

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Analýza dat ze smart meterů a jejich využití distribuční společností

Lukáš Loukota

Vedoucí: Ing. Zbyněk Brettschneider, Ph.D.
Obor: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní program: Ekonomika a řízení energetiky
Leden 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Loukota** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **434862**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza dat ze smart meterů a jejich využití distribuční společností

Název diplomové práce anglicky:

Smart meter data analysis and its use by a distribution system operator

Pokyny pro vypracování:

1. Analýza a hodnocení současného stavu a budoucích plánů v oblasti smart technologií v ČR.
2. Popis technologií smart meterů.
3. Porovnání a zhodnocení skutečně naměřených hodnot a metodiky TDD
4. Možnosti využití analýz pro úpravy tarifní soustavy.

Seznam doporučené literatury:

1. Shawkat Ali, A. B. M. Smart grids: opportunities, developments, and trends. London: Springer, 2013. ISBN 9781447152095;
2. Národní akční plán pro chytré sítě, MPO, online:
<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52353/60358/633373/priloha003.pdf>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Zbyněk Brettschneider, Ph.D., PRE

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

Datum zadání diplomové práce: **16.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2021**

Ing. Zbyněk Brettschneider, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
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

Děkuji Ing. Zbyňku Brettschneiderovi, Ph.D., za cenné rady a pomoc při vedení diplomové práce. Mé poděkování patří též doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. za odborné konzultace.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 3. ledna 2020

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je analýza naměřených dat ze smart meterů a jejich využití distribuční společností. Nejdříve je rozebrána problematika smart grids a plány jejich implementace v rámci České republiky. Dále jsou popsány chytré elektroměry společně s legislativou k měření elektřiny v ČR a typovými diagramy dodávky. Poté jsou provedeny analýzy nad daty z pilotního projektu PREdistribuce a.s., a sice porovnání skutečných průběhů s typovými diagramy dodávky a shluková analýza. Nakonec je představeno několik možných využití naměřených dat k úpravě tarifní soustavy.

Klíčová slova: smart meter, smart grid, distribuční společnost, shluková analýza, typové diagramy dodávky

Vedoucí: Ing. Zbyněk Brettschneider, Ph.D.
PREdistribuce, a.s.,
Svornosti 3199/19a
Praha 5

Abstract

The aim of this master thesis is data analysis of smart meter electricity consumption data and its use by the distribution system operator. At first, smart grids and the plans for their implementation in the Czech Republic will be analysed. Afterwards, smart meters, the legislation on electricity metering in the Czech Republic and load profiles will be described. Then analyses of the data from the pilot project of PREdistribuce a.s. will be carried out. Thereby the real load profiles will be compared with the modelled load profiles and the k-means cluster analysis will be performed. Finally, several possible use cases of the measured data to adjust the tariff system will be presented.

Keywords: smart meter, smart grid, distribution company, cluster analysis, load profiles

Title translation: Smart meter data analysis and its use by a distribution company

Obsah

1 Úvod	1	3.2 Vysvětlení pojmů AMR, AMM a AMI	16
2 Analýza současného stavu a plánu v oblasti smart technologií v energetice v ČR	3	3.3 Využití technologie v pilotním projektu u PREdistribuce, a.s.	18
2.1 Inteligentní sítě	3	3.4 Měření elektřiny v ČR	19
2.1.1 Rozdíly mezi tradiční a inteligentní sítí	5	3.4.1 Měření typu A	19
2.1.2 Dopady implementace Smart Grids na účastníky trhu s elektřinou	6	3.4.2 Měření typu B	19
2.2 Státní energetická koncepce	8	3.4.3 Měření typu M	20
2.3 Národní akční plán Smart Grids	9	3.4.4 Měření typu C	20
2.3.1 Zpráva o vyhodnocení NAP SG	11	3.4.5 Typové diagramy dodávky	20
2.3.2 Ekonomické posouzení zavedení inteligentních měřících systémů - analýza MPO	11	4 Analýza dat	23
2.4 Pilotní projekt u PREdistribuce, a.s.	13	4.1 Použitý software	23
3 Smart Metering	15	4.2 Popis dat	24
3.1 Smart metery	15	4.3 Porovnání naměřených průběhů a TDD	27
		4.3.1 Porovnání s TDD 4 . . .	28
		4.3.2 Porovnání s TDD 5 . . .	30
		4.4 Shluková analýza	31
		4.4.1 K-means	31

5	Možnosti využití analýz pro úpravy tarifní soustavy	39
5.1	Případová studie.....	39
6	Závěr	43
A	Vysvětlivky zkratk	45
B	Literatura	47
C	Schematické znázornění zapojení sítě pilotního projektu PREdi a.s.	51
D	Použité algoritmy	53
E	Výsledky shlukové analýzy	55

Obrázky

2.1 Srovnání tradiční a inteligentní distribuční sítě [1]	4	4.7 Průběhy odběratelů jejichž korelace s TDD $4 \leq -0,3$ v zóně Kunratice	29
3.1 Výnosnost investic do AMR, AMI a Smart Grid systémů [2]	17	4.8 Porovnání průběhů odběrů s TDD 4 za daná území	29
3.2 Smart meter ADDAX model NP71E.1-x-x společnosti ADDGRUP [3]	18	4.9 Porovnání průběhů odběrů s TDD 5 za daná území	30
3.3 Příklad průběhů vybraných skupin TDD za rok 2017 [4] .	21	4.10 Příklad ideálního porovnání dvou sekvencí tak, aby vzdálenost mezi nimi byla co nejmenší [5]	33
4.1 Výtažek z datového souboru dostupných dat (upraveno pro lepší přehlednost)	24	4.11 Výběr vhodného parametru k	34
4.2 Graf rozložení sazeb odběratelů	25	4.12 Cluster 6 z výsledku kmeans s použitím euklidovské metriky	35
4.3 Graf rozložení TDD tříd odběratelů	25	4.13 Cluster 11 z výsledku kmeans s použitím euklidovské metriky	35
4.4 Průběh dvou odběratelů v zóně Kunratice	26	4.14 Rozdělení skupin TDD v jednotlivých clusterech	36
4.5 Průběh dvou odběratelů (hodinový vzorek) v zóně Kunratice	26	5.1 Příklady sestavy nabíjecích křivek [6]	40
4.6 Průběhy odběratelů jejichž korelace s TDD $4 \geq 0,5$ v zóně Kunratice	28	5.2 Znázornění přesunu spotřeby odběratelů do času $t + 9$	41
		5.3 Diagram procesu rozhodování s použitím shlukové analýzy	42

C.1 Schéma území Barrandov. Citlivé údaje byly odstraněny autorem	51
C.2 Schéma území Kunratice. Citlivé údaje byly odstraněny autorem	52
C.3 Schéma území Smíchov. Citlivé údaje byly odstraněny autorem	52
E.1 Všechny shluky pro zimní měsíce; euklidovská metrika .	55
E.2 Všechny shluky pro zimní měsíce; DTW metrika	56
E.3 Všechny shluky pro letní měsíce; euklidovská metrika .	57
E.4 Všechny shluky pro letní měsíce; DTW metrika	58

Tabulky

2.1 Rozdíly mezi tradiční a inteligentní sítí [2, 7]	5
---	---

3.1 Rozdělení tříd TDD dle charakteru odběru a typu zákazníka. [8]	22
--	----

Kapitola 1

Úvod

Dnešní doba je charakterizována překotným vývojem a změnami v téměř všech odvětvích. Jelikož dochází ke značným inovacím v oblastech, ze kterých energetický průmysl může těžit, je třeba analyzovat přínosy, jež nové technologie mohou poskytnout, a porovnat je se současným stavem. Vzhledem k rostoucím požadavkům na dekarbonizaci a rostoucímu výkonu decentralizovaných zdrojů elektřiny existuje tlak na zavádění moderních technologií. Jednou z nich jsou chytré sítě, o nichž se mluví v rámci plánu EU a národního akčního plánu Smart Grids. V souvislosti s tím se testují technologie chytrého měření, díky nimž bude možné chytré sítě implementovat. Distribuční společnosti spouští pilotní projekty, které mají za cíl testovat technologie chytrých elektroměrů, aby bylo možné specifikovat požadované funkcionality. S tím souvisí i sběr dat spotřeby u zákazníků, u nichž dříve byla spotřeba odečtena pouze jednou za rok. S nástupem chytrého měření by mohly být nahrazeny současné postupy při měření a vyhodnocování spotřeby, jako jsou dnes například typové diagramy dodávky odhadující průběh zatížení u zákazníka na hladině NN.

Cílem mé diplomové práce je analyzovat data z pilotního projektu PRE-distribuce a.s. a představit možnosti, jak by se takováto data dala využít jak pro provozovatele distribuční soustavy, tak pro úpravy tarifní soustavy. Tato diplomová práce se dá rozdělit do několika částí - první, rešeršní, která se zabývá rozborem koncepčních dokumentů, porovnáním konceptu chytrých sítí se současnou sítí a chytrými elektroměry, druhou, která se zabývá analýzou dat z pilotního projektu a třetí, která rozebírá možnosti využití dat ze smart meterů.

Kapitola 2

Analýza současného stavu a plánu v oblasti smart technologií v energetice v ČR

Inteligentní sítě jsou velice aktuálním tématem. Vytvářejí se plány v rámci jak EU, tak i jednotlivých členských států. V České republice se touto problematikou zabývá Státní energetická koncepce a Národní akční plán Smart Grids. [9, 10]

V této kapitole popisují inteligentní sítě, jejich definici a benefity z pohledu zákazníka, distributora a výrobce. Dále zde uvádím plány definované koncepčními dokumenty ČR na implementaci chytrých sítí. Uvádím zde analýzy provedené ministerstvem průmyslu a obchodu ohledně implementace chytrých sítí. Dále zde představím pilotní projekt PREdistribuce a.s., na který navazují v dalších částech práce.

2.1 Inteligentní sítě

Problematika inteligentních sítí (také chytrých sítí) je v současné době důležitým a velice diskutovaným tématem.

Jelikož je pojem *Smart Grids* poměrně nový, je možné nalézt mnoho definic. V [2] se vyskytuje definice inteligentních sítí několik, ale jsou shrnuty jako „transparentní, konzistentní a okamžitý obousměrný přenos informací o elektrické energii, umožňující odvětví elektřiny lépe řídit dodávky elektřiny a přenosu, a umožňující odběratelům mít větší kontrolu nad jejich energetickými rozhodnutími“. Z této definice jsou patrné vlastnosti chytrých sítí. Je třeba zajistit okamžitý přenos informací mezi měřicími zařízeními v různých bodech sítě a distributory. To vyžaduje využití moderních technologií, jak v měřicí technice, tak v informačních technologiích. Ke správnému chodu chytrých sítí je tedy potřeba využít a rozšířit stávající infrastrukturu, aby zvládla pojmout obrovské množství dat, která se budou vyměňovat mezi dílčími body sítě. Jednou z mnoha výzev implementací chytrých sítí je potřeba bezpečně přenést a uložit všechna data přenášená mezi zákazníkem a distributorem.

Pro představu, v současné době se u zákazníků na hladině nízkého napětí s měřeními C (neprůběhové měření, z drtivé většiny u domácností) odečítají data manuálně a to alespoň jednou ročně. Za předpokladu jednoho odečtu z

patří mezi hlavní výhody možnost úspory elektrické energie, a tím i výdajů za spotřebu, a to díky dostupnosti dat o jeho spotřebě. Na základě znalosti těchto dat bude moci odběratel identifikovat možnosti úspory jak energie, tak financí. Například uvidí, kdy je jeho spotřeba nejvyšší a dle toho upraví svoje chování. Další možností jsou dynamické tarify, kdy se cena za elektřinu bude dynamicky měnit v průběhu dne či jiného časového intervalu. Odběratel tedy bude mít možnost optimalizovat svou spotřebu na základě proměnlivých cen za elektřinu. Další výhodou pro odběratele je zvýšení spolehlivosti sítě a tím snížení doby výpadku dodávky elektrické energie. Díky informaci o stavu elektroměru bude moci dojít k rychlejší lokalizaci případného vzniku bezproudí v určité oblasti sítě a tím zvýšení spolehlivosti dodávky.

2.1.1 Rozdíly mezi tradiční a inteligentní sítí

Pro pochopení motivace a významu implementace inteligentních sítí je nutné uvést rozdíly mezi těmito druhy sítí. V tabulce 2.1 uvádím několik významných rozdílů, které dále podrobněji rozeberu.

Charakteristika	Tradiční síť	Inteligentní síť
Technologie	Elektromechanická/digitální	Digitální
Komunikace	Jednosměrná	Dvousměrná
Výroba	Centralizovaná	Distribuovaná
Senzory	Několik	Mnoho
Monitorování	Manuální	Sebemonitorovací
Opravy	Manuální	"Sebeuzdravovací"

Tabulka 2.1: Rozdíly mezi tradiční a inteligentní sítí [2, 7]

Jedním z hlavních rozdílů je tedy technologie použitá pro měření jednotlivých veličin. V klasické síti jsou převážně využita elektromechanická/digitální zařízení, která nejsou schopna mezi sebou komunikovat a sdílet informace ven. Jsou to ale technologie prověřené a spolehlivé, zatímco zařízení využívaná v inteligentních sítích jsou digitální. Ta naopak umožňují komunikaci mezi sebou a také mají možnost přijímat a přeposílat informace. S využitím této nové technologie přichází mnoho technologických výzev. Mezi ně patří například zaručení spolehlivosti přenosu a kybernetické bezpečnosti dat, zajištění bezproblémové komunikace mezi zařízeními. Problematice chytrých měření se věnuji podrobněji v kapitole 3.

Dalším rozdílem je schopnost inteligentní sítě začlenit větší instalovaný výkon decentralizovaných výrobních zdrojů elektrické energie. To je možné díky zmíněnému chytrému měření a možnosti mnohem podrobněji elektrizační soustavu monitorovat a řídit. Koncepční dokument Národní akční plán smart

době se využívá systému hromadného dálkového ovládání (HDO), kdy je možné ovládat některé spotřebiče dálkově a zapínat je na základě daných tarifních pásem. V České republice jsou přínosy chytrých sítí kvůli tomuto systému ovládání menší než v ostatních zemích. Nicméně obnova, výstavba a provoz vlastních vysílačů HDO není levnou záležitostí a výhodnost tohoto řešení oproti pozvolné implementaci AMM (Advanced Metering Management) nemusí být již dnes jednoznačně výhodnější, a to bez ohledu na vyšší potenciál využitelnosti (funkcionalit), které AMM může nabídnout. Tuto otázku musí řešit Cost-Benefit analýza. Ekonomickému rozboru chytrých měření (systému AMM) se věnuje analýza od MPO, která také zohledňuje vliv HDO. Tento dokument jsem rozebral v části 2.3.2.

Implementace chytrých sítí má také významný vliv na zvýšení potenciálu připojení dobíjecí infrastruktury elektromobilů namísto nutnosti plošného posilování sítě, které by bylo nejproblematičtější a nejdražším řešením.

Dopady implementace Smart Grids na distributora

Plošnou instalací smart meterů se naskytnou nové možnosti pro distribuční společnosti. Kromě automatických odečtů spotřeby, také nahrazení současného měření typu C, které využívá pro odhad průběhu spotřeby typové diagramy dodávky, měřením průběhovým. Okamžité monitorování spotřeby také umožní distributorovi reagovat na prudké změny v síti. Další výhodou je identifikace neoprávněných odběrů. Analýzou naměřených dat bude možné lepší plánování investic do rozšiřování infrastruktury v daných odběrných lokacích. Dále bude mít distributor možnost rychleji identifikovat nefunkční zařízení, jelikož bude mít okamžitě dostupná data z odběrných míst. V případě poruch bude distributor okamžitě vědět o postižených místech a bude mít možnost rychlé reakce.

Jelikož se instalace chytrých měřicích zařízení a aktualizace infrastruktury na hladině nízkého napětí týká hlavně distributora, dají se očekávat vysoké investice do rozšíření infrastruktury. Problematice plánování instalace chytrých zařízení a investic do infrastruktury se věnuje dokument Národní akční plán Smart Grids, který jsem analyzoval v části 2.3. Je tedy nutné, aby se distributor a další zainteresované strany zaměřili na propagaci výhod chytrých sítí a chytrého měření pro zákazníky. Jednou takovou výhodou je například využití monitoringu každého bodu sítě ke sledování bezproudí v určité oblasti sítě nebo poklesům napětí v jednotlivých bodech sítě. To se v praxi používá například ve Východoslovenské distribuční a.s. (VSD a.s.), kde proběhla instalace chytrých měřicích zařízení. Ty mimo jiné slouží k identifikaci míst poruch. V [11] je popsáno využití této výhody VSD a.s. a ukázán pokles indexu SAIDI (průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky elektrické energie) právě díky smart meterům.

Dopady implementace Smart Grids na výrobce

Mezi hlavní dopady implementace chytré sítě vidím hlavně možnost integrace většího výkonu decentralizovaných a intermitentních zdrojů energie. Poskytne možnost takového řízení zdrojů, aby síť zůstala stabilní s požadovanou kva-

mulace.” [9]. V dílčích cílech je to pak cíl Ak.7., který je zaměřen na rozvoj distribučních soustav. Dále se SEK v dokumentu odkazuje na vypracování Národního akčního plánu Smart Grids, který je uveden v části 2.3.

2.3 Národní akční plán Smart Grids

Tento dokument vznikl v roce 2014 v rámci úkolu vyplývajícího z návrhu aktualizace státní energetické koncepce ČR. Zpráva má úzkou souvislost s prioritami SEK, které se týkají koncepce rozvoje a modernizace síťové infrastruktury. Dokument nejdříve popisuje předpokládaný vývoj energetického sektoru v ČR v pětiletých intervalech až do roku 2040. Dále uvádí plán realizace inteligentních sítí v ČR. Nezbytnou součástí je také přizpůsobování legislativního prostředí pro možnost zavedení všech dílčích částí inteligentních sítí, tudíž se v tomto dokumentu definuje i tato problematika. V návaznosti na Národní akční plán pro inteligentní sítě byla také vytvořena Zpráva o průběžném hodnocení Národního akčního plánu smart grids (NAP SG) v prosinci roku 2017, které se detailněji věnuje v části 2.3.1. Rovněž byla vytvořena ekonomická analýza přínosů a nákladů při zavedení inteligentních měřicích systémů v ČR, které se věnuje v části 2.3.2.

Z požadavků SEK [10] vyplývají opatření, která se týkají následujících oblastí:

- obnova a rozvoj prostředků pro dálkové řízení spotřeby, distribuované výroby a akumulace energie na bázi principů inteligentní sítě a inteligentního měření
- rozvoj systémů a nástrojů řízení elektrizační soustavy účinně využívající nové technologie (inteligentní sítě), podpora rozvoje distribuovaných i centralizovaných systémů akumulace,
- implementace technologií pro efektivní řízení spolehlivosti a využití sítí.

Cílem NAP SG je tedy vytvoření koncepce rozvoje inteligentních systémů a prvků v energetice ČR a vytvoření časového plánu realizace navržených kroků a opatření ve vazbě na SEK. Dále uvádím jednotlivá období uvedená v NAP SG [10].

Období do konce roku 2019.

V rámci předpokládaného vývoje energetického sektoru se uvažuje, že instalovaný výkon decentralní výroby nebude představovat pro soustavu výrazný problém, pokud bude rozprostřen po ČR. Dále se očekává, že všechna odběrná a předávací místa (OPM) budou kromě lokálního provozovatele evidována

Období od roku 2030 do 2040.

Toto je poslední období, kterému se NAP SG věnuje. Opět se zde předpokládá zvyšování instalovaného výkonu intermitentních zdrojů. Dále se uvažuje zajištění dalších opatření, jako je například akumulace elektřiny. Další rozvoj inteligentních sítí je tedy v tomto období nezbytný. Očekává se zavedení nového tarifního systému, a sice dynamických tarifů. V tomto období je potřeba zajistit automatickou odezvu klasických výrobních zdrojů na výrobu z obnovitelných zdrojů energie. Rovněž se uvažuje plný provoz chytrých měření. V tomto období se tedy očekává plně funkční systém inteligentní sítě.

■ 2.3.1 Zpráva o vyhodnocení NAP SG

Tento dokument byl zpracován MPO v roce 2017 jako vyhodnocení naplňování stanoveného harmonogramu v NAP SG. Dle této zprávy je stav z roku 2017 hodnocen pozitivně. Část aktivit definovaná v NAP SG je již splněna a slouží jako vstupy pro probíhající studie, pilotní projekty nebo legislativní úpravy. Konkrétně se jedná například o definici technických parametrů AMM nebo harmonogramu úpravy dispečerského řízení 2020 – 2040 paralelně s nasazením AMM. Dále v průběhu prací na plnění harmonogramu NAP SG vyplynuly předtím neřešené problémy. Jedním z nich je centrální úložiště dat. Tím vznikl projekt *Data Hub*, jakožto reakce na potřebu uložení, zabezpečení a zpracování obrovského množství dat. V rámci studie by mělo také vyplynout, zda by se takovýto systém mohl rozšířit i pro jiné energetické obory (teplo, plyn atd.). Podle harmonogramu by se v prosinci 2019 mělo rozhodnout o realizaci systému *Data Hub*.

Další zpráva o vyhodnocení implementace NAP SG bude vytvořena k 31. prosinci 2019.

■ 2.3.2 Ekonomické posouzení zavedení inteligentních měřicích systémů - analýza MPO

Tato analýza [12] byla vytvořena MPO v roce 2016 a byly v ní porovnány dvě varianty zavedení inteligentních měřicích systémů. Varianta Základní, která uvažuje se zachováním současného stavu (využívání hromadného dálkového ovládání (HDO)), a varianta Plošná, která předpokládá 100 % osazení všech odběrných míst inteligentními měřicími zařízeními. Analýza také zohledňuje zkušenosti z jednotlivých pilotních projektů. Mezi ně patří například jednotlivé komunikační technologie (v analýze uvedena komunikace PLC nebo GPRS) a funkce pro řízení zátěže, dále zkušenosti od jednotlivých odběratelů,

vytvoření nových, detailnějších tarifů „na míru“ zákazníkům. V současné době se zákazníkům přiřazují typové diagramy dodávky (TDD). Ve své práci porovnávám příslušné TDD s reálnými daty spotřeby účastníků pilotního projektu PREdistribuce, a.s.

2.4 Pilotní projekt u PREdistribuce, a.s.

PREdistribuce, a.s. (dále PREdi), je jednou ze tří distribučních společností na území ČR. Zajišťuje distribuci elektřiny na území hlavního města Prahy a města Roztoky. Mezi hlavní cíle PREdi patří mimojiné efektivní obnova a rozvoj distribuční sítě. Tudíž implementace a testování chytrých sítí je i vzhledem ke koncepčním dokumentům logickým krokem.

PREdi tedy spustilo pilotní projekt koncem roku 2016, se zaměřením „na zřízení lokálního systému chytrého měření, jehož hlavními cíli je dlouhodobý sběr dat pro analýzu toků činného i jalového výkonu a bilanční výpočty na hladině NN v rámci oblastí, napájených do projektu vybranými DTS“ [13]. Projekt tedy vznikl v rámci přípravy na postupné nasazování AMM. Mezi další cíle tohoto projektu patří vypracování analýz dat, která budou díky smart meterům získána, a testování technologií chytrých měřicích zařízení.

K vypracování analýzy dat ve své práci jsem získal anonymní upravená data z tohoto pilotního projektu. V pilotním projektu bylo vybráno několik území, kde byla nainstalována chytrá měřicí zařízení. Vybrány byly části s odlišnou zástavbou. Jedná se o oblasti:

- Kunratice - okrajová část města s rodinnými domy,
- Smíchov - centrální oblast se souvislou zástavbou,
- Hlubočepy - sídliště.

Na území Kunratic se jedná o rodinné domy s různorodým složením tarifů. Nejčastější zastoupení na tomto území má tarifní sazba d25 a d45. To znamená, že domy na tomto území mají nejčastěji akumulární spotřebič, tepelné čerpadlo nebo přímotopný systém vytápění. Naopak je tomu ve zbylých lokalitách. Tam má největší zastoupení sazba d02, jelikož se jedná o byty, které jsou bez tepelného využití elektřiny. V příloze C je možné vidět schematické znázornění zapojení sítě. Všichni spotřebitelé v dané oblasti jsou napojeni na jeden vývod trafostanice. Detailnější popis dat a analýza je provedena v části 4.

Kapitola 3

Smart Metering

Nezbytnou součástí inteligentních sítí je chytré měření. Jak bylo uvedeno v kapitole 2, pro správnou funkci chytrých sítí je nutné, aby byla měřicí zařízení schopna nejenom zaznamenávat spotřebu, ale také komunikovat s dalšími zařízeními v síti a posílat data o spotřebě dál - například k distributorovi. V této kapitole tedy přiblížím technologie chytrého měření, srovnám je s klasickou technologií a nadefinuji výhody chytrého měření pro distributora a odběratele. V této kapitole také popíši druhy měření elektřiny v ČR a typové diagramy dodávky, jelikož tyto termíny budu používat v kapitole 4.

3.1 Smart metery

Jak jsem uvedl v kapitole 2, hlavním rozdílem chytrých a běžných měřicích zařízení je skutečnost, že chytrá měřicí zařízení umožňují dvousměrnou komunikaci mezi zákazníkem (respektive měřicím zařízením u zákazníka) a distributorem. To v praxi znamená, že naměřená data je možné odečítat jak lokálně, tak dálkově. Zároveň je možné data sdílet s provozovatelem distribuční soustavy v mnohem kratších intervalech.

Minimální požadavky na funkce chytrých měřicích zařízení vymezuje doporučení Evropské komise 2012/148/EU [14]. Tyto minimální funkce jsou:

1. Pro zákazníka
 - a. Poskytnout naměřené hodnoty přímo zákazníkovi a jakékoliv třetí straně určené zákazníkem.
 - b. Aktualizovat naměřené hodnoty tak často, aby informace mohly být použity k dosažení úspor energie.
2. Pro provozovatele měřicích systémů (distributora)
 - a. Umožnit provozovateli odečet na dálku.
 - b. Zajistit obousměrnou komunikaci mezi inteligentním měřicím systémem a vnějšími sítěmi pro údržbu a kontrolu měřicího systému.

- c. Umožnit odečet tak často, aby informace bylo možno použít k plánování sítí.

V tomto dokumentu se také zmiňují minimální požadavky na bezpečnost a ochranu údajů. Je zde kladen důraz na zajištění bezpečné datové komunikace mezi spotřebitelem a provozovatelem měřicího systému. Dále je potřeba, aby zařízení byla schopna odhalit podvody a zamezit podvodům (například napadení hackery atd.).

Dále v rámci karty A17 v NAP SG [10] byly vytvořeny technické specifikace měřidel. Mezi klíčové funkce nad rámec měření typu „C“ patří možnost měřidla přepínat mezi 4 tarify, 15 minutový profil energie nebo výkonu, zabezpečení přístupu a parametrizace, svorka pro záložní napájení [15].

Mezi další požadavky na chytrá měřidla jsou funkce breaker/limiter.

Breaker - je výkonové relé, které plní funkci dálkově nebo lokálně ovládaného odpoínače. Umožňuje dálkové odpojení i připojení. Nelze ale použít pro chránění odběreného místa, hlavní jistič tedy musí být zachován.

Limiter - je softwarově nastavitelná nadproudová ochrana. Hodnota limiteru je nastavitelná dálkově. Je možné vzdáleně měnit hodnoty proudu nebo výkonu a tedy i odepnout zákazníka.

Pomocí funkce breaker/limiter je tedy možné odpojovat neplatiče, opětovně připojit zákazníka, měnit tarif, předcházet stavům nouze a další.

3.2 Vysvětlení pojmů AMR, AMM a AMI

V textech o chytrém měření a chytrých sítích se objevují pojmy a zkratky jako AMR, AMM a AMI. V této části je vysvětlím.

Automated meter reading

Systém Automated meter reading (AMR; automatické odečítání měřicího zařízení), byl prvním krokem v modernizaci měřicí infrastruktury. Systémy založené na AMR umožňují provozovatelům měřicích zařízení odečítat hodnoty dálkově. To samozřejmě implikuje pouze jednosměrnou komunikaci, jelikož v těchto systémech je možné pouze odečítat hodnoty ze zařízení. Tudíž systémy AMR nejsou vhodné pro infrastrukturu inteligentních sítí. Systémy AMR díky možnosti dálkového odečtu umožňují automatickou fakturaci za odběr elektrické energie.

Automated meter management

Automated meter management (AMM; automatický management měřicího zařízení) umožňuje obousměrnou komunikaci. V podstatě se jedná o systém AMR s rozšířenou funkcionalitou, jako například připojení a odpojení odběrného místa, řízení tarifu a další [10]. V dokumentu NAP SG se pojem AMM objevuje ve smyslu integrace systému AMM pro splnění podmínek na vytvoření infrastruktury pro chytré sítě.

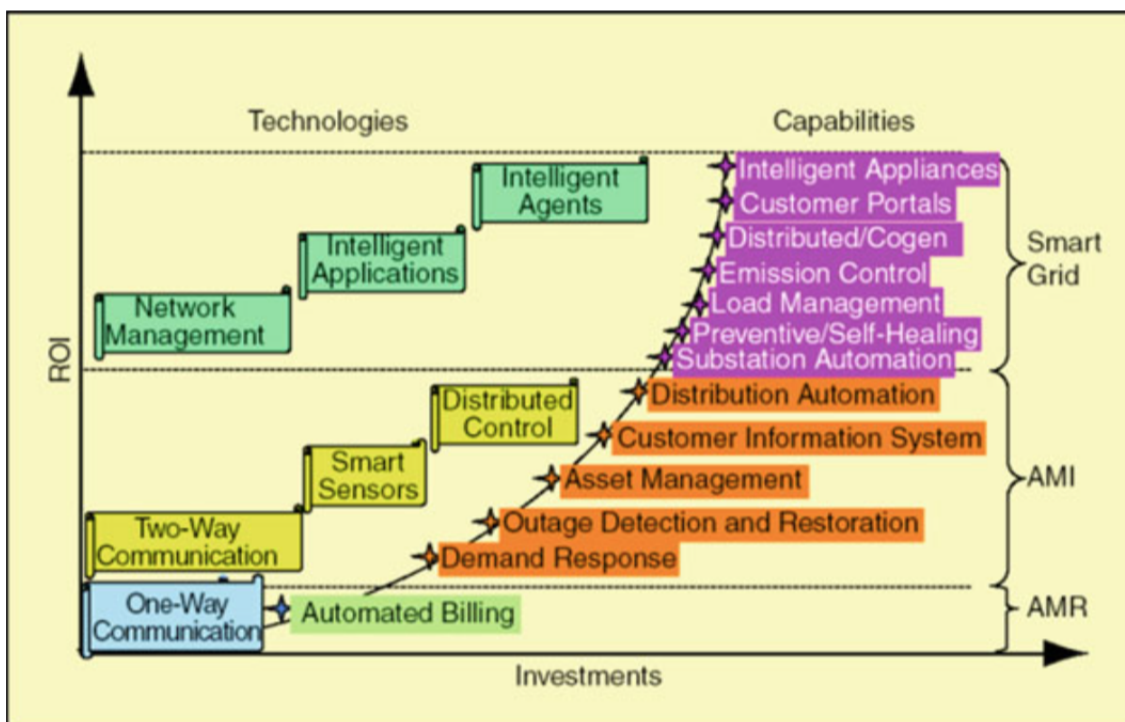
Automated meter infrastructure

Automated meter infrastructure (AMI; infrastruktura automatických měřicích zařízení) v [2] je tento pojem popsán velice podobně jako AMM. To znamená, že systémy AMI mají také obousměrnou komunikaci, kde je možné měnit parametry měřicího zařízení v odběrném místě (například pomocí Breakeru nebo Limiteru). Při výběru a implementaci AMI systémů je důležité, aby byly kompatibilní s budoucími technologiemi Smart Grids.

Myslím si, že se pojem AMI vyskytuje hlavně v zahraniční literatuře (například [2]), zatímco pojem AMM v české (například v [10, 12]). Obrázek 3.1 ukazuje výnosnost investic do jednotlivých druhů systémů. Výnosnost je znázorněna ukazatelem ROI, kde ROI:

$$ROI = \frac{\text{výnosy}}{\text{investice}} * 100 [\%] \quad (3.1)$$

Investice jsou tedy v peněžních jednotkách a ROI může být uvedeno v procentech nebo jako poměrné číslo. Z obrázku 3.1 je tedy možné vidět, že počáteční investice jsou poměrně vysoké s relativně nízkým ROI. Jelikož ale další komponenty chytrých sítí navazují na předchozí investice, tak se výnosnost dalších investic zvyšuje.



Obrázek 3.1: Výnosnost investic do AMR, AMI a Smart Grid systémů [2]

3.3 Využití technologie v pilotním projektu u PREdistribuce, a.s.

V rámci pilotního projektu PREdi byly využity chytré elektroměry společnosti ADDGRUP. Jedná se o jednofázový model NP71E.1-x-x (na obrázku 3.2) a třífázový model NP73E.2-x-x. Oba modely jsou konstruovány pro využití v AMI/AMR systémech.



Obrázek 3.2: Smart meter ADDAX model NP71E.1-x-x společnosti ADDGRUP [3]

Mezi některé funkce těchto elektroměrů patří [3]:

- Čtyřkvadrantové měření - měření činné a jalové složky elektrické energie,
- možnost měření v několika intervalech - 5minutový - hodinový,
- paměť pro uchování naměřených dat,
- registry až pro 6 různých tarifů,
- možnost dálkového, lokálního a ručního ovládání,
- indexy kvality měřených veličin (frekvence sítě, výpadky, průměrné napětí atd.),
- sdílení dat na požadavek či podle rozvrhu,
- ochranu proti podvodům, násilnému otevření a krádeži.

Do budoucna se předpokládá pokles ceny chytrých AMM. Hrubý odhad může být až pod úroveň současných elektroměrů s modulem HDO. Ale jelikož specifikace funkcí AMM elektroměrů ještě není úplná nelze to přesněji odhadnout.

■ 3.4 Měření elektřiny v ČR

Typy měření elektřiny u odběratelů v České republice se řídí vyhláškou č. 82/2011 Sb., o měření elektřiny a způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci. Vyhláška rozlišuje měření typu A, B, C a M.

■ 3.4.1 Měření typu A

Jedná se o průběhové měření s dálkovým přenosem dat. Tímto typem měření musí být vybavena všechna měřicí předávací místa mezi provozovateli distribuční soustavy s napětím vyšším než 52 kV, odběrná místa s napětím od 1 kV do 52 kV při rezervovaném příkonu 250 kW a vyšším a předávací místa výrobců s instalovaným výkonem vyšším jak 1 MW.

Základním měřicím intervalem je 15 minut, interval vyhodnocení je pak 1 hodina. Naměřená a zpracovaná data jsou následně odesílána vždy 1x denně. [16, 17]

■ 3.4.2 Měření typu B

Jako měření typu A je tento typ je průběhovým měřením. Liší se ovšem intervalem pro zpracování a přenos naměřených dat. U tohoto typu je to 1 měsíc. Tímto typem musí být vybavena všechna předávací místa výroben s napětím do 1 kV přímo připojená do distribuční soustavy, odběrná místa s napětím od 1 kV do 52 kV při rezervovaném příkonu do 250 kW a odběrná místa s napětím do 1 kV s nepřímým měřením.

Měřicí interval je opět 15 minut. Interval vyhodnocení je opět 1 hodina, ale data jsou odesílána a zpracována 1x měsíčně [17].

■ 3.4.3 Měření typu M

Tento typ měření je opět průběhový. Jde pro odběratele, kteří musejí mít průběhové měření, ale nespádají pod typ A nebo B. Jedná se například o malé střešní fotovoltaické elektrárny s instalovaným výkonem do 10 kW a napětím do 1 kV. [17]

■ 3.4.4 Měření typu C

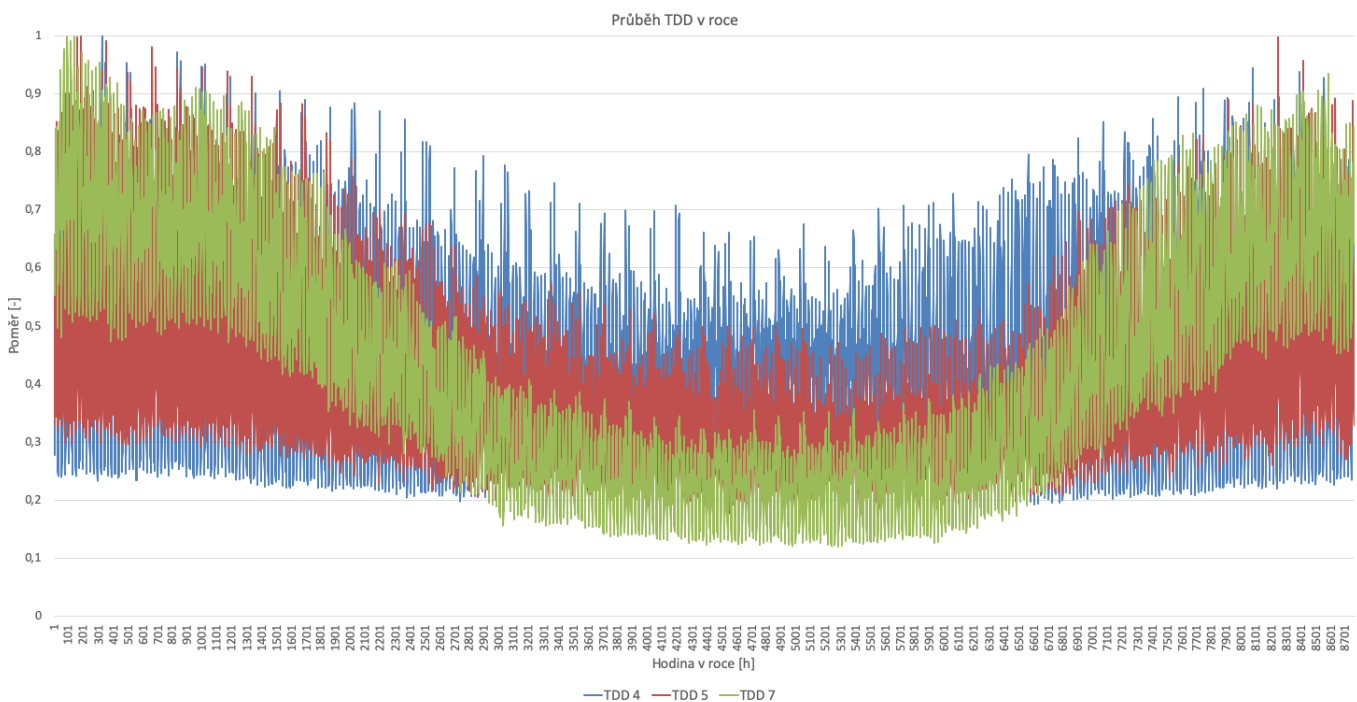
Tento typ je jediný, který má neprůběhové měření. Zároveň tento typ v současné době neumožňuje dálkový přenos dat. Tudíž zpracování údajů musí být prováděno pracovníkem provozovatele distribuční soustavy nebo pověřeným zástupcem. Odečet je prováděn minimálně 1x ročně (v praxi to bývá právě jednou ročně). [16, 17] Jelikož se typicky jedná o odběrová místa konečných zákazníků připojených k distribuční soustavě (na hladině nízkého napětí), je odběratelů s typem měření C nejvíce. Dle [18] se počet odběrných míst s tímto typem měření blíží 6 milionům. Jelikož tedy není možné u odběratelů s tímto typem sledovat odběr průběžně a bylo nutné spotřeby sledovat či odhadnout, byla zavedena metodika typových diagramů dodávky.

Se zavedením smart meterů by tedy bylo možné sledovat odběr elektřiny u těchto odběratelů mnohem přesněji, častěji a efektivněji. Zároveň by bylo možné naměřená data rovnou odesílat do systému provozovatele distribuční soustavy (PDS), který by pak mohl data předat OTE. Tím by odpadla nutnost dělat odečty elektřiny. Samozřejmě by ale bylo nutné zajistit bezproblémový přenos dat a vytvořit systém měření tak, aby se počítalo i s případnými výpadky měření. Vlastně by se jednalo o možnost nahrazení měření typu „C”.

■ 3.4.5 Typové diagramy dodávky

Typové diagramy dodávky (TDD) slouží k určení výše předpokládané spotřeby elektřiny u odběratelů s měřením typu C. Jedná se tedy o metodu nahrazení průběhového měření. TDD byly zavedeny v roce 2005 [16] a jsou rozděleny do tříd, které jsou se liší různým charakterem spotřeby. Jsou vytvářeny ze vzorku 128 odběratelů pro každou třídu. Charakter spotřeby jednotlivých tříd TDD a jejich rozdělení dle sazeb jsou definovány ve vyhlášce č. 408/2015 Sb., o Pravidlech na trhu s elektřinou. Jednotlivé rozdělení tříd TDD je možné vidět v tabulce 3.1. TDD jsou tvořeny v hodinovém intervalu, tudíž obsahují 8760 hodnot za sledovaný rok. Dále se naměřené hodnoty normují ročním maximem průměrných hodinových odběrů, které jsou určeny z měření vzorku

odběratelů (vždy pro daný charakter spotřeby) v distribuční síti. Hodnoty se dále upravují na klimatické podmínky - takovýto TDD se nazývá přepočtený TDD. Jednotlivé třídy TDD tedy určují tvar zatížení pro danou skupinu zákazníků. [16] V části 4 budu porovnávat toto rozdělení s reálnými průběhy. Na obrázku 3.3 je možné vidět průběhy vybraných skupin TDD. Z grafu je patrné, že jsou TDD navrženy pro různé charakteristiky spotřeby. Například u skupiny 7, které je dle 3.1 určeno pro odběry s tepelným čerpadlem, je znatelné velké snížení poměrné spotřeby v letních měsících, kdy tepelné čerpadlo není využíváno. Typové diagramy dodávky se také používají k vypořádání odchylek v obchodování s elektřinou. Jelikož v současné době není možné přesně zjistit odběr zákazníka s typem měření C, odhaduje se spotřeba právě pomocí TDD. Pomocí TDD také dochází k nahrazení diagramu spotřeby těchto zákazníků. Při plošném zavedení AMM by obchodníci měli možnost přesněji znát průběh spotřeby daných odběrných míst a mohli by efektivněji operovat na trhu s elektřinou.



Obrázek 3.3: Příklad průběhů vybraných skupin TDD za rok 2017 [4]

Při postupné implementaci systému AMM by bylo možné tyto třídy postupně upravovat a případně rozšiřovat. K dispozici by totiž byl větší vzorek odběratelů z jednotlivých skupin. Bylo by tak možné například rozšířit třídu 4 na více tříd, jelikož do ní patří nejvíce odběratelů s neprůběhovým měřením.

Třída	Typ zákazníka	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce podle cenového rozhodnutí ERÚ
1	C	- odběratel bez tepelného využití elektřiny	- C01d; C02d; C03d
2	C	- odběr s akumulacním spotřebičem - odběr s hybridním vytápěním	- C25d; C26d; C27d; C35d
3	C	- odběr s přímotopným systémem vytápění - odběr s tepelným čerpadlem	- C45d; C46d; C56d
4	D	- odběr bez tepelného využití elektřiny	- D01d; D02d; D61d
5	D	- odběr s akumulacním spotřebičem	- D25d; D26d; D27d
6	D	- odběr s hybridním vytápěním	- D35d
7	D	- odběr s přímotopným systémem vytápění - odběr s tepelným čerpadlem	- D45d; D55d; D56d; D57d
8	C	- odběr pro veřejné osvětlení	- C62d

Tabulka 3.1: Rozdělení tříd TDD dle charakteru odběru a typu zákazníka. [8]

Kapitola 4

Analýza dat

S rostoucím objemem dat se objevují nové možnosti, jak z nich vytěžit maximum informací z těchto dat. S rostoucím výpočetním výkonem je také možné mnohem rychleji a efektivněji takovéto analýzy provést. Analýza dat v dnešní době zasahuje téměř do všech odvětví, kde do energetiky může vstoupit právě pomocí chytrého měření. Samozřejmě je nutné, aby jednotlivé analýzy bylo možné integrovat do dalších systémů, které na nich mohou dále stavět. Věřím, že se v dalších letech budou objevovat aplikace, které budou pomáhat odběratelům nebo dalším subjektům lépe uchopit problematiku energetiky. Díky takovýmto aplikacím bude možné například sledovat reálný průběh spotřeby v domácnosti, identifikovat spotřebiče dle jejich průběhu odběru a další nadstavbové služby. PDS tím bude umožněno lépe sledovat vývoj spotřeby a zatížení jednotlivých území (s přesností až na jednotlivé domácnosti). Tím by pro PDS mohly plynout úspory při plánování rozšiřování soustavy. V této části práce budu analyzovat dostupná data. Uvedu zde postup, jak jsem jednotlivé analýzy provedl a jak by se takovéto analýzy daly využít. Nejprve porovnám reálné průběhy s průběhy typových diagramů dodávky a potom provedu shlukovou analýzu, jež bude provedena pro zimní a letní měsíce s použitím dvou různých metrik.

4.1 Použitý software

K vypracování analýz dat jsem používal programovací jazyk Python. Toto rozhodnutí jsem učinil z několika důvodů. Hlavním důvodem byl formát dat, který jsem dostal k dispozici. Jednalo se o 900 souborů ve formátu csv, které byly poměrně rozsáhlé (kolem 250 000 záznamů v jednom souboru). Microsoft Excel už by na provádění takovýchto analýz s největší pravděpodobností nestačil. Dalším důvodem byl velice rozsáhlý ekosystém balíčků pro analýzu dat. Pro jejich zpracování jsem používal hlavně interaktivní prostředí Jupyter Notebook (velice podobné prostředí jako má Wolfram Mathematica) a knihovny jako pandas nebo numpy. Dalším důvodem k využití tohoto softwaru byla otevřenost. Všechny moje analýzy mohu sdílet v několika formátech (pdf, html) nebo nahrát na web. Není tedy nutné tento software vlastnit (jako je tomu u Wolfram Mathematica). Nejdůležitější knihovny, které jsem použil,

je možné najít v citované literatuře - [19, 20, 21, 22, 23]. Všechny analýzy, které jsem v rámci diplomové práce provedl, jsou k dispozici v příloze práce.

4.2 Popis dat

Jak jsem již uvedl v části 2.4, analyzoval jsem anonymní data z chytrých měřicích zařízení ve třech pražských lokalitách v rámci pilotního projektu PREdi, a.s. Jednotlivé datové sady byly sbírány v letech 2016 - 2018. Ze smart meterů byly získávány tyto veličiny: čas záznamu, identifikační číslo měřáku, přírůstek spotřeby, odběr energie (ve 4 kvadrantech), okamžitá hodnota proudu ve 3 fázích, fázové napětí. Pro svoje analýzy jsem používal převážně přírůstek spotřeby. Jedná se o integrační měřicí zařízení, tudíž se hodnota aktuální spotřeby přičítá k předchozímu záznamu. Měřicí zařízení zaznamenávaly v 1minutovém nebo 5minutovém intervalu. Na obrázku 4.1 je možné vidět část datového souboru, se kterým jsem pracoval. Je nutné poznamenat, že datové soubory z některých lokalit v některých časových obdobích jsou vadné - hlavně z důvodu chybového přenosu dat z měřicích zařízení nebo jejich výpadku.

DeviceID	Timestamp	ActiveEnergyExport	ActiveEnergyImport	ReactiveEnergyQ1	ReactiveEnergyQ2	ReactiveEnergyQ3
TRAFOSTANICE 1	16.11.2016 8:02:00	525	463086	26421	132	225
TRAFOSTANICE 1	16.11.2016 8:03:00	525	463089	26421	132	225
TRAFOSTANICE 1	16.11.2016 8:04:00	525	463091	26421	132	225
TRAFOSTANICE 1	16.11.2016 8:05:00	525	463093	26421	132	225
TRAFOSTANICE 1	16.11.2016 8:06:00	525	463094	26421	132	225
TRAFOSTANICE 1	16.11.2016 8:07:00	525	463097	26421	132	225

Obrázek 4.1: Výtažek z datového souboru dostupných dat (upraveno pro lepší přehlednost)

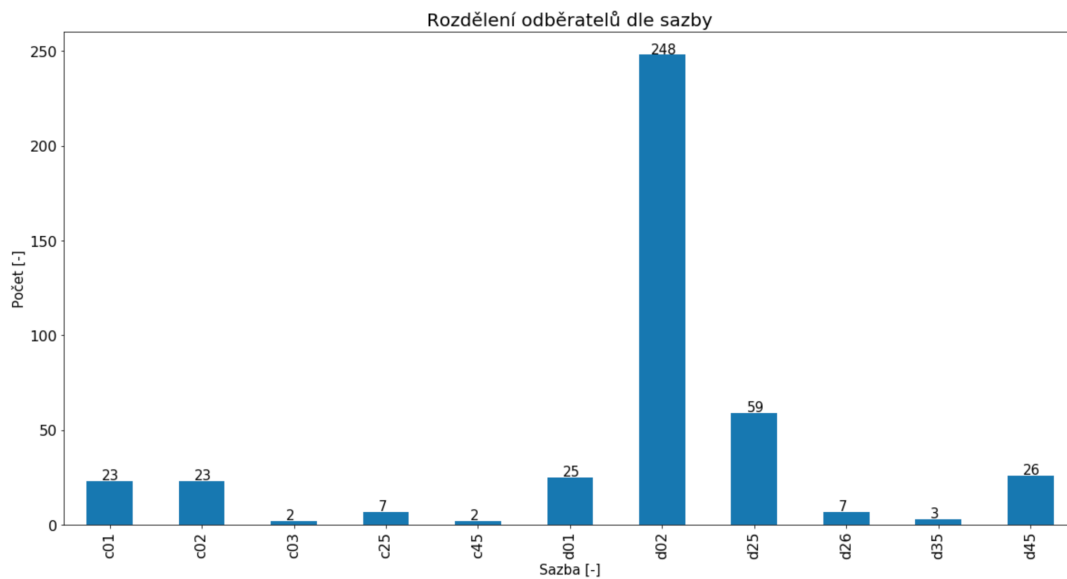
Data jsem musel nejdříve namapovat na vlastní hodnoty ID - což je možné vidět i na obrázku 4.1. Dále jsem k datovým záznamům přiřadil hodnoty sazby, velikosti jističů a počtu fází jednotlivých odběratelů. K další analýze jsem musel zjistit rozložení tarifů a jednotlivých tříd typických diagramů dodávky (TDD). Toto rozložení je možné vidět na obrázcích 4.2 a 4.3. Rozložení tříd TDD jsem určil podle jednotlivých sazeb odběratelů a tabulky 3.1. Je patrné, že největší zastoupení má sazba d02 a tím pádem i 4. třída TDD. Dále jsem musel z naměřených hodnot určit spotřebu (v daném měřicím intervalu), jelikož jsem měl pouze informaci o přírůstku hodnoty na měřicím zařízení.

Spotřebu jsem spočítal dle využití sloupce hodnot *ActiveEnergyImport* a vzorce:

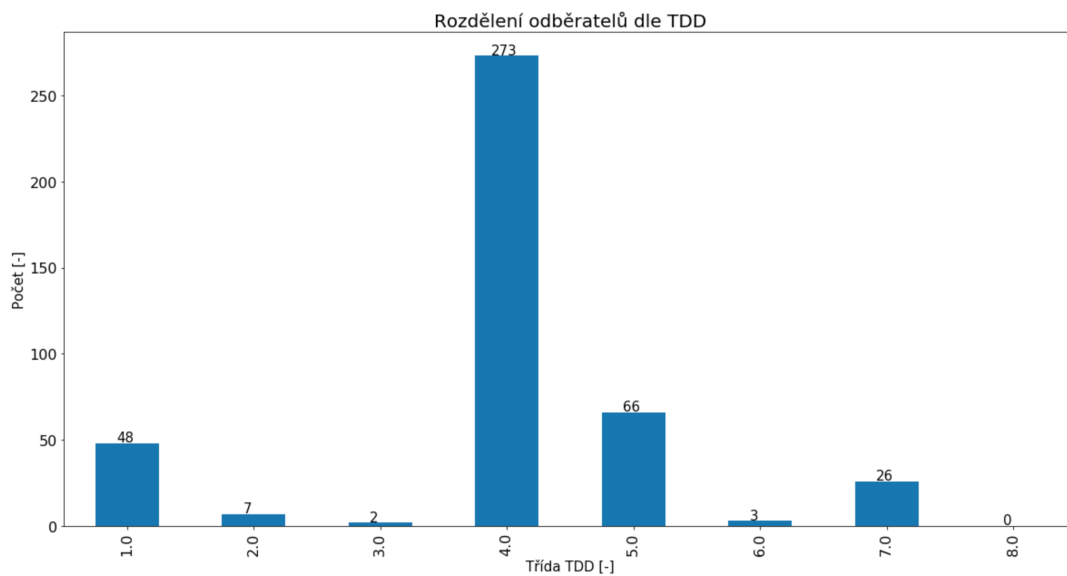
$$\text{spotřeba}_t = (AEI_{t+1} - AEI_t) [Wh], \quad (4.1)$$

kde AEI_t je hodnota (sloupce *ActiveEnergyImport*) okamžité energie naměřené v čase t .

Průběhy spotřeby jsem v jednotlivých analýzách převzorkovával z 1 nebo 5minutových intervalů na 15minutové nebo hodinové. Vždy jsem pro nový interval, na který jsem vzorkoval, vzal maximální hodnotu sloupce *ActiveEnergyImport*. Samozřejmě ale převzorkováním došlo k určité ztrátě informace.



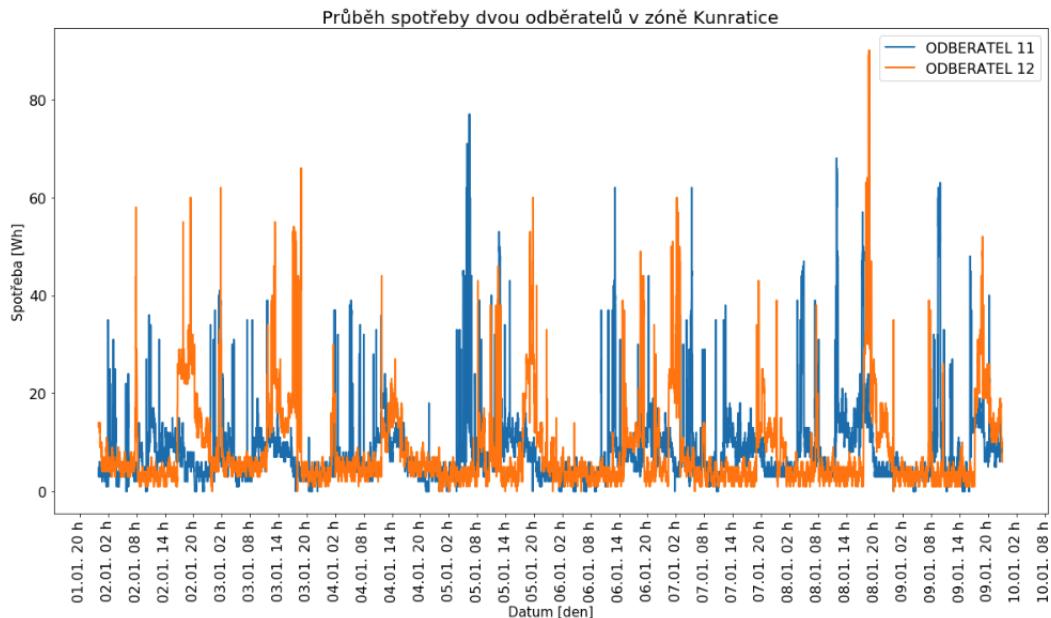
Obrázek 4.2: Graf rozložení sazeb odběratelů



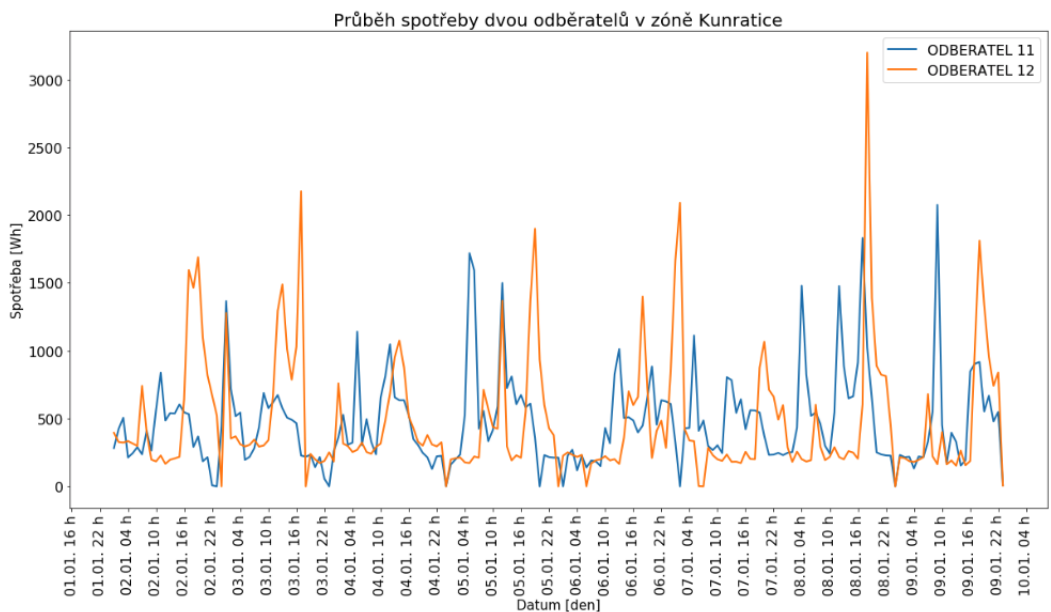
Obrázek 4.3: Graf rozložení TDD tříd odběratelů

4. Analýza dat

Na obrázku 4.4 jsem pro ilustraci vynesl do grafu průběhy Odběratelů 11 a 12 ze zóny Kunratice. Průběh je od 2.1. 2017 do 9.1. 2017. Z grafu je patrné množství dat, která byla k dispozici v pouhém jednom týdnu. Na obrázku 4.5 je poté vidět průběh převzorkovaný na hodinový interval.



Obrázek 4.4: Průběh dvou odběratelů v zóně Kunratice



Obrázek 4.5: Průběh dvou odběratelů (hodinový vzorek) v zóně Kunratice

4.3 Porovnání naměřených průběhů a TDD

Jak jsem zmínil výše v části 3.4, u odběratelům s neprůběhovým měřením není možné sledovat reálný průběh spotřeby. Spotřeba je tedy odhadnuta typovými diagramy dodávky, které jsem popsal v části 3.4.5. Pro porovnání průběhu s průběhem vybraného TDD jsem se rozhodl použít korelační koeficient, díky kterému je možné zanást do grafu průběhy s podobnými trendy. Tedy do následujících grafů jsem vynášel průběhy na základě hodnoty korelačního koeficientu. Korelaci průběhů spotřeby odběratelů s TDD jsem spočítal dle vzorce:

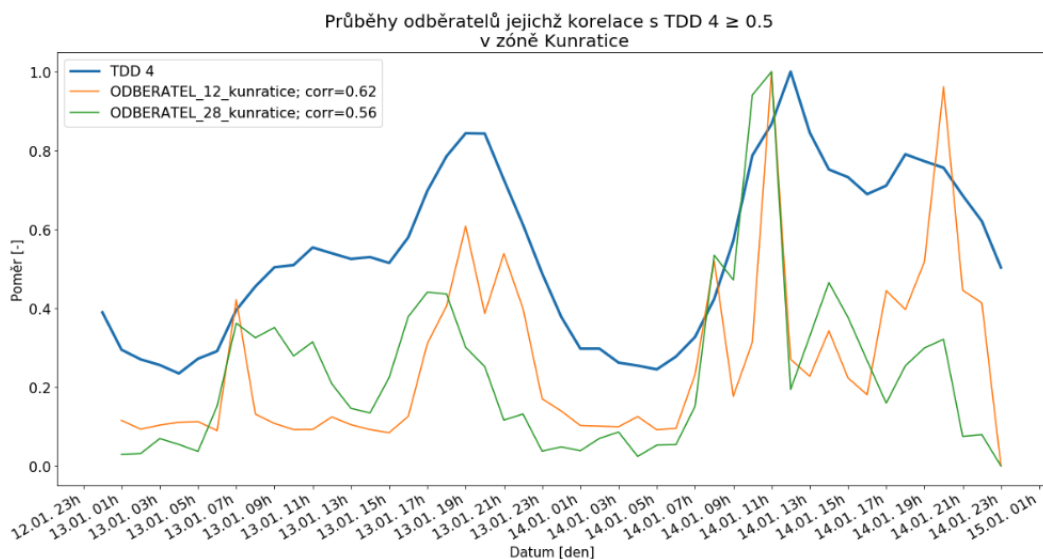
$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x}) * (y_t - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{t=1}^T x_t - \bar{x})^2 * \sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2}} [-], \quad (4.2)$$

kde r_{xy} je korelační koeficient [-],
 x je hodnota spotřeby odběratele v čase t [Wh],
 \bar{x} je průměrná hodnota spotřeby odběratele za daný interval [Wh],
 y je hodnota TDD v čase t [Wh],
 \bar{y} je průměrná hodnota TDD za daný interval [Wh],
 T uvažovaný časový interval [h], [15m].

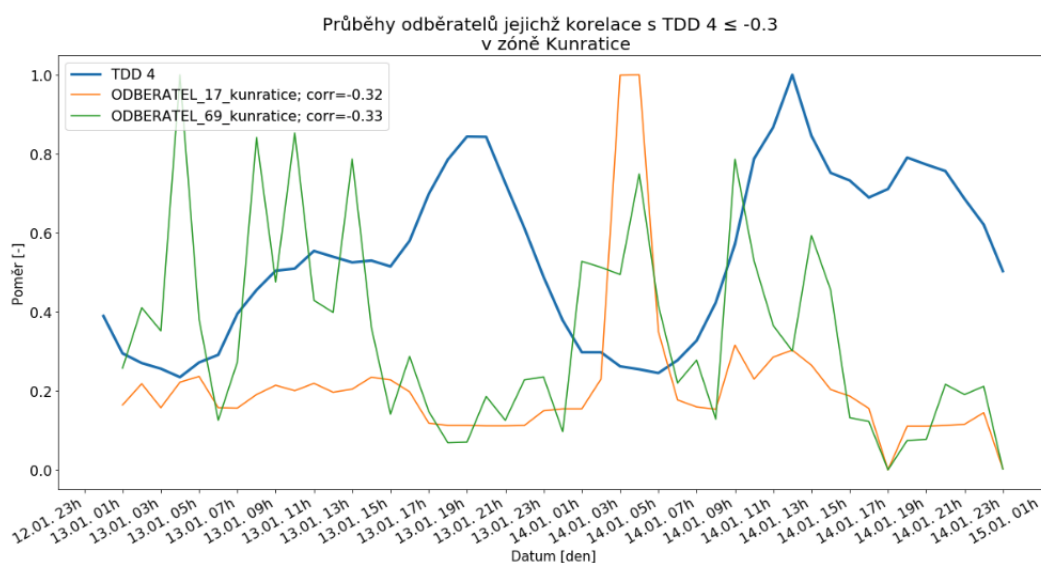
Nejprve jsem se v této analýze zaměřil na jednotlivé odběratele a poté na všechny odběratele za dané území. PDS by takovouto analýzu mohl využít ke zjištění, jestli bylo TDD zařazeno správně, k identifikaci závadných měřicích zařízení, ke sledování vývoje odběru v čase či zjišťování odběrových špiček v dané lokalitě. Přidat možnost využití PDS. Možnost sledování vývoje odběru v čase. Možnost zjištění odběrových špiček v dané lokalitě. Jelikož jsou normalizované hodnoty TDD vytvořeny pro celé hodiny, tak jsem nejprve převzorkoval naměřená data z minut (či 5 minut) na hodiny. Z daného intervalu jsem vzal maximum, což byl poslední naměřený záznam v dané hodině. Jelikož se naměřené hodnoty přičítají k předchozí hodnotě na měřicím zařízení, tak jsem po této úpravě měl k dispozici data spotřeby ve stejném intervalu, jako mají TDD. V následujících grafech jsem průběh TDD znázornil tučnou modrou barvou.

4.3.1 Porovnání s TDD 4

V dostupné datové sadě jsem měl k dispozici nejvíce sazeb d02, která v ideálním případě odpovídá TDD 4. Proto jsem se ve svojí analýze rozhodl porovnat reálné průběhy odběru s tímto TDD. K analýze jsem si vybral 2 dny - den maxima dle TDD 4 pro rok 2017, který nastal 14.1. a předchozí den, tedy 13.1. Maximum nastalo 14.1. ve 12 hodin. Jednalo se o pátek a sobotu, teplota se v obou dnech pohybovala kolem bodu mrazu [24]. Kvůli přehlednosti jsem do grafu vynesl průběhy pouze za jedno území, a sice Kunratice. Z grafu 4.6 je možné vidět, že pro den před dnem maxima a pro den maxima mají 2 odběratelé korelaci s průběhem TDD vyšší než 0,5. Zajímavé je, že oba odběratelé měli maximum spotřeby v 11 hodin 14.1., zatímco odhadované maximum dle TDD 4 bylo ve 12 hodin. Dalším zajímavým poznatkem je spotřeba předchozí den (tedy 13.1.). Tam jsou u obou odběratelů znatelné ranní špičky, ale ne v takové výši, která byla odhadnutá TDD 4. Dle mého názoru ale oba průběhy v tomto intervalu poměrně dobře, až na nějaké výjimky, kopírují průběh TDD. Řekl bych tedy, že charakter spotřeby těchto odběratelů odpovídá třídě TDD.

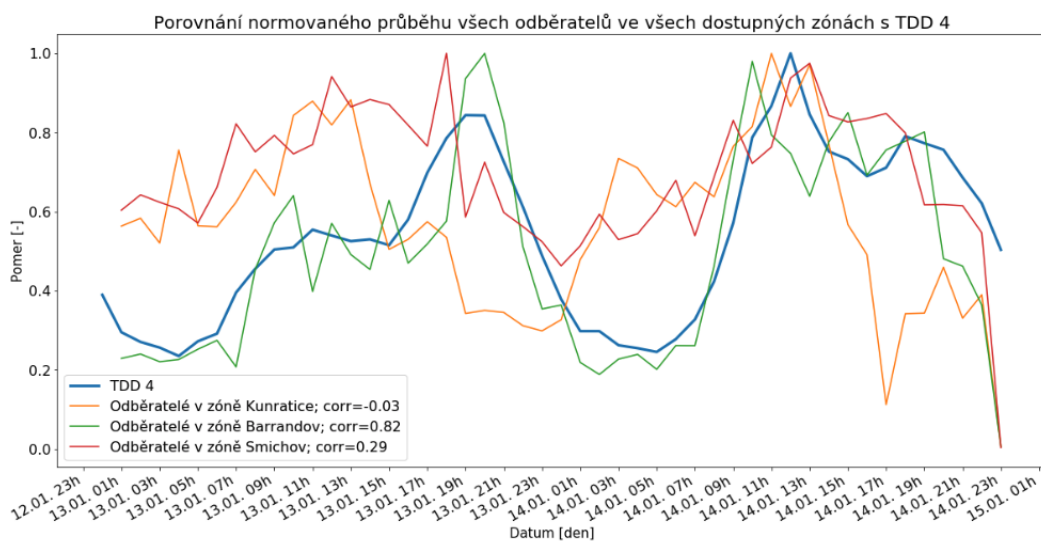


Obrázek 4.6: Průběhy odběratelů jejichž korelace s TDD 4 $\geq 0,5$ v zóně Kunratice



Obrázek 4.7: Průběhy odběratelů jejichž korelace s TDD 4 $\leq -0,3$ v zóně Kunratice

Dále jsem se podíval na průběhy, které už tolik neodpovídají odhadnutému průběhu TDD 4. Do grafu 4.7 jsem pro přehlednost opět vynesl průběhy pouze za území Kunratice. Zde je možné vidět naprosto odlišné chování odběratelů. V časech, kdy dle TDD má být minimum spotřeby, mají tyto dva odběratelé špičku. Z tohoto grafu lze vidět, že charakter spotřeby moc dobře neodpovídá TDD 4, i přes to, že by oba odběratelé dle tarify měli mít charakter podobný TDD. Může to být způsobeno chováním zákazníků - jsou patrné večerní špičky, tudíž se může jednat o „noční sovy“. Dalo by se dále polemizovat nad důvody, které způsobily, že spotřeba těchto dvou odběratelů je právě taková. Je ale patrné, že průběhy neodpovídají odhadu TDD.

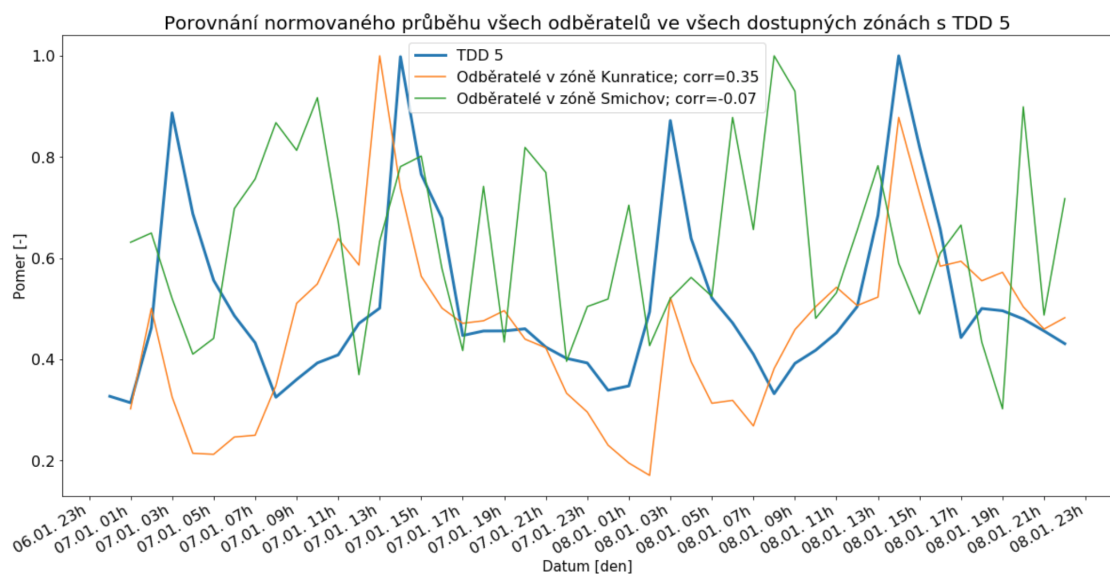


Obrázek 4.8: Porovnání průběhů odběrů s TDD 4 za daná území

V předchozích grafech jsem uvedl příklady, kde TDD odhadují spotřeby poměrně dobře a kde už tak dobře ne. Ale jelikož jsou typové diagramy dodávky tvořeny z průběhů určitého vzorku odběratelů, je nutné se podívat na více odběratelů než pouze některé. Tudíž jsem dále porovnal průběhy všech odběratelů za dané území s TDD. Pro každé území jsem nejdříve vysčítal spotřebu všech odběratelů za daný časový interval a ten jsem poté normalizoval maximem součtu spotřeb odběratelů v daném území. To jsem poté vynesl do grafu 4.8. Z grafu je možné vidět, že nejlépe odhadnutým průběhem je průběh všech odběratelů z území Barrandova. Z toho vyplývá, že charakter zákazníka s TDD4 nejlépe odpovídá sídlištnímu bytovému typu odběru, následně činžovnímu charakteru v centru města a nejméně v zástavbě RD.

4.3.2 Porovnání s TDD 5

Porovnání skutečných průběhů s typovými diagramy jsem také provedl s TDD 5, jelikož to v dostupných datech byla druhá nejpočetnější skupina odběratelů. Tomuto odběrovému diagramu odpovídají odběry, které uvažují akumulaci spotřebiče. V zimních měsících by se tedy dal očekávat vyšší odběr v nočních hodinách, kdy se akumuluje teplo na vytápění nebo na ohřev teplé vody. Na grafu 4.9 je možné vidět porovnání dne maxima dle TDD se skutečně naměřenými průběhy. Zde je vidět nejvyšší shoda zákazníka s TDD 5 v charakteru zástavby s RD.



Obrázek 4.9: Porovnání průběhů odběrů s TDD 5 za daná území

Myslím si, že se při postupném nasazování chytrých elektroměrů začne snižovat potřeba využití TDD. Jelikož budou známy průběhy odběratelů typu měření C. Dále je z provedené analýzy patrné, že nahrazení průběhu pomocí TDD ne úplně přesně odpovídá skutečně naměřeným hodnotám. TDD je skvěle vymyšlený systém, který, dle mého názoru, v budoucích letech začne pomalu ustupovat kvůli moderním technologiím jako smart metering.

4.4 Shluková analýza

Další analýzou, kterou jsem se s daty rozhodl provést, je shluková analýza, jež má za úkol rozřadit jednotlivé objekty do skupin tak, aby si objekty v jedné skupině byly více podobné než objekty v jiné skupině. Shluková analýza je jednou z metod strojového učení a patří do skupiny *učení bez učitele*, což znamená, že učící algoritmus předem nezná výsledky, z nichž by se mohl učit. Díky této analýze bude možné nalézt jednotlivé průběhy odběratelů, které jsou si podobné. To může identifikovat skupiny odběratelů, u kterých se předpokládá nějaké rozložení spotřeby (např. TDD 4), ale přitom by pro ně byla vhodná skupina jiná, nebo úplně nová. Cílem této analýzy je tedy nalezení podobných průběhů spotřeb odběratelů a zhodnotit, jestli je pro ně přiřazené TDD vhodné. Zároveň může takováto analýza pomoci blíže pochopit chování odběratelů na různých územích nebo při různých obdobích (pracovní den x víkend, léto x zima). Algoritmů, které se používají pro clustering je veliké množství, přičemž každý má svoje výhody a nevýhody. S pomocí [25], kde je uvedeno srovnání těchto algoritmů pro shlukování průběhů elektřiny, jsem provedl analýzu a vybral vhodnou metodu. Pro svoji práci jsem si vybral algoritmus *k-means* (*k*-průměrů), který je popsán v další části. Pro *k-means* jsem se rozhodl z několika důvodů - hlavním byla snadná interpretace výsledků, jednoduché použití a snesitelnost výpočtů na dostupném HW.

4.4.1 K-means

K-means je optimalizační algoritmus, který v datech hledá *k* bodů, které nejlépe reprezentují *k* skupin bodů. Pro každý bod se hledá nejbližší centroid (kterých je *k*). Tento bod poté reprezentuje skupinu bodů, které mu jsou nejbliž. K použití tohoto algoritmu je nejprve nutné předem znát hodnotu *k*, tedy počet shluků, pro které má algoritmus najít nejpodobnější body. Princip tohoto algoritmu se dá popsat takto:

1. Inicializace centroidů (na náhodných pozicích nebo na vhodně zvolených bodech,

2. Přiřazení bodů k nejbližšímu centroidu (= vytvoření skupiny podobných bodů),
3. Posunutí centroidu tak, aby byla průměrná vzdálenost bodů ve skupině od centroidu co nejmenší,
4. Opakování 2. dokud se pozice centroidů nepřestane měnit.

Algoritmus je poté možné vidět v příloze D. Cílem této optimalizační úlohy je nalézt minimum kvadrátu chyby (neboli minimalizace vnitřního rozptylu jednotlivých klusterů). Cenová funkce, pro kterou tento algoritmus hledá minimum, je vyjádřena následovně:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n m(x_i^{(j)} - c_j) \quad (4.3)$$

kde J je cenová funkce [-],
 k je počet shluků [-],
 n je počet datových záznamů [-],
 m je funkce počítající vzdálenost mezi body [-].

Dále je nutné zvolit vhodnou funkce, která určuje vzdálenost bodů od sebe. Tradičně se používá euklidovská metrika. Pro porovnávání časových řad byly ovšem vyvinuty vhodnější metriky, které berou v potaz různé (fázové) posuny porovnávaných řad, jako například metoda *Dynamic Time Warping (DTW)*. Ve svojí analýze jsem pro vytvoření clusterů použil obě metriky. **Euklidovská metrika**

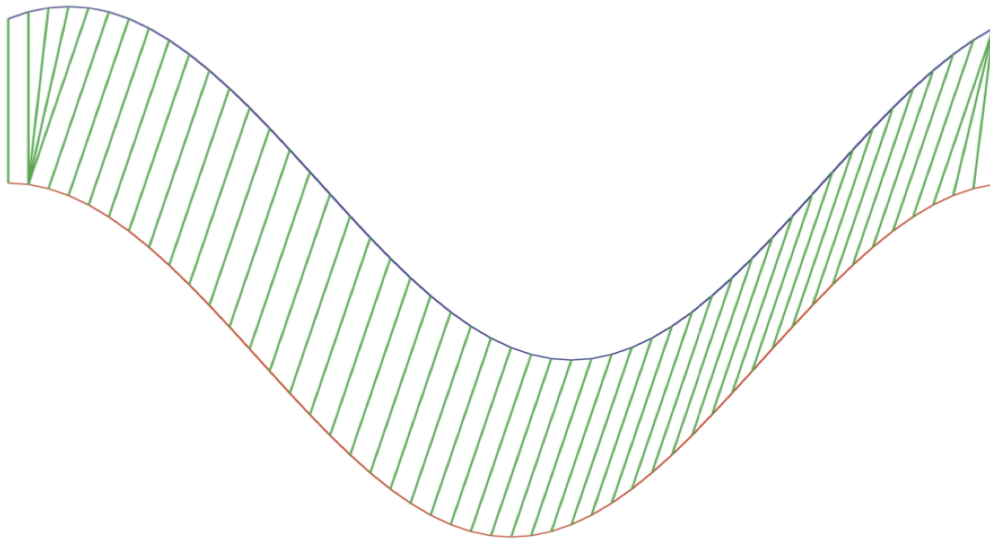
Euklidovská metrika je standardní metrika pro měření vzdálenosti. Ovšem při analýze časových řad je důležité zohledňovat i časový posun mezi nimi. K takovéto analýze tedy není tato metrika nejvhodnější, i přes to, že je jednoduše pochopitelná a srozumitelná. Vzdálenost mezi dvěma prvky řady je vyjádřena tímto vzorcem:

$$m(\vec{x}, \vec{c}) = \sqrt{(x_1 - c_1)^2 + \dots + (x_n - c_n)^2} \quad (4.4)$$

Dynamic Time Warping (DTW)

Tato metrika byla vyvinuta pro porovnávání sekvencí, které mohou být posunuty o určitý fázový posun. Je založena na Levenštejnově (editační) vzdálenosti. Tato metrika tedy nachází optimální posun dvou sekvencí tak, že k jednomu bodu sekvence hledá nejbližší bod druhé sekvence se zohledněním následnosti bodů. Obrázek 4.10 ilustruje ideální posun dvou časových řad $\cos(t)$ a $\cos(t + \alpha)$. Vzdálenost se dá vypočítat podle rekurzivního vzorce [5]:

$$m(\vec{x}_i, \vec{c}_j) = (x_i - c_j) + \min \begin{cases} m(\vec{x}_{i-1}, \vec{c}_{j-1}) \\ m(\vec{x}_i, \vec{c}_{j-1}) \\ m(\vec{x}_{i-1}, \vec{c}_j) \end{cases} \quad (4.5)$$



Obrázek 4.10: Příklad ideálního porovnání dvou sekvencí tak, aby vzdálenost mezi nimi byla co nejmenší [5]

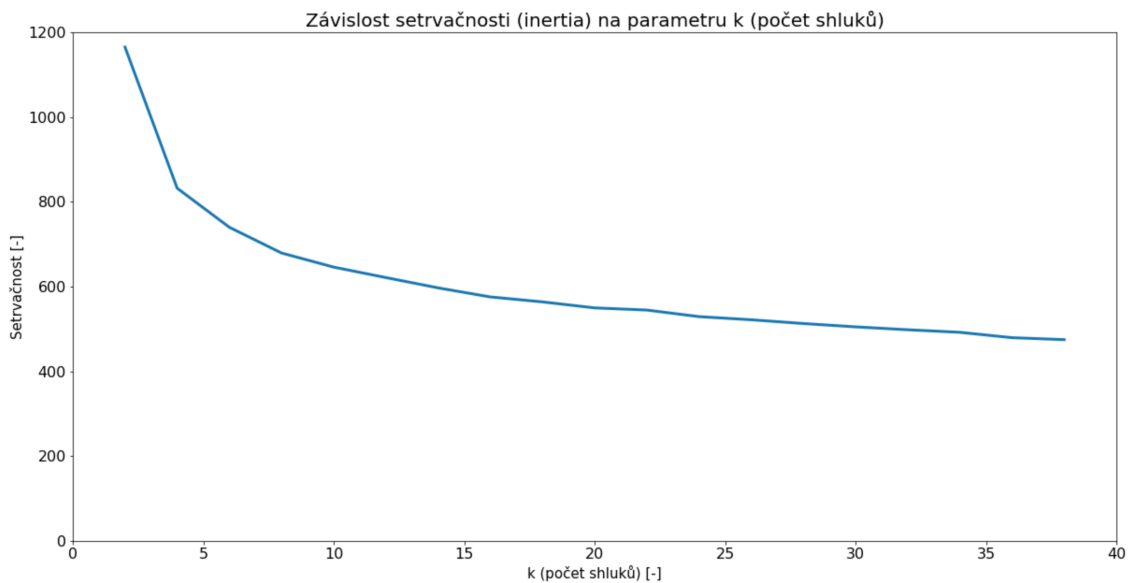
Algoritmus je potom možné vidět v příloze D.

Shluky jsem prováděl pro zimní a letní měsíce zvlášť. Analýzu jsem realizoval pro typický den, který jsem dle [25] bral jako průměr spotřeb v 15minutovém intervalu v daném čase po všechny dny za dané období. Výpočet typické spotřeby v daném čase jsem udělal dle následujícího vzorce:

$$\text{spotřeba}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \text{spotřeba}(t)_i}{N} \quad (4.6)$$

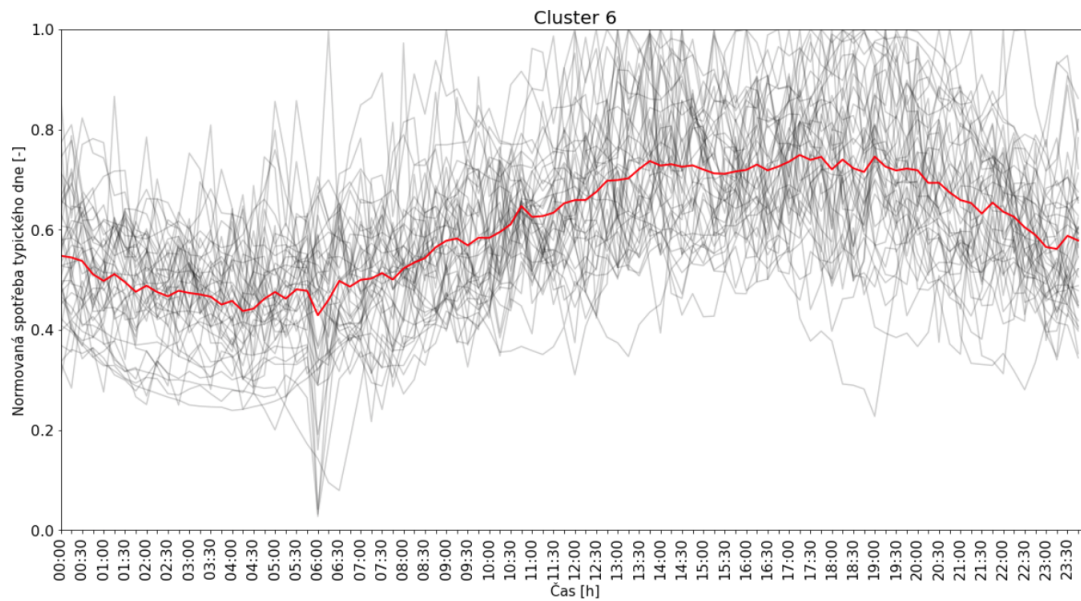
kde $\text{spotřeba}(t)$ je spotřeba čase t (např. 6:15) [Wh],
 $\text{spotřeba}(t)_i$ je spotřeba v čase t v i -tém dni [Wh],
 N počet dní [-].

Dalším důležitým parametrem vstupujícím do algoritmu je hodnota k , kterou je třeba určit předem. Je potřeba určit takovou hodnotu k , aby jednotlivé centroidy dobře reprezentovaly skupiny. Zároveň je potřeba zvolit takové číslo, aby nedocházelo k fenoménu *overfitting*, což znamená, že model (výsledek algoritmu) není dostatečně obecný (například pokud by se $k = N$, kde N je počet vzorků) Existuje mnoho způsobů, jak určit vhodnou hodnotu tohoto parametru. Já jsem použil parametr setrvačnosti (v anglické literatuře *inertia*), což je součet součet čtverců vzdáleností vzorků od jejich nejbližšího centroidu. Jednotlivé hodnoty setrvačnosti pro různé hodnoty shluků je možné vidět na grafu 4.11. Na základě tohoto grafu a konzultace s vedoucím práce jsem se rozhodl pro hodnotu 11.



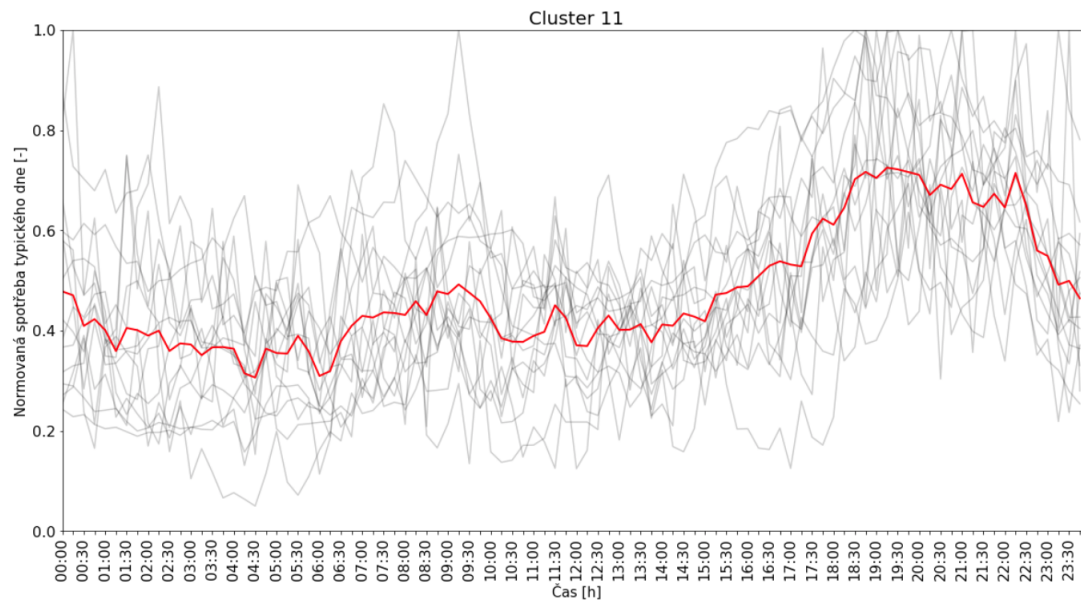
Obrázek 4.11: Výběr vhodného parametru k

K provedení této analýzy jsem tedy musel dostat data do potřebného tvaru. Nejdříve jsem seskupil data podle jednotlivých spotřebitelů. Poté jsem z každého záznamu extrahoval informaci o hodině a minutě (např. z data 16.1. 2017 6:00:00 jsem udělal 6:00). Poté jsem seskupená data dle spotřebitele seskupil podle těchto časů a udělal průměr. To znamená, že pro každého spotřebitele v datové sadě jsem dostal typický den o 96 záznamech (4 záznamy pro každou hodinu). Z takto upravených hodnot jsem vytvořil kontingenční tabulku, kde jsem ve sloupcích použil časy (tzn. měl jsem 96 sloupců) a v řádcích jsem měl všechny spotřebitele. Takto upravená data jsem poté použil pro shlukovou analýzu. Na obrázcích 4.12 a 4.13 je možné vidět dva vybrané clustery využívající euklidovskou metriku. Všechny clustery je potom možné vidět v příloze E. V této příloze jsou také uvedeny výsledky pro letní měsíce a pro DTW metriku pro obě roční období. Tuto analýzu jsem tedy provedl s pomocí obou metrik. Je zajímavé, že z dostupných dat jsem dostal lépe interpretovatelné clustery pomocí euklidovské metriky. Je možné, že při větším objemu dat nebo větším uvažovaném intervalu (např. typický týden), by clustery s použitím DTW metriky vycházely lépe. Jedna z dalších možností využití tohoto algoritmu se projevila, když jsem ho poprvé spustil. Jedním z nalezených clusterů byl cluster, kde byla vadná data (možný výpadek měření v daném časovém intervalu). Tudíž jsem mohl svoji datovou sadu o tyto data očistit a spustit znovu. Tento algoritmus je tedy možné použít pro nalezení skupin odlehlých hodnot, kdy je celá časová řada je špatná.



Obrázek 4.12: Cluster 6 z výsledku kmeans s použitím euklidovské metriky

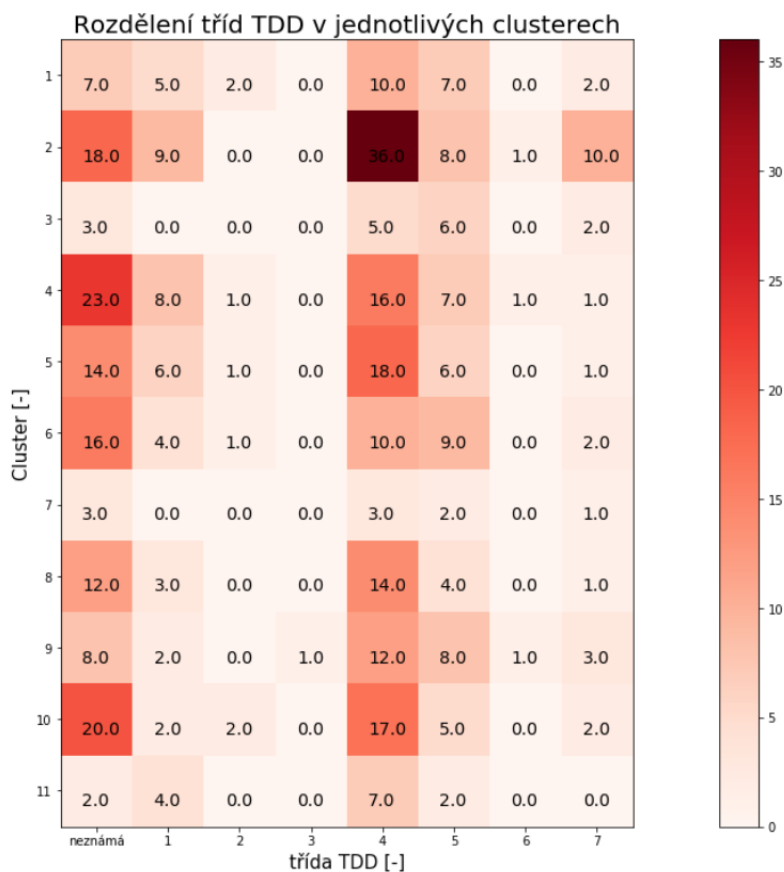
Na obrázku 4.12 je možné vidět shluk, do kterého patří zákazníci mající největší odběr hlavně kolem 13. - 16. hodiny. Dali by se sem zařadit spotřebitelé, kteří i ve všedních dnech v odpoledních hodinách pravidelně využívají elektrické spotřebiče (například pračku). Mohou to být například zákazníci, kteří pracují z domova nebo se starají o rodinné příslušníky. Do tohoto shluku bylo dle 4.14 zařazeno 42 odběratelů.



Obrázek 4.13: Cluster 11 z výsledku kmeans s použitím euklidovské metriky

Shluk na obrázku 4.13 ukazuje odběratele, u kterých je značná večerní špička, zatímco denní odběr je poměrně malý. Takováto skupina zákazníků nemusí být pro síť vhodná, jelikož má největší odběr ve špičce - tudíž má velký odběr v maximu sítě. U takovýchto zákazníků by bylo vhodné zavést opatření, která by byla motivující k přesunu odběru do jiných hodin. Identifikaci takovýchto zákazníků a využití dat pro návrh nového tarifního pásma se mimo jiné podrobněji věnuji v kapitole 5. Do tohoto shluku bylo dle 4.14 zařazeno 15 odběratelů.

Na obrázku 4.14 je potom možné vidět zobrazení toho, jak jsem pomocí algoritmu k-means rozřadil zákazníky do jednotlivých clusterů v porovnání se zařazením do TDD. K některým zákazníkům jsem bohužel neměl data o jejich sazbě (tudíž ani TDD). Takoví zákazníci jsou potom označeni skupinou TDD „neznámá“. Graf by byl samozřejmě zajímavější při větším počtu zákazníků a větší diverzitě v třídách TDD v datovém souboru. Z grafu je možné vidět, že nejvíce odběratelů bylo zařazeno do clusteru 2.



Obrázek 4.14: Rozdělení skupin TDD v jednotlivých clusterech

Provedením shlukové analýzy jsem ukázal, že s použitím dat z chytrých měření je možné roztrždit zákazníky do skupin. Další zajímavou aplikací by bylo rozřadit do clusterů zákazníky pouze z 4. TDD třídy, jelikož dat pro tyto zákazníky mám nejvíc a zároveň je dle [18] počet odběratelů v této třídě nejvyšší. Tím by bylo možné roztrždit odběratele z jedné sazby (nebo třídy TDD) do skupin, které přesněji a podrobněji odpovídají jejich chování. Při použití mých souborů s touto analýzou je to možné. Je tedy patrné, že s využitím moderních metod strojového učení a zvyšující se dostupnou výpočetní technikou je možné těžit informace z dat chytrých měřicích zařízení. Do budoucna bych si dokázal představit složitější datovou infrastrukturu, která bude data za území agregovat a vyhodnocovat, například jako poklady k úpravám tarifní struktury nebo odhalování odlehlých datových bodů. Nad touto infrastrukturou by se daly vyvíjet další systémy. Například by bylo možné vytvořit systém, kde by odběratelé mohli sledovat vývoj své spotřeby. Na základě toho by pak mohli měnit své chování k dosahování větších úspor. Dále může shluková analýza využít k nahrazení diagramů při výpadku chytrého elektroměru, jelikož bude známá charakteristika jednotlivých zákazníků. Při dostatečně dlouhém měření by se dali také identifikovat zákazníci s jiným typem zatížení (např. zákazníci s elektromobilem). Další možností je využitelnost pro agregátora o znalosti chování zákazníků v dané oblasti (např. pod jednotlivými DTS). Dále určitě vidím použití při plánování obnovy a rozvoje sítě. Jelikož by analýzy byly prováděny se skutečně naměřenými daty jednotlivých odběratelů, mohly by mít velký vliv při rozhodování o posílení sítě v určité oblasti.

Kapitola 5

Možnosti využití analýz pro úpravy tarifní soustavy

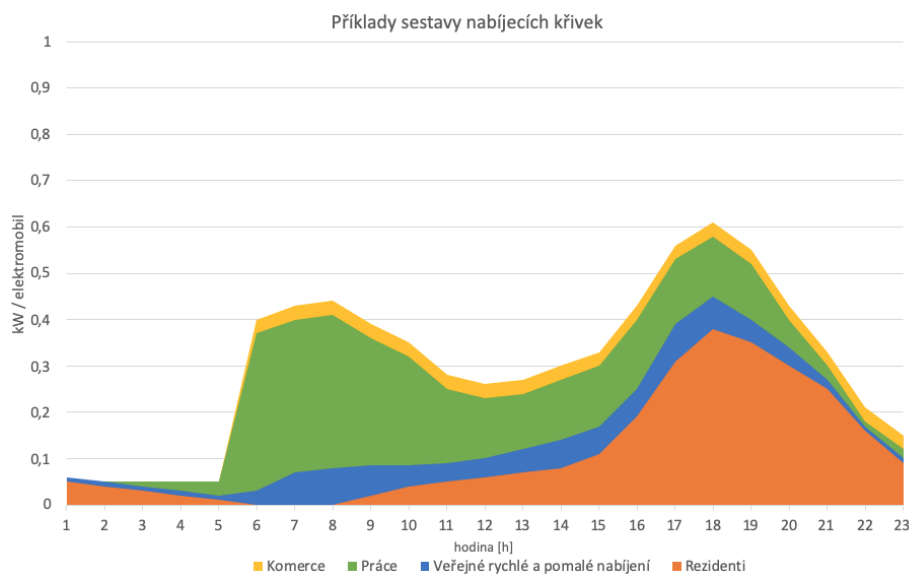
Problematika tarifní struktury je velice komplexním tématem. Při návrhu a výpočtech je potřeba myslet nejenom na technické a ekonomické parametry, ale také na sociální aspekty této problematiky. V roce 2016 byla navržena nová forma tarifní struktury, která ale kvůli svým nedostatkům neobstála v kritice a připomínkách. Tato navržená tarifní struktura nevyužívala perspektivní možnosti AMM a pracovala pouze s hodnotou jističe. Ta ovšem nemá přímou vazbu na maximum odběru, natož na dobu tohoto maxima. V této kapitole navrhnou možnosti využití dat z chytrých měřicích zařízení k úpravám tarifní struktury. Myslím si, že chytré měření a s ním spojená vyšší informovanost o chování odběratelů bude v budoucích letech hrát velkou roli při aktualizaci tarifní struktury.

5.1 Případová studie

V rámci svojí analýzy dat jsem vytvořil případovou studii toho, jak by moje předchozí analýza mohla pomoci při rozhodování distributora v plánování sítě. Moje případová studie je založena na analýzách PREdi, které souvisejí s rozvojem elektromobility a zatížením sítě. Tato případová studie slouží jako příklad toho, jak by se data z chytrých měřicích přístrojů dala využít.

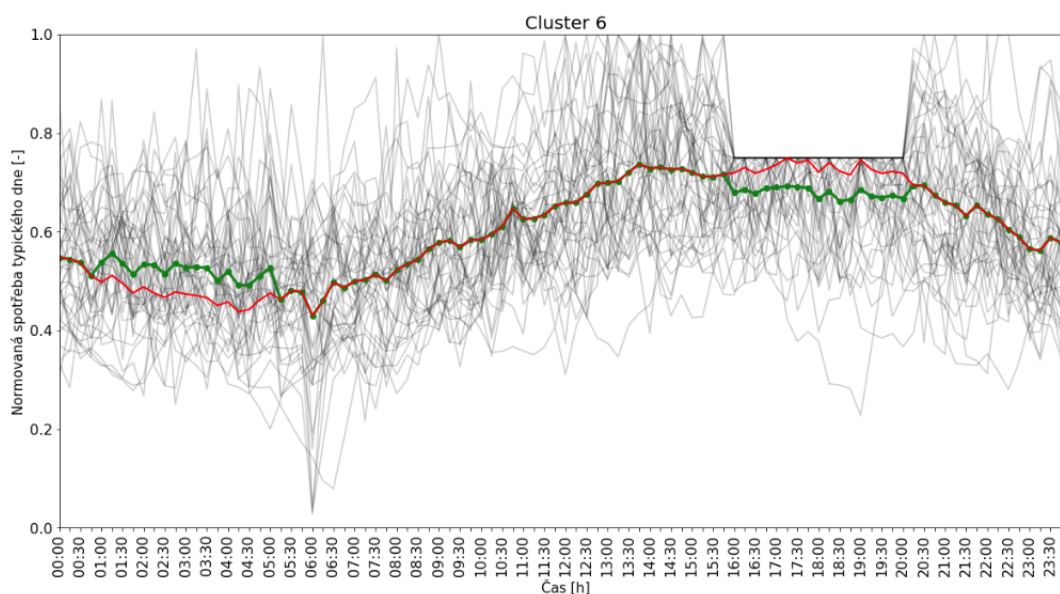
Dnešní analýzy vývoje zatížení soustavy v Praze předpokládají rychlý nárůst elektromobility. S tím se tedy očekává i vyšší zatížení sítě v určitých hodinách. Na obrázku 5.1 je možné vidět graf potenciálu navýšení výkonu pro nabíjení elektromobilů. Jednotlivé křivky představují předpokládané nabíjecí křivky různých charakterů nabíjecích míst. U rezidentního nabíjení se očekává nabíjení převážně v odpoledních až večerních hodinách. Naopak u nabíječek umístěných v práci zákazníků se předpokládá zatížení i v ranních hodinách. Z grafu je patrný očekávaný nárůst zatížení z nabíjení elektromobilů mezi 16. - 20. hodinou odpolední. Jedná se tedy o hodiny, kdy se lidé vrací domů z práce a budou si chtít dobít svůj elektromobil. Tento časový úsek je ovšem už nyní poněkud problematický, jelikož se ve většině dní jedná o dobu, kdy dochází ke špičkovému zatížení sítě (lidé se vrací z práce a zapínají

elektrické spotřebiče). Bylo by tedy vhodné motivovat zákazníky k přesunu odběru (nejlépe dobíjení elektromobilu) do jiných hodin (např. brzkých hodin ranních). Takovou motivací by mohl být například „špičkový“ tarif, kde by byla cena elektřiny ještě vyšší než ve vysokém tarifu. Ve svojí případové studii uvažují právě zmiňovaný špičkový tarif.



Obrázek 5.1: Příklady sestavy nabíjecích křivek [6]

V předchozí kapitole jsem provedl shlukovou analýzu spotřeb zákazníků. Ta v mojí případové studii slouží k identifikaci skupin spotřebitelů, u kterých by bylo možné přesunout část spotřeby z mnou uvažovaného špičkového tarifu do jiných hodin. Vhodné skupiny k přesunu odběru z uvažovaného špičkového tarifního pásma jsou na obrázcích 4.12 a 4.13. Na grafu 5.2 je možné vidět namodelovaný průběh spotřebitelů, kde by vhodnou motivací mohlo dojít k přesunu spotřeby. V případové studii předpokládám, že všichni spotřebitelé v dané skupině sníží svoje zatížení na 0,8 maxima a přesunou danou spotřebu do času $t + 9$ (resp. $t - 15$).



Obrázek 5.2: Znáznornění přesunu spotřeby odběratelů do času $t + 9$

Z grafu 5.2 je vidět, jaké by takové opatření mělo v ideálním případě důsledky. V čase maxima síť by spotřebitelé tolik nezatěžovali síť a přesunuli by svou spotřebu do ranních hodin, kdy je naopak zatížení malé. Došlo by k zrovnomenění denního diagramu zatížení, což je pro distributora vhodný efekt opatření. Moje případová studie je provedena na datech od všech odběratelů pro zimní měsíce a to z důvodu nedostatku dat pro daná území. Při plošném nasazení AMM ovšem bude možné provádět takovouto analýzu pro jednotlivá území Prahy nebo pro jednotlivé DTS. Potom bude takováto analýza silným podkladem pro plánování a rozvoj distribuční sítě. Při plánování by tedy PDS mohl provést takovouto shlukovou analýzu pro jednotlivá území. Na jejím základě by mohl identifikovat skupiny zákazníků, u kterých by bylo možné vhodnou motivací přesunout zatížení z kritického časového pásma do jiného. Pokud by shluková analýza takové skupiny zákazníků odhalila a zákazníci by byli ochotni svou spotřebu přesunout, nemusel by potom PDS provádět investice do rozvoje a obnovy sítě. V opačném případě by distributor musel investovat do posílení dané DTS nebo kabelů. To znamená, že využití dat z chytrých měřicích zařízení by mohlo vést k úsporám provozovatele distribuční soustavy.

Nevýhodou tohoto způsobu je, že znevýhodňuje odběratele, kteří svou spotřebu vůbec nezměnili nebo nemohou změnit. Další nevýhodou může být to, že odběratelé, kteří si mohou dovolit elektromobil, nebude takovéto opatření motivovat k přesunu svojí spotřeby a tím ke snížení komfortu. Při případném zavedení podobného opatření je samozřejmě nutné myslet na socio-ekonomické důsledky, jelikož se takováto změna týká všech odběratelů.

Za předpokladu plošného nasazení AMM by se shluková analýza mohla provádět i na jednotlivých DTS. Tím by šlo odhalit vhodné skupiny zákazníků, u nichž by bylo možné přesunout spotřebu mimo kritické časové pásmo. Diagram na obrázku [?] ukazuje možný proces rozhodování na základě shlukové analýzy.



Obrázek 5.3: Diagram procesu rozhodování s použitím shlukové analýzy

Analýza dat z chytrých elektroměrů bude, dle mého názoru, sloužit jako základní prvek při rozhodování. V této případové studii jsem představil možnost využití shlukové analýzy. Dle mého názoru budou jednotliví PDS provádět obdobné analýzy k optimalizaci sítě. Představil jsem úpravu tarifní soustavy tak, aby motivovala zákazníky k přesunu své spotřeby do jiného časového pásma. Shluková analýza dále může být užitečná při identifikaci období špiček či minim jednotlivých sazeb.

Kapitola 6

Závěr

Ve svojí diplomové práci jsem se snažil odpovědět na otázku, jakým způsobem mohou být využita data z chytrých elektroměrů. Jelikož se, dle mého názoru, bude v příštích letech výrazně rozvíjet měřicí infrastruktura, je vhodné identifikovat možnosti využití dat, kterých bude časem rozhodně přibývat.

Nejdříve jsem se zaměřil na chytré sítě, pro něž je chytré měření základním prvkem. Popsal jsem přínosy chytrých sítí pro jednotlivé subjekty na elektrickém trhu. Zavedení chytrých sítí analyzuje dokument Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, a sice Národní akční plán Smart Grids, který jsem v rámci rešerše chytrých sítí také analyzoval. Dále jsem rozebral ekonomické posouzení zavedení inteligentních měřicích systémů od MPO z roku 2016. Z tohoto dokumentu vyšlo najevo, že zavedení AMM se v ČR v daných podmínkách nevyplatí. Dle mého názoru je situace v dnešní době jiná. Ceny systémů AMM klesají.

V rámci sběru dat pro svou diplomovou práci byla poskytnuta anonymní upravená data z chytrých elektroměrů pilotního projektu PREdistribuce a.s., která jsem podrobil následné analýze. Nejprve jsem porovnával skutečně naměřené průběhy s typovými diagramy dodávky. Z analýz skutečných dat vyšlo najevo, že z pohledu individuálního zákazníka TDD ne vždy dobře odhaduje spotřebu. Agregovanou spotřebu za území nahrazují TDD už lépe. Dle mého názoru se s rozvojem chytrých sítí a chytrého měření budou TDD využívat stále méně, samozřejmě ale za předpokladu využití dat z chytrých elektroměrů.

Dále jsem v rámci analýz vypracoval shlukovou analýzu. Použil jsem dvě různé metriky určování podobnosti časových řad. Pomocí této analýzy jsem identifikoval 11 shluků. Tyto shluky vyjadřují skupiny zákazníků, jejichž charakteristika denní spotřeby je podobná. Taková shluková analýza se pak dá mimo jiné využít provozovatelem distribuční soustavy při plánování rozvoje distribuční sítě. Jelikož budou známy odběry za jednotlivá území, bude možné lépe monitorovat zatížení v daném území. Díky této znalosti bude možné určit místa, u nichž bude nutné rozšířit síť a u kterých to naopak nebude potřeba. Takovéto analýzy mohou být využity právě PREdi k další analýze dat z pilotního projektu.

Na základě shlukové analýzy jsem provedl případovou studii, ve které jsem uvažoval zavedení špičkového tarifu, jenž by měl motivovat zákazníky k přesunu své spotřeby mimo špičku zatížení. Díky této analýze se mi poté podařilo identifikovat skupiny zákazníků, u kterých by finanční motivace mohla vést k přesunu spotřeby. V rámci případové studie jsem poté ukázal vliv, který by přesun spotřeby mohl mít.

Na základě provedených analýz a práce s daty si myslím, že plošné nasazení chytrých elektroměrů umožní postupné zavádění nových přístupů v energetice. Jak od nových přístupů v rámci tarifní soustavy, tak k individuálnímu přístupu k zákazníkům. Samozřejmě je třeba zmínit výzvy, kterým budou provozovatelé distribuční soustavy čelit. Mezi ně patří aktualizace IT infrastruktury k přenosu a zachování mnohem většího objemu dat než v současné době. Další takovou výzvou je důraz na bezpečnost dat. Dle mého názoru implementace chytrých elektroměrů přináší mnoho potenciálních výhod. Je ovšem nutné, aby tento potenciál společnosti správně využily.

Příloha A

Vysvětlivky zkratek

Zkratka	První výskyt v textu	Význam
HDO	2.1.2	Hromadné dálkové ovládání
AMM	2.1.2	Advanced Metering Management
MPO	2.1.2	Ministerstvo průmyslu a obchodu
SAIDI	2.1.2	System Average Interruption Duration Index
SEK	2.2	Státní energetická koncepce
NAP SG	2.3	Národní akční plán Smart Grids
OPM	2.3	Odběrná a předávací místa
IS OTE	2.3	Informační systém operátora trhu
SG	2.3	Smart grids
OTE	2.3	Operátor trhu
TDD	2.3.2	Typové diagramy dodávky
PREdi	2.4	PREdistribuce a.s.
DTS	2.4	Distribuční transformační stanice
AMR	3.2	Automated meter reading
AMI	3.2	Automated meter infrastructure
PDS	3.4.4	Provozovatel distribuční soustavy
DTW	4.4.1	Dynamic Time Warping

Příloha B

Literatura

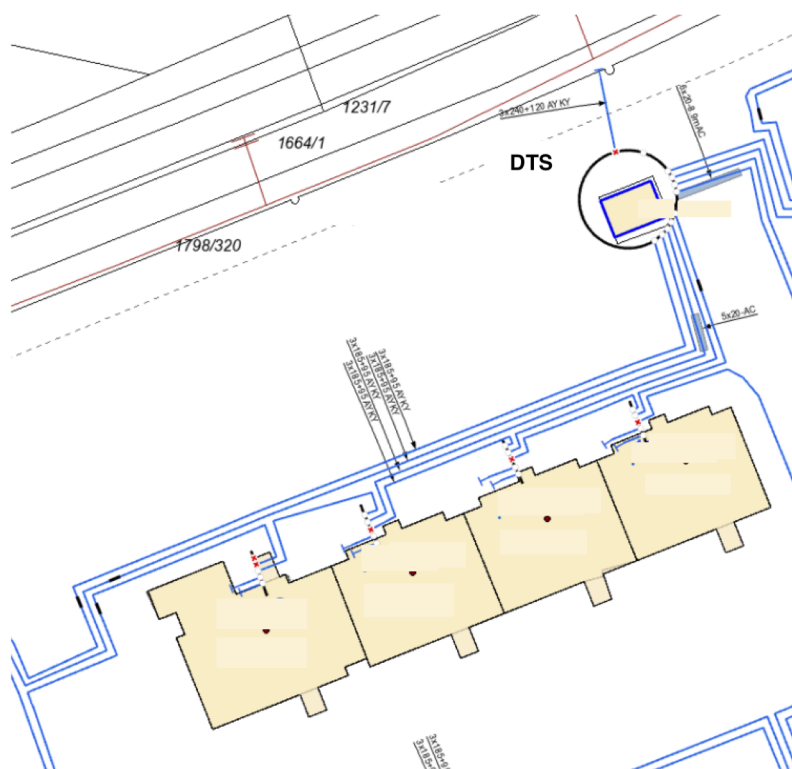
- [1] European Distribution System Operators' Association for Smart Grids. *Why smart grids?* Dostupné z: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/home/why-smart-grids/>. Navštíveno: 2019-03-13.
- [2] Shawkat Ali A.B.M. *Smart Grids: Opportunities, Developments and Trends*. London: Springer, 2013. ISBN: 9781447152095, Překlad: Lukáš Loukota.
- [3] ADD Grup. Addax - datasheet: Np71e.1-x-x, 2017.
- [4] OTE a.s. Normalizované tdd 2017, 2017.
- [5] François Petitjean, Alain Ketterlin, and Pierre Gançarski. A global averaging method for dynamic time warping, with applications to clustering. *Pattern Recognition*, 44(3):678 – 693, 2011.
- [6] PREdistribude a.s. Interní analýza, 2019.
- [7] Ahmad Faizan. *Difference between Traditional Power Grid and Smart Grid*. Dostupné z: <http://electricalacademia.com/electric-power/difference-traditional-power-grid-smart-grid/>. Navštíveno: 2019-03-30, Překlad: Lukáš Loukota.
- [8] ČESKO. *Vyhláška č. 408/2015 Sb. o Pravidlech trhu s elektřinou*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408>, 2019. Navštíveno: 2019-10-19.
- [9] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Státní energetická koncepce*. Dostupné z: <https://mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>. Navštíveno: 2019-03-10.
- [10] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG)*. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52353/60358/633373/priloha003.pdf>, 2015. Navštíveno: 2019-03-10.
- [11] Ing. Slavomír Veseleňák Ing. Martin Stanko. *Vyhodnotenie identifikácie pravdepodobného miesta poruchy na nn prostredníctvom smart elektromerov*, 2019.

- [12] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Ekonomické posouzení všech dlouhodobých přínosů a nákladů pro trh a jednotlivé zákazníky při zavedení inteligentních měřících systémů v elektroenergetice ČR*. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2016/11/Ekonomicke-posouzeni-AMM-elektro.pdf>, 2016. Navštíveno: 2019-04-21.
- [13] Martin Vycpálek. *POTENCIÁL PLC KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ V MĚSTSKÉ ZÁSTAVBĚ*. PREdistribuce, a.s., 2016.
- [14] Council of the European Union. Commission recommendation 2012/148/eu on preparations for the roll-out of smart metering systems. *Off J Eur Union*, 73:9–22, 01 2012. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012H0148&from=EN>.
- [15] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Chytré měření a jeho specifikace*. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2017/9/3--WS-Kulaty-stul-NAP-SG-Chytre-mereni-a-jeho-specifikace-v7.pdf>, 2016. Navštíveno: 2019-04-26.
- [16] Asociace energetických manažerů. *Trh s elektřinou: Úvod do liberalizované energetiky. Vydání druhé, aktualizované*. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/kniha-trh-s-elektřinou.pdf>, 2016. ISBN 978-80-260-9212-4; Navštíveno: 2019-10-19.
- [17] ČESKO. *Vyhláška č. 82/2011 Sb. o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-82>, 2019. Navštíveno: 2019-10-16.
- [18] Energetický regulační úřad. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2018*. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c, 2019. Navštíveno: 2019-10-19.
- [19] Wes McKinney. Data structures for statistical computing in python. In Stéfan van der Walt and Jarrod Millman, editors, *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, pages 51 – 56, 2010.
- [20] Travis Oliphant. NumPy: A guide to NumPy. USA: Trelgol Publishing, 2006–. Dostupné z: <http://www.numpy.org/>.
- [21] Fernando Pérez and Brian E. Granger. IPython: a system for interactive scientific computing. *Computing in Science and Engineering*, 9(3):21–29, May 2007. Dostupné z: <https://ipython.org/index.html>.

- [22] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2825–2830, 2011. Dostupné z: <https://scikit-learn.org/>.
- [23] Romain Tavenard, Johann Faouzi, and Gilles Vandewiele. tslearn: A machine learning toolkit dedicated to time-series data, 2017. <https://github.com/rtavenar/tslearn>.
- [24] Český hydrometeorologický ústav. *Denní data - Praha Libuš*. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data>, stanice Praha - Libuš, 2019. Navštíveno: 2019-10-19.
- [25] Gianfranco Chicco. Overview and performance assessment of the clustering methods for electrical load pattern grouping. *Energy*, 42:68–80, 06 2012.
- [26] M. Neumann. *CSE517 Lectures*. Dostupné z: <https://www.cse.wustl.edu/~m.neumann/sp2016/cse517/lecturenotes/images/c22kmeans/pseudocode.png>, 2016. Navštíveno: 2019-11-05.

Příloha C

Schematické znázornění zapojení sítě pilotního projektu PReDi a.s.



Obrázek C.1: Schéma území Barrandov. Citlivé údaje byly odstraněny autorem

Příloha D

Použité algoritmy

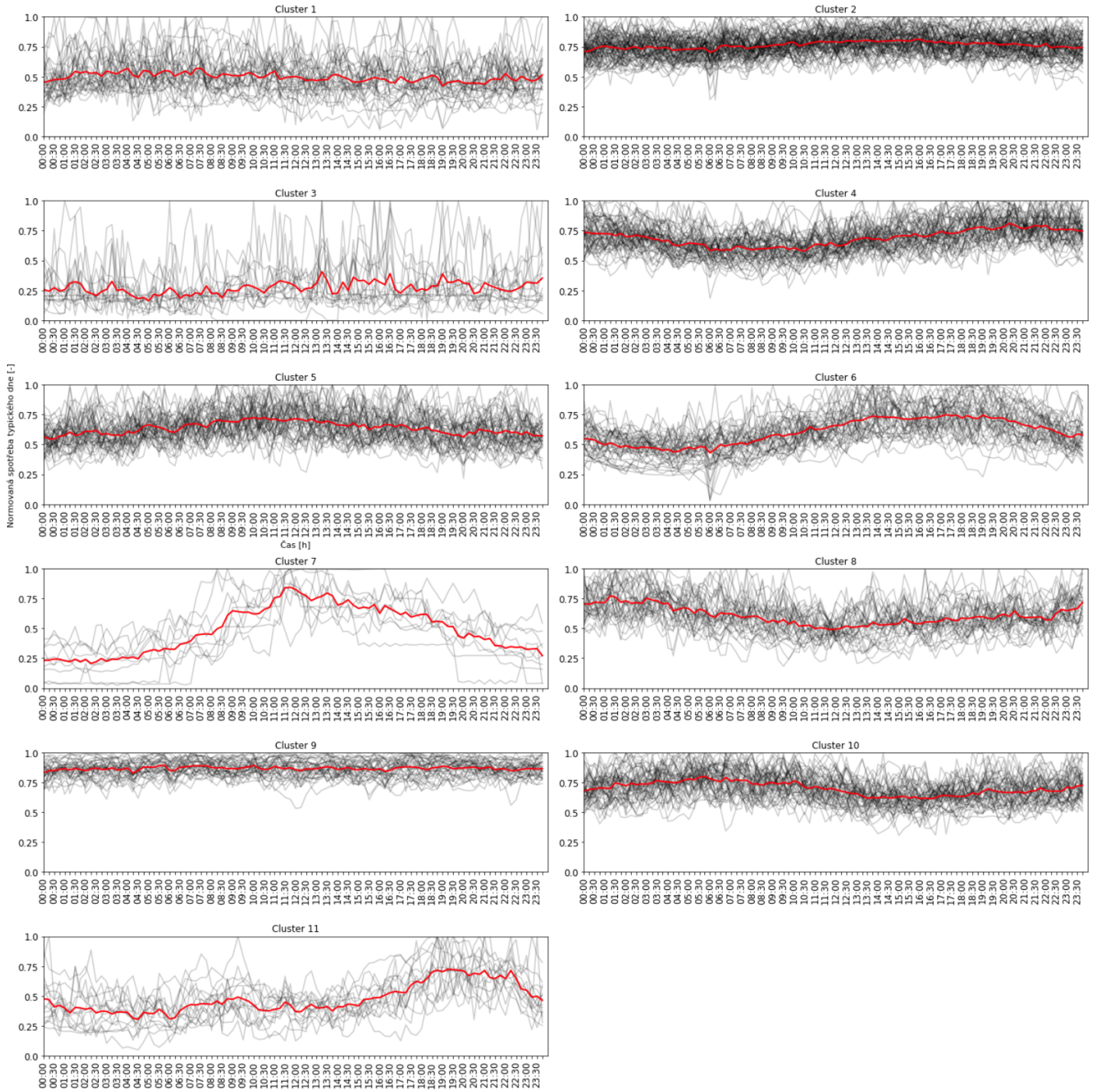
Algorithm 1 Pseudo-kód algoritmu k-means [26]

```
1: procedure K-MEANS
2:   Set  $\vec{\mu}_1, \dots, \vec{\mu}_k$  to be distinct randomly selected inputs from  $\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n$ 
3:   repeat
4:     for  $i = 1..n$  do ▷ Fix  $\vec{\mu}_1, \dots, \vec{\mu}_k, update \gamma$ 
5:        $\gamma_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } j = \operatorname{argmin}_j \|\vec{x}_i - \vec{\mu}_j\|^2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$  ▷ Assign cluster membership
6:     end for
7:     for  $i = 1..k$  do ▷ Fix  $\gamma, update \vec{\mu}_1, \dots, \vec{\mu}_k$ 
8:        $n_j = \sum_{i=1}^n \gamma_{ij}$  ▷ # of points assigned to cluster  $j$ 
9:        $\vec{\mu}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_{ij} \vec{x}_i$  ▷  $\vec{\mu}_j$  is set to the average of all points assigned to cluster  $j$ 
10:    end for
11:  until Convergence
12: end procedure
13: return  $\vec{\mu}_1, \dots, \vec{\mu}_k$ 
```

Algorithm 2 Pseudo-kód algoritmu DTW [5]

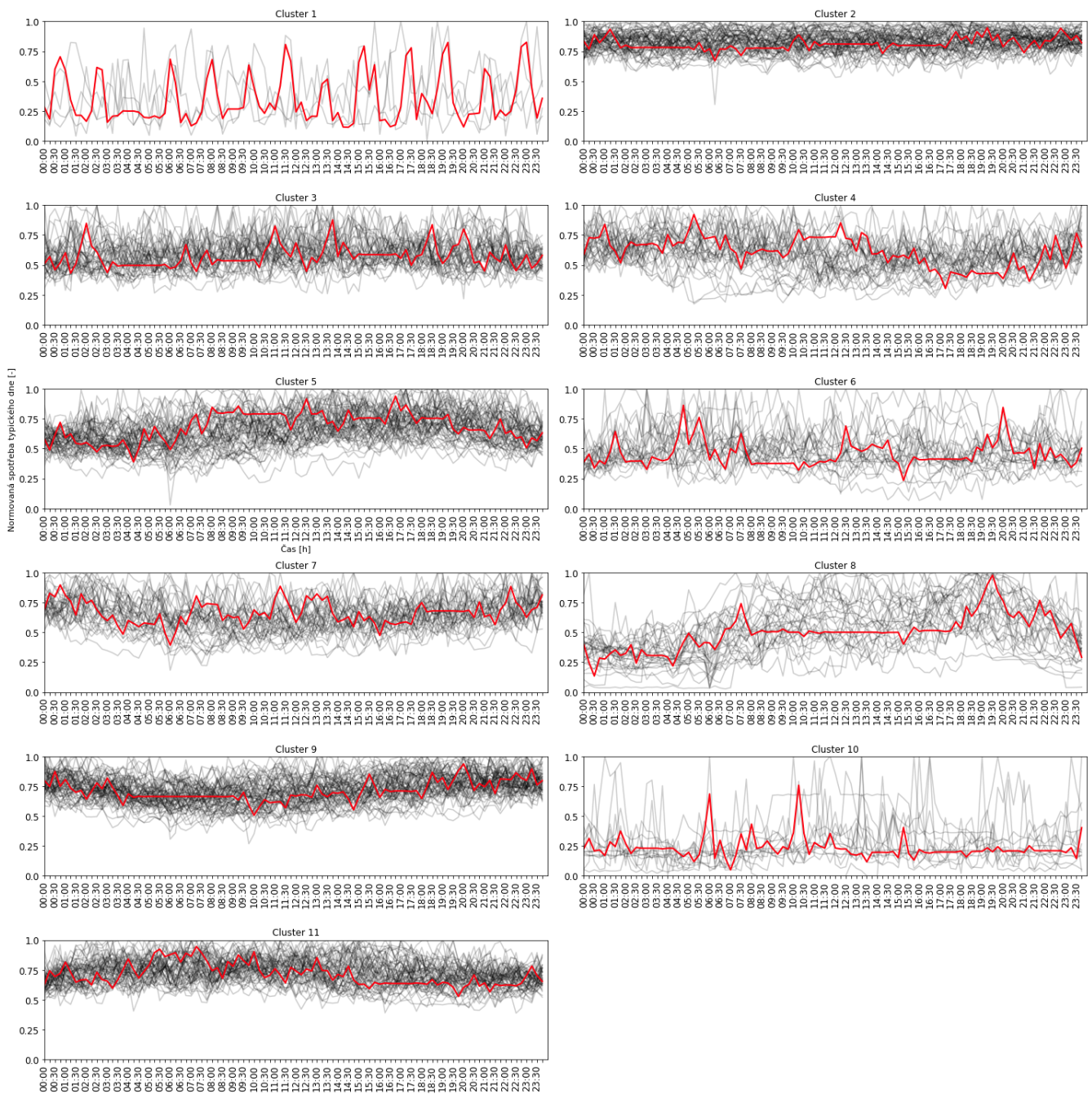
Require: $A = \langle a_1, \dots, a_S \rangle$ **Require:** $B = \langle b_1, \dots, b_T \rangle$ **Let** δ be a distance between coordinates of sequences**Let** $m[S, T]$ be the matrix of couples (cost, path)1: $m[1, 1] \leftarrow (\delta(a_1, b_1), (0, 0))$ 2: **for** $i \leftarrow 2$ to S **do**3: $m[i, 1] \leftarrow (m[i-1, 1, 1] + \delta(a_i, b_1), (i-1, 1))$ 4: **end for**5: **for** $j \leftarrow 2$ to T **do**6: $m[1, j] \leftarrow (m[1, j-1, 1] + \delta(a_1, b_j), (1, j-1))$ 7: **end for**8: **for** $i \leftarrow 2$ to S **do**9: **for** $j \leftarrow 2$ to T **do**10: $minimum \leftarrow \text{MINVAL}(m[i-1, j], m[i, j-1], m[i-1, j-1])$ 11: $m[i, j] \leftarrow (\text{FIRST}(minimum) + \delta(a_i, b_j), \text{SECOND}(minimum))$ 12: **end for**13: **end for**14: **return** $m[S, T]$ 15: **function** FIRST(a, b)**Require:** $p = (a, b) : \text{couple}$ 16: **return** a 17: **end function**18: **function** SECOND(a, b)**Require:** $p = (a, b) : \text{couple}$ 19: **return** b 20: **end function**21: **function** MINVAL($\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$)**Require:** $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3 = (a, b) : \text{couple}$ 22: **if** $\text{MIN}(\vartheta_1) \leq \text{MIN}(\text{FIRST}(\vartheta_2), \text{FIRST}(\vartheta_3))$ **then**23: **return** ϑ_1 24: **else if** $\text{MIN}(\vartheta_2) \leq \text{MIN}(\text{FIRST}(\vartheta_3))$ **then**25: **return** ϑ_2 26: **else**27: **return** ϑ_3 28: **end if**29: **end function**

Příloha E

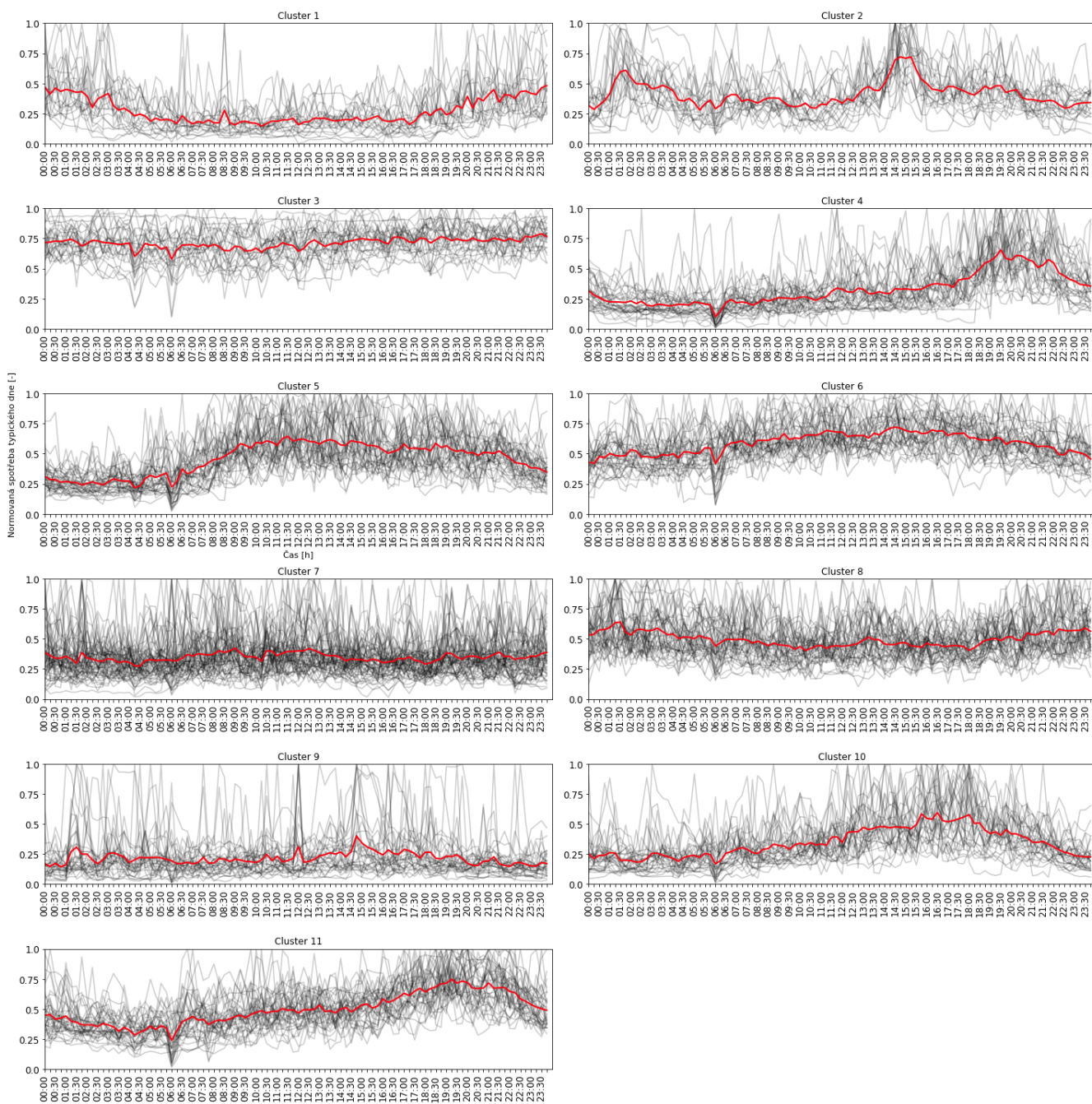


Obrázek E.1: Všechny shluky pro zimní měsíce; euklidovská metrika

E. Výsledky shlukové analýzy

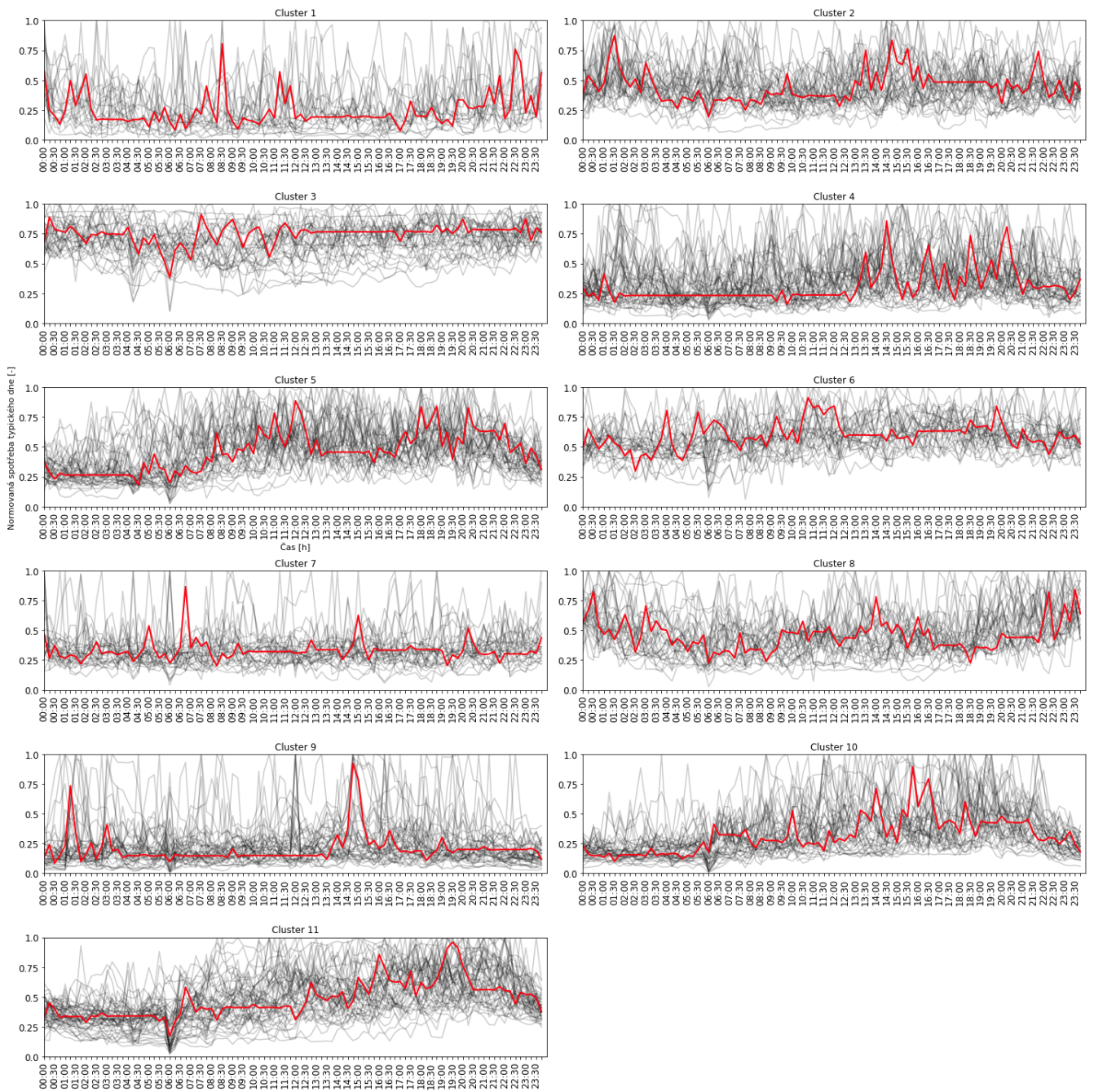


Obrázek E.2: Všechny shluky pro zimní měsíce; DTW metrika



Obrázek E.3: Všechny shluky pro letní měsíce; euklidovská metrika

E. Výsledky shlukové analýzy



Obrázek E.4: Všechny shluky pro letní měsíce; DTW metrika