



Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Přehled a porovnání měření spotřeby elektrické energie
Overview and Comparison of Power Measurements
Methods

Bakalářska práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a manažment

Studijní obor: Elektrotechnika a manažment

Vedoucí práce: Ing. Jakub Svatoš, Ph.D.

Vladimír Slivka

Praha 2023



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Slivka	Jméno: Vladimír	Osobní číslo: 498858
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická		
Zadávající katedra/ústav:	Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd		
Studijní program:	Elektrotechnika, energetika a management		
Specializace:	Elektrotechnika a management		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Přehled a porovnání metod měření spotřeby elektrické energie

Název bakalářské práce anglicky:

Overview and Comparison of Power Measurements Methods

Pokyny pro vypracování:

Nastudujte a popište možnosti měření spotřeby elektrické energie jak z historického tak současného pohledu. Porovnejte jednotlivé metody a přístroje. Proveďte experiment s předloženým analyzátozem výkonu a vyhodnoťte relevantní parametry sítě. Ekonomické vyhodnocení instalace chytrých elektroměrů.

Seznam doporučené literatury:

[1] V. Macháček, Elektrické přípojky z vedení distribučních soustav a připojování zákazníků, Elektro, 2010.
[2] Danielly B. Et al., Energy meters evolution in smart grids: A review, Journal of Cleaner Production, Volume 217, 2019.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jakub Svatoš, Ph.D. katedra měření FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **03.02.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

Ing. Jakub Svatoš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne

.....
Vladimír Slivka

Poděkování

Rád by som sa poďakoval pánovi Ing. Jakubovi Svatošovi, Ph.D. a pánovi Ing. Tomášovi Králíkovi, Ph.D. za dohľad a cenné rady pri vypracovaní bakalárskej práce. Ďalej by som rád poďakoval kolegom zo spoločnosti PREdistribuce a PREměření za poskytnuté materiály, informácie a možnosť sa zúčastniť exkurzií, z ktorých poznatky som užitočnejšie v tejto práci.

Abstrakt

Bakalárska práca pojednáva o vývoji elektromerov, popisuje typy elektromerov používaných v súčasnosti, ďalej sa venuje problematike tarifikácie, technológiám Hromadného diaľkového ovládania (HDO) a Automated Meter Management (AMM). Jadro práce popisuje moderný spôsob merania elektrickej energie pomocou inteligentných elektromerov a ich pozíciu v rámci inteligentného merania. Práca ďalej analyzuje a porovnáva priebeh THD napätia na dvoch odberných miestach. Každú z uvedených problematik práca kvalitatívne popisuje, v prípade porovnania investícií do HDO a AMM aj ekonomicky.

Kľúčová slova

História elektromerov, indukčný elektromer, statický elektromer, inteligentný elektromer, dynamická tarifa, fixná tarifa, AMM, HDO, UTHD

Abstract

The bachelor's thesis discusses the development of electricity meters, describes the types of electricity meters used today and deals with the issue of energy tariffs, mass remote control (HDO) and Automated Meter Management (AMM) technologies. The core of the work describes the modern way of measuring electricity using smart meters and their position within smart metering. The thesis further analyzes and compares the course of THD voltage at two sampling points. Each of the mentioned problems is described qualitatively, in the case of a comparison of investments in HDO and AMM, also economically.

Key words

History of electricity meters, induction electricity meter, digital electricity meter, smart electricity meter, dynamic tariff, fixed tariff, AMM, HDO, UTHD

Obsah

1	Úvod.....	12
2	História elektromerov	13
2.1	Elektromery na jednosmerný prúd	13
2.1.1	Elektromery galvanického typu	13
2.1.2	Elektrolytický elektromer	13
2.1.3	Kyvadlový elektromer.....	14
2.1.4	Motorický elektromer	14
2.2	Elektromery na striedavý prúd	15
3	Indukčné elektromery	15
3.1	Princíp činnosti indukčného elektromera	16
3.1.1	Točivý moment ústroja	17
3.1.2	Brzdny moment ústroja.....	19
3.1.3	Výsledné otáčky elektromeru.....	19
3.1.4	Výsledná práca elektromera.....	19
3.2	Konštrukcia indukčného elektromera.....	20
3.2.1	Obal elektromeru.....	20
3.2.2	Počítací strojček	20
3.2.3	Merací systém	21
3.3	Regulácia a nastavovanie elektromerov	21
3.4	Výhody a nevýhody indukčného elektromeru.....	22
3.4.1	Výhody.....	22
3.4.2	Nevýhody.....	22
4	Statické elektromery	22
4.1	Princíp činnosti analógového statického elektromera	23
4.1.1	Násobičky.....	24
4.1.2	U/f prevodník	24
4.1.3	Zobrazovanie veličín.....	25
4.2	Princíp činnosti digitálneho statického elektromera	25
4.2.1	AD prevodníky.....	25
4.2.2	Mikroprocesor	26
4.2.3	Zobrazenie veličín.....	26
4.3	Konštrukcia statického elektromera	27
4.4	Odčítanie spotreby.....	27
4.5	Nastavovanie elektromerov	27
4.5.1	Kalibrácia elektromerov.....	28
4.6	Výhody a nevýhody statického elektromeru	29

4.6.1	Výhody.....	29
4.6.2	Nevýhody.....	29
5	Smart elektromery.....	29
5.1	Princíp smart elektromera.....	30
5.1.1	Komunikácia smart elektromerov.....	32
5.1.2	Komunikačné protokoly.....	33
5.2	Parametrizácia Smart elektromerov.....	33
5.3	Zabezpečenie elektromerov.....	33
5.4	Modulárnosť elektromerov.....	33
5.5	Koncentrátory a Gatewaye.....	34
5.6	Výhody a nevýhody smart elektromerov.....	36
5.6.1	Výhody.....	36
5.6.2	Nevýhody.....	36
6	Meranie THD.....	36
6.1	Teoretický úvod.....	36
6.2	Úloha merania.....	36
6.3	Použité prístroje.....	37
6.4	Výsledky merania.....	37
6.4.1	ČVUT.....	37
6.4.2	Bytový dom – ulica Vrchlického.....	38
6.4.3	Zhrnutie výsledkov.....	40
7	Dynamická a fixná tarifa.....	41
7.1	Fixná tarifa.....	41
7.2	Nové tarify v ČR.....	43
7.2.1	Elektro mobilita.....	43
7.2.2	Decentralizovaná výroba.....	44
7.2.3	Akumulácia elektrickej energie.....	44
7.2.4	Energetické spoločenstvá.....	45
7.2.5	Flexibilita sústavy.....	45
7.3	Dynamická tarifa.....	46
7.4	Zhrnutie taríf.....	46
8	AMM v porovnaní s HDO.....	47
8.1	HDO.....	47
8.2	AMM.....	48
8.3	Prínosy AMM.....	48
8.3.1	Prehľad zákazníka o spotrebe a možnosť optimalizácie.....	49
8.3.2	Diaľkové získavanie údajov.....	49

8.3.3	Rozšírenie možností v tarifikácii	49
8.4	Ekonomické porovnanie AMM a HDO	50
8.4.1	Vysvetlenie pojmov	50
8.4.2	Vstupy	50
8.4.3	Zhodnotenie výsledkov ekonomického modelu	52
8.4.4	Citlivostná analýza.....	53
8.4.5	Zhodnotenie výsledkov ekonomického porovnania	55
8.4.6	Zanedbania ekonomického modelu	55
8.5	Zhrnutie celkového prínosu AMM.....	56
9	Záver	58
	Zoznam použitej literatúry	60
	Zoznam použitých skratiek	64
	Zoznam obrázkov.....	65
	Zoznam grafov	65
	Zoznam tabuliek.....	65
	Príloha 1 – Výpočet NPV pre AMM	66
	Príloha 2 – Výpočet NPV pre HDO (12 rokov).....	67
	Príloha 3 – Výpočet NPV pre HDO (16 rokov).....	68

1 Úvod

Prenos a spotreba elektrickej energie, je neoddeliteľne spojená s jej meraním a následným ekonomickým ohodnotením. O tento proces sa starajú práve elektromery. Za dnešnou podobou elektromerov stojí 160-ročný výskum a vývoj. Dnešné elektromery okrem merania spotreby energie a iných veličín, prinášajú komfort ako pre spotrebiteľa, tak pre distribútorov elektrickej energie. Moderné inteligentné elektromery sú taktiež jedným zo základov fungovania technológie Smart Grid (SG). Bakalárska práca sa venuje práve predstaveniu a porovnávaniu jednotlivých typov elektromerov. Z veľkej časti sa práca zameriava na inteligentné elektromery a výhody z nich plynúce, nie len technické, ale aj ekonomické.

Ako bolo spomenuté, spotreba elektrickej energie sa musí vhodne oceniť, v tomto prípade k tomu slúžia tarifné sadzby. S liberalizáciou trhu s elektrinou, prichádzajú obchodníci s mnohými produktmi, ktoré majú osloviť potenciálnych zákazníkov a zlepšiť tým nie len ekonomický prospech firmy, no taktiež optimalizovať využívanie elektrizačnej sústavy. Práve vďaka priebežnému meraniu sa uplatňuje využívanie dynamických spôsobov tarifkácie a sofistikovaných tarifných sadzieb určených pre poskytovateľov flexibility, energetické spoločenstvá, elektromobilitu a iné. Práca tieto tarifkácie popisuje a poukazuje na benefity inteligentného spôsobu merania aj vo vzťahu k distribučným tarifám.

V súčasnosti sa v rámci českej energetiky realizuje prechod z konceptu Hromadného Diaľkového Ovládania (HDO) na Automated Meter Management (AMM), teda inteligentný spôsob získavania údajov z elektromerov. Takýto spôsob získavania údajov je možné zužitkovať pri zavádzaní nových konceptov na energetickom trhu (flexibilita, elektromobilita, atď.). Práca ekonomicky porovnáva vybudovanie AMM a HDO od základov pomocou citlivostnej analýzy a ukazovateľa ročného ekvivalentného peňažného toku (RCF). Výsledky ekonomického modelu bakalárska práca analyzuje a diskutuje nad možnými scenármi a faktormi ovplyvňujúcich výhodnosť investícií. Ďalej sa kvalitatívne venuje ekonomickému pohľadu na prechod z vybudovanej HDO infraštruktúry na AMM.

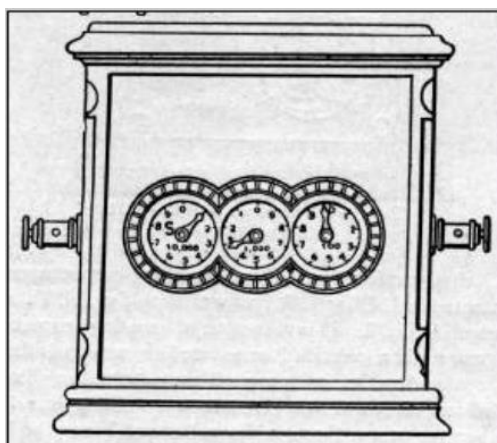
Súčasťou bakalárskej práce je aj meranie celkového harmonického skreslenia - Total Harmonic Distortion (THD) na dvoch miestach. Prvým miestom je akademická pôda ČVUT a druhým je bytový dom na Vrchlického ulici v Prahe. Meranie vyhodnocuje úroveň THD počas dňa a diskutuje nad možnými príčinami výskytu vyšších harmonických.

2 História elektromerov

2.1 Elektromery na jednosmerný prúd

Prvá polovica devätnásteho storočia sa niesla v znamení objavov v oblasti elektromagnetizmu. Tieto teoretické poznatky sa časom transformovali do praxe a teda je možné považovať devätnáste storočie za jednu z najdynamickejších ér v elektrotechnike. Za míľnik sprístupnenia elektriny sa považuje skonštruovanie dynama Wernerom von Siemensom v roku 1867. Elektrina bola sprvu využívaná na osvetlenie miest. Následné komerčné využitie elektriny viedlo k potrebe jej merania [1].

Prvenstvo vo vývoji elektromeru sa pripisuje Samuelovi Gardinerovi. Patent z roku 1872 bol schopný merať čas, počas ktorého sa spotrebovávala elektrina. Elektromer meral jednosmerný prúd a bol pripojený do série so záťažou. Vnútro zariadenia tvorili ozubené kolieska, rovnaké ako v hodinách, ktoré boli poháňané elektromagnetom. Čas spotrebovanej energie sa zobrazil na ciferníkoch elektromera. Využívanie tohto typu elektromera bolo v čase, kedy drvivá časť elektriny bola využívaná na osvetlenie miest a používanie telegramu [1]; [2].



Obrázok 2-1 - Prvý elektromer [3]

Do skupiny elektromerov merajúcich spotrebu jednosmerným prúdom patria elektromery galvanického či motorického typu, elektrolytické, alebo kyvadlové.

2.1.1 Elektromery galvanického typu

Za vynálezcu prvého elektromeru galvanického typu sa považuje Thomas Alva Edison. Patent z roku 1881 obsahoval niekoľko komôr so zinkovými platničkami a elektrolytom. V čase prechodu elektrického prúdu elektrolytickým článkom, sa ióny zinku prenášajú z anódy na katódu, a tým sa mení hmotnosť oboch elektród. Na konci zúčtovacieho obdobia sa obe elektródy zväžia, vypočíta sa rozdiel ich hmotností a tým sa stanoví výška poplatku za spotrebovanú elektrinu. Elektromer bol kalibrovaný tak, aby sa spotrebovaná elektrina odpočítavala v stopách kubických plynu [4].

Veľkou nevýhodou týchto elektromerov boli ich vysoké vnútorné straty, úniky plynu, zložité používanie a spôsob, akým sa vypočítavala spotrebovaná elektrina. Súčasne zlá manipulácia so zinkovými platničkami, viedla k chybným odpočtom spotreby. Navyše zákazník nemal prehľad o aktuálnej spotrebe energie, čo mohlo viesť k nedôvere voči zariadeniu [5].

2.1.2 Elektrolytický elektromer

Elektromery elektrolytického typu merajú ampérhodiny. Princíp týchto elektromerov je založený na prechode prvkov, akými sú napríklad ortuť, alebo vodík cez pórovitú štruktúru. Elektromery

elektrolytického typu pozostávajú zo sklenenej banky obsahujúcej: elektrolyt, pórovitá prekážka a elektródy. Sklenená nádoba je rozdelená na časť so zásobníkom elektrolytu a časť so stupnicou pre odpočet spotreby. Tieto časti rozdeľuje pórovitá štruktúra. Ak je odoberaný prúd, elektrolyt preteká zo zásobníka cez pórovitú prekážku a plní časť sklenenej nádoby so stupnicou. Množstvo pretečeného elektrolytu je úmerné množstvu spotrebovanej energie [5].

Nevýhoda elektromerov spočívala v nízkej presnosti odpočtu spotrebovanej energie a nutnosti poverených príslušníkov prelievať pretečený elektrolyt naspäť do zásobníka.

2.1.3 Kyvadlový elektromer

Kyvadlový elektromer bol patentovaný v roku 1883 Hermannom Aronom a je považovaný za prvý presný watthodinový elektromer. Jeho používanie bolo populárne v poslednej dekáde 19. storočia, hlavne vo Veľkej Británii. V kryte elektromeru sa nachádzali dve kyvadlové hodiny, poháňané hnacou pružinou s diferenciálom. Pružina bola naťahovaná každú polhodinu. Vďaka diferenciálu môžu kyvadlá kmitať rôznou rýchlosťou pri rovnakom hnacom momente. Kyvadlá sú omotané cievkami, ktorými preteká prúd proporčný napätiu obvodu. Pod kyvadlami sa nachádzajú ďalšie cievky pretekané prúdom. Interakcia magnetických polí vytvorených prúdom pretekajúcimi cievkami zoslabuje, alebo zosilňuje gravitačnú silu pôsobiacu na kyvadlo. Tým sa menia doby kmitov kyvadiel v závislosti na veľkosti magnetických polí. Vďaka polarite cievok sa jednému z kyvadiel predlžuje doba kmitu a druhému skracuje. Rozdiel dôb kmitov kyvadiel je úmerný odoberanej energii [6].

Výhoda tohto elektromeru spočívala v možnosti merať ako ampérhodiny, tak aj watthodiny. Elektromer navyše meral lineárne aj počas preťaženia a jeho nábehový prúd bol nulový. Nevýhodou bola vysoká výrobná cena.

2.1.4 Motorický elektromer

Vynálezca Elihu Thomson skonštruoval v osemdesiatych rokoch devätnásteho storočia elektromer, ktorý možno považovať za najrevolučnejší elektromer na jednosmerný prúd. Elektromer pozostáva z malého motorčeka, ktorého rotor napája komutátor a stator je budený prúdom záťaže. K hriadeľu rotora je pripevnený hliníkový kotúč. Točivý moment pôsobiaci na kotúč závisí od odoberanej energie. Brzdny moment poskytuje permanentný magnet. Množstvo spotrebovanej elektriny je možné zistiť od počtu otočení hliníkového disku. Takýto systém výpočtu spotrebovanej energie sa využíval aj v 20. storočí v indukčných elektromeroch.



Obrázok 2-2 - Motorický elektromer [7]

V porovnaní s elektromermi galvanického a elektrolytického typu mali tieto elektromery výhodu, že nebolo nutné meniť elektrolyt a zákazník mal prehľad o množstve spotrebovanej energie. Na druhej strane veľkou nevýhodou tohto druhu elektromeru bolo opotrebenie komutátora a následné znižovanie presnosti merania. Jedným z riešení tohto problému bolo oddelenie častí kolektora pre vyššiu a nižšiu spotrebu prúdu [5].

2.2 Elektromery na striedavý prúd

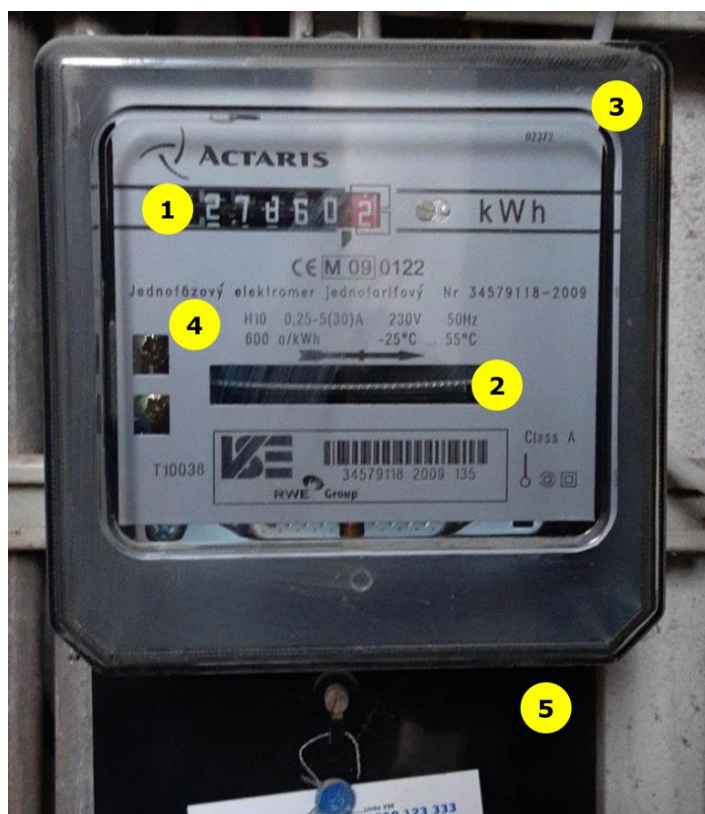
Skonstruovanie transformátora znamenalo revolúciu v distribúcii elektrickej energie. Možnosť zmien napätových úrovní bola kľúčová pre prechod z prenosu jednosmerného prúdu, na prenos prúdu striedavého. Pre komerčnú adaptáciu striedavého prúdu sa musel zmeniť aj spôsob merania spotreby.

Prvý komerčne využívaný elektromer na striedavý prúd skonštruoval Oliver B. Shallenberger v roku 1888. Elektromer pozostával z disku, dvoch cievok nachádzajúcich sa na opačných stranách disku a permanentného magnetu. Elektromer meral wathhodiny spotrebovanej energie [1].

Týmto bol položený základ indukčných elektromerov. Práve Ferrarisov princíp točivého magnetického poľa, bol hlavným princípom využívaným v elektromeroch 20. storočia.

3 Indukčné elektromery

Indukčné elektromery boli najpoužívanejším typom elektromerov v 20. storočí. Indukčné elektromery môžeme rozlíšiť na činné elektromery, sadzbové činné elektromery, jalové elektromery, alebo špeciálne elektromery [8]. V ďalšom rozdelení môžeme elektromery rozlíšiť na jedno-sústavové elektromery určené pre meranie v jednofázovej sústave, alebo na dvojsústavové, či trojsústavové elektromery merajúce v sústave trojfázovej.



Obrázok 3-1 - Indukčný elektromer Actaris

- 1 Počítací strojček
- 2 Kovový kotúč
- 3 Kryt elektromera
- 4 Označenie a popis elektromera
- 5 Kryt svorkovnice

Ako už z názvov vyplýva, činné elektromery merajú činnú prácu v jednotkách kWh. Jalové elektromery merajú prácu jalovú v jednotkách kVARh.

Vzťah činnej práce:

$$W_{\check{c}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t \quad 3-1$$

Vzťah jalovej práce:

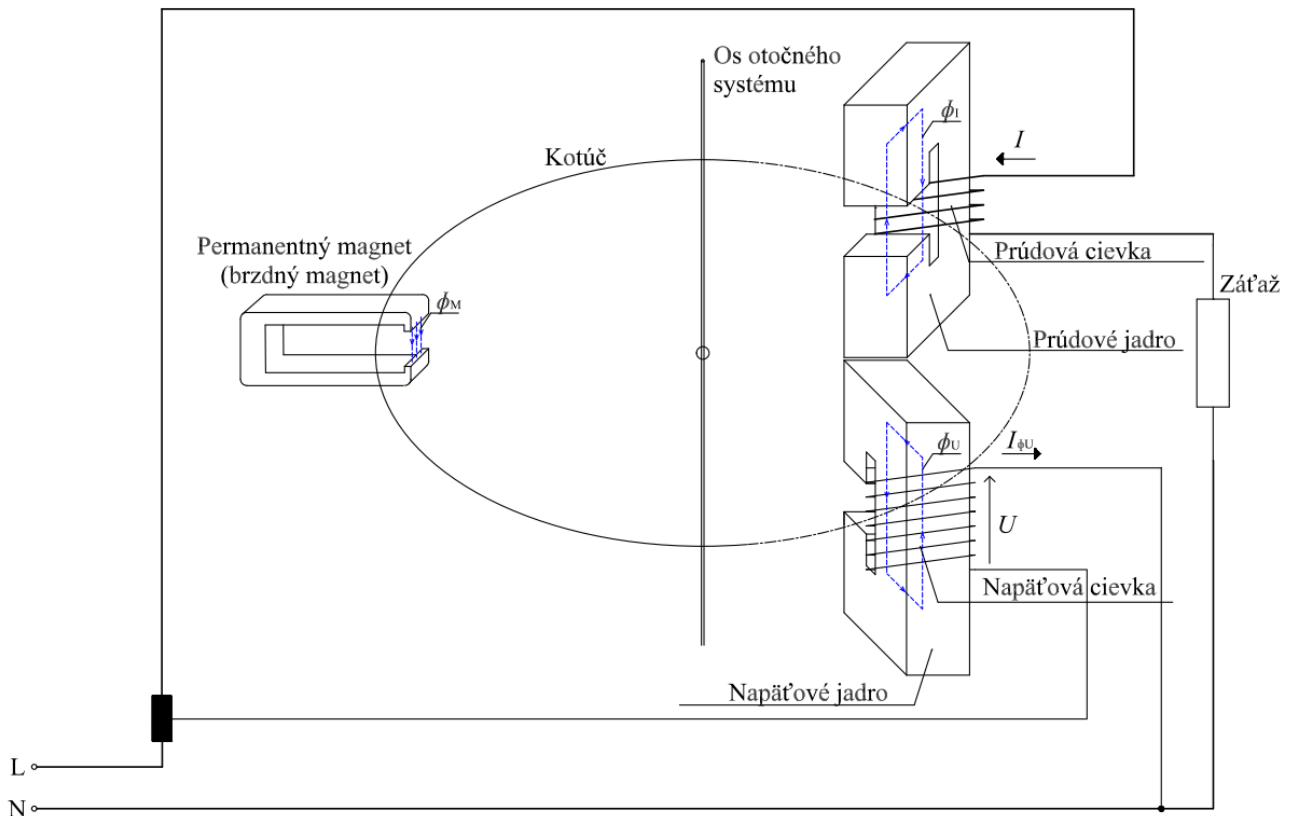
$$W_j = U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot t \quad 3-2$$

3.1 Princíp činnosti indukčného elektromera

Je nutné podotknúť, že princíp činnosti sa vysvetľuje na ideálnom elektromere s činnou záťažou.

Indukčný elektromer meria a zaznamenáva spotrebu elektrickej energie pomocou systému, ktorý obsahuje 2 jadrá s elektromagnetmi (prúdová a napäťová cievka), brzdný magnet, kovový disk, hriadeľ, číselník a ostatné časti.

Principiálny nákras činnosti indukčného elektromera je znázornený nižšie.



Obrázok 3-2 - Teoretický princíp indukčného elektromera

Pre všeobecný popis momentov pôsobiacich na kovový kotúč, vychádzame z úplnej pohybovej rovnice [9]:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + k_b \frac{d\alpha}{dt} + k_d \cdot \alpha = k_p \cdot P \quad 3-3$$

Kde:

J	Moment zotrvačnosti
α	Uhol natočenia
k_b	Brzdiaci moment
k_d	Direktívna konštanta
k_p	Konštanta prístroja
P	Výkon

Prvý a tretí člen rovnice 3-3 môžeme zanedbať z dôvodu rozmerov kotúča, ktorý je tenký a malý a taktiež v mechanizme nemáme direktívny moment, ktorý vracia systém do počiatocnej polohy. Po zanedbaniach sa nám rovnica zjednoduší:

$$k_b \frac{d\alpha}{dt} = k_p \cdot P \quad 3-4$$

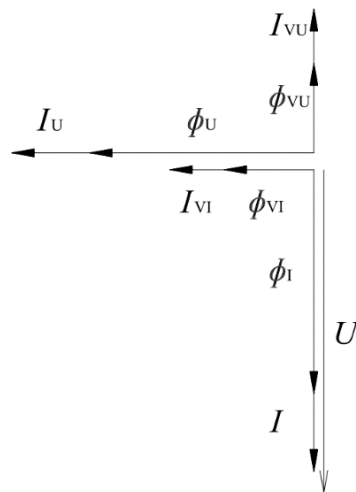
3.1.1 Točivý moment ústroja

Prvou zložkou pre výpočet výslednej rýchlosti otáčania kovového kotúča a výslednej práce elektromera je točivý moment ústroja.

Aby sa roztočil kovový disk a tým sa vyvolal pohyb číselníka, je nutné na tento disk vyvodit' hnací moment. O tento moment sa stará štvorica magnetických tokov Φ_I , Φ_U , Φ_{VI} , Φ_{VU} tvorených prúdovou a napäťovou cievkou a prietokom magnetických tokov cez kovový disk.

Medzi nutnú podmienku správnej činnosti indukčného elektromera merajúceho činnú záťaž, patrí fázový posun 90° medzi tokmi Φ_I a Φ_U . Fázový rozdiel sa dosiahne zapojením prúdovej cievky do série so záťažou a navinutím napäťovej cievky s tak vysokou indukčnosťou, že prúd I_U a magnetický tok Φ_U , vyvolaný práve týmto prúdom, bude fázovo posunutý o 90° pred sieťovým napätím U [10]. Prechodom tokov Φ_I a Φ_U skrz kovový disk, sa vplyvom strát v železe na kotúči naindukujú vírivé prúdy I_{VI} a I_{VU} , ktoré sú fázovo oneskorené o 90° za magnetickými tokmi Φ_I a Φ_U . Vírivé prúdy sú sprevádzané vznikom tokov Φ_{VI} a Φ_{VU} . Nakoľko je kotúč ohmickej povahy, sú toky Φ_{VI} a Φ_{VU} vo fáze s prúdmi, ktoré ich vyvolali [6].

Stručný prehľad fázorového diagramu napätí, prúdov a momentov je znázornený nižšie:



Obrázok 3-3 - Fázorový diagram indukčného elektromera

Indukčné reakcie vírivých prúdov, spôsobujú otáčavý účinok vodivého disku. Vytvorí sa tzv. postupové pole, ktoré svojím postupom unáša kovový disk a spôsobí jeho otáčanie [8]. Celý proces si môžeme predstaviť ako vznik magnetických pólov vznikajúcich na mieste prechodu magnetických tokov Φ_I a Φ_U . Ak magnetický tok smeruje hore skrz kotúč, bude mať charakter severného magnetického pólu, ak prechádza dole skrz kotúč, bude mať charakter južného magnetického pólu. Ďalej z Lenzovho zákona vyplýva, že magnetické toky Φ_{VI} a Φ_{VU} majú súhlasný smer so zaniknutým magnetickým tokom. Toky Φ_I a Φ_U predstavujú pevné magnetické póly, toky Φ_{VI} a Φ_{VU} predstavujú voľné magnetické póly na kotúči. Vďaka fázovým posunom tokov, sa kotúč vplyvom príťažlivých a odpudivých magnetických síl otáča. V interakcii je vždy jeden pevný magnetický pól a jeden voľný magnetický pól.

Hnací moment je možné matematicky odvodiť súčtom točivých momentov oboch dvojíc magnetických tokov [6].

Točivý moment prvej dvojice magnetických tokov:

$$M_{t1} = k_{t1} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_{VI} \cdot \cos \varphi \quad 3-5$$

Točivý moment druhej dvojice magnetických tokov:

$$M_{t2} = -k_{t2} \cdot \Phi_I \cdot \Phi_{VU} \cdot \cos \varphi \quad 3-6$$

Magnetický tok Φ_{VI} vieme vyjadriť pomocou rovnice 3-7:

$$\Phi_{VI} = k_{VI} \cdot \Phi_I \cdot f \cdot G \quad 3-7$$

Magnetický tok Φ_{VU} vieme vyjadriť pomocou rovnice 3-8:

$$\Phi_{VU} = k_{VU} \cdot \Phi_{UI} \cdot f \cdot G \quad 3-8$$

V rovniciach 3-7 a 3-8 f označuje kmitočet siete a G označuje vodivosť kotúča.

Pre výsledný točivý moment sa urobí súčet rovníc 3-5 a 3-6 a dosadia sa rovnice 3-7 a 3-8.

$$M_t = k_{t3} \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \cos \varphi \cdot f \cdot G \quad 3-9$$

V rovnici 3-9 sa neobjavilo znamienko mínus z rovnice 3-6, pretože sa vylúčilo polohou jadier. Hnacie toky Φ_U a Φ_I sú úmerné napätiu U a prúdu I . Kmitočet siete f a vodivosť kotúča G uvažujeme počas celého merania konštantné, teda ich môžeme započítať do konštanty k_t .

Po úpravách dostaneme výsledný otáčavý moment M_t :

$$M_t = k_t \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad 3-10$$

3.1.2 Brzdny moment ústroja

Druhou zložkou pre výpočet výslednej rýchlosti otáčania kovového kotúča a výslednej práce elektromera, je brzdný moment ústroja.

Vďaka permanentnému magnetu, tečie skrz kotúč magnetický tok Φ_M . Pri otáčaní kotúča sa v mieste prestupu siločiar Φ_M , objavia vírivé prúdy I_{VM} , ktoré vyvolajú magnetický tok Φ_{VM} brániaci pohybu kotúča. To znamená, že v smere pohybu kotúča budú siločiar hustejšie a v protismere redšie [6].

Brzdny moment:

$$M_b = k_{b1} \cdot \Phi_M \cdot \Phi_{VM} \quad 3-11$$

Magnetický tok Φ_{VM} , je úmerný veľkosti magnetického toku Φ_M , rýchlosti pohybu kotúča n a vodivosti kotúča G [6]. Navyše všetky veličiny až na rýchlosť pohybu kotúča n sa nemenia, teda sa zahrnú do konštanty k_b . Rovnicu 3-11 teda upravíme:

$$M_b = k_b \cdot n \quad 3-12$$

Zo vzorca vyplýva, že brzdný moment narastá s rýchlosťou pohybu kotúča.

3.1.3 Výsledné otáčky elektromeru

Výpočet výslednej rýchlosti pohybu kotúča vyplýva zo zákona zachovania a rovnováhy energie, pre ktorú platí rovnica:

$$M_t = M_b \quad 3-13$$

Do rovnice 3-13 sa dosadia rovnice 3-10 a 3-12:

$$k_t \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k_b \cdot n \quad 3-14$$

Výsledný vzťah pre rýchlosť pohybu kotúča:

$$n = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad 3-15$$

3.1.4 Výsledná práca elektromera

Odberom efektívneho výkonu po určitú dobu t , sa vykoná práca W . Počas tohto času sa kotúč otočí $n \cdot t$ -krát, čo sa zaznamená na číselník.

Vzťah pre celkovú elektrickú prácu:

$$W = k \cdot \sum_1^N U \cdot I \cdot \cos \varphi dt \quad 3-16$$

Vzťah pre mechanickú prácu udávanú číselníkom:

$$W' = \sum_1^N U \cdot I \cdot \cos \varphi dt \quad 3-17$$

Zo vzťahu 3-16 vyplýva konštanta k , konštanta elektromeru, ktorá je daná pomerom elektrickej práce a mechanickej práce prevedenej na číselník. Konštanta k má svoju dôležitosť pri dimenzovaní elektromerov.

3.2 Konštrukcia indukčného elektromera

Konštrukcia elektromeru je jednoduchá. Elektromer možno rozdeliť na 3 časti: obal elektromeru, počítací strojček a merací systém [8].

3.2.1 Obal elektromeru

Hlavným účelom obalu je ochrana vnútra elektromeru pred znečistením a mechanickým poškodením. Samotný obal má niekoľko častí: spodok obalu, kostru, svorkovnicu, kryt svorkovnice a kryt elektromera. Jednotlivé časti musia byť z dostatočne pevného materiálu, aby funkčnosť elektromerov nebola ovplyvnená mechanickými nárazmi, ani montážou. Svorkovnica je z nehorľavého a hydrofóbného materiálu a je vybavená plombovacím krytom, ktorý bráni neoprávnenej manipulácii [8].

Medzi najpoužívanejšie materiály krytu patrí železo, fenoplast, sklo, oceľové plechy, hliníkové zliatiny a iné [11].

3.2.2 Počítací strojček

Poznáme počítacie strojčeky valčekové, kotúčové, alebo ručičkové [6]. Najnovším a hojne používaným typom sú počítacie strojčeky valčekové.

Valčekový počítací strojček býva väčšinou päť, šesť, alebo sedem miestny valček vyrábaný z ľahkých materiálov ako hliník, alebo plast, aby trenie strojčeka neovplyvnilo pohyb kotúča. Zobrazenie aktuálnej spotreby je buď skokové, alebo plynulé. Skokové zobrazenie zobrazuje iba celé hodnoty, na rozdiel od plynulého zobrazenia spotreby [12].

Strojček je založený na dekadickom prevode, kedy pri desiatich otáčkach podradeného valčeka sa vykoná jedna otáčka valčeka nadradeného.

Súčasťou počítacieho strojčeka je teda skupina valčekov nachádzajúcich sa na neotáčavej ose a pastorky na ose druhej, ktoré slúžia na otáčanie valčekov a zabráneniu ich samovoľného otáčania. Pastorky sú spojené s hriadeľom otočného systému pomocou slimáka a výmenných koliesok [8].

Ďalšou časťou počítacieho strojčeka je číselník, teda oblasť na elektromere, odkiaľ odpočítavame hodnoty spotreby. Valčekový číselník je rozdelený na čiernu a červenú časť. Čierne orámovanie znamená celé číslo, červené orámovanie číslo za desatinnou čiarkou.

3.2.3 Merací systém

Merací systém sa stará o správnu premenu elektrickej energie na mechanickú. Môžeme ho rozdeliť na 3 časti: hnací systém, otočný systém a brzdný systém.

Hnací systém je skupina jadier napät'ových a prúdových, ktorých činnosť bola vysvetlená v podkapitole 3.1.1. Napät'ové jadro obopína cievka s mnohými závitmi z tenkého izolovaného drôtu, zatiaľ čo prúdové jadro obopína cievka s nižším počtom závitov a z hrubšieho izolovaného drôtu. Pre zníženie vlastnej spotreby elektromera a strát v železe, sú jadrá tvorené zo železo kremíkových plechov od seba izolovaných.

Otočný systém tvorí kotúč pripevnený k hriadeľu nachádzajúceho sa medzi dvomi ložiskami. Kovový kotúč je väčšinou tvorený z hliníka, no pri meraní s malými kmitočtami sa používa medený kotúč [6]. Pomocou otočného systému sa prenáša kinetická energia na počítací strojček, čím zaznamenávame spotrebu energie.

Brzdny systém tvorí brzdný permanentný magnet. Ten vytvára magnetický tok prechádzajúci kovovým kotúčom, čo spomaľuje jeho otáčanie. Princíp činnosti a brzdiaci moment tvorený týmto systémom je popísaný v podkapitole 3.1.2.

Požiadavky kladené na brzdný systém sú: dostatočná vzdialenosť od hnacieho systému, aby nedochádzalo ku skresľovaniu rozptylu magnetických polí, a taktiež jeho poloha v rámci celého meracieho systému musí byť pevná [6].

3.3 Regulácia a nastavovanie elektromerov

Aby elektromery merali správne a bola možná presná fakturácia, je nutná ich údržba a správne zriadenie. Elektromer v prevádzke ovplyvňujú napríklad prúdové nárazy, otrasy, teplotné zmeny a podobne. Údržba elektromerov v ciachovni sa vykonáva po tzv. ciachovej lehote, v prípade indukčných elektromerov s priamym meraním vyrobených po roku 1990 je to 16 rokov. Aby bola dodržaná povolená odchýlka merania, elektromer sa nastavuje pomocou niekoľkých nariadených zariadení [6]:

- Desaťpercentné nariadené zariadenie - riadi magnetický tok v napät'ovom jadre.
- Kosínusové nariadené zariadenie – dodržiava posun 90° medzi tokmi Φ_U a Φ_I pri jalovej záťaži.

Alebo sa zriadzuje pomocou posunu brzdného magnetu, prípadne hnacích jadier.

Elektromery sa v ciachovni ďalej vhodne očistia. Pretože sa jedná o mechanické zariadenie, prach a nečistoty môžu zásadne poškodiť meracie zariadenie.



Obrázok 3-4 - Skúšanie indukčných elektromerov

3.4 Výhody a nevýhody indukčného elektromeru

Hoc sa jedná o najdlhšie používaný druh elektromeru, indukčný elektromer neprináša iba výhody, no v niektorých ohľadoch zaostáva za inými druhmi elektromerov.

3.4.1 Výhody

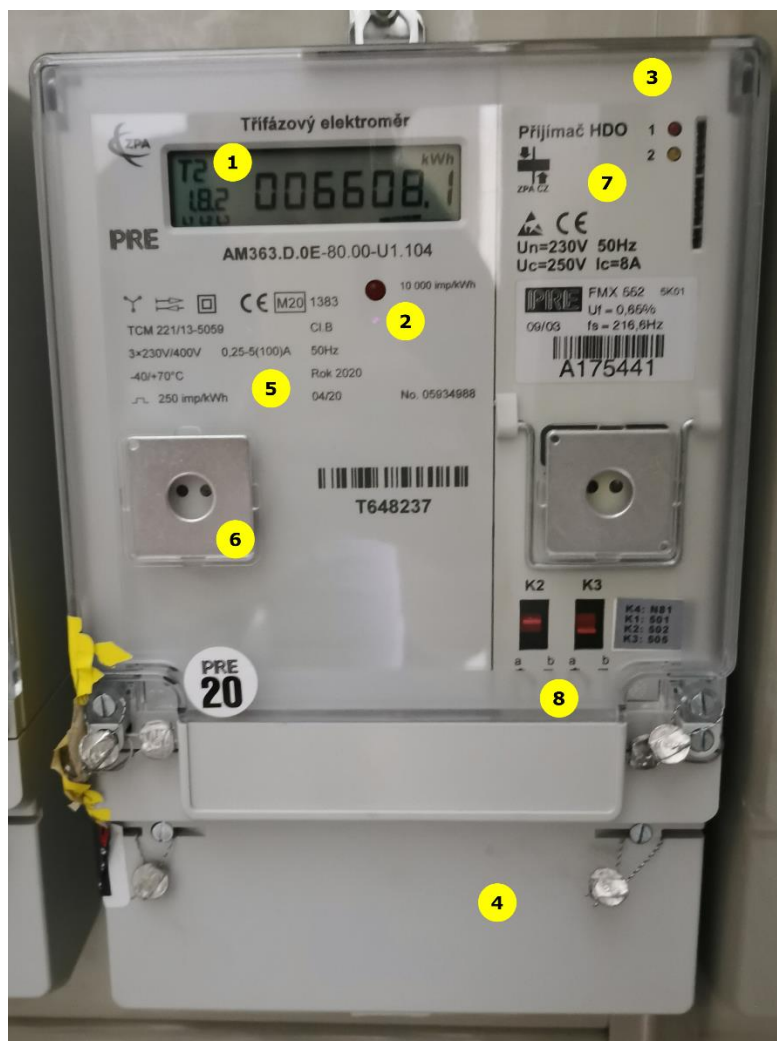
- Možnosť dvoj a viactarifného merania.
- Možnosť merania spotreby jalového výkonu, strát v rozvode, nesúmernosti fázového zaťaženia, maxima spotreby, ...

3.4.2 Nevýhody

- Možnosť ovplyvnenia celkovej nameranej spotreby vyvinutím takého magnetického toku, aby sa hnací ústroj elektromeru pribrzdil, a tým sa znížila nameraná spotreba. To v minulosti využívali vypočítaví spotrebitelia, ktorí si chceli „ušetriť“ na energiách.
- Mohutné prevedenie, ktoré dosahuje aj cez 5 kg [12].
- Citlivé zariadenie náchylné na nepresnosti merania pri vzájomnom posune jadier,
- Odčítanie elektromerov je spojené s poverením a dochádzaním pracovníkov na odberné miesto (OM).

4 Statické elektromery

Ďalším krokom vo vývoji prístrojov na meranie spotreby sú statické elektromery. Tie sa na trhu začali objavovať v 70. rokoch 20. storočia. Názov statické elektromery znamená, že elektromery nemajú v sebe žiadne pohybujúce sa mechanické časti. Vývojovo sa stretávame najskôr s analógovými statickými elektromermi a neskôr s digitálnymi.



Obrázok 4-1 - Statický elektromer ZPA AM363.D.0E

- 1 Displej
- 2 Indikácia spotreby
- 3 Kryt elektromera
- 4 Kryt svorkovnice
- 5 Označenie a popis elektromera
- 6 Optické rozhranie
- 7 Prijímač HDO
- 8 Relé HDO prijímača

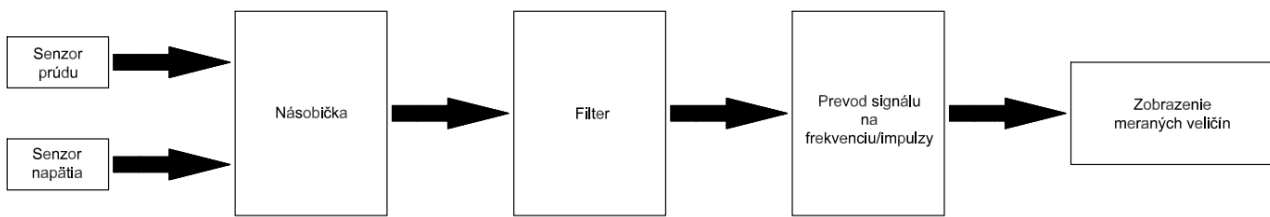
4.1 Princíp činnosti analógového statického elektromera

V starších, teda analógových statických elektromeroch, sa spotreba energie vypočíta prostredníctvom analógových súčiastok. V súčasnosti sa jedná o zastaralé zariadenia používané iba výnimočne [13].

Meranie činnej spotreby prebieha v niekoľkých základných krokoch:

- Nameranie napätia a prúdu pomocou senzorov,
- Vynásobenie prúdu a napätia v násobičke a filtrácia takéhoto signálu,
- Prevod nameraného výkonu na proporcionálnu frekvenciu, prípadne impulzy,
- Integrácia nameraných hodnôt a ich zobrazenie.

Jednotlivé kroky popisuje bloková schéma nižšie:



Obrázok 4-2 - Bloková schéma princípu činnosti statického analógového elektromera

4.1.1 Násobičky

Násobičky slúžia na vynásobenie nameraného prúdu a napätia, čím dostaneme výkon. V elektromeroch sú využívané násobičky s Hallovou sondou, logaritmicko-exponenciálne násobičky, alebo Pulse Width Modulation (PWM) násobičky. V analógových statických elektromeroch sa násobičky často vyskytujú v kombinácii s filtrom typu dolná priepusť, ktorý slúži ako prevodník strednej hodnoty vynásobených veličín [14].

Násobička s Hallovou sondou:

Násobička pracuje na princípe Hallovho javu. Výstupné napätie u_V z Hallovej sondy je možné vyjadriť rovnicou:

$$u_V = k \cdot B \cdot i = k \cdot i_i \cdot i_u \quad 4-1$$

Výsledné napätie závisí na veľkosti indukcie B a prúde i prechádzajúcim sondou. Indukcia je priamoúmerná prúdu získaného z jedného zo senzorov prúdu i_i , alebo napätia i_u . Prúd prechádzajúci sondou je vyvedený z druhej sondy. Napätie u_V je možné vnímať ako výkon [15].

Násobička na princípe PWM:

Násobička impulzovo šírkovovej modulácie vyjadruje súčin dvoch veličín ako strednú hodnotu PWM signálu. Jeden vstupný signál nastavuje výšku PWM signálu a druhý šírku impulzu. Výsledný signál vieme vyjadriť vzťahom:

$$U_V = \frac{U_1 \cdot T_1}{T} \quad 4-2$$

U_V vyjadruje výsledný signál. Napätie U_1 , teda výška PWM signálu, je závislá na hodnote signálu z napäťového alebo prúdového senzoru a čas T_1 , šírka impulzu, je závislý na hodnote signálu z druhého senzoru. T reprezentuje časovú periódu [15].

4.1.2 U/f prevodník

Úlohou U/f prevodníka, je previesť signál výkonu na impulzy o určitej frekvencii. Frekvencia závisí na vstupe prevodníka, teda veľkosti výkonu. Tieto pulzy následne spracuje počítač elektromera, ktoré integruje hodnoty výkonu pre určenie spotreby [16]. Počet impulzov za definovaný čas je teda rovný spotrebe elektrickej energie. Pre počet impulzov platí rovnica 4-3 [14]:

$$N = \sum_{t_1}^{t_2} \Delta N = \sum_{t_1}^{t_2} f \Delta t = \sum_{t_1}^{t_2} k P \Delta t \doteq k \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad 4-3$$

Kde N je počet impulzov medzi časmi t_1 a t_2 , f je frekvencia úmerná vstupnému signálu, P je výkon a k je konštanta.

4.1.3 Zobrazovanie veličín

Nameraná spotreba sa pri statickom analógovom elektromere môže zobrazit' buď na analógovom číselníku, prípadne na displeji, kedy je nutné analógový signál spracovať digitálne.

4.2 Princíp činnosti digitálneho statického elektromera

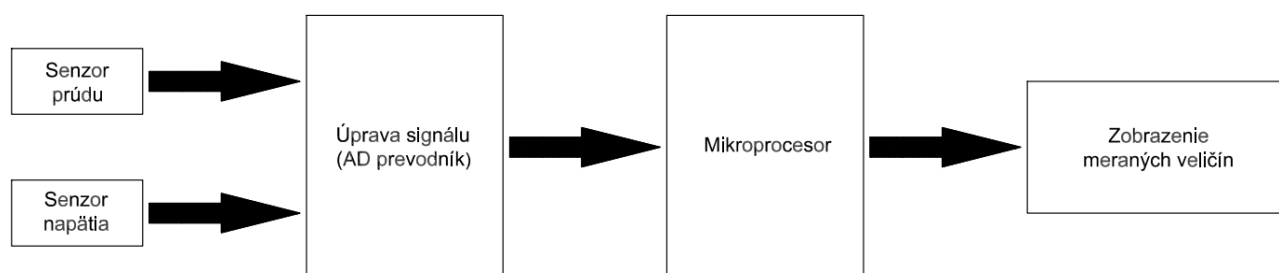
Základom digitálneho statického elektromera je jeho mikroprocesor, ktorý po prevedení analógového signálu na digitálny sa stará o všetky operácie. Mikroprocesor zabezpečuje násobenie prúdu a napätia, integráciu, ukladanie nameraných hodnôt a mnoho iného.

Statické elektromery sú schopné merať ako spotrebu elektrickej energie, tak aj napätie, prúd a iné veličiny. Nameraná spotreba elektrickej energie vychádza z počtov impulzov vyslaných elektronickým wattmetrom. Tieto impulzy sú signalizované LED kontrolkou na kryte elektromeru.

Meranie spotreby činnej prebieha v niekoľkých základných krokoch:

- Nameranie napätia a prúdu pomocou senzorov elektromeru,
- Prevod analógového signálu do signálu digitálneho pomocou AD prevodníkov,
- Vzorkovanie digitálnych údajov a ich filtrácia,
- Ukladanie údajov do pamäte elektromeru a ich zobrazenie na displeji.

Jednotlivé kroky popisuje bloková schéma nižšie:



Obrázok 4-3 - Bloková schéma princípu činnosti statického digitálneho elektromera

Statické elektromery umožňujú merania priame, ale aj nepriame, teda v zapojení s meracími transformátormi. Elektromery merajúce činný výkon prichádzajú v troch triedach presnosti A, B a C, ktoré určí výrobca. Trieda presnosti sa udáva v percentách a predstavuje hranicu dovolenej chyby pre daný merací rozsah pri jednotkovom účinníku. Medzi ďalšiu špecifikáciu elektromerov patrí konštanta elektromera. Tá vyjadruje pomer medzi energiou registrovanou elektromerom a zodpovedajúcou hodnotou skúšobného výstupu [17]. Konštanta elektromera má súvis s metrologickou LED na elektromere a udáva sa v impulzoch/kWh.

Medzi najmodernejšie a najpokročilejšie typy statických digitálnych elektromerov môžeme zaradiť štvorkvadrantové elektromery, ktoré merajú ako odber, tak aj dodávku činnej a jalovej zložky elektrickej energie.

4.2.1 AD prevodníky

Hlavnou úlohou AD prevodníkov, je previesť analógový signál z napätového a prúdového senzora elektromera na číslicový signál, ktorý je následne spracovaný mikroprocesorom. V elektromeroch sú využívané integračné AD prevodníky typu s dvojitou integráciou, s medziprevodom napätie-frekvencia a sigma-delta prevodník [14].

AD prevodník s dvojtaktnou integráciou:

Výstup tohto typu prevodníka je rovný priemernej hodnote napätia U za definovanú dobu T . Proces prevodu je dvojtaktný, kedy v prvom takte o dobe T_1 je na vstup pripojené napätie U_x , ktoré nabíja integračný kapacitor. V druhom takte sa integruje referenčné napätie U_r o opačnej polarite ako U_x a vybíja sa integračný kapacitor. Čas T_2 potrebný k úplnému vybitiu kapacitora sa zaznamená. Tento proces je možné opísať vzťahom [14]:

$$U_x = \left| \frac{U_r}{T_1} T_2 \right| \quad 4-4$$

AD prevodník s medzi prevodom napätie-frekvencia:

V tomto type prevodníka sa merané vstupné napätie prevedie na periodický signál o určitej frekvencii. Tento periodický signál je následne spracovaný čítačom. Tento typ prevodníka sa využíval najmä v minulosti.

Sigma-delta AD prevodník:

Sigma-delta AD prevodníky prevádzajú priemernú hodnotu signálu za určitý interval na číslo. Interval je možné meniť. AD prevodník sa skladá z integrátora, komparátora a číslicového filtra. Prevodník pracuje principiálne na vyrovnávaní náboja. K zvýšeniu presnosti $\Delta\Sigma$ prevodníka sa využíva prevzorkovanie a úprava šumu. Veľkou výhodou týchto prevodníkov je napríklad nízka cena, alebo nižšie nároky na vstupný a výstupný filter [18]. Prevodník možno nájsť vo väčšine súčasných elektromerov.

4.2.2 Mikroprocesor

Mikroprocesor je možné chápať ako srdce elektromera. Mikroprocesor vykonáva prevažnú časť akcií potrebných k správne zmeraniu veličín a ich úprave alebo uloženiu. Pokročilejšie mikroprocesory môžu zastávať dokonca úlohy súčiastok ako sú AD prevodníky.

Činnosti mikroprocesora [19]:

- Počiatkové nastavenie meradla a jeho kalibrácia,
- Nastavovanie a riadenie meracích a výpočtových algoritmov,
- Obsluha displeja a komunikácia cez rozhrania,
- Zaznamenávanie nameraných veličín do internej pamäte,
- Snímanie tarifných vstupov a ďalšie.

4.2.3 Zobrazenie veličín

Drvivá väčšina elektromerov zobrazuje hodnoty pomocou LCD. Displej elektromera zvyčajne obsahuje údaje o nameranej spotrebe/dodávke činnej a jalovej zložky energie (4 kvadrantové meradlá) a spotrebu v rôznych tarifách (prepínanie medzi jednotlivými registrami). Ďalej je možné zobraziť iné merané parametre ako prúd alebo napätie [19].

Okrem meraných veličín displej obsahuje informačné prvky ako práve využívanú tarifu, stav relé, prítomnosť jednotlivých fázových napätí, chybové hlásenia a iné. Pre lepšiu čitateľnosť displeja sa používa podsvietenie displeja [20].

4.3 Konštrukcia statického elektromera

Statický elektromer neobsahuje pohyblivé mechanické časti, no obsahuje systém elektronických zariadení, ktoré sa starajú o správny odpočet, uloženie a zobrazenie spotreby energie.

Vo vnútri statického digitálneho elektromera môžeme nájsť tieto elektronické komponenty:

- Registre súčtové, registre spotreby, registre dodávky,
- Komparátory,
- Počítadlá,
- Generátor hradlových pulzov,
- Logické obvody,
- AD a DA prevodníky.

Vonkajšia konštrukcia statických elektromerov obsahuje:

- LED indikáciu pulzov,
- Displej,
- Svorkovnicu,
- Kryt elektromera,
- Kryt svorkovnice,
- Označenie a popis elektromera.

Konštrukcia statických elektromerov vyžaduje dostatočnú odolnosť voči neoprávnenému vniknutiu, alebo inému poškodeniu. Elektromery sa zároveň plombujú distribučnou spoločnosťou, aby sa rozpoznalo prípadné neoprávnené vniknutie. Statické elektromery majú krytia IP51, IP50, IP20 a iné [21].

4.4 Odčítanie spotreby

Na rozdiel od indukčných elektromerov kedy spotrebu odčítal poverený zamestnanec opísaním čísla na číselníku, v statických elektromeroch možno odčítať spotrebu viacerými spôsobmi [22].

Prvým spôsobom je priamy odpočet pomocou optorozhrania, kedy sa optohlavica priloží na určené miesto krytu elektromera. Elektromery je možné odčítať aj pomocou zbernice RS 485. Ďalším pokročilejším spôsobom odpočtu je diaľkový spôsob odčítania. Do tejto kategórie spadá technológia Power Line Communication (PLC), kedy sa informácia posiela po rozvodnej sieti nízkeho napätia, alebo technológia LonWorks [23]. Samozrejmosťou je odpočet spotreby priamo z displeja.

4.5 Nastavovanie elektromerov

Statické digitálne elektromery sa nastavujú cez mikroprocesor. Neprítomnosť mechanických častí teda nevyžaduje zriaďovanie ako to bolo pri elektromeroch indukčných [20].

Pre počítačové nastavovanie elektromerov je nutné nastaviť prístupové úrovne, Object Identification System (OBIS) kódy, parametrizovať elektromery z hľadiska profilov a iných zaznamenaných veličín. Modernejšie elektromery majú možnosť nastavovania úrovni prepätí alebo podpäť. Táto informácia sa zužitkuje pri analýze kvality dodávky energie, alebo pre identifikovanie problémov pri prenose a distribúcii. Ďalej je možné zvoliť veličiny zobrazované na displeji a podobne.



Obrázok 4-4 - Skúšanie statických elektromerov

4.5.1 Kalibrácia elektromerov

Kalibrácia statických digitálnych elektromerov je programová, pretože elektromery neobsahujú mechanické časti. Kalibrácia sa vykonáva rovnako ako počítočné nastavovanie pomocou mikroprocesora. Kalibrácia prebieha na základe zistenia presnosti merania a výpočtových kalibračných konštánt [20]. Skúšky statických digitálnych elektromerov.

O posúdení zhody a uvedení elektromerov na trh píše nariadenie vlády č. 120/2016 Sb. Aby boli elektromery uznané ako platné, musia splniť technické, elektrické a metrologické nároky a musia byť správne oštitkované. Doba platnosti úradného overenia statických elektromerov je 12 rokov. Po uplynutí tejto doby musia byť elektromery preskúšané [24].

Následné overenie: Pri následnom overení sa vykonávajú vizuálne skúšky, skúšky pri chode naprázdno, nábehu, skúška presnosti a skúška počítadla [25].

Štatistická výberová skúška: Slúži na predĺženie doby platnosti úradného overenia meradla. Pri tejto skúške sa vyberie vzorka n -elektromerov zo základného súboru elektromerov od jedného výrobcu a rovnakého typu meradla a rovnakým referenčným napätím a maximálnym prúdom [25]. Testy sú rovnaké ako pri následnom overení. Pri úspešnej skúške elektromera alebo skupiny elektromerov sa vydáva protokol o predĺženej platnosti elektromerov.

4.6 Výhody a nevýhody statického elektromeru

4.6.1 Výhody

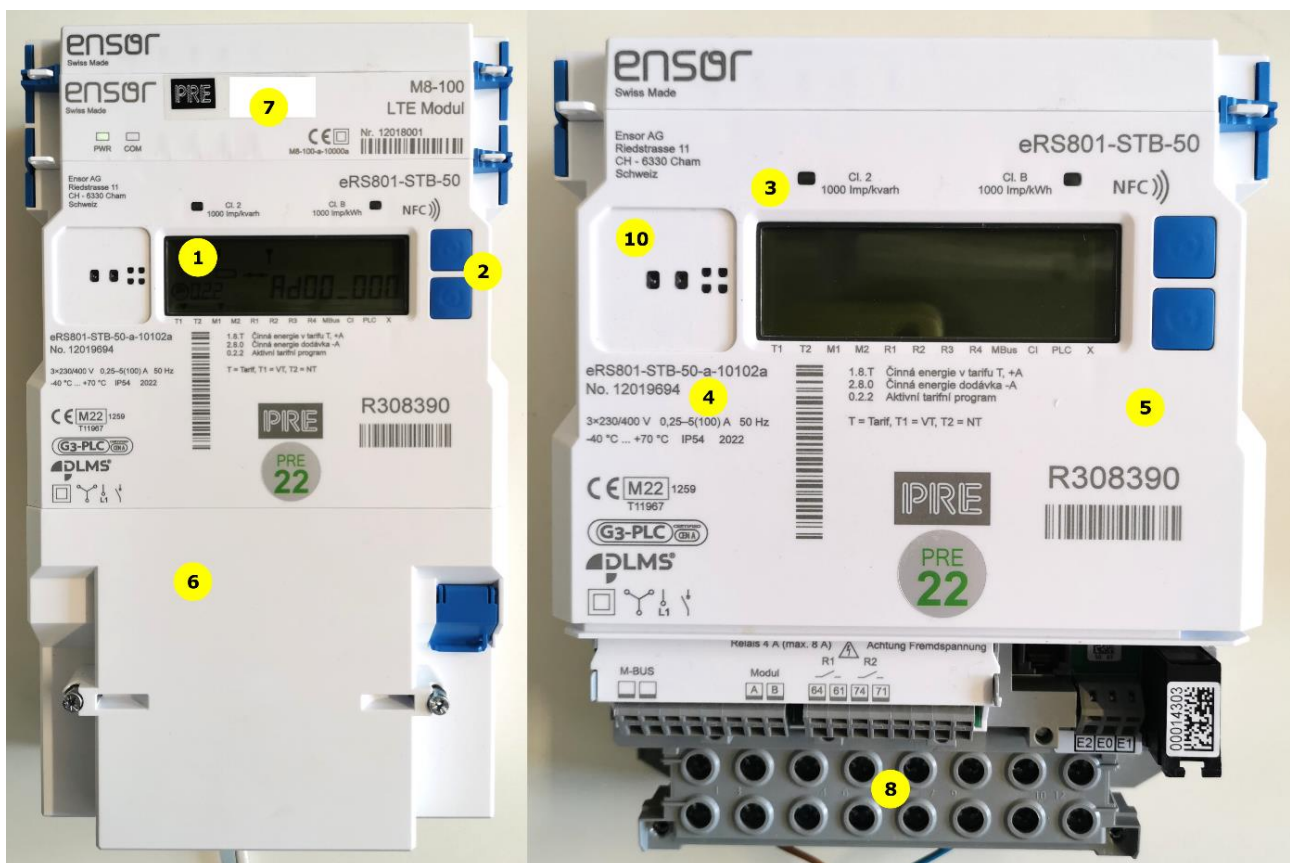
- Možnosť viactarifného merania.
- Nižší nábehový prúd elektromeru umožňuje meranie malých odberov elektrickej energie [26].
- Statický elektromer má nižšiu hmotnosť v porovnaní s indukčným elektromerom pre absenciu mechanických častí.
- Spotrebiteľia nemôžu sfaľovať výslednú spotrebu ako tomu bolo pri indukčných elektromerov.

4.6.2 Nevýhody

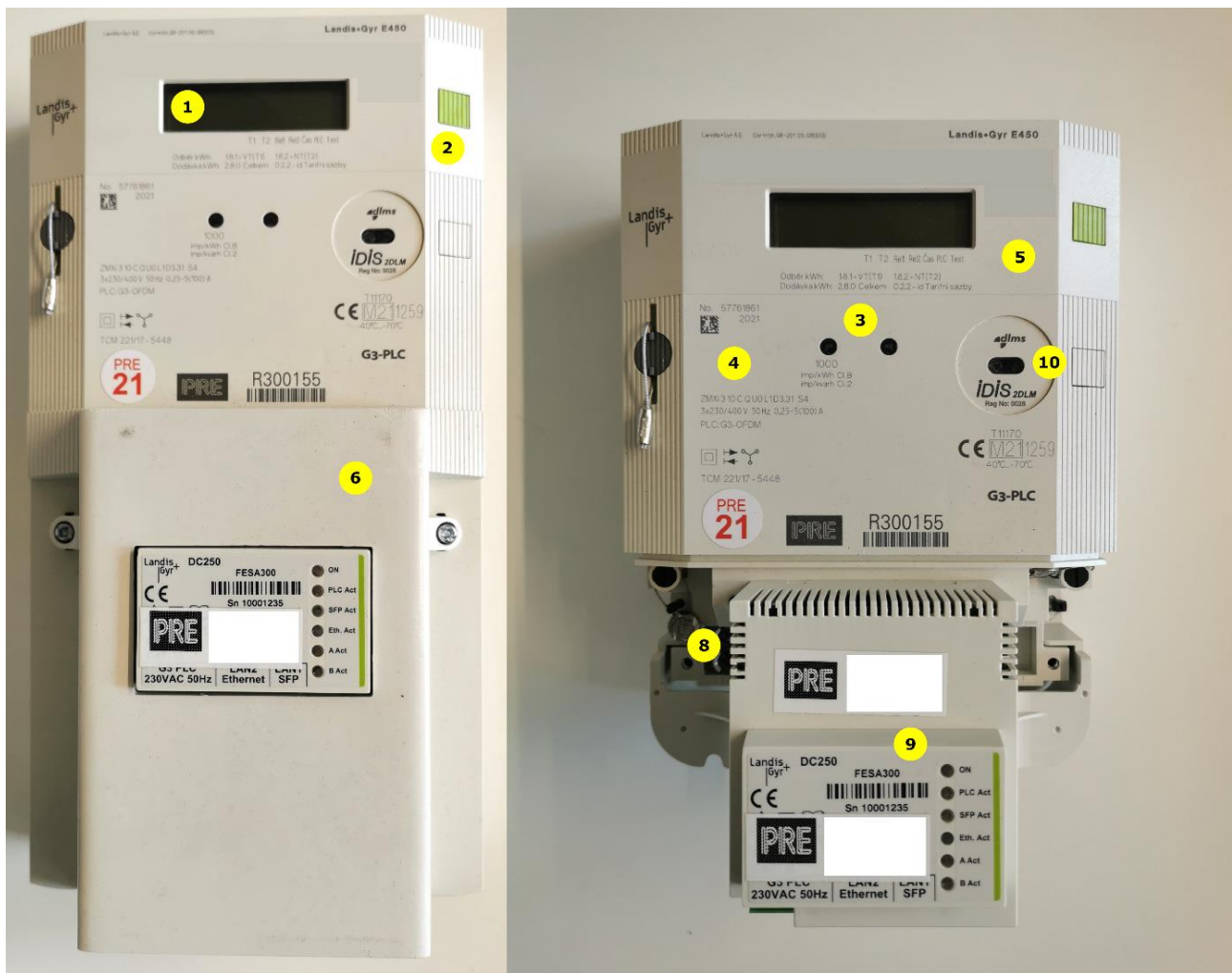
- Namerané hodnoty môže ovplyvniť elektromagnetické rušenie, alebo prechodné javy.

5 Smart elektromery

Smart elektromery predstavujú najmodernejší spôsob merania elektrickej spotreby. Oproti svojim predchodcom, statickým digitálnym elektromerom majú výhodu vzdialenej komunikácie, či už s distribútormi, alebo aj zákazníkmi. Komunikáciu je možné realizovať niekoľkými spôsobmi, s dôrazom na prostredie v ktorom sa elektromer nachádza.



Obrázok 5-1 - Smart elektromer Ensor eRS801



Obrázok 5-2 - Smart elektromer Landis+Gyr E450

- 1 Displej
- 2 Ovládacie tlačidlá
- 3 Indikácia spotreby
- 4 Kryt elektromera
- 5 Kryt svorkovnice
- 6 Označenie a popis elektromera
- 7 Komunikačný modul
- 8 Svorkovnica
- 9 Koncentrátor
- 10 Optické rozhranie

5.1 Princíp smart elektromera

Principiálne sa spôsobom merania veličín inteligentný elektromer nelíši od digitálneho statického elektromera. Jeho hlavnou výhodou je možnosť komunikácie elektromera či už s ďalšími elektromermi, koncentrátormi, alebo iným nadriadeným systémom. Komunikáciu z pohľadu sietí môžeme rozdeliť na Wide Area Network (WAN), Home Area Network (HAN) alebo Neighborhood Area Network (NAN). Pre každú sieť je výhodný určitý súbor komunikačných štandardov [27].

Údaje z elektromerov využíva najmä distribútor, ktorý má možnosť získavať informácie o získaných údajoch z jednotlivých elektromerov dvoma spôsobmi:

- „PUSH“ – sú predom definované časové intervaly odoslania údajov (napr. raz za deň, ...).
- „PULL“ – nadriadený systém vyšle požiadavku k odoslaniu údajov z elektromera.

Elektromery s Peer-to-peer (P2P) komunikáciou (rovnako aj niektoré Koncentrátory (DCU)) majú v sebe zabudovaný super-kapacitor, ktorý zabezpečuje funkciu „The Last Gasp“, kedy elektromer v prípade výpadku napätia pošle informáciu do Head End System (HES) [28]. Elektromery navyše oplývajú internou pamäťou, kde uchovávajú namerané profily po určitú dobu, ktorá závisí na obsiahlosti profilov, perióde zápisu a veľkosti vnútornej pamäte.

Elektromery majú v sebe zabudované interné hodiny (kryštál, synchronizácia s frekvenciou siete), ktoré riadia časovanie zápisov, prepínania taríf atď. Smart elektromery podporujú funkciu Time-of-Use (TOU), kedy sa preddefinované tzv. spínacie plány nahrávajú do pasívneho kalendára elektromera. Nahrávajú sa informácie o kóde TOU, časoch prepínania taríf a dátume a čase aktivácie danej schémy. Informácie z pasívneho kalendára sa prepíšu do aktívneho kalendára v definovanom čase nahrania. Elektromer sa potom začne riadiť podľa novej TOU schémy [29]. Ak sa dátum a čas nahrania vzťahuje na minulosť, TOU schéma je prepísaná do aktívneho kalendára okamžite.

Smart elektromery vyhovujú podľa vyhlášky o meraní elektriny 359/2020 Sb. typom merania C1, C2, C3 aj C4 [30]. Výber meracieho zariadenia pre daný typ merania musí spĺňať určité kritériá. Prehľad funkcionalít, ktoré musí mať elektromer pre daný typ merania je znázornený v tabuľke nižšie:

	C1	C2	C3	C4
Priebežné meranie	✓	✓	✓	Môže
Diaľkový prenos údajov	✓	✓	✓	Môže
Diaľkové odpojenie/pripojenie	✓	✗	✗	✗
Obmedzenie výkonu	✓	✗	✗	✗
Technické blokovanie spotrebičov	✓	✓	✗	✗
Poskytnutie údajov zákazníkovi cez štandardizované komunikačné rozhranie	✓	✓	✓	✗
Priebežný záznam strednej hodnoty činného výkonu	✓	✓	✓	✗
Definované minimálne technické a kryptografické požiadavky	✓	✓	✗	✗

Tabuľka 5-1 - Funkčné požiadavky meraní typov skupiny C

Voľba typu merania závisí na [30]:

- Napät'ovej hladine.
- Rezervovanom príkone.
- Či sa jedná o priame alebo nepriame meranie.
- Technickej a ekonomickej únosnosti.
- Či sa jedná o zdroj elektrickej energie.

5.1.1 Komunikácia smart elektromerov

Pre komunikáciu medzi OM a HES je nutné dbať na bezpečnostné zásady, umiestnenie elektromera, prihliadnuť na pokrytie komunikačnej infraštruktúry a hustotu aglomerácie, spoľahlivosť toku informácií a možného rozšírenia v budúcnosti. Je niekoľko možných spôsobov, ako môžu elektromery posielat' informácie. Spôsoby komunikácie môžeme rozdeliť na drôtové a bezdrôtové. Elektromery musia mať pre dané typy komunikácie moduly, či už zabudované alebo pridané. Prioritne sa volí najrýchlejší komunikačný štandard, no v prípade nepriaznivých podmienok sa prechádza na staršie komunikačné štandardy. Nižšie je opísaných niekoľko možných možností komunikácie.

PLC: PLC je komunikácia elektromera cez silové vodiče, kedy sa signál z elektromera superponuje na napätie v sieti. Výhodou tejto komunikácie je už vybudovaná infraštruktúra a možnosť rozloženia informácií v čase tak, aby bolo dosiahnutej maximálnej spoľahlivosti. Prenášaný signál môže byť utlmený zmenou impedancie siete, ktorú môžu spôsobiť napríklad striedače z fotovoltickej elektrárne (FVE) alebo staršie modely ističov. Signál môže byť tiež rušený vplyvom zdrojov vyšších harmonických, akými sú LED žiarovky alebo spínané zdroje [31].

Celulárna komunikácia: V súčasnosti sa celulárna komunikácia neustále rozvíja. Do tejto skupiny je možné zaradiť technológie ako 2G, 3G, 4G LTE, 5G, Cat-M1 a ďalšie. Hlavným rozdielom medzi spomínanými technológiami je prenosová rýchlosť, objem prenosu dát a spotreba energie. Infraštruktúru komunikácie ponúka mobilný operátor. Z toho plynú výhody ako: už existujúca infraštruktúra, široké pokrytie, budúci rozvoj technológie a mnoho iných. Na druhej strane, z pohľadu distribútora je nevýhodné nevlastniť infraštruktúru, pretože pri vyťažení siete nemusí ostať kapacita pre prenos údajov z elektromerov [32]; [33].

Ethernet: Výhoda komunikácie prostredníctvom ethernetu spočíva v rozšírenosti infraštruktúry v budovách, spoľahlivosti a možného navyšovania kapacít. Nevýhodou môže byť prístup nepovoleným osobám k prenášaným informáciám [34].

Optika: Elektromery môžu komunikovať taktiež pomocou optických vlákien. Využitie nájdeme tam, kde je prioritná spoľahlivosť prenosu dát. Jedná sa o nákladnejšiu možnosť komunikácie, no okrem spoľahlivosti prenosu ponúka široké komunikačné pásmo, odolnosť voči rušeniu a ďalšie [35].

Rádiová sieť: Spolu s PLC sa jedná o tradičnejší spôsob komunikácie. Prenos informácie prebieha na frekvenciách 315 MHz, 433 MHz a iných. Pre ešte lepšiu komunikáciu sa táto technológia v posledných rokoch dopĺňa práve s PLC. Ide o lacnejšiu realizáciu s už vybudovanou infraštruktúrou. Slabinami sú ohraničenosť oblasti komunikácie, blokovanie prenosu objektmi a možné rušenie zariadeniami, ktoré pracujú na rovnakých frekvenciách ako elektromery [31]; [36]

5.1.2 Komunikačné protokoly

V rámci inteligentných elektromerov sa v praxi využíva niekoľko typov komunikačných protokolov. Medzi nich patrí napríklad [37]:

- DLMS/COSEM,
- SML,
- Ipv6,
- IEC 62056-21 a iné.

5.2 Parametrizácia Smart elektromerov

Nastavovanie profilov inteligentných elektromerov je z pohľadu distribútorov individuálne. Profily môžu obsahovať taký počet údajov, aký si distribútor nadefinuje.

Distribútor si definuje väčšinou 4 profily:

Mesačné (pre fakturáciu v ČR),

Denné,

15 minútové,

10 minútové – profil kvality dodávky (monitoruje sa prúd a napätie).

Profil je priebežné meranie parametrizovaných veličín distribútorom. Profil môže obsahovať stavy kumulatívnych číselníkov v okamihu vytvorenia záznamu, okamžité/priemerné hodnoty podľa periódy, minima maxima za periódu a ďalšie.

5.3 Zabezpečenie elektromerov

Zabezpečenie ochrany prenosu dát je pri komunikácii medzi elektromermi a nadradeným systémom mimoriadne dôležité. Zabezpečenie inteligentných elektromerov môžeme rozdeliť na softwarovej a fyzickej úrovni. Bezpečnostné prvky sú v rámci elektromera neoddeliteľné a spoľahlivo musia spĺňať bezpečnostné nároky.

V smart elektromeroch sa využíva viac úrovňového overovania prístupov a priradenie rolí, elektromery sú ďalej certifikované podľa Common Criteria a posielané informácie sú navyše šifrované pre zachovanie diskretnosti [38]. Pamäť, do ktorej sú ukladané namerané veličiny, by mala byť zabezpečená viacúrovňovým prístupom odolným voči možným útokom.

Po hardwarovej stránke majú elektromery senzory na detekciu neoprávneného otvorenie/zavretia krytov (elektromera, svorkovnice, komunikačného modulu), silného jednosmerného magnetického poľa, chýbajúceho nulového vodiča, toku prúdu bez napätia a mnoho iného [39].

5.4 Modulárnosť elektromerov

Inteligentné elektromery majú možnosť meniť komunikačné štandardy pomocou komunikačných modulov. Elektromery možno doplniť záložnou batériou alebo zobrazovacími či bezpečnostnými modulmi. Funkcionalitu elektromerov možno rozšíriť modulmi na meranie kvalitatívnych parametrov odoberanej energie.

Nie všetky elektromery možno modulárne rozširovať, záleží na výrobcovi a danom modeli elektromera [39].



Obrázok 5-3 - LTE moduly Ensor a Semax

5.5 Koncentrátory a Gatewaye

Komunikačnú architektúru medzi elektromerom a HESom vieme rozdeliť na dve skupiny:

- P2P: Elektromer → HES (Celulárne komunikačné štandardy, Ethernet, ...).
- DCU/Gateway: Elektromer → DCU/Gateway → HES (PLC, Optika, ...).

Hoc koncentrátor (DCU) a Gateway môžeme oba považovať za komunikačné mosty medzi HESom a elektromermi, ich úlohy nie sú identické.

DCU: Dátový koncentrátor prepája komunikačne elektromery a dátovú centrálu. Okrem prenosu dát medzi dvomi bodmi, dokáže informácie uchovávať a analyzovať. Koncentrátor, na rozdiel od Gateway, je vybavený autonómnym procesom, ktorý zbiera údaje. Vďaka obojsmernej komunikácii možno pomocou koncentrátora realizovať povely z centrály. Jedná sa o príkazy k vypnutiu/zapnutiu silových obvodov na OM a iné [40]. Ďalšia funkcia koncentrátora je možná zmena komunikačného štandardu v častiach ELM-DCU a DCU-HES, kde sa uplatňujú iné komunikačné rozhrania a princípy. Koncentrátor sa zvykol umiestňovať do trafostanice, no v súčasnosti ho distribútori umiestňujú čo najbližšie k elektromerom (päta domu, podkrovie, ...).



Obrázok 5-4 - Koncentrátor Landis+Gyr DC250

Gateway: Gateway nijakým spôsobom neuchováva dáta, neupravuje ich ani neanalyzuje. Gateway slúži len ako komunikačný kanál pre obojsmernú komunikáciu medzi elektromerom a HESom kde mení komunikačné štandardy medzi týmito bodmi [40]. Rovnako ako koncentrátor môže preposielať povely z centrály.



Obrázok 5-5 - Gateway PPC (BPL)

5.6 Výhody a nevýhody smart elektromerov

Smart elektromery majú oproti starším typom elektromerov mnoho výhod.

5.6.1 Výhody

- Možnosť identifikácie technických a netechnických strát.
- Funkcia Limitér, ktorá dokáže monitorovať prekročenie meranej veličiny (výkon, ...).
- Funkcia Breaker, ktorá dokáže odpojiť zákazníka od siete v prípade prekročenia nastavenej hodnoty odoberaného výkonu, prúdu (viď Limitér) alebo pri jeho neplatení.
- Detekcia neštandardných tokov jalového výkonu [29].
- Detekcia neoprávnených dodávok.
- Možnosť archivácie dát pre prípadné analýzy a vyhodnotenia.
- Diaľková správa elektromerov a management firmwaru.
- Prepojenie viacerých meračov energií cez drôtový alebo bezdrôtový M-Bus.

5.6.2 Nevýhody

- Možný únik informácií o spotrebe odoberateľa.

6 Meranie THD

6.1 Teoretický úvod

THD, alebo celkové harmonické skreslenie, udáva pomer súčtu efektívnych hodnôt vyšších harmonických zložiek sínusového signálu k efektívnej hodnote základnej harmonickej. THD je popísané rovnicou:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^H Y_h}}{Y_1} \quad 6-1$$

Kde Y_1 je efektívna hodnota základnej harmonickej a Y_h je efektívna hodnota vyššej harmonickej h . H sa väčšinou udáva ako hodnota 50. Z rovnice vyplýva, že čím je THD nižšie, tým je signál menej skreslený.

Podľa UTHD je možné zistiť veľkosť okamžitého odberu zo siete, nakoľko spotrebiče obsahujúce spínané zdroje, vyhladzovacie kondenzátory, usmerňovače a mnohé iné zariadenia sú zdrojmi vyšších harmonických. V meraní na ČVUT očakávame vyššie hodnoty UTHD počas dňa, kedy sú na univerzite zapnuté počítače, motory a iné zariadenia. V bytovom dome sa vyššie UTHD očakáva počas ranných hodín a večer, kedy sú obyvatelia v bytovom dome a využívajú spotrebiče, ktoré môžu byť zdrojmi vyšších harmonických.

6.2 Úloha merania

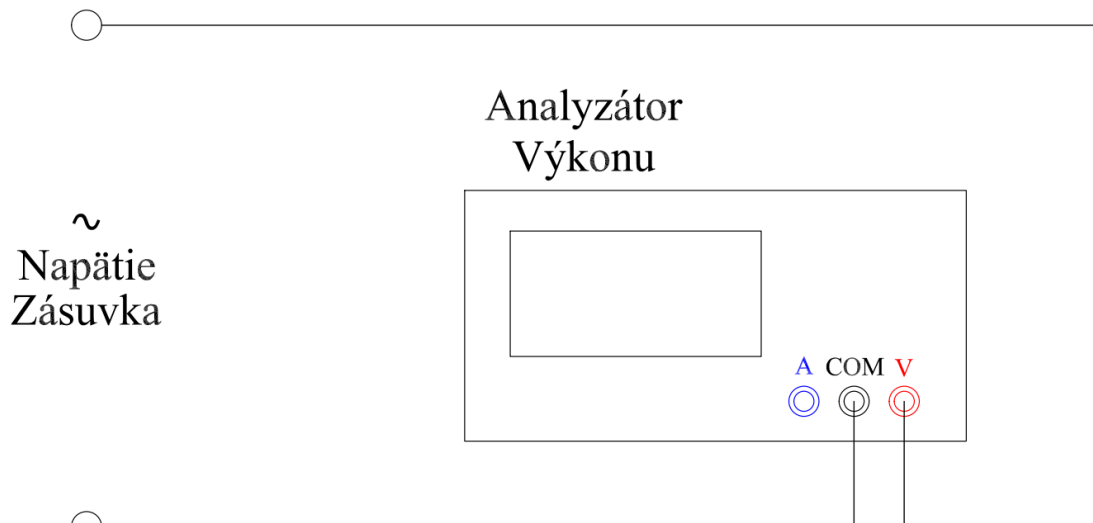
Nasledujúce meranie má za účel porovnať THD napätia v zásuvke v dvoch prostrediach. Prvé prostredie je univerzita ČVUT, kedy bolo meranie vykonávané v dňoch 15.3. 2023 a 16.3.2023. Druhé prostredie je bytový dom na Vrchlického ulici v lokalite Praha 5. Meranie tu bolo vykonávané v dňoch 22.4.2023 (sobota) a 26.4.2023 (streda).

Očakáva sa, že UTHD sa bude počas dňa meniť v závislosti na využívaní siete. UTHD by však nemalo prekročiť maximálnu povolenú hodnotu uvádzanú normou IEEE 519-2022. V nej je stanovené, že povolená hodnota UTHD pri napätiach nižších než 1 kV je 8 % [41].

6.3 Použité prístroje

Analyzátor výkonu

Rohde&Schwarz HMC8015 - farebný, QVGA TFT 3,5"; 20A

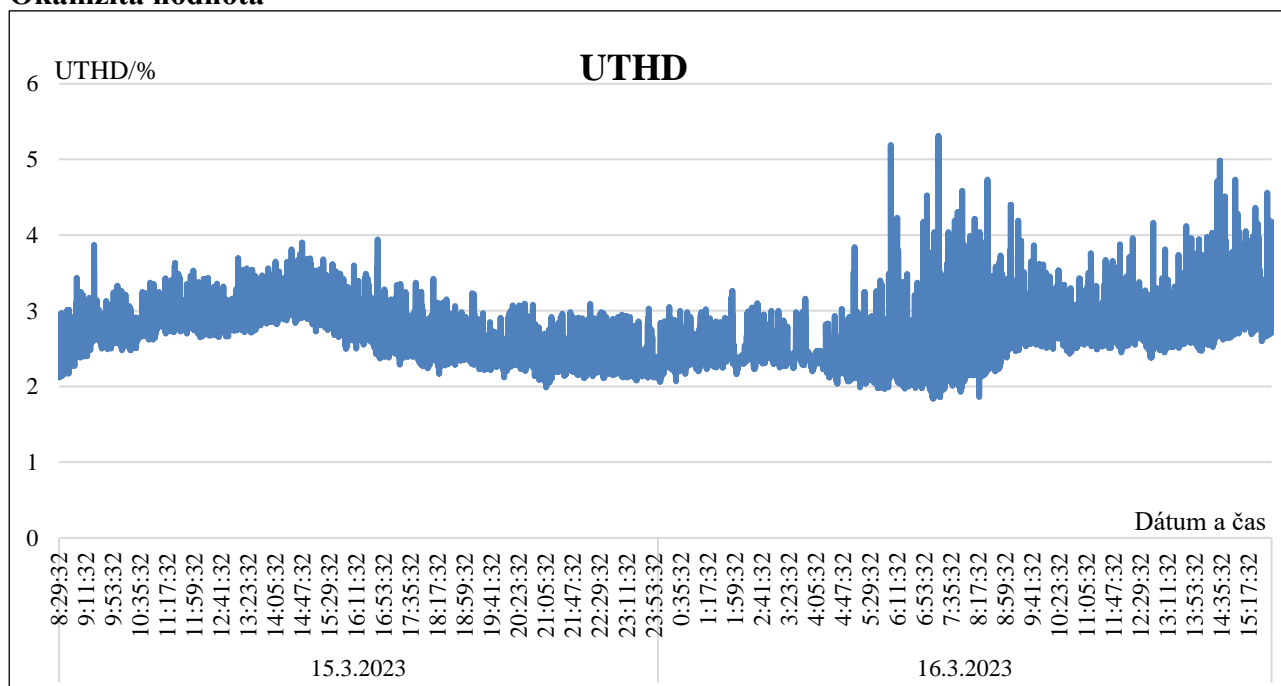


Obrázok 6-1 - Schéma zapojenia analyzátora výkonu

6.4 Výsledky merania

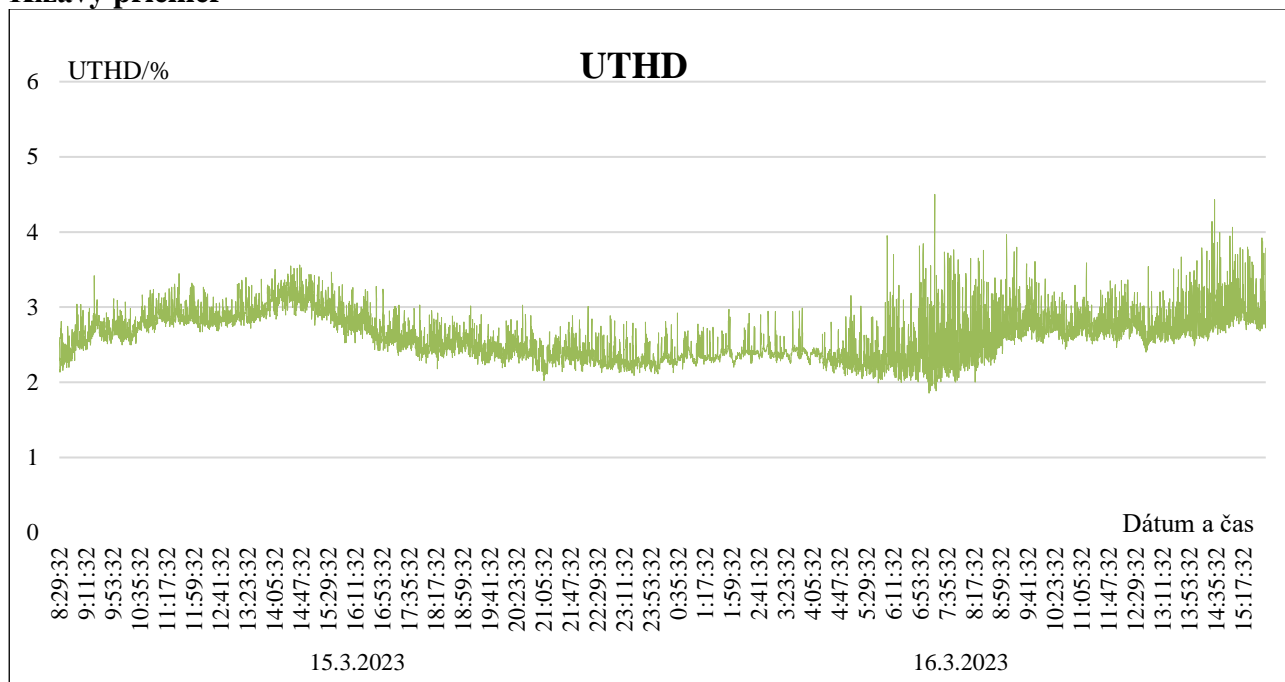
6.4.1 ČVUT

Okamžitá hodnota



Graf 6-1 - UTHD okamžitá hodnota (ČVUT)

Kĺzavý priemer

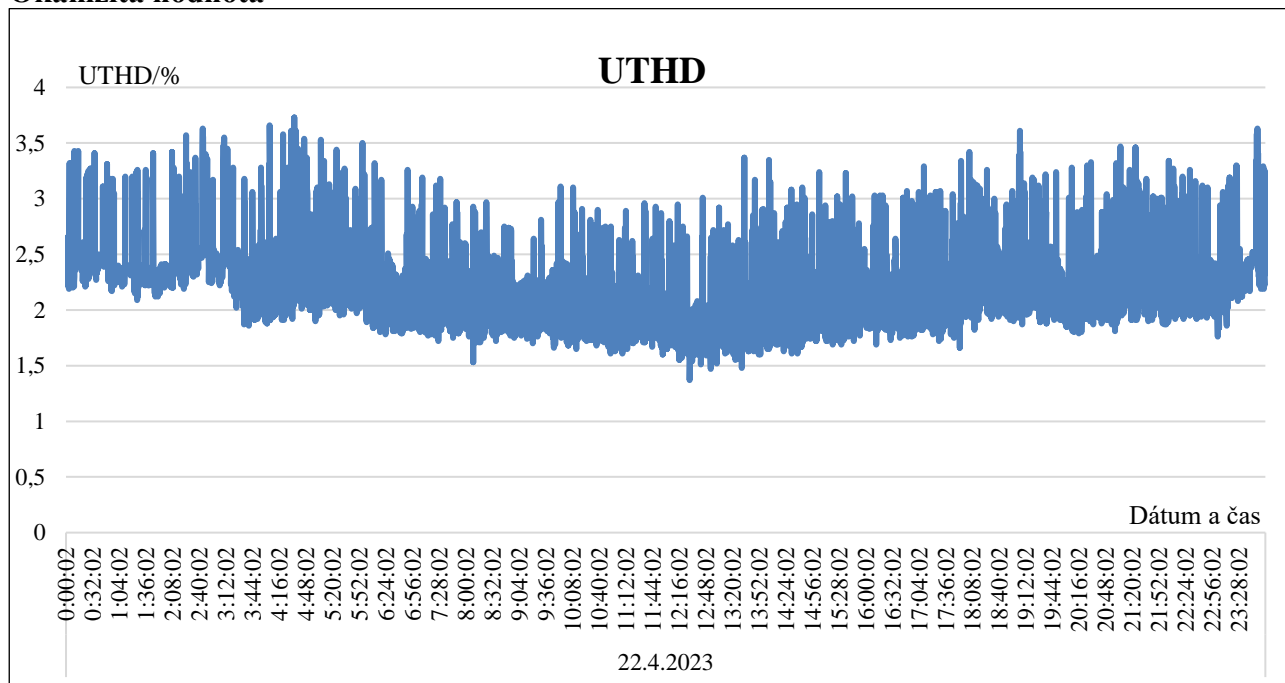


Graf 6-2 - UTHD kĺzavý priemer (ČVUT)

6.4.2 Bytový dom – ulica Vrchlického

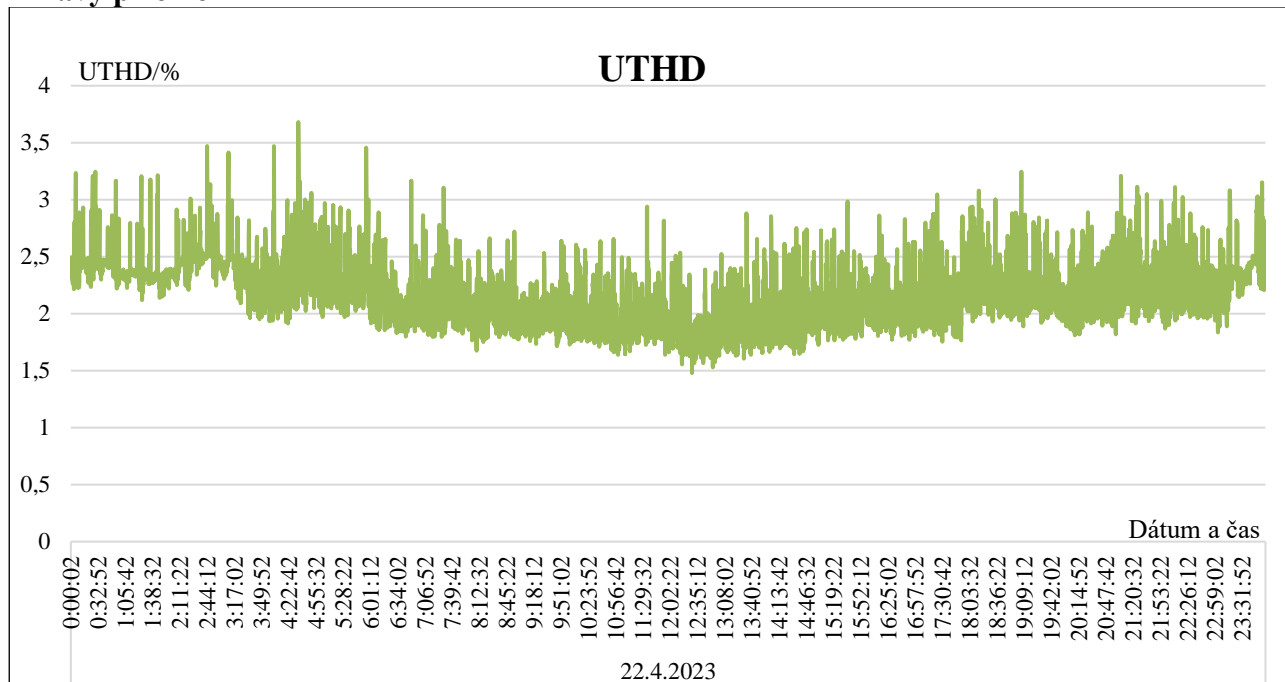
6.4.2.1 Víkend (Sobota) 22.4.2023

Okamžitá hodnota



Graf 6-3 - UTHD okamžitá hodnota (Vrchlického ulica - sobota)

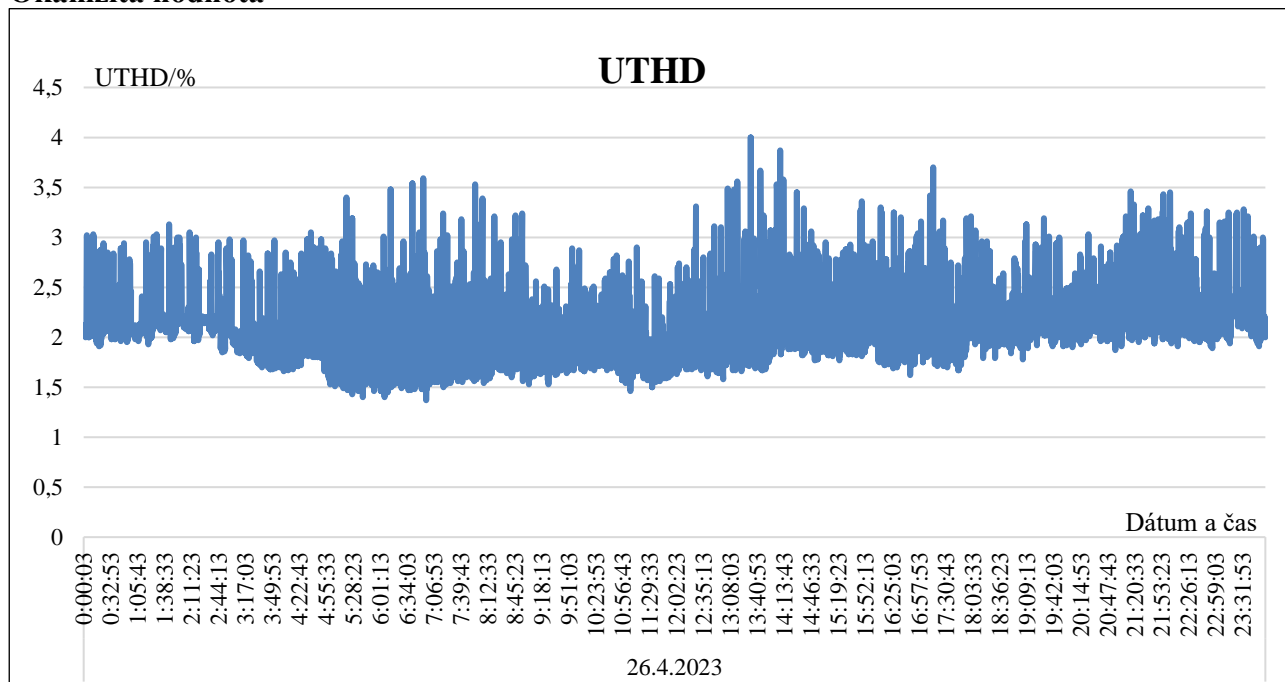
Kľzavý priemer



Graf 6-4 - UTTHD kľzavý priemer (Vrchlického ulica - sobota)

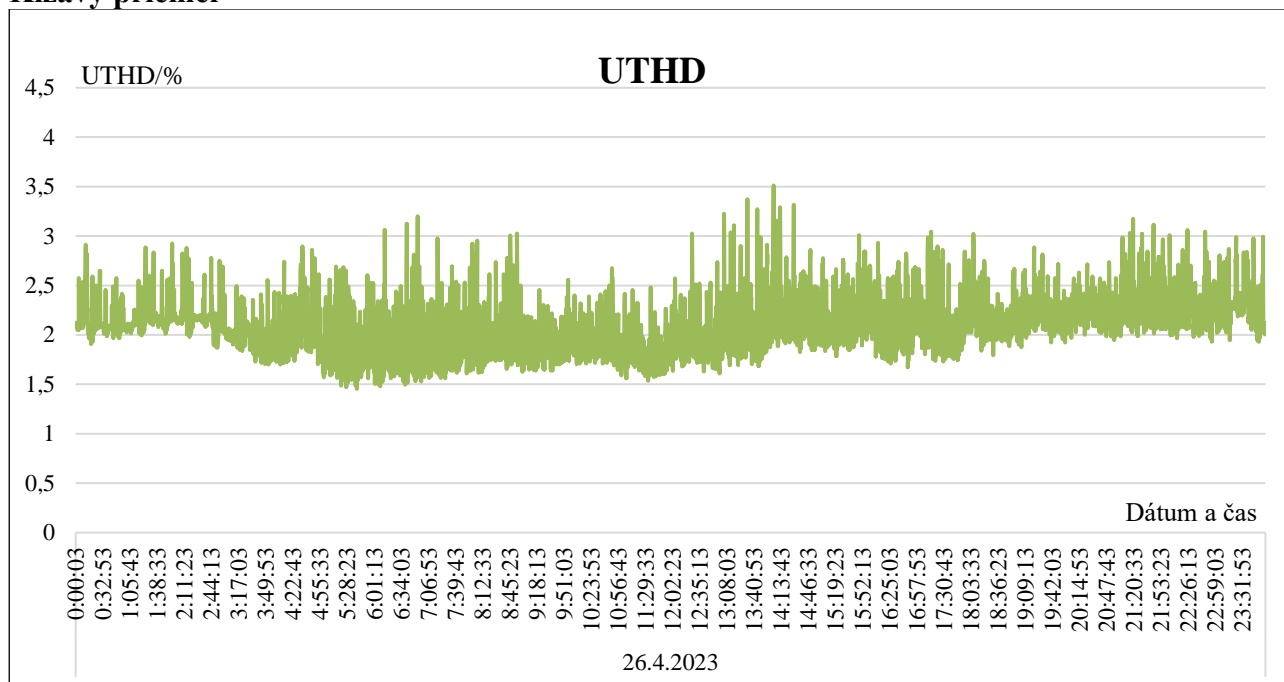
6.4.2.2 Pracovný týždeň (streda) 26.4.2023

Okamžitá hodnota



Graf 6-5 - UTTHD okamžitá hodnota (Vrchlického ulica - streda)

Kľzavý priemer



Graf 6-6 - UTHD kľzavý priemer (Vrchlického ulica - streda)

6.4.3 Zhrnutie výsledkov

	ČVUT	Bytový dom – ulica Vrchlického	
		Víkend (Sobota)	Týždeň (Streda)
Maximálna hodnota UTHD (%)	5,31	3,73	4,00
Minimálna hodnota UTHD (%)	1,84	1,37	1,37
Priemerná hodnota UTHD (%)	2,63	2,17	2,09

Tabuľka 6-1 - Výsledky merania UTHD

Z meraní vyplýva, že ani v jednom prípade nebola porušená norma IEEE 519-2022 a nebolo prekročených 8 % UTHD. Z porovnania výsledkov je možné vidieť, že na ČVUT boli hodnoty UTHD vyššie než v bytovom dome. Ako dôvod je možné uviesť prítomnosť výkonných elektromotorov a veľkého množstva spotrebičov využívaných v čase výuky, teda v časoch od približne 7:30 do 20:30.

Merania na ČVUT môžu ukázať, kedy sa napríklad začala výuka v halových laboratóriách s elektrickými strojmi alebo sú v prevádzke nelineárne záťaže (meniče, spínané zdroje, adaptéry atď.), kedy UTHD začne narastať. Z grafu je ďalej možné vidieť, že počas výuky sa UTHD zvýši približne o 1 % oproti noci, kedy je univerzita zatvorená.

V rámci meraní v bytovom dome na Vrchlického ulici je možné vidieť rozdiel v priebehu UTHD počas pracovného týždňa a víkendu. Priemerná hodnota UTHD bola počas pracovného týždňa nižšia než počas víkendu, čo môže súvisieť s nižším využívaním spotrebičov ovplyvňujúcich výskyt vyšších harmonických napätia (spínané zdroje, indukčné sporáky, výbojkové svetlá, regulovateľné svetlá, ...). Na druhej strane z merania v stredu môžeme rozlíšiť časy, kedy sa obyvatelia bytového domu zdržiavali doma a to ráno, na obed a večer. Túto skutočnosť možno rozlíšiť na základe zvýšenej hodnoty UTHD. V sobotu je priebeh UTHD najmenej volatílly v porovnaní s ostatnými meraniami, teda spotrebiče boli využívané najrovnomernejšie.

7 Dynamická a fixná tarifa

Výhoda komunikácie medzi distribútorom a elektromermi na OM tkvie v tom, že zákazník má možnosť sa aktívne podieľať na riadení siete a je mu umožnené reagovať na cenové alebo iné signály zmenou svojej spotreby. Tento koncept tarifikácie je zásadne odlišný od súčasnosti, kedy sú ceny energií zmluvne dané a cena nereflektuje aktuálny stav siete.

V dnešných dňoch obchodníci s elektrinou ponúkajú mnohé tarifné sadzby prispôbené profilu spotreby a spotrebičov v domácnosti spotrebiteľa. Jedná sa o fixné tarify, či už jedno alebo viactarifné. Vývoj energetiky a s tým spojených technológií vynucuje zmenu tejto štruktúry. Trend udržateľnosti a zefektívnenia využívania siete potrebuje tarifnú štruktúru, ktorá aktívne reaguje na stav siete, podporuje spoluprácu medzi distribútorom a zákazníkom a správne alokuje vyvolané náklady na sieť.

V budúcnosti môžeme počítať aj s dynamickými tarifami, ktoré sú považované za jeden zo základných kameňov technológie Smart Grid. Dynamické tarify predstavujú tarifikáciu, v ktorej sa ceny menia v závislosti od situácii na trhu a sieti.

Práve problematika taríf úzko súvisí s vývojom elektromerov, ktoré umožňujú vykonať štrukturálnu zmenu tarifikácie a realizovanie dynamickej tarifikácie.

7.1 Fixná tarifa

Ceny vo fixnej tarife sú predom dané a nereagujú na faktory ovplyvňujúce množstvo vyrábanej energie, akým je napríklad počasie. Ak má spotrebiteľ dvojtarifovú sadzbu, prepínanie medzi vysokou tarifou (VT) a nízkou tarifou (NT) sa v súčasnosti realizuje pomocou HDO. Časy spínania a trvanie NT a VT sú predom určené distribútorom. Distribučné tarify obsahujú zložku variabilnú (odvíja sa od spotrebovanej energie) a zložku fixnú (hodnota hlavného ističa pre sieť NN, poplatok za odberné miesto, ...). Podiel variabilnej a výkonovej zložky sa líši v každej z krajín EÚ.

Súčasná ponuka tarifových sadzieb v ČR nepodlieha princípu technologickej neutrality a jednotlivé sadzby sú určené pre konkrétne skupiny spotrebičov v domácnostiach. Vhodnosť jednotlivých sadzieb sa zakladá na kritériách ako:

- Spotrebiče a technológie na OM.
- Spotreba elektriny za rok.

Distribútori ponúkajú pre domácnosti v Českej republike tieto tarifové sadzby [42]:

Tarifová sadzba	Popis sadzby
D01d	Jednotarifová sadzba pre nízku spotrebu
D02d	Jednotarifová sadzba pre strednú spotrebu
D25d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 8 hodín a VT 16 hodín s nižšou spotrebou elektriny + elektrický ohrev vody
D26d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 8 hodín a VT 16 hodín s vyššou spotrebou elektriny + elektrický ohrev vody
D27d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 8 hodín a VT 16 hodín pre majiteľov automobilov
D35d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 16 hodín a VT 8 hodín pre hybridné vytápanie
D45d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 20 hodín a VT 4 hodiny pre domácnosti s konvektormi
D56d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 22 hodín a VT 2 hodiny pre domácnosti tepelné čerpadlo
D57d	Dvojtarifová sadzba s trvaním NT 20 hodín a VT 4 hodiny pre domácnosti s konvektorom, hybridným vytápaním alebo tepelným čerpadlom
D61d	Dvojtarifová sadzba určená pre rekreačné využitie na chatách od piatku do nedele

Tabuľka 7-1 - Prehľad fixných tarifových sadziieb v Českej republike

V súčasnosti sa jedná o systém tarifikácie, ktorý nijakým výrazným spôsobom nemotivuje zákazníka, aby prispôbil svoju spotrebu požiadavkám siete. Ceny v NT ponúkajú distribútori síce výhodnejšie než vo VT, no cenový rozdiel nie je natoľko markantný, aby zákazník využíval energie výhradne v NT. V minulosti boli rozdiely cien v týchto tarifách väčšie, a teda VT bolo možné vnímať ako obdobie, kedy zákazník potenciálne zníži spotrebu za účelom ušetrenia. Rozdiel využívania VT a NT vyjadruje ukazovateľ priemernej hodinovej spotreby v jednotlivých tarifách. Tá sa pre rôzne sadzby líši. Napríklad, v sadzbe D56d je priemerná hodinová spotreba vo VT o iba 14 % nižšia než v NT [43]. Môže sa teda zdať, že priemerný zákazník tejto sadzby významne nemení svoje správanie v určitých častiach dňa. Tu je nutné podotknúť, že krátke časové obdobie VT nedovoľuje odberateľovi svoju spotrebu významne prispôbiť. V sadzbe D25d, kedy 14 hodín z dňa je vyššia cena elektriny je priemerná hodinová spotreba vo VT o 47 % nižšia než NT [43]. V tejto sadzbe sa javí, že zákazník sa snaží využívať spotrebiče najmä v NT, no môže to byť spôsobené tým, že počas NT spotreba pri ohreve vody prevýši jeho zvyšnú spotrebu vo VT. Z tohto pohľadu nie je jasné, či zákazník naozaj reguluje spotrebu vo VT.

Navyše pri návrhu spomínanej ponuky tarifných sadziieb sa nepočítalo s rozvojom technológií, ktoré dnes definujú energetiku. Ak zákazník počas doby využívania danej sadzby zásadne zmení domáce spotrebiče, môže byť pre neho daná sadzba nevýhodná, alebo opačne, zákazník môže využívať výhody sadzby, čo môže zásadne znevýhodniť distribútora. Napríklad, ak je sadzba určená pre vytápanie s konvektormi a zákazník ich prestane využívať, bude mať po väčšinu času výhodnejšiu cenu energie. Na druhej strane, ak pri jednotarifnej sadzbe si zákazník zadováži spotrebič s veľkým výkonom, radikálne sa jeho náklady zvýšia ak nepožiadá o zmenu sadzby, kde by mu distribútor poskytol nižšie ceny energií.

7.2 Nové tarify v ČR

Problém neflexibilnej tarifnej štruktúry sa netýka len ČR ale celej EÚ, kedy krajiny musia reagovať na nové trendy vo svete elektrotechniky. Na trhu sa objavujú elektromobily, energetické spoločnosti, fotovoltaika na strechách obydľí, akumulčné zariadenia a mnoho iného. Súčasná tarifná štruktúra v ČR navyše neodpovedá nákladom vyvolaným za prenos a distribúciu elektrickej energie [44]. Nie len technológie definujú súčasnú energetiku, ale aj snaha EÚ o dekarbonizáciu energetiky a zmena postavenia zákazníka, ktorý energiu iba nespotrebuje, no vyrába, skladuje a dokonca sa aktívne podieľa na regulácii siete ponúkaním flexibility. Ako dôsledok týchto skutočností sa snaží Energetický regulačný úrad (ERÚ) vykonať zmeny v tarifnej štruktúre [45].

Nová tarifná štruktúra pripravovaná ERÚ povedie k presnejšej alokácii nákladov vyvolaných zákazníkmi, zjednodušeniu ponuky tarifných sadzieb, využívaniu princípu technologickej neutrality a k bližšej spolupráci medzi distribútormi a zákazníkmi. ERÚ musí teda zaistiť, aby novú ponuku tarifných sadzieb nebolo nutné obmieňať v krátkom časovom horizonte, a aby sa bežným spotrebiteľom nezvýšili neúnosne platby za energiu.

ERÚ predstavila niekoľko návrhov, ktoré by sa mali zväziť v novej štruktúre tarifných sadzieb [45]; [46]:

- Na hladine VN prechod zo zazmluvneného rezervovaného výkonu na platby viazané na namerané maximum.
- Na hladine NN navýšenie kapacitnej zložky ceny elektriny v pomere k variabilnej zložke.
- Zavedenie časového rozlíšenia v tarifách (časová zmena výšky tarify v závislosti na zaťažení siete).
- Zefektívnenie tarifkácie zákazníkov s nízkym odberom elektriny a vysokým rezervovaným príkonom.
- Motivácia spolupráce so zákazníkom a poskytovanie flexibility zákazníkmi.
- Zachovanie princípu poštovej známky, teda nezávislosti tarify od vzdialenosti zdroja.
- Penalizácia odoberateľov pri nedodržaní účinníku alebo neoprávneným dodaním jalovej energie do sústavy.

Úprava sadzieb by mala byť dokončená do roku 2028, no implementácia týchto zmien by mala byť postupná [47]. Od augusta roku 2022 sa spustilo pripomienkovanie od širokej verejnosti k aktualizácii sadzieb. Zmeny je ale možné vykonávať iba za predpokladu platnej legislatívy, teda zmena musí prísť na viacerých úrovniach. Členské štáty EÚ musia tarifné štruktúry prispôbovať legislatívnymi podmienkami hlavne smernice 2019/944 a nariadenia 2019/943 [46].

7.2.1 Elektro mobilita

Rozvoj elektromobility so sebou prináša väčšie nároky na sústavu, najmä v kontexte nabíjania, ktoré vynucuje zvýšenie jej kapacity. Táto skutočnosť sa musí pri návrhu novej tarifnej štruktúry zohľadniť. Aby sa sústava nepreťažila, je nutné definovať časy nabíjania elektrických vozidiel (EV). Časy je ideálne zvoliť mimo špičiek, ak to charakter dobíjacieho miesta povoľuje. Tento koncept nabíjania sa nazýva smart charging. Nabíjacie stanice pre elektromobily sa líšia výkonom, parametrami elektrickej energie (AC/DC) alebo charakterom (verejné huby, nabíjacie miesta v domácnostiach), čo nabáda k variabilite taríf pre elektromobilitu. Je nutné pri návrhu tarifnej štruktúry zohľadniť aj flexibilitu pre riadenie prenosovej sústavy, ktoré dobíjacie stanice ponúkajú [43].

Elektromobilita je rozšírená predovšetkým v krajinách ako Holandsko, Nórsko alebo Švédsko, no aj zvyšné krajiny Európy nejakým spôsobom odzrkadľujú problematiku elektromobility. Niektoré krajiny majú vlastné sieťové tarify pre verejné dobíjacie body. Niektoré zvyhodňujú prevádzkovateľa

ak ponúka flexibilitu siete (Švédsko), inde neexistuje kapacitná zložka (Taliansko), alebo cena za elektrinu sa líši v rôznych častiach dňa (Španielsko) [46].

V navrhovanej tarifnej štruktúre sa počíta s rozvojom distribučných taríf, ktoré budú vyhovovať zákazníkovi a odrážať umiestnenie a charakter dobíjacieho bodu. Pre domáce nabíjacie body sa podporí koncept smart charging, kedy bude nabíjanie počas špičiek nedostupné. Verejné dobíjacie stanice nemožno z princípu blokovať, pretože ľudia ich s vysokou pravdepodobnosťou budú využívať aj počas špičiek dňa a ich blokovaním by nespĺňali svoj účel. V takýchto prípadoch sa bude zohľadňovať poskytovanie flexibility. S flexibilitou súvisí aj rozvoj technológie Vehicle to Grid, ktorá umožňuje vybijanie vozidiel do siete, čo vyhoví potrebám siete [43].

7.2.2 Decentralizovaná výroba

Medzi najväčšie výhody decentralizovanej výroby energie patrí zlúčenie výrobného a odberného miesta. Tým sa efektívnejšie využíva distribučná sieť, kedy sa obmedzia straty pri prenose. Na druhej strane je nutné optimálne nadimenzovať a riadiť sieť, kedy sa zachovanie energetickej bilancie siete stáva náročnejšie [43]. O rastúcom trende fotovoltaiiky svedčí aj skutočnosť, že v roku 2022 pripojila ČEZ Distribuce do siete 21325 fotovoltaiických elektrární o výkone 174 MW [48]. Rast technológie je možné pripísať neistote na trhu s elektrinou, ale aj vojne na Ukrajine. Pre vyššie zmienené skutočnosti sa vyžadujú značné investície do úpravy siete, aby ju bolo možné správne riadiť [45].

V Nemecku, krajine, ktorá patrí medzi najväčších podporovateľov decentralizovaných zdrojov, prosumeri neplatia za dodávku energie do siete, ale iba za odber na základe miestnej tarifnej sadzby. V Chorvátsku prosumeri platia za odber energie zo siete iba v prípade, ak ročne zo siete odoberú viac, alebo rovnako, ako do nej dodali [46]. Vo väčšine krajín EÚ sú tarify pre prosumerov založené na buď čistom odbere elektriny, alebo bilancii odberu a dodávky do siete [49].

ERÚ navrhuje v rámci nových sadzieb preniesť časť variabilnej zložky ceny elektriny na zložku kapacitnú, čím sa vykompenzuje znížený odber elektriny z distribučnej siete. Navyše je nutné správne motivovať zákazníka k optimalizácii spotreby podľa aktuálnej situácie na trhu [43]. V rovnakom čase je nutné sledovať a penalizovať nevyžiadané odbery a dodávky jalovej zložky energie do siete, ktorá ovplyvňuje straty v sústave.

7.2.3 Akumulácia elektrickej energie

Akumulácia energie úzko súvisí s decentralizovanou výrobou elektrickej energie. Na akumuláciu energie sú v spojení s fotovoltaiickými elektrárnami (FVE) hojne využívané batéiové úložiská, no schopnosť akumulácie nájdeme aj v tepelných čerpadlách, alebo elektrických autách. V nasledujúcich rokoch sa počíta s rozšírením tejto technológie, no vplyv na rozvoj bude mať aj cena energie, ktorá ovplyvňuje rentabilitu akumulácie, najmä so zapojením s FVE [45].

Na európskom kontinente majú krajiny rôzne poplatky za využívanie akumulácie. Niektoré krajiny využívajú bežné sieťové tarify (Rakúsko), niektoré krajiny na druhú stranu oslobodzujú odberateľov od poplatkov, ak je akumulčný prvok pripojený k sieti a nie je za elektromerom (Španielsko) a iné, ak je akumulčný prvok pripojený aj za elektromerom (Taliansko). Akumulácia a jej možnosť poskytnutia flexibility sa netýka iba batérií, no taktiež prečerpávajúcich elektrární a iných [46].

ERÚ navrhuje zmeny predovšetkým na hladine NN, kedy sa zvýhodnia odberatelia, ktorí budú aktívne spolupracovať na riadení siete a budú poskytovať podporné služby. Navyše sa presunie časť platieb z variabilnej zložky do kapacitnej, čo vykompenzuje zníženie odberu elektriny z distribučnej siete [43].

7.2.4 Energetické spoločenstvá

Energetické spoločenstvo (ES) ponúka pre zákazníkov väčšiu, no nie úplnú nezávislosť od distribútora elektrickej energie. V časech vysokej volatility cien energií majú tieto spoločenstvá čoraz väčší zmysel. Ich zmyslom je rozvoj decentralizovanej výroby, zdieľanie elektrickej energie na lokálnej úrovni a po dohode s distribútormi poskytovanie flexibility. Legislatíva bola hlavnou prekážkou rozvoja fotovoltaiky na bytových domoch. Preto je fotovoltaika na rodinných domoch omnoho rozvinutejšia.

V súčasnosti je pojem energetické spoločenstvo legislatívne definované v dvoch smerniciach v rámci tzv. CEP 2019. Pripravuje sa nová právna úprava pojmu, kde energetické spoločenstvo bude definované ako právny subjekt, ktorého cieľom nie je vytvoriť zisk, no naplniť environmentálne, hospodárske, alebo spoločenské ciele členov spoločenstva. Členstvo v tomto spoločenstve bude navyše na dobrovoľnej báze [43].

V rámci EÚ sa jedná o technológiu, ktorá na celoštátnej úrovni bola aplikovaná iba v Portugalsku a Rakúsku [46]. V Portugalsku je od roku 2020 zavedená tarifa pre ES, v ktorej spoločenstvo neplatí distribučný poplatok za využívanie siete vyšších hladín než NN pri spotrebovávaní energie z vlastnej výroby. Aby bolo možné tento proces kontrolovať, bolo podmienkou mať zavedený systém AMM. Rakúsko, ako jedna z najekologickejších krajín EÚ, znižuje poplatky za využívanie distribučnej siete a oslobodzuje ES od dane za elektrinu.

ERÚ navrhuje pre zdieľanie energie preniesť časť variabilnej zložky ceny elektriny na zložku kapacitnú, čo vykompenzuje zníženie platieb za distribúciu energie. Nakoľko sa jedná o pomerne novú technológiu, je nutné zhodnotiť ekonomický dopad na výber regulovaných poplatkov [43].

7.2.5 Flexibilita sústavy

Poskytovanie flexibility znamená zmenu stavu zariadenia schopného akumulácie, dodávky alebo spotrebovania energie na základe cenových signálov alebo iných pokynov, čo má za následok ovplyvnenie stavu distribučnej alebo prenosovej sústavy. Dôležitou súčasťou flexibility je meranie a regulácia veličín ako jalová zložka energie alebo spotreba v reálnom čase. To je nutné z hľadiska zníženia transakcií flexibility medzi účastníkmi trhu a monitorovaniu stavu sústavy [43]. Flexibilitu je možné rozdeliť na kladnú, kedy sa znižuje spotreba alebo sa zvyšuje výroba a zápornú, kedy sa naopak zvyšuje spotreba a znižuje sa výroba. Potenciál flexibility narastá u maloobdoberateľov s akumulátormi, FVE, no taktiež elektromobilov. Problémy, ktorými sa flexibilita javí ako jedno z alternatívnych riešení sú napríklad: odkladané investície do sústavy alebo preťaženie sústavy.

Zo zahraničia môžeme pozorovať dva prístupy k flexibilitě. Krajiny ako Anglicko a Francúzsko vyhľadávajú flexibilitu proaktívne na sieťach nízkeho a stredného napätia a tým je vyhovievané požiadavkám prevádzkovateľov distribučných sietí. Ďalším spôsobom je riešiť flexibilitu na úrovni vysokého napätia, kde sa problémy kaskádovito prenášajú na nižšie hladiny. Takýto prístup majú krajiny ako Nemecko, Švédsko a Holandsko [46].

V novej tarifnej štruktúre je nutné dosiahnuť spoluprácu medzi zákazníkmi a distribútormi. Odoberateľov je nutné motivovať k prispôsobovaniu svojej spotreby a ponúkaní flexibility na základe cenových signálov. Ďalej sa navrhuje zaistiť technologickú neutralitu a zachovať zdroj flexibility pre prevádzkovateľov distribučných sústav.

7.3 Dynamická tarifa

Dynamickou tarifou sa rozumie tarifa, v ktorej cena elektrickej energie je daná zmenami na denných a vnútro-denných trhoch, a mení sa so stanovenou periódou. Cena sa teda mení s denným diagramom zaťaženia, kedy odber elektrickej energie je výhodnejší počas prebytkov energie v sústave a v časoch špičiek spotreby je cena menej výhodná. Dynamická tarifa a s ňou spojené zmeny cien energie môžu zásadným spôsobom ovplyvniť špičkové zaťaženie elektrizačnej sústavy [50].

Dynamické tarify je možné prevádzkovať v troch kombináciách taríf a intervaloch platnosti tarify [51]:

1. Dynamický interval platnosti a statická tarifa,
2. Statický interval platnosti a dynamická tarifa,
3. Dynamický interval platnosti a dynamická tarifa.

Nutnosťou pre využívanie dynamických taríf sú inteligentné elektromery a ovládanie smart domácnosti, ktorým sa optimálne riadia spotrebiče v domácnosti [52]. Ďalšou nutnosťou pre efektívne využívanie dynamickej tarify je spolupráca spotrebiteľa a dodávateľa elektrickej energie, kedy spotrebiteľ aktívne reaguje na zmeny tarify. Takáto regulácia využívania spotrebičov nemusí vyhovovať každému a zákazník môže uprednostniť komfort nad úsporou peňazí alebo pomoci pri optimalizácii využitia siete.

Uvažuje sa o niekoľkých možných schémach dynamických taríf pre maloobderateľov, kde sa rozlišuje granulácia (doba) časových intervalov a cenová periodicita [46]. Cena sa môže meniť v časových intervaloch alebo pri výnimočných časových okamihoch (špička v sieti, ...). Krajiny EÚ, ktoré využívajú dynamickú tarifáciu sa k tejto problematike stavajú rôzne. V praxi sa môžeme stretnúť s nasledujúcimi možnosťami dynamickej tarifácie [46]; [53]:

- Real time pricing (RTP) – ceny sa menia v závislosti na cenách na veľkoobchodnom trhu,
- Time-Of-Use (TOU) – cena energie je definovaná v dobe počas nadmerného a nízkeho dopytu,
- Dynamic Time-of-Use (dTOU) – ceny počas nadmerného a nízkeho dopytu nie sú vždy rovnaké ako tomu je pri TOU,
- Variable Peak Pricing (VPP) – kombinácia TOU a RTP, kedy sú zmeny cien energií preddefinované distribútorom,
- Critical Peak Pricing (CPP) – zvýšenie cien počas určených časových období (nadmerný dopyt, ...).

V súčasnej energetike obchodníci s elektrinou využívajú princíp dynamickej tarifácie silovej zložky elektriny, kedy sú zákazníkovi ponúkané spotové ceny za elektrinu. Práve táto položka by sa v dynamickej tarifácii menila v závislosti na dennej dobe. Dynamická tarifácia môže mať vplyv aj zvyšné časti výslednej ceny elektriny. Prínos v podobe zefektívnenia využívania siete môže viesť k zníženiu distribučného alebo systémového poplatku, kedy prevádzkovatelia sietí budú motivovať zákazníkov k presunutiu spotreby mimo špičku. Navyše podľa smernice 944/2019, by členské štáty EÚ mali zvážiť dynamickú tarifáciu nie len variabilnej zložky elektriny ale aj fixnej [54].

7.4 Zhrnutie taríf

V súčasnosti je v ČR stále systém tarifácie cez fixné tarify. Prechod na dynamickú tarifáciu by mal byť plynulý a prirodzený, pretože k uskutočneniu zmeny takéhoto charakteru je nutné nie len vybudovať infraštruktúru (dátové centrá, smart elektromery, ...), ale ju aj spravovať. Navyše dynamická tarifácia cez všetky svoje benefity nemusí byť ekonomicky ani technologicky výhodná

na miestach akými sú napríklad rekreačné oblasti a iné. Zmysluplné je ponúknuť zákazníkovi ponuku jedno a viactarifných sadziieb v kombinácii s dynamickou tarifikáciou.

Navyše v ČR priemerný spotrebiteľ nemá rád komplikovanosť produktov a neistotu v cenách na burze [55]. V prípade prechodu na dynamickú tarifikáciu by mal byť zákazník dostatočne motivovaný (cenové a iné signály) a takáto tarifikácia by nemala negatívne ovplyvniť jeho komfort. V opačnom prípade by spoločnosť nemusela takúto tarifikáciu prijať.

8 AMM v porovnaní s HDO

8.1 HDO

Systém HDO slúži na prepínanie medzi jednotlivými tarifami alebo spínanie blokovacích stýkačov v prijímači HDO, ku ktorým sú pripojené k zariadeniam určeným na vytápanie, zohrievanie vody alebo iným s vysokými príkonmi. Systém je tvorený zariadeniami ako vysielateľ, HDO prijímač, infraštruktúra, po ktorej sa nesie superponovaný signál a iné. Zákazník vďaka HDO môže využívať výhody NT a VT a distribútor môže regulovať sieť riadením využívanie energeticky náročným spotrebičom [55].

Principiálne sa využíva superponovaný signál o frekvencii stoviek Hz na základnú frekvenciu siete (50 Hz). Každý distribútor používa vlastnú frekvenciu, aby sa zamedzilo ovplyvňovaniu jednotlivých prijímačov. Povel je vyslaný centrálou a prijatý HDO prijímačmi, ktoré pomocou stýkača vypnú/zapnú dané spotrebiče napojené na tieto stýkače alebo nariadenia elektromerom prepnúť tarifu [56]. Časy spínania NT a VT sú určené jednotlivými distribútormi.

HDO prijímače môžu byť umiestnené vedľa elektromera, prípadne môžu byť jeho súčasťou. Príklad HDO prijímača je znázornený nižšie:



Obrázok 8-1 - HDO prijímač [57]

V ČR sa tento systém používa už vyše 50 rokov. Systém nie len že ponúka možnosť rôznej tarifikácie zákazníkov, no optimalizuje využitie siete a reguluje ako spotrebu tak výrobu. Navyše je mimoriadne spoľahlivý [55]. Jeden vysielateľ dokáže pokryť relatívne veľkú oblasť.

Hoc sa systém HDO za roky používania ukázal ako spoľahlivý nástroj na uskutočňovanie rôznej tarifikácie a riadenie sústavy, v súčasnosti neposkytuje potrebnú flexibilitu zákazníkovi, ktorý sa kvôli tomu nedokáže v dostatočnej miere podieľať na spravovaní siete. [30]. Z tohto hľadiska sa v súčasnosti energetika v ČR zameriava na systém AMM, ktorý tieto možnosti ponúka.

8.2 AMM

Systém AMM predstavuje krok v modernizácii energetiky a realizácii konceptu Smart Grid. Hlavným zmyslom AMM je obojsmerná komunikácia medzi OM a dátovou centrálou, kedy distribútor diaľkovo získava a analyzuje údaje z OM. K tomuto je nutná infraštruktúra poskytujúca priebežné meradlá (inteligentné elektromery), potrebný software k práci s dátami, infraštruktúru na prenos informácií, DCU a mnoho iného [43].

Systém pracuje v reálnom čase, teda AMM prináša možnosti zavedenia nových tarifných štruktúr, ktoré vyžadujú priebežné merania s rýchlou reakciou na zmeny cien elektriny na trhu. Infraštruktúra AMM je oproti HDO omnoho komplexnejšia, no zároveň náročnejšia či už na personál alebo použité technológie (elektromery, DCU, ...) [43].

Rozvoj konceptu Smart Grid prináša prechod medzi doterajším ponímaním energetiky, kedy sa výroba prispôbovala potrebe odberateľom ku konceptu, kedy by sa mala rozložiť spotreba zákazníkov do celého dňa, a tým by mali zákazníci sa prispôbovať výrobe. Prispôbovanie sa zákazníka sieti je možné dosiahnuť využívaním rôznej tarifikácie či už počas špičiek alebo nadbytku energie v sieti.

V ČR je Roll-out AMM plánovaný v polovici roka 2024. Dovtedy je nutné všetky funkcie riadne preskúmať a na základe pilotných projektov vhodne naparametrizovať elektromery.

Z pilotných projektov distribučných spoločností v ČR vyplýva, že samotné inteligentné meracia zariadenia vyhovujú na nich kladeným metrologickým požiadavkám [55]. Ďalej je nutné definovať ochranu osobných údajov a meraných údajov a spracovanie takýchto údajov. Práve preto je bezpečnosť v AMM je diskutovanou témou, ktorá môže spomaliť zavedenie AMM. V prípade ak sa podarí útočníkom získať citlivé údaje o profile spotreby zákazníka, dokážu tak odhadnúť jeho denný režim a zneužiť to v svoj prospech [27].

8.3 Prínosy AMM

- Prevádzkovatelia sústavy majú prehľad o aktuálnom zaťažení siete a v prípade potreby môžu diaľkovo odpojiť OM (HDO to umožňuje iba čiastočne) – nutnosť v prípade ohrozenia dodávky elektrickej energie, prípadne blackoutu.
- Kontrola zákazníka o plnení dohodnutých požiadaviek.
- Sledovanie zdrojov výroby elektrickej energie – zefektívnenie služieb agregátorov [27].
- Lepšia predpoveď spotreby a výroby energie, využitie 15 minútových profilov odpočtu – lepšia alokácia zdrojov.
- Odoberateľ má informáciu o aktuálnej spotrebe a na základe cenových signálov alebo iných pokynov vie zmeniť svoju spotrebu – úspory na platbách za energie.
- Prevádzkovateľ siete vie diaľkovo odčítať informácie z elektromeru, a tým znížiť náklady na fyzický odpočet. Navyše sa vylúči chyba ľudského faktora [27].
- Efektívne riadenie pretokov energie na miesta, kde je to najviac potrebné [27].
- Jednoduchšia detekcia zneužívania siete (nenahlásená fotovoltaika, dodržiavanie účinníka, fraud detection, ...) – zníženie netechnických strát v sieti.
- Zavádzanie nových tarifných štruktúr vyžadujúcich obojsmernú komunikáciu v reálnom čase – nové business casey pre prevádzkovateľov distribučnej a prenosovej sústavy.

Nie len ekonomické výhody plynú či už prevádzkovateľom distribučných a prenosových sietí, no zároveň zákazníkom, agregátorom a iným subjektom na trhu. Zákazník ako najväčšiu výhodu môže považovať prehľad o svojej spotrebe, podľa čoho vie zefektívniť využívanie spotrebičov podľa

svojich predstáv. Distribútorovi plynú nie len znížené náklady za fyzické odčítanie spotrieb, no rovnako dokáže lepšie predikovať chovanie svojich zákazníkov a tým spoľahlivejšie riadiť sieť. Správcovi prenosovej sústavy môžu plynúť ekonomické výhody z pohľadu úspor na reguláciu výkyvov siete. Ďalej agregátori dokážu pomocou detailných analýz optimálne využívať svoje portfólio flexibility a správne zúčtovať obchodné transakcie. Práve efektívna agregácia umožní plné zavedenie flexibility do energetiky.

Popísať všetky ekonomické výhody zavedenia AMM presahuje rámec tejto práce. V nasledujúcich podkapitolách sú kvalitatívne popísané tri ekonomické výhody, ktorý tento koncept prináša. Jednotlivé benefity boli vybrané na základe najväčších ekonomických benefitov, ktoré by so systémom HDO neboli možné. Ako už bolo spomenuté vyššie, HDO sa osvedčil ako efektívny systém ponúkajúci mnoho možností prevádzkovateľom siete, ktorý dokonca čiastočne poskytuje vymoženosti AMM. Z tohto dôvodu sa práca v nasledujúcich podkapitolách bude venovať práve ekonomickým výhodám jedinečným pre koncept AMM.

8.3.1 Prehľad zákazníka o spotrebe a možnosť optimalizácie

Vďaka prehľadu o spotrebe v reálnom čase dokáže zákazník pohotovo reagovať na svoje využívanie energie a dokáže rozlišovať spotrebiče, ktoré majú na jeho spotrebu najväčší vplyv. Ďalej dokáže predísť plytvaniu s energiou alebo na základe vzoru vlastnej spotreby zefektívniť využívanie elektriny, a tým znížiť svoje náklady [27].

Zákazník, alebo samotný distribútor, dokážu na základe získaných údajov v reálnom čase pohotovo detegovať akúkoľvek anomáliu na OM, čo zvyšuje nie len bezpečnosť zákazníka ale aj spoľahlivosť dodávky energie.

8.3.2 Diaľkové získavanie údajov

Okrem toho, že inteligentné elektromery vykonávajú priebežné merania v preddefinovaných profiloch, zároveň nevyžadujú fyzickú návštevu elektromera za účelom získania týchto údajov. Z toho vyplýva úspora v AMM za výjazdy technikov oproti HDO pri ročných fakturáciách. V prípade výnimočnej fakturácie pri zmene OM, alebo inej príležitosti je táto úspora ešte vyššia. To môže ďalej viesť k zlepšeniu zákazníckeho servisu, kedy zákazník potrebuje spoľahlivý odpočet energií čo najrýchlejšie [27].

Diaľková komunikácia pomáha distribútorovi s lokáciou problematických miest pri výpadkoch alebo iných narušeniach spoľahlivosti dodávky energie.

Navyše AMM prináša distribútorovi možnosť zavedenia business caseov, ktoré by bez priebežného merania nebolo možné uskutočniť (flexibilita, energetické spoločenstvá, elektromobilita, ...).

8.3.3 Rozšírenie možností v tarifíkácii

AMM vďaka obojsmernej komunikácii v reálnom čase hrá kľúčovú úlohu pri zavádzaní nových taríf opísaných v kapitole 7. Reč je najmä o tarifách prispôbených energetickým spoločenstvám, poskytovaní flexibility alebo zavedení dynamickej tarifíkácie.

V tomto smere sú inteligentné elektromery nenahraditeľnou technológiou, ktorá má prostredníctvom rôznej tarifíkácie zvýšiť kvalitu ponúkaných služieb zákazníkom. Navyše, ak sa podarí pomocou taríf presunúť spotrebu zákazníkov mimo špičky a vyrovnáť odberový diagram, môžu sa tým znížiť technické straty [55].

8.4 Ekonomické porovnanie AMM a HDO

Ekonomický model popísaný v nasledujúcej kapitole vychádza z predpokladu, že obe infraštruktúry AMM a HDO sa realizujú od základu. To nám dovoľuje porovnať investície v prípade, ak by sme chceli postaviť novú infraštruktúru pre prevádzku elektromerov.

Model pracuje s tromi možnými scenármi:

- AMM po dobu 12 rokov – elektromery sú v prevádzke po dobu platnosti úradného overenia, po jej konci sa inštalujú nové elektromery.
- HDO po dobu 12 rokov – elektromery sú v prevádzke po dobu platnosti úradného overenia, po jej konci sa inštalujú nové elektromery.
- HDO po dobu 16 rokov – po konci platnosti úradného overenia prejdú elektromery štatistickou skúškou, v prípade ak vyhovujú, stávajúce elektromery sa používajú ďalšie 4 roky.

Pre elektromery využívané v AMM nemá zmysel uvažovať štatistické preskúšanie z dôvodu vysokých nárokov na identickosť elektromerov, kedy takéto elektromery nemusia vyhovieť po softwarovej stránke. Z ekonomického hľadiska by bol tento spôsob preskúšavania nákladovo nezmyselný.

Elektromery pre oba koncepty sú od 3 dodávateľských firiem. Teda model pracuje s 3 trojfázovými modelmi elektromerov a 3 jednofázovými modelmi elektromerov pre každý koncept.

Dané ekonomické zhodnotenie má za úlohu určiť nákladovo najvhodnejšie riešenie spomedzi vyššie zmienených investícií a zistiť, ktoré nákladové položky najviac ovplyvňujú finančnú náročnosť projektov.

8.4.1 Vysvetlenie pojmov

NPV: NPV, alebo čistá súčasná hodnota, je metóda využívaná na hodnotenie výnosnosti investícií. Metóda počíta s časovou hodnotou peňazí. Vzorec pre výpočet NPV:

$$NPV = \sum_{i=0}^T \frac{CF_i}{(1+r)^i} \quad 8-1$$

Kde NPV predstavuje čistú súčasnú hodnotu, T je doba životnosti investície, CF_i je Cash flow v danom roku a r predstavuje diskontnú sadzbu.

RCF: Ročný ekvivalentný peňažný tok (RCF) je NPV vynásobená anuitným faktorom za dobu životnosti investície. Výsledok je teda rovnomerné rozdelenie diskontovaných peňažných tokov v jednotlivých rokoch investície. Kritérium sa používa pri porovnávaní investícií s rôznou dobou životnosti. Vzorec pre výpočet RCF:

$$RCF = \frac{q^T \cdot (q - 1)}{q^T - 1} \cdot NPV \quad 8-2$$

Kde RCF predstavuje ročný ekvivalentný peňažný tok a $q = 1 + r$.




8.4.2 Vstupy

Ekonomický model pracuje so vstupmi, ktoré sú spojené so zavedením AMM a HDO. Použité ceny komponent nachádzajúcich sa v ekonomickom modeli sú získané z prieskumu trhu. Rovnako vlastné

spotreby zariadení sú výsledkom prieskumu datasheetov zariadení dostupných na trhu. Model uvažuje pomer trojfázových a jednofázových elektromerov 3:2. Podobné rozloženie 1f a 3f elektromerov sa nachádza aj v ekonomickom posúdení AMM od Ministerstva priemyslu a obchodu ČR (MPO) [55].

Model pracuje s poruchovosťou elektromerov 0,5 % z celkového počtu práve nainštalovaných elektromerov, čo odpovedá dlhodobému priemeru poruchovosti. V prípade poruchy sa elektromer vymení za nový. Cena takejto výmeny je vážený priemer cien 3f a 1f elektromera, nakoľko model uvažuje rovnomernú poruchovosť u 3f a 1f elektromerov.

Cenu silovej zložky elektrickej energie je nutné zahrnúť do ekonomického modelu z dôvodu technických strát v sieti, presnejšie vlastnej spotreby elektromerov a riadiacich zariadení. Technické straty sa spravidla určujú bilančnou metódou. Model pracuje s komoditnou cenou elektrickej energie odvodenou z produktu Baseload na Power Exchange Central Europe, a.s. (PXE) ku dňu 28.4.2023 kedy sa brali do úvahy predajné ceny na roky 2024, 2025 a 2026. Cena silovej zložky elektriny s ktorou model počíta je spriemerovaná hodnota cien z tabuľky uvedenej nižšie. Ceny v modeli boli prepočítané na EUR na CZK s kurzom 23,76 CZK/EUR.

Baseload						
Name	Last Price	Last Volume	Settlement Price	Volume Exchange	Volume Trade Registration	Open Interest
Cal-24	-	-	147,220	-	-	614 
Cal-25	-	-	127,090	-	-	214 
Cal-26	-	-	112,590	-	-	9 

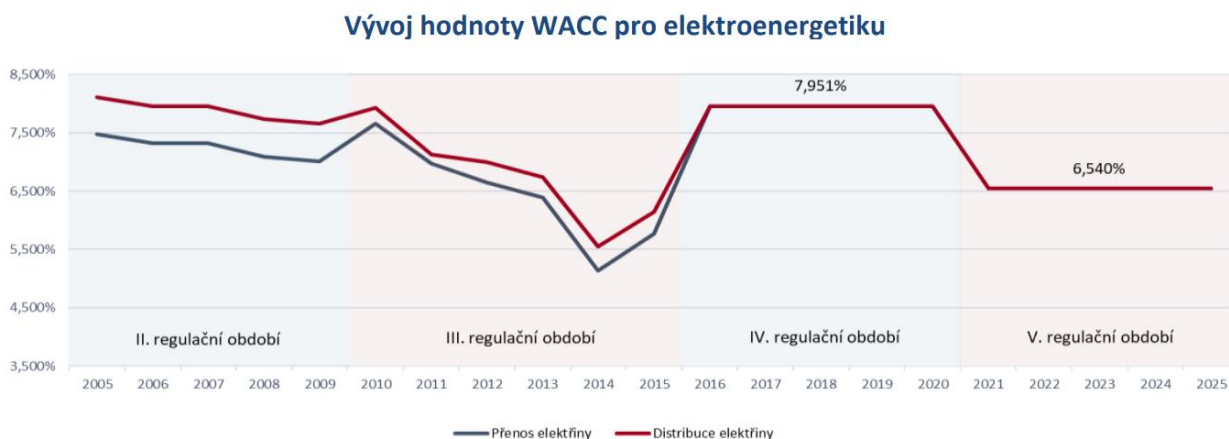
Tabuľka 8-1 - Ceny futures na PXE ku dňu 28.4.2023 [58]

Technické straty spôsobené vlastnou spotrebou elektromerov sa určí nasledovne:

$$TS = VSE \cdot IE \cdot CE \cdot t \quad 8-3$$

Kde TS sú technické straty, VSE je vlastná spotreba elektromera, IE je počet práve nainštalovaných elektromerov, CE je komoditná cena elektriny odvodená z PXE a t je čas, pre ktorý sa technické straty počítajú.

Diskontná sadzba bola stanovená ako vážený priemer nákladov kapitálu (WACC), teda ako miera výnosnosti regulačnej bázy aktív pre distribučné spoločnosti vydaná ERÚ. Tá stanovila WACC pre regulačné obdobie 2021-2025 hodnotu 6,54 % pred zdanením a 5,3 % po zdanení [59]. WACC je dôležitý parameter, ktorý motivuje investora k investičnej činnosti vzhľadom na riziká, ktoré v regulovanom prostredí môžu nastať. Z historického hľadiska môžeme vidieť, že WACC pred zdanením pre distribúciu elektriny sa počas druhého až piateho regulačného obdobia pohyboval medzi 5,5 až 8 %. Model teda počas celej doby životnosti investície počíta s WACC s hodnotou 5,3 % po zdanení, ktorá približne odpovedá priemeru hodnôt za štyri regulačné obdobia. Graf nižšie znázorňuje WACC pred zdanením na posledné štyri regulačné obdobia.



Graf 8-1 - Vývoj WACC pre distribúciu elektriny [59]

Elektromery, HDO prijímače a DCU spadajú do 2. odpisovej skupiny. Model počíta s rovnomerným daňovým odpisovaním po dobu piatich rokov. V prípade poruchy elektromera sa takýto elektromer vymieňa za nový, no každý kedysi inštalovaný elektromer sa odpisuje 5 rokov. Model zanedbáva možný výnos z predaja takýchto elektromerov alebo náklady na ich likvidáciu.

Položka „Prevádzkové náklady“ predstavuje celkové náklady distribútora na personál vrátane samotných miezd, nákladov na kancelárie, vozový park atď., ktoré súvisia s riadnym vykonaním pracovných činností. Čiastky boli udané odhadom z údajov zverejnených pre posledný štvrtýrok roku 2022 z Informačného systému o priemernom výdélku [60]. Medziročný rast miezd sú 3 %.

8.4.3 Zhodnotenie výsledkov ekonomického modelu

Vypočítané hodnoty				
12 rokov				
	NPV (tis. Kč)	Anuitný koeficient (-)	RCF (tis. Kč)	Rozdiel RCF (tis. Kč)
AMM	5 495 799	0,11	630 601	0
HDO	5 837 365	0,11	669 793	-39 192
16 rokov				
	NPV (tis. Kč)	Anuitný koeficient (-)	RCF (tis. Kč)	Rozdiel RCF (tis. Kč)
HDO	6 592 738	0,09	621 369	9 232

Tabuľka 8-2 - Výsledné RCF investícií

Z porovnania RCF jednotlivých investícií vyplýva, že najlepšou investíciou je HDO s dobou životnosti 16 rokov. Druhá najlepšia investícia je AMM. Môžeme teda konštatovať, že preskúšavanie elektromerov pre HDO a ich nasadenie na ďalšie 4 roky výrazne znižuje náklady pre prevádzku HDO.

V tomto prípade je ale nutné podotknúť, že v prípade HDO sa uvažovalo, že všetky elektromery prejdú štatistickou skúškou. Celkovo je skúšok tohto typu šesť. V prípade ak by čo i len jedna skúška bola neúspešná a výmena elektromerov by bola nevyhnutná, tak najvýhodnejšou investíciou by sa stalo práve AMM.

V tabuľke je znázornený aj rozdiel RCF jednotlivých investícií, kedy ako referenčná hodnota je RCF AMM. Pri počte 800 000 elektromerov je rozdiel medzi výsledkami minimálny a distribútor by sa určite nemal riadiť iba podľa ukazovateľa RCF.

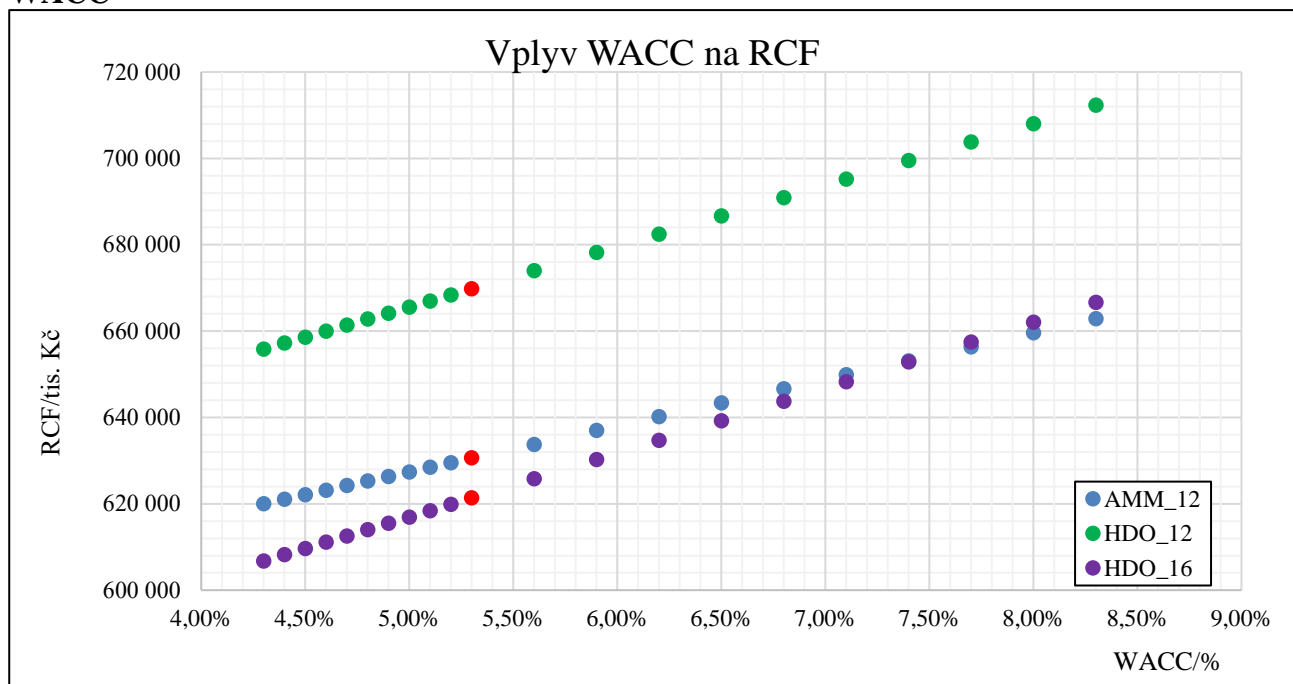
8.4.4 Citlivostná analýza

V citlivostnej analýze sa skúmali 3 parametre, ktoré ovplyvňujú náklady na investície. Menené parametre sú:

- WACC,
- Cena silovej zložky elektriny,
- Pomerová zmena cien elektromerov.

Pre každý parameter je skúmaných 21 hodnôt, kde červený bod znázorňuje referenčnú hodnotu parametra, pre ktorý bol vytvorený ekonomický model.

WACC

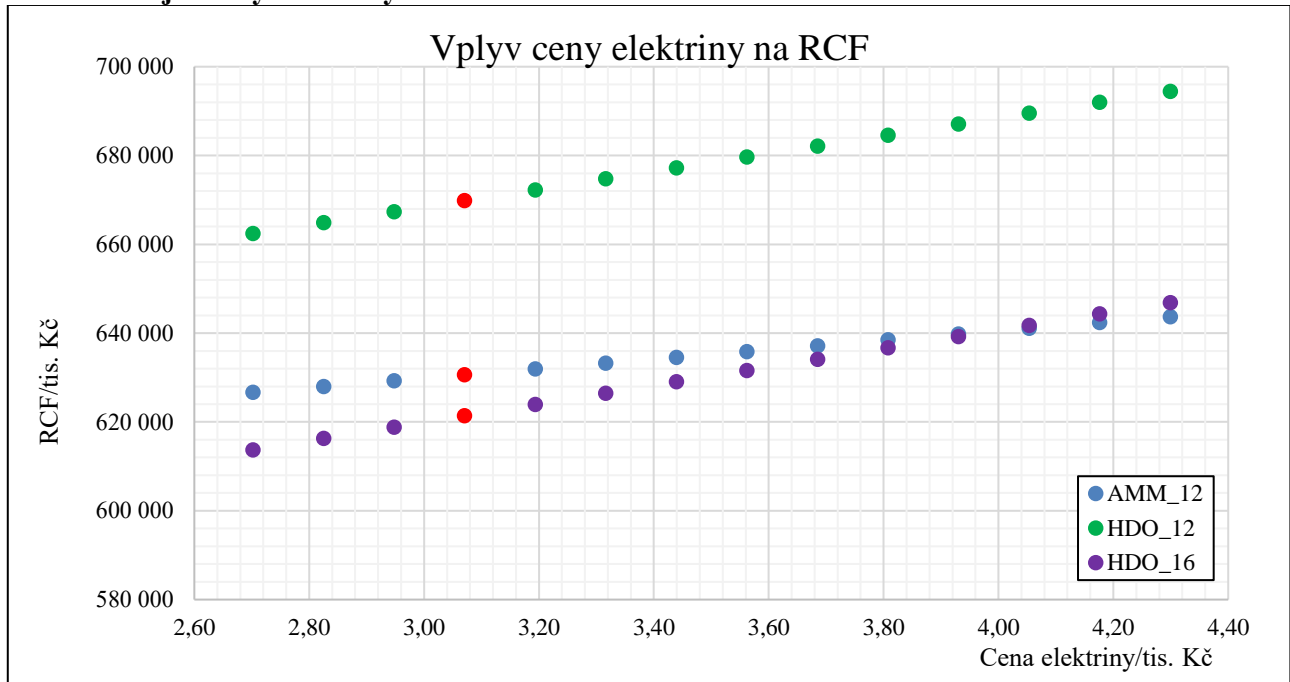


Tabuľka 8-3 - Vplyv WACC na RCF

Vo všetkých troch prípadoch s rastúcim WACC lineárne klesá výhodnosť investície. V prípade ak by WACC dosahoval hodnotu približne 7,3 % po zdanení, tak by investícia do AMM bola výhodnejšia než investícia do HDO s dobou životnosti 16 rokov. Z grafu je ďalej možné vidieť, že oba investície do HDO sú náchylnejšie na zmenu WACC než AMM.

WACC udáva ERÚ pre dané regulačné obdobia. Počas posledných štyroch regulačných období síce WACC po zdanení nedosahoval 7,3 %, no ak by inflácia minulých rokov pretrvávala, mohlo by to mať za následok zvýšenie WACC. Z toho vyplýva záver, že čím vyššia inflácia, tým sa AMM javí ako výhodnejšia alternatíva. Ak sa ale udrží WACC v rozmedzí hodnôt z posledných štyroch regulačných období, tak sa výhodnosť investícií nezmení.

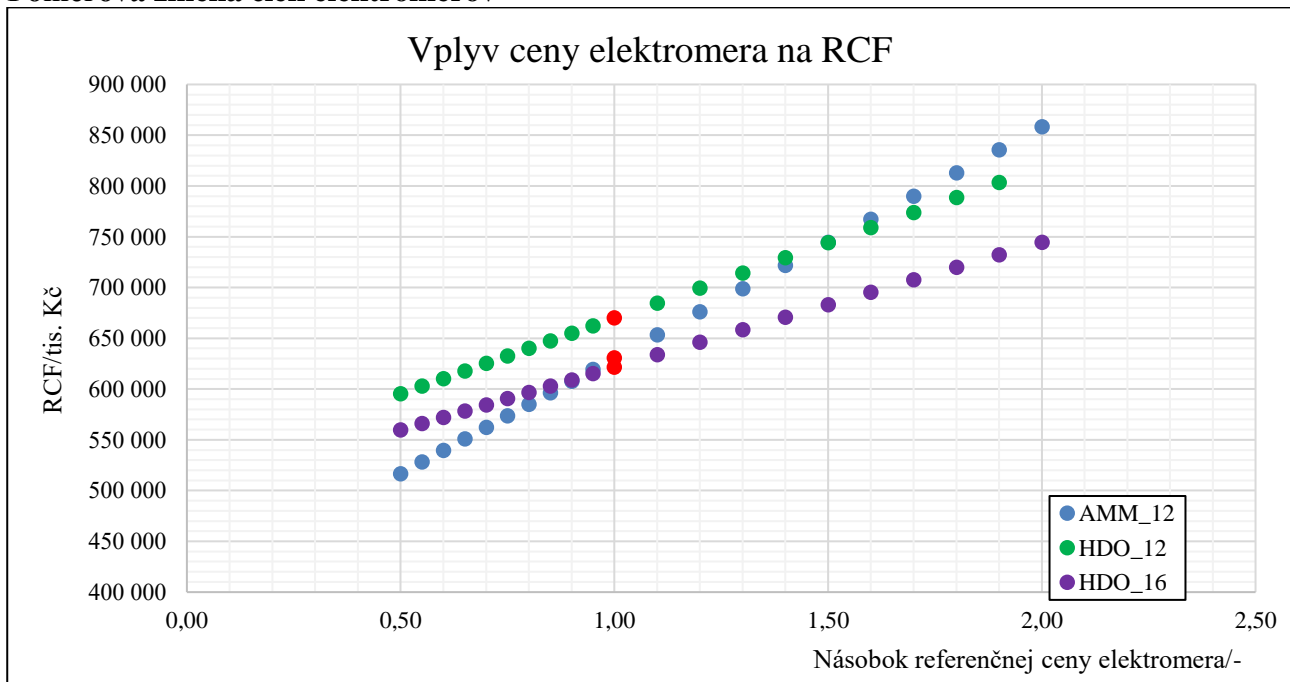
Cena silovej zložky elektriny



Graf 8-2 - Vplyv ceny elektriny na RCF

Cena elektriny má vplyv na náklady na technické straty. Investícia do HDO je náchylnejšia na cenu elektrickej energie z dôvodu veľkého počtu HDO prijímačov. Pri cene približne 4 tis. Kč/MWh sa AMM stáva najvhodnejšou investíciou. AMM je menej ovplyvnené cenou elektriny z dôvodu nižšieho počtu DCU oproti HDO prijímačom. Elektromery pre HDO aj AMM sú uvažované s rovnakou vlastnou spotrebou, teda nemajú vplyv na prípadné rozdiely medzi investíciami.

Pomerová zmena cien elektromerov



Graf 8-3 - Vplyv ceny elektromera na RCF

Násobná zmena referenčných cien elektromerov má najvýraznejší vplyv na náklady spojené s investíciami. AMM je viac náchylnejšie na takúto zmenu než HDO. Hlavným dôvodom je vyššia referenčná cena elektromerov pre AMM, kedy nominálna cena elektromera pri násobnej zmene narastá omnoho rýchlejšie než v prípade HDO.

Tu možno uvažovať, že AMM je vhodnejšie pre veľký počet OM, kedy množstevný nákup elektromerov môže znížiť cenu elektromerov.

8.4.5 Zhodnotenie výsledkov ekonomického porovnania

Z porovnania ekonomického modelu vyplýva, že ak by bolo RCF jediným kritériom rozhodovania, tak pri zavádzaní novej infraštruktúry je ekonomicky najvýhodnejšie HDO s možnosťou štatistickej skúšky po konci platnosti úradného overenia a predĺženie prevádzky na ďalšie 4 roky. To ale iba za predpokladu, že všetky elektromery vyhovujú tejto skúške. Ak aspoň jeden model elektromerov neprejde skúškou, tak najvýhodnejšie je zaviesť AMM. Ďalším ohraničením výhodnosti investície do HDO je cena silovej zložky elektriny (približne 4 tis. Kč/MWh) a WACC po zdanení (približne 7,3 %), kedy sa opäť výhodnejšou investíciou stáva AMM.

V konečnom dôsledku môžeme konštatovať, že AMM hoc mala RCF o približne 9 mil. Kč horší, javí sa ako najspoľahlivejšia investícia z pohľadu vybudovania novej infraštruktúry. Dôvody sú technologické (viac možností na riadenie, monitoring, reporting, atď.) aj ekonomické (menej volatilná investícia, nakoľko sa v nej neočakávajú značné potenciálne výdaje ako pri neúspešnej štatistickej skúške v HDO). Ďalej je investícia do AMM menej náchylná na zmenu vstupných parametrov v porovnaní s HDO. Okrem toho podľa vyhlášky č. 359/2020 Sb. je nutné do 1.7.2027 merať OM s ročnou spotrebou presahujúcou 6 MWh ročne na napäťovej hladine 1 kV meraniami kategórie C1 alebo C2 (priebehové merania) [30]. To znamená, že zavádzanie AMM je nevyhnutné a ani zvýšené náklady nepredstavujú dôvod na nerealizovanie AMM.

8.4.6 Zanedbania ekonomického modelu

Je zrejmé, že najväčšia nepresnosť modelu je v zanedbaní skutočnosti, že v ČR je HDO infraštruktúra dlhodobo prevádzkovaná, a teda je nereálne, aby sa znovu budovala. V súčasnosti nastáva otázka obmeny HDO za AMM. V takomto prípade je nutné zvážiť časový horizont celoplošnej obmeny elektromerov. Bez ohľadu na zavedenú komunikačnú architektúru, samotná výmena elektromerov si žiada dostatočný počet personálu, ktorý sa popri iným povinnostiach musí venovať samotnej výmene elektromerov.

Aby bol splnený cieľ obmeny elektromerov počas prvých štyroch rokov, teda 200 000 elektromerov ročne, ktorých OM nie sú koncentrované na jednom malom území, bude nutné splniť personálne, technické a technologické podmienky (dostatok pracovníkov, elektromerov, ...). Uvažujeme, že rok má 250 pracovných dní a montér dokáže vymeniť denne 12 elektromerov. K tomuto je potrebných približne 67 montérov. Model uvažuje stav montérov na čísle 100, teda z nášho predpokladu to bude možné, no v skutočnosti môže nastať, že denná produktivita montéra môže byť nižšia než predpokladáme. Práve nižšia produktivita môže byť spôsobená hustotou výskytu OM, kedy je mimo centrum mesta nutné cestovať dlhšie vzdialenosti. Nižšia produktivita môže byť spôsobená aj oneskorenou dodávkou elektromerov, prípadne inými komponentami infraštruktúry. Aj nedostatok pracovníkov z dôvodu chorôb a iných faktorov alebo nevôľa zákazníkov spolupracovať s distribútorom má negatívny vplyv na inštaláciu elektromerov. Zníženie produktivity môže mať za následok nesplnenie plánov a predĺženie prechodu z HDO na AMM.

Rýchlosť výmeny elektromerov úzko súvisí s vyhláškou č. 359/2020 Sb., kde je definovaný dátum výmeny všetkých elektromerov na OM s ročnou spotrebou nad 6 MWh. Ďalej záleží od faktorov

zmienených vyššie (personálne, materiálne, ...). Určitá rýchlosť prechodu na AMM so sebou prináša zmenu rozloženia nákladov na jeden elektromer. Pomalá výmena elektromerov je spojená so zvyšujúcimi nákladmi na riadenie HDO vysielačov vzťahnutých na jeden elektromer. Ak HDO vysielač pokrýva napríklad polovicu potenciálnej kapacity významne predraží chod infraštruktúry tým, že náklady na jeho prevádzku sú rovnaké, no riadi iba polovicu elektromerov. Riešením by mohlo byť prenájom vysielača iným distribútorom. Na druhú stranu je trend obmeny elektromerov za AMM v celej Českej republike, teda nemusí byť o túto službu záujem. Na druhej strane rýchly prechod na AMM môže zanechať prevádzkovo schopné zariadenia nevyužitú.

S implementáciou AMM sú úzko spojené aj environmentálne otázky. Staré „hlúpe“ elektromery môžu naďalej slúžiť, no nie je možné ich používať ako inteligentné. Využitelnosť takýchto elektromerov nebude 100 %, teda je zrejme, že časť z nich skončí v elektro odpade. Možné využitia takýchto elektromerov sú napríklad podružné merania (garáže, chatové oblasti), prípadne recyklácia určitých materiálov. V prípade HDO prijímačov a vysielačov to je o niečo zložitejšie, pretože sa jedná o sofistikované jednoúčelové zariadenia. Ako bolo spomenuté vyššie, táto riadiaca infraštruktúra sa môže prenajať iným distribútorom, no výhradne na území ČR, čo znižuje potenciál využiteľnosti. Ďalej sa tieto zariadenia môže recyklovať prípadne zlikvidovať.

Model ďalej nerozlišuje rozdielne náklady pre montáž a demontáž 1f a 3f elektromerov, kedy 3f elektromery sú v skutočnosti o niečo drahšie. Dôvodom pre zanedbanie je skutočnosť, že cenový rozdiel nie je natoľko veľký, aby zásadným spôsobom ovplyvnil výsledok porovnaní investícií.

Model taktiež nereflektuje ďalšie ekonomické výhody plynúce z AMM, ktoré boli zmienené v podkapitole 8.3.. Napríklad zavádzanie nových business caseov môže priniesť distribútorovi výnosy z poplatkov za využívanie distribučnej siete, ďalej zníženie technických a netechnických strát alebo rýchla detekcia a vyriešenie porúch dokáže zvýhodniť investíciu. Model ďalej hlbšie nerozlišoval výhodnosť diaľkového odpočtu spotreby, kde sú úspory či už na opotrebení vozového parku, pohonných hmotách alebo na pracovnej sile, ktorú možno alokovať inde a efektívnejšie. Všetky tieto a mnohé iné faktory zmenia rozdiel medzi AMM a HDO a v prípade AMM investíciu mimoriadne zvýhodnia a RCF tejto investície bude priaznivejšie.

8.5 Zhrnutie celkového prínosu AMM

V súčasnosti sa pracuje na pilotných projektoch pre AMM kde sa skúmajú vplyvy na odčítanosť elektromerov, vhodná komunikačná architektúra, komunikačné štandardy a mnoho ďalšieho. Po roll-oute v polovici roku 2024 bude ďalším krokom práve inštalácia inteligentných elektromerov pre OM s ročnou spotrebou nad 6 MWh na napäťovej hladine do 1 kV. To zahŕňa obmenu súčasnej HDO infraštruktúry vrátane elektromerov, HDO prijímačov, HDO vysielačov a mnoho iného.

Prínos AMM je nesporný a predstavuje krok k naplneniu konceptu Smart Grid. Výhody tejto technológie plynú všetkým účastníkom trhu a umožňujú naplniť koncepty, ktoré by s HDO neboli v takomto rozsahu možné.

Z ekonomického hľadiska sa AMM javí ako výhodnejšia alternatíva, najmä z pohľadu služieb, ktoré AMM ponúka oproti HDO. AMM je ďalej nutné k naplneniu dynamickej tarifikácie a efektívneho riadenia sústavy (lepšia predpoveď spotreby zákazníkov, diaľkový odpočet spotreby a iných parametrov, ...). Samozrejme elektromobilita, poskytovanie flexibility a mnoho iných technológií definujúcich energetiku budúcnosti sa bez priebehového merania nezaobídu, a práve AMM je prostriedkom k plnému využitiu ich potenciálu. Prechod na AMM si ale vyžaduje dostatok personálu a technológií, aby bolo možné zmeniť infraštruktúru v predom definované termíny.

S prechodom na AMM súvisí aj otázka využitia stávajúcej infraštruktúry, kedy staré statické a indukčné elektromery nie je možné ani modulačne využívať na obojsmernú komunikáciu medzi OM a distribútorom. Ďalej infraštruktúra pre HDO je jednoúčelová a skutočnosť, že v AMM nemá uplatnenie, tak bude nutné takéto zariadenia zlikvidovať, zrecyklovať, prípadne inak zúžitkovať.

AMM sa v mnohých krajinách Európy osvedčil ako efektívny systém merania a monitoringu, dokonca niektoré krajiny zahájili roll-out druhej generácie inteligentného merania. So zavedením AMM Česká republika nie len zefektívni využívanie siete ale aj zmodernizuje svoje energetiku.

9 Záver

Bakalárska práca je tematicky rozdelená na tri hlavné časti: Teoretická časť, Meracia časť a Ekonomická časť.

V teoretickej časti je popísaný chronologický vývoj elektromerov od merania jednosmerného prúdu cez indukčné a statické elektromery až po inteligentné elektromery. V jednotlivých kapitolách sú vysvetlené základne princípy fungovania daných elektromerov, ich časti a zhrnutie výhod a nevýhod jednotlivých typov elektromerov. Práca sa venuje najmä inteligentným elektromerom, ktorých využitie v blízkej budúcnosti bude značne prevažovať nad inými typmi elektromerov. Takéto elektromery poskytujú meranie nie len údajov o spotrebe zákazníka, no ponúkajú meranie kvalitatívnych parametrov dodávky elektrickej energie, dokážu zaznamenať neoprávnenú manipuláciu s elektromermi a obojsmerne komunikovať s distribútorom, prípadne zákazníkom. Obojsmerná komunikácia subjektov trhu s meradlami je jedným z fundamentov konceptu Smart Grid. Okrem iného, inteligentné elektromery poskytujú priebehové merania, ktorých uplatnenie nájdeme u energetických spoločností, moderných spôsoboch tarifíkácií, atď.

Druhá, teda meracia časť, obsahuje analýzu THD napätia v zásuvkách na pôde ČVUT a bytového domu na Vrchlického ulici v Prahe. Merania boli vykonávané pomocou analyzátoru výkonu Rohde&Schwarz HMC8015. Z výsledkov merania sa zistilo, že v oboch prípadoch neprekračuje UTHD hodnotu stanovenú normou IEEE 519-2022, teda pre napät'ovú hladinu nižšiu než 1 kV UTHD nepresiahlo 8 %. Taktiež sa potvrdilo, že UTHD má na pôde ČVUT vyššie hodnoty než v bytovom dome z dôvodu väčšieho výskytu spotrebičov, ktoré sú pôvodcami vyšších harmonických (motory, meniče, spínané zdroje, ...). Ďalej môžeme pozorovať trend nárastu UTHD počas pracovného týždňa, kedy ľudia trávili čas doma, či už pred odchodom do práce, obedom alebo pri návrate z práce. Počas víkendu v bytovom dome bolo UTHD najrovnomernejšie zo všetkých meraní z dôvodu kvázi rovnomerného využívania domácich spotrebičov.

Posledná časť bakalárskej práce, ekonomická časť, pojednáva o rôznych typoch tarifíkácií v Českej republike a ich následnom vývoji. V súčasnosti tarifná štruktúra v ČR neodpovedá situácii v energetike, kedy sa do popredia dostávajú energetické spoločnosti, elektromobilita, poskytovanie flexibility zákazníkmi alebo decentralizovaná výroba elektrickej energie a jej akumulácia. Z tohto dôvodu ERÚ prichádza s návrhmi na modernizáciu spôsobov tarifíkácií, ktorá má za cieľ presnejšie alokovať náklady vyvolané zákazníkmi, zjednodušiť ponuku tarifných sadzieb, umocniť spoluprácu medzi distribútormi a zákazníkmi alebo využiť princípu technologickej neutrality. Navyše sadzby určené pre elektromobilitu alebo iné technológie povedú k zvýhodneniu zákazníkov ochotných či už poskytovať svoje služby alebo prispôsobiť svoju spotrebu potrebám siete.

S prispôbovaním spotreby sa spája aj problematika dynamickej tarifíkácie, kde sa ceny elektrickej energie menia v určitej periodicite. Krajiny EÚ sa k danej problematike stavajú rôzne. Ceny v dynamickej tarife sa môžu meniť v závislosti na veľkoobchodnej cene elektriny, v preddefinovaných intervaloch distribútorom alebo v závislosti na vyťažení siete. Dynamické tarify predstavujú moderný spôsob tarifíkácie využívajúci schopností inteligentných elektromerov. Hoc tento koncept poskytuje efektívne využívanie siete, vyžaduje si spoluprácu so zákazníkom. Zákazníkov môže odradiť komplikovanosť produktu a zníženie spotrebiteľského komfortu. Z tohto dôvodu je nutné zákazníkov motivovať pomocou cenových a iných signálov.

Druhá polovica tretej časti ekonomicky porovnáva koncepty HDO a AMM. Porovnanie je z pohľadu vybudovania novej infraštruktúry a z pohľadu prechodu z HDO na AMM. Prvé ekonomické porovnanie vychádza z ekonomického modelu vypracovanom v Exceli, kedy sa pomocou

ukazovateľa RCF určila výhodnosť AMM a HDO pri vybudovaní oboch technológií od úplného začiatku. Porovnávané boli 3 varianty. Prvý variant bol pre prípad AMM s uvažovanou dobou životnosti 12 rokov, druhý variant bol pre HDO s dobou životnosti 12 rokov a posledný variant uvažoval HDO s životnosťou 16 rokov, ktorá zahŕňala aj štatistickú skúšku elektromerov a predĺženie platnosti na ďalšie 4 roky oproti dvanástim rokom. Podľa ukazovateľa RCF sa javí ako najvýhodnejšia investícia do HDO s dobou životnosti 16 rokov, kedy rozdiel medzi druhou najvýhodnejšou investíciou (AMM) je 9 232 tis. Kč., to ale za predpokladu bezchybného vykonania štatistických skúšok. Pre uvažovaných 800 000 elektromerov je tento rozdiel minimálny a s ohľadom na všetky benefity a služby, ktoré ponúka AMM sa ako najvýhodnejšia investícia javí práve AMM. V prospech výhodnosti investície do AMM ďalej poukazuje nižšia citlivosť výsledného RCF na zmenu vstupných parametrov oproti HDO, teda sa investícia javí ako predvídateľnejšia. Vypočítaný ekonomický model navyše nezahrnul všetky ekonomické výhody zavedenia AMM, no práca o nich diskutuje a čitateľovi priblížila, čo môže AMM ako moderný systém merania priniesť každému účastníkovi trhu od odberateľa, cez distribútora až po agregátora.

Ďalšie ekonomické porovnanie je kvalitatívny popis prechodu z HDO na AMM. Druhé porovnanie je realistické z dôvodu, že v rámci ČR je infraštruktúra pre HDO prevádzkovaná cez 50 rokov, no v súčasnosti sa rieši prechod na AMM. Momentálne je Česká republika vo fáze pilotných projektov v rámci AMM je naplánovaný roll-out v polovici roku 2024. Potom nasleduje výmena stávajúcich elektromerov za inteligentné na OM s ročnou spotrebou nad 6 MWh na napät'ovej hladine do 1 kV. Celková výmena infraštruktúry so sebou prináša otázku zužitkovania starých elektromerov, HDO prijímačov, HDO vysieláčov a ďalších zariadení. Statické a indukčné elektromery možno využiť pre podružné merania v rekreačných alebo garážových oblastiach, no zvyšok sofistikovaných zariadení infraštruktúry bude nutné zlikvidovať, prípadne zrecyklovať využiteľné materiály. Okrem iného, výmena infraštruktúry so sebou prináša personálne, materiálne a technologické požiadavky, ktoré nemusia byť nutne splnené. Z tohto dôvodu je nutné zabezpečiť všetky náležitosti v dostatočnej kvalite a množstve, aby mohli byť legislatívne ciele splnené. Prechod na AMM poskytne Českej republike nové možnosti riadenia, monitoringu a analýzy siete a mnoho iného, čo nebolo v takejto miere možné s HDO.

Zoznam použitej literatúry

- [1] SMART ENERGY INTERNATIONAL. The history of electricity meter. *Smart Energy International* [online]. 2006, 28.6.2006 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.smart-energy.com/features-analysis/the-history-of-the-electricity-meter/>
- [2] Sameul Gardiner. In: *ETHW* [online]. 2020 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: https://ethw.org/Samuel_Gardiner
- [3] GUNDERSON, Daniel. Electricity Metering: Past, Present, & Future. [online]. [Minnesota (USA)]: Minnesota Power; [2018] [cit. 2022-12-31]. 22 s. Dostupné z: <https://www.ccaps.umn.edu/documents/CPE-Conferences/MIPSYCON-PowerPoints/2018/HistoryandFutureofElectricMetering.pdf>
- [4] BRZOŇOVÁ, Lucie, Pavel GROCHÁL a Luboš FALHAUR. Počátky elektroměrů: Rtut', nebo účtování podle váhy článků. *Innogy* [online]. innogy Magazín, 2021 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.innogy.cz/o-innogy/innogy-magazin/magazin-prehled-clanku/pocatyky-elektromeru-rtut-nebo-uctovani-podle-vahy-clanku/>
- [5] *Elektroměry: Historie a současnost*. Praha: Pražská energetika, 2009.
- [6] MACHÁČEK, Cyril. *Elektroměry: technika a praxe*. Vyd. 2. Praha: Elektrotechnický svaz československý, 1949, 524 s.
- [7] SlideShare [online]. San Francisco, CA: LinkedIn Corporation; c2014. History of Electric Metering; 27.7.2017 [cit. 2022-12-31]; 65 s. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/bravenna/history-of-electric-metering-62717>
- [8] MACHÁČEK, Cyril. *Elektroměry: základ hospodaření elektřinou*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 288 s.
- [9] KAŠPAR, Petr Měření výkonu el. proudu a spotřeby el. energie. Prezentace prezentována v: [6. přednáška kurzu A1B38EMA, ČVUT; 2022 Marec 23 Praha; Česká republika.]
- [10] Přehľad jednofázového indukčného typu elektromera. *Crushtymks* [online]. [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://crushtymks.com/sk/energy-and-power/329-overview-of-single-phase-induction-type-energy-meter.html>
- [11] *Jednofázové elektromechanické elektromery*. Prešov: Křížík, 2001.
- [12] *Trojfázové elektromechanické elektromery*. Prešov: Křížík, 2001.
- [13] *Types of Energy Meter and their working Principles* [online]. 2017 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: https://learn4electrical.altervista.org/types-of-energy-meter-and-their-working-principles/?doing_wp_cron=1678261090.9934489727020263671875
- [14] HAASZ, Vladimír, Jan HOLUB, Michal JANOŠEK, Petr KAŠPAR a Vojtěch PETRUCHA. *Elektrická měření: přístroje a metody*. 3. přepracované vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06412-2.
- [15] KAŠPAR, Petr Měřicí převodníky el. veličin. Prezentace prezentována v: [8. přednáška kurzu A1B38EMA, ČVUT; 2022 April 6 Praha; Česká republika.]
- [16] MASNICKI, Romuald a Janusz MINDYKOWSKI. What Should Be Measured Using Static Energy Meters. In: *2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)* [online]. IEEE, 2018, 2018, s. 0183-0188 [cit. 2023-05-08]. ISBN 978-1-5386-5062-2. Dostupné z: doi:10.1109/ICEPE.2018.8559757
- [17] SLOVENSKO. *Vyhláška č. 161/2019 Z. z.: Vyhláška Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky o meradlách a metrologickej kontrole*. In: . Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, ročník 2019. Dostupné také z: https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2019/161/vyhlasene_znenie.html#priloha.priloha-priloha_c_1_k_vyhlaske_c_161_2019_z_z.oznacenie
- [18] PARK, Sangil. *Principles of Sigma-Delta Modulation for Analog-toDigital Converters*. Motorola, 1997.

- [19] ZPA SMART ENERGY A.S. *ED310, ED310.I* [online technická specifikace]. 2019 [cit. 2023-05-11]. Dostupné také z: <https://www.zpa.cz/e-shop/elektromery/ed310/>
- [20] ZPA SMART ENERGY A.S. *ZE114* [online technická specifikace]. 2015 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.zpa.cz/e-shop/elektromery/ze114/>
- [21] K&V *ELEKTRO* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/elektromery-82>
- [22] *Jednofázové statické elektroměry ZE 110*. Trutnov: ZPA Smart energy, 2009.
- [23] Statické elektroměry. *ELEKTRO* [online]. 2002, 2002(04) [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/staticke-elektromery--14924>
- [24] ČESKO. *Nářizení vlády č. 120/2016 Sb.: o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh*. In: . Vláda ČR.
- [25] ČESKO. *Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C022-18*. In: . Český metrologický institut. Dostupné také z: https://www.cmi.cz/global-search?search_api_multi_fulltext=0111-OOP-C022-18
- [26] A-Z ENERGETICKÉ SLUŽBY NA KLÍČ OD PRE. Elektronické statické elektroměry – seznamte se. *Tzbinfo* [online]. 2016 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://elektro.tzbinfo.cz/13933-elektronicke-staticke-elektromery-seznamte-se>
- [27] AVANCINI, Danielly B., Joel J.P.C. RODRIGUES, Simion G.B. MARTINS, Ricardo A.L. RABÊLO, Jalal AL-MUHTADI a Petar SOLIC. Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2019, 217, 702-715 [cit. 2023-05-09]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.229
- [28] LAOREN. *The Last Gasp Outage Notification* [online]. 2019 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://clouglobal.com/the-last-gasp-outage-notification/>
- [29] CORINEX COMMUNICATIONS CORP. *Corinex User Manual: Corinex AMI Single Phase Meter CLMS100 Series*. 2022. Dostupné také z: https://uploads-ssl.webflow.com/62337650701b6fe8296b4d6b/63bdcb297551aab4c30a0c28_Corinex%20CLMS100%20User%20Manual.pdf
- [30] ČESKO. *Vyhláška č. 359/2020 Sb.: o měření elektřiny*. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu.
- [31] *COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN SMART METERING* [online]. WM Systems, 2020 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://m2mserver.com/en/communications-technologies-in-smart-metering/>
- [32] *Smart Metering Connectivity* [online]. Thales [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/industries/energy-utilities/cellular-iot>
- [33] *SMART ELECTRICITY METERING ON CELLULAR* [online]. WM Systems, 2022 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://m2mserver.com/en/smart-electricity-metering-on-cellular/>
- [34] GARCIA, David. *How do smart meters communicate?* [online]. emnify, 2021 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.emnify.com/blog/how-smart-meters-communicate>
- [35] ABRAHAMSEN, Fredrik Ege, Yun AI a Michael CHEFFENA. Communication Technologies for Smart Grid: A Comprehensive Survey. *Sensors* [online]. 2021, 21(23) [cit. 2023-05-09]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21238087
- [36] *What's the Difference Between PLC and RF for Smart-Meter Backhaul?* [online]. Electronic Design, 2014 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/technologies/power/article/21800439/whats-the-difference-between-plc-and-rf-for-smartmeter-backhaul>
- [37] LIPOCAK, Zdravko a Marin BOSKOVIC. Survey of smart metering communication technologies. In: *Eurocon 2013* [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 1391-1400 [cit. 2023-05-09]. ISBN 978-1-4673-2232-4. Dostupné z: doi:10.1109/EUROCON.2013.6625160

- [38] *Smart Meter Security* [online]. PrimeKey [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.primekey.com/solutions/smart-meter-security/>
- [39] ENSOR AG. *ERS801* [online]. [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: https://www.ensor.com/wp-content/uploads/2021/09/eRS801_Datenblatt_web.pdf
- [40] *ROUTER DCUS FOR SMART METERING* [online]. WM Systems, 2021 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://m2mserver.com/en/router-dcus-for-smart-metering/>
- [41] IEEE-519-2022. *IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems*. IEEE, 2022. DOI: 10.1109/IEEESTD.2022.9848440.
- [42] Přehled distribučních sazeb elektriny. *Peníze* [online]. ČEZ [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/vsechny-clanky/prehled-distribucnich-sazeb-elektriny-93426>
- [43] ERÚ. *ANALYTICKÁ ČÁST legislativní a strategická východiska, nové trendy a technologie* [online]. 2022, 32 s. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/navrh-koncepce-propojeni-noveho-designu-trhu-v-elektroenergetice-s-pozadavky-na-zmeny-v-cenach>
- [44] VAŠÍČEK, Jiří Ceny a tarify. Prezentace prezentována v: [4. přednáška kurzu B1B16UEE1, ČVUT; 2022 Október 10 Praha; Česká republika.]
- [45] ERÚ. *KONCEPCE PROPOJENÍ NOVÉHO DESIGNU TRHU V ELEKTROENERGETICE S POŽADAVKY NA ZMĚNU V REGULOVANÝCH CENÁCH A TARIFECH NÁVRH* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2022, 33 s. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/navrh-koncepce-propojeni-noveho-designu-trhu-v-elektroenergetice-s-pozadavky-na-zmeny-v-cenach>
- [46] SVAZ MODERNÍ ENERGETIKY. ERÚ. *Vyhodnocení zahraničních zkušeností s inovací tarifní struktury v zemích EU a analýza jejich přenositelnosti do prostředí ČR* [online]. 2022, 68 s. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/tirderu104-komplexni-inovace-tarifni-struktury-v-elektroenergetice>
- [47] ERÚ *ZAHÁJIL VEŘEJNÉ KONZULTACE KE ZMĚNÁM V TARIFECH* [online]. Energetický regulační úřad, 2022 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/eru-zahajil-verejne-konzultace-ke-zmenam-v-tarifech>
- [48] POTOČÁR, Radovan. Pripojili rekordne veľa fotovoltiky. Distribučná spoločnosť bilancuje. *ENERGIE-PORTAL.SK* [online]. 2023 [cit. 2023-05-09]. ISSN ISSN 1338-5933. Dostupné z: <https://www.energie-portal.sk/Dokument/solarne-elektrarne-cez-distribuce-pripojenie-108777.aspx?fbclid=IwAR35ooS6Mfy2F2or4J5DF0TrZQ37-J308E7NWDWvqBeJxrNJHY8wXcqcbTo>
- [49] *Report on Distribution Tariff Methodologies in Europe* [online]. ACER, 2021. Dostupné také z: <https://documents.acer.europa.eu/Media/News/Pages/ACER-reports-on-electricity-distribution-tariff-methodologies-in-Europe-and-recommends-how-to-improve-them.aspx>
- [50] DUTTA, Goutam, MITRA, Krishnendranath. *A literature review on dynamic pricing of electricity*. India, 2016. doi 10.1057/s41274-016-0149-4. Žurnál. Indian Institute of Management, 1 Department of Production and Quantitative Methods; University of Calcutta, Department of Business Management.
- [51] SLÁVIK, Jakub, Martin HOLIŠ, Ján PONIČAN a Matej SADLOŇ. *Tri piliere Smart Grid* [online]. In: . s. 5 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://ice-rise.sk/media/c30f3jnz/atp-journal-tri-piliere-smart-grid-sl%C3%A1vik-holi%C5%A1-poni%C4%8Dan-sadlo%C5%88.pdf>
- [52] KROUPA, Jan. Umožní dynamické tarify revoluci ve spotřebě elektriny?. *Energie21* [online]. 2017 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://energie21.cz/umozni-dynamicke-tarify-revoluci-ve-spotrebe-elektriny/>

- [53] Evropská komise, Generální ředitelství pro energetiku, Boeve, S., Cherkasky, J., Bons, M., et al., *ASSET study on dynamic retail electricity prices*, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/87875>
- [54] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2019/944*. In: . Evropský parlament. 32019L0944. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1646921241870&uri=CELEX%3A32019L0944>
- [55] *Ekonomické posouzení všech dlouhodobých přínosů a nákladů pro trh a jednotlivé zákazníky při zavedení inteligentních měřicích systémů v elektroenergetice ČR* [Online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 58 s. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/ekonomicke-posouzeni-prinosu-a-nakladu-pri-zavedeni-inteligentnich-mericich-systemu-v-elektroenergetice-a-plynarenstvi--221579/>
- [56] *HROMADNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ (HDO)* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/spinani-hdo>
- [57] *FMX590* [online]. ZPA Smart Energy [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.zpa.cz/e-shop/hdo/fmx590/>
- [58] *EEX-PXE Czech Power Futures* [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://pxe.cz/cs/derivatovy-trh/elektrina>
- [59] *ZÁSADY CENOVÉ REGULACE PRO REGULAČNÍ OBDOBÍ 2021-2025 PRO ODVĚTVÍ ELEKTROENERGETIKY, PLYNÁRENSTVÍ, PRO ČINNOSTI OPERÁTORA TRHU V ELEKTROENERGETICE A PLYNÁRENSTVÍ A PRO POVINNÉ VYKUPUJÍCÍ*. Energetický regulační úřad, 2020. Dostupné také z: <https://www.eru.cz/zasady-cenove-regulace-pro-regulacni-obdobi-2021-2025-pro-odvetvi-elektroenergetiky-plynarenstvi>
- [60] *Mzdová sféra ČR - rok 2022* [online]. Ministerstvo práce a sociálních věcí ČR, 2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Aktualni.aspx>

Zoznam použitých skratiek

SG	Smart Grid
HDO	Hromadné diaľkové ovládanie
AMM	Automated Meter Management
RCF	Ekvivalentný peňažný tok
THD	Total Harmonic Distortion
OM	Odborné miesto
PWM	Pulse Width Modulation
PLC	Power Line Communication
OBIS	Object Identification System
WAN	Wide Area Network
HAN	Home Area Network
NAN	Neighborhood Area Network
P2P	Peer-to-peer
DCU	Data Concentrator unit
HES	Head End System
TOU	Time-of-Use
VT	Vysoká tarifa
NT	Nízka tarifa
ERÚ	Energetický regulačný úrad
EV	Elektrické vozidlo
FVE	Fotovoltaická elektrárň
ES	Energetické spoločenstvo
RTP	Real time pricing
dTOU	Dynamic Time-of-Use
VPP	Variable Peak Pricing
CPP	Critical Peak Pricing
NPV	Čistá súčasná hodnota
MPO	Ministerstvo priemyslu a obchodu
PXE	Power Exchange Central Europe, a.s.
WACC	Vážený priemer nákladov kapitálu

Zoznam obrázkov

Obrázok 2-1 - Prvý elektromer [3].....	13
Obrázok 2-2 - Motorický elektromer [7]	14
Obrázok 3-1 - Indukčný elektromer Actaris	15
Obrázok 3-2 - Teoretický princíp indukčného elektromera.....	16
Obrázok 3-3 - Fázorový diagram indukčného elektromera	18
Obrázok 3-4 - Skúšanie indukčných elektromerov	22
Obrázok 4-1 - Statický elektromer ZPA AM363.D.0E	23
Obrázok 4-2 - Bloková schéma princípu činnosti statického analógového elektromera.....	24
Obrázok 4-3 - Bloková schéma princípu činnosti statického digitálneho elektromera	25
Obrázok 4-4 - Skúšanie statických elektromerov	28
Obrázok 5-1 - Smart elektromer Ensor eRS801	29
Obrázok 5-2 - Smart elektromer Landis+Gyr E450.....	30
Obrázok 5-3 - LTE moduly Ensor a Semax.....	34
Obrázok 5-4 - Koncentrátor Landis+Gyr DC250	35
Obrázok 5-5 - Gateway PPC (BPL).....	35
Obrázok 6-1 - Schéma zapojenia analyzátora výkonu.....	37
Obrázok 8-1 - HDO prijímač [57].....	47

Zoznam grafov

Graf 6-1 - UTHD okamžitá hodnota (ČVUT)	37
Graf 6-2 - UTHD kľzavý priemer (ČVUT).....	38
Graf 6-3 - UTHD okamžitá hodnota (Vrchlického ulica - sobota).....	38
Graf 6-4 - UTHD kľzavý priemer (Vrchlického ulica - sobota)	39
Graf 6-5 - UTHD okamžitá hodnota (Vrchlického ulica - streda).....	39
Graf 6-6 - UTHD kľzavý priemer (Vrchlického ulica - streda)	40
Graf 8-1 - Vývoj WACC pre distribúciu elektriny [59].....	52
Graf 8-2 - Vplyv ceny elektriny na RCF.....	54
Graf 8-3 - Vplyv ceny elektromera na RCF.....	54

Zoznam tabuliek

Tabuľka 5-1 - Funkčné požiadavky meraní typov skupiny C.....	31
Tabuľka 6-1 - Výsledky merania UTHD	40
Tabuľka 7-1 - Prehľad fixných tarifových sadzieb v Českej republike	42
Tabuľka 8-1 - Ceny futures na PXE ku dňu 28.4.2023 [58].....	51
Tabuľka 8-2 - Výsledné RCF investícií	52
Tabuľka 8-3 - Vplyv WACC na RCF	53

Príloha 1 – Výpočet NPV pre AMM

AMM													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CF PREVÁDZKOVÉ	0	227 349	226 806	226 298	225 831	215 401	255 705	296 391	337 464	378 931	387 190	395 697	404 460
Náklady	0	388 640	606 866	826 178	1 046 585	1 147 773	983 327	818 308	652 723	486 581	496 778	507 281	518 099
Náklady na SIM karty pre koncentrátoxy	0	40	80	120	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Prevádzkové náklady	0	172 320	177 490	182 814	188 299	193 948	199 766	205 759	211 932	218 290	224 839	231 584	238 531
Vlastná spotreba Smart metra	0	11 836	23 671	35 507	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342
Vlastná spotreba Koncentratora	0	161	323	484	646	646	646	646	646	646	646	646	646
Náklady na materiál pre údržbu infraštruktúry	0	96 000	98 880	101 846	104 902	108 049	111 290	114 629	118 068	121 610	125 258	129 016	132 886
Náklady na spravovanie dátového centra	0	20 833	41 667	62 500	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333	83 333
Odpisy	0	87 450	264 756	442 907	621 903	714 295	540 790	366 439	191 242	15 200	15 200	15 200	15 200
Odpisy	0	-87 450	-264 756	-442 907	-621 903	-714 295	-540 790	-366 439	-191 242	-15 200	-15 200	-15 200	-15 200
Daň	0	-73 842	-115 304	-156 974	-198 851	-218 077	-186 832	-155 478	-124 017	-92 450	-94 388	-96 383	-98 439
CF INVESTIČNÉ	494 000	798 800	802 600	806 400	316 200	15 200	15 200	15 200	15 200	15 200	15 200	15 200	15 200
Cena elektromerov	460 000	460 000	460 000	460 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cena koncentrátorov	34 000	34 000	34 000	34 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Náklady na montáž elektromerov	0	100 500	101 000	101 500	102 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Náklady na montáž koncentrátorov	0	1 000	1 000	1 000	1 000	0	0	0	0	0	0	0	0
Náklady na demontáž stávajúcich elm	0	201 000	202 000	203 000	204 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Náklady na údržbu meracích zariadení	0	2 300	4 600	6 900	9 200	9 200	9 200	9 200	9 200	9 200	9 200	9 200	9 200
CF	494 000	1 026 149	1 029 406	1 032 698	542 031	230 601	270 905	311 591	352 664	394 131	402 390	410 897	419 660

Príloha 2 – Výpočet NPV pre HDO (12 rokov)

	HDO												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CF PREVÁDZKOVÉ	0	217 398	198 834	180 287	161 761	145 859	193 712	241 899	290 424	339 293	346 237	353 390	360 758
Náklady	0	404 195	656 443	909 673	1 163 891	1 286 508	1 074 740	862 423	649 561	436 164	444 738	453 568	462 664
Náklady na HDO vysielateľ	0	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000
Náklady na riadiaci systém	0	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Prevádzkové náklady na riadiaci systém	0	2 000	2 060	2 122	2 185	2 251	2 319	2 388	2 460	2 534	2 610	2 688	2 768
Prevádzkové náklady	0	143 600	147 908	152 345	156 916	161 623	166 472	171 466	176 610	181 908	187 365	192 986	198 776
Vlastná spotreba elektrómera	0	11 836	23 671	35 507	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342
Vlastná spotreba HDO prijímača	0	10 760	21 519	32 279	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038
Náklady na materiál pre údržbu infraštruktúry	0	80 000	82 400	84 872	87 418	90 041	92 742	95 524	98 390	101 342	104 382	107 513	110 739
Štatistická skúška													
Odpisy	0	110 000	332 885	556 549	780 991	896 213	676 828	456 664	235 721	14 000	14 000	14 000	14 000
Odpisy		-110 000	-332 885	-556 549	-780 991	-896 213	-676 828	-456 664	-235 721	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000
Daň	0	-76 797	-124 724	-172 838	-221 139	-244 437	-204 201	-163 860	-123 417	-82 871	-84 500	-86 178	-87 906
CF INVESTIČNÉ	600 000	1 003 500	1 007 000	1 010 500	414 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000
Cena elektrómerov	400 000	400 000	400 000	400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cena prijímačov HDO	200 000	200 000	200 000	200 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Náklady na montáž elektrómerov	0	100 500	101 000	101 500	102 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Náklady na montáž prijímačov HDO	0	100 000	100 000	100 000	100 000	0	0	0	0	0	0	0	0
Náklady za demontáž stávajúcich elm	0	201 000	202 000	203 000	204 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Náklady na údržbu meracích zariadení	0	2 000	4 000	6 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
CF	600 000	1 220 898	1 205 834	1 190 787	575 761	159 859	207 712	255 899	304 424	353 293	360 237	367 390	374 758

Príloha 3 – Výpočet NPV pre HDO (16 rokov)

		HDO - štatistická skúška																
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CF PREVÁDZKOVÉ		0	217 398	198 834	180 287	161 761	145 859	193 712	241 899	290 424	339 293	346 237	353 390	360 758	373 206	381 022	389 073	397 365
Náklady		0	404 195	656 443	909 673	1 163 891	1 286 508	1 074 740	862 423	649 561	436 164	444 738	453 568	462 664	478 032	487 682	497 621	507 858
Náklady na HDO vysielač	0	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000	36 000
Náklady na riadiaci systém	0	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Prevádzkové náklady na riadiaci systém	0	2 000	2 060	2 122	2 185	2 251	2 319	2 388	2 460	2 534	2 610	2 688	2 768	2 852	2 937	3 025	3 116	3 116
Prevádzkové náklady	0	143 600	147 908	152 345	156 916	161 623	166 472	171 466	176 610	181 908	187 365	192 986	198 776	204 739	210 881	217 208	223 724	223 724
Vlastná spotreba elektromera	0	11 836	23 671	35 507	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342	47 342
Vlastná spotreba HDO prijímača	0	10 760	21 519	32 279	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038	43 038
Náklady na materiál pre údržbu infraštruktúry	0	80 000	82 400	84 872	87 418	90 041	92 742	95 524	98 390	101 342	104 382	107 513	110 739	114 061	117 483	121 007	124 637	124 637
Štatistická skúška																		
Odpisy	0	110 000	332 885	556 549	780 991	896 213	676 828	456 664	235 721	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000
Odpisy		-110 000	-332 885	-556 549	-780 991	-896 213	-676 828	-456 664	-235 721	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000	-14 000
Daň	0	-76 797	-124 724	-172 838	-221 139	-244 437	-204 201	-163 860	-123 417	-82 871	-84 500	-86 178	-87 906	-90 826	-92 660	-94 548	-96 493	-96 493
CF INVESTIČNÉ		600 000	1 003 500	1 007 000	1 010 500	414 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000
Cena elektromerov	400 000	400 000	400 000	400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cena prijímačov HDO	200 000	200 000	200 000	200 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Náklady na montáž elektromerov	0	100 500	101 000	101 500	102 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Náklady na montáž prijímačov HDO	0	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Náklady za demontáž stávajúcích elm	0	201 000	202 000	203 000	204 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Náklady na údržbu meracích zariadení	0	2 000	4 000	6 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
CF		600 000	1 220 898	1 205 834	1 190 787	575 761	159 859	207 712	255 899	304 424	353 293	360 237	367 390	374 758	387 206	395 022	403 073	411 365