

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

## DIPLOMOVÁ PRÁCE



Tomáš Veselý

### **Analýza flexibility dvoutarifních odběrných míst**

Flexibility Analysis of Double-Tariff Connection Points

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Vedoucí práce: Ing. Martin Vycpálek, PREdistribuce, a.s.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Specializace: Management energetiky a elektrotechniky

Květen 2020

**Prohlášení**

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

V Praze dne: 20. 5. 2020

podpis: .....

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Veselý** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **456921**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Analýza flexibility dvoutarifních odběrných míst**

Název diplomové práce anglicky:

**Flexibility Analysis of Double-Tariff Connection Points**

Pokyny pro vypracování:

Úkoly:

- 1) Popis systému tarifů v ČR, současná legislativa, systém HDO, popis jeho funkce
- 2) Chytré elektroměry, a možnosti náhrady HDO chytrými elektroměry
- 3) Zpracování dat z elektroměrů, určení říditelné energie a říditelného výkonu a analýza vlivu dvoutarifů a zda chování zákazníka odpovídá tarifu
- 4) Návrh zlepšení systému vedoucí ke snížení výkonové špičky
- 5) Výpočet z toho plynoucích úspor investic do rozvoje distribuční sítě

Seznam doporučené literatury:

Pohorský, Jiří. HDO: hromadné dálkové ovládání  
Ministerstvo průmyslu a obchodu - Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG), aktualizace a studie z r. 2019  
Vyhláška č.82/2011 Sb. Vyhláška o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru elektřiny, aktuální znění a návrh novelizace vyhlášky  
Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 5/2019

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Martin Vycpálek, PREdistribuce, a.s.**

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

Datum zadání diplomové práce: **13.01.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Martin Vycpálek  
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**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Martinu Vycpálkovi a jeho kolegům Ing. Vojtěchu Šimončíkovi a Ing. Radimovi Štolfovi ze společnosti PREDistribuce, a.s. za vedení mé práce, za poskytnutí všech potřebných dat, která jsem pro vypracování práce potřeboval a za čas, který mi věnovali na konzultacích i při emailové komunikaci.

Dále bych rovněž rád poděkoval panu doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi za zprostředkování diplomové práce, za pomoc při tvorbě zadání a za praktické rady a připomínky k problematice.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá analýzou dat od společnosti PREdistribuce, a. s., získaných z pilotního projektu náhrady stávajících elektroměrů za chytré elektroměry. V rámci analýzy se zkoumá chování odběratelů s distribučními sazbami pro akumulární ohřev teplé vody a se sazbami pro odběrná místa s instalovanými přímotopnými spotřebiči. Následně se zkoumá potenciál pro snížení špičky spotřeby těchto odběrných míst díky dynamičtějšímu spínání nízkého tarifu, a úspory, které toto snížení přinese distributorovi.

## **Klíčová slova**

optimalizace spotřeby, chytré elektroměry, dynamické tarify, chování odběratelů, úspory v distribuční síti

## **Abstract**

This diploma work deals with analysis of pilot project run by PREdistribuce, a. s. company during with current electricity meters with AMM smart meters. Analysis concerns behaviour of end users who have dual tariff for either heating water, or for convector heaters, and their reaction to cheaper prices during lower rate period. Following up on this is analysis of potential to lower consumption peak and savings this will bring to power distribution company.

## **Keyword**

power distribution, AMM, smart metering, dynamic tariffs, power distribution savings

## Obsah

Úvod.....	3
1. Popis systému tarifů v ČR, současná legislativa, popis systému HDO .....	4
1.1. Současný tarifní systém v ČR .....	4
1.1.1. Jednotarifní sazby .....	5
1.1.2. Dvoutarifní sazby .....	5
1.2. Měření spotřeby .....	7
1.3. Systém HDO, popis jeho funkce.....	8
2. Chytré elektroměry a možnosti náhrady HDO chytrými elektroměry.....	9
2.1. Současné elektroměry .....	9
2.2. Chytré elektroměry (Inteligentní měřící systémy).....	9
2.3. Legislativa Evropské unie ohledně AMM.....	10
2.4. Implementace v České republice .....	10
2.5. Příklady implementace v okolních zemích.....	13
2.5.1. Velká Británie .....	13
2.5.2. Švédsko .....	14
2.5.3. Španělsko .....	14
2.5.4. Slovensko .....	14
2.6. Dynamické tarify .....	15
3. Zpracování dat z elektroměrů, určení říditelné energie a říditelného výkonu a analýza vlivu dvoutarifní a zda chování zákazníka odpovídá tarifu.....	17
3.1. Soubor dat.....	17
3.1.1. Časový rozsah dat .....	17
3.1.2. Poměrné jednotky.....	18
3.2. Analýza sazeb C25d a D25d .....	18
3.2.1. Říditelná energie .....	18
3.2.2. Noční část NT .....	18
3.2.3. Využití NT .....	19
3.2.4. Rozdíl mezi pracovním dnem a víkendem .....	21
3.2.5. Využití NT v noci u odběrných míst s velmi malou spotřebou.....	21
3.2.6. Porovnání chování odběrných míst s TDD – noční úsek .....	22
3.2.7. Denní úsek NT .....	22
3.2.8. Porovnání chování odběrných míst s TDD – denní úsek.....	24
3.2.9. Chování zákazníků s tarifem C25d .....	24
3.2.10. Chování spotřeby v intervalu s maximální spotřebou .....	26
3.2.11. Velikosti výkonových špiček jednotlivých přístrojů .....	29

3.2.12.	Snížení špičky spotřeby .....	31
3.3.	Analýza sazeb C45d a D45d .....	34
4.	Návrh zlepšení současného tarifního systému vedoucí ke snížení výkonové špičky .....	39
4.1.	Praktická realizace .....	40
4.2.	Intervaly NT pro jednotlivá místa.....	41
4.3.	Návrh algoritmu a demonstrace na vzorových datech.....	41
4.4.	Současný stav.....	42
4.5.	Optimalizace bez ohledu na příslušnost místa k TS .....	42
4.6.	Optimalizace podle jednotlivých TS .....	42
4.7.	Průběh spotřeby při odlišném chování odběratelů .....	43
4.8.	Optimalizace při znalosti chování odběratelů.....	44
4.9.	Přesnost optimalizace v závislosti na počtu odběrných míst.....	46
4.10.	Výsledné TOU.....	47
4.11.	Možnost využití AMM přístrojů jako jističů .....	48
5.	Výpočet úspor investic do rozvoje distribuční sítě díky optimalizaci spotřeby .....	50
5.1.	Optimalizace spotřeby trafostanice TS2733 (Kunratice) .....	50
5.1.1.	Velikost úspory díky optimalizaci.....	52
5.1.2.	Snížení velikosti ztrát na vedení a transformaci .....	54
5.1.3.	Citlivostní analýza závislosti snížení proudu na poměru distribučních sazeb připojených k trafostanici .....	56
5.1.4.	Příjmy z distribučních poplatků díky nově připojeným odběrným místům .....	58
5.1.5.	Úspory na investicích do infrastruktury .....	60
5.2.	Ověřování plnění podmínek pro přiznání distribuční sazby .....	60
Závěr .....		63
Bibliografie .....		66
Seznam obrázků .....		68
Seznam grafů .....		69
Seznam rovnic.....		70
Seznam tabulek.....		70
Zdroje obrázků .....		71
Zdroje grafů.....		71
Zdroje tabulek.....		72
Příloha – oblast napájená z trafostanice TS2733 .....		73
Příloha – popis zpracování dat.....		74

## Úvod

V současné době se v České republice plánuje implementace chytrých elektroměrů typu AMM (Automated Meter Management). Tato implementace bude v souladu se směrnicemi Evropské unie, která již od roku 2009 požaduje po členských státech zavedení chytrého měření za účelem zvýšení informovanosti odběratelů a zvýšení účinnosti využívání energie. Implementace však byla v ČR odložena z důvodu negativní CBA z hlediska zákazníka. Hlavním důvodem výsledku je existence Hromadného dálkového ovládání (HOD), úspěšně fungujícího v České republice již desítky let, které pokrývá některé z očekávaných benefitů, například umožňuje přepínání mezi vysokým a nízkým tarifem, a poskytuje odběrateli informaci o aktuálním tarifu.

Nicméně od roku 2015 začínají přípravné práce k implementaci chytrého měření i u nás s plánovaným začátkem instalace přístrojů okolo roku 2023.

Cílem této práce je analyzovat, jak se zavedení chytrých elektroměrů a možností, jež nabízí, dá využít z pohledu distributora.

První kapitola se věnuje popisu současného tarifního systému pro maloodběratele, konkrétně pro podnikatele (kategorie C) a domácnosti (kategorie D) a rovněž současnému stavu legislativy týkající se měření.

Druhá kapitola se zabývá evropskou legislativou věnující se chytrému měření a její implementací a představuje, jak se k implementaci chytrého měření postavily některé další evropské země.

Společnost PREdistribuce, a.s. již v minulosti chytré elektroměry schopné měření a zaznamenávání dat v patnácti minutových intervalech testovala v rámci pilotních projektů v několika pražských lokalitách. Z těchto pilotních měření získala údaje o spotřebě odběrných míst měřené v patnáctiminutových intervalech.

Proto se třetí kapitola zabývá analýzou těchto dat a vyhodnocením, jak moc odběratelé využívají nízkého tarifu, případně zda na něj vůbec nějak reagují. Na základě těchto údajů bude možné stanovit potenciál využívání AMM přístrojů k preciznějšímu řízení spotřeby s cílem dosažení co nejhladšího průběhu odběru.

Následující kapitola práce obsahuje návrh, jak by implementace vylepšeného systému spínání nízkého tarifu mohla vypadat v případě osmihodinových sazeb pro ohřev teplé vody (současné sazby C25d a D25d), a jak by implementace takového systému mohla pomoci snížit výkonovou špičku a špičku spotřeby, která nastane ve chvíli, kdy se sepne NT a bojler začnou ohřívat vodu.

Poslední část práce se zaměřuje na praktické využití optimalizace, tedy co distributorovi přinese snížení špičky spotřeby. Zkoumá možnosti připojení více míst do trafostanice, než je v současné době možné, a možnosti snížení ztrát v kabelech a ztrát nakrátko v transformátoru. Jestliže se sníží špička zatížení, bude distributor moci připojit více odběrných míst bez nutnosti investic do rozvoje sítě. Z těchto nových míst bude mít navíc příjmy v podobě složek elektřiny za distribuované množství a za jistič.

Přílohami práce jsou mapa lokality Praha-Kunratice s vyznačením rozvodů z trafostanice TS2733, jejíž optimalizací se zabývá poslední kapitola, a rovněž popis vstupních dat a jejich zpracování. Rovněž jsou zde popsány přiložené soubory Excelu, obsahující výsledná data, analyzovaná v této práci.



# 1. Popis systému tarifů v ČR, současná legislativa, popis systému HDO

## 1.1. Současný tarifní systém v ČR

Vyhláška č.408/2015 Sb. rozděluje zákazníky trhu s elektřinou na čtyři kategorie

- a) odběratel kategorie A – odběratel, jehož odběrné místo je připojeno k přenosové soustavě nebo odběratel, jehož odběrné místo je připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi vyšším než 52 kV,
- b) odběratel kategorie B – odběratel, jehož odběrné místo je připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi od 1 kV do 52 kV včetně,
- c) odběratel kategorie C – odběratel, který není odběratelem kategorie A, B nebo D,
- d) odběratel kategorie D – fyzická osoba, jejíž odběrné místo je připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi do 1 kV včetně a která odebírá elektřinu k uspokojování její osobní potřeby související s bydlením nebo osobních potřeb členů její domácnosti; za odběratele kategorie D se považuje i fyzická nebo právnická osoba v rozsahu odběru elektřiny pouze pro potřeby správy a provozu společných částí domu sloužících pouze pro společné užívání vlastníků nebo uživatelům bytů. (1)

Tato práce se zabývá pouze odběry na hladině nízkého napětí, a proto se zde bude věnován prostor pouze kategoriím C (podnikatelé) a D (domácnosti) .

Právě pro tyto zákazníky existuje systém distribučních sazeb. Základní rozdělení je opět uvedeno ve Vyhlášce č.408/2015 Sb. a je dále upřesněno v Cenovém rozhodnutí vydávaném každý rok Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Každá sazba má stanovené vlastní velikosti cen regulovaných složek elektřiny. Tyto částky stanovuje ERÚ ve stejném Cenovém rozhodnutí, ve kterém stanovuje podmínky pro přiznání Sazby.

Smyslem distribučních sazeb je rovnoměrnější rozložení spotřeby v průběhu dne. Proto vznikl dvoutarifní systém, kdy v nízkém tarifu jsou nižší ceny za regulovanou složku a někdy i za silovou (což ovšem závisí na dodavateli elektřiny).

Historickým předchůdcem distribučních sazeb byl takzvaný noční proud, kdy byly v domě či bytě umístěny spínací hodiny, které v daný čas sepnuly. V tu dobu neexistovalo více různých sazeb, či rozdělení na různé časy sepnutí pro různé domácnosti, pro všechny domácnosti platil stejný interval nižší ceny elektřiny od 22 do 6 hodin ráno, z čehož právě pochází název noční proud.

Dnes existuje řada distribučních sazeb, v závislosti na spotřebičích v místě odběru. Pokud odběratel nemá žádný topný elektrický spotřebič, nemá nárok na dvoutarifní sazbu. Odběratelé s topným elektrickým spotřebičem mají nárok na dvoutarifní sazbu, ale musí toto akumulární nebo topné zařízení blokovat v době platnosti vysokého tarifu. (2)

Přesné časy sepnutí nízkého tarifu určuje distributor. Celé pásmo nízkého tarifu nemusí být na rozdíl od historického nočního proudu v jednom bloku (a ve většině případů také není), ale může být rozděleno do více intervalů, za předpokladu, že budou dodrženy podmínky stanovené ERÚ v Cenovém rozhodnutí.

Rozdělení distribučních sazeb podle typu spotřebiče je stanoveno Vyhláškou č.408/2015 Sb. Některé ze sazeb uvedených v tabulce nejsou v současné době nabízeny. Mohou však být nadále uplatňovány, jestliže byly přiznány před tímto datem.

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

Tabulka 1 Distribuční sazby podle vyhlášky č.408/2015 Sb.

Podmínky sazeb jsou v současnosti stanoveny následovně:

#### 1.1.1. Jednotarifní sazby

##### C01d a D01d

Jediným omezením pro tyto sazby je, že nemohou být přiznány pro odběrná místa, do kterých je připojena výroba elektřiny a/nebo která mají jistič větší než 3x63 A včetně.

##### C02d a D02d

Tato sazba nemá žádná omezení.

##### C03d

Tato sazba nemá žádné omezení.

Rozdíl mezi dvěma sazbami je v ceně regulovaných složek. C01d/D01d mají vyšší variabilní složku (za distribuci), ale mají nižší poplatek za velikost jističe. C02d/D02d mají naopak nižší cenu za MWh a vyšší cenu za jistič. C01d/D01d se tedy vyplatí pro odběratele s malou spotřebou.

C03d nemá ekvivalent pro domácnosti a má o více než padesát procent levnější cenu za distribuci oproti C02d/d02d, ale naopak zdaleka největší cenu za jistič, více než desetkrát větší.

#### 1.1.2. Dvoutarifní sazby

##### C25d a D25d

Doba platnosti nízkého tarifu je minimálně 8 hodin denně, v maximálně 3 úsecích, jež nesmí být kratší než 1 hodina, alternativně má odběratel možnost požádat o rozdělení na dva úseky o minimální délce tří hodin.

##### C26d a D26d

Stejně podmínky jako v případě C25d/D25d ale navíc musí součtový příkon tepelných elektrických spotřebičů být minimálně 55 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe.

#### C27d a D27d

Tato sazba je určena pro majitele elektromobilů. Doložení jeho vlastnictví je podmínkou přiznání sazby. Nabíjení musí být řešeno a měřeno samostatně. Doba platnosti nízkého tarifu je opět 8 hodin denně, ale na rozdíl od předchozích dvou sazeb musí být všechny úseky nízkého tarifu v době od 18 hodin odpoledne do 8 hodin ráno.

#### C35d a D35d

Doba platnosti nízkého tarifu minimálně 16 hodin denně, v maximálně 5 úsecích ne kratších než 1 hodina. Podmínkou přiznání je instalace hybridních (smíšených) spotřebičů pro vytápění, které musí mít dohromady příkon odpovídající alespoň 50 % příkonu hlavního jističe.

Pozn. Tato sazba nemůže být nově přiznána po 31. břenu 2017, ale může být uplatněna nadále, jestliže byla přiznána před tímto datem. Zde ji zmiňuji hlavně proto, že v datech, jež v této práci využívám, jsou i odběrná místa s tímto tarifem.

#### C45d a D45d

Doba platnosti nízkého tarifu je minimálně 20 hodin denně, v maximálně sedmi úsecích ne kratších než jedna hodina. Vysoký tarif má maximální délku úseku stanovenou na jednu hodinu. Tato sazba je určena pro přímotopy. Distributor má právo v době platnosti nízkého tarifu přímotop dočasně odstavit vždy na maximálně půl hodiny a za den celkem nejvýše na dvě hodiny. Příkon přímotopu musí být alespoň 40 % hlavního jističe

Pozn. Tato sazba nemůže být nově přiznána po 31. březnu 2017, ale může být uplatněna nadále, jestliže byla přiznána před tímto datem. Zde ji zmiňuji hlavně proto, že v datech, jež v této práci využívám jsou i odběrná místa s tímto tarifem.

#### C46d

Od 1. dubna 2017 nahrazuje C45d. Oproti starší sazbě přibyl požadavek na napájení přímotopu a případného ohřevu teplé vody samostatným napájením a samostatným měřícím přístrojem. Zároveň byla podmínka poměru příkonu přímotopu k celkovému příkonu nahrazena následující podmínkou:

Tepelný výkon hybridních a přímotopných elektrických spotřebičů odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu nebo odpovídá minimálně 80 % pokrytí dílčí potřeby energie na vytápění uvedené v průkazu energetické náročnosti budovy (2)

#### C55d a D55d

Sazba je určena pro odběrná místa vytápěná tepelným čerpadlem uvedeným do provozu před 31. březnem 2005. Doba trvání nízkého tarifu je 22 hodin denně a stejně jako v případě sazeb pro přímotopy může být rozdělena do nejvýše sedmi úseků, ne kratších než jedna hodina. Platí zde stejný požadavek jako v případě C46d na pokrytí tepelných ztrát vytápěného objektu.

#### C56d a D56d

Pro čerpadla uvedená do provozu v období od 1. dubna 2005 do současnosti (C56d) nebo do 31. března 2016 (D56d). Jsou zde pouze drobné rozdíly oproti C55d/D55d, jedinou větší změnou je, že čerpadlo musí být napájeno samostatným příívodem.

#### D57d

Nová sazba pro domácnosti platná od 1. dubna 2016, která platí jak pro tepelná čerpadla, tak pro přímotopy. Na rozdíl od D56d je doba trvání NT pouze 20 hodin, které mohou být rozděleny na maximálně sedm úseků. Na rozdíl od D55d a D56d není podmínkou pokrytí tepelných ztrát, ale stejně podobně jako v případě D35d je nutný minimální poměr příkonu tepelného spotřebiče k celkovému

příkonu hlavního jističe minimálně 40 %. Jako v případě D56d musí být tepelný spotřebič napájen samostatně.

## 1.2. Měření spotřeby

Paragraf 3 Vyhlášky č.82/2011 Sb. stanovuje čtyři typy měření, A, B, M a C

### Měření typu A

- *průběhové měření s dálkovým denním přenosem údajů, a průběžný záznam střední hodnoty činného a jalového výkonu za měřicí interval provádí přímo měřicí zařízení<sup>1</sup>*
- Měřicí interval je 1 čtvrt hodina, vyhodnocovací interval je 1 hodina, zpracování a přenos jednou denně
- Měří se jím například předávací místa mezi distribuční a přenosovou soustavou, mezi distribučními soustavami s napětím vyšším než 1kV, a odběrná místa zákazníků s odběrem z přenosové soustavy, případně z distribuční s napětím na 52 kV

### Měření typu B

- *měření typu B, kterým je průběhové měření s dálkovým jiným než denním přenosem údajů, a průběžný záznam střední hodnoty činného a jalového výkonu za měřicí interval provádí přímo měřicí zařízení; pokud není možné uskutečnit dálkový přenos údajů z technických důvodů, je možné přenos údajů provést jiným způsobem<sup>2</sup>*
- Měřicí interval je 1 čtvrt hodina, vyhodnocovací interval je 1 hodina, zpracování a přenos jednou měsíčně
- Měří se jím například předávací místa mezi distribučními soustavami s napětím do 1 kV, předávací místa výroben s napětím do 1 kV a výkonem nad 10 kW a větší odběratelé

### Měření typu M

- Stejně intervaly a definice jako měření typu B, používá se u předávacích míst výroben elektřiny do 10 kW (malých FVE) a odběrných míst zákazníků připojených k dané výrobně
- Toto měření je podmínkou uplatnění podpory formou hodinového zeleného bonusu

### Měření typu C

- Ostatní měření, není průběhové, může být s dálkovým přenosem údajů
- Zpracování a přenos údajů nejméně jednou za rok
- Vzhledem k tomu, že z měřicího přístroje typu C lze odečíst pouze aktuální hodnotu a odečtením hodnoty z počátku měřeného období získat spotřebu za období, využívá se pro stanovení údajů o spotřebě přiřazený typový diagram dodávky (TDD).<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> § 1 odst. 2 Vyhlášky č. 82/2011 Sb.

<sup>2</sup> § 1 odst. 2 Vyhlášky č. 82/2011 Sb.

<sup>3</sup> § 4 odst. 5 Vyhlášky č. 82/2011 Sb.

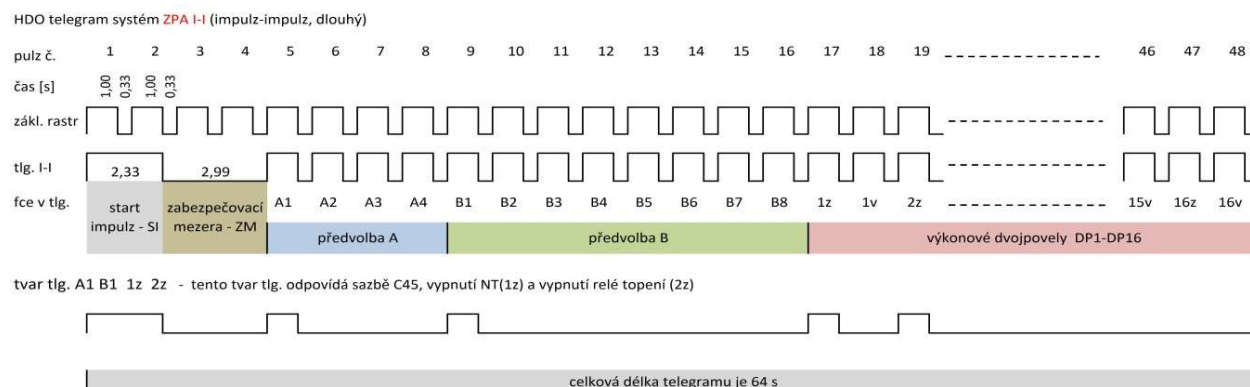
### 1.3. Systém HDO, popis jeho funkce

Po popisu dvoutarifního systému, je na řadě popsat způsob, jakým odběrné místo pozná, že je aktuálně v nízkém tarifu a připne akumulaci spotřebiče, či tepelná čerpadla. K tomuto účelu slouží Hromadné dálkové ovládání neboli HDO. HDO se v Československu používá od 60. let 20. století s největším rozvojem v 70. a 80. letech a v současnosti jich je namontováno přes jeden milion na celém území České republiky, z toho okolo 140 tisíc<sup>4</sup> na území PREdistribuce. (3) Podle studie Ministerstva průmyslu a obchodu z roku 2012, posuzující přínosy inteligentních měřících systémů, umožňuje HDO řízení výkonu na úrovni 400–700 MW (zhruba 6–9% zatížení). (4)

Systém se skládá z vysílačů umístěných v rozvodnách převážně na hladině 22 kV a přijímačů umístěných v odběrném místě. Vysílače vysílají do sítě telegramy skládající se ze série impulzů. Každý impulz začíná Startovacím impulzem, následovaný Zabezpečovací mezerou a poté informačními impulzy. Impulzy jsou vysílány trojfázově, aby procházely přes síťové transformátory a bylo je možno umístit kamkoliv v síti. (5)

Přijímač obdrží signál z HDO a pokud signál odpovídá nastavenému tarifu, inicializuje elektroměr přepnutí na počítadlo počítající spotřebu v době NT (veškerou spotřebu, nejen bojler či přímotop). Rovněž dojde k sepnutí relé, které připojí blokované spotřebiče.

Existuje více frekvencí impulsů v rozsahu od 183,33 Hz až do 1 060 Hz. Na většině republiky je kmitočet 216,66 Hz, v severních Čechách je již zmíněných 183,33 Hz a na severní Moravě potom 283,33 Hz. Další frekvence jsou pak na malých lokalitách. (6)



Obrázek 1 Telegram HDO

<sup>4</sup> Číslo poskytnuté společností PREdistribuce, a.s.

## 2. Chytré elektroměry a možnosti náhrady HDO chytrými elektroměry

### 2.1. Současné elektroměry

Jak bylo popsáno v první kapitole, české domácnosti jsou v naprosté většině případů vybaveny elektroměry pro Měření typu C. Protože toto měření vyžaduje zpracování a přenos pouze v rozsahu nejméně jednou ročně, není zde dálkový přenos dat a odečet probíhá formou osobní návštěvy technika (v Praze odečty provádí PREměření). Technik provede osobní odečet údajů z elektroměru, případně pokud majitel bytu nemůže být v době odečtu přítomen, může majitel provést samoodečet a hodnoty nahlásit telefonicky distributorovi.

Vzhledem k počtu odběrných míst probíhají odečty na různých místech v různé části roku.

Elektroměry byly dříve mechanické, kdy spotřebu udával jeden nebo dva číselníky (podle toho, jestli šlo o odběrné místo s jedno – či dvoutarifní sazbou) nebo v současnosti používané digitální, vybavené displejem s informacemi o spotřebě.

Současné „hloupé“ elektroměry mají několik nevýhod. Největší je pravděpodobně již zmíněná absence dálkového přenosu dat, vyžadující manuální odečty. Elektroměr rovněž nezaznamenává průběh spotřeby v roce, pouze kumulovanou spotřebu. Nemá rovněž schopnost zaznamenávat jakékoli jiné veličiny, jako jalovou energii, výkonové špičky, či další. Výhodou je pak samozřejmě znatelně nižší cena oproti chytrým elektroměrům. Rovněž nevyžadují existenci infrastruktury pro přenos, zabezpečení a zpracování dat.



Obrázek 2 Ukázky elektroměrů nainstalovaných v současnosti v českých domácnostech

### 2.2. Chytré elektroměry (Inteligentní měřicí systémy)

Základním předpokladem zavedení dynamických tarifů je existence inteligentních měřicích přístrojů. Chytré elektroměry (označované v legislativě jako inteligentní měřicí přístroje) jsou elektroměry schopné oboustranné komunikace, tedy automatického přenosu a ukládání dat o spotřebě u distributora namísto nutnosti manuálních odečtů, a naopak přijímání povelů od distributora a jejich zpracování, což by umožnilo nahradit HDO. Díky průběhovosti měření zde nezískáme pouze celkovou kumulovanou spotřebu, ale i informace o spotřebě za každý interval měření který může být klidně i minuta, nicméně v této práci pracuji s daty měřenými ve čtvrt hodinovém intervalu. Kromě využití dat distributorem je zde využít i pro majitele, který získává přesný přehled o své spotřebě elektřiny.

Jejich funkce navíc oproti současným elektroměrům nekončí u dálkového přenosu dat o spotřebě elektřiny. Chytré elektroměry mohou rovněž zaznamenávat (a odesílat) další veličiny zmíněné v popisu standardních elektroměrů.

Důležitou vlastností pro provozovatele soustavy je možnost odpojit dálkově odběrné místo, případně snížit velikost jističe a tím omezit klientovu maximální spotřebu. Tyto funkce jsou použitelné jak k řízení spotřeby v případě stavu nouze, tak k odpojování neplatičů. (7) V současné době však toto není v České republice legislativně umožněno.

### 2.3. Legislativa Evropské unie ohledně AMM

Evropská unie dlouhodobě považuje chytré elektroměry za jeden z kroků ke zvýšení energetické účinnosti zvýšením aktivní účasti spotřebitelů na trhu s dodávkami elektřiny<sup>5</sup>. Ve Směrnici 2009/72/ES „o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a zrušení směrnice 2003/54/ES“ (8) jsou definovány požadavky na inteligentní měřicí systémy. Ty jsou dále upřesněny ve Směrnici 2012/27/EU (9), která definuje inteligentní měřicí systém jako

*„elektronický systém, který může měřit spotřebu energie, přičemž oproti běžnému měřiči poskytuje více informací, a může přenášet a přijímat údaje za použití určité formy elektronické komunikace“<sup>6</sup>*

Podle těchto dokumentů by inteligentní měřicí přístroj měl splňovat následující požadavky:

- Měřit skutečnou spotřebu elektřiny a poskytnout konečným zákazníkům informace o spotřebě v pásmech časově rozlišeného tarifu
- Poskytnout údaje o historické spotřebě snadno a bez dalších nákladů ve vizuálním zobrazení
  - Souhrnné údaje musí být za dobu nejméně tří let, nebo za období od vstupu smlouvy o dodávkách v platnost a interval odpovídá intervalu vyúčtování
  - Podrobné údaje jsou informace o spotřebě za jakýkoliv den, týden, měsíc, nebo rok a jsou za dobu nejméně 24 měsíců.<sup>7</sup>
- V případě, že zákazník dodává elektřinu do sítě, zajistí přístroj měření do sítě dodané energie

V červnu 2019 vydala Evropská unie Směrnici 2019/944 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU. Jak již název napovídá, upravuje tato směrnice předchozí zmíněnou směrnici a dále rozšiřuje práva konečných zákazníků v oblasti obchodu s elektřinou, a to včetně práv týkajících se chytrých elektroměrů.

### 2.4. Implementace v České republice

Směrnice 2009/72/ES požaduje po členských státech zavedení inteligentních měřících přístrojů na základě ekonomického „posouzení všech dlouhodobých nákladů a přínosů pro trh a jednotlivého spotřebitele nebo posouzením toho, jaký způsob inteligentního měření je z hospodářského hlediska nejprůměrnější a nákladově nejefektivnější a jaký harmonogram jejich distribuce je proveditelný“<sup>8</sup>

Ministerstvo průmyslu a obchodu provedlo toto posouzení v roce 2012. Výsledkem posouzení jsou následující závěry:

- Vzhledem k existenci systému HDO u zákazníků využívajících dvoutarifní systém již mají zákazníci k dispozici jeden z požadavků EU (informaci o aktuálním tarifu).
- Potenciál úspor u zákazníků, kteří nepoužívají elektřinu k vytápění a akumulárnímu ohřevu vody, je nízký

<sup>5</sup> Článek 3 odst. 11 a Příloha 2 odst. 2 Směrnice 2009/72/ES

<sup>6</sup> Bod 28 Článek 2, Kapitola I, Směrnice 2012/27/EU

<sup>7</sup> Článek 10, Směrnice 2012/24/EU

<sup>8</sup> Příloha č.1 Odst. 2 Směrnice 2009/72/ES



- Náhrada současného systému, který již přináší většinu možných úspor novým systémem, by nepřinesla výrazné úspory, a naopak by přinesla další náklady na straně distributora ve formě infrastruktury
- Nový systém by přinesl vysoké nároky na kybernetickou bezpečnost, které HDO nevyžaduje
- Pilotní projekty neprokázaly zájem zákazníků o cenu elektřiny odvíjející se od ceny na burze (projekty proběhly do roku 2012, tedy dlouho před Směrnicí 2019/944/EU), ani o komplikovanější produkty, jako je například třítarif
- Ani masivní pokles cen Inteligentních měřících zařízení by nepřinesl kladné NPV
- Navrhuje zachovat HDO v současné podobě minimálně do roku 2020 a pokračovat v pilotních projektech (4)

V roce 2015 vydalo MPO Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG), který byl na podzim roku 2019 aktualizován (10).

V souvislosti s aktualizací vydalo MPO rovněž Hodnotící zprávu k akčnímu plánu. (11) Podle zprávy proběhly zatím převážně „analytické, definiční a kvantifikační práce“ a rovněž několik legislativních úprav. Mezi výstupy, relevantní k této práci, patří

- *Harmonogram úpravy dispečerského řízení v letech 2020–2024, paralelně s nasazením AMM;*
- *Zavedení možnosti instalace AMM/AMR měřidla komunikovaného přes GPRS (za úhradu vícenákladů);*
- *Zavedení operativního spínání časů nízkého tarifu prostřednictvím HDO*
- *Definice technických parametrů AMM;* (11)

Samotný Národní akční plán (NAP) obsahuje tři strategické cíle. Pro chytré měření u konečných odběratelů je relevantní třetí z cílů, který zní

***„Zajistit vyšší dostupnost informací zákazníkům s cílem umožnit zvýšení energetické účinnosti spotřeby energie a jejich aktivní zapojení do trhu s elektřinou a souvisejícími službami včetně peer-to-peer platform. Hlavním prostředkem pro splnění tohoto cíle bude postupné zavedení inteligentních měřících systémů (v souladu s požadavky Směrnice (EU) 2019/9443). Jedním z kritérií pro hodnocení úspěšnosti implementace bude dodržení harmonogramu v upravené vyhlášce o měření elektřiny. Její dokončení je naplánováno na konec roku 2019.“***<sup>9</sup>

Co se týká implementace inteligentního měření, NAP obsahuje Realizační projekt 13, „Implementace inteligentního měření“, který počítá se zahájením implementace inteligentního měření v roce 2023 a dále v souladu s harmonogramem ve vyhlášce o měření elektřiny. Vydání této vyhlášky, zmiňované v předchozím odstavci, je posunuto na 1. července 2020 a v době psaní této práce není veřejně dostupná.

Cíl projektu zní: *„Zavedení průběhové (sic) měření na hladině nn v souladu s evropskou legislativou. Se zavedením inteligentního měření je nutné stanovit parametry, podmínky, a postupy pro realizaci měření AMM v DS. Upřesnit technické standardy nezbytné pro nasazení AMM a zpracovat do právních norem.“*

<sup>9</sup> Manažerské shrnutí Národního akčního plánu pro chytré sítě 2019–2030 (10)



Hlavní očekávané přínosy projektu jsou:

- Rozvoj trhu (především s flexibilitou)
- Zajištění vyšší informovanosti spotřebitele o spotřebě
- Zrychlení změny dodavatele (resp. bez nutnosti odhadu spotřeby)
- Potenciál efektivnějšího odhalení netechnických ztrát
- Jednodušší řešení odpojení
- Příprava pro tarifní strukturu
- Efektivnější řešení změn tarifu
- Úspora nákladů na manuální odečty<sup>10</sup>

Plán samozřejmě obsahuje další projekty, přímo či nepřímo související s inteligentním měřením, jako je například „Implementace chytrých stanic na hladině vn“(Projekt 14), či „Rozvoj a výstavba optické telekomunikační infrastruktury“ (Projekt 18). (10)

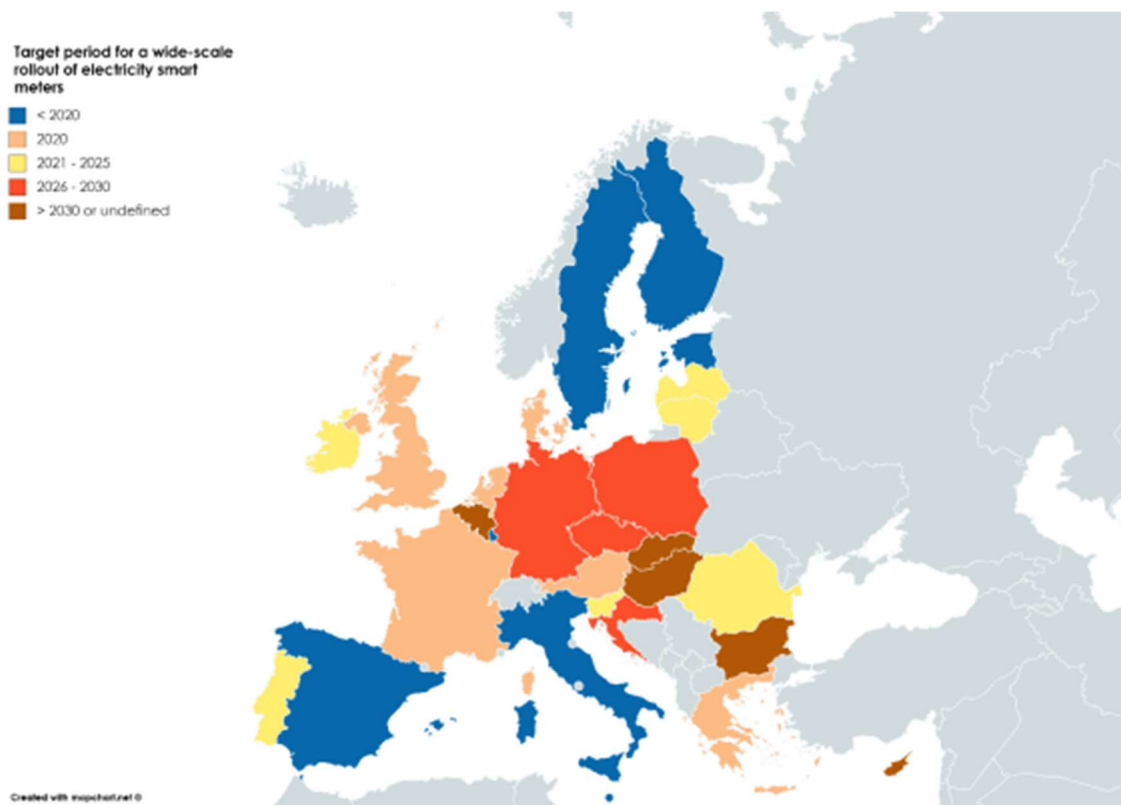
---

<sup>10</sup> Opatření 13 Implementace inteligentního měření NAP SG

## 2.5. Příklady implementace v okolních zemích

V některých evropských zemích již instalace chytrých elektroměrů proběhla, případně v současné době probíhá. Tato podkapitola tedy slouží jako stručné představení jejich přístupu k problematice. Nebudou zde popsány všechny Evropské země, pouze výběr některých z nich, doporučených vedoucím práce.

Pro celkovou představu, jaké jsou časové plány jednotlivých členských zemí, poslouží mapka níže. Jedná se ovšem pouze o plány, a tak i když mapa ukazuje cíl dokončení implementace AMM ve Velké Británii již v tomto roce, realita je, jak bude popsáno dále, poněkud odlišná a v současnosti se plánuje na rok 2024.



Obrázek 3 Plány implementace inteligentních měřících přístrojů v 80 % odběrných míst

### 2.5.1. Velká Británie

Příprava na implementaci chytrého měření začala ve Spojeném království v roce 2008 s cílem nainstalovat 53 milionů přístrojů do 30 milionů domácností do roku 2020. Na rozdíl od jiných zemí není za instalaci zodpovědný distributor, ale dodavatel elektřiny. Na chytrý elektroměr má nárok každý odběratel a je zdarma. (12) Samotná instalace první generace přístrojů (SMETS 1) začala v roce 2012. První generaci přístrojů provázely technické problémy, kdy přestaly fungovat pokročilé funkce, které z nich činí „chytré“ přístroje, v oblastech se slabším signálem, případně v domech se silnými zdi. Pokročilé funkce rovněž přestaly fungovat, pokud zákazník změnil dodavatele elektřiny. Tyto nedostatky byly opraveny ve druhé generaci (SMETS 2), zaváděné od roku 2018. Na rozdíl od přístrojů například v České republice není interval měření 15 minut, ale 30 minut.

K září 2019 bylo nainstalováno 15,6 milionů přístrojů, což představuje pokrytí 28 % domácností a 38 % v nebytových prostorách. (13) Původní termín dokončení instalace do roku 2020 byl tedy v roce 2019 posunut o čtyři roky do roku 2024.

### 2.5.2. Švédsko

Tato severská země začala se zaváděním „chytrých“ elektroměrů již v roce 2003. Tehdejší elektroměry ale nebyly chytrými tak, jak jsou v současnosti definovány v evropské legislativě. Nejednalo se o technologii AMM, ale pouze o AMR (Automatic meter reading), tedy jednosměrný přenos dat. Důvodem zavedení byla nespokojenost se stávajícím systémem, podobným našemu systému, kdy se platí měsíční zálohy, jež se na konci ročního období zúčtují. Proto se přešlo na měsíční měření. Legislativa přímo nevyžadovala instalaci AMR, nicméně společnosti (na rozdíl od Velké Británie zde se jednalo o distributory, nikoliv dodavatele) vyhodnotili instalaci přístrojů jako ekonomičtější z variant. Instalace byly dokončeny v roce 2009. (14)

Vzhledem k zastaralosti AMI technologie a pouze měsíčního měření se švédská vláda rozhodla zpřísnit požadavky na elektroměry. Nově se požaduje hodinové měření a možnost uživatelů sledovat svoji spotřebu. Výměna více než 5 milionů přístrojů by měla být hotová na začátku roku 2025. (15)

### 2.5.3. Španělsko

Druhou zemí, které již mají kompletní pokrytí chytrými elektroměry, je Španělsko. Projekt instalace chytrých elektroměrů započal v roce 2010 a výměna elektroměrů ve všech 26 milionech odběrných míst byla dokončena v roce 2018. Výměna je bezplatná, nicméně ve Španělsku se platí za pronájem elektroměru a u chytrého elektroměru je částka nepatrně vyšší. (16)

Španělsko je pro tuto práci zajímavé proto, že je zde dynamický tarif (Real-time-pricing) zaveden jako základní tarif, i když odběratelé si mohou vybrat jiný způsob. Zhruba 12 z 26 milionů odběrných míst využívá tohoto dynamického tarifu.

### 2.5.4. Slovensko

Zatímco Česká republika teprve připravuje legislativu na zavedení AMM, na Slovensku existuje legislativa již od roku 2013. Vyhláška č. 358/2012 Z. z. (17) přikazuje povinnost instalace těchto elektroměrů pro odběratele s roční spotřebou na odběrném místě nejméně 4 MWh.<sup>11</sup> Výměna stávajícího elektroměru za chytrý je pro odběratele spadající do výše uvedené kategorie bezplatná. Výměna by měla proběhnout do konce roku 2020.

Základními požadavky na elektroměr je schopnost oboustranné výměny dat, zaznamenávání každých 15 minut s přenosem a vyhodnocováním nejméně 1 měsíčně, spínání tarifu dle aktuální sazby a schopnost dálkové změny času spínání sazeb. (17)

---

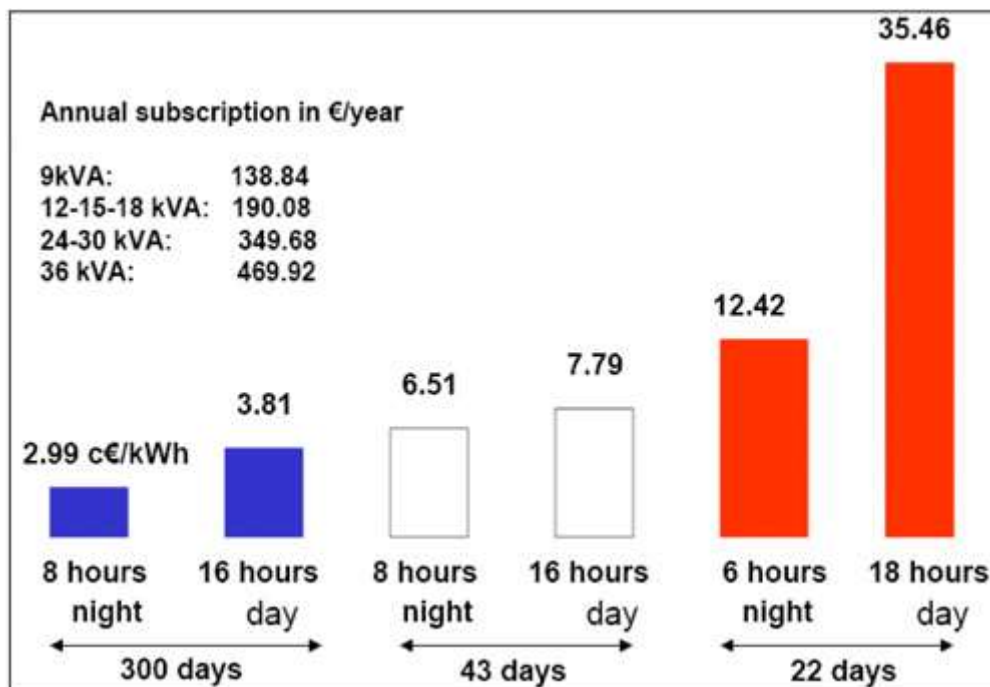
<sup>11</sup> § 3 odst. 4 Zákona č.358/2012 Z. z. a § 7 Zákona č.358/2012 Z. z.

## 2.6. Dynamické tarify

Lze nalézt různé definice dynamických tarifů. Někde za dynamický tarif považují prakticky vše, co není jednotarifní sazba, tedy dokonce i *Time-of-use* neboli TOU, což je v překladu výše popsavý dvoutarifní systém, fungující v České republice.

Naprostým opakem jednotarifní sazby je Real-time pricing. Zde se cena elektřiny odvíjí od ceny na spotových trzích, nejčastěji denních. Ceny jsou zveřejněny po uzavření denního trhu. V ČR by to tedy bylo po jedenácté hodině dopoledne předchozího dne, zatímco v již zmíněném Španělsku se ceny uzavírají až v 20:15 večer. Výsledná cena elektřiny je tvořena regulovanými složkami, jako u kteréhokoliv jiného tarifu, cenou silové elektřiny pro aktuální hodinu a poplatky a maržemi obchodníka. (18)

Další metody, které sem bývají zařazovány, jsou různé kombinace TOU a real-time-pricing. Critical peak pricing (CPP), je model, kdy je cena elektřiny po většinu roku nižší, a pouze několik dnů v roce značně vyšší. Příkladem je tarif *Option Tempo* francouzské státní společnosti Electricité de France (EDF). Princip je vidět na grafu níže.



Obrázek 4 Option Tempo tarif ve Francii

Po většinu roku mají zákazníci nejnižší sazbu (Jours Bleus), a ve dnech větší poptávky, potom buď střední (Jours Blanc), nebo dokonce nejvyšší (Jours Rouges). Počet dní v roce, kdy mohou být vyšší ceny, je omezen, viz graf. Není ale předem stanoveno na celý rok, který den bude která sazba, pouze kolikrát do roka může nastat. Zákazníci se dozví, jakou sazbu budou na následující den mít, na základě signálu vyslaného do elektroměrů ve 20:00 předcházejícího dne. (19)

Ceny elektřiny na grafu jsou pro rok 2010, nicméně počet dní ani délky trvání vysokého a nízkého tarifu v průběhu dne se od té doby nezměnily.

Další možností je potom Variable peak pricing (VPP), kdy jsou časy vysokých a nízkých tarifů stanoveny fixně dopředu, ale cena elektřiny ve vysokém tarifu se mění, přičemž může být stanovena přímo v závislosti na ceně na trhu, nebo může být několik cen a je vždy zvolena jedna z nich podle situace (20)

Evropská unie se dynamickými tarify zabývá v již zmíněné Směrnici 2019/944/EU. V důvodech ke Směrnici se zmiňuje přesvědčení, že „všichni spotřebitelé by měli mít možnost využívat výhod plynoucích z přímé účasti na trhu, zejména upravovat svou spotřebu podle tržních signálů a na oplátku mít prospěch z nižších cen elektřiny nebo jiných motivačních plateb<sup>12</sup>“.

Jednou z novinek ve směrnici je proto právě nárok na smlouvu s dynamickým určováním ceny elektřiny. Každý zákazník, který má nainstalován inteligentní elektroměr (ať už se země rozhodla implementovat inteligentní měřicí přístroje plošně, anebo ne), má mít možnost požádat o uzavření smlouvy s dynamickým určováním ceny u minimálně jednoho dodavatele v každé zemi a každého dodavatele s více než 200 000 konečných zákazníků. Členské státy musí rovněž zajistit, aby byli zákazníci dostatečně informováni o rizicích, které takové smlouvy přináší.<sup>13</sup>S tím souvisí nově přidaný požadavek na inteligentní elektroměry, a to „umožňují konečným zákazníkům, aby měření a vypořádání probíhalo se stejným časovým rozlišením, jako je interval zúčtování odchylek na vnitrostátním trhu.“<sup>14</sup>

---

<sup>12</sup> Důvod 37 Směrnice 2019/944/EU

<sup>13</sup> Článek 11 Směrnice 2019/944/EU

<sup>14</sup> Článek 20 Směrnice 2019/944/EU

### 3. Zpracování dat z elektroměrů, určení říditelné energie a říditelného výkonu a analýza vlivu dvoutarifu a zda chování zákazníka odpovídá tarifu

Po úvodních dvou kapitolách, jež poskytly nezbytné teoretické podklady, přišel nyní čas na samotnou analýzu dat. Od společnosti PREdistribuce a.s. jsem získal data z pilotního projektu AMM, jež jsem zpracoval a na základě nichž v této kapitole provedu analýzu chování odběratelů, zejména jak a jestli vůbec reagují na nízký tarif. Pokud reagují, očekával bych viditelné nárůsty v době NT, obzvláště na začátku, když bojler po přepnutí do NT na základě HDO signálu sepne. Pokud naopak bojler nevyužívají (navzdory přiznané sazbě, jejíž podmínkou je právě instalace přístroje k akumulaci ohřevu teplé vody), budou v době NT velmi malé nárůsty oproti hodnotám ve vysokém tarifu před a po intervalu nízkého tarifu.

Po analýze chování přejdu k druhé části této kapitoly, věnující se stanovení, kolik energie se vlastně spotřebuje v době nízkého tarifu oproti okolní spotřebě, a o kolik by se lepším rozložením dala snížit špička spotřeby vznikající sepnutím všech bojlerů.

#### 3.1. Soubor dat

V tabulce níže je uveden celkový počet elektroměrů, s jejichž daty pracuji, dále rozdělený podle jednotlivých tarifů. Vzhledem k tomu, že podmínky přiznání a doby trvání nízkého tarifu jsou pro podnikatele i domácnosti prakticky identické (jak je popsáno v první kapitole), a protože počet elektroměrů s tarify pro podnikatele je velmi malý (84 elektroměrů se sazbou pro domácnosti a jen 6 se sazbou pro podnikatele), beru odpovídající sazby jako identické a pracuji s nimi dohromady.

Analýza bude probíhat pouze pro skupiny C25d/D25d a C45d/D45d. Vzorek pro skupiny C35d/D35d a C55d/D55d je naneštěstí příliš malý pro jakékoliv relevantní závěry

<b>C25d/D25d</b>	<b>66</b>
<b>C35d/D35d</b>	<b>2</b>
<b>C45d/D45d</b>	<b>24</b>
<b>C55d/D55d</b>	<b>1</b>
<b>Celkem</b>	<b>93</b>

*Tabulka 2 Rozdělení odběrných míst podle sazeb*

Data pocházejí ze dvou lokalit, Praha-Kunratice (53 elektroměrů) a Praha-Smíchov poblíž Smíchovského nádraží (40 elektroměrů). Jak je vidět z mapy a satelitních snímků, jedná se tedy o naprosto odlišné lokality z hlediska odběrných míst. Na Smíchově se jedná o bytové jednotky, zatímco v Kunraticích jde o rodinné domy.

To se samozřejmě podepisuje na rozložení jednotlivých sazeb mezi obě lokality. Kunratice obsahují obě odběrná místa se sazbou D35d i jediné odběrné místo se sazbou D55d. Nachází se zde rovněž naprostá většina odběrných míst se sazbou C45d/D45d (19 z 24).

##### 3.1.1. Časový rozsah dat

Rozsah jsem zvolil jeden kalendářní rok, od 7. září 2018 do 6. září 2019. Roční interval byl zvolen, aby bylo možné sledovat chování spotřeby v závislosti na části roku, s čímž pracuji v analýze chování odběrných míst se sazbou C45d/D45d, kde se vzhledem k podmínkám sazby dají očekávat výrazné rozdíly mezi topnou sezonou a mimo ni. Volba datumů začátku a konce právě takových, jaké jsem zvolil, byla dána stavem dat. Ne všechna odběrná místa se pilotního projektu účastnila ve stejnou dobu

a nejvíce dat bylo k dispozici právě pro toto období, a na základě toho jsem tomu tedy uzpůsobil volbu intervalu.

### 3.1.2. Poměrné jednotky

Jelikož jednotlivá odběrná místa mají různé velikosti jističe a v případě sazby C25d/D25d se navíc vyskytují jak jednofázové, tak třífázové odběry, používám v řadě případů při práci s daty (jde hlavně o tvorbu grafů či porovnávání více odběrných míst) poměr mezi skutečnou spotřebou a maximální možnou spotřebou za interval měření. Díky tomu mohu porovnávat odběrná místa s různými velikostmi jističe.

Maximální možnou spotřebu za 15 minut počítám pomocí následujících vzorců

$$\text{jednofázové } E = U_f * I * \cos\varphi * \frac{1}{4} \text{ [Wh]}$$

$$\text{třífázové } E = \sqrt{3} * U_s * I * \cos\varphi * \frac{1}{4} \text{ [Wh]}$$

$U_f$  = napětí fázové [V]

$U_s$  = napětí sdružené [V]

$I$  = proud [A]

$\cos \varphi$  = účinník

*Rovnice 1 Výpočet maximální možné spotřeby za 15minutový interval*

Vzorce jsem převzal ze stránek společnosti PREměření, kde je rovněž uvedeno, že se běžná hodnota účinníku blíží 0.95, a proto jsem i já počítal s touto hodnotou účinníku. Rozdíl mezi  $\cos \varphi$  rovnajícimu se jedné a  $\cos \varphi$  rovnajícimu se 0,95 je i u odběrných míst s největšími jističi okolo 500 Wh při maximální spotřebě přes 10 tisíc Wh. (21)

## 3.2. Analýza sazeb C25d a D25d

Jako první jsem analyzoval zdaleka nejvyužívanější (v Praze je 82 tisíc míst s touto sazbou) dvoutarifní sazbu C25d/D25d, určenou pro akumulaci ohřev vody.

### 3.2.1. Řiditelná energie

Za říditelnou energii považuji tu část spotřeby, která se odehrává navíc v době nízkého tarifu. Nejedná se o veškerou energii v době NT, jelikož řada spotřebičů jako lednička, mrazák či Wi-Fi router běží celých 24 hodin bez ohledu na to, zda je zrovna nízký tarif, či nikoliv. Rovněž spotřebiče typu televize či počítač mohou být puštěny celý den a podílí se tedy na základní spotřebě. Tyto přístroje se na základní spotřebě mohou podílet i v noci, pokud jsou ponechány v pohotovostním režimu.

Řiditelná energie je tedy energie v době NT navíc k výše popsané základní energii. Pro tyto sazby stanovuji základní energii jako průměr ze tří hodnot před začátkem nízkého tarifu a ze tří hodnot po skončení nízkého tarifu.

### 3.2.2. Noční část NT

Ačkoliv existuje jedna TOU, kde je pouze jeden osmihodinový úsek nízkého tarifu (od 23:00 do 7:00 ve všední dny a 23:40 až 7:40 o víkendu), mezi odběrnými místy v poskytnutých datech se žádné místo s touto TOU nevyskytlo. Všechna odběrná místa měla NT rozdělený na pětihodinový úsek v noci a tříhodinový úsek v odpoledních hodinách. Časy nejsou jednotné pro všechna odběrná místa, pro noční úsek se pohybují mezi 0:40 a 6:20 ve všední dny, zatímco o víkendu byl čas posunutý na později (nejzazší konec pro neděli je až v 8:20).

### 3.2.3. Využití NT

K posouzení, zda odběrné místo využívá dvoutarifní k ohřevu teplé vody v bojleru, jak by se dalo očekávat, jsem jako první ukazatel, na který jsem se zaměřil, zvolil celkovou spotřebu říditelné energie v době NT. Bojler má nezanedbatelnou spotřebu, na ohřev malého 50 litrového bojleru bude potřeba podle vzorce  $E = m * c * \Delta t$  přes 2,5 kWh. A to je pouze nejmenší bojler pro jednoho, maximálně dva obyvatele, pro rodinu s dětmi může být objem i trojnásobný.

Kdybych posuzoval, zda odběrné místo využívá dvoutarifní na základě této logiky, dospěl bych k tomu, že noční úsek NT využívá pouze méně než 1/6 odběrných míst (9 až 11 v závislosti na části týdne).

Výše popsaná úvaha ovšem předpokládá, že uživatelé každý půl den spotřebují komplet veškerou vodu. To ovšem nemusí být pravda, je možné, že určité množství vody zůstane v bojleru a díky nízkým tepelným ztrátám si tato zbytková voda zachová velkou část svého tepla, které přidá čerstvé studené vodě a díky tomu nebude ohřev ze studené vody z vodovodu o teplotě přibližně 10 °C, ale z teploty o něco vyšší.

Pokud by voda byla smíchána v přibližném poměru 1:1 (a při určitých tepelných ztrátách), mohla by se výsledná teplota pohybovat okolo 30 °C. Na ohřátí by pak bylo potřeba 1,75 kWh. Při takovéto klasifikaci by se za odběrná místa využívající NT dalo prohlásit okolo 16 míst. To představuje 21 % míst, což stále není příliš vysoké číslo.

Dalším argumentem pro snížení minimální hranice, od kdy by se odběrné místo dalo klasifikovat jako využívající dvoutarifní je, že jelikož pracuji s mediány dat za celý rok, může tato hodnota být posunuta dolů nepřítomností obyvatel po určitou část roku (dovolené, služební cesty...). Tento argument by dával smysl, pokud by data byla za menší úsek než rok. I kdyby ale obyvatelé odjeli na celých pět týdnů (obvyklá délka dovolené) pryč, pořád se jedná pouze o 10 % roku a ač by to mohlo vést k posunu, nepředpokládám posun o více než pár set kWh.

Posledním argumentem, kterým by šlo nižší spotřebu zdůvodnit, je pozdější instalace elektroměru způsobující, že data za část roku mají nulové hodnoty. Tento argument ale není platný, jelikož jsem při výpočtu mediánu nulové hodnoty zanedbal (protože předpokládám, že alespoň 1 Wh spotřeba bude vždy díky již zmíněným spotřebičům jako lednička či mrazák).

Pokud však přijmu, že dovolené mohou medián spotřeby snižovat, lze připustit že i odběrná místa se spotřebou 1 kWh za NT ho alespoň většinu času využívají.

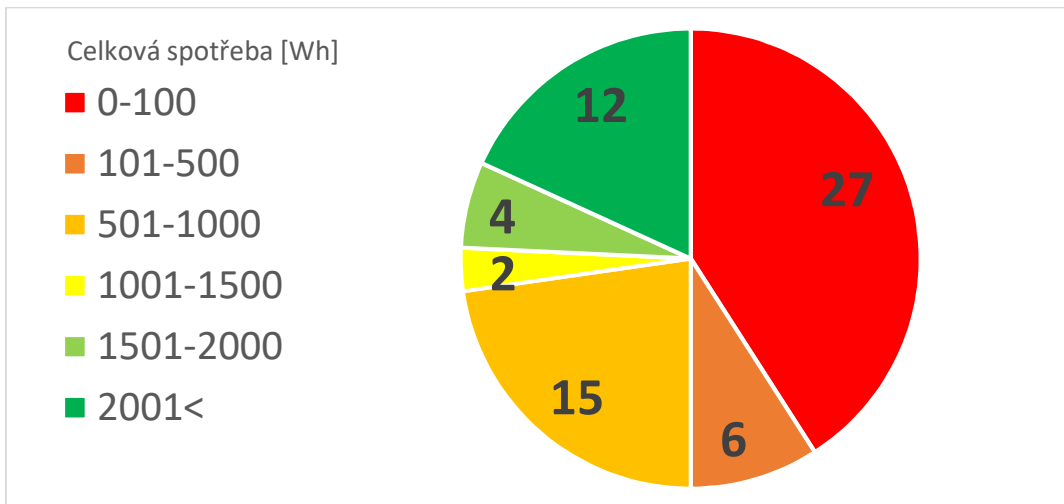
Žádný z výše uvedených argumentů však nemůže vést k tomu, aby celková říditelná energie byla v jednotkách, či desítkách W za tři, nebo dokonce pět hodin provozu.

Přesně v takovém rozsahu (méně než 100 Wh) se však pohybuje spotřeba více než třetiny odběrných míst ve vzorku. Na grafu níže je vidět přesné rozdělení podle počtu. Ve všední dny jde o 27 míst (40 % všech odběrných míst s tarifem C25/D25), které mají naprosto minimální reakci na NT. V pátek a sobotu jich do této kategorie spadá shodně 26 a v neděli, má takto nízkou spotřebu 24 míst.

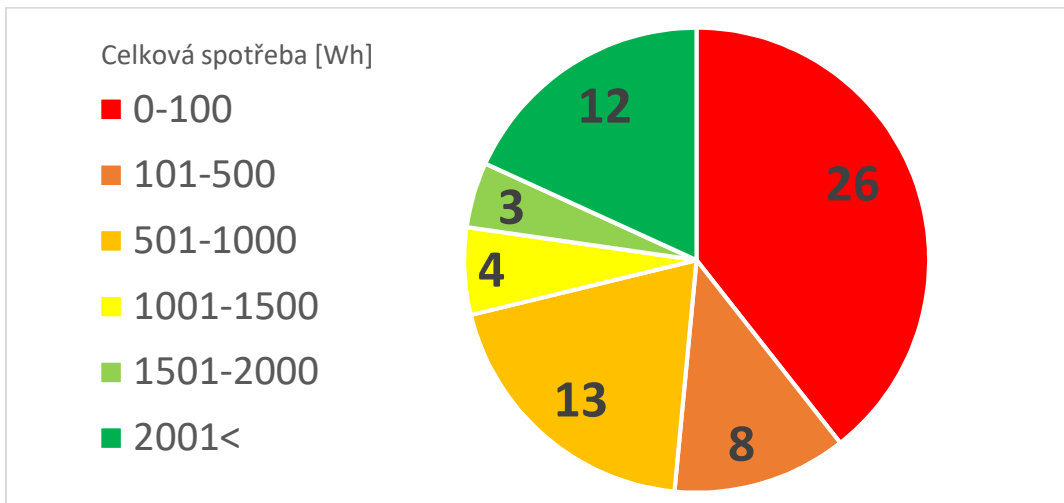
Další jednotky odběrných míst se pohybují v rozmezí od 100 Wh do 500 Wh. Ač ne tak očividně nereagující na nízký tarif, jako předchozí kategorie, pořád je jejich odběr říditelné energie na ohřev vody málo.

Celkem bych tedy přednesl na základě výše popsané logiky závěr, že z odběrných míst, z nichž jsem měl k dispozici data, a která mají přiznanou sazbu C25d či D25d jich přibližně 50 % nízkého tarifu v nočním úseku prakticky nevyužívá, jedna čtvrtina jej naopak intenzivně využívá a u jedné čtvrtiny nelze s naprostou jistotou stanovit.

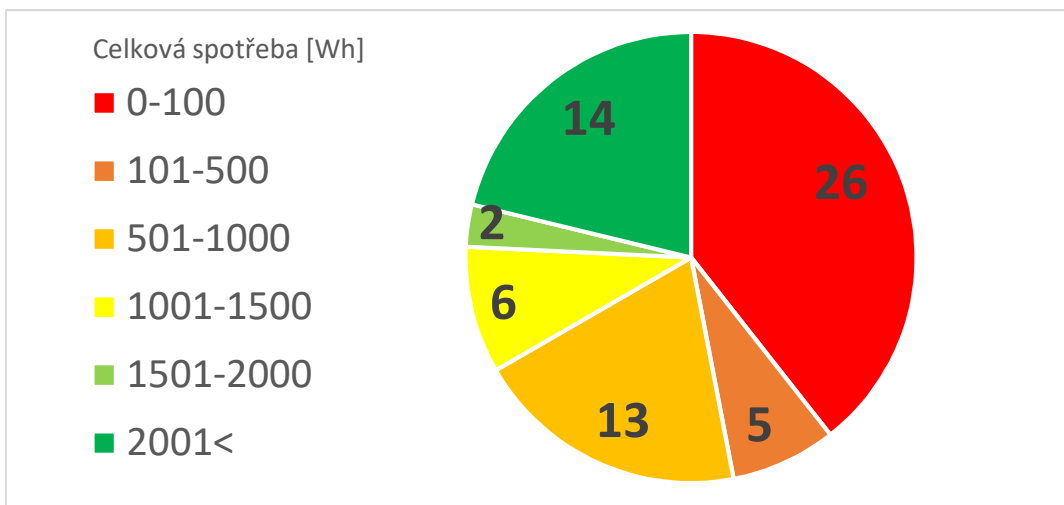




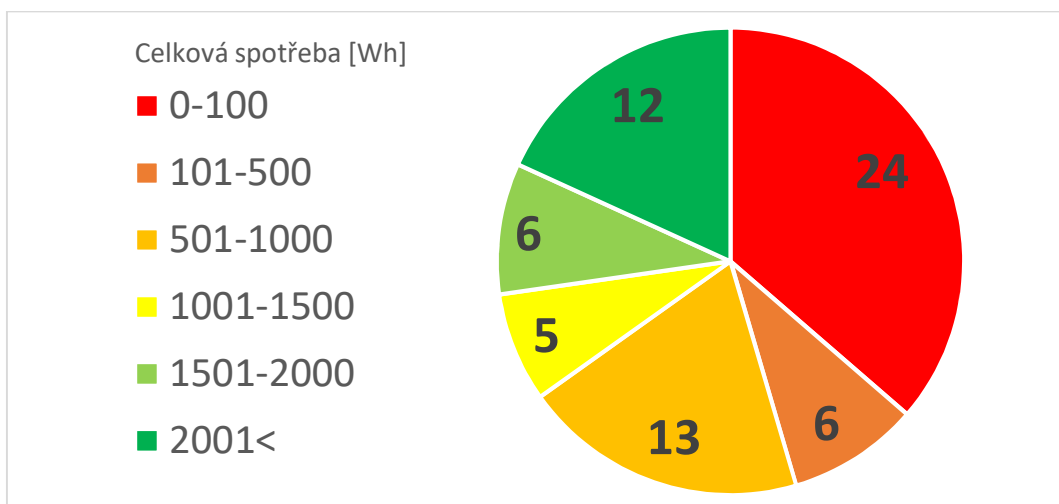
Graf 1 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (Po-Čt)



Graf 2 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (Pá)



Graf 3 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (So)



Graf 4 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (Ne)

#### 3.2.4. Rozdíl mezi pracovním dnem a víkendem

Na grafech výše je vidět, že o víkendů je méně míst s nižší spotřebou než ve všední dny. Rozdíl není ani tak u míst s velkým odběrem, ale je vidět nárůst počtu míst v rozsahu od 1 do 2 kWh na úkor rozsahu od 500 Wh do 1 kWh. To si vysvětlují lidmi potřebujícími více teplé vody na umytí se po výletech či sportovních aktivitách předchozí večer, a tedy je v bojleru více nové studené vody, kterou je v noci ze soboty na neděli potřeba ohřát.

#### 3.2.5. Využití NT v noci u odběrných míst s velmi malou spotřebou

Pokud má místo spotřebu v jednotkách až nízkých desítkách Watthodin za jednu čtvrt hodinu, a nevyužívá teda elektřinu k ohřevu vody, jaké spotřebiče odebírají tuto energii?

Možností je více, v případě domácností je nejočividnějším spotřebičem lednice. Lednice v kombinaci s mrazákem na pomezí třídy A+ a A++ mají udávanou roční spotřebu okolo 300 kWh. Spotřeba lednice v průběhu dne není konstantní, nicméně pro zjednodušení lze tuto roční spotřebu podělit 365 (dny) a následně 96 (čtvrt hodiny) a dostaneme spotřebu okolo 8 Watthodin za 15 minut, u nejušpornějších lednic třídy A+++ to může být i méně než 5 Watthodin.

Dalším spotřebičem, který je dnes stejně jako výše zmíněná lednice téměř v každé domácnosti, je Wi-Fi router. V noci, když je přenos dat přes zařízení velmi malý, mají příkon okolo 6 W (22), a tedy za čtvrt hodinu je spotřeba méně než 2 Wh

Ze 66 odběrných míst jich přibližně deset má velikost spotřeby v každou čtvrt hodinu pod 10 Watthodin. U těchto míst očekávám, že hlavními složkami budou právě lednička a router, u několika případů, kde je spotřeba za interval jen 4 watthodiny pak pravděpodobně pouze lednička.

U odběrných míst se spotřebou za interval mezi 10-50 Watthodinami mohou být důvodem výše uvedené spotřebiče, pouze s rozdílem, že spadají do nižší kategorie účinnosti, případně jsou jednoduše větší (lednice pro domácnost s jedním obyvatelem bude menší, a tedy s menší spotřebou než pro čtyřčlennou rodinu) Ostatní spotřebiče jako televize mají příkon ve standby režimu v jednotkách Wattů, ale pokud jich je více či jsou starší, může i jejich přínos být nezanedbatelný.

### 3.2.6. Porovnání chování odběrných míst s TDD – noční úsek

Jako druhý způsob, jak určit, zda odběrné místo využívá nízkého tarifu podle očekávání, jsem zvolil porovnání s typovým diagramem dodávky (TDD), převzatým ze stránek OTE a.s. (23) Spočítal jsem průměr z Přepočtených TDD pro odpovídající části týdne (pondělí-čtvrtek, pátek, sobota a neděle) a následně spočítal hodnoty pro jednotlivé hodiny pomocí následujícího vzorce (24)

$$O_h = O_R \frac{r_h}{\sum_{h=1}^{24} r_h}$$

$r_h$  = průměr relativních hodinových odběrů za rok pro jednotlivé hodiny

$h$  = hodina

$O_R$ =celková roční spotřeba [Wh] Protože potřebuji pouze poměr, počítám s  $O_h$  rovno jedné

*Rovnice 2 Výpočet hodinových spotřeb z Přepočtených TDD*

Pro TDD5 (Praha) je poměr mezi spotřebou v době NT a mimo ni (jelikož TDD jsou pouze na hodiny, a nikoliv na čtvrt hodiny, beru průměr z hodiny před a hodiny po NT) přibližně 1,35 pro všední den, 1,35 pro sobotu a 1,4 pro neděli. Z reálných elektroměrů ve vzorku má 35 elektroměrů v případě všedního dne minimálně tento poměr mezi NT a okolním VT a 31 jich má poměr menší, stejně tak v sobotu a v případě neděle je potom poměr 34 ku 32. Opět to tedy vychází zhruba 50:50 a potvrzuje to tak tvrzení, že zhruba polovina odběrných míst ve vzorku noční úsek NT nevyužívá.

### 3.2.7. Denní úsek NT

Druhá část NT je v odpoledních hodinách, v rozmezí od 12:30 po 17:30 v závislosti na dni v týdnu a trvá tři hodiny.

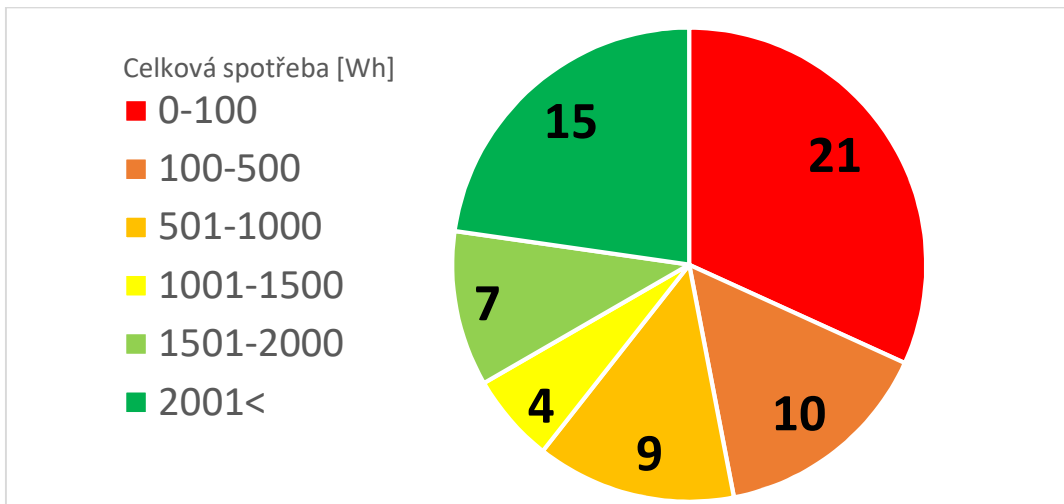
Na jednu stranu se zde dá očekávat, že bude spotřeba větší v důsledku lidí využívajících NT kromě ohřevu vody i k dalším domácím činnostem, na straně druhé ale tarif trvá o dvě hodiny méně, a je tedy méně času energii odebrat.

Výsledek na základě celkové spotřeby za interval vychází relativně podobný nočnímu úseku, rozdíly zde sice jsou, ale pouze minimální.

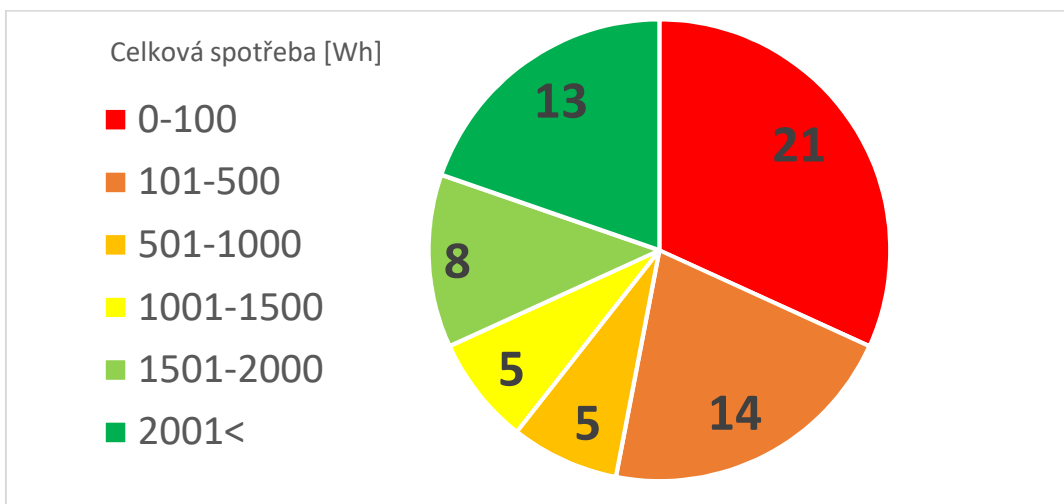
V případě všedního dne se spotřeba zvýšila, došlo k poklesu počtu míst v intervalu s nejmenší spotřebou, a naopak nárůstu ve druhém nejmenším intervalu a poté k poklesu ve třetím intervalu (500-1 000Wh) a nárůstu počtu odběrných míst se spotřebou větší než 1 kWh. Jinými slovy, spotřeba v době odpoledního nízkého tarifu se plošně zvedla oproti nočnímu úseku NT.

V případě soboty a neděle naopak vzrostl počet míst s velmi malou spotřebou, zároveň ale vzrostl i počet míst se spotřebou nad 2 kWh/interval. Zde je má hypotéza následující. Nárůst míst s malou spotřebou zapříčiňují lidé, kteří často tráví svůj čas přes den o víkendu mimo domov, ale na večer se vrací domů. V sobotu večer spotřebují hodně vody na koupel, a proto větší spotřeba v noci. V neděli opět vyrazí ven, a proto není odpoledne doma nikdo, kdo by nízkého tarifu využíval. Naopak u rodin s malými dětmi předpokládám, že tráví o víkendu většinu odpoledne doma, a tedy spotřeba je zde velká, pouští se pračka, myčka, jsou puštěné počítače a televize.

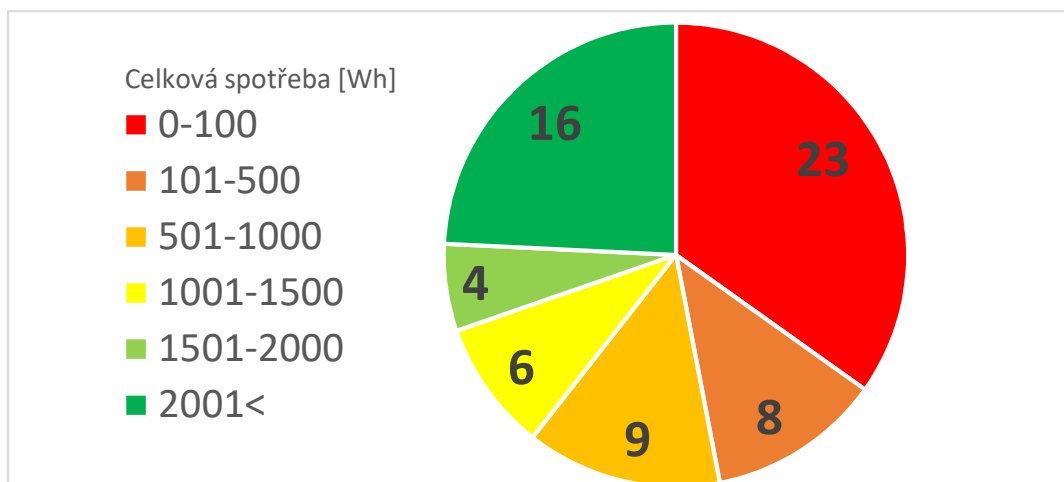
Celkovým závěrem zde je, že počet míst reagujících alespoň v malé míře na nízký tarif se zvýšil, nicméně podíl míst, která NT nevyužívají je i v denním úseku nezanedbatelný.



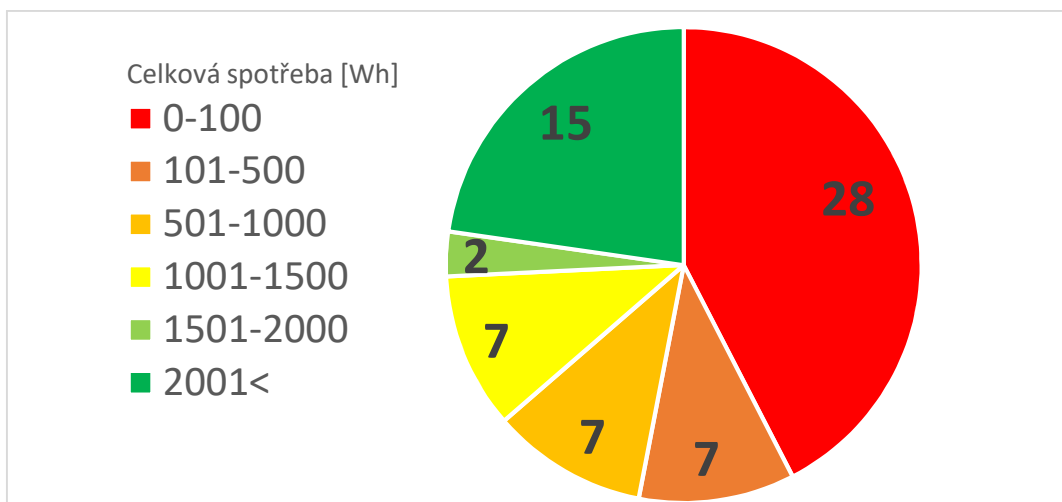
Graf 5 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (Po-Čt)



Graf 6 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (Pá)



Graf 7 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (So)



Graf 8 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (Ne)

### 3.2.8. Porovnání chování odběrných míst s TDD – denní úsek

Stejně jako v případě nočního úseku NT jsem z TDD spočítal poměr mezi nízkým tarifem a okolním VT. Poměr vyšel 1,22 pro všední den, 1,45 pro sobotu a 1,41 pro neděli.

V tomto případě je počet odběrných míst s poměrem menším, než by se dalo na základě TDD očekávat v případě všedního dne 25, v sobotu 31 a v neděli dokonce 35. To je poměrně výrazný pokles oproti noci pro všední den, a naopak mírný nárůst v počtu pro neděli. Toto souhlasí s první metodou, jelikož jak je zmíněno v předchozí kapitole, i tam je vidět pokles počtu odběrných míst s minimální spotřebou pro všední den, a naopak nárůst počtu v případě neděle.

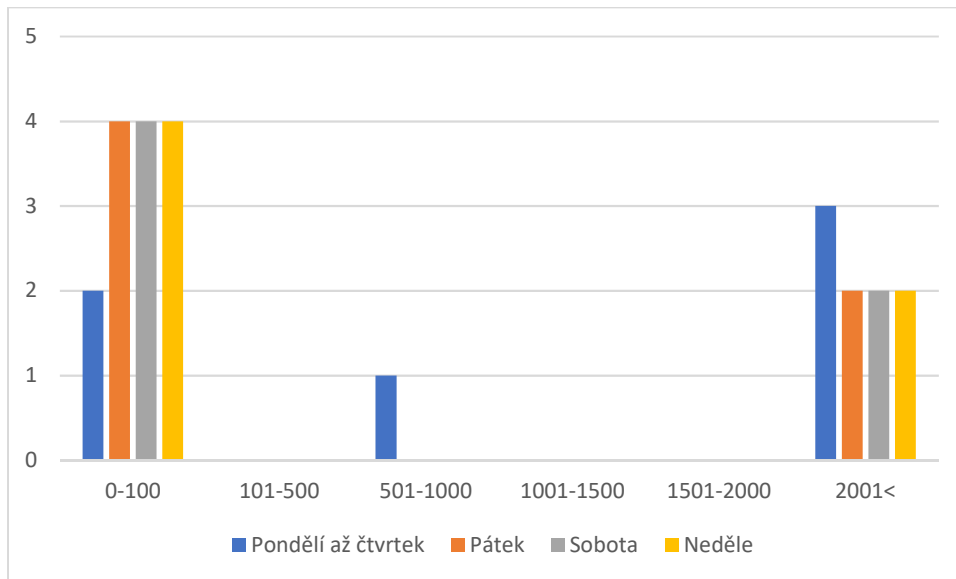
### 3.2.9. Chování zákazníků s tarifem C25d

V přechodí části jsem pracoval dohromady s C25d a D25, jelikož vzhledem k zanedbatelnému podílu sazeb pro podnikatele na celkovém počtu přístrojů nemohou tolik ovlivnit výsledek, nicméně jsem považoval za vhodné se podívat na tato odběrná místa samostatně, abych ověřil, zda se náhodou všech šest nechová jedním způsobem, což by už mohlo výsledek zkreslit.

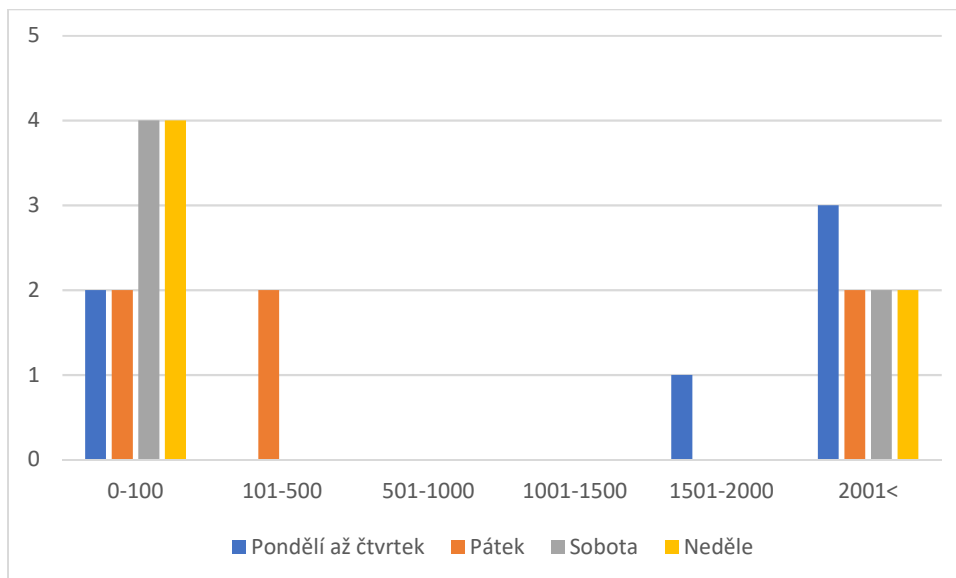
Jak je vidět z grafů níže, k tomu naštěstí nedošlo. Grafy znázorňují počet elektroměrů spadajících do jednotlivých rozsahů spotřeby, a jak je vidět, počty jsou rozloženy relativně rovnoměrně, nedochází zde k situaci, kdy by se všech šest chovalo stejně.

Při pohledu na jejich chování je zajímavým faktem, že se u většiny z nich neliší chování mezi dnem a nocí, buď mají malou spotřebu jak v noci, tak ve dne, anebo naopak mají v obou intervalech velkou spotřebu.

Z grafu je patrné, že čtyři ze šesti míst se chovají stejně o víkendu, jako ve všední den, nejedná se tedy o místa, která by pracovala pouze v pracovní den, a pouze dvě místa mají velkou spotřebu ve všední den a malou o víkendu. To je další argument, potvrzující, že zařazení těchto šesti odběrných míst do celkového vzorku nezpůsobuje zneplatnění závěrů, jelikož se tato místa chovají značně podobně chování očekávatelnému od domácnosti (tedy relativně podobná spotřeba napříč týdnem).



Graf 9 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (pouze sazby C25d)



Graf 10 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (pouze sazby C25d)

### 3.2.10. Chování spotřeby v intervalu s maximální spotřebou

V první části kapitoly jsem zkoumal chování odběratelů na základě říditelné energie. Rozdělil jsem je podle celkové velikosti spotřeby za interval. Ale nyní se přesunu z celkového množství k údaji, jež je pro distribuční soustavu a její dimenzování důležitější, a tím je výkonová špička. Jelikož data z AMM elektroměrů zaznamenávají hodnoty pouze každých patnáct minut, nelze zjistit přesně maximální výkonovou špičku. Lze ale snadno určit špičku spotřeby, tedy maximální celkové množství za interval a na základě její znalosti a znalosti velikosti jističe a počtu fází odběrného místa stanovit, jaký by musel být průměrný příkon k dosažení této spotřeby.

Na základě těchto dat budu moci v následující kapitole navrhnout praktická opatření ke snížení této špičky, čímž bude možné dosáhnout úspor na investicích do rozšiřování distribuční soustavy.

Tabulka níže obsahuje souhrn výsledků analýzy špičky spotřeby. Špička nastala ve všech čtyřech částech týdne vždy v odpoledním úseku NT, a to buď v první, nebo ve druhé čtvrtině NT. Důvod, proč maximum někdy nastane až ve druhém úseku NT, a nikoliv již v prvním, jak by se dal očekávat, pokud bojler spíná automaticky ve chvíli přepnutí tarifu je, že přepínání tarifu nenastává vždy ve stejné čase, ve kterých dochází k odečtu hodnot z elektroměru – časy odečtu jsou vždy v celou, čtvrt, půl a třičtvrtě, zatímco spínání probíhá v celou, ve dvacet minut po celé a ve čtyřicet minut po celé. Pokud tedy sepne elektroměr ve 12:40, je první úsek NT 12:30-12:45, ale z něho je ve skutečnosti pouze 5 minut v NT, tedy spotřeba nebude za interval ani zdaleka tak velká, jako v následujícím úseku od 12:45-13:00, který je již celý v nízkém tarifu. Když ale k sepnutí dojde v celou, bude první úsek celý v nízkém tarifu .

Celkový součet sám o sobě není v této chvíli relevantní, poslouží v další části k demonstraci efektivity optimalizace rozložení spotřeby, ale bez dalších informací není nijak vypovídající, jelikož se samozřejmě odvíjí od počtu přístrojů.

Relevantnější ukazatel je druhý řádek, kde je spotřeba v čase špičky vyjádřena jako poměr mezi skutečnou celkovou spotřebou za interval a maximální spotřebou všech odběrných míst, kdyby všechna odebírala po celých patnáct minut maximální příkon, a třetí řádek, který ukazuje maximum spotřeby za jeden interval v době VT. Vidíme, že všední dny se chovají zhruba podobně a rovněž oba víkendové dny jsou si relativně blízké.

Následující řádek obsahuje poměry těchto hodnot, tedy kolikrát je odběr v intervalu s maximem odběru v době NT větší, než v intervalu s maximem odběru v době VT. Jak je vidět, poměr je značný, maximum v době NT se pohybuje od trojnásobku až po více než čtyřnásobek maxima odběru v době VT. Samozřejmě toto je pouze ve špičce, nikoliv po celé období NT. Nicméně při rozšiřování distribuční soustavy se musí být počítat právě s maximem spotřeby, resp. s maximálním proudem, který bude největší právě v době maxima spotřeby, a tedy právě s tímto čtyřnásobkem běžné spotřeby.

Nelze samozřejmě snížit špičku neomezeně, část spotřeby bude v čase současného maxima vždy, přesunout půjde pouze říditelná energie, proto další řádek ukazuje, kolik procent z celkové spotřeby v čase maxima je vlastně říditelná energie. Výsledek se pohybuje okolo 80 % celkového maxima, tedy s těmito 80 % mohu pracovat.

Šestý až devátý řádek se věnují chování jednotlivých přístrojů v čase maxima. Ze sedmého řádku je patrné, že jednotlivá místa odebírají v průměru mírně přes desetinu maxima, jež by mohla odebírat. Průměry ovšem mohou být nepřesné, pokud by některé místo mělo extrémní spotřebu, mohlo by průměr vychýlit. A osmý řádek ukazuje, že tomu skutečně tak je, že jsou místa s velmi velkou spotřebou, která zvyšují hodnotu průměru.

Proto předposlední řádek tabulky obsahuje rovněž mediány, které jsou znatelně nižší, hlavně v důsledku počtu míst, která NT vůbec, nebo skoro vůbec nevyužívají.

Poslední řádek odpovídá na otázku, jaké je vlastně celkové množství říditelné energie za den. Absolutní hodnota by opět neměla smysl, jelikož se odvíjí od počtu odběrných míst, proto jsem určil množství jako poměr mezi celkovým množstvím říditelné energie vůči celkovému množství energie odebrané všemi 66 odběrnými místy ve vzorku dat. Jak je vidět, této energie, se kterou lze pracovat je nezanedbatelné množství, více než třetina celé denní spotřeby. Na první pohled se to může zdát překvapivě málo, ostatně trvání nízkého tarifu je právě jedna třetina dne, a pokud má být spotřeba v době NT větší než mimo nízký tarif, bylo by logické předpokládat, že by tento poměr měl být větší. Ale je nutné si uvědomit, že za říditelnou energii nepovažuji veškerou energii v době NT, pouze tu část, jež reaguje na nízký tarif, jak ukazují grafy číslo 12 a 13 o několik stránek dále.



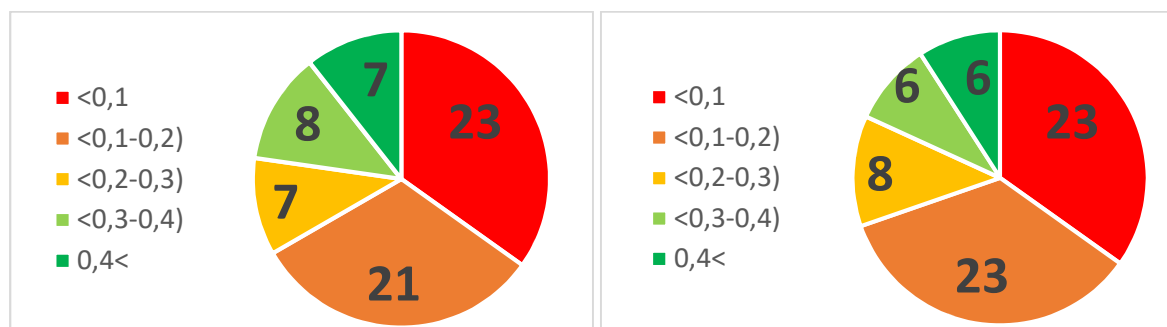
		Po-Čt	Pá	So	Ne
1.	Celková spotřeba za všech 66 odběrných míst s C25d nebo D25d za interval, v němž bylo dosaženo maxima spotřeby [Wh]	25 308	24 392	21 810	20 957
2.	Skutečná celková spotřeba všech 66 míst / Maximální možná spotřeba všech 66 míst (v intervalu, v němž bylo dosaženo maxima spotřeby v době NT) [%]	10,83	10,44	9,34	8,97
3.	Skutečná celková spotřeba všech 66 míst / Maximální možná spotřeba všech 66 míst (v intervalu, v němž bylo dosaženo maxima spotřeby v době VT) [%]	2,95	2,52	2,51	2,8
4.	Maximální celková spotřeba za jeden interval v NT / Maximální celková spotřeba za jeden interval ve VT [%]	3,67	4,14	3,72	3,16
5.	Řiditelná energie / Celková energie za interval s maximální spotřebou [%]	81,63	83,66	79,35	77,22
6.	Průměrná spotřeba na jedno odběrné místo za interval s maximální spotřebou [Wh]	383,45	369,58	330,45	317,53
7.	Průměrná spotřeba jednotlivých odběrných míst v čase maximální špičky spotřeby [Skutečný odběr místa / Maximální možný odběr místa daný jističem] [%]	13,80	12,87	11,20	10,20
8.	Maximální velikost odběru jednoho místa v intervalu s maximálním odběrem [Skutečný odběr místa / Maximální možný odběr místa daný jističem] [%]	50,80	58,60	48,40	43,70
9.	Střední hodnota poměrných odběrů jednotlivých míst v intervalu maxima [Skutečný odběr místa v čase maxima / Maximální možný odběr místa daný jističem] [%]	10,10	6,85	6,50	4,80
<b>10.</b>	<b>Řiditelná energie/ Veškerá energie odebraná za jeden den (za všechna místa) [%]</b>	<b>35,86</b>	<b>33,17</b>	<b>38,75</b>	<b>35,94</b>

Tabulka 3 Chování spotřeby odběrných míst se sazbou C25d/D25d v intervalu s maximální spotřebou.

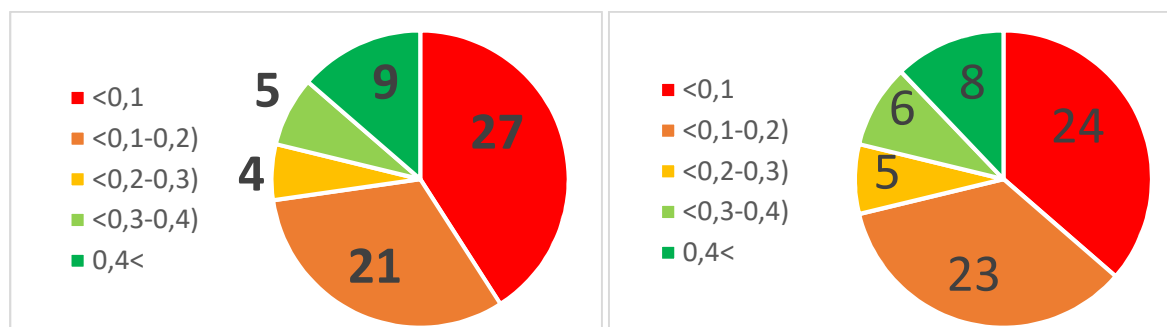
### 3.2.11. Velikosti výkonových špiček jednotlivých přístrojů

Údaje v předchozí části se týkají celkové špičky spotřeby všech přístrojů dohromady. Stejně jako v případě sazeb C25d/D25d je ale vhodné zkoumat i chování individuálních odběrných míst, konkrétně jakou maximální spotřebu mají jednotlivá odběrná místa

Našel jsem tedy maximální spotřebu za interval jednotlivých odběrných míst se sazbou C25d či D25d a následně jsem místa rozdělil podle tohoto poměru a výsledky vynesl do grafů níže. Jak je vidět, nadpoloviční většina odběrných míst ani ve svém maximu nemá průměrný příkon větší než 20% velikosti jističe. Tomu rovněž odpovídá medián ze všech přístrojů, který se pohybuje okolo 13 %.

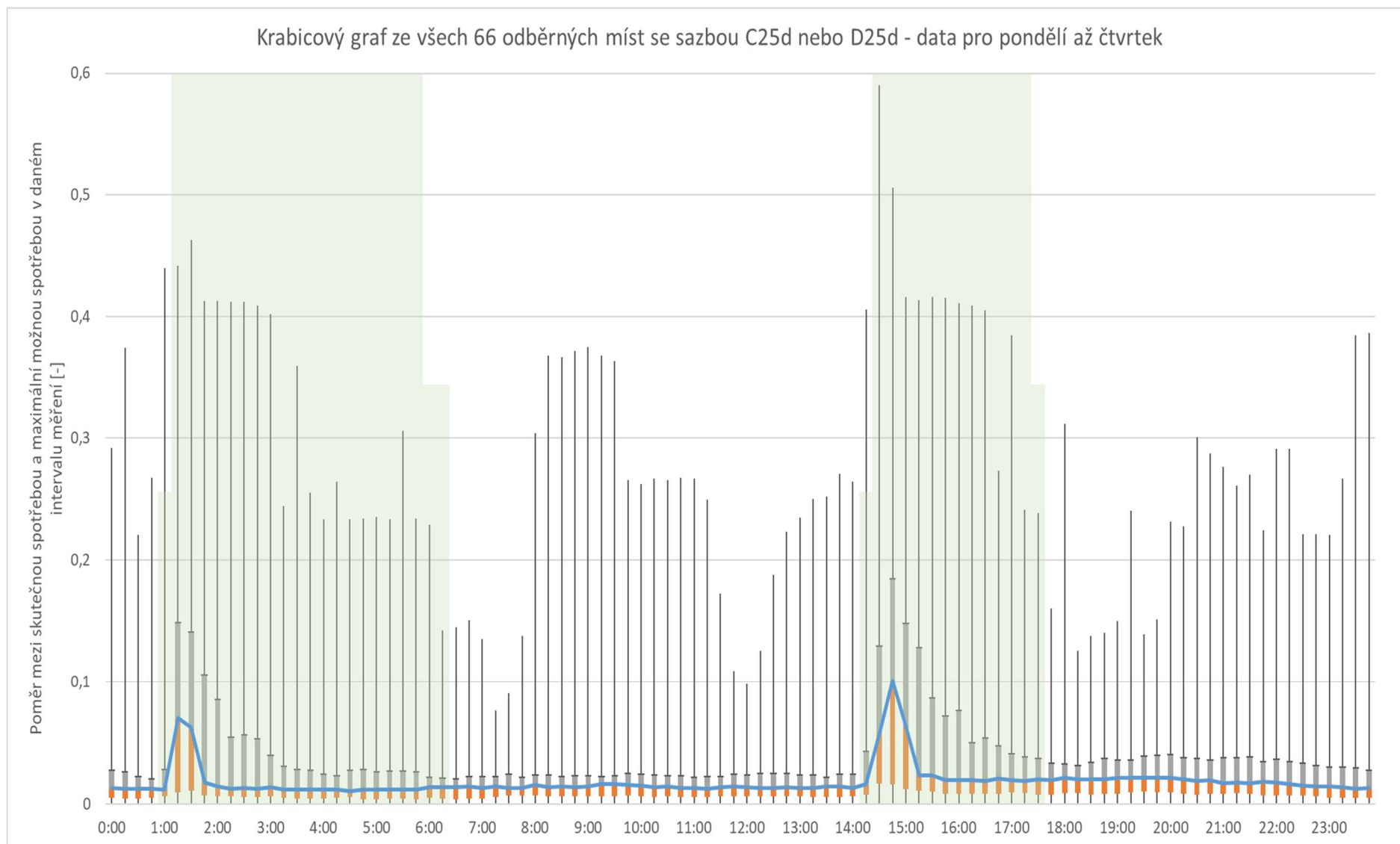


Graf 11 Rozdělení odběrných míst se sazbou C25d/D25d podle individuálního maxima spotřeby vyjádřeném v poměru k maximální možné spotřebě (vlevo Po-Čt, vpravo Pá)



Graf 12 Rozdělení odběrných míst se sazbou C25d/D25d podle individuálního maxima spotřeby vyjádřeném v poměru k maximální možné spotřebě (vlevo So, vpravo Ne)

Pro představu o chování velikosti spotřeby jednotlivých přístrojů slouží krabicový graf (box plot) na následující straně. Kromě již zmíněných mediánů je tam také například vidět, že největší spotřeba individuálního odběrného místa byla necelých 60 % maximální možné spotřeby. Ač je graf pouze pro všední den, ve zbylé dny je hodnota rovněž okolo 60 % maxima.



Graf 13 Krabicový graf ze všech 66 odběrných míst se sazbou C25d nebo D25d (data pro pondělí až čtvrtek)

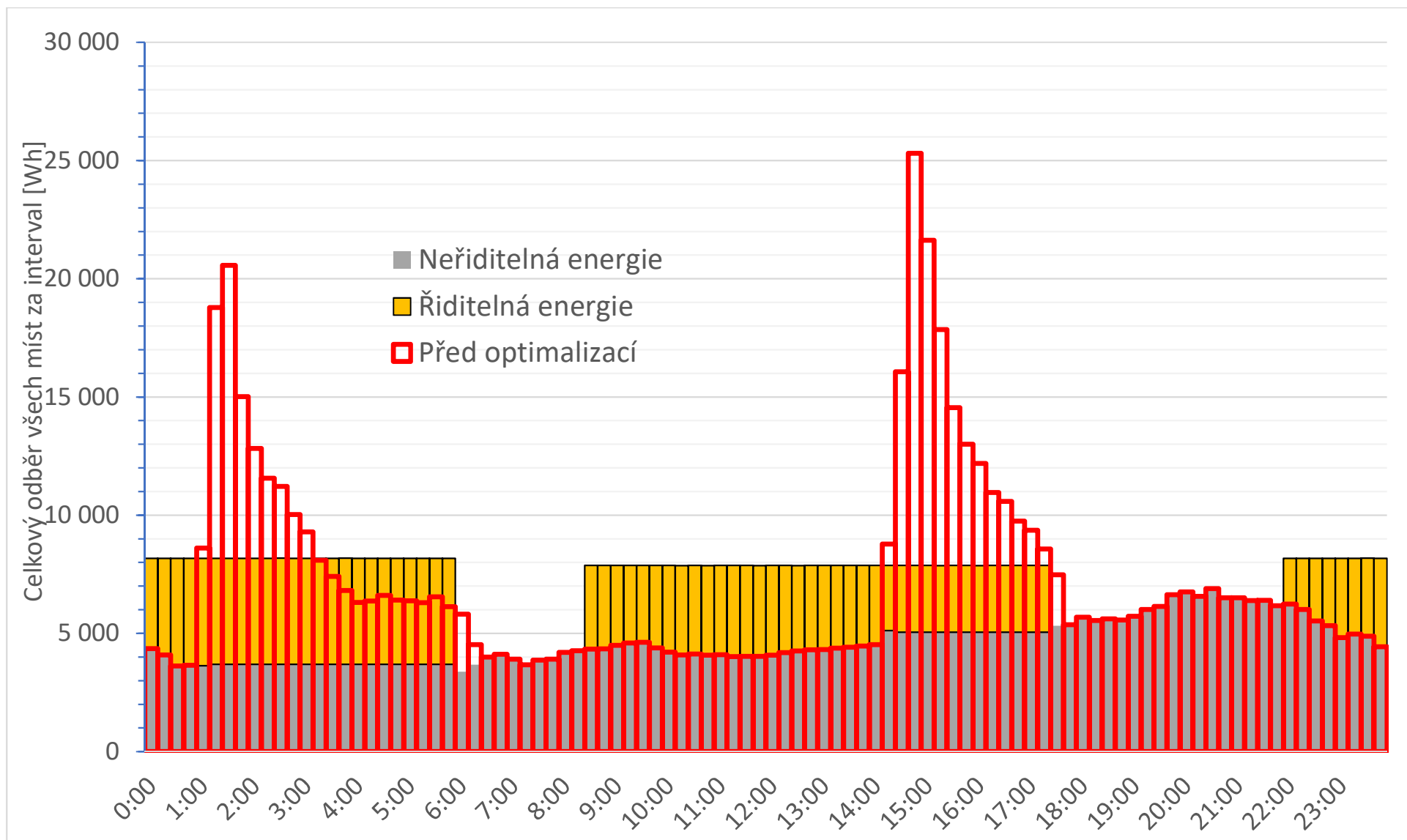
### 3.2.12. Snížení špičky spotřeby

Poté, co jsem v předchozí části stanovil přibližnou velikost maxima spotřeby v době nízkého tarifu jako více než trojnásobek spotřeby mimo něj, nastal čas se zamyslet na tím, jak se tato hodnota dá snížit. A právě zde se plně uplatní hlavní výhoda chytrých elektroměrů oproti HDO, kterou je možnost vysílat signály jednotlivým elektroměrům nezávisle a v častějších intervalech než HDO. Díky tomu je možné elektroměry spínat a odpínat podle potřeby a vytvořit tak průběh spotřeby co nejvíce připomínající obdélník. Na následujících dvou stranách je výsledek tohoto přerozdělení. Na základě konzultace s vedoucími jsem si ověřil, že opravdu mohu zvolit libovolný rozsah, v rámci kterého budu spotřebu alokovat podle potřeby. Byl zde dokonce návrh alokovat ji na celých 24 hodin, nicméně jakkoliv by to vedlo k nejlepšímu rozložení, nemohlo by to dle mne fungovat v reálné situaci z následujícího důvodu:

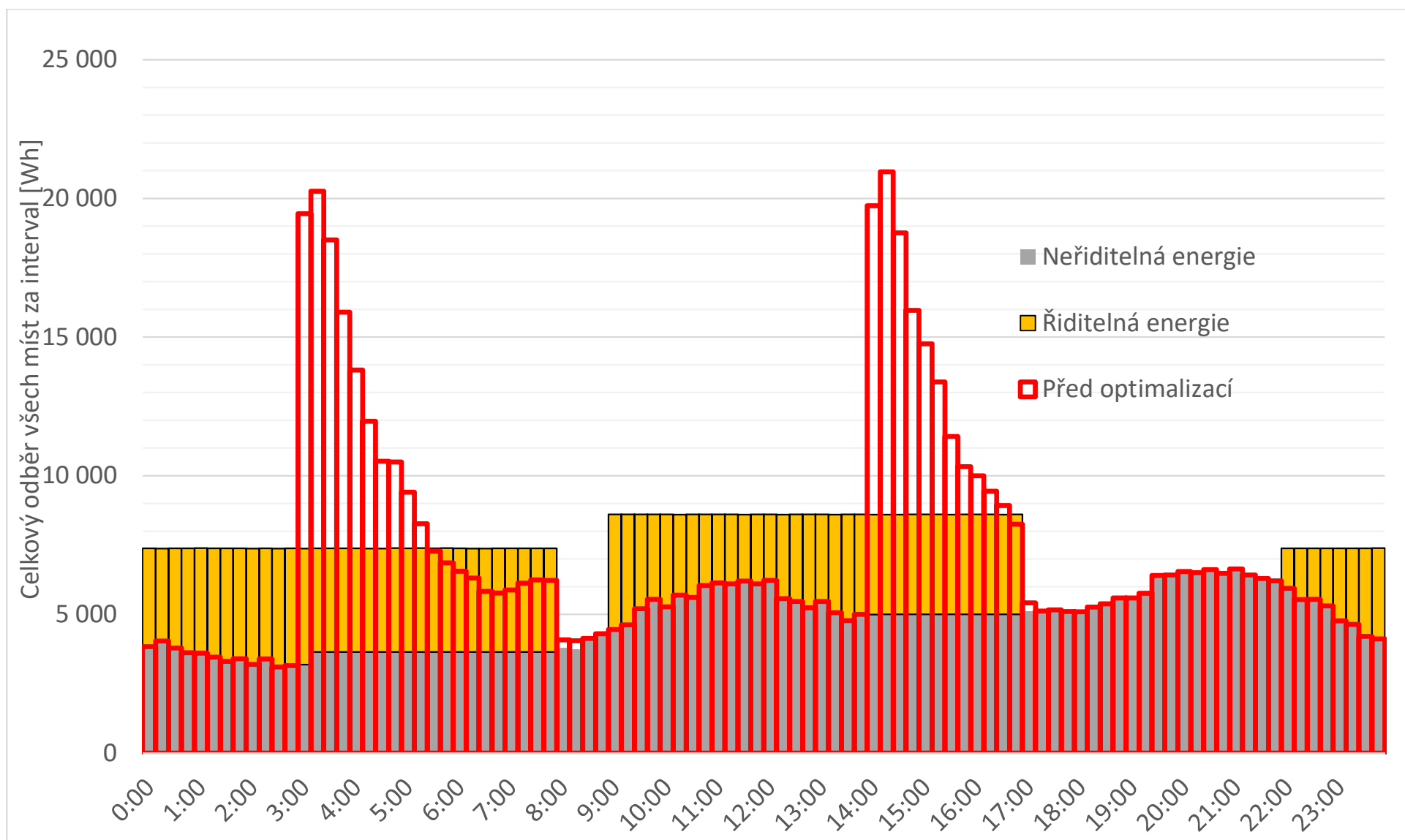
Poté, co se bojler ohřeje v nočním intervalu, je plný teplé vody. Kdyby se hned poté (v 6:00) sepnul NT znovu v rámci denní části, ohřev by trval jen pár minut na pokrytí tepelných ztrát mezi koncem nočního ohřevu a 6:00. Pokud by obyvatelé domu vstali třeba až v sedm, a začali spotřebovávat vodu, ztratili by již hodinu času, kdy sice byl sepnutý nízký tarif, ale oni neměli, jak ho využít. Voda se následně bude postupně přehřívát, jak bude spotřebovávána a doplňována, ale pokud bude spotřebováno najednou velké množství až třeba v 8:00, nemusí se nově doplněná voda stihnout ohřát ve zbytku času, po který bude trvat nízký tarif. Proto jsem ponechal mezery mezi koncem nočního tarifu a začátkem intervalu denního a pak opět v podvečer, protože nevím, v kolik se kdo koupal, či jinak spotřebovával velké množství vody a začínám alokovat až od desáté hodiny večerní.

Časy konce intervalu jsem stanovil jako současné konce, jelikož nevím, v kolik hodin kdo vodu potřebuje a abych zabránil situaci, že ji někdo potřebuje v šest ráno a voda ještě nebude ohřátá, nechávám současný stav.

V následující kapitole, kde rozepisují praktickou implementaci optimalizace, se nejen těmito dvěma problémy a možnostmi jejich řešení zabývám.



Graf 14 Celková spotřeba všech elektroměrů za jednotlivé patnáctiminutové intervaly se sazbou C25d/D25d v analyzovaném vzorku dat (66 přístrojů) před optimalizací a po ní (Po-Čt)



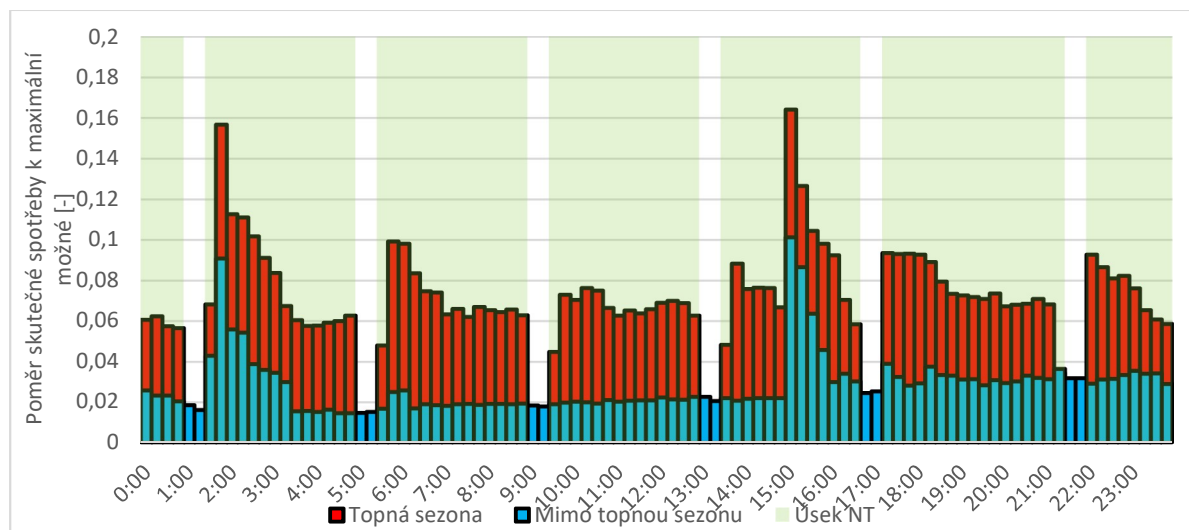
Graf 15 Celková spotřeba všech elektroměrů za jednotlivé patnáctiminutové intervaly se sazbou C25d/D25d v analyzovaném vzorku dat (66 přístrojů) před optimalizací a po ní (Ne)

### 3.3. Analýza sazeb C45d a D45d

Ač ne tak častá jako sazba pro akumulační ohřev vody (obzvláště ne v Praze, kde je přibližně 41 tisíc míst s touto sazbou oproti 82 tisícům míst s C25d/D25d<sup>15</sup>), bylo ve vzorku, se kterými jsem pracoval, dostatek odběrných míst i pro analýzu sazby pro přímotopné spotřebiče.

Zde jsem k problému přistoupil jinak než v předchozí kapitole. Protože zatímco bojler je využíván denně po celý rok, přímotopný spotřebič bude využit hlavně v topné sezoně. Proto budu nejprve analyzovat rozdíly ve spotřebě v topné sezoně (od 1. září do 31. května<sup>16</sup>) a mimo ni. Jestliže představuje topení velkou část spotřeby, lze očekávat, že spotřeba v létě bude znatelně menší, než spotřeba v zimě (i když je tu možnost, že v létě běží klimatizace).

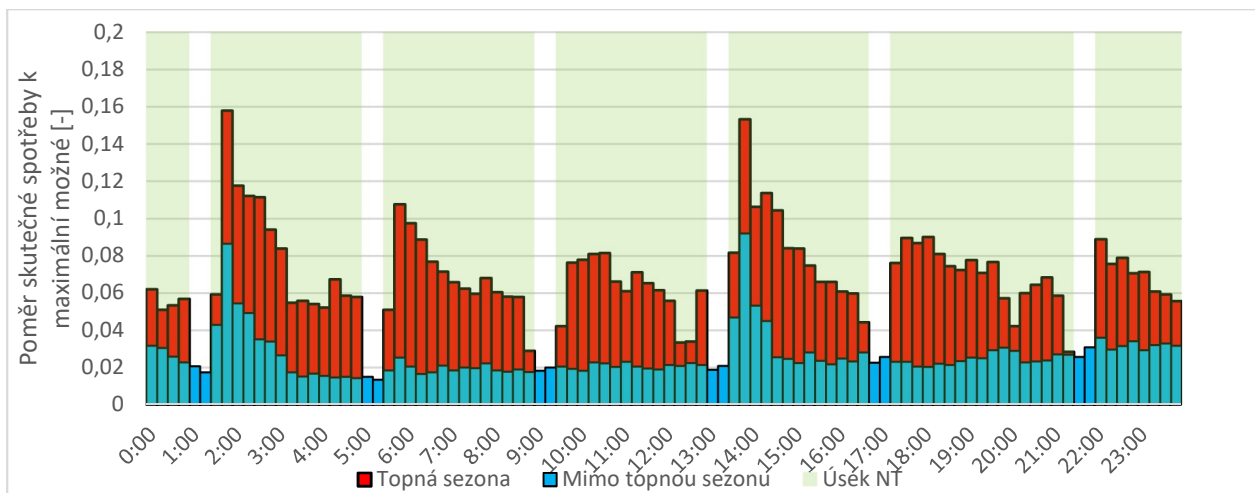
Následující graf výše popsané velmi dobře demonstruje. Mimo topnou sezonu je vidět mnohem menší reakce na nízký tarif. V průběhu celého dne jsou vidět pouze dvě špičky, které navíc v některých případech nezačínají ihned po sepnutí NT. Jde o bojlyery, které ač se měří dohromady, se spínají podle separátního signálu HDO. Zato v topné sezoně je spotřeba několikanásobně vyšší po celý den, a klesá pouze v krátkých úsecích VT, kdy musí být topení blokováno.



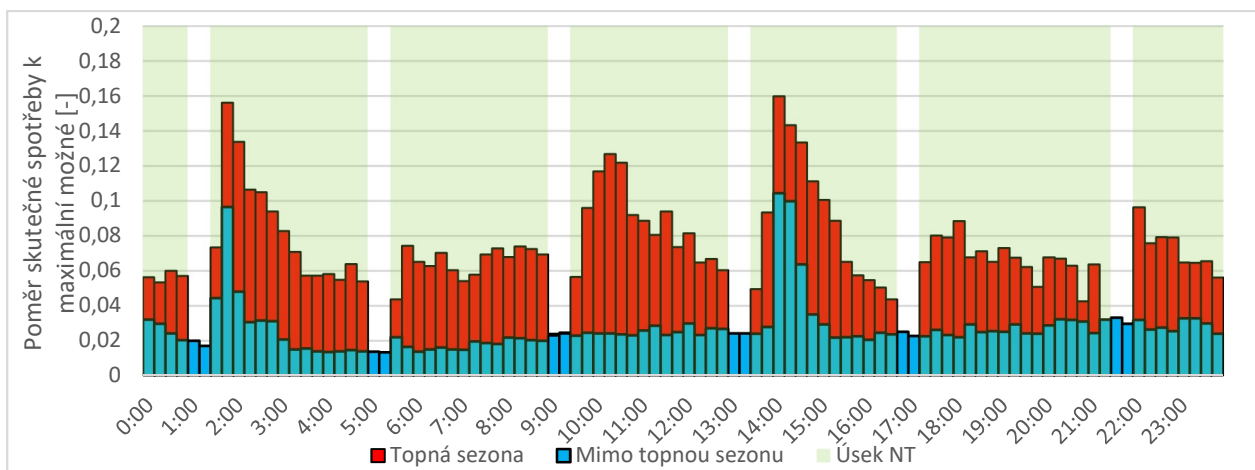
Graf 16 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezonou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (Po-Čt)

<sup>15</sup> Číslo poskytnuto společností PREdistribuce, a.s.

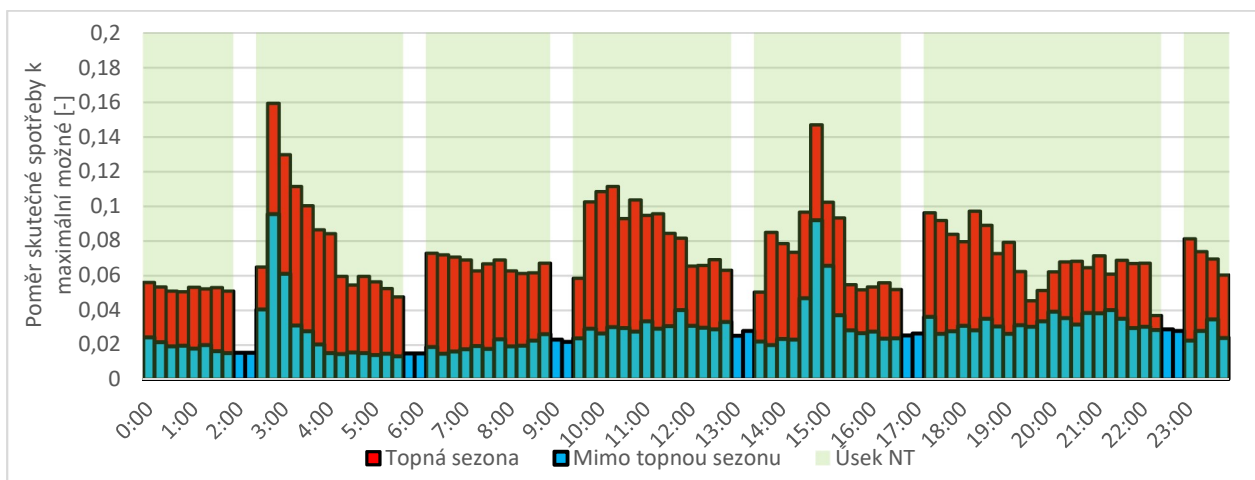
<sup>16</sup> §1 odst. 2 č.194/2007 Sb.



Graf 17 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezónou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (Pá)



Graf 18 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezónou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (So)

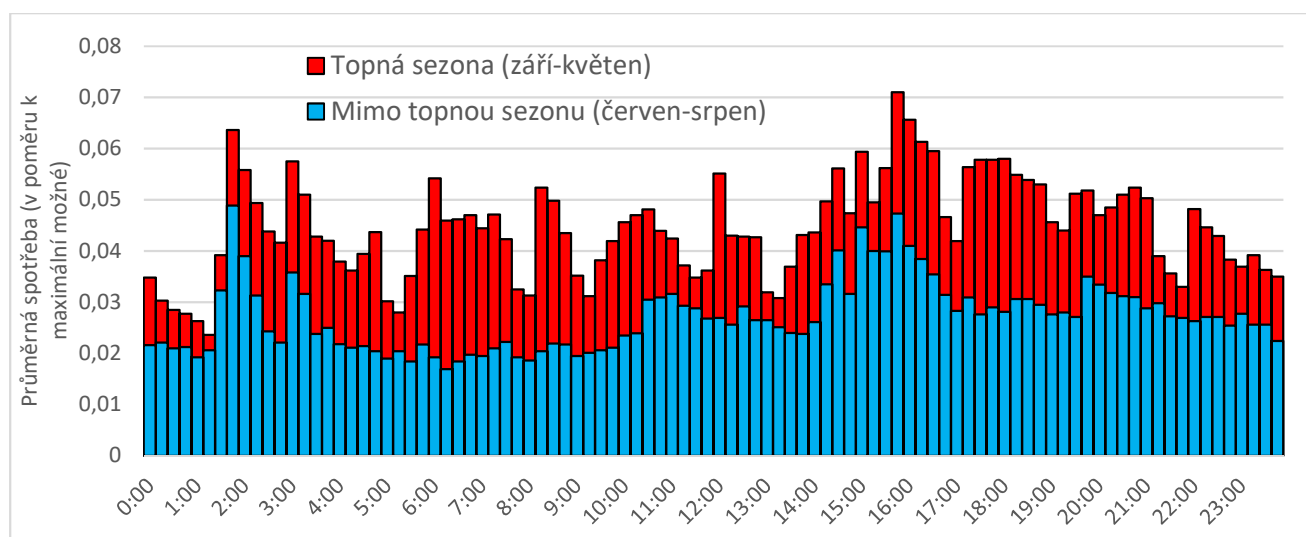


Graf 19 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezónou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (Ne)

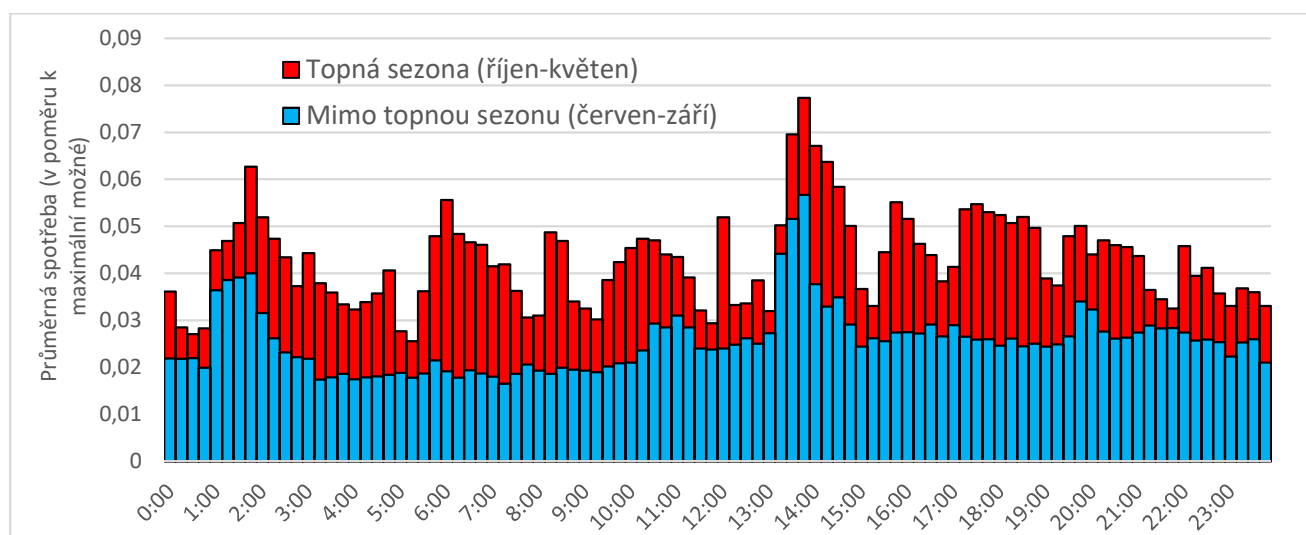


Elektroměry účastníci se pilotního provozu se sazbou D45d jsou však rovnoměrně rozděleny do pěti TOU s rozdílnými časy sepnutí. Graf byl tedy vytvořen pouze z pěti odběrných míst se stejným TOU, přičemž jsem vybral skupinu, jež demonstruje výše popsané. Tato skupina pěti elektroměrů má poměr mezi topnou sezonou a létem 2,4:1.

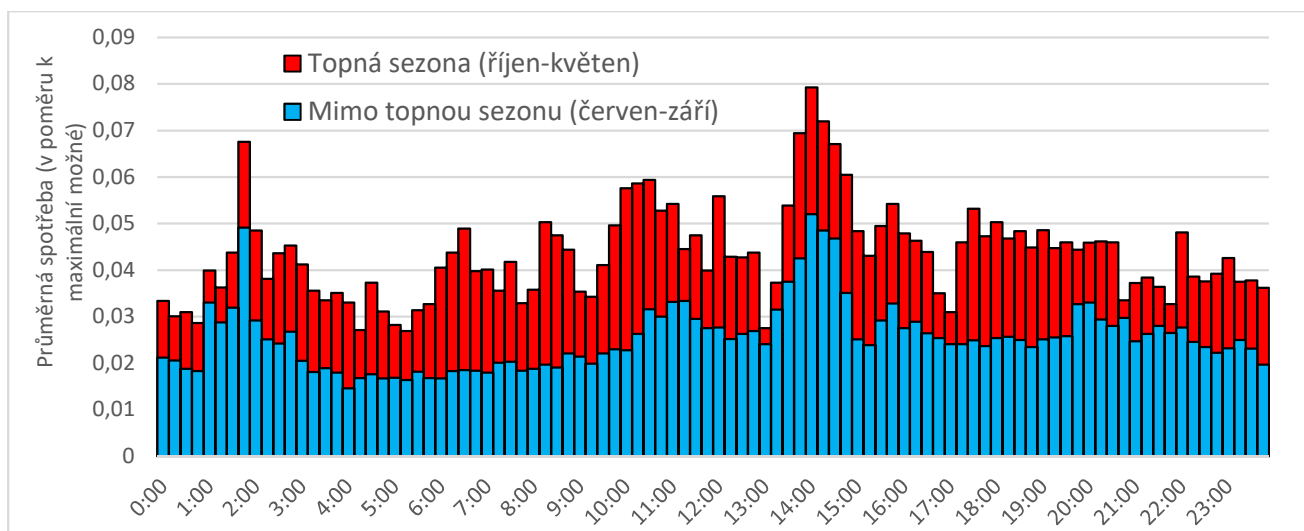
Stejně jako u C25d/D25d se však najdou odběrná místa, u nichž se zdá, že elektřinu příliš nevyužívají k účelu, na nějž jim byla dvoutarifní sazba přiznána. To spolu se zmíněnými odlišnými TOU vede k tomu, že výsledný graf kombinující všechna místa s touto sazbou vypadá tak, jak je vidět níže. Rozdíl mezi oběma částmi roku tam pořád je velice dobře patrný, ale už ten rozdíl není zdaleka takový, jaký byl u skupiny pěti odběrných míst, z nichž byl vytvořen předchozí graf.



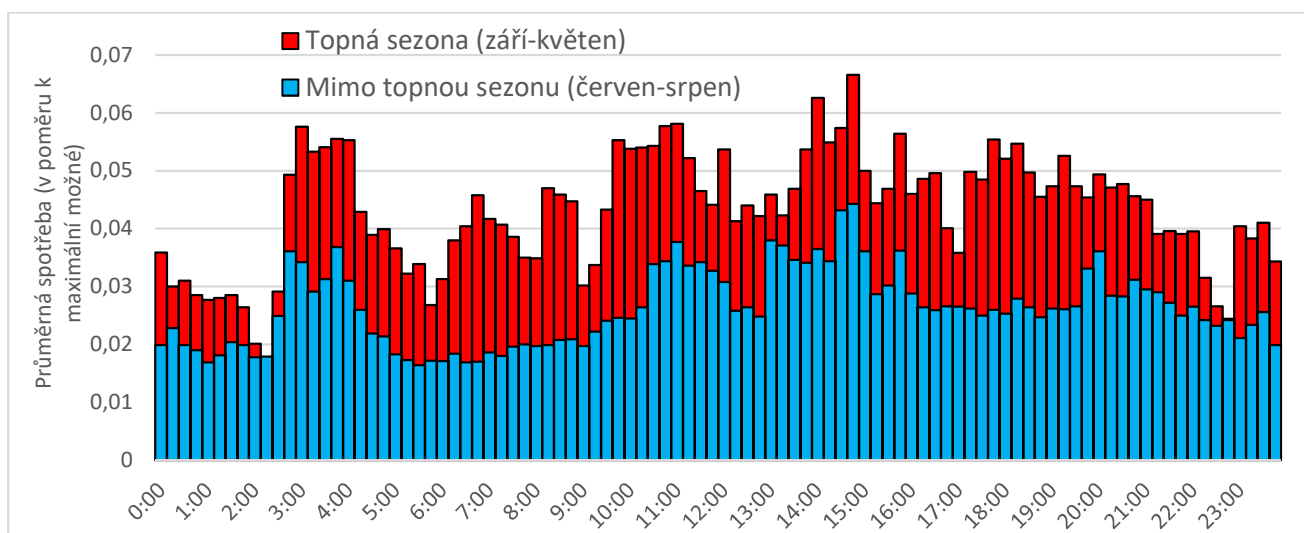
Graf 20 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (Po-Čt)



Graf 21 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (Pá)



Graf 22 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (So)



Graf 23 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (Ne)

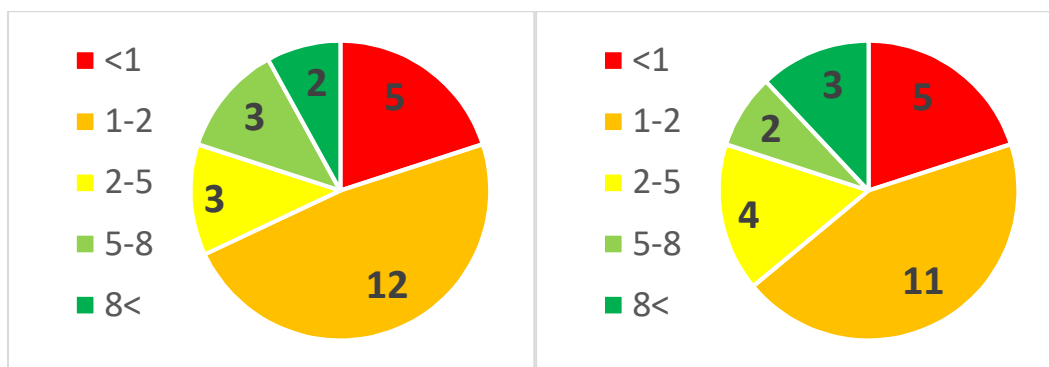
Tabulka č.4 ukazuje poměr celkové spotřeby za den všech zkoumaných odběrných míst se sazbou C45d/D45 v topné sezoně a mimo ni. Nejsou zde patrné žádné výrazné rozdíly mezi jednotlivými dny v týdnu, spotřeba v topné sezoně je konzistentně o zhruba 60 % vyšší než v létě.

Poměr mezi spotřebou v topné sezoně a mimo ni	
Pondělí-čtvrtek	1,685
Pátek	1,707
Sobota	1,761
Neděle	1,721

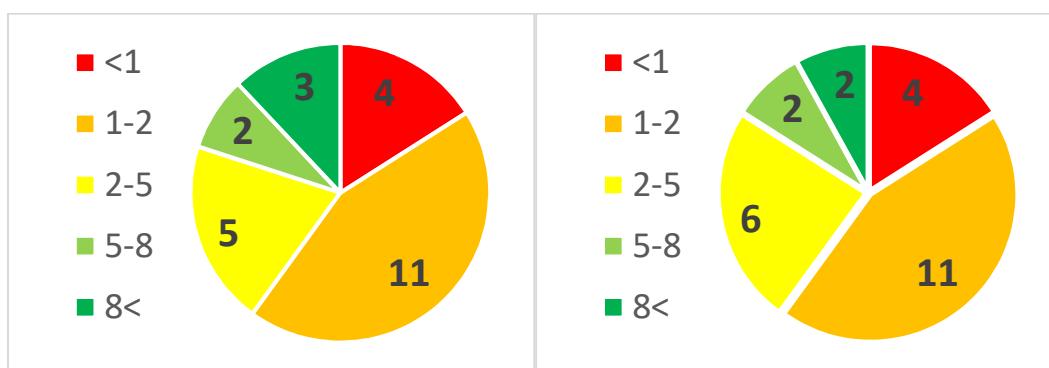
Tabulka 4 Poměr spotřeby v topné sezoně a mimo ni (dohromady za všechna odběrná místa se sazbou D45 ve vzorku)

Jedná se o průměr napříč všemi elektroměry, tudíž stejně jako v části, která se zabývala D25d, je i zde vhodné se podívat na jednotlivé elektroměry, kolik z nich se chová podle očekávání a kolik ne.

Na rozdíl od sazby pro akumulační ohřev vody, kde bylo závěrem, že okolo poloviny odběrných míst sazbu nevyužívá, či ji využívá minimálně, v tomto případě pouze šestina odběrných míst má vyšší spotřebu v zimě než v létě. Téměř polovina míst má vyšší spotřebu v zimě než v létě, ale zároveň ne více než dvojnásobnou, pohybující se tak ve stejném rozsahu jako průměrná hodnota. A v průměru devět odběrných míst sazbu využívá výrazně, tedy je jejich spotřeba v topné sezoně více než dvojnásobná oproti letnímu období.



Graf 24 Rozdělení odběrných míst se sazbou D45d podle poměru mezi spotřebou v topné sezoně a mimo ni (levý graf Po-Čt, pravý Pá)



Graf 25 Rozdělení odběrných míst se sazbou D45d podle poměru mezi spotřebou v topné sezoně a mimo ni (levý graf So, pravý Ne)

## 4. Návrh zlepšení současného tarifního systému vedoucí ke snížení výkonové špičky

V předchozí kapitole v části zabývající se výkonovou špičkou u sazeb pro akumulární ohřev vody jsem ukázal, jak výrazně by ideální rozložení spotřeby snížilo tuto špičku a předeslal jsem, že dále popíši představu praktické implementace. Právě o této implementaci je tato kapitola.

Jak jsem v minulé kapitole ukázal, ač je špička velká, průměrný podíl jednotlivého odběrného místa na ní je pouze nízké stovky watthodin. To samozřejmě znamená, že pokud chceme výraznou úsporu, musíme zapojit co nejvíce míst, a pokud chceme dokonalé vyrovnání spotřeby, museli bychom zapojit všechna odběrná místa v distribuční síti. Pokud bude běžet vedle sebe stávající 8hodinový tarif a nový systém využívající AMM, pořád se bude nutno smířit se špičkou v čase sepnutí nízkého tarifu pro všechna odběrná místa využívající stávajícího systému najednou (resp., jak jsem popisoval v minulé kapitole, v současnosti spíná polovina TOU o čtvrt hodinu před druhou polovinou, ale protože za jednu čtvrt hodinu se ohřev vody nestihne, vede to hlavně k tomu, že špička nastane až po sepnutí druhé poloviny).

Naštěstí AMM nebudou volitelné, ale postupně dojde k jejich instalaci do všech odběrných míst. Díky tomu bude požadavek na zapojení všech odběrných míst splněn. Bohužel to, že všechna odběrná místa budou schopna se do nového systému zapojit, neznamená, že se do něj budou chtít zapojit. Pokud by nový tarif byl volitelný, nabízí se otázka, proč by o něj odběratelé měli mít zájem. Za jediné významné lákadlo, které by mělo šanci zaujmout velkou většinu odběratelů, považuji finanční benefit pro odběratele. Konec konců, nižší účet za elektřinu je důvod, proč lidé využívají dvoutarifních sazeb místo ponechání jednotarifní sazby a ohřívání/vytápění podle libosti. Kdyby nebyla jak silová elektřina, tak cena za distribuované množství o tolik levnější (v případě PRE produktu „PRE proud klasik“ je rozdíl mezi cenou ve vysokém a nízkém tarifu 2640,45 Kč/MWh) nevyplatí se jim zůstat v D25d, když mimo NT je cena nižší pro jednotarifní sazbu (stručný přehled v tabulce níže). (25)

	D02d	D25d VT	D25d NT
Silová elektřina [Kč/MWh]	1851,3	2314,73	1376,98
Distribuce [Kč/MWh]	1967,46	1902,27	199,57
Celkem [Kč/MWh]	3818,76	4217	1576,55

Tabulka 5 Rozdíl v některých složkách ceny elektřiny pro konečné odběratele v závislosti na sazbě a tarifu

Kdyby odběratelé přešli na nový dynamičtější tarif (pro kratší zápis ho budu v této kapitole nadále označovat jako „Dynamický tarif“, ačkoliv striktně vzato to není naprosto dynamický tarif ve smyslu kopírování ceny silové elektřiny na burze), co by je to stálo? V noční části NT by odběratelé výrazně ovlivněni nebyli, zato ve dne by se omezila možnost lidí využívat NT pro jiné spotřebiče než bojler. Pokud by třeba přicházeli z práce ve čtyři, pořád by ještě dokázali ve všední den využít přes hodinu NT. Ve dny, kdy jsou lidé doma, by to bylo ještě horší, pokud jsou zvyklí nechávat nádobí v myčce do začátku NT okolo druhé hodiny odpolední, tak by je nejspíše nepotěšila šance, že si vytáhnou „Černého Petra“ a začne jim NT okolo desáté hodiny a skončí okolo jedné.

Protože by tedy nový tarif přinesl pro zákazníka snížení uživatelského komfortu (ať už jakkoliv velké) byla by potřeba opravdu značná finanční výhodnost, která by dokázala ve velkém zákazníky zaujmout, aby byli ochotni akceptovat větší rozptyl kdy může NT nastat, případně dokonce i proměnlivost úseků NT pro stejný den v týdnu napříč rokem. Otázka je, o kolik je ještě možné snížit cenu elektřiny v době NT, aby byl rozdíl oproti současné sazbě D25d dostatečně výrazný, aby zaujal naprostou většinu odběratelů, ale zároveň nebyl likvidační pro obchodníka (silová část), nebo aby poplatek za distribuci

nebyl prakticky nulový, což by vedlo k tomu, že by ostatní odběratelé museli ze svých plateb uživatele nového tarifu ještě více dotovat.

A i kdyby nabídka byla výrazně výhodnější, bude zde určité procento odběratelů, kteří jsou se současným stavem spokojeni a nebudou si chtít zvykat na nový systém, anebo lidé, kteří si mohou dovolit cenu elektřiny neřešit.

Navíc, i když by lidé o tarif mohli mít zájem, museli by si ho nejdříve všimnout. Ačkoliv se samozřejmě nejedná o plnohodnotný průzkum, z mých zkušeností není „finanční gramotnost“, co se týká elektřiny a složek její ceny zrovna velká, a jakmile lidé jednou mají dvoutarif, více elektřinu neřeší, a tedy by byla nutná osvěta/reklama v médiích, aby se lidé o novém tarifu vůbec dozvěděli.

To vše vede k jednoduchému závěru, že aby měl tarif snažící se snížit výkonovou špičku smysl, musí být nový Dynamický tarif pro odběrná místa s akumulacím ohřevem vody přímou náhradou současného C25d/D25d, a to od chvíle instalace AMM přístroje.

Zákazník bude mít možnost přejít zpět na jednotarifní sazbu, ale pokud si bude přát ponechat dvoutarifní sazbu, bude muset přejít na nový Dynamický tarif.

#### 4.1. Praktická realizace

Při instalaci AMM přístroje, případně před přiznáním dvoutarifní sazby, si distributor zjistí objem a příkon bojleru, na nějž je sazba přiznána. Tyto základní údaje umožní získat představu, kolik maximálně času bude bojler potřebovat na ohřátí. K tomu se přidá poslední údaj, kterým je Deadline neboli požadovaná doba, do kdy potřebují mít vodu ohřátou. Důvodem k přidání tohoto posledního parametru je, že člověk vstávající ve čtyři hodiny ráno, aby mohl být v šest na směně v práci, se za současného stavu může spolehnout, že pokud má menší bojler a ten začne ohřívat ve všední den okolo jedné, bude mít na ranní sprchu dostatek teplé vody, a i o víkendu tam alespoň částečně voda ohřátá bude. Podle nového systému by však bez další specifikace mohl systém na základě Objemu a Příkonu (například 50 l a 2kW) vybrat úsek od 4:00 do 6:00 a odběrateli by nemuselo zbýt nic jiného, než se sprchovat studenou vodou. Parametr Deadline tomuto brání skrze možnost, aby si zákazník navolil, do kdy požaduje vodu ohřátou a systém se při optimalizaci této potřebě přizpůsobí. Volba by šla měnit podle potřeby, předpokládám, že skrze webové stránky distributora, případně by zde dokonce mohla proběhnout integrace s aplikacemi pro chytré domácnosti.

Na základě těchto tří parametrů by proběhla optimalizace v zadaných rozmezích, jejímž cílem by bylo dosáhnout co nejrovnoměrnější spotřeby. Samozřejmě by nebylo možné to vzít bez dalšího omezení pro celou Prahu najednou, jinak by mohlo dojít k situaci, kdy by například pro velkou část Jižního Města sepnul NT ve stejnou dobu, zatímco v jiné části Prahy by ve stejnou dobu nebyl jediný NT. A pak bychom byli víceméně zpět na začátku, se špičkou v jedné části Prahy, i když Praha jako celek by vypadala ideálně.

Další charakteristikou, kterou je třeba vzít v potaz je, jak jsem již zmínil v minulé kapitole, kde jsem analyzoval data z elektroměrů, že bojler se ne vždy ohřívá v celém rozsahu od studené z vodovodu po 65°C. Proto by bylo vhodné ještě více spínání optimalizovat tak, aby se vzalo v potaz, že i když bojler *může* ohřívat 3,5 hodiny, ve skutečnosti bude většinu času pracovat pouze 2,5 hodiny.

Pokud budeme znát průměrnou spotřebu (nebo medián spotřeby) v průběhu dne, bude rovněž možné zlepšit optimalizaci podobným způsobem, jakým jsem to provedl v předchozí kapitole na grafech č. 12 a č.13, tedy brát navíc v potaz chování spotřebitele. Výsledkem by tedy nebyl obdélník jen z říditelné energie a napasovaný na skutečnou spotřebu, ale obdélník z jak říditelné, tak neříditelné energie.

Bohužel tato data nelze znát dopředu, proto předpokládám, že první rok či dva od instalace by se pracovalo s předpokladem, že je bojler využit naplno, a poté by se na základě analýzy dat získaných za dobu připojení zákazníka zjistilo skutečné využití a optimalizační algoritmus by začal pracovat s touto novou informací. Data by se poté každý rok obnovovala, pro zajištění aktuálnosti.

#### 4.2. Intervaly NT pro jednotlivá místa

Na tomto místě vycházím z předpokladu, že dále popsané bude reálně realizovatelné. Po konzultaci s vedoucím práce mi bylo odsouhlaseno, že takto mohu postupovat. Práce je úvodní analýzou potenciálu AMM a dynamických tarifů a v současné době ještě není přesné technické provedení známo.

Druhým nezbytným předpokladem je samozřejmě legislativa. Bohužel v době psaní této práce ještě není nová vyhláška o měření k dispozici pro veřejnost, a i kdyby k dispozici byla, mezi současnou vyhláškou a zavedením AMM je několik let, během nichž se zákony ještě mohou několikrát změnit.

Přenos HDO signálu chvíli trvá a z principu jeho funkce nelze přenášet více než jeden signál najednou. Předpokládám u chytrých elektroměrů přenos signálu přes internet, ať již přes modem nebo bezdrátově pomocí GPRS a díky tomu možnost mnohem více unikátních signálů, a tedy mnohonásobně lepší řízení spínání a vypínání nízkého tarifu.

Díky tomu bude možné upustit od jednoho několikahodinového úseku a rozdělit NT do mnoha menších úseků. A není nutno se limitovat ani čtvrt hodinami, čtvrt hodinu jde dále rozdělit kupříkladu na 5 minut NT a 10 minut VT. Výsledkem bude spotřeba říditelné energie ve výši 1/3 spotřeby za 15 minut. Jedinými technickými limitacemi bude kapacita na přenos signálů a fakt, že spínat NT každých třicet vteřin by pravděpodobně nebylo ku prospěchu spotřebičů.

#### 4.3. Návrh algoritmu a demonstrace na vzorových datech.

Pro demonstraci, jak by výše popsaná hypotéza mohla fungovat v praxi jsem v Excelu vytvořil ukázkový příklad. Data nejsou kompletně fiktivní, provedl jsem analýzu odběrných míst se sazbou C25d/D25d, u nichž byla patrná reakce na nízký tarif a pokusil se jim přiřadit příkon bojleru. Vzhledem k tomu, že pracuji s mediánovými hodnotami za celý rok, to samozřejmě nebude příliš přesné, nicméně mi to umožnilo si udělat základní představu o tom, jaká kombinace přístrojů se může vyskytnout. Výsledkem je list zhruba třiceti přístrojů, kde většina příkonů se pohybuje mezi 2 až 4 kW příkonu, což odpovídá nejběžnějším příkonům bojleru, dostupným na trhu. Je zde však i několik menších 1,5 kW bojlerů a u několika míst je očividné, že mají velký bojler o příkonu 9 kW či větším.

Po vytvoření listu jsem provedl rychlý průzkum trhu a našel nejčastější velikosti objemu odpovídající příkonům. Tím jsem vytvořil základní tabulku, pomocí které jsem vygeneroval list 200 přístrojů. Důvodů, proč mám více přístrojů, než počáteční vzorek 66 přístrojů je několik. Zaprvé, abych ukázal optimalizaci na větším množství dat, navíc rozložených do několika trafostanic. A za druhé, abych poukázal na limitace optimalizace při malém počtu odběrných míst.

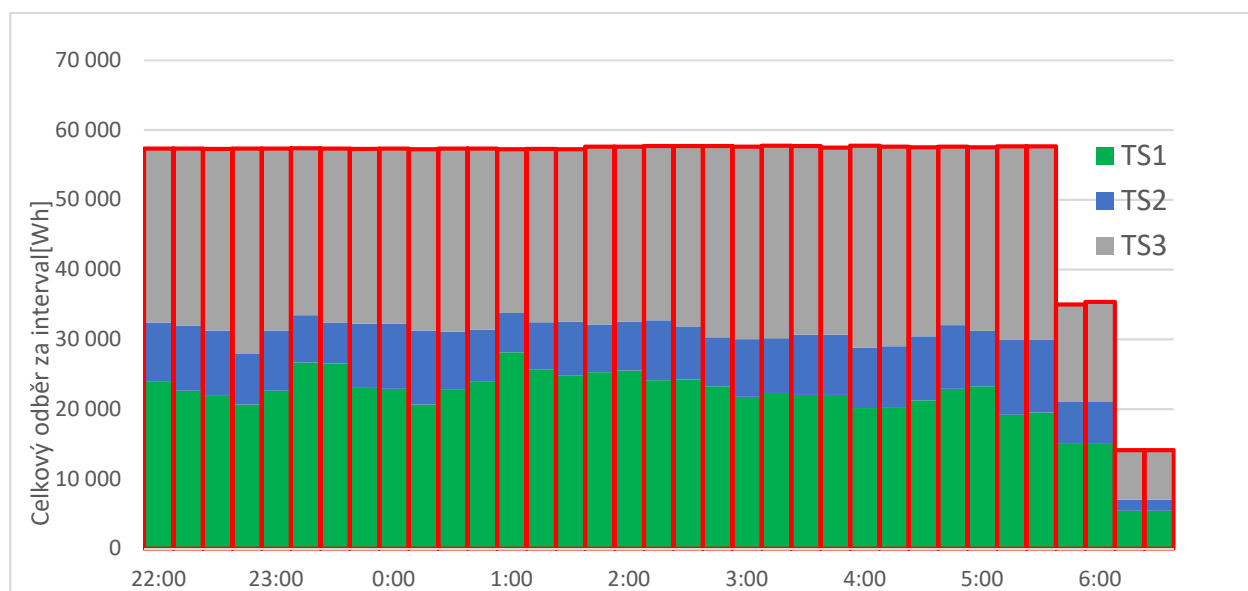
Místa jsem rozdělil do tři trafostanic, TS1-3, přičemž každá má jiný počet míst, aby byl vidět rozdíl v dokonalosti vyhlazení průběhu spotřeby v závislosti na počtu míst.

#### 4.4. Současný stav

V současném stavu existuje sice devět TOU pro sazbu D25d a další čtyři TOU pro sazbu C25d, ale rozdíly mezi časy spínání jsou zanedbatelné, a jsou pouze dva časy sepnutí NT, vzdálené od sebe 20 nebo 40 minut, podle dne v týdnu. Toto jsem nasimuloval rozdělením míst do dvou skupin, kdy jedna sepne v 1:00 a druhá v 1:20. Jak jsem očekával, výsledkem je velká špička, o které jsem psal v první části třetí kapitoly, analyzující chování spotřebitele. Jde o špičku za předpokladu, že by všechna místa sepnula, což je sice scénář, který téměř určitě nenastane, ale je nutné s ním počítat za současného stavu.

#### 4.5. Optimalizace bez ohledu na příslušnost místa k TS

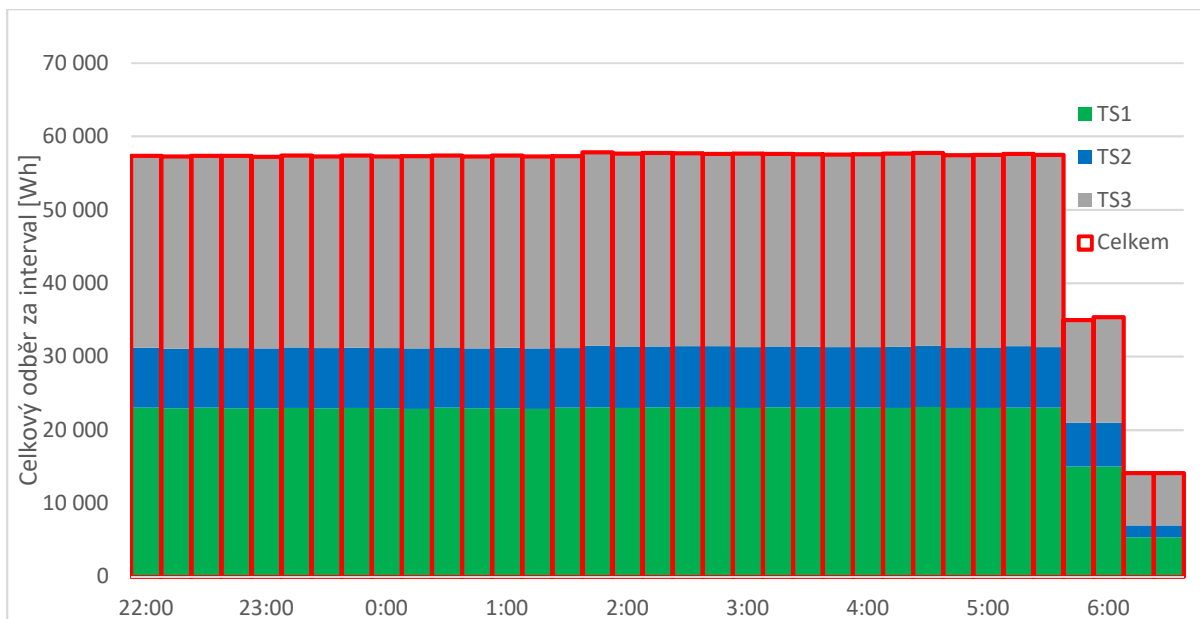
Následující graf dokazuje, proč je nutno optimalizovat po jednotlivých trafostanicích. Pokud totiž optimalizují pro celou lokalitu tvořenou několika trafostanicemi, výsledek sice bude obdélník při pohledu na celou lokalitu jako celek, ale při pohledu na jednotlivé trafostanice už výsledek není zdaleka tak optimální.



Graf 26 Celkový odběr a odběr jednotlivých TS, pokud by se optimalizovalo pouze podle celé oblasti, a nikoliv podle jednotlivých TS

#### 4.6. Optimalizace podle jednotlivých TS

Problém minulého grafu se snadno odstraní optimalizací na nejnižší úrovni. Pokud optimalizují po jednotlivých trafostanicích, bude výsledek za každou TS obdélník, a tedy i výsledek za všechna místa bude logicky opět obdélník.

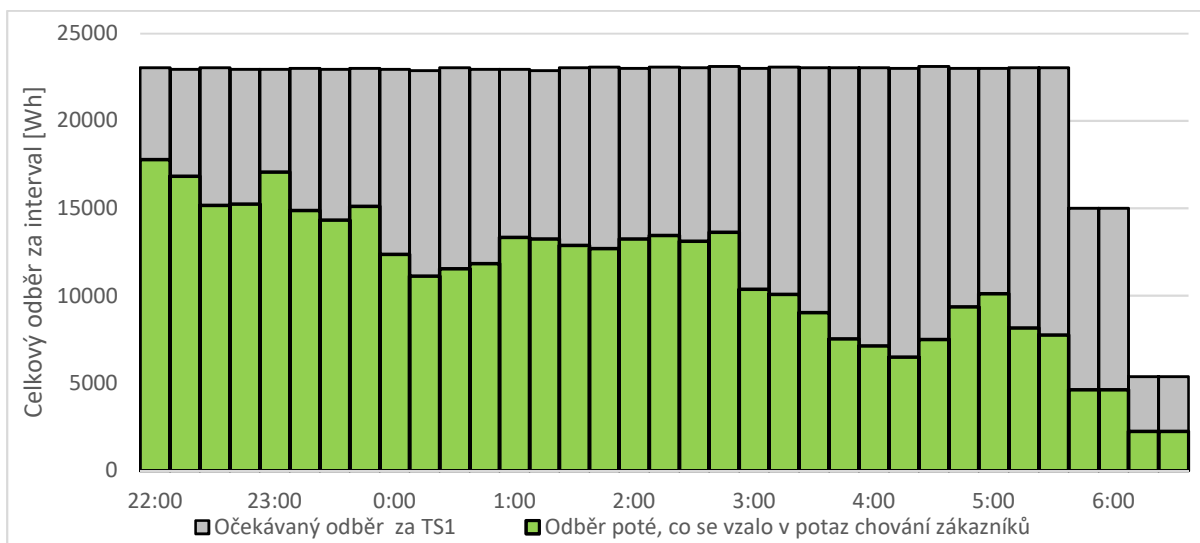


Graf 27 Celkový odběr a odběr v jednotlivých TS, pokud by se optimalizovalo zvlášť pro každou TS

#### 4.7. Průběh spotřeby při odlišném chování odběratelů

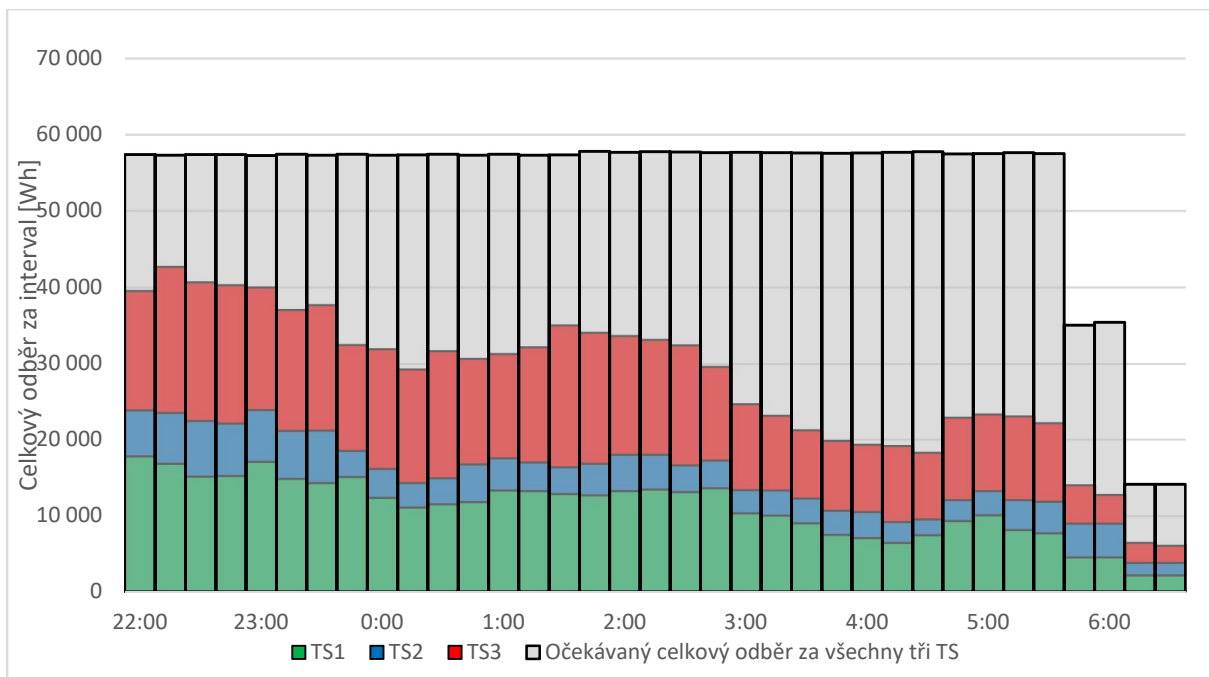
Výsledný průběh na předchozím grafu vypadá naprosto dokonale, prakticky hladký obdélník. Bohužel tak by to vypadalo pouze v případě, pokud by všechna odběrná místa skutečně bojler využívala, a i tak jen pokud by ho využívala po celou dobu, se kterou se při optimalizaci počítá. Jinými slovy, všechna místa by musela pokaždé ohřívat celý objem bojleru v celém teplotním rozsahu od teploty vody z vodovodu po 65°C.

Jak jsem ukázal v minulé kapitole, řada míst bojler nevyužívá, a ze zbylých míst jich řada bojler nevyužívá po celou dobu trvání NT (neohřívá v celém teplotním rozsahu). Proto jsem nyní každému z původních míst přiřadil koeficient reálného využití, 0 %, 50 %, 75 % nebo 100 % a podle toho upravil optimalizaci z předchozí podkapitoly. Pokud má 0 % využití, nahradil jsem všechny hodnoty nulou a při 50 nebo 75 % využití jsem odebral polovinu, či čtvrtinu hodnot. Odebíral jsem vždy od konce, což představuje vypnutí bojleru dříve.



Graf 28 Průběh celkového odběru zdeformovaný tím, že ne všichni odběratelé využívají NT podle očekávání





Graf 29 Očekávaný celkový odběr za všechny tři TS, a skutečný odběr jednotlivých TS, když se vezme v potaz skutečné chování odběratelů

Výsledek je rozhodně lepší než současný stav s jednou velkou špičkou. Protože výsledná spotřeba je menší, než se předpokládalo (protože ne všechna místa budou mít puštěný bojler), může se zdát, že vlastně jde o ještě lepší výsledek, než se od optimalizace očekávalo. Z pohledu distributora tomu ale tak úplně není, pro distributora je co nejideálnější rovnoměrná spotřeba, což tento vzniklý průběh ve tvaru, v jakém je na grafech vidět, nesplňuje. Naopak spotřeba bude více nepředvídatelná. V současnosti se všechna místa spínají skoro ve stejnou dobu a dá se tedy počítat se špičkou, o které je ovšem alespoň přesně známo, v kolik hodin nastane. Pokud se však místa alokují s cílem dosažení obdélníkového průběhu spotřeby, budou začínat v různé časy a výsledný tvar průběhu se bude měnit podle toho, které místo skutečně NT využívá, a které ne. A je tedy možné, že by na jeden čas sepnutí vyšel velký počet míst využívajících NT a na jiný čas by naopak vyšla odběrná místa nevyužívající NT. To by vedlo ke skokovým změnám podobným současnému stavu, naštěstí však v menší míře než v současnosti.

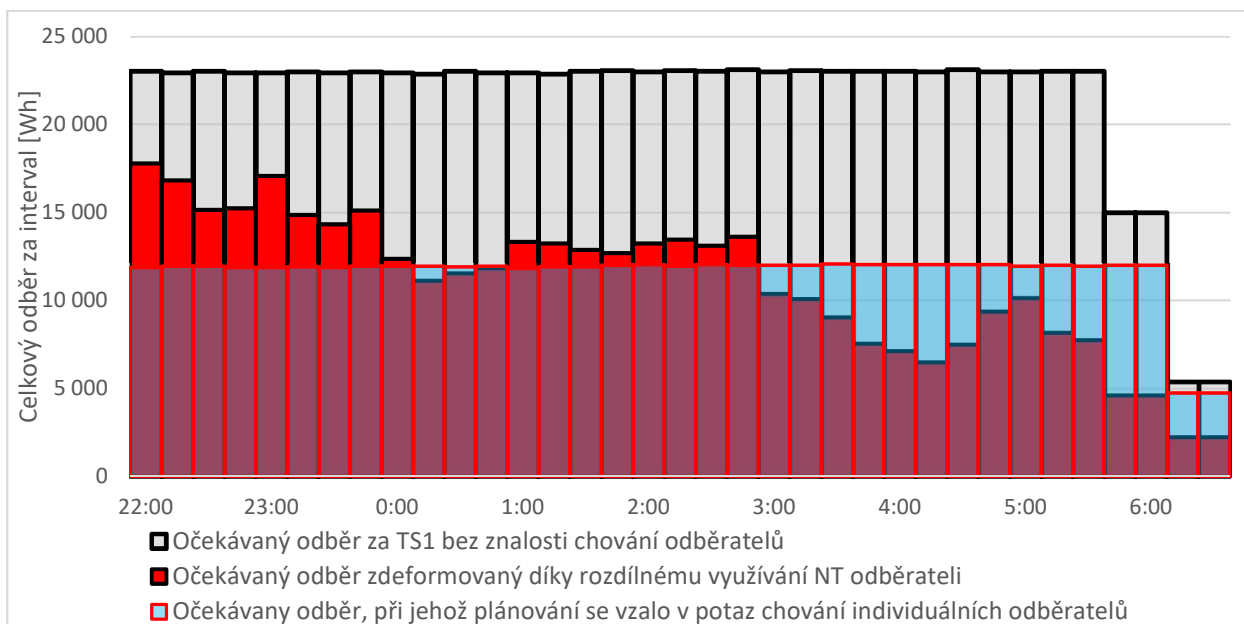
Bohužel pokud by se tato forma řízení spustila ihned po instalaci AMM přístrojů, riziko výše popsaného zde bude. Nicméně pořád bude výsledný průběh lepší, než je současný stav.

#### 4.8. Optimalizace při znalosti chování odběratelů

Po přibližně roce provozu bude nasbíráno dostatek dat o jednotlivých odběratelích a bude možné mnohem přesněji plánovat spínání NT pro jednotlivá místa.

Výsledkem je nejen znovudosažení obdélníkového průběhu, ale protože nyní znám chování odběratelů, a vím, že řada z nich NT buď nevyužívá, využívá velmi málo anebo ho využívá pouze pár dní v roce, bude maximum celkové velikosti odběru za interval, se kterým musím počítat, opět o něco nižší oproti předchozímu předpokladu.

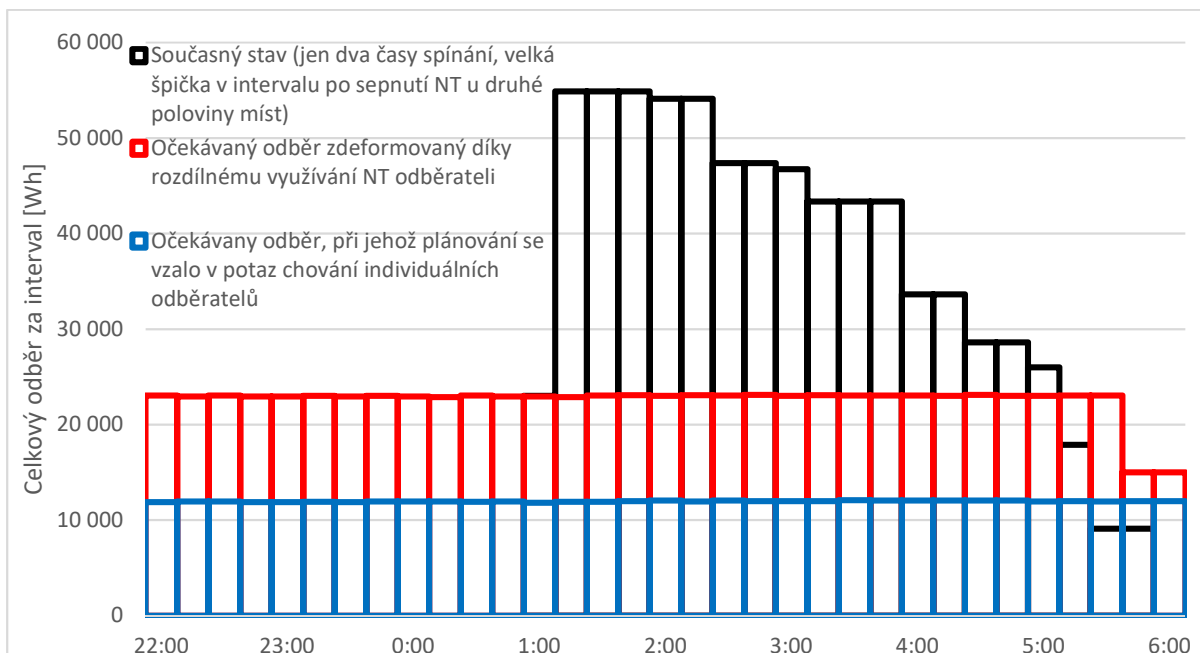
Muselo by se samozřejmě počítat i s možností, že někteří odběratelé, kteří NT normálně nevyužívají, se rozhodnou ho najednou využít, a výsledná hladina spotřeby s níž by se muselo počítat by tedy nejspíše byla někde mezi oběma hladinami v grafu níže.



Graf 30 Průběh spotřeby bez a se znalostí chování jednotlivých odběratelů

I kdyby se nakonec počítalo s velikostí spotřeby podle scénáře, kdy všichni odběratelé využívají NT naplno, pořád se bude jednat o značnou úsporu ve výši spotřeby, a tedy i příkonu, s nimiž se musí počítat, a na něž se musí dimenzovat vedení a rozvodny.

Pro představu, o jak velkou úsporu jde, je tu poslední graf. Maximum v případě, že se předpokládá plné využívání NT má oproti současnému stavu velikost maximální spotřeby méně než poloviční a ideální stav, kdy bude možno pracovat s přesnými informacemi o chování odběratelů, má velikost maximální spotřeby dokonce méně než čtvrtinovou.

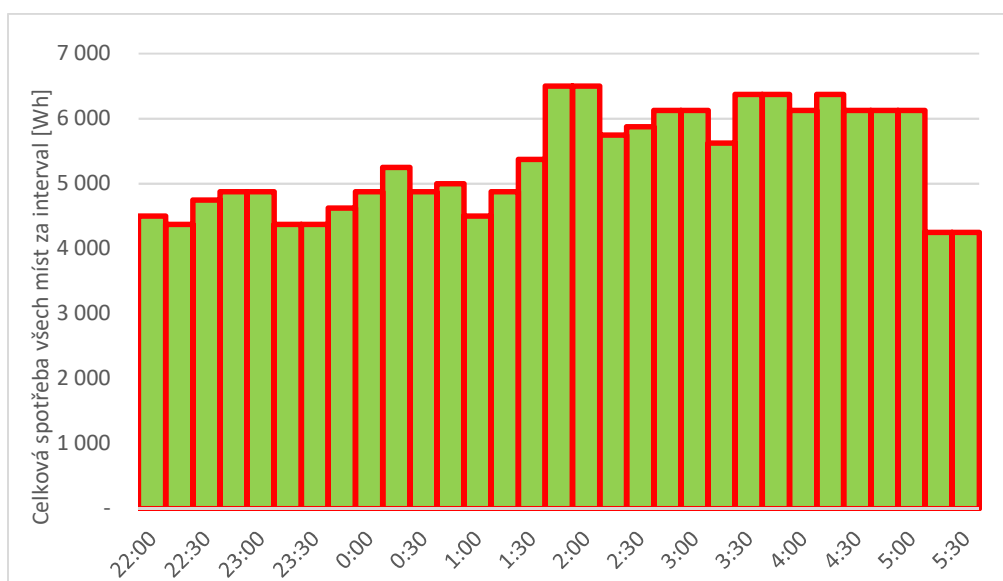


Graf 31 Velikosti odběru pro různé způsoby optimalizace a řízení spotřeby

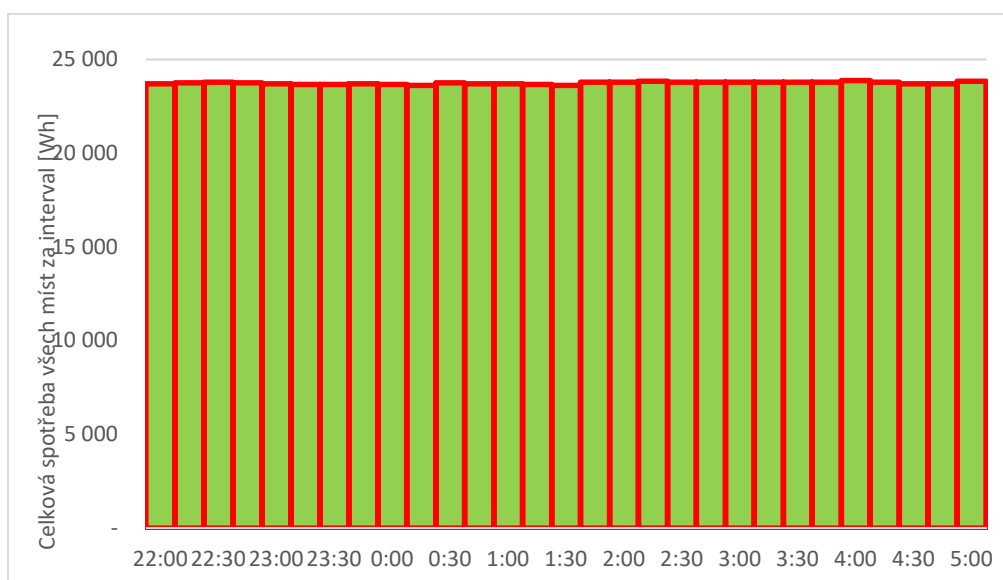
#### 4.9. Přesnost optimalizace v závislosti na počtu odběrných míst

Problémem, který se u takovéto optimalizace může vyskytnout je, že bude v dané lokalitě příliš málo míst s dvoutarifní sazbou, a zároveň bude některé z míst mít instalován bojler s velmi vysokým příkonem. Výsledek takové situace je na následujícím grafu. K TS je připojeno pouze 20 odběrných míst, a z toho jsou dva bojler s velkým příkonem. Výsledek je, že není k dispozici dostatek energie, aby dokázala dorovnat špičky vzniklé v místech, kdy je NT sepnutý u míst s velkým příkonem bojleru. Rozdíl mezi minimem a maximem spotřeby je potom přes 34 %, což není vůbec ideální.

Naopak u TS s 82 odběrnými místy je více než dostatek energie na dorovnání špiček vzniklých díky místům s velkým příkonem. Výsledkem je potom téměř hladký průběh odběru energie a rozdíl mezi maximem a minimem prakticky zanedbatelné jedno procento.



Graf 32 Příklad trafostanice s málo odběrnými místy (20 míst), jejichž spotřebu lze řídit, což vede k nedokonalé optimalizaci



Graf 33 Příklad trafostanice s dostatkem odběrných míst (82 míst), jejichž spotřebu lze řídit, což vede k téměř dokonalé rovnoměrné spotřebě

#### 4.10. Výsledné TOU

Pro představu, jak moc se bude TOU v novém tarifu lišit od současného stavu je zde následující ukázka TOU pro noční úsek NT.

Jak lze vidět, některá odběrná místa vystačí s jedním úsekem NT, zatímco u jiných se spotřeba rozdělí na řadu menších úseků.

Za pozornost stojí světle zeleně podbarvená pole. Nejsou tam časy spínání v celé čtvrthodiny. Jsou to dříve zmíněné případy, kdy NT netrvá po celou dobu intervalu, ale pouze po jeho část. U odběrného místa 147 (druhý řádek) tedy v intervalu od 1:45 do 2:00 nedojde k přepnutí do nízkého tarifu hned ve třičtvrtě, ale až o deset minut později. Právě díky těmto kratším úsekům je možné dosáhnout tak malého rozptylu hodnot.

Nejen, že může začít úsek později, či skončit dříve, je zde například i možnost, že během dvouhodinového úseku na pět minut vypne a pak zase zapne a doběhne zbytek úseku.

Pristroj	Zap	Vyp	Zap	Vyp	Zap	Vyp	Zap	Vyp	Zap	Vyp
OdberneMisto144	22:00	0:30	0:45	1:15	1:45	2:30				
OdberneMisto147	22:30	22:45	23:00	23:15	0:55	2:00	2:30	3:15	3:35	3:45
OdberneMisto151	22:45	23:00	23:45	0:00	0:45	1:00	5:30	5:45		
OdberneMisto157	22:30	23:00	23:45	0:00	0:15	0:30				
OdberneMisto161	0:00	0:15	2:00	4:15	4:30	7:00				
OdberneMisto168	22:00	1:15								
OdberneMisto17	22:00	23:45	0:00	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	5:00	5:15
OdberneMisto170	22:00	2:15	3:00	3:15	5:30	6:00				
OdberneMisto173	22:00	23:15	23:45	0:00	0:30	0:45				
OdberneMisto180	3:45	6:30								
OdberneMisto182	22:00	23:45	0:15	0:30	1:15	1:30	2:00	2:15		
OdberneMisto183	22:00	22:30	22:45	0:30	2:00	2:15				
OdberneMisto184	22:15	22:45	23:00	0:00						
OdberneMisto189	2:15	4:30								
OdberneMisto19	23:15	23:45	0:00	0:30	0:45	1:15	5:00	5:30		
OdberneMisto190	22:00	22:30	22:45	0:15	0:30	2:45	5:00	5:15	5:30	6:00
OdberneMisto193	3:15	5:30								
OdberneMisto194	5:00	7:00								
OdberneMisto196	22:00	0:45	1:00	1:30	5:30	5:45	6:00	7:00		
OdberneMisto198	4:45	7:00								
OdberneMisto2	3:15	6:00								
OdberneMisto20	4:15	7:00								
OdberneMisto200	0:30	5:30								
OdberneMisto203	0:00	5:00								
OdberneMisto207	22:45	23:05	23:55	0:00	1:50	4:10	4:40	7:00		
OdberneMisto211	22:00	23:45	0:00	0:15	0:30	2:45	5:15	6:00		
OdberneMisto212	22:00	22:45	23:00	23:30	0:00	0:15				
OdberneMisto221	22:30	23:00	23:30	0:00	0:30	0:45	1:00	1:15	5:30	6:00

Obrázek 5 Ukázka, jak by mohly vypadat TOU tabulky po zavedení dynamického spínání NT

#### 4.11. Možnost využití AMM přístrojů jako jističů

V předchozí části jsem se věnoval optimalizaci spotřeby pouze u odběratelů s distribučními sazbami na akumulaci ohřevu vody. Důvodem je doba trvání nízkého tarifu, která je u těchto sazeb pouze 8 hodin. To znamená, že lze interval, v němž může NT sepnout, roztáhnout do delších časových úseků. U sazby s délkou trvání NT 20 a více hodin už je prostor pro posouvání spotřeby mnohem menší a u jednotarifů není vůbec.

Jelikož se však AMM přístroje budou instalovat plošně do všech odběrných míst, je vhodné se zamyslet, zda by se nedaly jejich funkce využít i pro místa s jinou sazbou než D25d. Jedna taková možnost je zde proto krátce představena.

AMM přístroje mají možnost fungovat jako jistič, a co je pro tento návrh nejdůležitější, mohou měnit velikost jeho jmenovitého proudu. Díky tomu by si odběratelé mohli na část roku snížit velikost jističe, když vědí, že v tu dobu jeho plnou kapacitu nevyužijí a ušetřit tak na měsíční platbě za jistič. Pro představu o velikosti poplatků za jistič v závislosti na jeho velikosti je zde přiložena Tabulka 6.

	Měsíční platba [Kč]		
Jistič [A]	D02d	D25d	D45d
3x16	79,86	96,80	221,43
3x25	124,63	151,25	346,06
3x32	159,72	193,60	442,86
3x40	198,44	242,00	552,97

Tabulka 6 Měsíční platby odběratelů za jistič v závislosti na sazbě a velikosti jističe

Tato možnost snížení velikosti jističe by však byla přínosem i pro distributora. Jelikož jde pouze o dočasné snížení velikosti, nebude to mít vliv na dimenzování sítě. Bude to ale mít vliv na koeficient soudobosti, který půjde díky zde popsané metodě snížit.

Úspora snížením velikosti jističe				
Sazba	Velikost jističe [A]		Měsíční úspora	Úspora za 6 měsíců
	Původní	Snížená		
D25d	3x25	3x16	54,45 Kč	326,70 Kč
D25d	3x32	3x16	96,80 Kč	580,80 Kč
D45d	3x32	3x25	96,80 Kč	580,80 Kč
D45d	3x40	3x25	206,91 Kč	1 241,46 Kč

Tabulka 7 Potenciál úspory pro odběratele díky snížení velikosti jističe po část roku

Tabulka č.7 ukazuje potenciál těchto úspor pro odběratele v závislosti na sazbě a o kolik se jistič sníží. Pro představu o tom, kdo by o takovouto možnost mohl mít zájem, zde uvádím dva příklady.

Pokud je někdo chatař a má na své chalupě bojler, díky němu sazbu D25d a má jistič 3x25 A, či dokonce 3x32 A, musí platit stejnou částku po celý rok, i když je na chalupě pouze v letních měsících a v zimních měsících tam pouze jednou za čas zajede na kontrolu. Po tuto dobu nepotřebuje mít jistič s tak velkým jmenovitým proudem a vystačil by s 3x16 A. Pokud je na chalupě pouze polovinu roku, činily by jeho roční úspory téměř 600 korun.

Opačným případem pak mohou být odběratelé se sazbou pro přímotopy, kterých je jen v Praze přes 50 tisíc<sup>17</sup>. Tato místa (alespoň ve vzorku odběrných míst, jež jsem analyzoval) mají většinou jistič

<sup>17</sup> Na základě dat poskytnutých společnostmi PREdistribuce, a.s.

3x32 A či dokonce 3x40 A. Jak je vidět z tabulky č.6, jsou platby za jistič u této sazby značně vyšší, než u D25d či jednotarifu. Pokud půl roku netopí, je možné, že by nepotřeboval 3x40 A, a vystačil si pouze s 3x25 A. Tím by ušetřil měsíčně přes 200 korun, což za 6 měsíců dá již nezanedbatelných 1 200 korun. Jedním ze závěrů kapitoly 3.3 bylo, že přes 30 % zkoumaných míst s touto sazbou má v topné sezoně dvojnásobně větší denní spotřebu oproti létu, a právě taková místa by o tuto nabídku mohla mít zájem.

## 5. Výpočet úspor investic do rozvoje distribuční sítě díky optimalizaci spotřeby

V minulé kapitole jsem se věnoval snížení špičky spotřeby díky optimalizaci rozložení spotřeby v průběhu dne. V poslední části této práce se zaměřím na to, jak toto snížení promítnout do praktických úspor.

Jak jsem uvedl ve druhé kapitole, v tomto desetiletí se plánuje instalace AMM do všech odběrných míst v souladu s Národním akčním plánem pro chytré sítě a s evropskou legislativou. Neřeším tedy, zda by se instalace měla provést, protože k ní dojde bez ohledu na velikost úspor, které by optimalizace přinesla, ale zkoumám, jak plně využít potenciál instalovaných přístrojů. Proto zde pracuji pouze s úsporami a nepracuji s náklady, které s sebou instalace chytrých elektroměrů a související infrastruktury.

### 5.1. Optimalizace spotřeby trafostanice TS2733 (Kunratice)

Pro výpočty reálných úspor jsem zvolil trafostanici TS2733, napájející převážně rodinné domy v městské části Kunratice (viz mapa v příloze). Důvod, proč jsem ze čtyř trafostanic, jejichž data jsem měl k dispozici, vybral zrovna tuto trafostanici, byl prostý, nejvíce odběrných míst ve vzorku bylo právě z TS2733.

K dispozici jsem pro tuto trafostanici měl 78 odběrných míst s různými sazbami. Pro lepší práci jsem sazby agregoval podle účelu na jednotarifní, dvoutarifní určené k ohřevu vody a dvoutarifní určené na vytápění. Výsledné rozdělení je vidět na tabulce č.8.

Jednotarifní (C02d, D01d a D02d)	22
Dvoutarifní na ohřev vody (C25d, D25d, D26d)	30
Dvoutarifní na vytápění (C45d, D35d, D45d, D56, D57d)	26

Tabulka 8 Rozdělení odběrných míst do skupin podle sazeb (odběrná místa ve vzorku připojená k TS2733)

Následně jsem vypočítal průměrné odběry na jedno místo v každém intervalu měření pro každou ze skupin sazeb a rovněž pro všechna místa dohromady. Poté jsem spotřebu optimalizoval nejideálnějším možným způsobem, tedy na základě skutečných dat. Stejně jako pro data před optimalizací jsem spočítal průměrné odběry pro data po optimalizaci.

Pro tato data jsem našel interval s maximální spotřebou před a po optimalizaci, a spotřebu v tomto intervalu, jak ukazuje tabulka č.9.

<b>Před optimalizací</b>	
Maximum celkové za interval [Wh]	20 602,00
Maximum průměrné za interval [Wh]	264,13
Čas maxima	15:00
<b>Po optimalizaci</b>	
Maximum celkové za interval [Wh]	16 515,00
Maximum průměrné za interval [Wh]	211,73
Čas maxima	17:45

Tabulka 9 Spotřeba za interval s maximální spotřebou před a po optimalizaci (z dat ve vzorku pro místa připojená k TS2733)

Těchto 78 míst ale nepředstavuje všechna místa připojená k TS2733. Celkový počet připojených míst je 155. Pro určení celkového odběru v této trafostanici v jednotlivých intervalech jsem tedy stejným způsobem, jakým jsem agregoval data ve vzorku, agregoval všechna místa připojená ke trafostanici.

Jednotarifny (01d a 02d)	61
Dvoutarifny na ohřev vody (25d, 26d)	41
Dvoutarifny na vytápění (35d, 45d, 57d)	53

Tabulka 10 Rozdělení odběrných míst do skupin podle sazeb (všechna odběrná místa připojená k TS2733)

Následně jsem opět spočítal maximální celkovou a maximální průměrnou spotřebu za jeden interval a našel interval tohoto maxima.

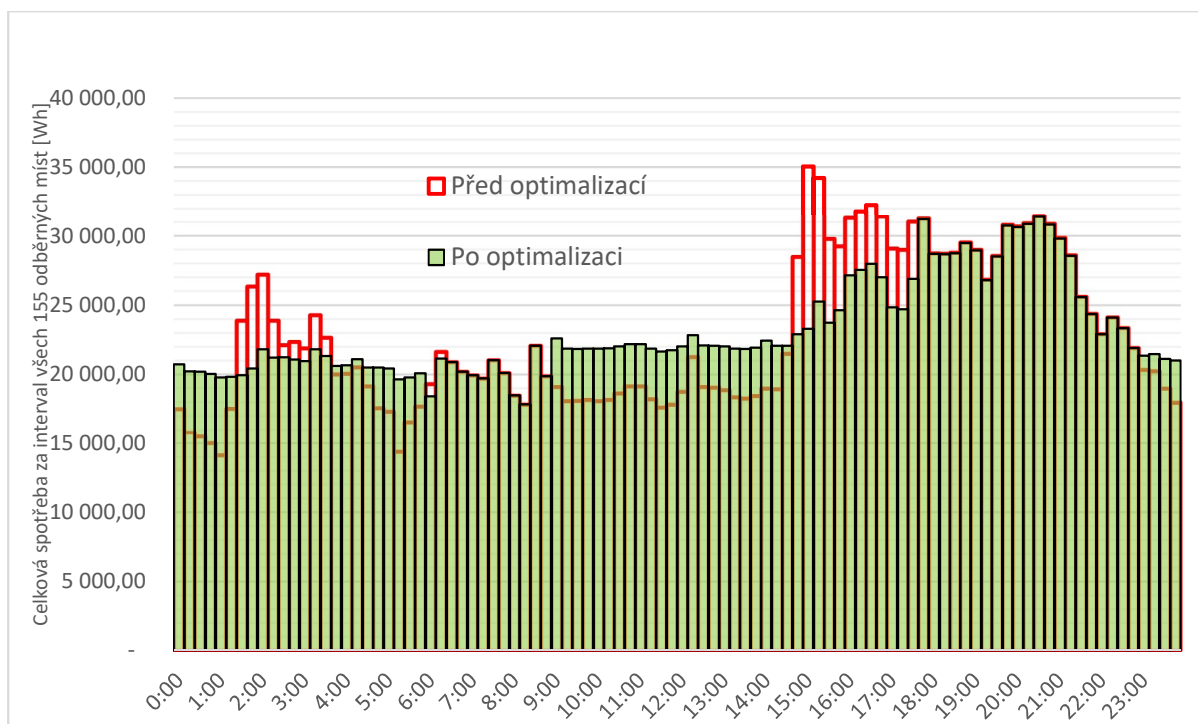
<b>Před optimalizací</b>	
Maximum celkové za interval [Wh]	35 045,81
Maximum průměrné za interval [Wh]	226,10
Čas maxima	15:00
<b>Po optimalizaci</b>	
Maximum celkové za interval [Wh]	31 438,11
Maximum průměrné za interval [Wh]	202,83
Čas maxima	20:30

Tabulka 11 Spotřeba za interval s maximální spotřebou před a po optimalizaci (všechna odběrná místa připojená k TS2733)

Při porovnání tabulek č.9 a č.11 stojí za povšimnutí, že došlo k více změnám než jen ke změně celkové velikosti spotřeby. Zatímco spotřeba podle očekávání *vzrostla*, rozdíl mezi průměrnou spotřebou před a po optimalizaci se naopak *zmenšil*. Rovněž ačkoliv čas před optimalizací zůstal stejný, čas po optimalizaci se změnil. Oba jevy mají stejný důvod a tím je změna poměru přístrojů.

V původním vzorku je nejvíce odběrných míst s dvoutarifem na ohřev vody, tedy těch míst, se kterými v optimalizaci pracuji. Ale když se vezmou všechna místa připojená k trafostanici, je zdaleka nejvíce jednotarifů (61 míst). Dvoutarifů na ohřev vody je pouze 41, tedy zhruba dvě třetiny počtu jednotarifů.





Graf 34 Celková spotřeba všech 155 odběrných míst připojených k TS2733 před a po optimalizaci

Problém, který vzniká při snaze optimalizovat spotřebu místa, kde je počet míst s jednotarifem větší, než počet míst s dvoutarifem na ohřev vody je, že i když optimalizují spotřebu v době NT okolo třetí hodiny odpolední (a jak je vidět na grafu č.34 výše, spotřeba v tu dobu se skutečně ztelně snížila), ve večerních hodinách (mezi sedmou a desátou hodinou) nastane denní maximum spotřeby pro jednotarifní místa. A tuto špičku snadno snížit nelze. Tudíž reálné snížení špičky spotřeby je pouze rozdíl mezi maximem TS v době NT a maximem v době VT. Vliv složení odběrných míst budu podrobněji zkoumat později.

#### 5.1.1. Velikost úspory díky optimalizaci

Nyní se vrátím o stránku zpět k tabulce č.11. Maximální spotřeba za jeden interval měření před optimalizací byla 35 kWh a po optimalizaci to činilo 31,4 kWh. Velikost špičky spotřeby se tedy snížila o 3,6 kWh.

Pro dimenzování transformátoru se ale pracuje s proudem, nikoliv se spotřebou. Bohužel z dat nelze získat okamžité hodnoty proudu, lze však alespoň spočítat průměrnou velikost zatížení a z toho poté určit průměrnou velikost proudu.

Průměrný celkový příkon a průměrný celkový proud všech odběrných míst v intervalu s maximem spotřeby				
<u>Před optimalizací</u>				
140 183,26	W	=>	202,34	A
<u>Po optimalizaci</u>				
125 752,45	W	=>	181,51	A
<u>Snížení špičky o</u>				
14 430,81	W	=>	20,83	A

Tabulka 12 Průměrný celkový příkon všech 155 míst a průměrný proud všech 155 míst v intervalu s maximem spotřeby

Průměrný proud v intervalu s maximem spotřeby by se tedy v tomto případě díky optimalizaci snížil o 20,83 A, což představuje pokles o přibližně 10 %.

Jak ale toto snížení prakticky využít? V TS2733 je instalován transformátor o výkonu 630 kVA. Podniková norma PREDistribuce číslo KA 101 (26) stanovuje velikosti optimálního zatěžování transformátoru na 70 % jeho jmenovité hodnoty.

Při 100 % zatížení transformátoru je velikost proudu 913 A a z toho 70 % tedy činí 640 A. Jak je vidět v tabulce, v případě hodnot, se kterými pracuji ve své práci (mediány za celý rok) je v současnosti maximální zatížení 202,34 A, což je 22,2 % jmenovitého zatížení. Snížením maximálního průměrného proudu o 20,83 A pokleslo toto zatížení na 181,51 A, což představuje 19,9 % jmenovitého zatížení. Díky optimalizaci se tedy navýšila rezerva o 2,3 %.

Dvě procenta se mohou zdát velmi málo, ale toto zdánlivě malé snížení by umožnilo připojit dalších 18 odběrných míst se stejným průměrným příkonem. Při zachování poměru sazeb by to představovalo sedm míst s jednotarifními sazbami, šest míst se sazbou na vytápění a čtyři místa se sazbou na ohřev vody.

### 5.1.2. Snížení velikosti ztrát na vedení a transformaci

Díky optimalizaci jsem snížil špičku spotřeby, a tedy i průměrnou velikost proudu. Protože ztráty rostou s druhou mocninou proudu, povede rovnoměrnější rozložení spotřeby díky snížení špiček i ke snížení ztrát jak na vedení, tak v transformátoru u ztrát nakrátko. Nabízí se tedy otázka, zda je tato úspora natolik významná, aby se projevila v úsporách pro distributora.

#### Ztráty v kabelech

V lokalitě jsou instalovány kabely 3 x 185 + 95 mm<sup>2</sup>. Odpor tohoto kabelu je 0,164 Ω/km (27). Jelikož data poskytnutá společností PRE byla anonymizována, neznám přesné vzdálenosti odběrných míst od trafostanice. Z mapy v příloze ale lze přibližně spočítat celkovou délku kabelové sítě napájenou z rozvodny. Tuto délku jsem v minulosti stanovil na přibližně 3,5 km, a proto budu počítat průměrnou vzdálenost míst od rozvodny jako polovinu, tedy 1,75 km.

Ztráty za den tedy spočítám jako

$$P = r * l * \left( \sum_{i=1}^{96} I_i^2 - \sum_{j=1}^{96} I_j^2 \right) \quad (Wh)$$

r = odpor kabelu [Ω/km]

l = průměrná délka kabelu od rozvodny k odběrnému místu [km]

I<sub>i</sub> = průměrný proud za interval před optimalizací [A]

I<sub>j</sub> = průměrný proud za interval po optimalizaci [A]

i, j = 15minutový interval měření

*Rovnice 3 Ztráty v kabelech za den*

Výsledná úspora za den vyšla 879 Wh, což je úspora pouhých 0,18 %. Za celý rok činí úspory pouze 320 kWh, což je prakticky zanedbatelné číslo.

#### Ztráty nakrátko v transformátoru

V TS2733 je nainstalován transformátor o výkonu 630 kVA. Hodnoty jmenovitých ztrát nakrátko a naprázdno pro transformátor této velikosti jsem převzal z Vyhlášky č. 153/2001 Sb. (28). Pro výpočet doby plných ztrát T<sub>ztr</sub> jsem potom použil následující vzorec, převzatý z materiálů ERÚ (29). Protože mám data pro průměrnou spotřebu za jeden den, je T<sub>p</sub> rovno 24 hodinám.

$$T_{ztr} = T_p * \left( 0,2 * \frac{T_{max}}{T_p} + 0,8 * \left( \frac{T_{max}}{T_p} \right)^2 \right) \quad (h)$$

T<sub>ztr</sub> = doba plných ztrát [h/den]

T<sub>p</sub> = doba provozu transformátoru (v tomto případě 24 h)

T<sub>max</sub> = doba využití maxima [h/den]

*Rovnice 4 Výpočet doby plných ztrát*

Celkovou velikost ztrát jsem poté spočítal následovně:

$$W_{ztr} = \Delta P_o * T_p + \Delta P_k * \left(\frac{S_{max}}{S_n}\right)^2 \text{ (kWh/den)}$$

$W_{ztr}$  = ztráty elektrické energie za jeden den [kWh/den]

$\Delta P_o$  = jmenovité ztráty transformátoru naprázdno [kW]

$T_p$  = doba provozu transformátoru (v tomto případě 24 h)

$\Delta P_k$  = jmenovité ztráty transformátoru nakrátko [kW]

$S_n$  = jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru [kVA]

$S_{max}$  = maximální průměrné zatížení za interval [kVA]

*Rovnice 5 Výpočet celkových ztrát za den*

Přehled hodnot všech použitých veličin a výsledků výpočtů je uvedený v následující tabulce.

	Před optimalizací	Po optimalizaci	
$S_{max}$	140,2	125,8	kVA
$S_n$	630,0	630,0	kVA
$\Delta P_k$	6,5	6,5	kW
$\Delta P_o$	0,322	0,259	kW
$T_{max}$	15,6	17,4	h
$T_{ztr}$	8,2	10,2	h
$W_z$ nakrátko	2,642	2,638	kWh/den
$W_z$ naprázdno	21,84	21,84	kWh/den
$W_z$ celkem	24,482	24,478	kWh/den
Snížení ztrát o	0,004		kWh/den

*Tabulka 13 Snížení ztrát na transformátoru díky optimalizaci spotřeby*

Z tabulky je jasně vidět, že ztráty nakrátko se na celkových ztrátách podílí minimálně, pouze přibližně deseti procenty (mimo jiné proto, že transformátor je zatížen na pouze zhruba 20 %) a tedy úspory jsou rovněž prakticky nulové, ještě o dva řády menší než v případě ztrát v kabelech.

Závěr těchto dvou podkapitol je, že pro danou trafostanici je potenciál snížení ztrát díky optimalizaci jak v transformátoru, tak v kabelech, naprosto zanedbatelný. Proto s nimi nebudu v práci nadále počítat.

### 5.1.3. Citlivostní analýza závislosti snížení proudu na poměru distribučních sazeb připojených k trafostanici

Při popisu grafu č.32 jsem zmiňoval omezení potenciálu úspor díky optimalizaci způsobené velkým poměrem sazeb, jejichž spotřebu nejsem schopen řídit. Ne všechny trafostanice však budou mít stejný poměr připojených míst, a proto je vhodné se podívat, jaká by byla úspora proudu, a kolik by tedy šlo připojit nových míst, kdyby se poměr změnil.

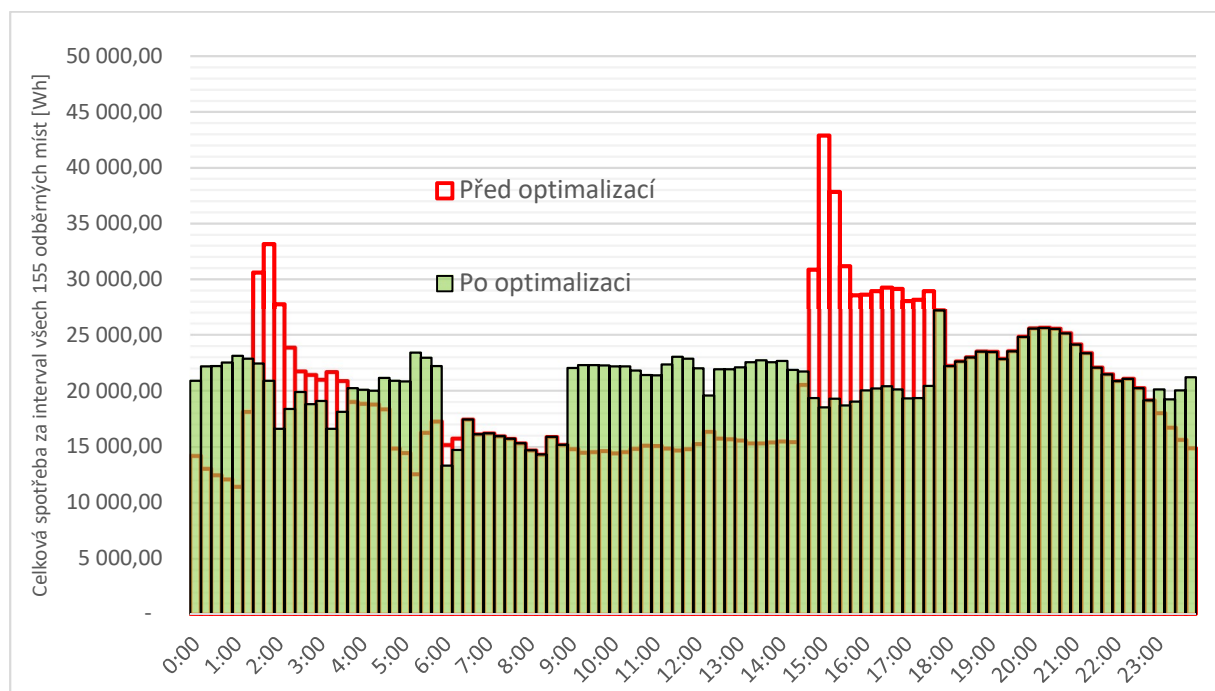
Následující tabulka toto ukazuje na příkladech několika kombinací (zelený sloupec jsou skutečné počty sazeb).

Dvoutarifny na ohřev vody (25d, 26d)	125	85	52	50	41	25	10
Jednotarifny (01d a 02d)	30	50	52	95	61	105	135
Dvoutarifny na vytápění (35d, 45d, 57d)	0	20	51	10	53	25	10
<b>Snížení maximální velikosti proudu [A]</b>	<b>140,02</b>	<b>90,4</b>	<b>37,03</b>	<b>45,11</b>	<b>20,83</b>	<b>1,97</b>	<b>0</b>
<b>Počet navíc připojitelných míst</b>	<b>135</b>	<b>89</b>	<b>31</b>	<b>56</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

Tabulka 14 Různé kombinace distribučních sazeb a vliv na to, o kolik se sníží průměrný proud v intervalu s maximem spotřeby

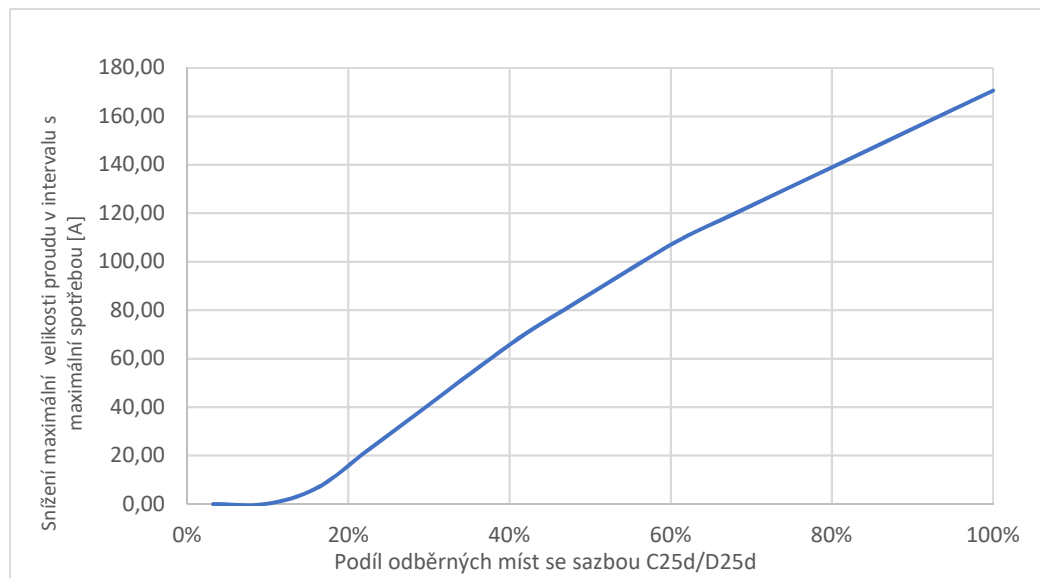
Jak je vidět, čím větší je podíl dvoutarifních sazeb na ohřev vody, tím větší je úspora. Pokud by se poměr změnil jen relativně málo, a počet sazeb byl stejný, úspora by hned byla téměř dvojnásobná oproti současnému stavu. A jakmile by počet říditelných míst začal převažovat, začnou čísla růst velmi rychle. S klesajícím počtem míst s jednotarifní sazbou totiž klesá večerní špička, a naopak roste špička v době NT. Tato špička ale může být odstraněna optimalizací.

Toto je demonstrováno na následujícím grafu, ukazujícím situaci, kdy by poměr míst byl 85 sazeb na ohřev vody, 50 jednotarifních sazeb a 20 dvoutarifů na vytápění. Špička spotřeby je větší, než v případě reálné kombinace sazeb (43 tisíc Wh oproti 35 tisícům), ale po optimalizaci je pouze 27 tisíc Wh oproti 31 tisícům v případě skutečného poměru.



Graf 35 Příklad rozdílů v celkové spotřebě při jiném poměru sazeb (přičemž celkový počet míst zůstal zachován - 155 míst)

Následující graf ukazuje o kolik lze snížit špičku velikosti proudu v závislosti na podílu odběrných míst, jejichž spotřebu lze řídit. V tomto případě nepočítám se sazbami vytápění, ale pouze jednotarifní a sazby na ohřev vody. Celkem je připojeno 155 míst a tedy 0 % podíl dvoutarifů znamená 155 míst s jednotarifní sazbou a naopak 100 % podíl znamená 155 míst s dvoutarifní sazbou.



Graf 36 Citlivostní analýza možnosti snížení maximální velikosti proudu díky optimalizaci v závislosti na podílu říditelných odběrných míst

#### Počet navíc připojitelných míst, pokud by trafostanice byla maximálně vytížena

V minulé části jsem zkoumal úspory při současném stavu. TS2733 ovšem není plně vytížena, tudíž kdyby se vyskytla potřeba připojit nová místa, nepředstavovalo by to velký problém. Jiná situace by ovšem byla, pokud by se vytížení blížilo 70 % hranici. V takovéto situaci by v současnosti bylo nutno postavit novou trafostanici (protože je na místě již 630 kVA transformátor, nepřipadala by v úvahu ani možnost navýšit výkon). Díky optimalizaci by se tak dalo ušetřit na investici do nového transformátoru Maximum připojitelných odběrných míst při zachování poměru sazeb je zhruba 480, tedy trojnásobek v současnosti připojeného počtu. Díky optimalizaci by se v takovém případě dalo navíc připojit dalších 55 míst.

#### 5.1.4. Příjmy z distribučních poplatků díky nově připojeným odběrným místům

V přechozích kapitolách jsem stanovil, že při optimalizaci současné spotřeby bych mohl připojit 18 nových odběrných míst, aniž by se celková špička spotřeby zvýšila. Distributor má příjmy z distribučních poplatků placených odběrateli. Pokud tedy připojí 18 nových míst, budou to příjmy navíc. Pokud budu předpokládat, že se jedná o nastavby současných objektů, nebudou zde pro distributora žádné náklady navíc, jelikož hlavní domovní vedení si hradí zákazník sám. Jediné významné investice jsou instalace jističe, kterou si však musí odběratel zaplatit skrze připojovací poplatek za jistič a zřízení přípojky, kterou musí distributor zřídit na vlastní náklady. Jelikož se však složitost přípojky může místo od místa lišit, nebudu se náklady na přípojku zabývat a budu tedy pracovat s předpokladem, že se jedná o nastavby současných objektů a počítat pouze příjmové NPV.

Zde je nutno upřesnit, že platby za distribuované množství a za jistič nejdou od odběratele přímo distributorovi, ale distributorovi je vyplácena částka Operátorem trhu na základě metodiky Energetického regulačního úřadu. (30) Jedná se o složitý výpočet, jež bere v potaz řadu hodnot, jež nemám k dispozici. Pro zjednodušení budu tedy počítat přímo s částkami vybranými od koncových odběratelů.

Jak bylo uvedeno, při zachování současného poměru by z 18 míst bylo sedm jednotarifních, šest dvoutarifních na vytápění a čtyři dvoutarifní na ohřev teplé vody. Pro každou z těchto kategorií jsem vzal nejběžnější sazbu z dané kategorie, konkrétně D02d, D45d a D25d. Díky optimalizaci již nejde snadno spočítat, která elektřina by byla v současném NT a která ve VT, a proto jsem výslednou platbu za distribuovanou množství spočítal podle následujícího vzorce

$$\text{Výsledná cena} = \text{Cena v NT} * \text{Procento dne v NT} + \text{Cena ve VT} * \text{Procento dne ve VT} [\text{Kč/MWh}]$$

*Rovnice 6 Výpočet výsledné ceny za distribuované množství*

Výsledné částky pro jednotlivé sazby jsou vidět v následující tabulce

Cena za distribuované množství		
Skupina tarifů	Výsledná částka	
Jednotarifní (01d a 02d) [Wh]	1626,00	Kč/MWh
Dvoutarifní na vytápění (35d, 45d, 57d) [Wh]	1103,61	Kč/MWh
Dvoutarifní na ohřev vody (25d, 26d) [Wh]	184,97	Kč/MWh

*Tabulka 15 Výsledná cena za distribuované množství pro účely výpočtu dodatečných příjmů distributora*

Na základě toho jsem z průměrů pro jednotlivé intervaly měření spočítal příjmy, které distributor získá za těchto 18 nových míst. Za rok tyto příjmy navíc činí 88 247 Kč.

K tomu lze rovněž přičíst měsíční platbu za jistič. Z míst připojených k TS 2733 je pro jednotarifní sazby a pro sazby k akumulárnímu ohřevu vody nejběžnější jistič 3x25 A a pro sazbu na topení jistič 3x32 A, proto jsem počítal s cenami za tyto jističe. Z této položky distributor vybere za rok 41 004 Kč.

Celkový přínos těchto dodatečných příjmů jsem stanovil pomocí NPV s použitím následujícího vzorce pro NPV.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \left( \frac{CF}{(1+i)^t} \right) [Kč]$$

CF=roční příjmy navíc

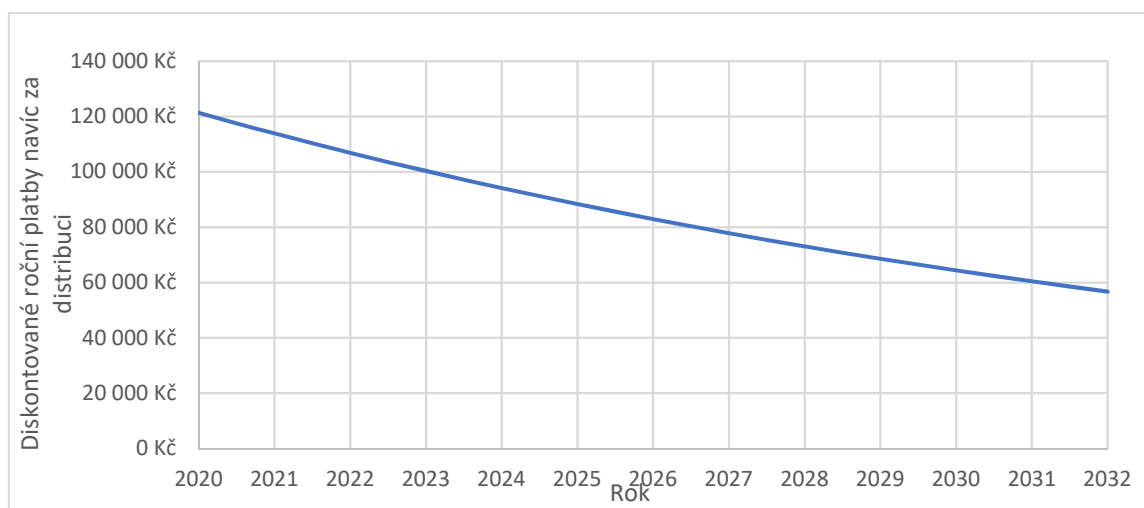
i=diskont (v této práci rovný WACC stanovenému ERÚ)

n=doba životnosti

*Rovnice 7 Vzorec pro NPV*

Doba životnosti transformátoru je 40 let. Nicméně transformátor v TS2733 je v provozu již od roku 1993 a tedy zbývající životnost je již pouze 13 let, a proto počítám s touto dobou. Diskont jsem zvolil 6,54 %, což je nominální hodnota WACC upravená o vliv daně (před zdaněním), stanovená ERÚ. (31)

Výsledné NPV za 13 let z příjmů získaných díky distribučním poplatkům 18 nově připojitelných míst je 1 108 975 Kč.



*Graf 37 Příjmy z distribučních poplatků placených odběrateli z 18 odběrných míst, jež by šlo nově připojit díky optimalizaci snižující výkonovou špičku*



### 5.1.5. Úspory na investicích do infrastruktury

Snížení velikosti špičky spotřeby nejenže přinese distributorovi příjmy navíc díky možnosti připojit nová místa bez nutnosti rozšíření infrastruktury (transformátor, kabelové vedení). Samotný fakt, že nebude nutno rozšiřovat infrastrukturu, respektive bude možno investice odložit, však rovněž představuje pro investora úspory. Úspory se týkají dvou částí distribuční sítě. Distribučního transformátoru 22/0,4 kV a kabelového vedení.

Investice a jejich úspory jsem přepočítal pro lepší představu na jedno odběrné místo. Protože nejde o úsporu, ale o odložení investice, rozložil jsem úsporu do doby životnosti transformátoru. Stejně jako v předchozím výpočtu pracuji se zbývajícím životností transformátoru, tedy s 13 let. Z úspor v jednotlivých letech jsem spočítal NPV (viz rovnice 7), přičemž diskont jsem zvolil opět 6,54 %, tedy výši WACC stanoveného ERÚ

#### Snížení měrných investičních nákladů transformátoru

Pro zjištění ceny trafostanice jsem použil dokument Ministerstva pro místní rozvoj nazvaný „Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí“ (32). Ceny pro olejový transformátor v kobkové trafostanici jsou zde sice pouze pro výkony do 400 kVA, nicméně cena roste mezi jednotlivými výkony konstantně, tedy jsem po konzultaci s vedoucím práce stanovil cenu za transformátor ve výši 921 600 Kč.

Pokud je v současnosti připojeno 155 odběrných míst, byly měrné investiční náklady na transformátor ve výši 5 945,81 Kč/místo. Po optimalizaci a připojení dalších 18 míst jsou měrné náklady ve výši 5 327,17 Kč/ místo. Rozdíl tak činí 618,64 Kč/místo a NPV odložené investice je 408 korun na místo.

#### Snížení měrných investičních nákladů kabelového vedení

V lokalitě jsou instalovány kabely 3 x 185 + 95 mm<sup>2</sup> a celkovou délku kabelového vedení jsem na základě mapy (viz příloha) stanovil na 3,5 km. Ze stejného zdroje jako v případě transformátoru jsem stanovil cenu za položení 1 metru vedení na 1 881 Kč.

Pokud je v současnosti připojeno 155 odběrných míst, byly by měrné investiční náklady na vedení ve výši 21 237,1 Kč/místo. Po optimalizaci a připojení dodatečných míst klesnou náklady ve výši 19 027,46 Kč/ místo. Rozdíl zde činí 2 209,64 Kč/místo a NPV odložené investice je 1 458 korun na místo.

## 5.2. Ověřování plnění podmínek pro přiznání distribuční sazby

Kromě výše popsanych úspor na infrastruktuře jsem rovněž prozkoumal další možnost úspor. Ač nejde přímo o úspory na infrastruktuře, věřím, že stojí za zmínku, jelikož jak ukáží, jde o nezanedbatelné částky. Jedná se o systém, jež by se nepochybně řadě lidí nezamlouval a možná by mohl být označen tak trochu za „Orwellowský“. Za současné legislativy by toto provádět nešlo, vyžadovalo by to značné legislativní změny, nicméně je to možnost využití, která se díky možnostem AMM nabízí, a proto se jedná o hypotézu, kterou stojí za to ji zmínit a spočítat, zda je zde vůbec potenciál.

Podmínkou přiznání sazby C25d/D25d je instalace akumulárního ohříváče vody. Aplikací stejné logiky, použité pro určení počtu odběrných míst, které využívají nízký tarif minimálně, by šlo vytipovat odběrná místa, která tuto podmínku nesplňují a vyzvat majitele, aby doložili důkaz, že mají bojler stále nainstalován. V případě, že by tak neučinili, byl by jim tarif odebrán.

Abych zjistil, o kolik zákazník ušetří využíváním sazby D25d namísto D02d, pokud tedy vůbec ušetří rozhodl jsem se porovnat roční platby za silovou elektřinu a za distribuci u míst ze vzorku, která nereagují na NT, pokud by měla tarif D02d a tarif D25d. Ceny беру stejně jako ve čtvrté kapitole z tarifu „PRE proud klasik“. Pro připomenutí přikládám stejnou tabulku.

	D02d	D25d VT	D25d NT
Silová elektřina [Kč/MWh]	1851,3	2314,73	1376,98
Distribuce [Kč/MWh]	1967,46	1902,27	199,57
Celkem [Kč/MWh]	3818,76	4217	1576,55

Tabulka 16 Rozdíl v některých složkách ceny elektřiny pro koncové odběratele v závislosti na sazbě a tarifu

Mezi odběrnými místy, jejichž data mám k dispozici, jsem našel místa, která nereagují na NT. Tato místa jde rozdělit do čtyř kategorií podle průměrné denní spotřeby (to, že místo nereaguje na NT neznámá, že má malou spotřebu, ač tam taková místa jsou, jsou tam i místa s vyšší průměrnou hladinou spotřeby). Poté jsem pro jedno místo z každé kategorie spočítal celkovou roční spotřebu na základě skutečně naměřených dat (nejedná se tedy jen o vynásobení mediánu denní spotřeby počtem dní). Výsledné kategorie podle přibližné roční spotřeby jsou 0,5 MWh, 2 MWh, 5 MWh a 10 MWh.

Následující tabulka ukazuje, kolik ušetřilo či naopak prodělalo jedno reálné odběrné místo díky využívání dvoutarifní sazby místo jednotarifní.

Odběrná místa se spotřebou okolo 2 MWh					
Počet ve vzorku	5	Celkové roční platby [Kč]			
Podíl na celkovém počtu míst	7,6 %	Sazba	Distribuce	Silová el.	Rok jistič (25 A)
Celková roční spotřeba [MWh]	2,07	D02d	4 074	3 834	1 236
Z toho spotřeba v NT [MWh]	0,76	D25d NT	152	1 046	1 500
Z toho spotřeba v VT [MWh]	1,31	D25d VT	2 495	3 035	
		Rozdíl v Kč	<b>1 428</b>	- <b>248</b>	- <b>264</b>

Tabulka 17 Rozdíl mezi ročními platbami za distribuci a za silovou elektřinu pro zákazníka, který má sazbu D25d, ač očividně nevyužívá bojler a měl by tedy mít sazbu D02d

Na distribuci musel zákazník ušetřit vždy, protože i ve vysokém tarifu je platba za distribuci nižší než v jednotarifní. A protože platba za distribuci je v NT tak extrémně malá, tak i když zákazník NT nijak intenzivně nevyužívá, úspora je stejně značná.

V tomto konkrétním případě zákazník ušetřil na distribuci skoro patnáct set korun, což je sleva 35 %.

Část z toho, co zákazník ušetřil na distribuci, ovšem naopak ztratil na platbě za silovou elektřinu. Protože rozdíl mezi cenou v NT a cenou v jednotarifní není zdaleka tak velký, jako u distribuční složky, není ani úspora tak značná, a protože cena za silovou elektřinu je ve vysokém tarifu větší než v jednotarifní (na rozdíl od distribuční složky), prodělává zákazník na každé MWh odebrané ve vysokém tarifu téměř pět set korun. A protože využívá NT málo, je konečným výsledkem v případě silové složky drobná ztráta pro zákazníka, ovšem ve srovnání s úsporou za distribuční složku je pořadí v černých číslech.

Poslední položkou, jež se liší podle tarifu je platba za jistič. A protože dvoutarifní sazba má vyšší platbu za rezervovaný příkon, prodělává i zde odběratel peníze, konkrétně pro rozdíl mezi D02d a D25d činí rozdíl 264 Kč. Na rozdíl od předchozích dvou složek je platba za jistič fixní, tudíž čím více zákazník odebírá, tím méně je pro něho tato položka významná ve srovnání s úsporou za distribuci.

Stejný výpočet jako výše jsem provedl pro čtyři zmíněné kategorie a výsledek vynesl do následujících dvou tabulek.

Tabulka 17 se týká distribuční složky. Jak je vidět, ze šedesáti šesti míst ve vzorku jsem identifikoval 18 míst, kde lze jasně vidět minimální reakci na NT a pokud by všechna tato místa doopravdy neměla bojler a neměla tedy nárok na sazbu D25d, činil by celkový rozdíl za ně přes 36 tisíc korun ročně.

Rozdíl mezi ročními částkami v sazbě D25d a D025 v případě distribuční složky				
Kategorie podle celkové roční spotřeby	Počet míst ve vzorku	Podíl na celkovém počtu míst ve vzorku	Rozdíl na jedno místo	Rozdíl celkem za všechna místa ve stejné kategorii
Spotřeba okolo 0,5 MWh	5	7,6 %	217,46 Kč	1 087,31 Kč
Spotřeba okolo 2 MWh	5	7,6 %	1 428,00 Kč	7 140,01 Kč
Spotřeba okolo 5 MWh	6	9,1 %	2 437,88 Kč	14 627,28 Kč
Spotřeba okolo 10 MWh	2	3,0 %	6 853,18 Kč	13 706,35 Kč
		Celkový rozdíl za celý vzorek		36 560,95 Kč

Tabulka 18 Celkový rozdíl mezi ročními platbami zákazníků, nevyužívajících dvoutarifů, za distribuční složku elektřiny, pokud by jim byla ponechána sazba D25 a pokud by museli přejít na D02d. Částka je za celý vzorek 66 přístrojů.

Třicet šest tisíc se může zdát jako relativně zanedbatelná částka, ale toto je pouze za celkem 66 míst. V Praze má sazbu C25d nebo D25d téměř 82 tisíc odběrných míst. Pokud by byl poměr stejný, pak by celkový rozdíl za všechna místa v Praze činil 45 milionů Kč, což už je znatelná suma.

Zde jsou poškozováni jak distributor, tak ostatní zákazníci. Pokud totiž zákazníci „zneužívají“ D25d a platí za distribuci méně, než by měli, potom chybějící peníze musí operátor trhu vybrat od ostatních odběratelů, kteří tak doplácí na tyto nepoctivé odběratele.

Distributor je potom poškozen tím, že se odběrné místo nechová podle předpokladu. Pokud je zákazníkovi přiznána sazba D25, distributor s místem počítá pro řízení spotřeby, ale protože zákazník NT nevyužívá, není místo pro účely řízení spotřeby užitečné. To je přesně to, co zmiňuji ve čtvrté kapitole ohledně zdokonalení plánování TOU na základě znalosti chování odběrných míst.

V případě silové složky naopak, jak již bylo řečeno, zákazník na volbě dvoutarifní sazby prodělává. Celkový rozdíl za vzorek je potom přes jedenáct tisíc korun a za předpokladu, že by byl poměr stejný pro všechna odběrná místa se sazbou C25d nebo D25d v Praze by pak rozdíl byl 14 milionů korun. Silová složka se nijak netýká distributora, ale jestliže jsem už počítal rozdíl pro distribuční sazbu, přišlo mi vhodné počítat i druhou složku ceny.

Rozdíl mezi ročními částkami v sazbě D25d a D025 v případě silové složky				
Kategorie	Počet míst ve vzorku	Podíl na celkovém počtu míst ve vzorku	Rozdíl na jedno místo	Rozdíl celkem za všechna místa ve stejné kategorii
Spotřeba okolo 0,5 MWh	5	7,6 %	- 45,10 Kč	- 225,50 Kč
Spotřeba okolo 2 MWh	5	7,6 %	- 247,53 Kč	- 1 237,64 Kč
Spotřeba okolo 5 MWh	6	9,1 %	- 943,16 Kč	- 5 658,97 Kč
Spotřeba okolo 10 MWh	2	3,0 %	- 2 237,72 Kč	- 4 475,44 Kč
		Celkový rozdíl za celý vzorek		- 11 597,55 Kč

Tabulka 19 Celkový rozdíl mezi ročními platbami zákazníků, nevyužívajících dvoutarifů, za silovou složku elektřiny, pokud by jim byla ponechána sazba D25 a pokud by museli přejít na D02d. Částka je za celý vzorek 66 přístrojů.

## Závěr

Tato práce se zabývala zkoumáním potenciálu chytrých elektroměrů pro optimalizaci spotřeby dvoutarifních míst. Jako podklad pro analýzu posloužila data z pilotního provozu chytrých elektroměrů v některých odběrných místech v lokalitách Smíchov a Kunratice, poskytnutá společností PREdistribuce, a.s.

První kapitola shrnula současnou situaci v české legislativě týkající se měření spotřeby elektřiny a rovněž současný systém distribučních sazeb.

Druhá kapitola porovnávala stávající elektroměry a chytré elektroměry, které je nahradí. Následně bylo krátce představeno, jak se k problematice implementace chytrých měření postavily některé evropské země. Za zmínku zde stojí Španělsko, které instalaci AMM přístrojů dokončilo v roce 2018 a kde je dynamický tarif (Real-time pricing) základním tarifem či Slovensko, které vyžaduje chytré elektroměry u odběrných míst se spotřebou nad 4 MWh ročně.

Ve třetí kapitole jsem se již věnoval analýze dat z pilotního provozu. Pro jednotlivé přístroje jsem spočítal mediány spotřeby v jednotlivých intervalech měření z dat za jeden rok. V první části jsem se věnoval odběrným místům se sazbami na akumulaci ohřev vody, která jsou z dvoutarifů zdaleka nejpočetnější, jak ve vzorku dat (66 odběrných míst z celkových 93 míst s dvoutarifem), tak v Praze celkově (přes 80 tisíc odběrných míst).

V případě analýzy sazeb na akumulaci ohřev vody jsem se nejprve věnoval určení říditelné energie. Říditelná energie je taková energie, která je odebraná v reakci na sepnutí nízkého tarifu (NT). Na základě množství energie spotřebované během nízkého tarifu jednotlivými odběrnými místy jsem byl schopen stanovit, která odběrná místa na NT reagují, a která ne. Závěrem bylo, že z odběrných míst se sazbou na akumulaci ohřev vody přítomných ve vzorku jich v nočním úseku NT přibližně polovina prakticky vůbec nereaguje (spotřeba říditelné energie za interval je menší než 0,5 kWh), třetina má celkovou spotřebu za interval mezi 0,5 kWh a 1,5 kWh a zhruba čtvrtina míst má spotřebu říditelné energie větší. V denním úseku je podíl míst nevyužívajících NT menší, nicméně nikterak výrazně. Poměr míst je jak v noci, tak ve dne přibližně stejný bez ohledu na den v týdnu.

Rovněž jsem zkoumal velikost špičky spotřeby za jeden 15minutový interval měření. Tato špička nastala vždy v odpoledním úseku NT. Celková velikost spotřeby za všech 66 odběrných míst s dvoutarifní sazbou na ohřev vody byla přibližně 10 % maximální možné spotřeby, které by bylo dosaženo, kdyby všechna odběrná místa odebírala po celou dobu intervalu maximum energie dané velikostí jističe. Oproti tomu v době VT se maximum pohybovalo pod 3 % maximální možné spotřeby za interval. Z této celkové energie v době maxima spotřeby zhruba 80 % byla říditelná energie, se kterou se dá pracovat. Na závěr jsem stanovil celkový podíl říditelné energie na celkové energii odebrané za jeden den, který se pohybuje okolo 35 %.

Analýza chování odběrných míst se sazbou na přímotopy se lišila od analýzy sazeb na ohřev vody, zde jsem zkoumal hlavně rozdíl mezi topnou sezonou a mimo ni. Zde bylo využívání dvoutarifů mnohem častější, naprostá většina (80 %) míst měla spotřebu za den v topné sezoně větší než mimo ni a třetina míst měla dokonce spotřebu v topné sezoně minimálně dvakrát větší. Poměr energie, odebrané dohromady za jeden den všemi odběrnými místy v době topné sezony, se pohybuje okolo 1,7násobku energie odebrané mimo ni.

Na základě dat získaných analýzou ve třetí kapitole jsem následně navrhl, jak lépe rozložit špičku spotřeby odběrných míst s tarifem na akumulaci ohřev vody. Klíčem k dosažení tohoto cíle by bylo využití možnosti posílat signály do jednotlivých elektroměrů individuálně a častěji, což současný systém HDO neumožňuje. Místo společných TOU tabulek pro všechna místa, pouze s malými

odlišnostmi (polovina míst sepne o 20 minut dříve), by každý zákazník poskytl informace o velikosti bojleru, jeho příkonu a měl by možnost si navolit, do kdy potřebuje vodu mít ohřátou (odběratelé, kteří vstávají tak, aby byli v práci v šest hodin potřebují vodu dříve než odběratel pracující od devíti, a podobné to bude ve dne) a na jejich základě by se spínaly a odpínaly nízké tarify u jednotlivých míst. Nebyl by již jeden pětihodinový úsek v noci a jeden tříhodinový ve dne shodné pro všechna místa, ale byly by delší intervaly, v rámci nichž by místa spínala každé individuálně.

Rovněž jsem se krátce zamyslel i nad dalším způsobem, jak napomoci řízení a plánování spotřeby pro místa s jinými sazbami než na akumulární ohřev, přičemž tentokrát by se využila další funkce chytrých elektroměrů, kterou je možnost fungovat jako jistič, navíc schopný měnit jmenovitý výkon. Odběrným místům, která nejsou využita po celý rok by se dala možnost snížit velikost jističe v době, kdy nejsou přítomni a ušetřit tak na platbách za jistič.

V poslední části své práce jsem zkoumal, jak výše popsané snížení špičky spotřeby, a z toho plynoucí snížení průměrné velikosti proudu v intervalu s maximální spotřebou, ovlivní investice do infrastruktury a případně jaké další finanční přínosy optimalizace distributorovi přinese. Výpočty jsem prováděl na trafostanici TS2733 v Praze-Kunraticích, z níž jsem měl k dispozici nejvíce dat.

Protože se díky optimalizaci průběh spotřeby zrovnoměří a sníží se špičky, dá se očekávat, že se sníží nepatrně ztráty ve vedení a ztráty na krátko v transformátoru, proto jsem zkoumal, zda je tato úspora dostatečně významná, abych s ní počítal. Výpočty jsem však zjistil, že úspora je naprosto zanedbatelná, za ztráty v kabelech a v transformátoru nakrátko činí za rok méně než 100 kWh, a proto jsem s ní nadále nepracoval.

Zjistil jsem, že díky snížení špičky spotřeby mohu připojit dalších 18 odběrných míst ke stávajícím 155 místům ve stejném poměru distribučních sazeb, aniž by došlo k překročení původního maxima spotřeby za interval měření. V tomto poměru by to představovalo sedm míst s jednotarifními sazbami, šest míst se sazbou na vytápění a čtyři místa se sazbou na ohřev vody. Pokud by stanice byla na maximu své kapacity (v současné době je vytižena přibližně třetinově), měla by připojených 480 míst a díky optimalizaci by mohla připojit dalších 55 míst. Ukázal jsem, že možná velikost úspor je limitována počtem sazeb, jež nelze řídit. Jednotarifní sazby mají maximum spotřeby okolo osmé hodiny večerní. Čím více těchto sazeb je v lokalitě zastoupeno, tím větší je tato večerní špička, kterou nejde přesunout či rozložit. I když se mi podaří snížit odpolední špičku dvoutarifních sazeb, výsledná úspora bude pouze rozdíl mezi špičkou dvoutarifních sazeb a jednotarifních sazeb.

Tím, že distributor může připojit dodatečně další odběrná místa, může současně odložit investice do transformátoru a kabelového vedení. Spočítal jsem tedy měrné investiční náklady na transformátor a kabelové vedení vztažené na jedno odběrné místo a jejich snížení díky připojení dalších míst. Protože jde o odložení investice, rozložil jsem úspory do doby zbývající životnosti transformátoru (13 let) a spočítal NPV. Jeho celková hodnota za transformátor a kabelové vedení činila 1866 korun/místo.

Na závěr byla zařazena analýza, která přímo nesouvisí s úsporou do infrastruktury, ale představuje zajímavou možnost využití chytrých elektroměrů a měření v 15minutových intervalech. Jedním z výstupů třetí kapitoly bylo, že téměř polovina odběrných míst ve vzorku prakticky nevyužívá dvoutarifní na ohřev vody. Podmínkou přiznání této sazby je instalace bojleru. Proto by se dalo na základě naměřených dat vytipovat odběrná místa, jež zjevně dvoutarif nevyužívají a vyzvat je, aby prokázala, že bojler nadále mají. Tím, že mají sazbu a nevyužívají ji, poškozují distributora, který s říditelným výkonem jejich odběrného místa počítá, a rovněž poškozují ostatní odběratele, kteří ze svých plateb za distribuci musí „nepoctivé“ odběratele dotovat. Rozdíl mezi roční částkou, kterou tato místa platí za distribuované množství v současnosti s tarifem D25, a kolik by platila, kdyby měla jednotarif, činí za místa ve vzorku dat, jež jsem měl k dispozici, celkem přes 36 tisíc korun. Ač samo o

sobě nejde o tak vysokou částku, pokud by poměr využívajících a nevyžívajících míst byl stejný mezi všemi více než 80 tisíci místy s touto sazbou v Praze, byl by roční rozdíl již téměř 50 milionů korun za rok.

Celkovým závěrem práce je, že využití chytrých elektroměrů pro optimalizaci spotřeby má potenciál, který je nejvíce limitován poměrem jednotlivých distribučních sazeb v lokalitě. Lokalita s velkým poměrem odběrných míst s osmihodinovou sazbou na akumulaci ohřev vody má potenciál k velkému snížení maxima spotřeby za interval, naopak lokalita s centrálním zásobováním teplem bude mít větší poměr jednotarifních míst a potenciál k úsporám bude tedy nižší. Pokud bude poměr dvoutarifních sazeb velmi malý, je možné, že zde nebude potenciál žádný, jelikož večerní špička bude i před optimalizací převyšovat špičku odpolední. Druhým faktorem, který bude optimalizaci komplikovat, je nezanedbatelný podíl míst, která na nízký tarif nereagují, a s nimiž tedy nelze při optimalizaci počítat. Nicméně díky přesným údajům z jednotlivých odběrných míst bude možné postupně získat dobrou představu o chování jednotlivých míst a optimalizaci díky této informaci dále zlepšovat.

## Bibliografie

1. Vyhláška č. 408/2015 Sb. Vyhláška o Pravidlech trhu s elektřinou. [Online] [Citace: 11. Listopad 2019.]
2. Energetický regulační úřad. 1. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2018 ze dne 20. listopadu 2018, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice odběratelům ze sítí nízkého napětí. *Energetický regulační úřad*. [Online] 22. Listopad 2018. [Citace: 7. Listopad 2019.] <https://www.eru.cz/-/energeticky-regulacni-vestnik-11-2018>.
3. Ing. Tomáš Sýkora, Ph.D. Hromadné dálkové ovládání - doplnění. *powerwiki.cz*. [Online] [Citace: 24. Ledna 2020.] [https://www.powerwiki.cz/attach/EZS/prednaska\\_06d.pdf](https://www.powerwiki.cz/attach/EZS/prednaska_06d.pdf).
4. Ekonomické posouzení všech dlouhodobých přínosů a nákladů pro trh a jednotlivé zákazníky při zavedení inteligentních měřících systémů v elektroenergetice ČR. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online] 2012. [Citace: 26. Leden 2020.] <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/46789/52823/592105/priloha002.pdf>.
5. Pohorský, Jiří. *HDO - Hromadné dálkové ovládání*. Praha : BEN . technická literatura, 2002. 80-7300-054-7.
6. Hromadné dálkové ovládání. *Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií - Ústav elektroenergetiky*. [Online] [Citace: 24. Leden 2020.] [http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK\\_ePower/MESV/Prezentace\\_MESV.pdf](http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/MESV/Prezentace_MESV.pdf).
7. Chytré měření a jeho funkce pro zákazníky - Breaker/Limitér. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online] 24. duben 2017. [Citace: Leden. 31 2020.] [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2017/5/1WS\\_-Breaker\\_Limiter\\_Kolar.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2017/5/1WS_-Breaker_Limiter_Kolar.pdf).
8. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/72/ES ze dne 13. července 2009 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o zrušení směrnice 2003/54/ES. *EUR-Lex Přístup k právu Evropské unie*. [Online] [Citace: 26. Leden 2020.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0072&from=cs>.
9. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/27/EU ze dne 25. října 2012 o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/EU a 2010/30/EU a o zrušení směrnic 2004/8/ES a 2006/32/ES. *EUR-Lex Přístup k právu Evropské unie*. [Online] [Citace: 26. Leden 2020.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=CS>.
10. Národní akční plán pro chytré sítě 2019 - 2030. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online] [Citace: 26. Leden 2020.] [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/9/Aktualizace\\_NAP\\_SG\\_2019-2030.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/9/Aktualizace_NAP_SG_2019-2030.pdf).
11. Hodnotící zpráva Národního akčního plánu pro chytré sítě (NAP SG) k 31.12.2018. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online] [Citace: 26. Leden 2020.] <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/10/Hodnotici-zprava-NAP-SG.pdf>.
12. Smart meters: A guide to your rights. *Office of Gas and Electricity Markets*. [Online] [Citace: 1. únor 2020.] <https://www.ofgem.gov.uk/consumers/household-gas-and-electricity-guide/consumer-guide-understanding-energy-meters-ofgem/smart-meters-guide-your-rights>.

13. Smart Meter Statistics in Great Britain: Quarterly Report to end September 2019. [Online] Listopad. 28 2020. [Citace: únor. 1 2020.] [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/848325/2019\\_Q3\\_Smart\\_Meters\\_Statistics\\_Report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/848325/2019_Q3_Smart_Meters_Statistics_Report.pdf).
14. Leysen, RAPHAËL. An analysis of smart meter deployment in Sweden with applicability to the case of India. *KTH Royal Institute of Technology in Stockholm*. [Online] [Citace: 1. únor 2020.] <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1232060/FULLTEXT01.pdf>.
15. Sweden to introduce next-generation smart electrical meters. *Xinhuanet*. [Online] [Citace: 1. únor 2020.] [http://www.xinhuanet.com/english/2018-06/28/c\\_137287717.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2018-06/28/c_137287717.htm).
16. Smart Meters In Spain: Facts And Myths. *Money Saver Spain*. [Online] [Citace: 1. únor 2020.] <https://moneysaverspain.com/facts-smart-meters-spain/>.
17. Vyhláška Ministerstva hospodárstva Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovuje postup a podmienky v oblasti zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike. *Zákony pre ľudí*. [Online] [Citace: 1. Únor 2020.] <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2013-358>.
18. Dynamic pricing in electricity supply. *eurelectric*. [Online] [Citace: 2. únor 2020.] [http://www.eemg-mediators.eu/downloads/dynamic\\_pricing\\_in\\_electricity\\_supply-2017-2520-0003-01-e.pdf](http://www.eemg-mediators.eu/downloads/dynamic_pricing_in_electricity_supply-2017-2520-0003-01-e.pdf).
19. Task 15 – Case Study – TEMPO Electricity Tariff – France. *International Energy Agency Demand Side Management*. [Online] [Citace: 2. únor 2020.] <http://www.ieadsm.org/article/tempo-electricity-tariff/>.
20. Time-of-use tariffs Innovation Landscape Brief. *IRENA - International Renewable Energy Agency*. [Online] [Citace: 1. únor 2020.] [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Innovation\\_ToU\\_tariffs\\_2019.pdf?la=en&hash=36658ADA8AA98677888DB2C184D1EE6A048C7470](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_ToU_tariffs_2019.pdf?la=en&hash=36658ADA8AA98677888DB2C184D1EE6A048C7470).
21. Maximální zatížení jističe. *PREměření*. [Online] [Citace: 24. březen 2020.] <https://www.premereni.cz/cs/dulezite-informace/kalkulacky-energie/jistic/maximalni-zatizeni-jistice/>.
22. Test routera TP-Link Archer AX6000. Czy Wi-Fi 6 przynosi rewolucję? *ITHardware.pl*. [Online] [Citace: 20. duben 2020.] [https://ithardware.pl/testyrecenzje/test\\_routera\\_tp\\_link\\_archer\\_ax6000\\_czy\\_wi-fi\\_6\\_przynosi\\_rewolucje-10476.html](https://ithardware.pl/testyrecenzje/test_routera_tp_link_archer_ax6000_czy_wi-fi_6_przynosi_rewolucje-10476.html).
23. Přepočtené TDD. *OTE a.s.* [Online] [Citace: 25. březen 2020.] <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/prepoctene-tdd?date=2020-03-24>.
24. Krejcar, Ing. Rostislav. Účastníci trhu, vyhodnocení odchylek, typy měření v elektroenergetice. *moodle.cvut.cz*. [Online] [Citace: 25. březen 2020.] <https://moodle.fel.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=133978>.
25. PRE PROUD KLASIK. *PRE*. [Online] [Citace: 31. březen 2020.] <https://www.pre.cz/Files/domacnosti/elektrina/seznam-produktu/klasik/pre-proud-klasik-predi/>.
26. Sváda, Ing. Vladimír. Zásady navrhování sítí NN. *PREdistribuce, a.s.* [Online] 8. září 2006. [Citace: 8. květen 2020.] <https://docplayer.cz/3088216-Podnikova-norma-predi-zasady-navrhovani-siti-nn.html>.



27. Prakab. Zemní kabely s PVC izolací. [Online] [Citace: 16. květen 2020.] [https://www.prakab.cz/upload/1\\_AYKY.pdf](https://www.prakab.cz/upload/1_AYKY.pdf).
28. Vyhláška č. 153/2001 Sb. [Online] [Citace: 9. květen 2020.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-153>.
29. Energetický regulační úřad. Výpočet ztrát při umístění měření na sekundární straně transformátoru –. *Energetický regulační úřad*. [Online] [Citace: 9. květen 2020.] [https://www.eru.cz/documents/10540/480387/CR\\_2004\\_10metodika.pdf/ddc425aa-a9d0-4f6f-b20c-878008386a87](https://www.eru.cz/documents/10540/480387/CR_2004_10metodika.pdf/ddc425aa-a9d0-4f6f-b20c-878008386a87).
30. —. Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství s prodlouženou účinností do 31. prosince 2020. [Online] [Citace: 11. květen 2020.] <http://www.eru.cz/documents/10540/3550177/Zasady-cenove-regulace-IV-RO-prodlouzene-do-2020.pdf/6788c6c3-4711-4042-b5c1-1985ed59bceb>.
31. —. Zásady cenové regulace pro regulační období 2021-2025 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství, pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství a pro poivnně vykupující Návrh pro podání připomínek veřejnosti. [Online] [Citace: 11. květen 2020.] <http://www.eru.cz/documents/10540/5475589/Navrh-zasad-cenove-regulace-2021-2025-pro-verejnou-konzultaci.pdf/f6df3fd5-d5af-425f-a53f-ecbddd4447fe>.
32. Ministerstvo pro místní rozvoj. Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí. [Online] [Citace: 8. květen 2020.] <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/2017/ceny-ti-2017-celek.pdf>.
33. Vyhláška č.82/2011 Sb. Vyhláška o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny. [Online] [Citace: 11. Listopad 2019.]
34. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2019/44 ze dne 5. června 2019 o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o změně směrnice 2012/27/EU. *EUR-Lex Přístup k právu Evropské unie*. [Online] [Citace: 26. Leden 2020.] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=CS>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Telegram HDO.....	8
Obrázek 2 Ukázky elektroměrů nainstalovaných v současnosti v českých domácnostech .....	9
Obrázek 3 Plány implementace inteligentních měřících přístrojů v 80 % odběrných míst .....	13
Obrázek 4 Option Tempo tarif ve Francii.....	15
Obrázek 5 Ukázka, jak by mohly vypadat TOU tabulky po zavedení dynamického spínání NT.....	47

## Seznam grafů

Graf 1 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (Po-Čt) .....	20
Graf 2 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (Pá) .....	20
Graf 3 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (So) .....	20
Graf 4 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (Ne) .....	21
Graf 5 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (Po-Čt) .....	23
Graf 6 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (Pá) .....	23
Graf 7 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (So) .....	23
Graf 8 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (Ne) .....	24
Graf 9 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden noční úsek NT (pouze sazby C25d) .....	25
Graf 10 Rozdělení odběrných míst podle celkové spotřeby říditelné energie za jeden denní úsek NT (pouze sazby C25d) .....	25
Graf 11 Rozdělení odběrných míst se sazbou C25d/D25d podle individuálního maxima spotřeby vyjádřeném v poměru k maximální možné spotřebě (vlevo Po-Čt, vpravo Pá).....	29
Graf 12 Rozdělení odběrných míst se sazbou C25d/D25d podle individuálního maxima spotřeby vyjádřeném v poměru k maximální možné spotřebě (vlevo So, vpravo Ne).....	29
Graf 13 Krabicový graf ze všech 66 odběrných míst se sazbou C25d nebo D25d (data pro pondělí až čtvrtek).....	30
Graf 14 Celková spotřeba všech elektroměrů za jednotlivé patnáctiminutové intervaly se sazbou C25d/D25d v analyzovaném vzorku dat (66 přístrojů) před optimalizací a po ní (Po-Čt) .....	32
Graf 15 Celková spotřeba všech elektroměrů za jednotlivé patnáctiminutové intervaly se sazbou C25d/D25d v analyzovaném vzorku dat (66 přístrojů) před optimalizací a po ní (Ne).....	33
Graf 16 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezonou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (Po-Čt) .....	34
Graf 17 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezonou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (Pá) .....	35
Graf 18 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezonou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (So) .....	35
Graf 19 Rozdíl mezi spotřebou v topné sezonou a mimo ni pro odběrná místa s tarifem D45d. Spotřeba je vyjádřena jako poměr mezi skutečnou a maximální možnou spotřebou – skupina elektroměrů, kde všechny využívají NT (Ne).....	35
Graf 20 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (Po-Čt).....	36
Graf 21 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (Pá).....	36

Graf 22 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (So).....	37
Graf 23 Rozdíl mezi průměrnou spotřebou v topné sezoně a mimo ni, spočítaný ze všech odběrných míst se sazbou D45 obsažených ve vzorku dat (Ne) .....	37
Graf 24 Rozdělení odběrných míst se sazbou D45d podle poměru mezi spotřebou v topné sezoně a mimo ni (levý graf Po-Čt, pravý Pá).....	38
Graf 25 Rozdělení odběrných míst se sazbou D45d podle poměru mezi spotřebou v topné sezoně a mimo ni (levý graf So, pravý Ne).....	38
Graf 26 Celkový odběr a odběr jednotlivých TS, pokud by se optimalizovalo pouze podle celé oblasti, a nikoliv podle jednotlivých TS.....	42
Graf 27 Celkový odběr a odběr v jednotlivých TS, pokud by se optimalizovalo zvlášť pro každou TS .	43
Graf 28 Průběh celkového odběru zdeformovaný tím, že ne všichni odběratelé využívají NT podle očekávání .....	43
Graf 29 Očekávaný celkový odběr za všechny tři TS, a skutečný odběr jednotlivých TS, když se vezme v potaz skutečné chování odběratelů .....	44
Graf 30 Průběh spotřeby bez a se znalostí chování jednotlivých odběratelů .....	45
Graf 31 Velikosti odběru pro různé způsoby optimalizace a řízení spotřeby .....	45
Graf 32 Příklad trafostanice s málo odběrnými místy (20 míst), jejichž spotřebu lze řídit, což vede k nedokonalé optimalizaci .....	46
Graf 33 Příklad trafostanice s dostatkem odběrných míst (82 míst), jejichž spotřebu lze řídit, což vede k téměř dokonale rovnoměrné spotřebě .....	46
Graf 34 Celková spotřeba všech 155 odběrných míst připojených k TS2733 před a po optimalizaci ..	52
Graf 35 Příklad rozdílů v celkové spotřebě při jiném poměru sazeb (přičemž celkový počet míst zůstal zachován - 155 míst) .....	56
Graf 36 Citlivostní analýza možností snížení maximální velikosti proudu díky optimalizaci v závislosti na podílu říditelných odběrných míst .....	57
Graf 37 Příjmy z distribučních poplatků placených odběrateli z 18 odběrných míst, jež by šlo nově připojit díky optimalizaci snižující výkonovou špičku .....	59

## Seznam rovnic

Rovnice 1 Výpočet maximální možné spotřeby za 15minutový interval .....	18
Rovnice 2 Výpočet hodinových spotřeb z Přepočtených TDD .....	22
Rovnice 3 Ztráty v kabelech za den.....	54
Rovnice 4 Výpočet doby plných ztrát.....	54
Rovnice 5 Výpočet celkových ztrát za den .....	55
Rovnice 6 Výpočet výsledné ceny za distribuované množství .....	58
Rovnice 7 Vzorec pro NPV.....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Distribuční sazby podle vyhlášky č.408/2015 Sb. ....	5
Tabulka 2 Rozdělení odběrných míst podle sazeb.....	17
Tabulka 3 Chování spotřeby odběrných míst se sazbou C25d/D25d v intervalu s maximální spotřebou.....	28
Tabulka 4 Poměr spotřeby v topné sezoně a mimo ni (dohromady za všechna odběrná místa se sazbou D45 ve vzorku) .....	37

Tabulka 5 Rozdíl v některých složkách ceny elektřiny pro konečné odběratele v závislosti na sazbě a tarifu.....	39
Tabulka 6 Měsíční platby odběratelů za jistič v závislosti na sazbě a velikosti jističe .....	48
Tabulka 7 Potenciál úspory pro odběratele díky snížení velikosti jističe po část roku .....	48
Tabulka 8 Rozdělení odběrných míst do skupin podle sazeb (odběrná místa ve vzorku připojená k TS2733) .....	50
Tabulka 9 Spotřeba za interval s maximální spotřebou před a po optimalizaci (z dat ve vzorku pro místa připojená k TS2733) .....	50
Tabulka 10 Rozdělení odběrných míst do skupin podle sazeb (všechna odběrná místa připojená k TS2733) .....	51
Tabulka 11 Spotřeba za interval s maximální spotřebou před a po optimalizaci (všechna odběrná místa připojená k TS2733) .....	51
Tabulka 12 Průměrný celkový příkon všech 155 míst a průměrný proud všech 155 míst v intervalu s maximem spotřeby .....	52
Tabulka 13 Snížení ztrát na transformátoru díky optimalizaci spotřeby .....	55
Tabulka 14 Různé kombinace distribučních sazeb a vliv na to, o kolik se sníží průměrný proud v intervalu s maximem spotřeby.....	56
Tabulka 15 Výsledná cena za distribuované množství pro účely výpočtu dodatečných příjmů distributora .....	58
Tabulka 16 Rozdíl v některých složkách ceny elektřiny pro koncové odběratele v závislosti na sazbě a tarifu.....	61
Tabulka 17 Rozdíl mezi ročními platbami za distribuci a za silovou elektřinu pro zákazníka, který má sazbu D25d, ač očividně nevyužívá bojler a měl by tedy mít sazbu D02d.....	61
Tabulka 18 Celkový rozdíl mezi ročními platbami zákazníků, nevyužívajících dvoutarifů, za distribuční složku elektřiny, pokud by jim byla ponechána sazba D25 a pokud by museli přejít na D02d. Částka je za celý vzorek 66 přístrojů. ....	62
Tabulka 19 Celkový rozdíl mezi ročními platbami zákazníků, nevyužívajících dvoutarifů, za silovou složku elektřiny, pokud by jim byla ponechána sazba D25 a pokud by museli přejít na D02d. Částka je za celý vzorek 66 přístrojů. ....	62

## Zdroje obrázků

1. E.ON Distribuce, a.s., online dostupné z <https://www.eon-distribuce.cz/clanek/prenosova-distribucni-soustava-3-cast>
2. PRE, a.s., online, dostupné z [https://www.pre.cz/cs/domacnosti/sluzby-zakaznikum/moje-faktura-pre/nahlaseni-samoodectu/co-je-dulezite-vedet/jakym-zpusobem-mohu-provest-samoodcet-elektromeru/Contents/0/jak\\_zpusobem\\_odecet\\_sl09\\_elektromer.pdf](https://www.pre.cz/cs/domacnosti/sluzby-zakaznikum/moje-faktura-pre/nahlaseni-samoodectu/co-je-dulezite-vedet/jakym-zpusobem-mohu-provest-samoodcet-elektromeru/Contents/0/jak_zpusobem_odecet_sl09_elektromer.pdf)
3. IEA DSM, online, dostupné z <https://www.vert.lt/SiteAssets/teises-aktai/EU28%20Smart%20Metering%20Benchmark%20Revised%20Final%20Report.pdf>
4. IEA DSM, online, dostupné z <http://www.ieadsm.org/article/tempo-electricity-traiff/>
5. Vlastní tvorba

## Zdroje grafů

Všechny grafy jsou vlastní tvorba autora práce, vytvořené na základě analyzovaných, či vypočítaných dat.

## Zdroje tabulek

Všechny tabulky, s výjimkou níže uvedených, jsou vlastní tvorbou autora práce, vytvořené na základě analyzovaných, či vypočítaných dat.

1. Vyhláška č. 408/2015 Sb. Vyhláška o Pravidlech trhu s elektřinou, online, dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408>
5. PRE, a.s., online, dostupné z <https://www.pre.cz/Files/domacnosti/elektrina/seznam-produktu/klasik/pre-proud-klasik-predi/>.
6. <https://www.pre.cz/Files/domacnosti/elektrina/archiv-produktu/2019/12/pre-komfort-predi/>.
16. PRE, a.s., online, dostupné z <https://www.pre.cz/Files/domacnosti/elektrina/seznam-produktu/klasik/pre-proud-klasik-predi/>.



## Příloha – oblast napájená z trafostanice TS2733



Příloha 1 Mapa oblasti napájené z trafostanice TS2733 (poskytnuto společností PREdistribuce, a.s.)

## Příloha – popis zpracování dat

Na následujících stranách se nachází popisy jednotlivých příloh, přiložených k diplomové práci. Všechna data byla před odevzdáním anonymizována náhradou čísla odběrného místa jménem ve tvaru „OMx“.

### Vstupní data

Vstupní data z elektroměrů mi byla společností PREdistribuce, a.s. poskytnuta ve formátu „\*.csv“, přičemž každá trafostanice měla vlastní csv soubor pro každý den zvlášť. Pro čtyři TS šlo dohromady o 4\*365 souborů. Ukázka vstupních dat je přiložena k diplomové práci v podobě souborů „TS2733\_2018-12-24T05\_00\_02.csv“ a „TS2733\_2019-06-21T05\_00\_06.csv“.

Následující obrázek je screenshot z jednoho z těchto csv souborů. Jak jsem zmínil v druhé kapitole, přístroje jsou schopny měřit řadu hodnot. Pro tuto práci jsou však důležité pouze první, druhý a čtvrtý sloupec.

První sloupec je číslo odběrného přístroje. Na základě tohoto čísla jsem schopen k číslu elektroměru přiřadit velikost jističe, počet fází, tarifní sazbu a TOU s pomocí dalších tabulek poskytnutých společností PREdistribuce, a.s.

Druhý sloupec je datum, v jakém byla hodnota spotřeby odečtena a čtvrtý sloupec je celkové množství energie odebrané místem za celou dobu provozu přístroje ve watthodinách. Pro další zpracování jsem tedy musel spočítat rozdíly mezi aktuální hodnotou a hodnotou o interval dříve, abych získal spotřebu za interval.

DeviceID	Timestamp	ActiveEne	ActiveEne	ReactiveE	ReactiveE	ReactiveE	ReactiveE	InstCurrer	InstCurrer	InstCurrer	InstCurrer	InstCurrer	InstCurrer	InstVoltage	InstVoltage	InstVoltageL3
OM1	23.12.2018 1:30	1061	9274496	690397	270	430	26803	NULL	0,539	NULL	0,529	NULL	0,503	231	232	232
OM1	23.12.2018 1:45	1061	9274593	690405	270	430	26805	NULL	0,487	NULL	0,464	NULL	0,628	231	232	232
OM1	23.12.2018 2:00	1061	9274670	690407	270	430	26807	NULL	0,401	NULL	0,401	NULL	0,389	231	231	231
OM1	23.12.2018 2:15	1061	9274745	690413	270	430	26809	NULL	0,398	NULL	0,344	NULL	0,399	231	232	231
OM1	23.12.2018 2:30	1061	9274836	690419	270	430	26809	NULL	0,429	NULL	0,465	NULL	0,472	231	232	231
OM1	23.12.2018 2:45	1061	9274913	690426	270	430	26809	NULL	0,504	NULL	0,478	NULL	0,503	231	231	231
OM1	23.12.2018 3:00	1061	9275014	690433	270	430	26809	NULL	0,468	NULL	0,547	NULL	0,583	231	231	231
OM1	23.12.2018 3:15	1061	9275153	690438	270	430	26812	NULL	0,63	NULL	0,743	NULL	0,87	231	232	231
OM1	23.12.2018 3:30	1061	9275311	690445	270	430	26814	NULL	0,826	NULL	1,162	NULL	1,09	231	231	231
OM1	23.12.2018 3:45	1061	9275458	690449	270	430	26817	NULL	0,695	NULL	1,019	NULL	1,051	231	231	231
OM1	23.12.2018 4:00	1061	9275608	690457	270	430	26819	NULL	0,697	NULL	0,938	NULL	1,119	231	232	231
OM1	23.12.2018 4:15	1061	9275762	690468	270	430	26820	NULL	0,743	NULL	0,686	NULL	0,891	231	231	231
OM1	23.12.2018 4:30	1061	9275905	690478	270	430	26821	NULL	0,692	NULL	0,748	NULL	0,941	231	231	231
OM1	23.12.2018 4:45	1061	9276051	690486	270	430	26822	NULL	0,673	NULL	0,646	NULL	0,816	231	232	231
OM1	23.12.2018 5:00	1061	9276183	690494	270	430	26823	NULL	0,77	NULL	0,603	NULL	0,776	231	232	231
OM1	23.12.2018 5:15	1061	9276322	690503	270	430	26825	NULL	0,756	NULL	0,697	NULL	0,72	230	231	231
OM1	23.12.2018 5:30	1061	9276435	690508	270	430	26827	NULL	0,678	NULL	0,432	NULL	0,609	231	232	231
OM1	23.12.2018 5:45	1061	9276548	690512	270	430	26829	NULL	0,718	NULL	0,516	NULL	0,665	230	231	231
OM1	23.12.2018 6:00	1061	9276664	690519	270	430	26830	NULL	0,846	NULL	0,682	NULL	0,815	230	231	230
OM1	23.12.2018 6:15	1061	9276811	690530	270	430	26831	NULL	0,758	NULL	0,58	NULL	0,783	230	231	230

Příloha 2 Ukázka vstupních dat

### Zpracovaná vstupní data

Pro další zpracování jsem data rozdělil do separátních sešitů Excelu, jeden sešit pro každou sazbu. V těchto sešitech byl následně vytvořen samostatný list pro každý elektroměr a připravena matice pro vložení dat z csv souborů. Matice má 96 sloupců (čtvrthodinové intervaly) a 365 řádků (dny v roce). Po překopírování dat se u dvoutarifních sazeb vybarvily intervaly v době NT zelenou barvou, aby je šlo v budoucích výpočtech snadno identifikovat. Následně se počítaly průměry, mediány a další statistické veličiny. V práci jsem nicméně pracoval prakticky pouze s mediány.

Pro představu o vzhledu těchto tabulek jsem k práci přiložil soubor „Ukazka dat za jeden rok sazba D25d.xlsx“ obsahující data odběrných míst v Praze-Kunraticích se sazbou D25.



### Analýza dat C25d/D25d (třetí kapitola)

Vzhledem k rozsáhlosti analýzy chování odběrných míst se sazbou na akumulární ohřev jsou data v několika separátních sešitech.

Prvním ze souborů, obsahujícím výpočty říditelné energie jednotlivých odběrných míst je sešit „Řiditelná energie\_kolacove grafy\_maximum om.xlsx“. Struktura jednotlivých dní je vždy stejná. V horní části jsou spotřeby jednotlivých odběrných míst. Pod nimi je počítáno množství jejich říditelné energie. Prostor mezi nočním a denním úsekem NT je využit k součtům celkového množství říditelné energie za interval a k rozdělení míst podle tohoto celkového množství pro tvorbu koláčových grafů číslo 1 až 8. Rovněž jsou zde stejným způsobem samostatně počítána místa se sazbou C25d pro analýzu v kapitole 3.2.9. Jak název napovídá, slouží list „Pomer ve spicce“ k rozdělení míst podle velikosti maximální špičky individuálních míst pro grafy v kapitole 3.2.11. Maxima jednotlivých odběrných míst a poměr této hodnoty k maximu je počítán ve sloupcích „DQ“ až „DS“ jednotlivých listů.

Druhým souborem je „Graf 13\_ Graf 14.xlsm“, který, jak název napovídá, obsahuje podklady pro tyto dva grafy. List „Krubic graf (Graf13)“ je tvořen z několika částí. První část jsou opět spotřeby jednotlivých odběrných míst. Dole jsou pak tyto spotřeby přepočteny na poměrné (poměr skutečná spotřeba k maximální možné spotřebě). Z těchto dat jsou následně získány hodnoty potřebné pro krabicový graf na řádcích 70-74. Následující list „Optimalizace (Graf 14)“ obsahuje na řádcích 69 až 74 data pro velký graf č. 14 věnující se optimalizaci spotřeby. Samotná optimalizace proběhla zvlášť pro noční a zvlášť pro denní úsek na následujících čtyřech listech. Výsledné celkové spotřeby pak byly přepočteny do listu „Optimalizace (Graf 14)“ pro finální tvorbu grafu. Poslední sešit, „Graf 15.xlsm“ sloužil k tvorbě Grafu 15, což je stejný graf jako Graf 14, pouze pro neděli, místo všedního dne.

### Analýza dat C45d/D45d (třetí kapitola)

Analýza chování odběrných míst s dvoutarifem pro přímotopy je přiložena v souboru „Analýza přímotopy.xlsm“. Stejně jako u D25 i zde jsou zvlášť listy pro jednotlivé dny. Pro každý přístroj je ve sloupci „DC“ poměr mezi celkovou denní spotřebou za interval v době topné sezony a mimo ni, jež je přepočten na list „Kolacovy graf pomery“, kde jsou z těchto poměrů vytvořeny koláčové grafy na straně 39.

Pod tabulkou s daty jednotlivých přístrojů jsou potom spočteny statistické veličiny, nicméně důležité pro tuto práci jsou pouze medián a průměr. Na základě těchto hodnot jsou pak vytvořeny grafy na listu „Grafy“.

### Zpracování dat pro návrh optimalizace (čtvrtá kapitola)

Soubor „Ukazka optimalizace .xlsm“ obsahuje data použitá při návrhu optimalizace popsaném v první části čtvrté kapitoly. Pořadí jednotlivých listů odpovídá pořadí, v jakém jdou za sebou podkapitoly, přičemž předposlední list je pouze kopírování výsledných celkových spotřeb za jednotlivé TS pro účely tvorby grafů a poslední list jsou tabulky sloužící ke generování hodnot, jak je popsáno v kapitole 4.3.

Samotná optimalizace probíhá pomocí maker s názvy co nejvíce odpovídajícím názvům listů, při zachování omezení jazyka Visual Basic, co se týká názvu makra.

### Ekonomické výpočty (pátá kapitola)

Všechny výpočty týkající se úspor plynoucích z optimalizace spotřeby TS2733 v kapitole 5.1 jsou zpracované v sešitu „Ekonomické výpočty.xlsm“. List „Počty Sazeb“ obsahuje počty sazeb ve vzorku, a celkový počet jednotlivých sazeb přiznaných odběrným místům v lokalitě TS2733 a složí jako referenční list pro další výpočty.

Poslední dva listy „Před optimalizací“ a „Po optimalizací“ obsahují střední hodnoty ze spotřeb v jednotlivých intervalech za dny pondělí až čtvrtek pro jednotlivé přístroje. Zeleně podbarvené buňky



opět představují intervaly, které jsou alespoň částečně v nízkém tarifu. Modře podbarvené buňky v listu po optimalizaci značí interval, v němž byl po optimalizaci sepnutý NT. Pod tabulkami s hodnotami jednotlivých přístrojů jsou pak průměry pro jednotlivé skupiny sazeb a celková spotřeba za interval. Tyto hodnoty jsou dále použity při výpočtech.

List „Přepočtené hodnoty“ obsahuje přepočet z celkové spotřeby za interval z dat ve vzorku na celkovou spotřebu za všechna odběrná místa v lokalitě. Průměry spotřeb za interval jednotlivých skupin sazeb se vynásobí skutečným počtem sazeb a tím se získá výsledný odběr celé TS2733 před a po optimalizaci. Z toho se pak určí úspora spotřeby a průměrného proudu v intervalu maxima. Citlivostní analýza závislosti velikosti úspory na poměru skupin sazeb je na následujícím listu.

List „Ztráty“ obsahuje výpočty úspor na ztrátách jak pro transformátor, tak pro kabelové vedení. Následující dva listy obsahují výpočty NPV. Poslední zatím nezmíněný list „Vypočet Průměr Den Max 20 leden“ obsahuje stejné výpočty jako „Přepočtené hodnoty“. Rozdíl je ve zdroji dat. V listu „Přepočtené hodnoty“ se pracuje se středními hodnotami za celý rok, zatímco zde se pracuje s daty jednoho dne, kterým je 20. leden 2019. V tento den byla největší spotřeba z intervalu, s níž se v této práci pracuje.

#### [Ověřování plnění podmínek pro přiznání distribuční sazby \(pátá kapitola\)](#)

Posledním přiloženým souborem Excelu je „Overovani plneni podmínek pro priznani distribucni sazby.xlsx“, sloužící pro výpočty v kapitole 5.2. Hypotéza, zda jsou znatelné rozdíly mezi sazbami D02d a D25d, byla nejprve otestována na mediánových hodnotách pro několik přístrojů, identifikovaných jako nevyužívající NT. Jejich hodnoty byly zkopírovány do tohoto sešitu a na základě toho provedeny první výpočty, viditelné v sešitě vlevo. Jak je uvedeno v kapitole 5.2, následně byla pro tato místa spočítána skutečná roční spotřeba v NT a VT a na základě toho stanoveny výsledné rozdíly mezi D02d a D25d. Toto je vidět v orámované části listu. Napravo se poté nachází výsledné tabulky, vkládané do této práce.