů, například poskytováním energetických služeb.

Předmětem této práce je služba Demand Response - program motivující konečného odběratele změnit na žádost agregátora v nadcházejícím časovém intervalu svojí plánovanou spotřebu. Podmínkou služby je instalace smart meterů.

Rozvoj této služby je silně podporován Evropskou unií, která v ní spatřuje vhodný způsob zajištění výkonové rovnováhy v době narůstajícího vlivu intermitentních obnovitelných zdrojů.

Nutnou podmínkou zavádění této služby u odběratele je provedení prvotní analýzy velikosti potenciálu zákazníka. Tedy množství příkonu, který bude možné pro účely Demand Response regulovat. Tato analýza musí být realizovatelná v širokém měřítku, na základě běžně dostupných dat (historické informace o spotřebě, údaje o počasí). Slouží k prvotní segmentaci zákazníků.

Příliš malý potenciál může být, vzhledem k přetrvávající investiční náročnosti smart meterů, limitujícím faktorem pro zapojení odběratele do této služby.

Na základě dostupných informací byla provedena detailní analýza dvou existujících modelů na určení technického potenciálu odběratele.

- Výpočetní algoritmus nástroje S3C Toolkit je založen výhradně na empiricky získaných datech od odběratelů, kteří již službu v minulosti využívaly. Velikost odhadnutého potenciálu je velmi malá, regulace je však dle tohoto modelu u zákazníka možná poměrně často.

Model tak není vhodný pro nejčastěji využívanou formu explicitní služby DR.

- Druhý analyzovaný nástroj byl komerční software vyvinutý jedním z největších evropských agregátorů. Vzhledem k charakteru programu byla analýza výpočetního mechanismu provedena na základě zkoumání čtyř souborů vstupních dat a jim odpovídajících výstupů.

Potenciál zákazníka je stanoven na základě statistické analýzy historických dat. Ačkoliv software na první pohled působí expertním dojmem, byly v této práci identifikovány některé koncepční chyby tohoto nástroje.

Představen byl také model založený na několika vědeckých pracích. Jeho implementace byla provedena v jazyce Python a je součástí této práce.

- Tzv. Inovativní model stanovuje potenciál odběratele participovat ve službě DR na základě metod data miningu. Jednotlivé dny historické spotřeby jsou za pomoci Canopy a K-means shlukové analýzy rozděleny do charakteristických shluků.

Pro participaci ve službě jsou vybrány jen ty shluky, které obsahují alespoň 30 dní a jejichž dny vykazují vhodné parametry - dny s výraznou denní špičkou příkonu. Tímto způsobem jsou ze souboru uvažovaných dnů vyřazeny dny nevhodné pro službu DR - víkendy, celozávodní dovolené, opravy, poruchy. Žádný z dříve představených modelů všechny tyto faktory nezohledňuje.

Potenciál v každé hodině je určen jako rozdíl mezi aktuálním příkonem a definovaným základním zatížením.

Tento model vede k nejnižším výsledným hodnotám, avšak představuje ze třech analyzovaných modelů nejlepší odhad skutečného potenciálu odběratele.

Slabinou tohoto nástroje je nejednoznačnost určení mezi T1 a T2 pro zmíněný Canopy algoritmus. Správné zvolení těchto parametrů je podmíněno hlubším porozuměním spotřebního chování odběratele.

Potenciál modelového odběratele, strojírenské společnosti ve středních Čechách, byl následně analyzován za pomoci všech zmíněných modelů.

Z pohledu agregátora, subjektu zúčtování, který využívá regulace svých odběratelů ke snížení své odchylky, bylo provedena také ekonomická analýza. Výsledky jsou pro přehlednost opětovně uvedeny v tabulce 7.1.

Metoda	$E_{pot}$ [MWh]	$n_{akt}$ [-]	$IN$ [Kč]
S3C Toolkit	56,3	988	171 600
Komerční model	58,7	226	157 700
Inovativní model	7,3	41	18 900

**Tabulka 7.1:** Srovnání ekonomického hodnocení modelů

V ní jsou pro každý z modelů uvedeny tři parametry:

$E_{pot}$ : celkové množství energie regulované na základě služby DR [MWh],

$n_{akt}$ : počet aktivací služby DR za rok 2016 [-],

$IN$ : celkové příjmy plynoucí ze snížení odchylky SZ [Kč].

Jak bylo diskutováno v poslední kapitole této práce, je zřejmé, že potenciál hodnoceného odběratele participovat ve službě Demand Response je nejpřesněji odhadnut pomocí inovativního modelu. Malé příjmy plynoucí z participace indikují, že odběratel není vhodný pro aplikaci služby DR.



## Příloha A

### Použité zkratky

B2B - Business-to-business  
B2C - Business-to-consumer  
ČR - Česká republika  
DR - Demand Response  
DSM - Demand Side Management  
EPC - Energy Performance Contracting  
ERÚ - Energetický regulační úřad  
ES ČR - Elektrizační soustava České republiky  
ESCO - Energy Service Company  
EU - Evropská unie  
EUR - Euro  
HDO - Hromadné dálkové ovládání  
MOO - Maloodběr domácnost  
MOP - Maloodběr podnikatel  
OM - Odběrné místo  
OZE - Obnovitelné zdroje energie  
SEK - Státní energetická koncepce  
SME - Malé a střední podniky  
SNL - Schnell abschaltbaren Lasten  
SOL - Sofort abschaltbare Lasten  
STOR - Short term operating reserve  
TUV - Teplá užitková voda



## Příloha B

### Odběrový diagram (formát dat)

Datum	Hodina	P [kW]	Datum	Hodina	P [kW]	Datum	Hodina	P [kW]
01.01.2016	1	132	02.01.2016	1	117	03.01.2016	1	310
01.01.2016	2	134	02.01.2016	2	123	03.01.2016	2	316
01.01.2016	3	132	02.01.2016	3	123	03.01.2016	3	300
01.01.2016	4	130	02.01.2016	4	123	03.01.2016	4	315
01.01.2016	5	130	02.01.2016	5	144	03.01.2016	5	313
01.01.2016	6	129	02.01.2016	6	234	03.01.2016	6	298
01.01.2016	7	130	02.01.2016	7	262	03.01.2016	7	295
01.01.2016	8	130	02.01.2016	8	278	03.01.2016	8	297
01.01.2016	9	128	02.01.2016	9	294	03.01.2016	9	294
01.01.2016	10	128	02.01.2016	10	315	03.01.2016	10	300
01.01.2016	11	127	02.01.2016	11	288	03.01.2016	11	289
01.01.2016	12	127	02.01.2016	12	304	03.01.2016	12	305
01.01.2016	13	128	02.01.2016	13	299	03.01.2016	13	293
01.01.2016	14	127	02.01.2016	14	302	03.01.2016	14	299
01.01.2016	15	126	02.01.2016	15	279	03.01.2016	15	280
01.01.2016	16	124	02.01.2016	16	287	03.01.2016	16	299
01.01.2016	17	120	02.01.2016	17	311	03.01.2016	17	317
01.01.2016	18	121	02.01.2016	18	323	03.01.2016	18	312
01.01.2016	19	122	02.01.2016	19	310	03.01.2016	19	315
01.01.2016	20	121	02.01.2016	20	311	03.01.2016	20	318
01.01.2016	21	118	02.01.2016	21	309	03.01.2016	21	352
01.01.2016	22	116	02.01.2016	22	318	03.01.2016	22	370
01.01.2016	23	115	02.01.2016	23	298	03.01.2016	23	356
01.01.2016	24	115	02.01.2016	24	317	03.01.2016	24	383

B. Odběrový diagram (formát dat)

Datum	Hodina	P [kW]	Datum	Hodina	P [kW]	Datum	Hodina	P [kW]
04.01.2016	1	375	06.01.2016	1	405	08.01.2016	1	389
04.01.2016	2	386	06.01.2016	2	405	08.01.2016	2	399
04.01.2016	3	362	06.01.2016	3	386	08.01.2016	3	372
04.01.2016	4	377	06.01.2016	4	404	08.01.2016	4	391
04.01.2016	5	375	06.01.2016	5	407	08.01.2016	5	386
04.01.2016	6	381	06.01.2016	6	408	08.01.2016	6	399
04.01.2016	7	415	06.01.2016	7	448	08.01.2016	7	407
04.01.2016	8	436	06.01.2016	8	486	08.01.2016	8	425
04.01.2016	9	431	06.01.2016	9	480	08.01.2016	9	426
04.01.2016	10	442	06.01.2016	10	487	08.01.2016	10	432
04.01.2016	11	416	06.01.2016	11	464	08.01.2016	11	416
04.01.2016	12	442	06.01.2016	12	479	08.01.2016	12	427
04.01.2016	13	434	06.01.2016	13	471	08.01.2016	13	416
04.01.2016	14	435	06.01.2016	14	477	08.01.2016	14	410
04.01.2016	15	384	06.01.2016	15	440	08.01.2016	15	374
04.01.2016	16	390	06.01.2016	16	442	08.01.2016	16	372
04.01.2016	17	383	06.01.2016	17	423	08.01.2016	17	395
04.01.2016	18	397	06.01.2016	18	416	08.01.2016	18	399
04.01.2016	19	397	06.01.2016	19	402	08.01.2016	19	389
04.01.2016	20	404	06.01.2016	20	419	08.01.2016	20	392
04.01.2016	21	387	06.01.2016	21	401	08.01.2016	21	382
04.01.2016	22	392	06.01.2016	22	399	08.01.2016	22	349
04.01.2016	23	366	06.01.2016	23	384	08.01.2016	23	304
04.01.2016	24	384	06.01.2016	24	404	08.01.2016	24	307
05.01.2016	1	407	07.01.2016	1	411	09.01.2016	1	299
05.01.2016	2	450	07.01.2016	2	424	09.01.2016	2	306
05.01.2016	3	437	07.01.2016	3	403	09.01.2016	3	281
05.01.2016	4	455	07.01.2016	4	403	09.01.2016	4	272
05.01.2016	5	428	07.01.2016	5	401	09.01.2016	5	282
05.01.2016	6	422	07.01.2016	6	426	09.01.2016	6	318
05.01.2016	7	450	07.01.2016	7	458	09.01.2016	7	323
05.01.2016	8	464	07.01.2016	8	461	09.01.2016	8	325
05.01.2016	9	463	07.01.2016	9	473	09.01.2016	9	326
05.01.2016	10	482	07.01.2016	10	481	09.01.2016	10	319
05.01.2016	11	452	07.01.2016	11	450	09.01.2016	11	316
05.01.2016	12	473	07.01.2016	12	478	09.01.2016	12	328
05.01.2016	13	449	07.01.2016	13	462	09.01.2016	13	314
05.01.2016	14	462	07.01.2016	14	471	09.01.2016	14	320
05.01.2016	15	400	07.01.2016	15	417	09.01.2016	15	302
05.01.2016	16	414	07.01.2016	16	404	09.01.2016	16	310
05.01.2016	17	415	07.01.2016	17	396	09.01.2016	17	347
05.01.2016	18	422	07.01.2016	18	397	09.01.2016	18	318
05.01.2016	19	430	07.01.2016	19	385	09.01.2016	19	311
05.01.2016	20	444	07.01.2016	20	382	09.01.2016	20	310
05.01.2016	21	417	07.01.2016	21	384	09.01.2016	21	305
05.01.2016	22	407	07.01.2016	22	384	09.01.2016	22	307
05.01.2016	23	396	07.01.2016	23	371	09.01.2016	23	299
05.01.2016	24	403	07.01.2016	24	383	09.01.2016	24	304



## Příloha C

### Zdrojový kód

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-

"""
DR_evaluation_tool.py
Determines a DR potential based on hourly consumption data.

@author: Michael Nemy
@date: 2.3.2018
@version: 1.0
"""

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from sklearn.metrics.pairwise import pairwise_distances
from sklearn.cluster import KMeans
from collections import Counter

def load_file (file_name):
    """Loads an Excel source file as an array using the Pandas library.

    Keyword arguments:
    file_name -- name of Excel source file

    Returns: array
    """
    xl = pd.ExcelFile(file_name)
    file_out = np.asarray(xl.parse('List1'))
    return file_out

def cluster_canopy(data, t1, t2):
    """Performs Canopy clustering on a given dataset.

    Algorithm uses two thresholds t1 a t2, where t1 > t2.
    1) Remove one object from the dataset - serves as a new centroid.
    2) For all the remaining objects: If the distance from the centroid is
    smaller, equal to t1, it becomes a member of canopy. If the distance is
    smaller, equal to t2, remove the object from the dataset.
    3) Repeat 1) and 2) as long as there are objects in the dataset.
    Returns a dictionary of centroids (position in the dataset) and a number
```

of objects in the canopy and a list of centroids.

Keyword arguments:

data -- dataset for clustering  
 t1 -- T1 threshold value,  $T1 > T2$   
 t2 -- T2 threshold value

Returns: dict of canopies, list of centroids coordinates  
 """

```
canopies = dict()
centroids = []
dist = pairwise_distances(data, metric = 'euclidean')
objects = set(range(data.shape[0])) # Set of objects of dataset.
```

while objects:

    # 1) Step

```
    point = objects.pop()
    centroids.append(data[point])
```

    # 2) Step

```
    canop_members = np.where(dist[point] < t1)
    canopies[len(canopies)] = {point : list(canop_members[0])}
```

```
    core_members = np.where(dist[point] < t2)
    objects = objects.difference(set(core_members[0]))
```

    #Removing objects from distance calculations

```
    members = list(core_members[0])
    dist[:,members] = float('inf')
```

```
return canopies, np.asarray(centroids)
```

```
def cluster_kmeans(data, init_centroids, n_clusters):
    """Performs K-Means clustering on a given dataset.
```

KMeans from module sklearn.cluster is used.

Keyword arguments:

data -- dataset for clustering  
 init\_centroids -- initial centroids for 1st iteration  
 n\_clusters -- number of clusters

Returns: list of centroids, list of clusters  
 """

```
kmeans = KMeans(n_clusters = n_clusters, init = init_centroids, n_init = 1)
kmeans.fit(data)
y_kmeans = kmeans.predict(data)
centroids = kmeans.cluster_centers_
```

```
return centroids, y_kmeans
```

```
def characterize (array):
```

    """Calculates coefficients describing a consumption pattern.

Keyword arguments:

```

array -- Array of an electricity consumption pattern for analysis

Returns: matrix of coefficients
"""

a1 = standardize(np.mean(array,axis = 1) / np.max(array,axis = 1))
a2 = standardize((np.max(array,axis = 1) - np.min(array,axis = 1))/np.max
                (array,axis = 1))
a3 = standardize(np.mean(array[:,8:11],axis = 1) / np.mean(array,axis = 1))
a4 = standardize(np.mean(array[:,18:21],axis = 1) / np.mean(array,
                axis = 1))
a5 = standardize(np.mean(np.hstack((array[:,0:7],array[:,22:24])),axis = 1)
                / np.mean(array,axis = 1))

return np.column_stack((a1,a2,a3,a4,a5))

def standardize (array):
    """Performs standardization of pattern describing coefficients.

    Keyword arguments:
    array -- matrix of characteristic coefficients of the patterns

    Returns: matrix of standardized coefficients
    """

    standards = (np.min(array) + np.max(array)) / 2
    result = []
    for i in array:
        if i >= standards:
            result.append(1)
        else:
            result.append(0)
    return result

def evaluation(standards, data):
    """Sorts the consumption patterns into categories and set the DR potential.

    Sorting is performed based on a decision tree presented in the diploma work

    Keyword arguments:
    standards -- matrix of standardized coefficients of the analysed patterns
    data -- matrix analysed patterns

    Returns: dictionary of the DR potentials
    """

    result = []

    for i in range(0,standards.shape[0]):
        if standards[i,0] == 1:
            result.append(u'Hladký: 0 kW')
        elif standards[i,4] == 1:
            result.append(u'Bez špiček: 0 kW')
        elif standards[i,3] == 0:
            result.append(u'Unimodální: {} kW'.format(round(np.max(data[i]) -
                np.min(data[i]),1)))
        elif standards[i,2] == 0:
            result.append(u'Unimodální: {} kW'.format(round(np.max(data[i]) -

```

```

        np.min(data[i],1)))
    else:
        result.append(u'Bimodální: {} kW'.format(round(np.max(data[i]) -
            np.min(data[i],1)))
    return result

def print_graph(array):
    """Plots a given array.

    Keyword arguments:
    array -- consumption pattern to plot
    """

    plt.title(u'Denní odběrový diagram')
    plt.ylabel(u'Příkon [kW]')
    plt.xlabel(u'Čas [h]')
    plt.xlim(1, 24)
    dim = np.arange(1,25,1)
    plt.xticks(np.arange(1, 25, 1.0))
    plt.plot(dim,array.T)
    plt.legend(range(1,len(array)+1), loc = 'upper center', bbox_to_anchor =
        (0.5,-0.2), shadow = True, ncol = 4)
    plt.show()

def test_canopies(data):
    """Performs sensitivity analysis of the T2 threshold with respect to number
    of canopies in the Canopy algorithm.

    This algorithm is used for test purposes. It performs sensitivity analysis
    of T2 threshold (300,700) with respect to number of canopies in the Canopy
    algorithm. T1 threshold is set as 2*T2 as it is analysis irrelevant.

    Keyword arguments:
    data -- Dataset for clustering
    """

    for i in range(400,701,50):
        canopy_out = cluster_canopy(data, 2*i,i)
        print(u'Pro T2={}: {} canopy'.format(i,len(canopy_out[0])))

def main():
    """Determines DR potential of a customer based on an hourly consumption
    data.

    Firstly a datafile is loaded from a pre-processed Excel file. Further
    the Canopy clustering is performed. The result of a sensitivity analysis
    may be used for estimating the T1 and T2 threshold values. The calculation
    can be repeated in order to improve the determination of the thresholds.
    The results are used for K-Means clustering. Potential of a customer to
    participate in DR program is evaluated based on centroids of the
    electricity consumption patterns.
    """

    repeate = 'y'

    #Loading a data file
    input_user = raw_input(u'Zvolte zdroj (soubor Excel):')
    data_file = load_file(input_user)
    test_canopies(data_file)

```

```
#Canopy clustering
while (repeate == 'y'):
    t1 = input(u'Zvolte velikost parametru T1 pro Canopy algoritmus:')
    t2 = input(u'Zvolte velikost parametru T2 pro Canopy algoritmus:')

    canopy_out = cluster_canopy(data_file, t1,t2)
    canopies = canopy_out[0]
    centroids_canop = canopy_out[1]

    print u'Výsledné canopy: (centroid: objekty)'
    print(canopies)
    print_graph(centroids_canop)

    repeate = raw_input(u'Opakovat Canopy algoritmus (y/n):')

#K-Means clustering
kmeans_out = cluster_kmeans(data_file, centroids_canop,centroids_canop.
                             shape[0])
centroids_kmeans = kmeans_out[0]
clusters_kmeans = kmeans_out[1]
print_graph(centroids_kmeans)

#Evaluation of electricity consumption patterns
coefficients = characterize(centroids_kmeans)
size_clusters = Counter(clusters_kmeans) # Calculate size of clusters
values = evaluation(coefficients, centroids_kmeans)

# Printing of results
for i in size_clusters:
    print u'Shluk {}: Počet objektů: {}; {}'.format(i+1, size_clusters[i],
            values [i])

if __name__ == '__main__':
    main()
```



## Příloha D

### Literatura

- [Alb07] ALBADI, M. H. a E. F. EL-SAADANY. Demand Response in Electricity Markets: An Overview. Power Engineering Society General Meeting [online]. 2007 [cit. 2017-11-22]. DOI: 10.1109/PES.2007.385728. ISBN 10.1109/PES.2007.385728. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4275494/>
- [Ard14] ARDAKANI, Omid a Negar KOOCHAKZADEH. Computing Electricity Consumption Profiles from Household Smart Meter Data. In: EDBT/ICDT 2014 Joint Conference [online]. Atény, 2014, s. 1-8 [cit. 2018-04-29]. ISSN 1613-0073. Dostupné z: <https://webdocs.cs.ualberta.ca/~oardakan/files/profiles.pdf>
- [Beh16] BEHL, Madhur, Francesco SMARRA a Rahul MANGHARAM. DR-Advisor: A data-driven demand response recommender system. Applied Energy [online]. 2016, (170) [cit. 2017-11-24]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.02.090. ISBN 10.1016/j.apenergy.2016.02.090. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030626191630246X>
- [Ber16] BERTOLDI, Paolo, Paolo ZANCANELLA a Benigna BOZA-KISS. Demand Response Status in EU Member States [online]. Joint Research Centre [cit. 2017-12-09]. DOI: 10.2790/962868. Dostupné z: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101191/1dna27998enn.pdf>
- [BR16] Verordnung zu abschaltbaren Lasten - AbLaV: 752-6-19. In: . Bundesregierung, 2016. Dostupné také z: [https://www.gesetze-im-internet.de/ablav\\_2016/AbLaV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/ablav_2016/AbLaV.pdf)
- [CEZ17] Hromadné dálkové ovládání (HDO). ČEZ Distribuce [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo.html>
- [CHM18] ČHMÚ. Denní data ze stanice Praha Klementinum. Portál ČHMÚ [online]. 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum#>

- [CR09] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: . 2009, ročník 2009, číslo 314. Dostupné také z: [https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiWOrjZnq7aAhXMkywKHbUGCuQFjACegQIABBH&url=http%3A%2F%2Fwww.mvcvcr.cz%2Fsoubor%2Fsb095-09-pdf.aspx&usg=AOvVaw1EIOH-bb\\_g0qi9DM6UMaMC](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiWOrjZnq7aAhXMkywKHbUGCuQFjACegQIABBH&url=http%3A%2F%2Fwww.mvcvcr.cz%2Fsoubor%2Fsb095-09-pdf.aspx&usg=AOvVaw1EIOH-bb_g0qi9DM6UMaMC)
- [EEA17] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Trends and projections in Europe 2017: Tracking progress towards Europe's climate and energy targets [online]. 2017 [cit. 2018-04-29]. ISBN 978-92-9213-923-0. Dostupné z: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cb5a2fe0-e6d4-11e7-9749-01aa75ed71a1/language-en>
- [ERU16] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2016 ze dne 25. listopadu 2016, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice odběratelům ze sítě nízkého napětí. In: Energetický regulační věstník Energetického regulačního úřadu. Jihlava, 2016, ročník 11, 11/2016. Dostupné také z: [https://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV\\_11\\_2016/7d55bec4-1526-4aec-858e-f01b2efe838e](https://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV_11_2016/7d55bec4-1526-4aec-858e-f01b2efe838e)
- [ERU17] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 6/2017 ze dne 21. listopadu 2017, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice a další regulované ceny. In: Energetický regulační věstník Energetického regulačního úřadu. Jihlava, 2017, ročník 17, 8/2017. Dostupné také z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV\\_8\\_2017.pdf/96b4e385-52f3-48ac-a446-fc588182b5cb](http://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV_8_2017.pdf/96b4e385-52f3-48ac-a446-fc588182b5cb)
- [EU06] EVROPSKÁ UNIE. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2006/32/ES ze dne 5. dubna 2006 o energetické účinnosti u konečného uživatele a o energetických službách a o zrušení směrnice Rady 93/76/EHS. In: . Úřední věstník Evropské unie, 2006, 114/64. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/33202/37036/414733/priloha001.pdf>
- [EU08] Smlouva o fungování Evropské unie. In: . Praha: Parlamentní institut, 2008. [cit. 2017-11-11]. Dostupné také z: <http://www.psp.cz/doc/00/02/05/00020555.pdf>
- [Fla16] FLÁŠAR, Petr. Úvod do liberalizované energetiky: Trh s elektřinou [online]. 2. vydání. Praha: Asociace energetických manažérů, 2016 [cit. 2017-10-22]. ISBN 978-80-260-9212-4. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/kniha-trh-s-elektrinou.pdf>



- [Goy14] GOYAL, M. a S. KUMAR. Improving the Initial Centroids of k-means Clustering Algorithm to Generalize its Applicability. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. 2014, 95(4), 345-350. DOI: 10.1007/s40031-014-0106-z. ISBN 10.1007/s40031-014-0106-z. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s40031-014-0106-z>
- [Che10] CHEMIŠINEC, Igor, Miroslav MARVAN, Jakub NEČESANÝ, Tomáš SÝKORA a Jiří TŮMA. *Obchod s elektřinou* [online]. Praha: Conte, 2010 [cit. 2017-10-22]. ISBN 978-80-254-6695-7. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1423/jaro2013/MEB415/um/Obchod\\_s\\_elektrinou\\_\\_Chemisinec\\_\\_Igor\\_\\_2010\\_.pdf](https://is.muni.cz/el/1423/jaro2013/MEB415/um/Obchod_s_elektrinou__Chemisinec__Igor__2010_.pdf)
- [Jos08] JOSKOW, Paul L. Lessons Learned from Electricity Market Liberalization. *The Energy Journal* [online]. 2008, 29(01), - [cit. 2017-10-22]. DOI: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-NoSI2-3. ISSN 01956574. Dostupné z: <http://www.iaee.org/en/publications/ejarticle.aspx?id=2287>
- [Kov11] KOVÁČOVSKÁ, Lenka. Liberalizace vnitřního trhu s elektřinou a zemním plynem jako prostředek zajišťování energetické bezpečnosti EU. *Současná Evropa* [online]. 2011, 2011(01) [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <http://ces.vse.cz/wp-content/kovacovska.pdf>
- [Los15] LOSI, Arturo, Pierluigi MANCARELLA a Antonio VICINO. *Integration of Demand Response into the Electricity Chain: Challenges, Opportunities, and Smart Grid Solutions* [online]. Londýn: ISTE Ltd a John Wiley, 2015 [cit. 2017-11-22]. ISBN 978-1-84821-854-3. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119245636>
- [Lun15] LUND, Peter D., Juuso LINDGREN, Jani MIKKOLA a Jyri SALPAKARI. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, 45, 785-807 [cit. 2018-04-27]. DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.057. ISBN 10.1016/j.rser.2015.01.057. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115000672>
- [Luo17] LUO, Xuan, Tianzhen HONG, Yixing CHEN a Mary Ann PIETTE. Electric load shape benchmarking for small- and medium-sized commercial buildings. *Applied Energy*. 2017, (204), 715-725. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.07.108. ISBN 10.1016/j.apenergy.2017.07.108. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261917309819>
- [McC00] MCCALLUM, Andrew, Kamal NIGAM a Lyle H. UNGAR. Efficient clustering of high-dimensional data sets with application to reference matching. *Proceedings of the sixth ACM SIGKDD international*



<http://www.smartem.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf>

- [Tse08] TSEKOURAS, George, Anastasios SALIS, Maria TSAROUCHA a Irene KARANASIOU. Load Time-Series Classification Based on Pattern Recognition Methods. InTech, 2008, 2008-11-01. DOI: 10.5772/6250. ISBN 10.5772/6250. Dostupné také z: [http://www.intechopen.com/books/pattern\\_recognition\\_techniques\\_technology\\_and\\_applications/load\\_time-series\\_classification\\_based\\_on\\_pattern\\_recognition\\_methods](http://www.intechopen.com/books/pattern_recognition_techniques_technology_and_applications/load_time-series_classification_based_on_pattern_recognition_methods)
- [Zha14] ZHANG, Xin, Donghua LI, Ming CHENG a Pei ZHANG. Electricity consumption pattern recognition based on the big data technology to support the peak shifting potential analysis. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC): 2014 IEEE PES Asia-Pacific. 2014, 2014. DOI: 10.1109/APPEEC.2014.7066049. ISBN 10.1109/APPEEC.2014.7066049. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7066049/>