



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍDICÍ SYSTÉM PRO REGULACI

ČTVRTHODINOVÉHO MAXIMA ELEKTRICKÉ

ENERGIE

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF QUARTER-HOUR MAXIMUM CONTROLLER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Žiačik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Martin Žiačik

ID: 211194

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém pro regulaci čtvrt hodinového maxima elektrické energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište základní problematiku čtvrt hodinového maxima. Seznamte se se základními optimalizačními algoritmy a jejich principy.
2. Proveďte průzkum komerčně vyráběných regulátorů, srovnajte jejich výhody/nevýhody vůči regulátoru realizovanému pomocí PLC
3. Popište principy elektroměrů, seznamte se s OBIS kódy a komunikačním interface ELM (IEC62056-21, IEC62056-46, ModBus, MBus...).
4. Navrhněte vhodné algoritmy pro regulaci technického maxima v PLC. Zaměřte se zejména na možnost řízení baterií, WallBoxů pro nabíjení EV a používání obnovitelných zdrojů (např. FVE).
5. Sestavte soubor modelů, algoritmů a pokynů, které budou sloužit pro implementaci softwarové knihovny pro PLC.
6. Navržené algoritmy otestujte ve vhodném testovacím prostředí (např. ILOG CPLEX Optimization Studio, Simulink apod.)

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Monitoring čtvrt hodinového maxima - Miroslav Tměj, dostupné online

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa venuje problematike regulácie štvrťhodinového maxima aplikovanej v priemyselnom PLC. Hodnota štvrťhodinového maxima výrazne ovplyvňuje mesačné platby odberateľa, preto je správne nastavenie tejto hodnoty veľmi dôležitým predpokladom úspor. Aby nedochádzalo k nechcenému prekročovaniu nastaveného štvrťhodinového maxima a následnej penalizácií, veľkoodberatelia svoju spotrebu vhodne regulujú. V teoretickej časti práce je vykonaný rozbor problematiky so zameraním na elektromery a ich rôzne komunikačné možnosti vhodné na pripojenie k PLC. V ďalších kapitolách teoretický rozbor pokračuje úvodom do problematiky nasadzovania batériových systémov a OZE v súvislosti s reguláciou štvrťhodinových maxím. Hlavným prínosom tejto bakalárskej práce je zadefinovanie požiadaviek na reguláciu a samotný rámcový návrh algoritmu regulácie štvrťhodinových maxím, ktorý disponuje aj možnosťou využitia batériových systémov a OZE.

Kľúčové slová

Štvrťhodinové maximum, Regulácia štvrťhodinového maxima, Elektromery, Komunikačné protokoly, PLC, Matlab

Abstract

This bachelor thesis deals with the issue of regulation of the quarter - hour maximum applied in an industrial PLC. The value of the quarter-hour maximum significantly affects the customer's monthly payments, so the correct setting of this value is a very important prerequisite for savings. In order to avoid unintentional exceeding of the set quarter-hour maximum and subsequent penalties, large customers regulate their consumption appropriately. In the theoretical part of the thesis is an analysis of the problem with a focus on electricity meters and their various communication options suitable for connection to a PLC. Next, in the following chapters, the theoretical analysis continues with an introduction of battery systems and OZE regarding the regulation of quarter-hour highs. The main contribution of this bachelor's thesis is the definition of requirements for regulation and the base design of the algorithm for regulating quarter-hour maximum, which also disposes the possibility of using battery systems and OZE.

Keywords

Quarter-Hour Maximum, Quarter-Hour Maximum Controller, Electrometer, Communication protocols, PLC, Matlab

Bibliografická citácia:

ŽIAČIK, Martin. Řídicí systém pro regulaci čtvrt hodinového maxima elektrické energie. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134758>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Václav Kaczmarczyk.

Prehlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko študenta: Martin Žiačik
VUT ID študenta: 211194
Typ práce: Bakalárska práca
Akademický rok: 2020/21

Téma záverečnej práce:
Riadiaci systém pro reguláciu štvrt' hodinového maxima elektrickej energie.

Prehlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho záverečnej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích osobných autorských práv a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení druhej časti, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.

V Púchove dňa: 10. mája 2021

podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D. a konzultantovi bakalárskej práce Ing. Peter Žiačik, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovávaní mojej bakalárskej práce.

V Púchove dňa: 10. mája 2021

podpis autora

Obsah

1. ELEKTRICKÁ ENERGIA	11
1.1 VÝROBA A SPOTREBA ELEKTRICKEJ ENERGIE	11
1.2 PRÍČINY SLEDOVANIA 1/4 HODINOVÉHO MAXIMA	12
2. MERANIE SPOTREBY ELEKTRICKEJ ENERGIE	14
2.1 TEORETICKÁ ANALÝZA MERANIA ELEKTRICKEJ ENERGIE	14
2.2 ELEKTROMER - JEHO PRINCÍP A POUŽITIE	15
2.2.1 Indukčný elektromer	16
2.2.2 Digitálny elektromer	17
2.2.3 Inteligentný elektromer	18
2.3 SPÔSOBY ZAPOJENIA ELEKTROMERA	19
2.3.1 Priame meranie	19
2.3.2 Polopriame meranie	20
2.3.3 Nepriame meranie	20
2.4 ZBER MERANÝCH DÁT Z ELEKTROMERA	21
2.4.1 OBIS kódy	22
2.5 KOMUNIKAČNÉ PROTOKOLY PRE ZBER DÁT	22
2.5.1 Komunikačný protokol IEC62056-21	23
2.5.2 Komunikačný protokol DLMS/COSEM	25
2.5.3 Komunikačný protokol MODBUS	27
2.5.4 Komunikačný protokol M-Bus	30
3. ALGORITMY REGULÁCIE ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA	33
3.1 PRINCÍPY REGULÁCIE ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA	33
3.1.1 Hladinový režim riadenia	33
3.1.2 Kompenzačný režim riadenia	34
3.1.3 Prediktívny režim riadenia	34
4. REGULÁCIA ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA APLIKOVANÁ V PRIEMYSLE	36
4.1 HARDVÉROVÉ ZARIADENIA PRE REGULÁCIU 1/4 HODINOVÉHO MAXIMA	36
4.1.1 Modulové PLC regulátory	36
4.1.2 Systémové regulátory v priemyselnej energetike	37
4.2 KOMUNIKAČNÉ PROTOKOLY PRE ZBER DÁT APLIKOVANÉ V ENERGETICKÝCH SYSTÉMOCH	38
4.3 REGULÁCIA ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA V PLC	42
4.3.1 Komunikačný protokol IEC62056-21 v PLC AMiT	42
4.3.2 SW knižnica pre reguláciu štvrťhodinového maxima	42
4.4 HW A SW POŽIADAVKY NA REGULÁTOR ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA ELEKTRICKEJ ENERGIE S VYUŽITÍM PLC	43
5. REGULÁCIA ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA V ENERGETICKÝCH SYSTÉMOCH S OZE	45
5.1 OZE - FOTOVOLTAIKA A JEJ KOMPONENTY	45
5.1.1 FVE - základné princípy	45
5.2 BATÉRIOVÉ SYSTÉMY	47
5.3 KONKRÉTNE PRÍKLADY PRE VYUŽITIE BATÉRIOVÉHO ÚLOŽISKA V ENERGETIKE	48

5.3.1	<i>Kompenzácia výkonových špičiek (Peak-Shaving)</i>	48
5.3.2	<i>Presun spotreby v čase (Peak-Shifting)</i>	50
5.3.3	<i>Regulácia frekvencie</i>	51
5.3.4	<i>Umelá záloha</i>	52
5.3.5	<i>Kompenzácia výkonových špičiek pre zdroje s kolísavým výkonom</i>	53
5.4	VÝBER AKUMULAČNEJ TECHNOLOGIE	53
6.	MODEL REGULÁCIE ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA S OZE A VYUŽITÍM BATÉRIOVÉHO SYSTÉMU	55
6.1	NÁVRH MODELU.....	55
6.2	PRINCÍP RIADIACEJ LOGIKY MODELU	56
6.2.1	<i>Vstupné parametre modelu</i>	58
6.2.2	<i>Vývojový diagram algoritmu regulácie</i>	59
6.3	VALIDÁCIA RIADIACEJ LOGIKY MODELU	63
6.3.1	<i>Simulačné scenáre</i>	63
6.3.2	<i>Zhrnutie simulačných scenárov</i>	68
7.	ZÁVER	69

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1-1:	Usporiadanie elektrizačnej sústavy [5].....	12
Obr. 2-1:	Zobrazenie jednotlivých zložiek elektrického výkonu v komplexnej rovine	15
Obr. 2-2:	Indukčný elektromer od výrobcu Křižík [8].....	16
Obr. 2-3:	Elektromer LZQJ pre veľkoodberateľov umožňujúci priebehové meranie [11]	18
Obr. 2-4:	Štruktúra dátových rámcov protokolu IEC62056-21. [16].....	25
Obr. 2-5:	DLMS/COSEM na modeli OSI/ISO [18].....	26
Obr. 2-6:	Štruktúra prenosových rámcov protokolu HDLC [20].....	27
Obr. 2-7:	Dátové rámce protokolu MODBUS [22]	28
Obr. 2-8:	Formát rámca M-Bus triedy FT 1.2 [24]	31
Obr. 3-1:	Kompenzačný režim riadenia regulácie štvrťhodinového maxima [27].....	34
Obr. 3-2:	Prediktívny režim riadenia regulácie štvrťhodinového maxima [27]	35
Obr. 4-1:	Meranie štvrťhodinového maxima priemyselnej výroby	38
Obr. 4-2:	Procesy systému D2000 [31].....	39
Obr. 4-3:	Parametrizácia linky komunikačného protokolu IEC62056-21 na pripojený elektromer	39
Obr. 4-4:	Prehľad natívne podporovaných komunikačných protokolov systému D2000	40
Obr. 4-5:	Editácia parametrov komunikačného protokolu IEC62056-21	40
Obr. 4-6:	Adresácia odkomunikovaného OBIS kódu (meraného bodu)	41
Obr. 4-7:	Runtime komunikačného procesu, aktuálne hodnoty meraných bodov	41
Obr. 5-1:	Principiálna schéma zapojenia FVE	46
Obr. 5-2:	Principiálna schéma zapojenia batériového úložiska	47
Obr. 5-3:	Grafická zjednodušená predstava diagramu spotreby el. energie s/bez Peak-Shaving [34]	49
Obr. 5-4:	Diagram odberu s technológiou Peak-Shaving [35].....	50
Obr. 5-5:	Princíp presunu spotreby v čase [35]	51
Obr. 5-6:	Princíp aplikácie udržiavanie frekvencie v ES [35]	52
Obr. 5-7:	Princíp aplikácie umelej zálohy batériovým systémom [35].....	52
Obr. 5-8:	Aplikácia vyhladenia výroby zdrojov s kolísavým výkonom [35].....	53

Obr. 6-1: Návrh zapojenia modelovej situácie.....	56
Obr. 6-2: Regulačné oblasti navrhnutého algoritmu	57
Obr. 6-3: Vývojový diagram algoritmu – časť určenia regulačnej oblasti.....	59
Obr. 6-4: Vývojový diagram algoritmu – časť nabíjania batérie	61
Obr. 6-5: Vývojový diagram algoritmu – časť vybíjania batérie	62
Obr. 6-6: Vývojový diagram algoritmu – časť odpájania spotrebičov.....	62
Obr. 6-7: Graf priebehu reálneho výkonu (elektromer) v čase pre simulačný scenár č. 1	64
Obr. 6-8: Regulácia štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 1	65
Obr. 6-9: Režimy regulácie štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 1.....	65
Obr. 6-10: Graf priebehu reálneho výkonu (elektromer) v čase pre simulačný scenár č. 2	66
Obr. 6-11: Regulácia štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 2	67
Obr. 6-12: Režimy regulácie štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 2.....	67

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 3-1: Prehľad druhov merania podľa výšky rezervovanej kapacity [12]	20
Tabuľka 3-2: Vysvetlivky obsahu rámcov [15]	25
Tabuľka 3-3: Tabuľka príkladov funkčných kódov protokolu MODBUS [23]	29

ÚVOD

Výroba a predaj elektrickej energie je charakteristická nerovnomernosťou v čase a v tejto súvislosti vzniká potreba riešiť problematiku nerovnomerných odberov. Výkonové špičky v odbere elektrickej energie majú zväčša krátke trvanie, ale značne predražujú prevádzku elektrickej siete práve tým, že celá prenosová a distribučná sústava, ako aj výrobné zariadenia musia byť pre tieto energetické špičky nadimenzované.

Všeobecne platí, že okamžitý odber musí zodpovedať okamžitému vyrábanému výkonu v elektrárnach. Z tohto dôvodu výrazné zmeny v množstve aktuálne spotrebovanej energie musia zákonite viesť aj k zmenám vo výrobe. To je problém hlavne pre pásmové elektrárne, ktoré pokrývajú základný odber. Tieto elektrárne nie je možné okamžite spustiť alebo zastaviť, ani razantne meniť ich výkon. Aby sa problémy, ktoré vyplývajú z nerovnomernosti odberu eliminovali v čo najväčšej miere, je nevyhnutné optimálne nastaviť podmienky odberu elektrickej energie. Medzi nástroje na zrovnomenenie odberu patrí okrem iných aj štvrťhodinové maximum, ktorému sa venuje táto práca.

Každý veľkoodberateľ, ktorý má odberné miesto vybavené priebehovým meraním, má stanovené okrem mesačnej spotreby aj štvrťhodinové maximum. Monitoring štvrťhodinového maxima veľkoodberateľa núti, aby svoj odber v čase rozložil tak, aby toto maximum neprekročil. Toho dosahuje buď vhodne zvolenou reguláciou odberu, alebo správnym rozvrhnutím technológie výroby tak, aby nedochádzalo k veľkým odberom naraz. Pretože hodnota štvrťhodinového maxima výrazne ovplyvňuje platby odberateľa, je správne nastavenie tejto hodnoty veľmi dôležité. Toto nastavenie musí byť kompromisom medzi tým, aby nedochádzalo k prekračovaniu maxima a tým, aby nemusela byť zazmluvnená zbytočne veľká nevyužitá rezerva. Preto účelná regulácia štvrťhodinového maxima je z dlhodobého hľadiska veľmi zaujímavá investícia.

Táto bakalárska práca skúma problematiku regulácie štvrťhodinového maxima implementovanú v priemyselnom PLC. Výhodou použitia PLC oproti komerčným regulátorom štvrťhodinového maxima je hlavne možnosť začleniť do riadenia výrobného procesu aj samotnú reguláciu odberu. V prvých kapitolách práce sú detailne popísané elektromery a ich rôzne komunikačné možnosti použiteľné na pripojenie k PLC. Práve funkčná komunikácia s elektromerom je nutným predpokladom na spoľahlivú reguláciu štvrťhodinového maxima. Ďalej sa práca zaoberá krátkym prehľadom komerčne vyrábaných regulátorov štvrťhodinového maxima, čo slúži ako podklad na definovanie požiadaviek, aké by mal navrhnutý algoritmus regulácie v PLC spĺňať. Hlavným prínosom tejto bakalárskej práce je rámcový návrh algoritmu pre reguláciu štvrťhodinového maxima, ktorý disponuje aj možnosťou využitia batériových systémov a OZE pre regulačný systém štvrťhodinových maxím. Návrh algoritmu je realizovaný a odsimulovaný v prostredí MATLAB/SIMULINK.

1. ELEKTRICKÁ ENERGIA

V živote človeka zohrávajú kľúčovú úlohu rôzne typy energií, od mechanickej energie, tepelnej, svetelnej až po energiu elektrickú. Elektrická energia sa za posledných sto rokov stala neoddeliteľnou súčasťou ľudských životov a jej dôležitosť v civilizovanom svete stále rastie. Elektrická energia nie je v prírode priamo dostupná vo využiteľnej forme, jej vznik je podmienený viacstupňovou premenou iných prírodných druhov energie. Takýmto prírodným zdrojom môže byť napríklad slnko, vietor, jadrové štepne reakcie alebo geofyzikálne teplo. Ide o čistú formu energie, nakoľko jej spotrebovávanie nemá negatívne ekologické dopady na životné prostredie. Vďaka pomerne jednoduchému prenosu aj na veľké vzdialenosti a možnosťou premeny na iné typy energií sa elektrická energia radí medzi najušľachtilejšie formy energie. [1]

1.1 Výroba a spotreba elektrickej energie

Pre vývoj výroby elektrickej energie bol kľúčový historický medzník vynález dynamy (Siemens, 1866). Práve tento vynález odštartoval veľký rozmach vo výstavbe prvých elektrární a tým pomohol v rozvoji elektrifikácie v 19. storočí. V tomto období ešte nebolo jasné, či je budúcnosť v striedavých, alebo jednosmerných rozvodoch. Tento konflikt bol dobovo nazývaný ako „vojna prúdov“. Vynález asynchrónneho motora (Nikola Tesla, 1889) a transformátoru (Nikola Tesla, 1891) zvýhodňoval v tomto konflikte striedavý prúd. Striedavé rozvody sa od konca 19. storočia stali štandardom a možnosť transformovať striedavé napätie do vyšších hladín umožnilo prenos elektrickej energie aj na väčšie vzdialenosti. [1]

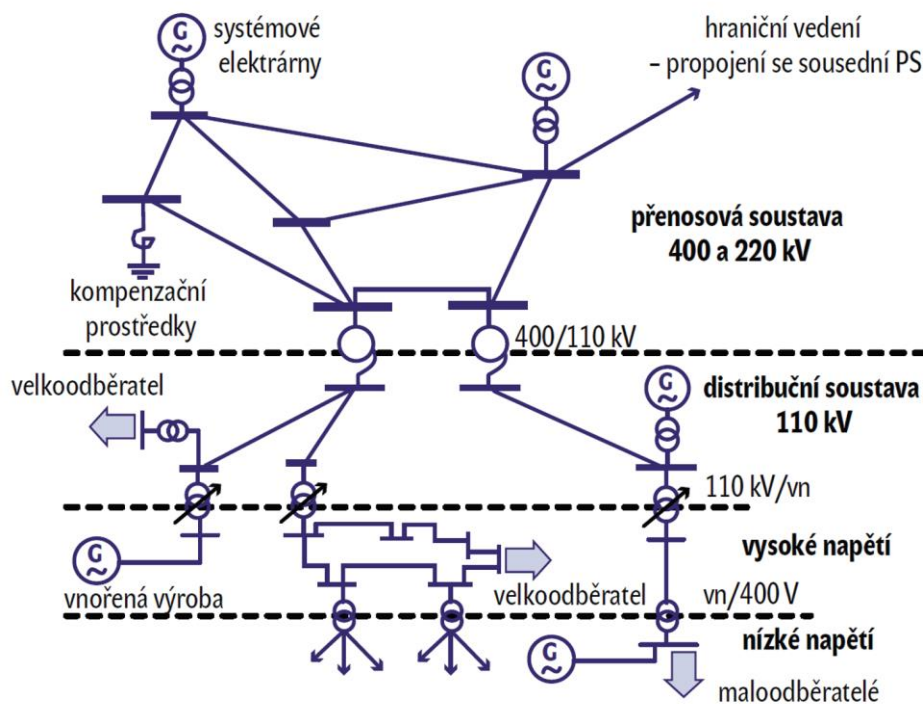
Výroba elektrickej energie sa z priestorového hľadiska delí na centralizovanú a rozptýlenú. Centralizovaná výroba pozostáva z malého počtu zdrojov o veľkom výkone. Výpadok jedného zo zdrojov má veľký vplyv na kvalitatívne parametre elektrickej siete. Pri rozptýlenej výrobe je elektrina vyrábaná priamo v mieste spotreby, čím odpadajú náklady na straty prenosu, avšak nezodpovedá to historickej koncepcii distribučných sústav. Sú to hlavne technické riešenia používajúce primárne prírodné zdroje, napríklad slnečné žiarenie či vietor. Najväčším problémom pri tejto koncepcii býva vysoká cena za 1kW inštalovaného výkonu. [2]

Výroba, prenos a transformácia elektrickej energie spolu s ďalšou obslužnou informačnou a telekomunikačnou technikou tvorí elektrizačnú sústavu. ES sa delí na prenosovú a distribučnú sústavu.

Prenosová sústava, používa sa aj termín nadradená sústava, pozostáva zo vzájomne prepojených elektrických vedení veľmi vysokého napätia a elektroenergetického zariadenia potrebného na prenos elektriny z elektrární do podriadených distribučných sústav. Napäťové hladiny prenosovej sústavy sú 400kV a 220kV. Sústava je strategický majetok v plnom vlastníctve štátu a je prevádzkovaná energetickou spoločnosťou SEPS.

Spoločnosť tiež sprostredkuje obchod s elektrickou energiou so zahraničím a ďalšie podporné služby, vrátane dispečingu. [3]

V podriadenej distribučnej sústave sa najčastejšie používajú napät'ové hladiny 110kV, 22kV a 0,4/0,23 kV. Sú z nej zásobovaní veľkoodberatelia z vyšších napät'ových hladín, alebo maloodberatelia či domácnosti zo siete nízkeho napätia. Súčasťou distribučnej sústavy sú aj meracie, ochranné, riadiace, zabezpečovacie, informačné a telekomunikačné zariadenia potrebné pre chod distribučnej sústavy. Na Slovensku máme tri regionálne distribučné sústavy ZSDis, SSE-D a VSD. Distribučná sústava už nie je vo výlučnom vlastníctve štátu, jej prevádzkovateľom môže byť aj súkromná spoločnosť s povolením na distribúciu elektriny podľa zákona [4]



Obr. 1-1: Usporiadanie elektrizačnej sústavy [5]

1.2 Príčiny sledovania 1/4 hodinového maxima

Takmer všetky ľudské činnosti sú priamo závislé na využívaní elektrickej energie. Dôsledkom toho je, že spotreba elektrickej energie má stále stúpajúci trend vo všetkých vyspelých krajinách. Pretože cena elektrickej energie trvalo rastie, je potrebné venovať pozornosť regulácii množstva odobratej energie a optimalizácii časového priebehu spotreby elektrickej energie. Celkový odber elektrickej energie je výsledkom jej momentálnej spotreby, ktorá je premenlivá v čase. Znalosť časových priebehov spotreby je nutná k nastaveniu správnych optimalizačných zásahov, ktoré budú eliminovať výkonové špičky v sieti, udržiavať konštantný odber a v nadväznosti na to aj kvalitatívne parametre elektrizačnej sústavy.

Cieľom správnej regulácie je, aby výroba elektrickej energie reflektovala na aktuálnu spotrebu, preto je nutné spotrebu trvalo monitorovať a prijatím cielených opatrení vynútiť od zákazníka časovo rovnomerný priebeh spotreby.

Platba za odber elektrickej energie pre veľkoodberateľa (kategória A a B) zahŕňa nielen odobranú elektrickú prácu, ale aj paušálnu platbu za technické a štvrťhodinové výkonové maximum. Tieto paušálne platby odrážajú nerovnomernosť odberu a ich výška je ovplyvniteľná optimalizáciou odberu v čase. Úlohou optimalizácie je zrovnomeniť odber a eliminovať vznik štvrťhodín extrémneho odberu. V praxi to znamená, že zákazník nesmie prekročiť maximálne zmluvne dohodnuté množstvo elektrickej energie, ktoré odoberie počas 15 minútového intervalu. Pri prekročení tohto maxima je odberateľ penalizovaný, čím sa dá podmieniť dodržanie odberového plánu. Doba merania je rozdelená na 15 minútové úseky z toho dôvodu, že veľkoodberateľ väčšinou nedokáže počas tak krátkej doby prudko zvýšiť odber a pritom neprekročiť dohodnuté maximum. Meranie uskutočňuje centrálny elektromer, ktorý zaznamenáva počas mesiaca najvyššiu dosiahnutú úroveň štvrťhodinového maxima. Táto hodnota je potom predmetom mesačnej fakturácie. To znamená, že pre platbu je najdôležitejšia tá štvrťhodina mesiaca, v ktorej bola dosiahnutá najvyššia úroveň tejto hodnoty. Všetky ostatné štvrťhodiny nehrajú pri fakturácii žiadnu rolu a to aj vtedy, keby boli nulové.

Výberom vhodných odberových kategórií sa dosiahne, aby pri minimálnych paušálnych platbách nedochádzalo k obmedzovaniu požadovaných odberov na strane odberateľa. Každý veľkoodberateľ elektrickej energie si môže vybrať jeden z dvoch základných spôsobov vyhodnocovania svojej spotreby podľa želaného odberového plánu. Buď platí za reálne dosiahnutú hodnotu štvrťhodinového maxima, pričom túto hodnotu dopredu nezjednáva (napr. sadzba B4), alebo platí za vopred dojednanú úroveň štvrťhodinového maxima, ktorú sa zaväzuje v danom mesiaci neprekročiť (sadzba B3). Sadzba B3 je vždy cenovo výhodnejšia (cca o 15%), avšak pri jej prekročení je odberateľ výrazne penalizovaný. V prípade dohodnutej sadzby B3 nemá reálne nameraná hodnota štvrťhodinového odberu na platbu vplyv. Konkrétna výška jednotlivých cien je závislá hlavne od veľkosti odberu a ďalších technických parametrov odberového miesta. [6; 7]

2. MERANIE SPOTREBY ELEKTRICKEJ ENERGIE

2.1 Teoretická analýza merania elektrickej energie

Okamžitá hodnota výkonu je definovaná ako:

$$p = u \cdot i \quad (1)$$

Pri dodržaní periodického priebehu napätia a prúdu, platí rovnosť strednej hodnoty okamžitého a činného výkonu:

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \, dt = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u \cdot i \, dt \quad (2)$$

Činný výkon sa rovná reálnej zložke súčinu efektívneho napätia a prúdu. Premenu činného výkonu vzniká v spotrebiči iná užitočná energia. Jednotkou výkonu je watt.

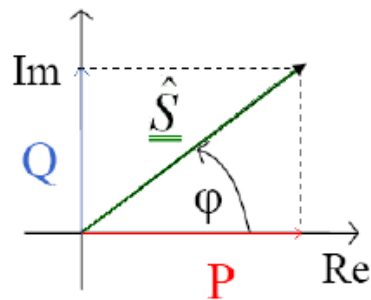
$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad (3)$$

Jalový výkon je výsledkom fázového posunu prúdu a napätia, jeho jednotkou je var. Posun medzi napätím a prúdom vzniká kapacitným alebo induktívnym charakterom záťaže. Nežiadúcim javom jalového výkonu je prietok väčších prúdov elektrizačnou sústavou, výsledkom čoho sú väčšie tepelné straty na vodičoch. Od jalového výkonu sú závislé niektoré sieťové parametre, preto je nevyhnutné ho cielene kompenzovať alebo dodávať tak, aby výroba, prenos a distribúcia bola dostatočne ekonomická.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi) \quad (4)$$

Zdanlivý výkon pozostáva z činného a jalového výkonu. Označuje sa písmenom S, jednotkou je VA. Pri zobrazení v komplexnej rovine Obr. 2-1 je názorne vidieť, že zdanlivý výkon je fázorom činného a jalového výkonu.

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$



Obr. 2-1: Zobrazenie jednotlivých zložiek elektrického výkonu v komplexnej rovine

Integrálom elektrického výkonu v čase dostávame definičný vzťah elektrickej energie. Energiu je teda možné vypočítať, pokiaľ poznáme príkon spotrebiča a dobu jeho prevádzky. Pre meranie elektrickej energie sa najčastejšie používa jednotka kWh. Prevody na prepočítanie jednotiek: $1\text{J} = 1\text{Ws} \Rightarrow 1\text{kWh} = 3\,600\,000\text{J} = 3,6\text{MJ}$.

$$W = \int_0^T P dt \quad (6)$$

2.2 Elektromer - jeho princíp a použitie

Spotreba elektrickej energie u jednotlivého odberateľa – v priemysle alebo domácnosti je individuálna, preto je nutné spotrebu odobratej energie objektívne merať a na základe meraní odberateľovi fakturovať. Správne meranie je dôležité aj pre udržanie kvalitatívnych parametrov elektrizačnej sústavy. Pomocou merania spotreby dokážeme eliminovať špičkové odbery a dodržať stanovené dohody medzi dodávateľom a spotrebiteľom. Elektromer umožňuje meranie činnej – wattodinovej energie, ale aj meranie jalovej – var-hodinovej energie. Elektromery môžu byť jednofázové a trojfázové, môžu mať aj zabudované prístrojové transformátory prúdu a napätia. Z dôvodu vylúčenia manipulácie s časťami elektromera sú niektoré komponenty zaplombované. Moderné elektromery majú viactarifné módy merania spotreby, používajú sa však aj jednotarifné či dvojtarifné elektromery. V minulosti boli časové úseky nízkej a vysokej tarify definované pevne. Súčasťou elektromera boli pevne definované hodiny, ktoré prepínali meracie tarify elektromera. V súčasnosti prepínanie medzi jednotlivými tarifami zabezpečuje hromadné diaľkové ovládanie. Toto ovládanie umožnilo distribútorovi elektrickej energie flexibilnejšie regulovať odberový diagram elektrickej siete. Vysielače HDO prenášajú povely slúžiace k prepínaniu tarifných módov elektromerov, čím ovládajú blokované, priamo výhrevné či akumuláčné spotrebiče v sieti.

Jeden z prvých meracích prístrojov skutočnej spotreby elektrickej energie sa objavil už v r. 1872. Bol to prístroj, ktorého autorom je Samuel Gardiner, a obsahoval len hodiny sériovo zapojené s cievkou elektromagnetu. Zariadenie meralo iba časové trvanie, pokiaľ obvodom pretekal elektrický prúd. Vo vývoji funkčných elektromerov významnú úlohu zohral aj Thomas Alva Edison, ktorý zostrojil prototyp použiteľný iba pre meranie

jednosmerného prúdu. Nameraná hodnota bola výsledkom hmotnostného rozdielu dvoch elektrolytových dosiek, medzi ktorými pretekal spotrebovaný elektrický prúd. Pre jeho zložitosť sa tento elektromer v praxi neosvedčil. Dômyselnejšie zariadenia s oveľa presnejšími možnosťami priniesla až budúcnosť a v stručnosti sú opísané nižšie.

2.2.1 Indukčný elektromer

Neskôr, s nástupom striedavých rozvodov, sa objavili prvé indukčné elektromery, ktorých princíp merania sa používa dodnes. Tieto elektromery nie je možné použiť na jednosmerné merania, pretože jednosmerné prúdy neindukujú napätie, rovnako elektromery nemerajú ani jednosmerné zložky časovo premenných veličín. Indukčné elektromery sa skladajú z hliníkového disku na oske, elektromagnetu, brzdiacich magnetov, napäťovej a prúdovej cievky. Prístroje merajú činný výkon na záťaži vďaka konštrukcii, ktorá umožňuje otáčanie hliníkového disku rýchlosťou úmernou napätiu, prúdu a fázovému posunu. Na výslednej nameranej hodnote sa podieľa aj účinník. Dôsledkom pôsobenia vírivých prúdov, ktoré vznikajú ako produkt zmien magnetického toku v okolí disku, je otáčavý pohyb disku. Zdrojom magnetického toku je elektromagnet s navinutými cievkami napäťovou a prúdovou. Kalibráciou fázového posunu medzi napätím na napäťových cievkach voči napätiu na cievkach prúdových, sa pri dodržaní jednotkového účinníku dosahuje najväčší točivý moment. Brzdiaci magnet vytvára potrebné magnetické účinky, ktoré eliminujú prípadné nepresnosti spôsobené zotrvačnosťou hliníkového disku. Súčasťou elektromera je aj mechanické počítadlo spojené príslušným prevodom s rotujúcim diskom tak, aby hodnota na počítadle odpovedala spotrebe energie v kWh. Veľkou výhodou indukčných elektromerov je cenová dostupnosť a schopnosť pracovať bez údržby niekoľko desiatok rokov. Medzi nevýhody patrí frekvenčná závislosť prístroja, ktorá sa prejavuje hlavne v obvodoch s neharmonickými napätiami a prúdmi. [8]



Obr. 2-2: Indukčný elektromer od výrobcu Křižík [8]

2.2.2 Digitálny elektromer

Tento druh elektromera obsahuje iba elektronické súčiastky, nakoľko všetky pohyblivé časti, ktoré mohli byť potencionálnym predmetom neodborných zásahov a nepresností, boli vylúčené. Práve pre neprítomnosť pohyblivých komponentov sa nazýva tiež statický elektromer.

Princíp merania digitálnym elektromerom je založený na meraní hodnôt napätia a prúdu. Zisťované hodnoty napätia a prúdu je potrebné vhodným spôsobom transformovať na ich nízkonapäťovú reprezentáciu. Za týmto účelom sa používa okrem iného odporový delič, transformátor či bočník. Meranie prebieha prostredníctvom jednoúčelových elektronických obvodov za pomoci digitálneho spracovania veličín. Princíp merania spočíva vo vzorkovaní vstupného napätia a prúdu pomocou A/D prevodníka. Perióda vzorkovania cca 0.5 milisekundy zabezpečuje dostatok digitalizovaných hodnôt. Zisťovaná veličina elektrického výkonu vzniká ako výsledok digitálneho násobenia okamžitých navzorkovaných hodnôt. Integráciou tohto súčinu sú také impulzy, ktorých frekvencia je úmerná prechádzajúcemu výkonu. Vypočítané impulzy poskytujú možnosť ďalšieho využitia pre riadiaci impulzný výstup, zobrazovací displej, alebo kontrolnú kalibračnú LED diódu. Dôležitou konštantou elektromeru je impulzná charakteristika - množstvo pulzov na kWh.

Jadrom každého statického elektromera je riadiaci mikroprocesor, ktorý manažuje väčšinu funkcií – realizuje výpočty spotreby, sníma tarifné vstupy, obsluhuje displej a vybrané hodnoty ukladá do pamäte EEPROM. Dáta sa v pamäti ukladajú do registrov, profilov a záznamníkov udalostí. Ukladané hodnoty sú napríklad čas, prúd, napätie, tarifný mód a sú adresovateľné pomocou EDIS alebo novších OBIS kódov.

Význam majú aj ďalšie špecializované senzory, ktorých účelom je registrovať napríklad otvorenie krytu elektromera alebo prítomnosť magnetického poľa, čím by sa negatívne ovplyvnila presnosť meraných veličín. Elektromery tiež disponujú optickým rozhraním, prostredníctvom ktorého sa uskutočňuje parametrizácia elektromera a načítanie dát z registra. Súčasťou komunikačnej výbavy elektromera môže byť aj rozhranie RS232 alebo RS485. Diaľkovú komunikáciu elektromera s centrálou zabezpečuje modem. Nové statické elektromery majú štandardizované montážne rozmery aj zapojenie, jedinou prekážkou brániacou masívnemu využitiu v maloodbere je ich vyššia cena. V porovnaní s indukčnými elektromermi majú bezpochyby viac výhod. Medzi najhlavnejšie patrí vysoká presnosť merania, menšia vlastná spotreba a možnosť merania aj ďalších médií – plyn, voda, teplo. Nutnou podmienkou pre úspešnú kooperáciu je, aby meracie členy médií dodali elektromeru elektronický vstupný signál.

Od digitálnych elektromerov sa za krátky čas podarilo posunúť k inteligentným viacfunkčným elektromerom, ktorých pridaná hodnota spočíva v prenose informácie medzi meračom a centrálou za použitia komunikačného rozhrania. [9]

2.2.3 Inteligentný elektromer

Inteligentný elektromer reprezentuje najnovšiu generáciu prístrojových meradiel. V porovnaní so statickými ako aj s konvenčnými indukčnými elektromermi majú väčší rozsah meraných veličín a viacero moderných funkcionalít. Dokáže okrem činnej zložky merať aj jalovú zložku, efektívne hodnoty napätí a prúdov vo fázach, dopočítavať účinník a vykonávať priebehové štvorkvadrantové meranie. Umožňuje na diaľku prerušiť alebo obnoviť distribúciu elektriny do odberového miesta.

Spotrebu elektrickej energie v konkrétnom čase je výhodnejšie monitorovať práve prostredníctvom inteligentných elektromerov, pretože tieto zariadenia dokážu v pätnásťminútových intervaloch snímať, aký je dopyt elektrickej energie a podľa toho meniť a regulovať spotrebiteľské vzorce užívania elektriny. Tento proces výrazne prispieva k úspore elektrickej energie a optimalizuje špičkové odbery v odberovom diagrame. Dôvodom realizácie inteligentného meracieho systému IMS je aj podpora aktívnej účasti oboch zainteresovaných strán.

IMS (inteligentný merací systém) predstavuje plne automatizovaný systém bez potreby fyzického odpočtu spotreby, spája sa s ním aj zmena spôsobu fakturácie. Odberateľ s IMS a inteligentným elektromerom prechádza zo zálohového spôsobu platby na mesačnú fakturáciu – zaplatí presne toľko, koľko v daný mesiac spotreboval. Inteligentný elektromer prostredníctvom funkcie variabilnej tarifikácie umožňuje odberateľovi elektriny časovú optimalizáciu jeho energeticky náročných činností. Vďaka tejto funkcii dokáže odberateľ pružne prispôsobiť svoju spotrebu do lacnejších tarifných hodín a týmto spôsobom výrazne ušetriť. [10]



Obr. 2-3: Elektromer LZQJ pre veľkoodberateľov umožňujúci priebehové meranie [11]

2.3 Spôsoby zapojenia elektromera

Základné druhy merania elektrickej spotreby z pohľadu použitia meracích transformátorov sa rozlišujú na priame, polopriame a nepriame. Priame a polopriame meranie je určené pre napätovú úroveň merania NN. Nepriame meranie je objektivizované na napätovej úrovni merania VN a VVN. Pre jednotlivé metódy merania sú určené odporúčané hranice ich použitia, sledujúc elektrické vlastnosti použitých komponentov merania, nominálneho prevádzkového napätia a prúdového zaťaženia.

Maximálna rezervovaná kapacita pre meranie na napätovej úrovni NN je výkonová hranica určená prúdovou odolnosťou hlavného ističa. Technická špecifikácia merania v NN je typ „C” t.j. meranie bez priebehového merania a bez možnosti diaľkového odpočtu.

Pre merania na úrovniach VVN, VN sa používa technická špecifikácia merania „A” alebo „B” - priebehové meranie s alebo bez možnosti diaľkového odpočtu. Na týchto úrovniach sa výkonová hranica rozumie zmluvne určená maximálna rezervovaná kapacita a použitý je elektromer s priebehovým meraním „A” alebo „B”. Schémy zapojenia jednotlivých spôsobov merania sú k dispozícii v Príloha A - [12]

2.3.1 Priame meranie

Pri priamom meraní sú do elektromera priamo galvanicky zapojené napätové aj prúdové obvody, pričom elektromer znáša plné prúdové aj napätové zaťaženie. Je inštalované priamo u odberateľa dvomi spôsobmi – jednofázovým pripojením (napätie 230V a istič s nominálnym prúdovým zaťažením do 25A vrátane, čo zodpovedá 5 kW), alebo trojfázovým pripojením (napätie 3 x 230V/400V a istič s nominálnym zaťažením do 80A vrátane, čo zodpovedá 50 kW). Pri priamom meraní v NN je požadované použitie elektromeru s minimálnou triedou presnosti „2” alebo „A”.

V tejto napätovej úrovni sa ako hlavný istič pred elektromerom vyžaduje len istič s vypínacou charakteristikou „B”, ktorý musí byť navyše samostatne a nezávisle plombovateľný.

Všetky meracie miesta t.j. elektromerové rozvádzače musia byť realizované v sústave TN-C (prívod) a TN-C prípadne TN-C-S (vývod).

Do elektromerového rozvádzača môže byť nainštalované vybavenie slúžiace len pre účely merania, diaľkovej komunikácie a riadenia, prípadne blokovania odberu elektriny. Sú to výhradne elektromer, sadzbové spínače a prijímače HDO, hlavné ističe, prípadne svorkovnice. Vybavenie pre rozvod sa umiestňuje v samostatných, resp. oddelených rozvádzačoch. Elektromery sa taktiež nesmú montovať do spoločných rozvádzačov s plynomermi. Elektromerové rozvádzače sú čoraz častejšie vyrábané z plastov z dôvodu potreby používania bezdrôtovej komunikácie medzi dodávateľom a odberateľom.

Z bezpečnostných dôvodov musia byť meracie zariadenia po otvorení dverí rozvádzača voľne prístupné. Pre tento účel je nutné, aby zámky dverí rozvádzača boli uzavreté na trňový kľúč, ktorý je vyhovujúci z hľadiska jednotnosti a z hľadiska prostredia, kde sa rozvádzač nachádza. Tieto pravidlá platia aj pre nižšie uvádzané merania. [12]

2.3.2 Polopriame meranie

Pri polopriamom meraní elektromer znáša plné prevádzkové napätie meraného rozvodu, ale prúdové obvody elektromera sú pomocou meracích transformátorov oddeľované od meraného elektrického rozvodu.

Toto meranie je vhodné u odberateľov s maximálnou rezervovanou kapacitou vyššou ako je 50 kW, ale maximálne do 690 kW. V tomto prípade je napätie (3 x 230/400V) merané priamo a prúd nepriamo cez prístrojové transformátory prúdu s prevodom $x/5A$ alebo $x/1A$, kde primárna hodnota prúdu (x) môže nadobúdať hodnoty od 50A do 1000 A. Pre polopriame meranie v NN sa používajú elektromery s minimálnou triedou presnosti „1” alebo „B”. [12]

2.3.3 Nepriame meranie

Meranie je inštalované u odberateľov s maximálnou rezervovanou kapacitou výkonu vyššou ako je 690 kW. Napät'ové aj prúdové obvody elektromera sú galvanicky oddelené od meraného rozvodu pomocou meracích transformátorov napätia (MTN) s meracích transformátorov prúdu (MTP).

Tabuľka 2-1: Prehľad druhov merania podľa výšky rezervovanej kapacity [12]

Počet fáz / napätie	Rezervovaná kapacita (Výkon)	Druh merania
1-fázový s napätím 230 V	do 25 A (5 kW)	Priame meranie NN
3-fázový s napätím 3x230/400V	do 80 A (50 kW)	Priame meranie NN
	od 50 kW (80 A)	Polopriame meranie NN
	do 250 kW (360 A)	
	od 250 kW (360 A)	Polopriame NN alebo nepriame meranie VN
	do 690 kW(1000 A)	
nad 690 kW(1000 A)	Nepriame meranie VN	

2.4 Zber meraných dát z elektromera

Zber a spracovanie dát zo smart elektromerov je úlohou dátovej centrály. Pomocou dátovej centrály možno realizovať nielen zber dát, ale aj povelovanie a obsluhu odberného miesta. K takejto obsluhu patrí napríklad jednotlivu alebo hromadne diaľkovo pripojiť/odpojiť odberné miesto, pomocou prepínania taríf blokovat' tarifou podmienené spotrebiče. V neposlednom rade dátová centrála spravuje alarmové správy z elektromerov o možnom neodbornom zásahu do elektromera (od-plombovanie). Sledované údaje o každom odbernom mieste sa v elektromere zaznamenávajú v data-pointoch. Hoci elektromer môže sledovať veľké množstvo údajov, do dátovej centrály sa odkomunikujú iba veličiny označené ako data-pointy.

Rozšírením funkcií a komunikácií inteligentných meracích prístrojov vzniká potreba riešiť aj otázku ochrany prenosu dát. Nesmie dochádzať k falšovaniu údajov o spotrebe elektrickej energie a prípadným útokom na stabilitu distribučnej siete napríklad hromadným nezákonným odpojením odberných miest. Vývoj elektrických meracích zariadení musí byť podmienený zabezpečením ochrany dátového prenosu.

Komunikácia elektromerov s dátovou centrálou je realizovaná tromi nižšie popísanými spôsobmi, ktoré sú najčastejšie používané, avšak existujú aj iné, menej rozšírené možnosti komunikácie (WiFi, WizzBee) .

Komunikácia GPRS: Jedná sa o technológiu bezdrôtového paketového prenosu dát v miestach s pokrytím GSM signálu použitím siete mobilného operátora. Tento typ komunikácie je široko rozšírený predovšetkým pre dostupnosť na veľkej časti distribučného územia, najmä pri odľahlých odberných miestach, kde iné komunikácie (PLC, RF) nie sú prístupné. Prenosová rýchlosť a spoľahlivosť tohto druhu komunikácie je najvyššia z uvádzaných technológií, nevýhodou je ekonomicky nákladná prevádzka.

Komunikácia RF: Je rádiová komunikácia, využívajúca voľné rádiové frekvencie. Pre svoj obmedzený dosah sa používa len na komunikáciu medzi koncovým elektromerom a dátovým koncentrátorom. Dosah RF signálu veľmi limitujú podmienky vonkajšieho prostredia. Rádovo sa pohybuje v stovkách metrov v zastavaných územiach, pri použití na voľných priestranstvách je dosah komunikácie väčší.

Komunikácia PLC: PLC znamená Power Line Communication, technológia predstavuje priamy prenos dát v NN sieti po silových vodičoch. Potrebné prenášané dáta sú v podobe signálu namodulované na nosnú frekvenciu a následne je tento signál implementovaný do vedenia. Na strane prijímača dochádza k separácii prijímaného signálu. Prenosová rýchlosť, ako aj dosah, sú závislé na vonkajších podmienkach, ktorými sú napríklad topológia siete, kvalita NN rozvodov, alebo prítomnosť rušenia. Koncové elektromery môžu pracovať v režime repeater, kedy dochádza k navýšeniu dosahu tým, že elektromer preposiela zaznamenané správy aj ďalej. Výhodou je použitie prenosového média, ktoré je vo vlastníctve a pod kontrolou distribútora. [9]

2.4.1 OBIS kódy

Jednou z oblastí internej pamäte digitálneho elektromera je register, do ktorého sa ukladajú merané údaje. Pre správne vyčítanie týchto údajov je potrebná ich adresácia, ktorá je realizovaná kódom OBIS. Pravidlá používania definuje európska norma IEC 62056-61. OBIS kód je unikátny identifikátor pre najčastejšie používané dátové položky merané meracími prístrojmi. Kód vo výsledku pozostáva zo šiestich čísel (0-255), ktoré patria triedam A až F, pričom každé číslo predstavuje výber položky z danej triedy. Niektoré z tried môžu byť zastúpené kompletne, alebo niektoré môžu v identifikátore chýbať. Zúžením rozsahu OBIS kódu vzniká redukovaný OBIS kód – je redukovaný počet tried a tiež rozsah číselných označení 0-99. Triedy sú oddelené presne definovanými oddeľovacími znakmi. Každá trieda je definovaná určitým typom operácií. [13]

Trieda A identifikuje druh meranej energie A=1 pre elektrickú energiu

Trieda B označuje číslo pôvodu dátovej komunikácie

Trieda C určuje druh meraných dát – prúd, napätie, teplota - charakter týchto veličín je závislý na triede A. V norme sú definované zoznamy hodnôt pre každý druh energie

Trieda D vymedzuje spracovanie fyzikálnych veličín z triedy C s prihliadnutím na povahu dát v triede A, napríklad priemerná hodnota

Trieda E konkretizuje zmerané hodnoty špecifikované triedami A až D, napríklad hodnoty taríf

Trieda F podrobnejšie rozdeľuje výsledky čiastočne definované hodnotami tried A až E, pri meraní elektrickej energie môže špecifikovať zúčtovacie obdobie

OBIS kód sa napríklad nasledujúcim formátom: 1-2:12.6.1*125

- 1-2:12.6.1*125 – 1 označuje meranie elektrickej energie
- 1-2:12.6.1*125 – 2 znamená, že meraný údaj pochádza z kanálu č. 2
- 1-2:12.6.1*125 – 12 meranie napätia na akejkol'vek fáze
- 1-2:12.6.1*125 – 6 určuje funkciu – v tomto prípade maximum
- 1-2:12.6.1*125 – 1 definuje, že sa jedná o tarif 1
- 1-2:12.6.1*125 – 125 označuje, že je odoslaných len 25 posledných údajov

2.5 Komunikačné protokoly pre zber dát

Komunikačné protokoly pre zber dát z meracích energetických zariadení sú definované medzinárodným komunikačným štandardom IEC 62056.

Sada noriem IEC 62056 pozostáva z nasledujúcich štandardov:

- IEC 62056-21
- IEC 62056-42
- IEC 62056-46
- IEC 62056-47
- IEC 62056-53
- IEC 62056-61
- IEC 62056-62

IEC 62056-21 je norma, ktorá popisuje priamy spôsob prenosu dát cez lokálny port pre meracie prístroje. Nie je závislá na prenosovom médiu, napríklad optický kábel, metalické vedenie, internetové vedenie. Štandard – 42 popisuje služby a procedúry fyzickej vrstvy pre spojovo orientovaný asynchrónny prenos dát. Na linkovej vrstve sa používa HDLC protokol daný normou IEC 62056-46. Ďalšie štandardy definujú objektovo orientovaný prístup spolu s objektovou identifikáciou (OBIS), popisuje štandard - 61. Štandard – 62 definuje komunikačné rozhranie medzi užívateľom a elektronickým meracím zariadením. [14]

V nižšie uvedených kapitolách popisujem stručne komunikačné protokoly v rozsahu potrebnom pre vystihnutie podstaty v problematike témy mojej práce.

2.5.1 Komunikačný protokol IEC62056-21

Komunikačný protokol definovaný normou EN 62056-21 je určený hlavne pre využitie v meracích zariadeniach elektrickej energie. Časť komunikačného protokolu číslo 21 popisuje pravidlá pre komunikáciu dát odpočtu elektromeru, prepínanie tarifného režimu a regulácie záťaže. Komunikačný protokol definuje päť rôznych komunikačných režimov.

Komunikácia v režimoch A, B, C a E je obojsmerná, vždy ju aktivuje riadiaci systém prenosom komunikačného rámca s požiadavkou. V režimoch A, B a C je riadiaci systém v roli aktívnej stanice (master) a následne elektromer je pasívna stanica (slave). V režime E je riadiaci systém ako klient a elektromer ako server. V režime D je prenos dát jednosmerný pre odpočet meraných veličín (dát). [15]

Vlastnosti prenosu dát IEC62056-21:

- Sériový asynchrónny bitový prenos znakov podľa ISO/IEC 1177:1985, poloduplexný prenos dát
- Defaultná prenosová rýchlosť 300 bps
- Normalizované prenosové rýchlosti 300 bps, 600 bps, 1200 bps, 2400 bps, 4800 bps, 9600 bps, 19200 bps
- Formát znakov: 1 štart bit, 7 dátových bitov, 1 paritný bit, 1 stop bit
- Zabezpečenie znakov: paritný bit – párna parita.

Detailný popis komunikačných režimov A, B , C, D a E uvádza norma EN 62056-21.

Vlastnosti komunikačného režimu A:

Komunikačný režim A je charakterizovaný obojsmerným prenosom dát pri defaultnej prenosovej rýchlosti 300 bps a bez jej prepínania. Režim realizuje prenos dát a editáciu s nepovinným zabezpečením v podobe hesla (autentifikácia). Riadiaci systém v roli aktívnej stanice vysiela komunikačný rámec s výzvou na elektromer. Následne elektromer odpovedá prenosom rámca s identifikáciou a potom rámcami s dátami meraných veličín.

Vlastnosti komunikačného režimu B:

Komunikačný režim B je charakterizovaný obojsmerným prenosom dát s prepínaním komunikačnej rýchlosti. Režim realizuje prenos dát a editáciu s nepovinným zabezpečením v podobe hesla (autentifikácia). Riadiaci systém v roli aktívnej stanice vysiela komunikačný rámec s výzvou na elektromer. Následne elektromer odpovedá prenosom rámca s identifikáciou. Po ukončení identifikácie je prenos pozastavený. Počas tohto prerušenia je prenosová rýchlosť komunikácie medzi aktívnou stanicou a elektromerom zosynchronizovaná na rýchlosť predpísanú v identifikácii. Potom nasleduje prenos rámcov s dátami. Režim B tiež umožňuje programovací (editačný) režim, v ktorom prebieha konfigurácia elektromera.

Vlastnosti komunikačného režimu C:

Komunikačný režim C je charakterizovaný obojsmerným prenosom dát s prepínaním komunikačnej rýchlosti. Riadiaci systém v roli aktívnej stanice vysiela komunikačný rámec s výzvou na elektromer. Následne elektromer odpovedá prenosom rámca s identifikáciou. Po ukončení identifikácie elektromer čaká na rámec. Tento rámec môže byť v podobe požiadavky na odpočet dát, prepnutie do editačného režimu alebo prepnutie do výrobcom stanoveného režimu.

Vlastnosti komunikačného režimu D:

Komunikačný režim D je charakterizovaný jednosmerným prenosom dát s pevne definovanou prenosovou rýchlosťou 2400 bps. Režim umožňuje len odpočet dát, elektromer prenáša dátové rámce ihneď po inicializácii elektromera.

Vlastnosti komunikačného režimu E:

Komunikačný režim E je charakterizovaný obojsmerným prenosom dát, ktorý je aktivovaný riadiacim systémom rámcem s výzvou. V tomto režime funguje riadiaci systém ako klient a elektromer ako server. Na rámec s výzvou od klienta server odpovedá identifikačným rámcem (rámec s identifikáciou) Obsahom identifikačného rámca je

identifikačné pole s dátovou dĺžkou až 16 znakov. V tomto komunikačnom režime môže byť použitá transparentnosť slabík 1 start bit, 8 dátových bitov a 1 stop bit. [15]

Dátové rámce:

V práci uvádzam len základné rámce využité pre odpočet dát meraných veličín z elektromeru. Kompletný zoznam definovaných rámcov a detailnejší popis ich obsahu uvádza norma EN 62056-21. [16]

Rámec s výzvou (požiadavkou)

/	?	Adresa zariadenia	!	CR	LF
---	---	-------------------	---	----	----

Rámec s identifikáciou

/	X	X	X	Z	\	W	Identifikácia	CR	LF
---	---	---	---	---	---	---	---------------	----	----

Dátový rámec

STX	Dátový blok	!	CR	LF	ETX	BCC
-----	-------------	---	----	----	-----	-----

Obr. 2-4: Štruktúra dátových rámcov protokolu IEC62056-21. [16]

Tabuľka 2-2: Vysvetlivky obsahu rámcov [15]

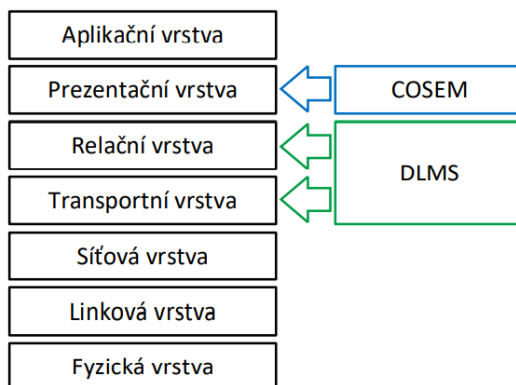
Znak „/“	Štart znak (dopredná lomka, kód 2Fh)
Znak „?“	Povel s požiadavkou na prenos (otáznik, kód 3Fh)
Pole „Adresa zariadenia“	Nepovinné pole, špecifikované výrobcom, maximálne 32 znakov
Znak „!“	Koncový znak (výkričník, kód 21h)
Znaky „CR“ a „LF“	Ukončovaci znak (CR, kód 02h, LF – posun o riadku, kód 0Ah)
Znak „XYZ“	Označenie výrobcu zložené s troch veľkých písmen
Znak „Z“	Určenie prenosovej rýchlosti
Pole „Identifikácia“	Identifikácia určená výrobcom, maximálne 16 znakov
Znak „STX“	Znak začiatku rámca (STX – začiatok textu, kód 02h)
Pole „Dátový blok“	Dátový blok s meranými veličinami
Znak „ETX“	Koncový znak bloku (ETX – koniec textu, kód 03h)
Znak „BCC“	Kontrolný znak bloku (BCC)

2.5.2 Komunikačný protokol DLMS/COSEM

DLMS/COSEM (Device Language Message Specification / Companion Specification for Energy Metering) špecifikuje celosvetovo uznávané štandardy pre výmenu nameraných dát. Taktiež definuje organizáciu konfiguračných parametrov elektromerov a iných meračov do objektivej štruktúry. Logicky spolu súvisiace hodnoty (nameraná hodnota, časová značka hodnoty, technické jednotky, parametre zberu hodnoty) sú štrukturálne združené ako atribúty jedného objektu, pričom zoznam parametrov je definovaný triedou

objektu. Tento objektovo orientovaný prístup je výhodný najmä k dosiahnutiu vyššej interoperability. [17]

DLMS/COSEM sa na komunikačnom modeli ISO/OSI nachádza na troch vrstvách prezenčná, relačná a transportná, vid'. Obr. 2-5. COSEM na prezenčnej vrstve reprezentuje dáta v špeciálnych štruktúrach a objektoch. Pomocou metód definovaných v DLMS pristupuje aplikačná vrstva komunikačného modelu k objektom vrstvy COSEM. Konkrétny typ komunikácie na nižších vrstvách nie je v komunikačnej norme zahrnutý, preto je DLMS/COSEM nezávislé na prenosovom médiu. [18]



Obr. 2-5: DLMS/COSEM na modeli OSI/ISO [18]

Komunikačné profily

Jednotlivé komunikačné profily predstavujú počet vrstiev ISO/OSI komunikačného modelu protokolu. Každá vrstva poskytuje služby vrstve nad ňou a využíva služby vrstiev pod ňou. Použitie komunikačného médium určuje počet nižších vrstiev. Objektové orientované služby COSEM poskytuje až najvyššia aplikačná vrstva. [14]

Najčastejšie sa používajú dva základné komunikačné profily:

- profil s tromi vrstvami, fyzická vrstva používa miestny (lokálny) optický alebo elektrický port.
- profil založený na TCP/IP realizujúci prenos dát cez Ethernet, GPRS, GSM.

Fyzická vrstva protokolu nie je normou exaktne definovaná, pre zaistenie čo najväčšej variability použitia. Definované sú len požiadavky na komunikáciu [14]

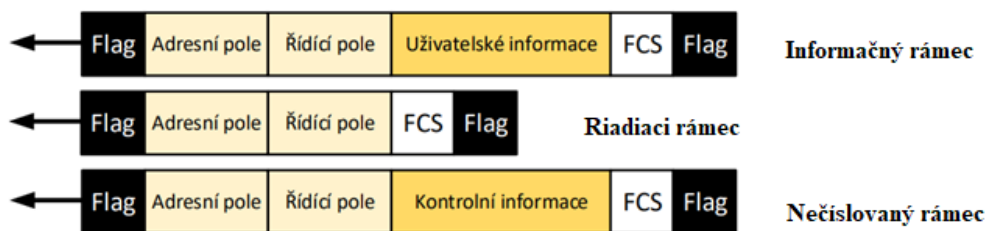
- topológia komunikácie je point-point alebo point-multipoint,
- prenos je asynchrónny s jedným štart bitom, ôsmimi dátovými bitmi a jedným stop bitom,
- duplex alebo half-duplex

Linková vrstva: uvedený popis je zameraný na spojovo orientovaný asynchrónny komunikačný profil s orientáciou na protokol HDLC, ktorý je prispôbený pre meranie elektrickej energie – vyčítanie dát z elektromerov. Princiálnou úlohou linkovej vrstvy je zaisťovať komunikáciu medzi uzlami v sieti. Taktiež realizuje adresovanie logických

a fyzických jednotiek. Adresa každého zo zariadení je však závislá od druhu použitého komunikačného profilu. V závislosti na komunikačnom profile to môže byť napríklad telefónne číslo, MAC adresa, IP adresa poprípade ich kombinácia. Linková vrstva sa skladá z dvoch podvrstiev: LLC a MAC.

Avšak hlavnú funkciu spojovej (linkovej) vrstvy plní podvrstva MAC. Inicializáciu spojenia (tzv. Application Association) vyvoláva klient, ktorý sa pripojuje k serveru. Počas tejto inicializácie dochádza aj k mapovaniu LN/SN (logical_name/short_name) mien a definujú sa individuálne prístupové práva ku COSEM objektom. Po nadviazaní spojenia začína prenos dát, ktorý zabezpečuje za asistencie nižších vrstiev aplikačná vrstva DLMS/COSEM. Akonáhle klient požiadava o rozpojenie komunikácie a server požiadavke vyhovie, je spojenie ukončené. Spojenie sa taktiež ukončí pri rozpade spojenia na úrovni fyzickej vrstvy. [14; 19]

Typy dátových rámcov protokolu HDLC sú: informačné, riadiace a nečíslované. Informačné rámce realizujú prenos užívateľských dát spolu s potrebnými riadiacimi informáciami. Riadiace rámce sú definované pre prenos iba riadiacich dát. Rámce označované ako “nečíslované” sa používajú na prenos dát, ktoré súvisia s prevádzkou samotnej linky. [20]



Obr. 2-6: Štruktúra prenosových rámcov protokolu HDLC [20]

Značkovacie pole (Flag) – obsahuje synchronizačnú postupnosť bitov označujúcu začiatok a koniec rámca. Pri prenose viacerých rámcov po sebe môže koncové značkovacie pole rámca slúžiť ako začínajúce značkovacie pole nasledujúceho rámca.

Adresné pole – obsahuje adresu sekundárnej stanice. Počet bajtov adresy je premenný. Adresa klienta môže byť zdrojová (rámec vytvára sekundárnu stanicu) alebo cieľová (rámec vytvára primárnu stanicu).

Riadiace pole – umožňuje kontrolu toku a chýb, taktiež určuje druh rámca a jeho funkčnosť.

Informačné pole – zahŕňa v sebe dáta užívateľa alebo kontrolné informácie.

FCS (Pole kontrolného súčtu) – používa sa na kontrolu chýb vzniknutých pri prenose. Kontroluje sa, či bol rámec prijatý taký, aký bol odoslaný zo zdroja. [20]

2.5.3 Komunikačný protokol MODBUS

Protokol MODBUS patrí medzi najpoužívanejšie komunikačné protokoly hlavne

z dôvodu jednoduchosti, otvorenosti a ľahkej modifikácie protokolu. Navrhnutý bol firmou MODICON v roku 1997 na komunikáciu s ich PLC ako jednoduchý a robustný sériový protokol typu master-slave (klient-server). Odvtedy je priemyselným štandardom pre prenos diskretných aj analógových hodnôt medzi komunikujúcimi zariadeniami. Komunikácia prebieha metódou požiadavka-odpoveď, kde súčasťou požiadavky je kód požadovanej funkcie. Inicializovať komunikáciu môžu len zariadenia typu master (klient), periférne zariadenia typu slave (server) iba odpovedajú odoslaním požadovaných dát, alebo vykonaním požadovanej akcie. [21]

Výhodou protokolu je natívna spolupráca s protokolmi vyššej vrstvy (TCP/IP). Taktiež je vhodný pre implementáciu v rámci lokálnych riadiacich zberníc, pretože ako fyzická vrstva môže byť použitá RS-485 alebo RS 232. [22]

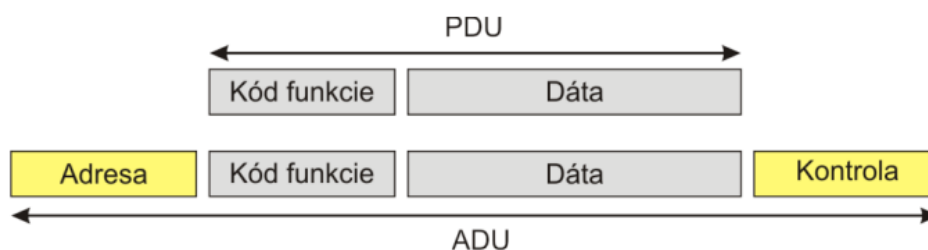
Fyzická vrstva protokolu MODBUS je definovaná normami EIA-485 označovaná aj RS-485 a normou EIA-252 (RS-232), ako dvojvodičové alebo štvorvodičové elektrické rozhranie. V štandardnom protokole MODBUS sú zariadenia pripojené paralelne na komunikačnú zbernicu. Komunikačná zbernica pozostáva z dvoch vodičov - symetrické dvojvodičové skrútené vedenie, po ktorom sú prenášané dáta v oboch smeroch. Defaultná prenosová rýchlosť je 9600 baud.

Linková vrstva protokolu MODBUS umožňuje pripojiť na zbernicu jedno zariadenie master a niekoľko zariadení slave, maximálne 247. Komunikácia je vždy inicializovaná uzlom master, uzly slave nikdy neposielajú dáta bez prijatia požiadavky od uzla master.

Uzol master môže pracovať v dvoch režimoch:

- Režim typu unicast - master adresuje konkrétny uzol slave. Jednoznačnú identifikáciu uzlov slave zabezpečuje číselné adresovanie (1 až 247).
- Režim typu broadcast - master môže poslať požiadavku všetkým uzlom slave naraz.

Dátový rámec protokolu MODBUS vymedzuje protokolovú dátovú jednotku (PDU Protocol Data Unit). K PDU môžu byť pridané ďalšie dátové polia pri implementácii protokolu MODBUS pre špecifickú sieť alebo zbernicu, tak vzniká ADU (aplikačná dátová jednotka). [22]



Obr. 2-7: Dátové rámce protokolu MODBUS [22]

Pole Adresa obsahuje adresu len uzlov slave. Veľkosť adresovej oblasti je 1 bajt. Použiteľné adresy sú v rozsahu 0-247.

Rozsah adries:

- adresa komunikácie typu broadcast: 0
- individuálne adresy uzlov slave: 1 – 247
- rezervované adresy: 248 – 255

Pri odpovedaní uzol slave späť vloží svoju adresu do adresového poľa, aby uzol master identifikoval odosielateľa odpovede.

Pole Kód funkcie obsahuje údaje o akcii, ktorá sa má vykonať. Veľkosť tejto časti je jeden bajt, čo dovoľuje mať 256 rôznych kódov. Akceptovateľné kódy sú od 1 do 255. Z tohto rozsahu sú kódy funkcií od 128 do 255 rezervované pre signalizáciu chybových stavov. Kód funkcie 0 nie je prístupný. [22]

V protokole MODBUS sú definované tri kategórie funkčných kódov: [22]

- Verejné kódy funkcií: preddefinované funkčné kódy sú: 1-64, 73-99 a 111-127. Pri týchto kódoch funkcií je garancia, že sú jedinečné.
- Používateľsky definované kódy funkcií: sú to kódy: 65-72 a 100-110. Používateľ si môže navrhnúť a implementovať funkciu, ktorá nie je zahrnutá v štandardnej špecifikácii.
- Rezervované kódy funkcií.

Tabuľka 2-3: Tabuľka príkladov funkčných kódov protokolu MODBUS [23]

Kód	Názov funkcie	Popis
1	Read Coils	Načítanie jedného alebo viacerých bitov
2	Read Discrete Inputs	Načítanie jedného alebo viacerých bitov
3	Read Holding Registers	Načítanie jedného alebo viacerých 16 bit registrov
4	Read Input Registers	Načítanie jedného alebo viacerých 16 bit registrov
5	Write Single Coil	Zápis jedného bitu
6	Write Single Register	Zápis jedného 16 bit registru
15	Write Multiple Coils	Zápis viacerých bitov
16	Write Multiple Registers	Zápis viacerých 16 bit registrov

Pole Dáta obsahuje parametre funkcie, ktorú má slave vykonať. V opačnom smere, teda od uzla slave ku master, obsahuje časť Dáta namerané hodnoty uzlom slave. Časť Dáta môže obsahovať položky, ako sú napríklad diskkrétne údaje, adresy registrov, počet údajov, ktoré sa majú spracovať. Časť Dáta je nepovinná, maximálna dĺžka časti Dáta je 252 bajtov.

Pole Kontrola obsahuje výsledok CRC súčtu, ktorý sa vypočíta z obsahu správy dvoma metódami, v závislosti od použitého prenosového režimu ASCII alebo RTU. Ak sa pri prenose dát alebo ich spracovaní nevyskytla žiadna chyba, odpoveď uzla slave obsahuje dáta, ktoré si vyžiadal uzol master. Pri bezchybnom prenose sa časti Adresa a Kód funkcie nemenia. Ak sa pri spracovaní požiadavky vyskytla nejaká chyba, potom

v časti Kód funkcie sa nachádza chybový kód, pomocou ktorého dokáže uzol master určiť ďalšie akcie. [22]

Protokol MODBUS definuje dva prenosové režimy: RTU režim a ASCII režim. Prenosový režim určuje formát posielanej správy a musí byť rovnaký pre všetky pripojené zariadenia na zbernici MODBUS.

Prenosový režim RTU (Remote Terminal Unit):

- Každý bajt pozostáva z dvoch hexadecimálnych čísiel, lepšia dátová priepustnosť pri rovnakej baudovej rýchlosti ako ASCII
- Formát: jeden štart bit, 8 dátových bitov a 1 stop bit

Prenosový režim ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

- Každý 8 bitový bajt obsahuje dva ASCII znaky
- Podpora režimu je nepovinná

MODBUS TCP/IP je protokol MODBUS RTU s TCP rozhraním komunikujúcim cez Ethernet. MODBUS ako aplikačný protokol vymedzuje pravidlá pre správu a interpretovanie prenášaných údajov po prenosovom médiu. Protokoly TCP a IP realizujú spoľahlivý prenos medzi dvoma uzlami v sieti Ethernet. MODBUS TCP/IP využíva TCP/IP a Ethernet na prenos aplikačných dát protokolu MODBUS medzi dvoma uzlami. Pri prenose údajov, teda MODBUS rámcov, je potrebné vložiť tieto rámce do komunikačného rámca protokolu TCP. [22]

2.5.4 Komunikačný protokol M-Bus

Protokol M-Bus je komunikačný štandard používaný najmä v automatickom diaľkovom odčítaní dát z meračov a čidiel pre zber nameraných údajov z rozsiahlych sietí.

Protokol bol od svojho vzniku v deväťdesiatych rokoch vyvíjaný s dôrazom na spoľahlivosť, jednoduchosť a ekonomickú dostupnosť. Aj napriek nevýhode, akou je napríklad nižšia prenosová rýchlosť, je táto technológia stále vysoko rozšírená.

Fyzická vrstva - M-Bus rozhranie tvorí dvojvodičová zbernica, ktorá okrem prenosu údajov môže zabezpečovať aj napájanie slave zariadení. Prenos signálu medzi komunikačnými uzlami sa realizuje pomocou zmien napätia a prúdu na zbernici. Preto je logická 1 vo výzve (v smere od mastra k slave zariadeniam) reprezentovaná napätím +36V a logická 0 napätím +24V. Slave zariadenia odpovedajú modulovaním spotreby prúdu – logická 1 je konštantný prúd do veľkosti 1.5 mA, logická 0 je prúd zvýšený o 11-20 mA. Z dôvodu vzájomného ovplyvňovania hodnôt veličín napätia a prúdu nie je prípustné, aby vysielala viac ako jedna stanica na zbernici, preto je prenos signálu poloduplexný. [24]

Linková vrstva M-Bus – prenos signálu je asynchrónny s prenosovou rýchlosťou 300 až 9600 baud. Na začiatku je štart bit, ktorý predstavuje logickú nulu. Synchronizácia

komunikácie je realizovaná štart bitom a stop bitom, nie je požadovaná časová medzera medzi koncom jedného rámca a začiatkom ďalšieho (medzera medzi stop bitom a štart bitom). Po štart bite nasleduje 8 bitov, ktoré nesú prenášanú informáciu. Po dátovej časti rámca nasleduje paritný bit – nadobúda hodnotu vždy tak, aby výsledný počet jednotiek bol vždy párný počet (štart a stop bit sa nezohľadňuje). Stop bit prenosový rámec uzatvára. Protokol linkovej vrstvy je založený na norme IEC 870-5 s formátom FT 1.2. Norma obsahuje dáta triedy integrity I2. Formát FT 1.2 definuje 4 druhy rámcov. [24]

Dlhý rámec [Long Frame]	Start 68h	L	L	Start 68h	C	A	CI	Data 0 - 252 Byte	Check Sum	Stop 16h
Kontrolný rámec [Control Frame]	Start 68h	L=3	L=3	Start 68h	C	A	CI	Check Sum	Stop 16h	
Krátky rámec [Short Frame]	Start 10h	C	A	Check Sum	Stop 16h					
Jeden znak [Single Character]	E5h									

Obr. 2-8: Formát rámca M-Bus triedy FT 1.2 [24]

Jednotlivý znak: tento rámec obsahuje jediný znak, konkrétne E5h. Používa sa na potvrdenie o prijatí vyslaného rámca.

Krátky rámec: tento rámec má pevne definovanú dĺžku. Začína úvodným znakom 10h, nasleduje pole C, pole A, kontrolný súčet a koncový znak 16h. Kontrolný súčet sa počíta iba z polí C a A.

Kontrolný rámec: obsah kontrolného rámca sa zhoduje s obsahom dlhého rámca, neobsahuje však položku Data. Kontrolný súčet sa počíta z polí C, A a CI. Pole L obsahuje v prípade kontrolného rámca veľkosť polí C, A a CI, to znamená, že hodnota pol'a L pri kontrolnom rámci sa bude rovnať 3.

Dlhý rámec: tento rámec začína znakom 68h, následne pokračuje dvakrát opakovaným pol'om L, ktoré obsahuje dĺžku rámca a znovu úvodným znakom 68h. Potom nasleduje pole C, pole A, pole CI, užívateľské dáta o dĺžke 0 až 252 bajtov, kontrolný súčet a ukončovaci znak 16h. Pole L obsahuje počet bajtov užívateľských dát navýšený o tri (t.j. o veľkosť polí C, A a CI). Kontrolný súčet je vyčíslený z polí C, A, CI a z užívateľských dát. [25]

Všetky polia majú dĺžku jedného znaku, to odpovedá ôsmim bitom.

Pole C (Control Field) : toto pole obsahuje riadiace parametre rámca. Okrem iných atribútov určuje aj smer toku dát.

Pole CI (Control Information Field): toto pole nesie informáciu, ktorá je už súčasťou aplikačnej vrstvy ISO/OSI protokolu. Využíva sa najmä na rozlíšenie formátu dlhého a riadiaceho rámca.

Pole A (Address Field): toto pole je potrebné na adresovanie účastníckej stanice pri vysielaní resp. prijímaní rámca. Do tohto poľa je možné zadať hodnoty v rozmedzí 0 až 255. Jednotlivým účastníckym staniciam (typu slave) je možné priradiť adresy 0 až 250. Hodnota 255 je rezervovaná na tzv. nepotvrdený broadcast (bez potvrdzujúcej odpovede). Ak bude do adresovacieho poľa zadaná hodnota 254, dochádza k vysielaniu potvrdeného broadcast-u (očakáva sa odpoveď). Tento typ potvrdenia broadcast-u je vhodný iba na testovacie účely, pretože ak je pripojená viac ako jedna účastnícka stanica, dochádza pri potvrdzovaní ku vzájomnému negatívnemu ovplyvňovaniu dát na zbernici. Adresa 253 indikuje tzv. sekundárnu adresáciu. Adresy 251 a 252 sú rezervované pre budúce využitie. [25]

3. ALGORITMY REGULÁCIE ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA

3.1 Princípy regulácie štvrťhodinového maxima

Podstatou regulácie štvrťhodinového maxima je orezávanie výkonových špičiek, dôsledkom čoho je znižovanie dohodnutého technického, respektíve štvrťhodinového maxima. V nadväznosti na uvedené dochádza aj k znižovaniu mesačných poplatkov za nerovnomernosť odberu. Eliminácia výkonových špičiek sa uskutočňuje automaticky tým, že regulácia vynúti zastavenie práce spotrebiča v kritickej štvrťhodine a presunie ju do energeticky menej náročnej štvrťhodiny. Je to kompromis, pri ktorom nedochádza k veľkým stratám vo výrobnom procese a zároveň je dodržaný zmluvne dohodnutý časový priebeh spotreby.

Celý regulačný proces spočíva v automatickom vypínaní a zapínaní jednotlivých spotrebičov, pričom môže prebiehať v rôznych režimoch. Nevýhodou tejto regulácie je stupňovitý regulačný priebeh. Regulácia nie je z princípu schopná dosiahnuť presne takú spotrebu, ktorú definuje štvrťhodinové (technické) maximum. Jej hlavnou úlohou je iba zabrániť prekročeniu maxima. V súčasnosti je väčšina regulátorov štvrťhodinového maxima doplnená aj o komplexné informačné a dokumentačné funkcie a služby, ktoré umožňujú predvídať bezprostredný vývoj spotreby, čím sa docieli efektivita regulačných zásahov.

Aspoň čiastočne zrovnomeniť odber vo výrobnom procese je možné aj správnou organizáciou práce, napríklad zapínaním strojov s vyššou spotrebou v takom poradí, aby sa ich odber v čase čo najviac rozložil a bol čo najrovnomernejší.

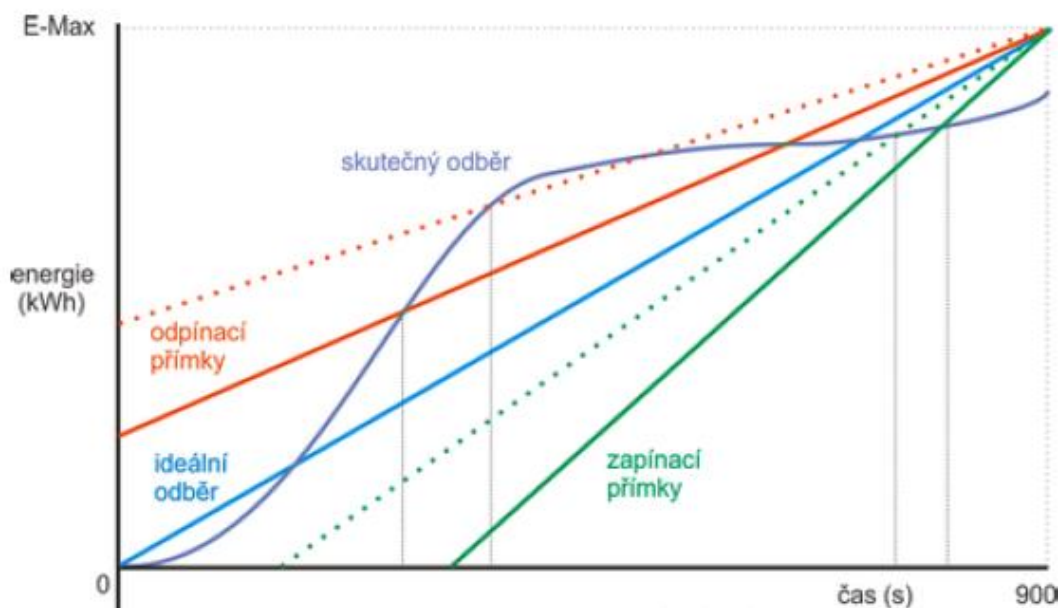
Pri prekročení stanoveného štvrťhodinového maxima je odberateľ penalizovaný. V niektorých špecifických prípadoch je však výhodnejšie štvrťhodinové maximum občas prekročiť a zaplatiť pokutu, ako platiť navýšený limit paušálne dvanásťkrát ročne. [26]

3.1.1 Hladinový režim riadenia

Využívaný je takmer vo všetkých regulátoroch štvrťhodinového maxima ako núdzová bezpečnostná poistka, ktorá odpojí príslušné zariadenia, ak by malo dôjsť k prekročeniu technického maxima. Spätné pripojenie odpojených spotrebičov je možné až na začiatku ďalšieho štvrťhodinového intervalu. Hladinový režim regulácie má pevne definované výstupy spolu s regulovanými spotrebičmi. Taktiež má dopredu staticky nastavené rozhodovacie hladiny. V praxi môžu byť zadefinované napríklad tri hladiny, kde pri prekročení prvej a druhej je obsluha výroby upozornená výstrahou, pri prekročení tretej dochádza k automatickému odpojeniu daného kanálu so spotrebičmi. Zjednodušene sa dá takýto typ regulácie považovať za zvláštny prípad dvojpolohovej regulácie. [26]

3.1.2 Kompenzačný režim riadenia

Kompenzačný (sekvenčný) režim riadenia je jeden z najpoužívanejších režimov riadenia regulácie štvrt' hodinového maxima. Podstata regulácie vychádza z geometrického znázornenia priamok v grafe závislosti odobratej elektrickej energie na čase. Priamka ideálneho odberu spája počiatočný a koncový bod štvrt' hodinového intervalu so spotrebami 0 a E-Max (E -Max je maximálna štvrt' hodinová práca v kWh). Priamka skutočného odberu osciluje v okolí ideálneho odberu. Ak skutočný odber prekročí niektorú z odpínacích priamok, dochádza k odpojeniu príslušného kanála so spotrebičmi. Naopak, ak sa skutočný odber vráti pod zapínicu priamku, iniciuje sa zapnutie skupín spotrebičov. Priestorové rozloženie priamok v grafe definuje aj prioritu skupín spotrebičov, ktoré sú týmito priamkami zastupované. Táto priorita by mala reflektovať všetky vypínacie podmienky, nastavené individuálne pre každú skupinu spotrebičov, ako napríklad maximálnu dobu vypnutia spotrebiča alebo podmienky vyplývajúce zo stavu iného spotrebiča. Za predpokladu, že skutočná meraná spotreba prekoná kedykoľvek v cykle regulované maximum E-Max, budú okamžite odpojené všetky nezablokované kanály regulátora (uplatní sa hladinový algoritmus ako poistka). Do začiatku ďalšieho sledovaného štvrt' hodinového intervalu sa uplatňuje len tento algoritmus. [27]

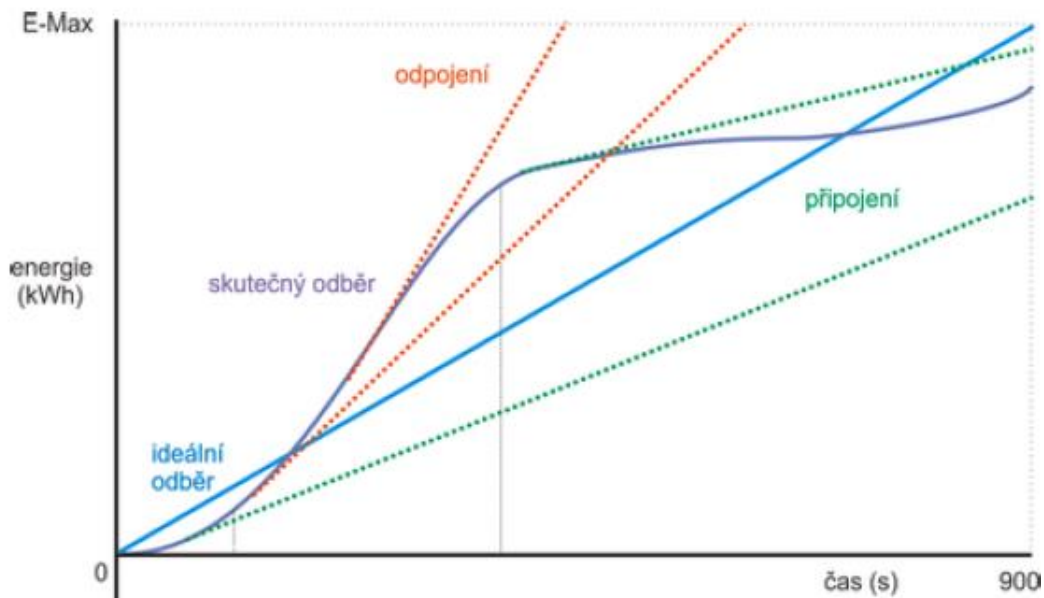


Obr. 3-1: Kompenzačný režim riadenia regulácie štvrt' hodinového maxima [27]

3.1.3 Prediktívny režim riadenia

Hlavnou myšlienkou prediktívneho (trendového) režimu je sledovanie trendu spotreby elektrickej energie v danej štvrt' hodine. Z elektromeru sa načítava stav spotreby v aktuálnej štvrt' hodine a v každom okamihu vyhodnocuje pravdepodobnosť prekročenia povoleného štvrt' hodinového maxima. To umožňuje dopočítavanie spotreby na konci regulačného intervalu a v nadväznosti na to včasné odpojovanie a pripojovanie

regulovaných elektrických spotrebičov. V režime sa pracuje s lineárnou extrapoláciou t.j. trend je dopočítavaný na základe diferencie medzi poslednými regulačnými krokmi. Za predpokladu, že regulovaná spotreba má deterministický charakter, je možné prediktívny režim riadenia hodnotiť ako kvalitnejší oproti ostatným režimom. [27]



Obr. 3-2: Prediktívny režim riadenia regulácie štvrt' hodinového maxima [27]

4. REGULÁCIA ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA APLIKOVANÁ V PRIEMYSLE

4.1 Hardvérové zariadenia pre reguláciu 1/4 hodinového maxima

Komerčne vyrábané regulátory pre reguláciu štvrťhodinového maxima

Na českom a slovenskom trhu pôsobí niekoľko spoločností, ktoré sa zaoberajú priemyselnou automatizáciou v oblasti regulácie odberu elektrickej energie. V tejto časti práce popisujem niekoľko komerčne vyrábaných regulátorov vhodných pre reguláciu štvrťhodinového maxima.

Regulátory som rozdelil do dvoch skupín z pohľadu využitia:

- Modulové PLC regulátory
- Systémové regulátory v priemyselnej energetike

Modulové PLC regulátory – na mieru zvolená HW zostava modulov pre zabezpečenie monitorovania spotreby elektrickej energie, prípadne iných druhov médií, a regulácie zazmluvnenej rezervovanej kapacity na odbernom mieste. Typickým príkladom použitia takýchto typov regulátorov sú menšie priemyselné podniky. Správu regulátora, akou je konfigurácia či archív dát, potom realizuje softvérová platforma vyhradená pre tento účel.

Systémové regulátory v priemyselnej energetike zabezpečujú informačné prepojenie systémov priameho riadenia výrobných technologických zariadení a podnikových plánovacích a ekonomických informačných systémov.

4.1.1 Modulové PLC regulátory

Regulátory firmy Duel Námestovo s.r.o.

Regulátory od firmy Duel Námestovo s.r.o. slúžia ako regulačný prvok spotreby elektrickej energie. Samotná regulácia sa realizuje odpínaním alebo pripájaním zvolených spotrebičov na základe veľkosti regulovanej veličiny. Kanály spotrebičov sa odopínajú v poradí určenom prioritou daného kanálu. Výnimku pri odpájaní majú tie kanály spotrebičov, ktoré nemajú splnenú minimálnu dobu zapnutia a tie, ktoré sú zablokované hardwarovo. Pri pripájaní sa postupuje v poradí od naposledy odpojeného kanála.

Regulátory radu DX4102.Q, DX4104.Q, DX4306.Q a DX8108.Q umožňujú výber dvoch regulačných veličín: štvrťhodinovej elektrickej práce alebo okamžitého elektrického príkonu. [28]

Pri regulácii štvrťhodinovej práce regulátor využíva sekvenčný (kompenzačný) algoritmus v kombinácii s trendovým a hladinovým algoritmom, ktorých funkčnosť je podrobne popísaná na strane 33 tejto práce, preto ho nebudem bližšie definovať.

Regulátory firmy PK-ELSYS Olomouc

Firma PK-ELSYS vyrába a dodáva kompletne systémy pre meranie, monitorovanie a reguláciu priebehu spotreby všetkých druhov energií vrátane regulácie rezervovanej kapacity (štvrt' hodinového maxima) elektrickej energie. [29]

Ponúkané systémy zabezpečujú nasledovné funkcie:

- sledovanie spotreby elektrickej energie
- sledovanie a regulácia rezervovanej kapacity
- online sledovanie okamžitej elektrickej náročnosti a chod technológie
- archivácia a vyhodnocovanie nameraných dát

Z jej produkcie vyberám niekoľko typov regulátorov:

- ATS – micro – malý regulátor pre sledovanie a reguláciu štvrt' hodinového maxima
- ATS – micro-S – regulátor s komunikáciou na PC a so základnou analýzou nameraných dát
- MM 116 – systém, ktorý okrem hlavného elektromera môže komunikovať s ďalšími 16 elektromermi, má ale len jeden výstup pre reguláciu. Dáta sú vyhodnocované aplikáciou Communicator 9.
- ATS C120 SM – systém pre meranie a reguláciu s možnosťou modulárneho rozšírenia na ucelené hardvérové zostavy, ktoré komunikujú na aplikáciu Max Communicator 9. [29]

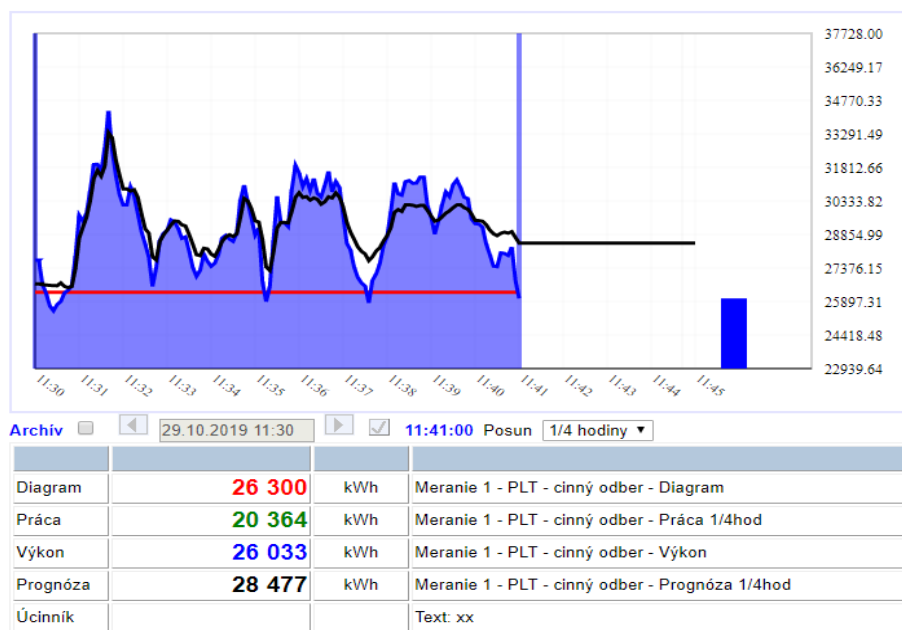
4.1.2 Systémové regulátory v priemyselnej energetike

Firma RB WEB a ENERG 600

Firma RB Web dodáva riadiaci a monitorovací systém energetického hospodárstva pre väčšie priemyselné podniky. V hierarchii informačných systémov ide o MES systém, ktorý zabezpečuje informačné prepojenie systémov riadenia technologických zariadení a podnikových ekonomických informačných systémov. [30]

Systém ENERG600 zabezpečuje monitorovanie a základné spracovanie dát a riadenie spotreby elektrickej energie. Základom hardvéru systému ENERG600 je riadiaca jednotka, ktorá je postavená na báze priemyselného PC. PC okrem štandardných rozhraní disponuje aj dvoma kanálmi komunikačného rozhrania RS485 na pripojenie digitálnych elektromerov, meračov plynu, meračov tepla, PLC, analyzátorov, regulátorov účinníka a pod. Na jeden takýto kanál RS485 je možné pripojiť 16 vstupno/výstupných modulov.

Prognóza - Meranie 1 - PLT

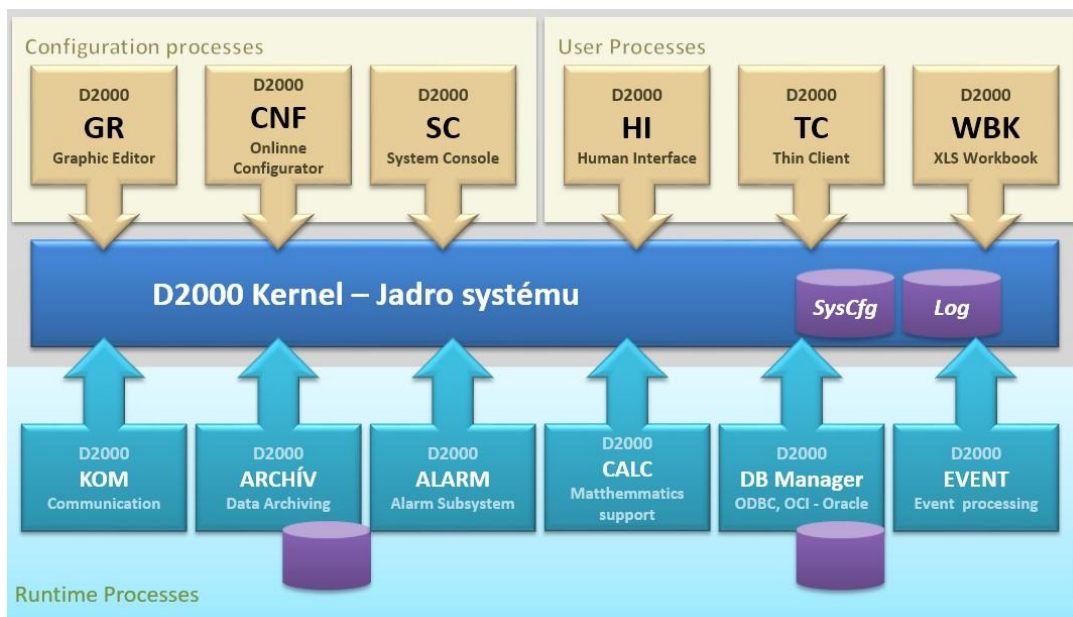


Obr. 4-1: Meranie štvrt' hodinového maxima priemyselnej výroby

RB WEB systém pozostáva s hardvérovej a softvérovej zostavy modulov na zber a spracovanie dát z technologických procesov. Na softvérovej úrovni sa o spracovanie dát stará komplexný energetický dispečing označovaný ako systém SREH - Systém Riadenia Energetického Hospodárstva. Architektúra a databázový charakter systému umožňuje jeho vzájomnú integráciu s ľubovoľným existujúcim štandardným informačným systémom alebo systémom zberu dát. [30]

4.2 Komunikačné protokoly pre zber dát aplikované v energetických systémoch

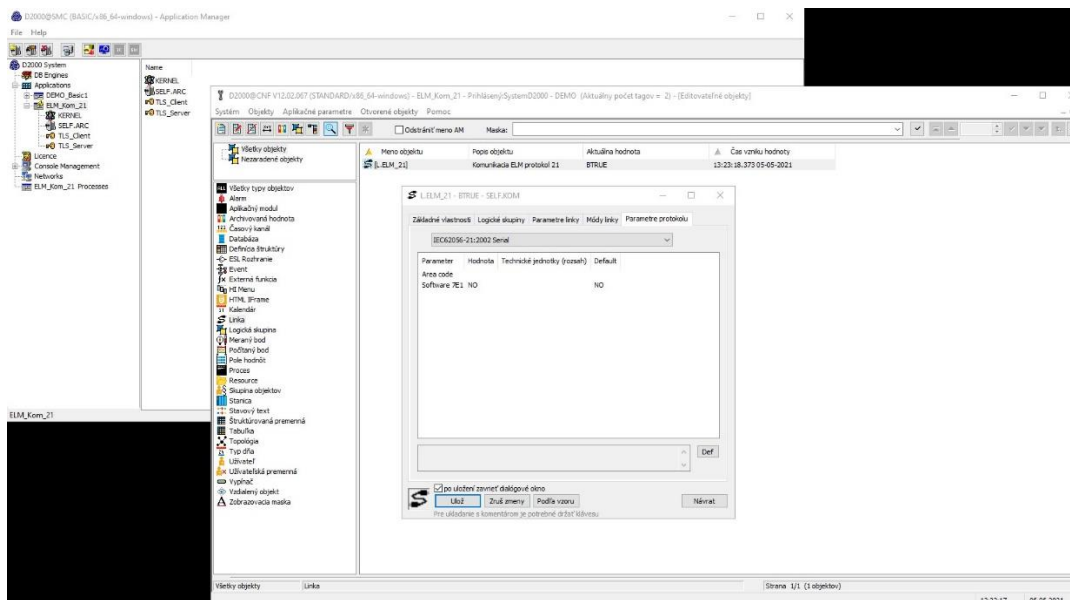
V predchádzajúcej teoretickej časti práce som popísal niekoľko komunikačných protokolov pre zber dát z elektromerov. V tejto časti práce je ukážka konkrétnej parametrizácie najčastejšie používaného komunikačného protokolu IEC62056-21 pre zber dát z ELM. Komunikácia je predvedená v SCADA systéme od firmy IPESOFT spol. s r. o. Žilina pod názvom D2000. SCADA systém D2000 je vyvinutý v jazyku ADA95, definovaný ako 32/64bit Real Time System s architektúrou klient – server. Systém D2000 obsahuje niekoľko procesov, vid'. Obr. 4-2. Proces, ktorý zabezpečuje komunikáciu na periférie systému sa nazýva KOM proces.



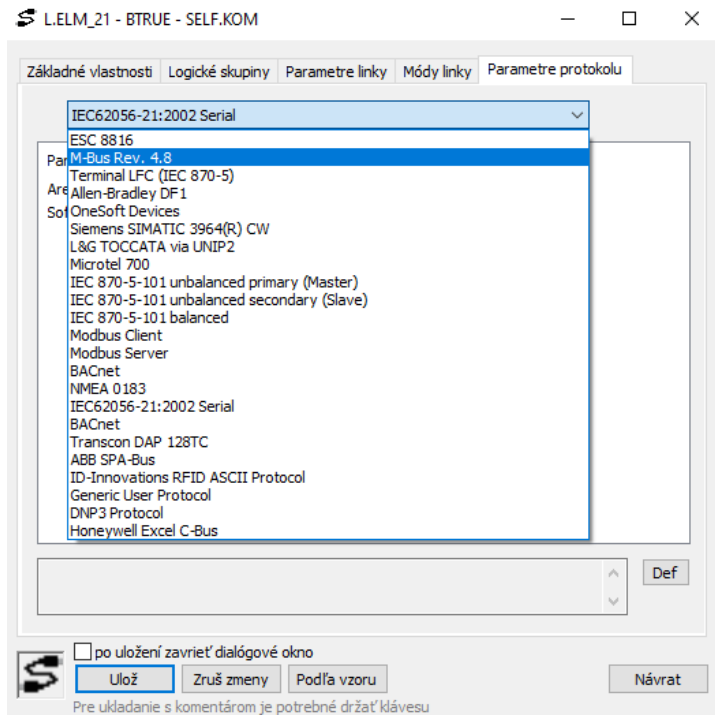
Obr. 4-2: Procesy systému D2000 [31]

Komunikačný protokol IEC62056-21 v systéme D2000

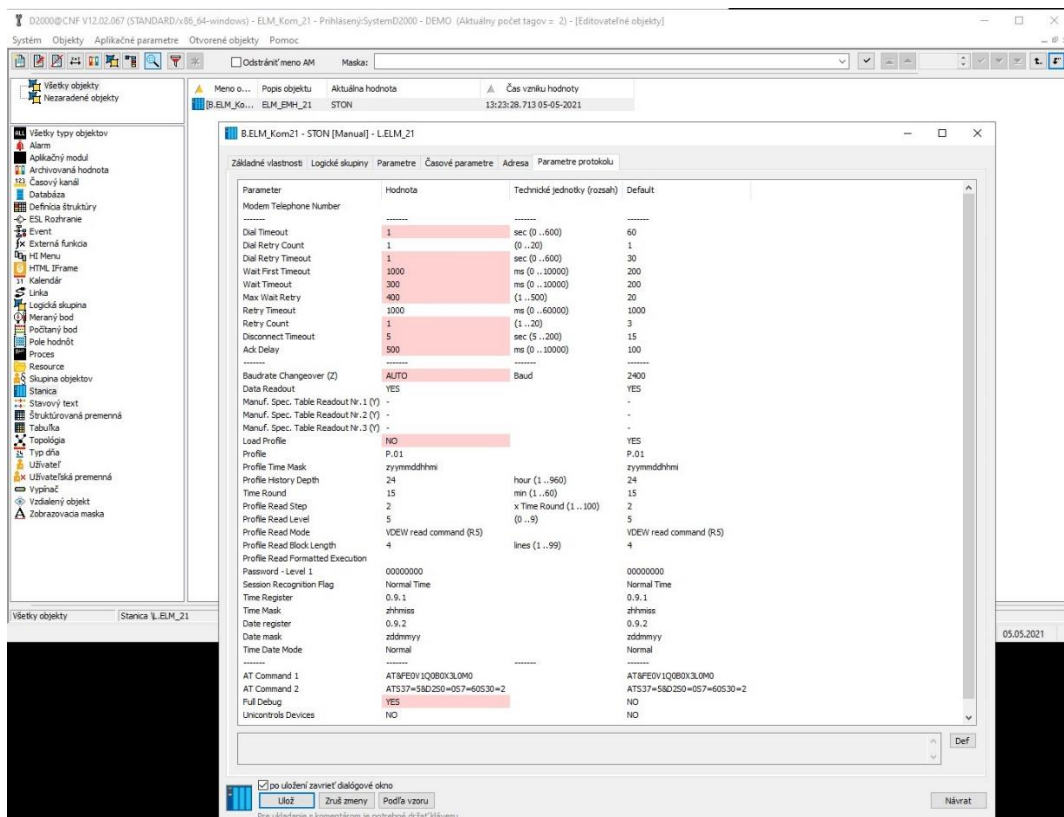
Postup parametrizácie komunikácie na elektromer typ: EMH LZQJ je cez sériovú linku RS-485.



Obr. 4-3: Parametrizácia linky komunikačného protokolu IEC62056-21 na pripojený elektromer



Obr. 4-4: Prehľad natívne podporovaných komunikačných protokolov systému D2000



Obr. 4-5: Editácia parametrov komunikačného protokolu IEC62056-21

4.3 Regulácia štvrt' hodinového maxima v PLC

Z dôvodu dostupnosti som sa rozhodol použiť riadiaci systém od firmy AMiT. Voľne programovateľné riadiace systémy firmy AMiT sú vhodné pre všetky automatizačné aplikácie v oblasti automatizácie budov, riadenia technologických celkov a energetického hospodárstva.

Tieto riadiace systémy sú cenovo veľmi dostupné z hľadiska pomeru cena/výkon a umožňujú veľkú hardvérovú škálovateľnosť pre vytvorenie optimálnej zostavy PLC pre reguláciu štvrt' hodinového maxima. Podporujú množstvo komunikačných protokolov a umožňujú parametrizáciu vlastného komunikačného protokolu. Programovanie a parametrizácia týchto riadiacich systémov sa realizuje vo vlastnom vývojovom prostredí DetStudio.

4.3.1 Komunikačný protokol IEC62056-21 v PLC AMiT

Riadiace systémy firmy AMiT nepodporujú natívnu komunikáciu v zmysle normy IEC62056-21, preto je nutné komunikáciu riešiť pomocou modulu užívateľskej komunikácie tzv. UserCom. Predpripravené moduly potrebné pre definovanie takejto komunikácie sú ComInit, ComWrite a ComRead. V prílohe vid'. Příloha B - je vytvorený návrh aplikácie realizovanej v vývojovom prostredí DetStudio ktorá zabezpečuje komunikáciu riadiaceho systému AMiT s malým elektromerom ED310. Projekt pre komunikáciu pozostáva z hlavného procesu, inicializačného procesu a štyroch podprogramov, vid'. Příloha B -. V hlavnom procese *Proc00* sa s päť sekundovou periódou vykonáva kód stavového automatu, ktorý podľa aktuálneho stavu volá príslušné podprogramy. Podprogram *Program100* obsluhuje prerušenie od prijímu znaku a podprogram *Program102* je volaný pri prerušení od vypršania timeout-u. V podprograme *Program103* je implementovaný druhý stavový automat realizujúci výzvu na komunikáciu v zmysle normy IEC62056-21 a ďalej príjem dátového telegramu s následnou kontrolou prijatých znakov. Pri indikácii koncového znaku v prijímanom dátovom telegramu dochádza k parsovaniu prijatých znakov do príslušných premenných na ďalšie spracovanie napríklad aj v regulácii štvrt' hodinového maxima.

4.3.2 SW knižnica pre reguláciu štvrt' hodinového maxima

Riadiaci systém AMiT má vo svojom vývojovom prostredí v knižnici pod názvom Elektro predpripravenú reguláciu štvrt' hodinového maxima. Knižnica sa používa pre meranie, plánovanie a reguláciu odberov elektrickej energie. Sledované dáta sa archivujú spolu s možnosťou ich následnej vizualizácie a generovania reportov spotreby elektrickej energie pre energetických pracovníkov. Knižnica je určená pre PLC zostavy, ktoré zabezpečujú meranie a spracovanie dát, vytvárajú krátke archívy nameraných údajov. V knižnici sú implementované aj rozsiahle možnosti parametrizácie plánovania maximálnej povolenej spotreby elektrickej energie.

Procesné činnosti knižnice:

- Meranie
- Spracovávanie nameraných údajov
- Časová synchronizácia
- Plánovanie
- Archivácia
- Údržba grafov
- Regulácia
- Vizualizácia na PC

Detailný popis činnosti knižnice a možných výstupov sú popísané vo firemnom manuáli softvérovej knižnice. V súčasnosti je pracovníkmi AMiT v riešení nový softvérový dizajn, ktorý by túto knižnicu doplnil o ďalšie funkcionality popísané aj v nasledujúcich kapitolách tejto práci.

4.4 HW a SW požiadavky na regulátor štvrt' hodinového maxima elektrickej energie s využitím PLC.

Po analýze dostupných regulačných systémov využívaných na reguláciu štvrt' hodinového maxima elektrickej energie a vzhľadom na požiadavky zo strany používateľov som zosumarizoval niekoľko dole uvedených vlastností, ktoré by regulácia štvrt' hodinového maxima implementovaná v PLC mala spĺňať:

Možnosť pripojiť minimálne dva elektromery cez komunikačný interface (protokol IEC 62056-21, IEC 62056-46, ModBus). V súčasnosti inštalované elektromery disponujú niekoľkými lokálnymi komunikačnými rozhraniami pre účely odčítania definovaných profilov a dát distribučnou spoločnosťou elektrickej energie. Impulzný výstup elektromera pripojený cez oddeľovacie moduly je najviac zaužívaný spôsob možnej komunikácie s elektromerom. Takáto komunikácia je značne nepresná z dôvodu vyčítania hodnôt len v diskretných časových okamihoch s pridelenou váhou impulzu a tiež pomalá pre požadovanú reguláciu štvrt' hodinového maxima spotreby elektrickej energie. Výkonné elektromery používané na meranie spotreby elektrickej energie na OM vo vlastníctve distribučnej spoločnosti majú štandardne dve lokálne komunikačné rozhrania (3G/Edge/GPRS a RS485). Komunikačné rozhranie GSM (GPRS) využíva distribučná spoločnosť a na základe požiadavky odberateľa môže poskytnúť druhé rozhranie odberateľovi pre jeho potreby sledovania spotreby a zmluvnej hodnoty štvrt' hodinového maxima. Komunikácia cez toto rozhranie je založená na komunikačných protokoloch IEC 62056-21 alebo IEC 62056-46, ktoré umožňujú odberateľovi čítať všetky profily a merané dáta v ľubovoľnom čase a v požadovanom cykle. Pripojenie odberateľa ku komunikačnému portu elektromera je podmienené splnením určitých požiadaviek distribučnej spoločnosti zo strany odberateľa (galvanické oddelenie

komunikačnej zbernice, autentifikačné heslo). Takýto druh komunikačného pripojenia je vhodný pre energetické systémy riadenia spotreby elektrickej energie, riadenia štvrt' hodinového maxima a plánovania odberového diagramu.

Možnosť zahrnúť do regulácie štvrt' hodinového maxima obnoviteľné zdroje energie (batériový systém, slnečné kolektory). Regulátor štvrt' hodinového maxima v spolupráci s batériovým systémom reguluje prekročenia rezervovanej kapacity tak, že dodá potrebné množstvo elektrickej energie do záťaže objektu, čo vedie k zníženiu odberu elektrickej energie z distribučnej siete a obdobnému efektu ako pri vypnutí záťaže.

Možnosť voľby vhodného regulačného algoritmu individuálne pre jednotlivé regulované výstupy (kanály). Softvérový blok pre reguláciu štvrt' hodinového maxima by mal mať možnosť voľby niekoľkých regulačných algoritmov, vzhľadom na zabezpečenie optimálneho sledovania a regulácie hodnoty štvrt' hodinového maxima.

Zachovať modulárny systém regulátoru (vstupné jednotky pre rôzne médiá a výstupné jednotky). Modulárny systém regulátora štvrt' hodinového maxima na báze PLC je z ekonomického hľadiska veľmi výhodný. Nakoľko umiestnenie jednotlivých prvkov regulačnej slučky je rozptýlené v rámci priemyselného areálu, je nutné ich komunikáciu zabezpečiť modulárne tzv. vstupno-výstupnými jednotkami (modul pre komunikáciu na elektromer, vstupno-výstupná jednotka na zapínanie a vypínanie spotrebičov), ktoré potrebujú byť vzájomne komunikačne prepojené. Komunikácia medzi modulmi musí byť výhodne riešená optickými vedeniami.

Interface (TCP/IP) na softvérovú platformu editácie regulátoru a na energetický dispečing priemyselného objektu (SCADA systém). Parametrizácia softvérového modulu PLC pre reguláciu štvrt' hodinového maxima musí byť užívateľsky prístupná aj v príslušnej vizualizácii (SCADA) energetického hospodárstva priemyselného areálu.

5. REGULÁCIA ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA V ENERGETICKÝCH SYSTÉMOCH S OZE

V tejto kapitole je v stručnosti popísaná problematika využitia OZE (obnoviteľné zdroje energie) a batériových systémov pre reguláciu štvrťhodinového maxima energetickej sústavy spotrebiteľa. Typický spotrebiteľ môže byť napríklad prevádzkovateľ PHM, ktorý okrem vlastnej spotreby elektrickej energie na chod prevádzky požaduje elektrickú energiu aj na možné poskytovanie rýchleho nabíjania elektrických vozidiel.

Takýto prevádzkovatelia sa môžu nachádzať na miestach, kde im distribútor elektrickej energie nemôže poskytnúť požadovanú hodnotu RK, a preto musia hľadať riešenia vo využití OZE v spolupráci s batériovým úložiskom pre zabezpečenie energetickej náročnosti takejto prevádzky. Táto energetická náročnosť je časovo variabilná, pretože prevádzkovateľ nevie dopredu plánovať počet nabíjaných vozidiel a tým hodinovú energetickú náročnosť systému, tj. aktuálnu hodinovú spotrebu z distribučnej sústavy. Jedno z riešení tohto problému môže byť využitie spomínaného batériového systému a OZE ako zdroja energie pre vykrývanie zvýšenej spotreby elektrickej energie počas nabíjania väčšieho počtu elektrických vozidiel. V takomto systéme musí byť zabezpečený aj algoritmus riadenia štvrťhodinového maxima smerom k distribučnej sústave. Návrh algoritmu riadenia štvrťhodinového maxima je popísaný v kapitole č. 6.

V nižšie uvedených kapitolách popisujem rozbor OZE a batériových systémov v rozsahu potrebnom pre vystihnutie podstaty problematiky témy mojej práce.

5.1 OZE - fotovoltaika a jej komponenty

5.1.1 FVE - základné princípy

Fotovoltaičné panely

V súčasnosti sú najrozšírenejšie tri technológie fotovoltaičných panelov. monokryštalické, polykryštalické a amorfné kremíkové články. Pri výbere vhodnej technológie panelu sa okrem ceny a výkonu zohľadňuje aj miesto použitia. Monokryštalické panely sú vhodné najmä na miesta s priamym slnečným žiarením. Pri polykryštalických paneloch nie je závislosť na priamom slnečnom žiarení až tak dôležitá. Amorfné panely sú najmenej závislé na smer dopadajúceho žiarenia, zatienenie či ročné obdobie. [32]

Striedač

Je zariadenie, ktoré slúži na premenu jednosmerného prúdu z výstupu fotovoltaičného panela na striedavý prúd a napätie s parametrami elektrickej siete (230/400 50Hz). Väčšina kvalitných invertorov dnes už disponuje aj ochranou, ktorá v prípade

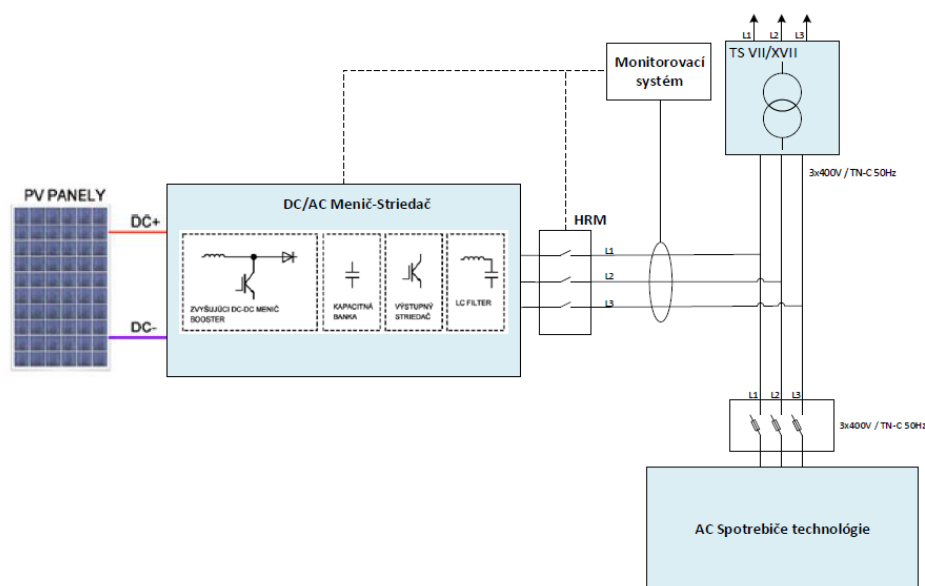
nedodržania kvalitatívnych parametrov siete takýto lokálny zdroj energie od DS odpojí. Medzi ďalšie dôležité funkcie tohto zariadenia patrí aj aktívne hľadanie optimálneho pracovného bodu fotovoltaiického panelu (MPPT) v závislosti na teplote a miere dopadajúceho slnečného žiarenia. Hlavným parametrom pri výbere invertora je jeho výkon, ktorý musí odpovedať špičkovému výkonu inštalovaných fotovoltaiických panelov. [32]

Základné režimy činnosti FVE systému

- On-grid – základný systém s pripojením na lokálnu elektrickú sieť.
- Off-grid – ostrovny režim, bez pripojenia na lokálnu elektrickú sieť.
- Hybridné zapojenie – FVE systémy s akumuláciou.

Pre optimálnu činnosť FVE je dôležitá konfigurácia meničov, ktorú projektant pre danú FVE zvolí. Na toto rozhodnutie má vplyv niekoľko faktorov:

- Výkon FVE – pre známy výkon projektovanej FVE sa vyberá typ meniča, môžu sa použiť centralizované alebo decentralizované meniče. Ďalej je dôležitá otázka použitia vhodnej napäťovej sústavy meničov, ktorou je možné ovplyvniť celkovú účinnosť FVE.
- Umiestnenie FV panelov ovplyvňuje správny výber meničov (centralizovaný, decentralizovaný), výber vhodného typu FV panelov a ich prípadné zatienenie tiež ovplyvňuje rozhodnutie o vhodnej konfigurácii.
- Typ FV článkov ovplyvňuje druh vhodného meniča na daný výkon a určuje, aký optimálny výkon v jednotlivých stringoch bude použitý.
- Umiestnenie vývodov má vplyv na dimenzáciu prívodných vodičov k meniču.



Obr. 5-1: Principiálna schéma zapojenia FVE

5.2 Batériové systémy

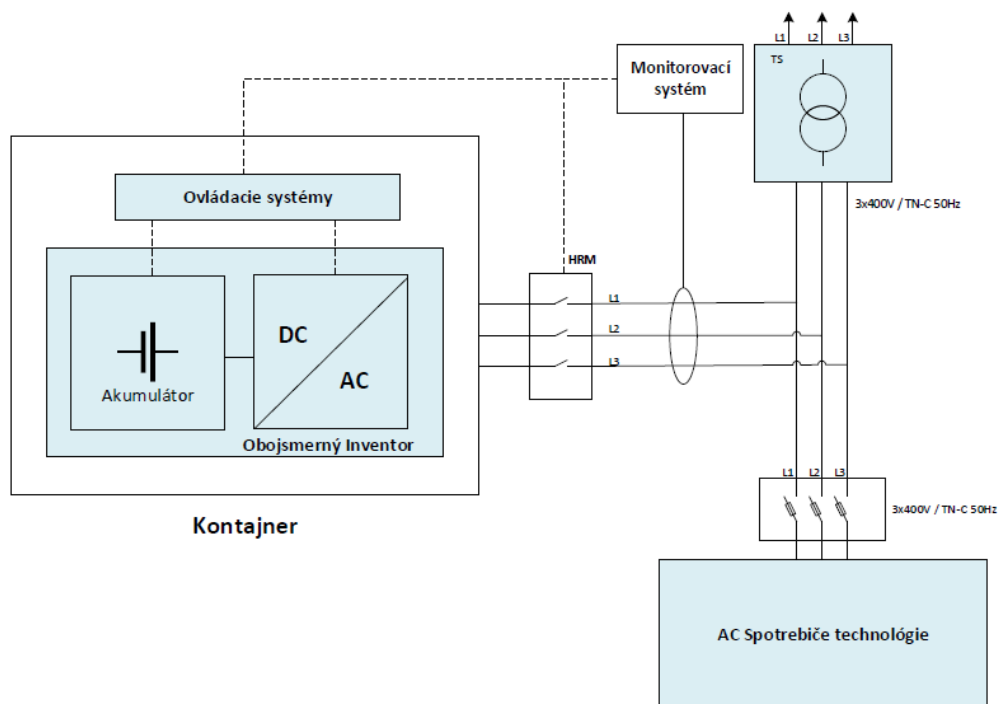
V tejto kapitole je popísaná základná charakteristika riešení akumulácie elektrickej energie založenej na elektrochemickom princípe. Problematika akumulácie použitím elektrochemických technológií je veľmi široká a v práci sa zameriam prioritne na akumuláčny systémy vhodné pre pokrytie nárokov priemyselného objektu.

Vhodne zvolené akumuláčny systémy, z technického a ekonomického hľadiska, sa v priemysle nasadzujú najmä pre potrebu zálohových odberov, podporné služby ES alebo na účel eliminácie špičkových odberov.

Pod elektrochemický princíp akumulácie spadajú:

- batérie,
- regeneračné batériové systémy,
- palivové články.

Batériový systém je v súčasnej dobe dodávaný ako kontajnerový systém, ktorý pozostáva zo samotných akumuláčnych článkov a výkonovej riadiacej elektroniky. Batériové systémy sú väčšinou modułárne, skladané z jednotlivých komponentov, ale dodávatelia ich predávajú ako celok a poskytujú záruku a servis na celý technologický systém.



Obr. 5-2: Principiálna schéma zapojenia batériového úložiska

Prvý kontajner tvorí sada akumuláčnych článkov elektrickej energie, ktoré musia byť schopné zabezpečiť pri 100% vybití požadovanú hodinovú dodávku elektrickej energie počas celej deklarovanej doby životnosti zariadenia. Tie sú pripojené na výkonový invertor, ktorý je schopný pracovať s účinníkom v rozsahu 0,1 až 1 ako v indukčnom, tak aj v kapacitnom režime. Riadenie batériového úložiska zabezpečujú ovládacie systémy:

- Riadiaci systém batérie (Battery Management System - „BMS“) – má na starosti zabezpečenie riadenia vlastnej spotreby systému a zaistenie spoľahlivej prevádzky bez nutnosti lokálnej obsluhy, a to aj v prípade výnimočných a potenciálne nebezpečných prevádzkových stavoch. Zahŕňa taktiež požiaru signalizáciu, ventiláciu a klimatizáciu jednotky. BMS ovláda aj hlavné rozpojovacie miesto batériového úložiska HRM.
- Systém vzdialeného ovládania batérie (Energy Management System - „EMS“) predstavuje formu IT platformy slúžiacej na zaistenie vzdialeného monitoringu systému v reálnom čase, na vzdialený prístup ku riadeniu batériového systému prevádzkovateľom a tretími stranami, tiež na zber a ukladanie dát.

5.3 Konkrétne príklady pre využitie batériového úložiska v energetike

Rozsah využitia batériových úložísk v rámci elektrizačnej sústavy je pomerne široký a zasahuje do každého zo sektorov ES, od výroby cez prenos až ku samotnej spotrebe energie u koncového zákazníka. Akumulačné batériové systémy sú častokrát nevyhnutné pre integráciu OZE do elektrizačnej sústavy. Okrem spomínaného kompenzovania premenlivej dodávky energie z OZE, batérie poskytujú elektrizačnej sústave podporné služby pre udržiavanie kvalitatívnych parametrov siete.

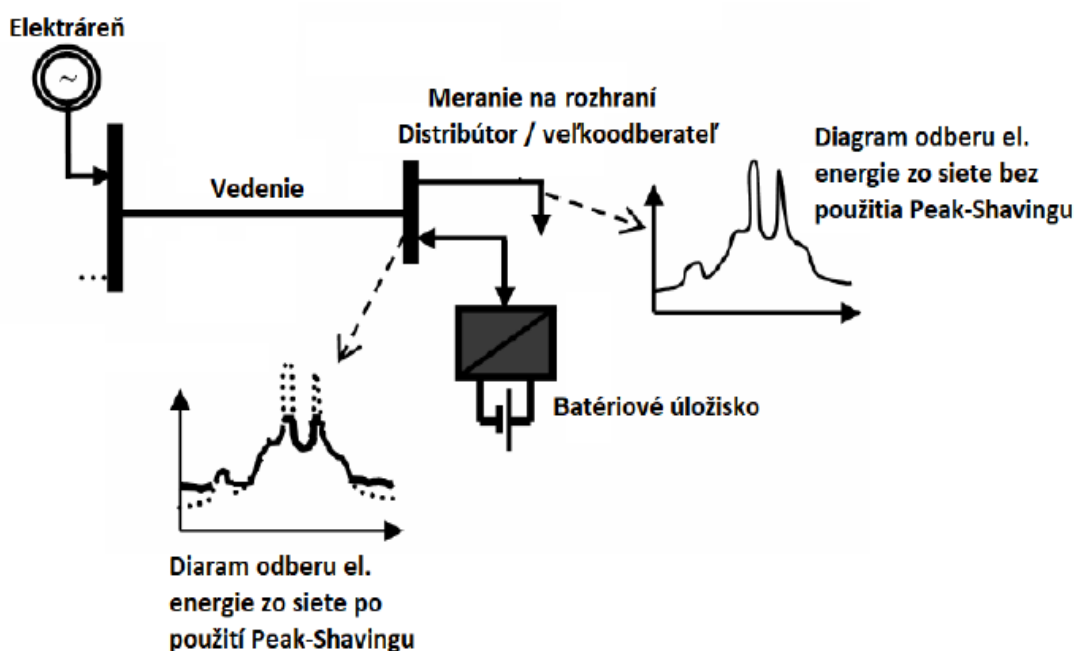
V záujme ekonomickej návratnosti je žiadúce, aby batériový systém bolo možné používať aj na viaceré účely naraz, samozrejme s ohľadom na vlastnosti a parametre konkrétneho systému.

5.3.1 Kompenzácia výkonových špičiek (Peak-Shaving)

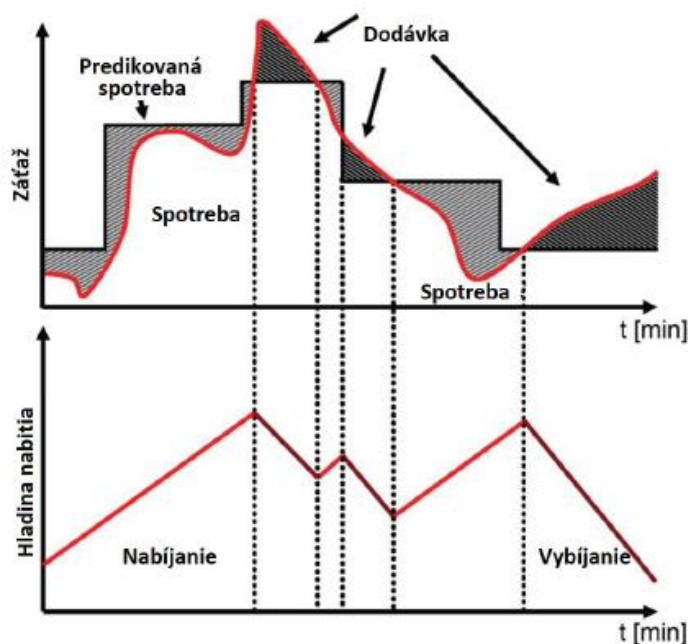
Každý veľkoodberateľ (priemyselný objekt) na hladinách VN a VVN má stanovenú rezervovanú kapacitu (štvrt' hodinové maximum). Ako už bolo v práci viackrát uvedené, je to prostriedok, ktorým si distribútor vynucuje dodržiavanie odberového plánu. Za prekročenie tejto zmluvnej hodnoty sú veľkoodberateľovi účtované penále vo výške niekoľkonásobku mesačnej ceny za rezervovanú kapacitu vzťahnutú na každý MW prekročenej zmluvnej hodnoty. Neprekračovanie štvrt' hodinového maxima možno doceliť buď vhodne zvolenou reguláciou odberu, alebo správnym rozvrhnutím technológie výroby tak, aby nedochádzalo k veľkým odberom naraz.

Pre elimináciu výkonových špičiek sa využíva technológia označovaná ako „Peak-Shaving“. V minulosti boli zaužívané vo veľkých priemyselných podnikoch diesel-generátory alebo plynové turbíny, ktoré generovali elektrinu v čase zvýšenej spotreby priamo v objekte, čím znižovali okamžitý výkon odoberaný zo siete. V súčasnosti sa na realizáciu Peak-Shaving-u do popredia dostávajú batériové úložiská, ktoré nabíjame energiou z lacnejších tarifov v čase malej spotreby objektu. Pri špičkových odberoch uloženú energiu vybíjame. V nadväznosti na uvedené, pri správnej optimalizácii batériového úložiska dochádza aj k znižovaniu potrebnej zmluvnej rezervovanej kapacity a k výraznej úspore pri paušálnej platbe za elektrickú energiu.

Technológia Peak-Shaving-u môže mať významné postavenie v súvislosti s rozvíjajúcim sa segmentom elektro-mobility. Jedným z kľúčových parametrov v tejto oblasti bude rýchlosť nabíjania elektromobilov. Práve špičkové hodnoty výkonu odoberané rýchlo nabíjacími stanicami by mohli byť pokryté kompenzáciou z batériových systémov, dôsledkom čoho by sa nezvyšovala hodnota rezervovanej kapacity na hladinách VN, VVN a na hladine NN by nebolo nutné zvyšovať nominálnu hodnotu hlavného ističa. [33; 34]



Obr. 5-3: Grafická zjednodušená predstava diagramu spotreby el. energie s/bez Peak-Shaving [34]

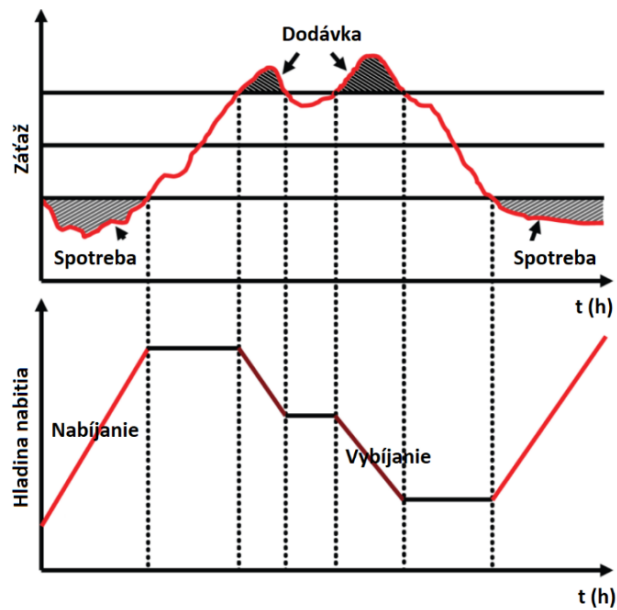


Obr. 5-4: Diagram odberu s technológiou Peak-Shaving [35]

Na obrázku Obr. 5-4 je vykreslený odberový diagram s aplikáciou Peak-Shaving. Regulačná hodnota rezervovanej kapacity (štvrt' hodinového maxima) však nie je konštantná, ale je premenlivá v čase. V obrázku je tiež zobrazený zjednodušený pracovný cyklus batériového systému, ktorý reflektuje na krivku diagramu.

5.3.2 Presun spotreby v čase (Peak-Shifting)

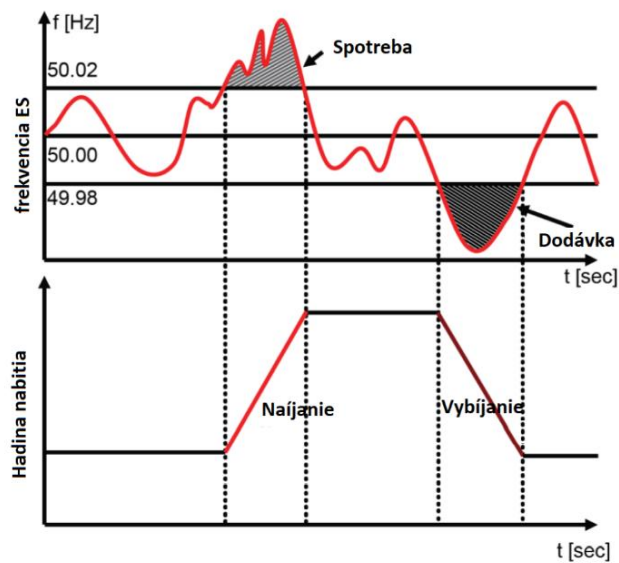
Cieľom technológie Peak-Shifting je ukladanie energie v dobe nízkeho odberu a dodávanie elektrickej energie v čase vysokej spotreby energie. Riešenie batériovej akumulácie pokrýva dlhotrvajúce odchýlky, rádovo desiatky hodín, ktoré zasahujú do neželaných oblastí odberového diagramu, a tým narušujú kvalitatívne parametre elektrizačnej sústavy. Princíp Peak-Shifting sa najčastejšie používa na časový posun spotreby elektrickej energie získanej práve z OZE za účelom maximalizovania využitia energie získanej z OZE. Takéto využitie batériového úložiska je vhodné rovnako na úrovni veľkých elektrární s OZE, tak aj pre rodinné domy. Na Obr. 5-5 je vyobrazená aplikácia Peak-Shifting spolu s pracovným cyklom batérie. [35; 36]



Obr. 5-5: Princíp presunu spotreby v čase [35]

5.3.3 Regulácia frekvencie

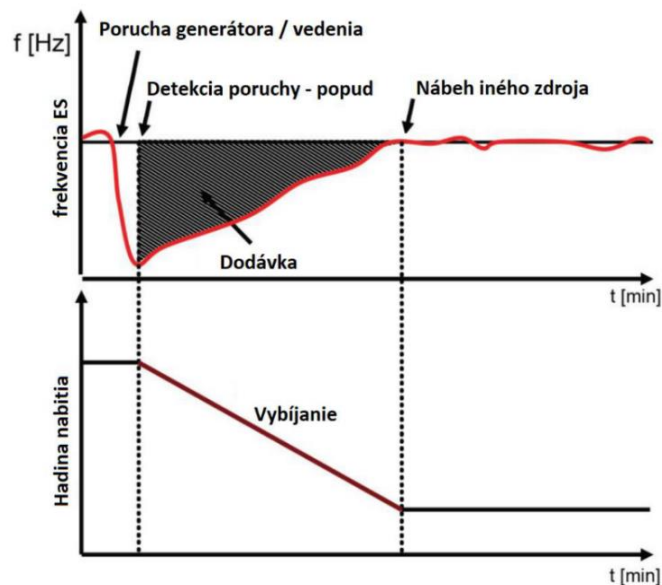
Ďalším praktickým využitím batériového úložiska formou podpornej služby elektrizačnej sústavy môže byť udržiavanie dovolených medzných hodnôt odchýlok frekvencie. Pri nerovnováhe medzi výrobou a spotrebou vzniká odchýlka hodnoty frekvencie, ktorú ako dôležitý celosystémový parameter je nutné udržiavať v zákonne stanovených medziach. Na reguláciu frekvencie v ES sa využíva schopnosť batériového úložiska, ktoré sa dokáže správať ako záťaž alebo ako zdroj. V prípade nárastu frekvencie sa batériový systém nabíja, čím odoberá prebytočný výkon z ES. Pri poklese výkonu naopak, ako zdroj dodáva výkon do siete. To so sebou prináša výhody v podobe zvýšenej spoľahlivosti siete a v podobe zlepšenia kvalitatívnych parametrov. Dôležitá požiadavka na batériový systém je, že musí byť schopný rýchlej reakcie na zmeny frekvencie v ES, rádovo v sekundách [35; 36]



Obr. 5-6: Princíp aplikácie udržovanie frekvencie v ES [35]

5.3.4 Umelá záloha

Pri využití batériového systému ako umelej zálohy je akumulátor udržiavaný v stave vysokej pripravenosti, teda trvalo nabitý. V prípade náhleho poklesu vyrábaného výkonu, napríklad z dôvodu výpadku niektorého z generátorov, dochádza zákonite aj k poklesu frekvencie v sieti. Na zníženie frekvencie reaguje riadenie akumulátora, ktorý začne injektovať veľký výkon počas niekoľkých minút na pokrytie spotreby, kým nedôjde k nábehu záložných zdrojov. Batéria sa začne opätovne nabíjať v čase mimo odberovú špičku, až po odstránení poruchového stavu. [35; 36]

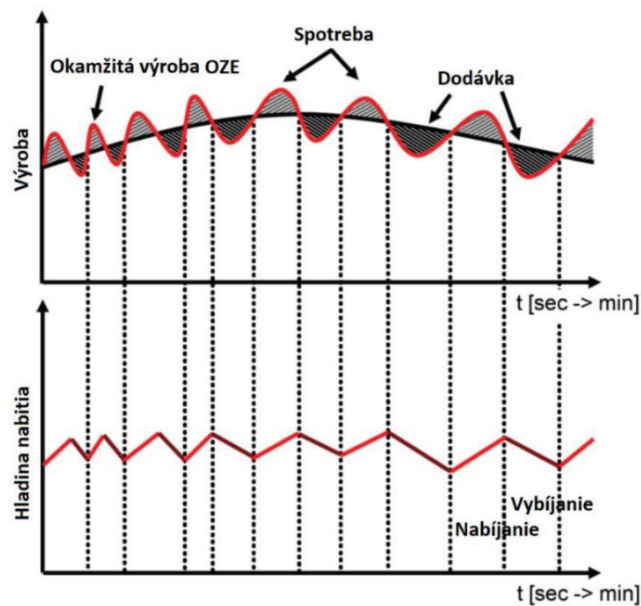


Obr. 5-7: Princíp aplikácie umelej zálohy batériovým systémom [35]

5.3.5 Kompenzácia výkonových špičiek pre zdroje s kolísavým výkonom

Pri zdrojoch elektrickej energie so stochastickým kolísavým výkonom, kde patria najmä obnoviteľné zdroje energie, je žiadúce vhodnými opatreniami vyhladiť ich výkonové špičky.

Fotovoltaické či veterné zdroje energie sú z princípu ich funkcie značne závislé na meteorologických podmienkach, preto je pomerne náročné stanoviť predikciu ich výroby. Jednou z možností na obmedzenie intermitentného profilu krivky výkonu OZE je ich kombinácia s batériovým systémom. Kritickým parametrom je rýchlosť odozvy batériového systému, kedy sa vyžaduje okamžitá reakcia a dostatočná kapacita nabíjania a vybíjania. Vďaka tejto kompenzácii sa zvyšuje efektívnosť prevádzky OZE. [35; 36]



Obr. 5-8: Aplikácia vyhladenia výroby zdrojov s kolísavým výkonom [35]

5.4 Výber akumuláčnej technológie

Schopnosť batériových systémov reagovať na požiadavky siete závisia z veľkej časti na použitej technológii úložiska energie. To predurčuje funkciu a účel použitia. Po naštudovaní problematiky akumuláčnych systémov by som ako najvhodnejšiu technológiu akumulácie elektrickej energie vybral Li-Ion batérie. Medzi kritické kritérium pri výbere správnej technológie akumulácie, ktorá reflektuje požiadavky podporných služieb siete najmä v súvislosti s Peak-Shaving, určite patrí rýchlosť odozvy batérie na požiadavky dodávky energie. Práve tento parameter spomedzi všetkých technológií najlepšie napĺňajú Li-Ion batérie a pohybuje sa v rádoch milisekúnd.

Označenie „Lithium-ionové“ (Li-Ion) reprezentuje súhrnné označenie pre akumulátory zložené z rôznych materiálov, kde pri nabíjaní a vybíjaní dochádza k prenosu iónov lítia medzi dvoma elektródami. Medzi ich ďalšie výhody patrí napríklad veľká hustota uložennej energie tj. pomer uložennej energie k rozmerom a hmotnosti

batérie. Pre porovnanie typická lítiová batéria dokáže uschovať šesťkrát viac elektrickej energie v jednom kilograme batérie než olovené batérie. Relatívne jednoduchá údržba, veľký počet nabíjajúcich/vybíjajúcich cyklov a absencia pamäťového efektu taktiež túto technológiu zvyhodňuje pred ostatnými. Jej nevýhodou je teplotná závislosť dodávaného výkonu, kedy vyššia prevádzková teplota vedie k urýchleniu degradácie batérie. Teplotná ochrana batérie spolu s ochranou proti prebitiu alebo hlbokému vybitiu je pri tomto type batérie nutnosťou, čím sa navyšuje aj tak pomerne vysoká cena. [37]

6. MODEL REGULÁCIE ŠTVRŤHODINOVÉHO MAXIMA S OZE A VYUŽITÍM BATÉRIOVÉHO SYSTÉMU

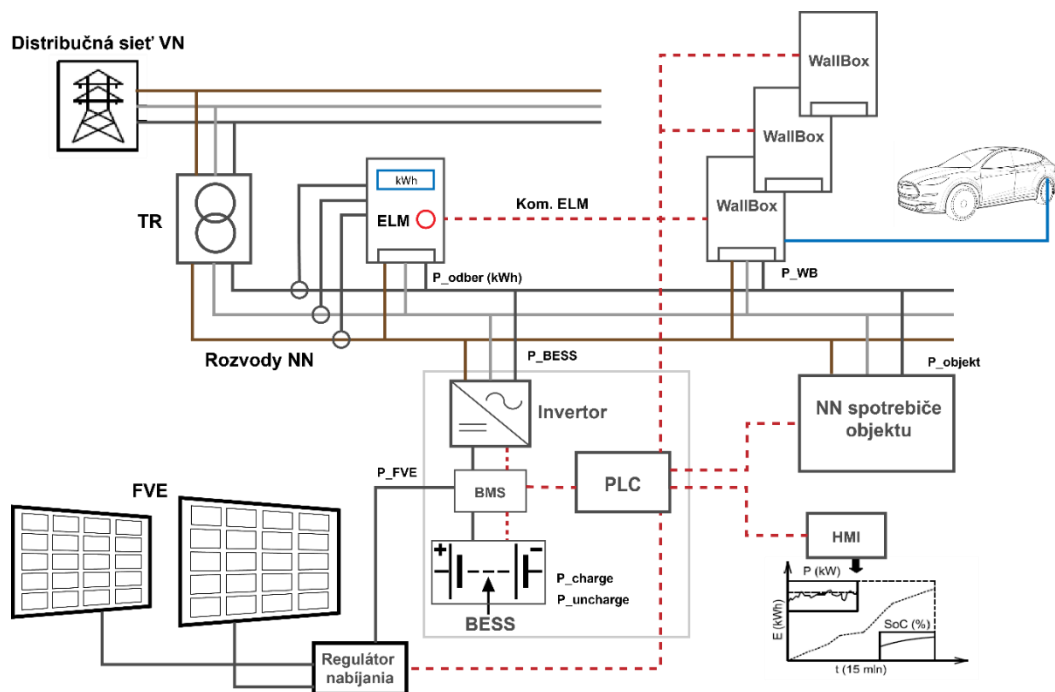
V tejto kapitole je detailne popísaný návrh regulácie štvrťhodinového maxima energetickej sústavy s využitím OZE a batériového systému. Algoritmus regulácie bol vyvíjaný v prostredí Matlab. S výhodou som využil reprezentačné možnosti tohto prostredia pre preukázanie funkčnosti môjho návrhu regulácie. V závere kapitoly je navrhnutý algoritmus regulácie štvrťhodinového maxima s OZE a BESS overený v simulačnom prostredí Simulink.

6.1 Návrh modelu

Návrh zapojenia systému s využitím obnoviteľných zdrojov (FVE+BESS) pre využitie aplikácie peak-shaving vychádza z nižšie uvedeného zapojenia. Obojsmerný invertor je pripojený paralelne k hlavnému rozvodu elektrickej energie v distribučnej sieti vysokého napätia (odberné miesto). Fakturačné meranie spotreby na päte odberného miesta je realizované ako polopriame meranie. Fakturačný elektromer môže byť nakomunikovaný cez jeho lokálne komunikačné rozhranie (protokol IEC 62056-21, IEC 62056-46, ModBus), čo nám zabezpečí presnosť merania spotreby elektrickej energie a postačujúci časový cyklus pre odčítavanie potrebných dát (minútový zber dát) so synchronizáciou času pre reguláciu RK. Namerané dáta z elektromera sú odosielané do riadiacej jednotky, ktorá zabezpečuje stabilizáciu napätia a sleduje vývoj celkovej spotreby elektrickej energie a vyhodnocuje vhodné využitie obnoviteľných zdrojov energie ako fotovoltaiických článkov a batériového úložiska pre nabíjanie resp. vybíjanie z dôvodu zabezpečenia odberaného elektrického výkonu.

Riadiaca jednotka (PLC) bude disponovať aj potrebnými vstupno/výstupnými portami pre ovládanie stýkačov slúžiacich na pripájanie alebo odpájanie vybraných spotrebičov. Ďalšou podmienkou pre riadiacu jednotku je poskytovať cez TCP/IP interface obojsmernú komunikáciu na dispečing energetického hospodárstva objektu.

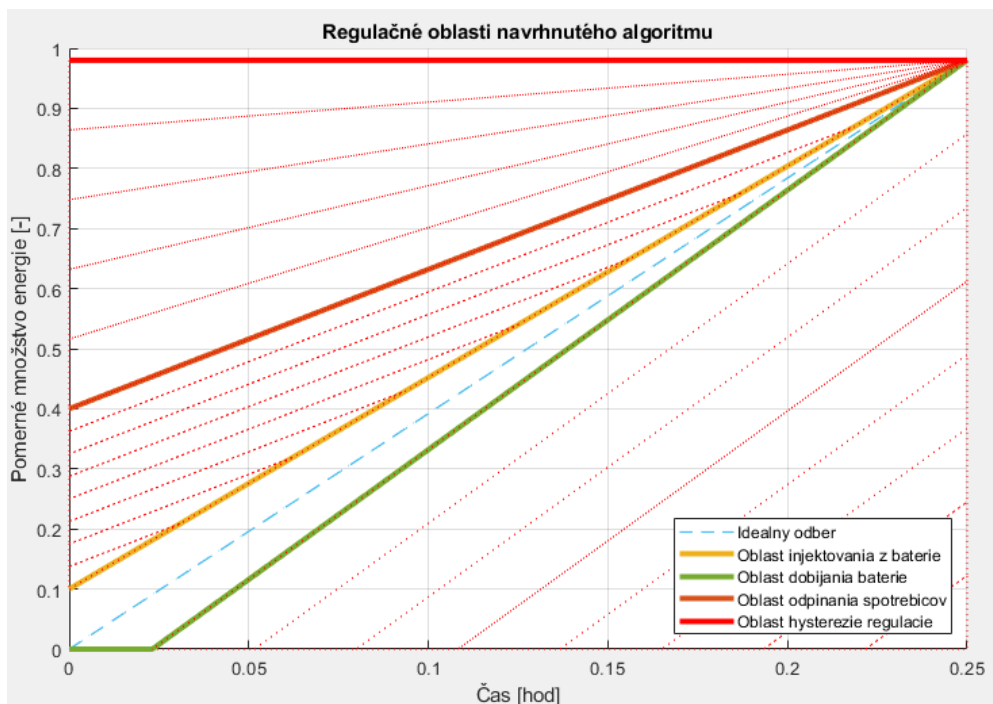
Batériový systém je využitý na zabezpečenie dostatočného výkonu pre špičkový odber spôsobený inštalovanými nabíjacími stanicami pre elektromobily a taktiež zabezpečuje integráciu a úložisko pre energiu vyrobenú z FVE. Súčasťou batériového systému je aj modul systému riadenia batérie BMS, ktorý sleduje parametre batérie a poskytuje ich riadiacej jednotke (PLC)



Obr. 6-1: Návrh zapojenia modelovej situácie

6.2 Princíp riadiacej logiky modelu

Princíp tejto regulácie je veľmi podobný ako kompenzačný režim riadenia regulácie štvrt' hodinových maxím s odpínaním jednotlivých kanálov tak, aby nedošlo k ich prekročeniu. Tento režim riadenia je doplnený o oblasť s vykrývaním nadspotreby batériovým systémom. Regulácia je ovplyvnená nastaviteľnými charakteristikami, sklon a vzájomná poloha charakteristík určuje priebeh regulácie rezervovanej kapacity. Nastavenie charakteristík je individuálne a ich rozvrhnutie je možné modifikovať v závislosti od konkrétnej aplikácie. Defaultné rozvrhnutie vid'. obrázok Obr. 6-2.



Obr. 6-2: Regulačné oblasti navrhnutého algoritmu

Jednotlivé oblasti riadiacej logiky regulácie s aplikáciou peak-shaving sú bližšie popísané vo vývojovom diagrame, ktorý zjednodušene približuje programovú štruktúru pracovných oblastí. Pre prvú časť riadiacej logiky je dôležité zabezpečiť vstupné technické parametre, popisujúce aktuálny stav odberu elektrickej energie, výkonové parametre jednotlivých častí systému a to fotovoltaické články (FVE), batériový systém (BESS+invertor), pripojené spotrebiče – wallboxy pre nabíjanie elektromobilov a NN spotrebiče objektu. Veľmi dôležité pre tento systém sú aj ekonomické vstupné parametre, ako je aktuálna cena energie a cena za rezervovanú kapacitu. Pre ekonomické zhodnotenie celého systému sú dôležité nadobúdacie ceny jednotlivých použitých komponentov (investícia).

Vývojový diagram jednotlivých pracovných oblastí návrhu riadenia regulácie s aplikáciou peak-shaving je v značnej miere idealizovaný, avšak poskytuje základnú predstavu o algoritme riadenia a komunikácie medzi jednotlivými zariadeniami systému. Hlavný riadiaci program je realizovaný v priemyselnom PLC ako riadiaca knižnica pre energetiku. Pri reálnej implementácii algoritmu treba uvažovať s ďalšími vstupujúcimi vlastnosťami jednotlivých častí systému:

- Batériový systém – jeho nabíjacia a vybíjacia charakteristika
- Teplota okolia pre uloženie batérií a jej vplyv na batériovú technológiu (BMS)
- Reakčný čas batérie, invertora
- Spoľahlivosť dátovej komunikácie riadiacich prvkov systému
- Prechodové javy pri regulácií

6.2.1 Vstupné parametre modelu

Nasledujúce parametre vstupujú do vývojového diagramu návrhu modelu pre reguláciu štvrt' hodinového maxima energetickej sústavy s využitím OZE a batériového systému.

Spotreba elektrickej energie objektu – sú to hodnoty odoberaného výkonu veľkoodberateľa. Hodnoty spotreby sú získané buď na vyžiadanie prevádzkovateľa odberného miesta distribútorom elektrickej energie, alebo sú merané priamo samotným majiteľom/prevádzkovateľom objektu. Z dôvodu čo najpresnejšieho vyhodnotenia regulácie s aplikáciou peak-shaving je vhodné periódu meraných dát voliť minimálne v minútovej perióde. Perióda nameraných dát určuje aj rozsah časovej osi.

Časový interval merania – časový interval merania vstupných dát (hodinové, štvrt' hodinové, minútové).

Kapacita batériového úložiska – udáva koľko wattov elektrickej energie umožňuje akumulátor dodať za jednu hodinu, vyjadruje sa vo Wh. Štandardne sa kapacita batérie vyjadruje aj ampérhodinách. Po vynásobení kapacity v amperhodinách výstupným napätím obdržime jednotku Wh. Nakoľko napätie batérie sa behom vybíjania môže meniť, je výhodnejšie udávať kapacitu práve v ampérhodinách. Dôležité je poznať aj pracovné podmienky a vybíjací prúd batérie. Je nutné rozlišovať inštalovanú a využiteľnú kapacitu, ktorá býva z pravidla menšia. Pri návrhu veľkosti batériového úložiska je potrebné veľkosť navrhnuť aj s ohľadom na prirodzenú degradáciu kapacity batérie a limitu nabíjania cca. 90% SoC.

Hodnota nabitia batérie – SoC (State of Charge) udáva percentuálnu hodnotu, pomer uloženej energie v akumulátore k celkovej využiteľnej kapacite. Táto hodnota vyjadruje mieru nabitia batériového systému v aktuálny sledovaný moment. Optimálnym nastavením maximálnej a minimálnej hodnoty nabitia a udržiavaním batérie v tomto pracovnom rozsahu zvyšujeme jej životnosť a účinnosť nabíjania/vybíjania.

C-rate – alebo prúdový súčiniteľ (prúdová zaťažiteľnosť) vyjadruje veľkosť menovitého vybíjacieho alebo nabíjacieho prúdu, ktorý je vyjadrený ako násobok inštalovanej kapacity. Veľkosť prúdu má samozrejme súvis s rýchlosťou nabíjania alebo vybíjania. Napríklad vybíjanie batérie hodnotou 1C znamená, že akumulátor poskytne celú svoju kapacitu behom jednej hodiny.

Životnosť akumulátora – definujeme maximálnym počtom plných cyklov, ktoré je možné z akumulátora dostať bez toho, aby sa zmenili sledované parametre batérie. V súvislosti so životnosťou batérie sa sleduje pokles kapacity spôsobený postupnou degradáciou materiálov. Do návrhu vhodného batériového systému je žiadúce zahrnúť aj predpokladaný pokles kapacity za dobu životnosti. Počet plných cyklov je priamo závislý od prevádzkových podmienok, kedy hlavne teplota, hlboké vybitia či prebývanie významne ovplyvňujú údaje, ktoré deklaruje výrobca.

Výkon batérie – okamžitý elektrický výkon, ktorý akumulátor dodáva do záťaže. Parameter E-rate (energy rate) batérie vyjadruje výkon, akým sa batéria nabíja alebo vybíja. Vybíjanie akumulátora pri hodnote 1E znamená, že batéria poskytne celú

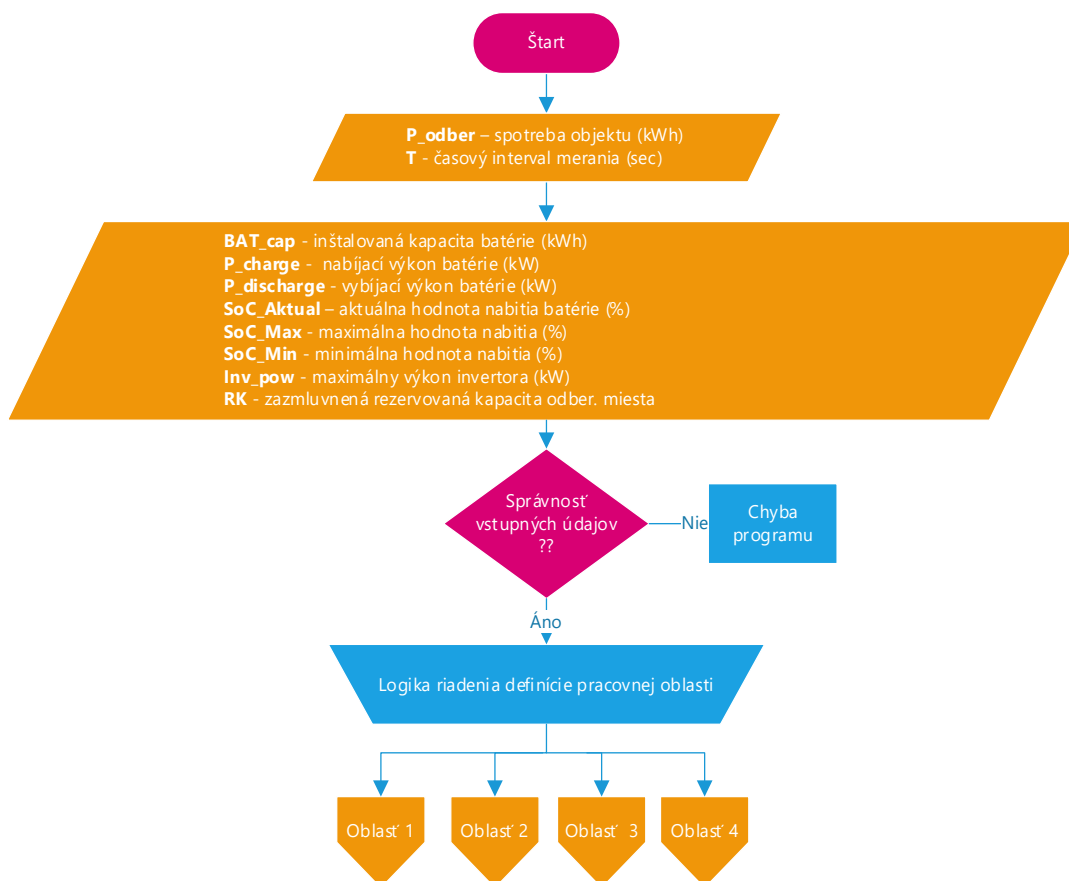
menovitú kapacitu behom jednej hodiny. Odporúčaný nabíjací respektíve vybíjací výkon sa pohybuje v rozsahu 0,3 -1E. Pracovné cykly batérie pri veľkých výkonoch majú za následok rýchle starnutie batérie.

Maximálny výkon invertora – pre akúkoľvek aplikáciu batériového úložiska je nutné poznať maximálnu hodnotu výkonu invertora, pri ktorej dokáže inverter spoľahlivo pracovať. Pre ekonomickejšiu voľbu výkonu batériového invertora je výhodné zahrnúť do sledovaných parametrov aj krátkodobé výkonové preťaženia invertora, krátkodobu pokrývajúce ojedinelé výkonové špičky bez poškodenia invertora.

Rezervovaná kapacita – zazmluvnená hodnota štvrt' hodinového maxima, na ktorú algoritmus reguluje spotrebu.

Maximálna rezervovaná kapacita – hodnota maximálneho možného výkonu dodávaného do odberného miesta spotrebiteľa.

6.2.2 Vývojový diagram algoritmu regulácie



Obr. 6-3: Vývojový diagram algoritmu – časť určenia regulačnej oblasti

Hlavnou úlohou logiky riadenia pracovnej oblasti je sledovať aktuálny skutočný odberový výkon (spotreba) a so zohľadnením všetkých vstupných parametrov zvoliť

správny režim riadenia odpovedajúcej oblasti definovaných charakteristík. Návrh pozostáva z nasledovných oblastí ohraničených krivkami:

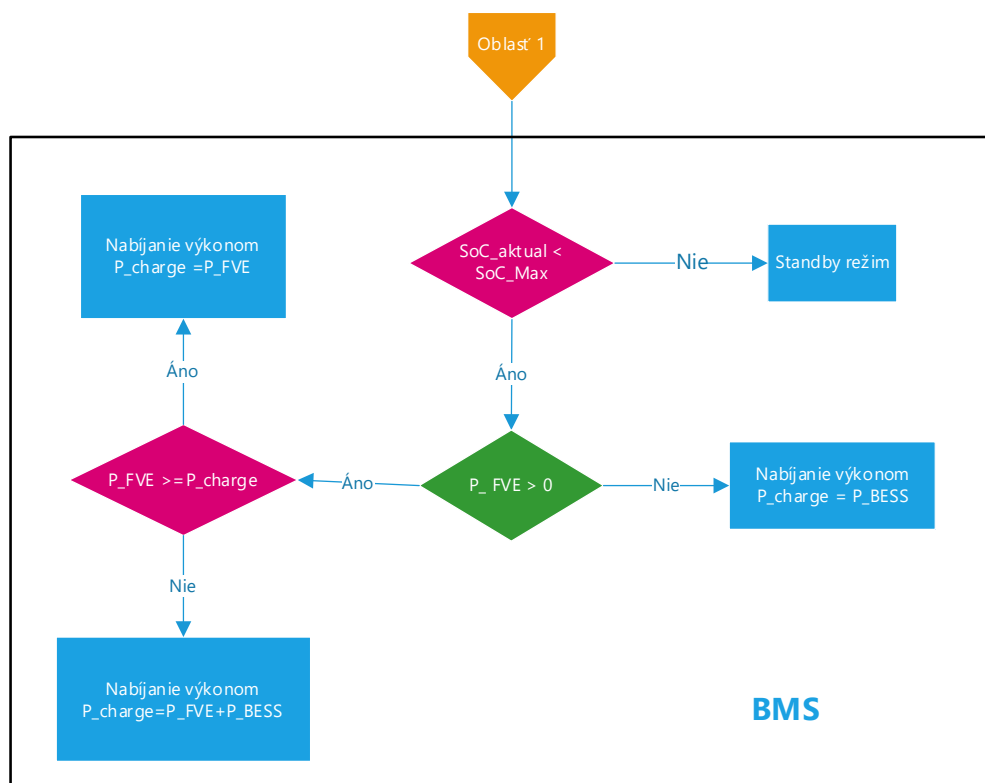
1. Oblasť nabíjania batérie
2. Neutrálna oblasť
3. Oblasť injektovania energie z batérie
4. Oblasť odpojenia spotrebičov
5. Oblasť hysterézie regulácie
6. Oblasť prekročenia RK

Oblasť nabíjania batérie - ak sa aktuálna hodnota spotreby elektrickej energie nachádza v tejto oblasti realizujeme nabíjanie batérie buď jednoducho maximálnym výkonom, alebo postupne sa zvyšujúcim výkonom podľa priebehu spotreby, tak ako je implementované v algoritme modelu vid'. príloha Príloha C -. Hodnota aktuálneho nabíjacieho výkonu batérie je definovaná v algoritme PLC a odkomunikovaná na modul BMS. Ak je batéria nabitá na maximum svojej kapacity *SoC_Max*, riadiaca logika je bez akčného výstupu (Standby režim).

Nabíjanie batérie uvažujeme z dvoch zdrojov:

- Fotovoltaické články
- NN rozvody

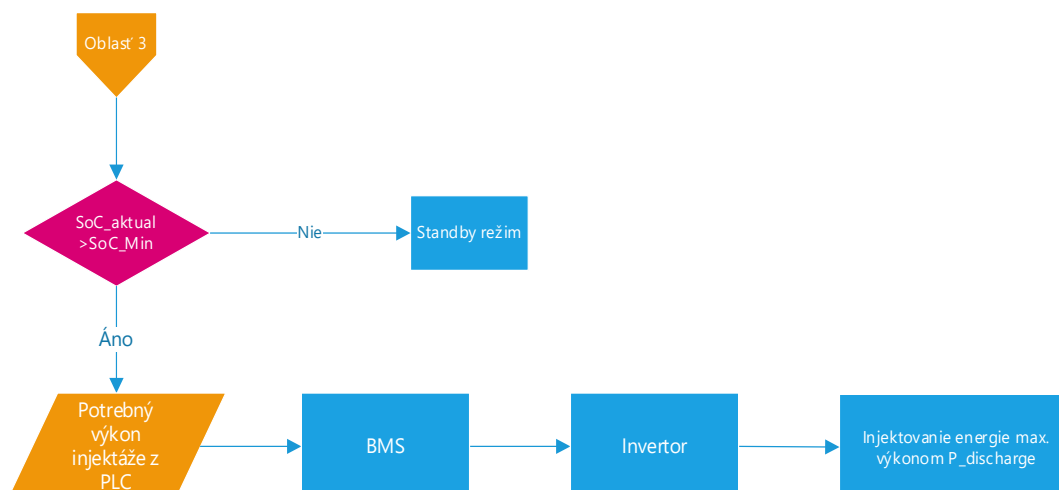
Funkcionalitu voľby zdroja pre nabíjanie batériového úložiska zabezpečuje modul BMS. BMS je komunikačne pripojený na obojsmerný invertor, ktorý je paralelne pripojený k NN rozvodu, k regulátoru nabíjania FVE, k riadiacemu PLC a k samotnému batériovému úložisku. V prípade nedostačujúcej energie z fotovoltaických článkov P_FVE, batériové úložisko je nabíjané výhradne z NN rozvodu systému cez obojsmerný invertor.



Obr. 6-4: Vývojový diagram algoritmu – časť nabíjania batérie

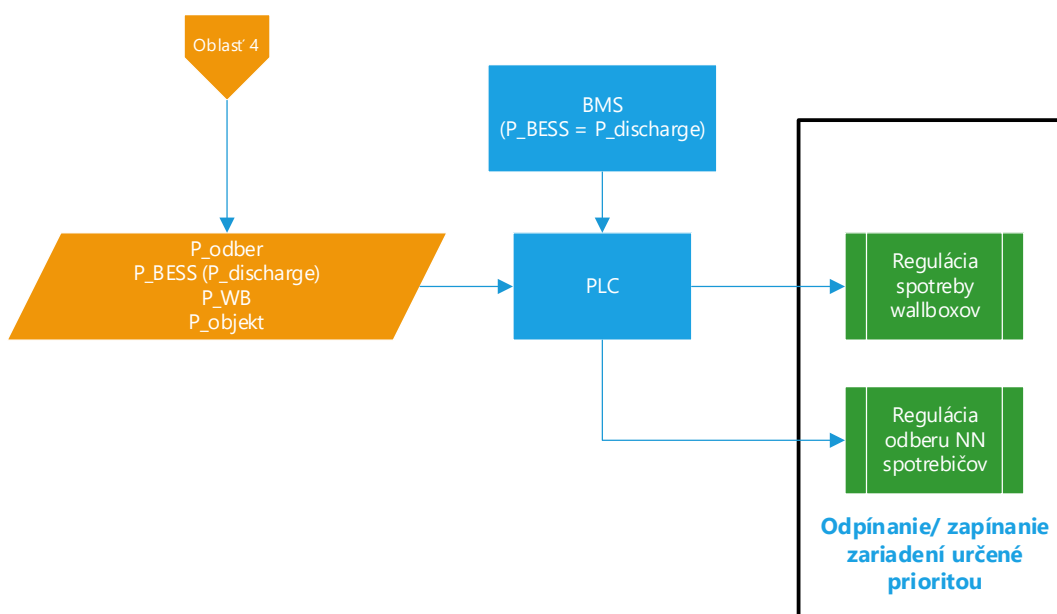
Neutrálna oblasť - v tejto oblasti sa batéria nachádza v režime standby a nedochádza k jej vybíjaniu ani nabíjaniu. Je potrebné nastaviť túto oblasť optimálne tak, aby nedochádzalo k nesprávnemu a nadmernému využívaniu batérového systému pri fluktuácií krivky skutočnej spotreby. Táto oblasť predstavuje určitý stupeň hysterézie aj pre nabíjanie batérie, kedy najmä na začiatku meraného štvrt' hodinového intervalu eliminuje prechod do oblasti nabíjania batérie, ak má vývoj odberu trend smerujúci do oblasti injektovania energie z batérie.

Oblasť injektovania energie z batérie – oblasť regulácie kedy dochádza k vybíjaniu batérie potrebným výkonom do spotreby, tak aby skutočný celkový odoberaný výkon sa pohyboval v oblasti ohraničenou neutrálnou oblasťou a oblasťou odpájania spotrebičov. Podmienkou injektovania batérie do NN rozvodov je parameter aktuálneho stavu nabitia *SoC_aktual*. Hlavným parametrom injektovania energie je jeho požadovaná veľkosť, ktorá je získavaná z PLC na základe monitorovania aktuálneho odberaného výkonu a zohľadnením zazmluvnenej hodnoty RK odberného miesta. Výkon invertoru je riadený BMS a zodpovedá vybíjaciemu výkonu $P_{discharge}$.



Obr. 6-5: Vývojový diagram algoritmu – časť vybíjania batérie

Oblasť odpojenia spotrebičov - v prípade, že batériové úložisko nie je schopné výkonovo pokryť požiadavky spotreby, dochádza k postupnému odpájaniu jednotlivých kanálov spotrebičov, s prihliadnutím na prioritu a prípadne vypínacie podmienky. Režimy riadenia odpájania/pripájania spotrebičov sú realizované v algoritme PLC. Implementovaný softvérový blok v PLC zabezpečuje optimálne sledovanie a reguláciu hodnoty štvrťhodinového maxima aj riadením výkonu aktuálne využívaných wallboxov. Aktuálny výkon wallboxov P_{WB} bude taktiež riadený PLC. V tejto regulačnej oblasti je batériové úložisko v režime injektovania.



Obr. 6-6: Vývojový diagram algoritmu – časť odpájania spotrebičov

Oblasť hysterézie regulácie – ochranné pásmo, ktoré zaisťuje potrebnú regulačnú rezervu od hodnoty RK, pre prípadné oneskorené odozvy a reakčný čas systému pre dodávku energie z batérií.

6.3 Validácia riadiacej logiky modelu

Algoritmus riadiacej logiky modelu regulácie štvrťhodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving som realizoval v prostredí MATLAB R2020b s použitím štandardných aj doinštalovaných toolbox-ov. Programové prostredie pre tvorbu modelu algoritmu som zvolil z dôvodu priblíženia sa štandardným programovacím jazykom, ktoré môžu v budúcnosti slúžiť pre implementáciu obdobného algoritmu napríklad do funkčných blokov a knižníc v PLC. Výpis zdrojového kódu je obsiahnutý v prílohe vid'. Príloha C - C.1. Architektúra modelu sa skladá z nasledujúcich častí:

- Získavanie vstupných hodnôt odoberaného výkonu prostredníctvom simulácie elektromera a riadenia simulovaných spotrebičov
- Časť vykonávania kódu algoritmu riadenia
- Simulované odpájanie spotrebičov, spätná väzba na vstupný výkon
- Prezentácia priebehu a výsledkov algoritmu riadenia

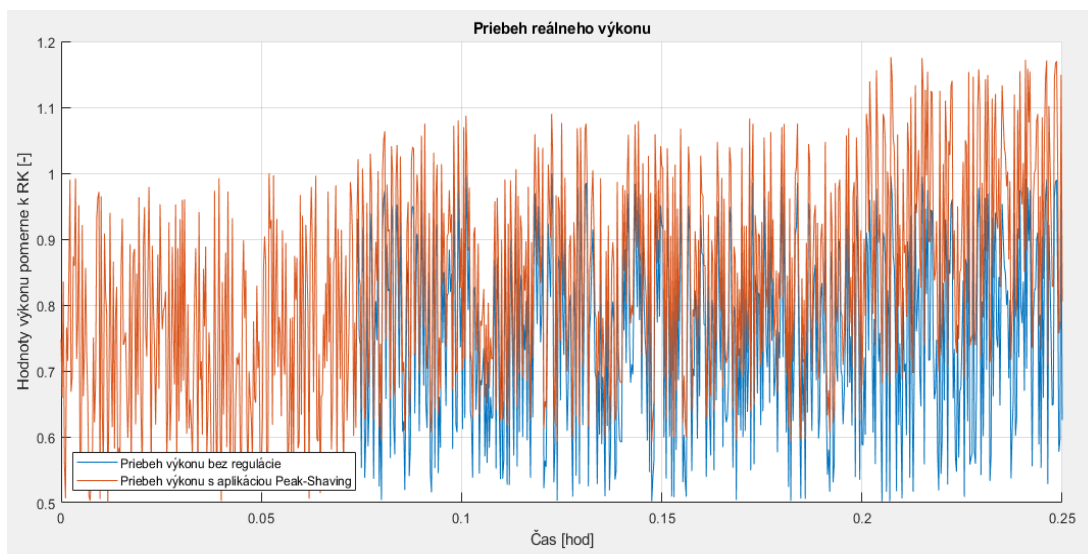
Model simulujúci reálnu aplikáciu regulácie štvrťhodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving som realizoval v prostredí SIMULINK. Toto simulačné prostredie som zvolil najmä pre jednoduché nastavenie komunikácie medzi modelom simulujúcim reálnu aplikáciu a prostredím MATLAB pre riadenie samotnej regulácie. Vstupné hodnoty odoberaného výkonu do algoritmu regulácie zabezpečuje v sekundových intervaloch model jednofázového elektromera a zdroja striedavého napätia. Navrhnutý model elektromera pozostáva zo základných blokov prostredia SIMULINK vid'. Príloha C -C.2. Celý model vid'. Príloha C -C.2 obsahuje okrem elektromera aj simulované spotrebiče, výkonové stýkače a batériový systém. Všetky tieto prvky sú prepojené s modelom PLC, ktorý zabezpečuje komunikáciu na riadenie regulácie v prostredí MATLAB. Regulačné zásahy vypočítané v prostredí MATLAB sú v reálnom čase odkomunikované do modelu v SIMULINK-u, ktorý upraví hodnoty modelu tak, ako by k tomu dochádzalo v reálnom systéme.

6.3.1 Simulačné scenáre

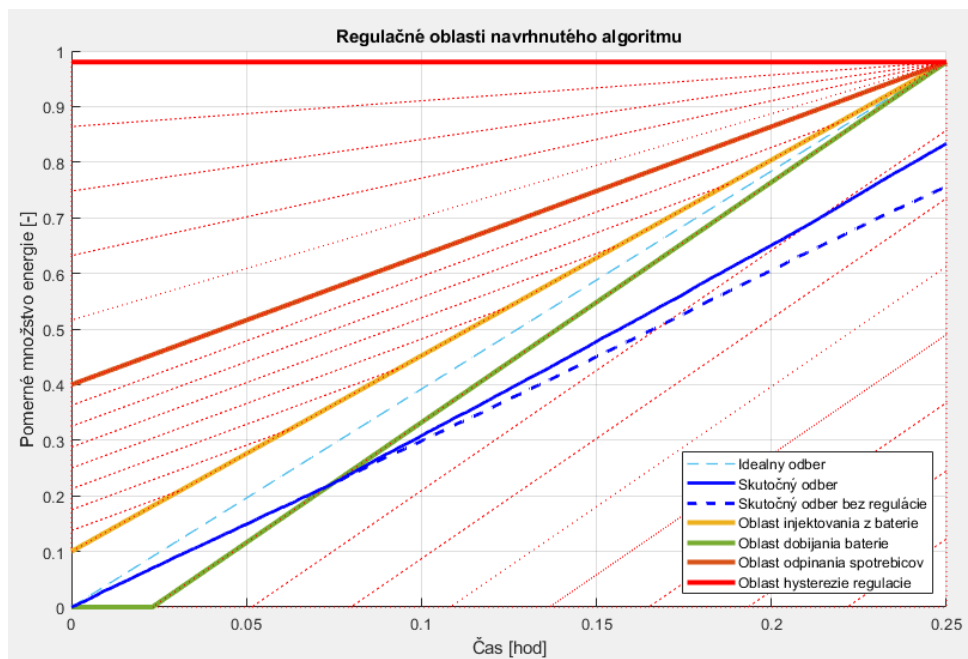
Validácia algoritmu bola realizovaná v dvoch scenároch, každý scenár bol pre iný charakter priebehu a veľkosti odoberaného výkonu tak, aby bola overená regulácia štvrťhodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving v každej regulačnej oblasti. Pre rámcové overenie funkčnosti návrhu boli zvolené nasledovné parametre: RK = 100kW, MRK = 150kW, Výkon batérie = 40kW.

Simulačný scenár č. 1

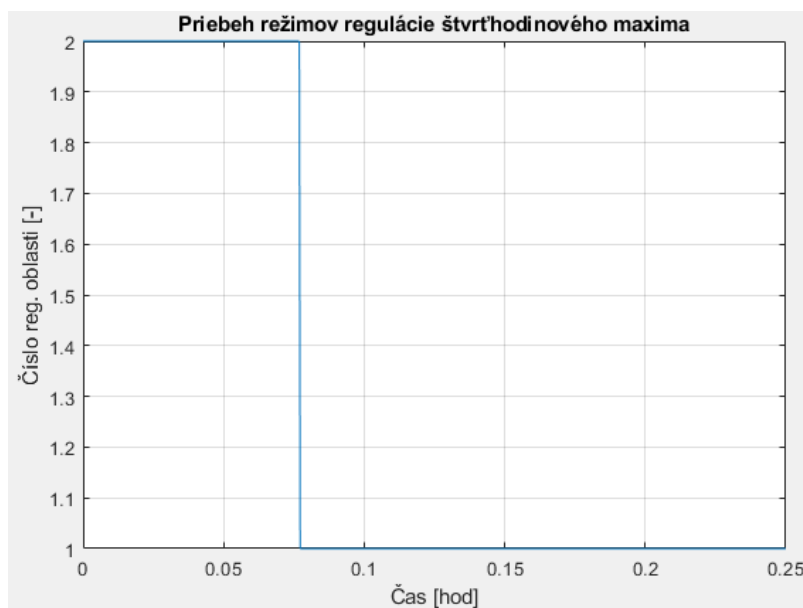
Prvý simulačný scenár demonštruje optimálne využívanie nastavenej rezervovanej kapacity. Priebeh výkonu sa stochasticky pohybuje v rozmedzí rezervovanej kapacity, ktorú neprekročí (pomerná hodnota =1) vid'. modrý priebeh Obr. 6-7. Celková štvrťhodinová spotreba objektu pri tomto priebehu výkonu bez regulácie je vyobrazená na Obr. 6-8 modrou prerušovanou čiarou. Navrhnutý algoritmus vyhodnotí, že aktuálna spotreba sa nachádza v regulačnej oblasti nabíjania batérie vid' Obr. 6-9 a pod podmienkou, že SoC nie je na definovanej maximálnej úrovni začína batériu nabíjať. Nabíjanie batérie môže byť v algoritme podmienené nielen hodnotou SoC, ale aj inými skutočnosťami, napríklad odberom z nižších tarífov alebo definovanou veľkosťou aktuálneho výkonu z FVE, ktorá bude pre nabíjanie uprednostnená. Hodnota výkonu nabíjania je v modeli implementovaná relatívne, a to podľa počtu nadefinovaných podoblastí. Čím je vlastná spotreba objektu nižšia, tým väčším výkonom sa batéria nabíja. Pre porovnanie na obrázkoch Obr. 6-7 a Obr. 6-8 je znázornený aj výsledný priebeh výkonu a štvrťhodinovej spotreby po regulácii. Z grafov je zrejmé, že spotreba objektu je umelo navýšená práve o energiu uloženú do batérie.



Obr. 6-7: Graf priebehu reálneho výkonu (elektromer) v čase pre simulačný scenár č. 1



Obr. 6-8: Regulácia štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 1

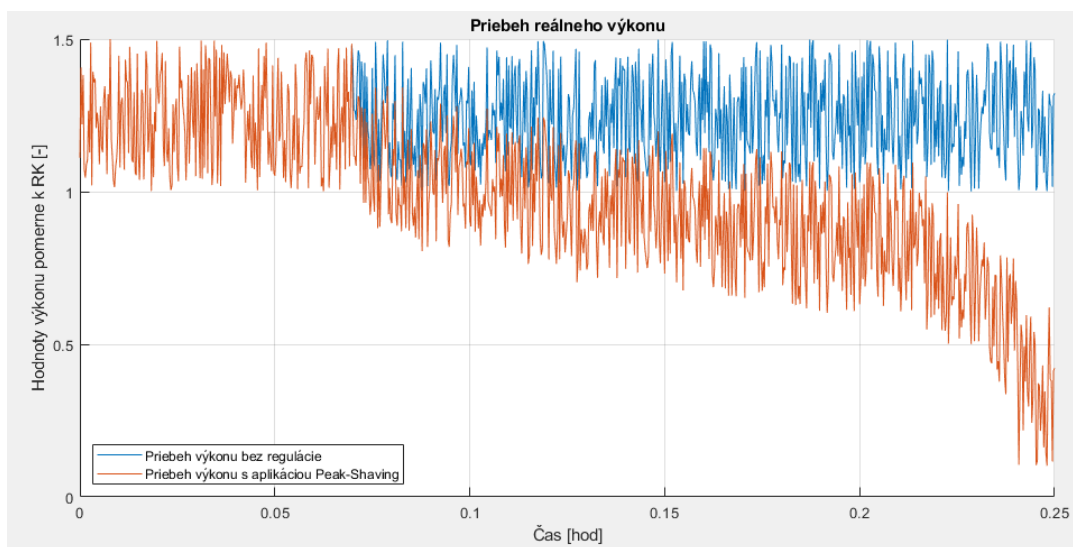


Obr. 6-9: Režimy regulácie štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 1

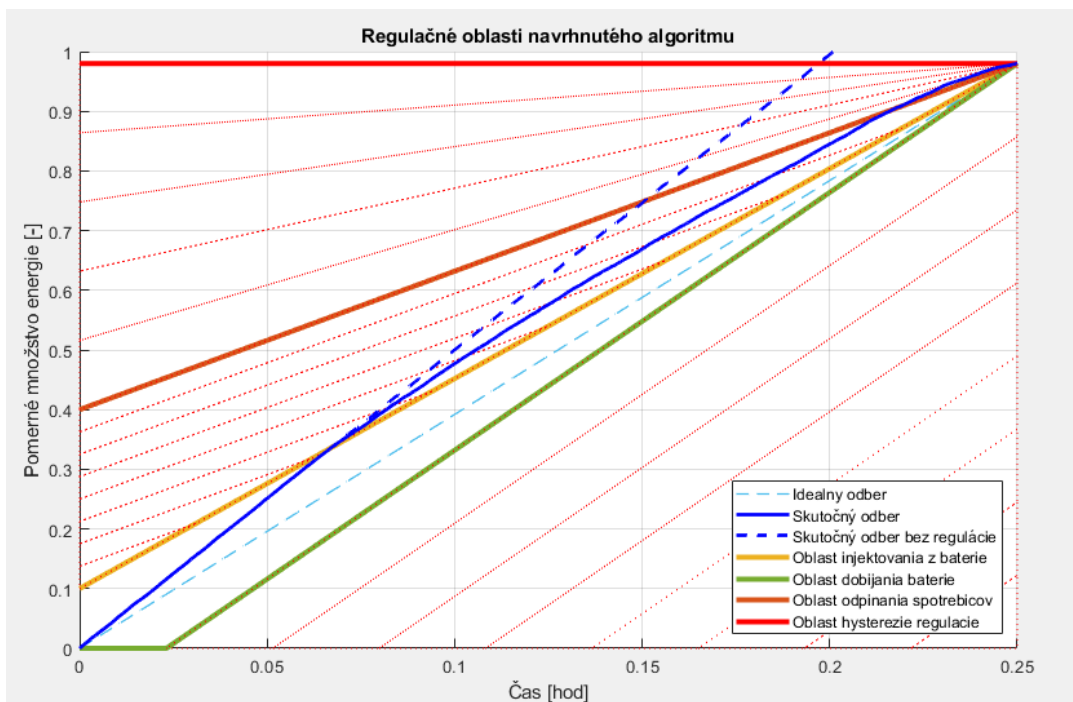
1. Oblasť nabijania batérie
2. Neutrálna oblasť

Simulačný scenár č. 2

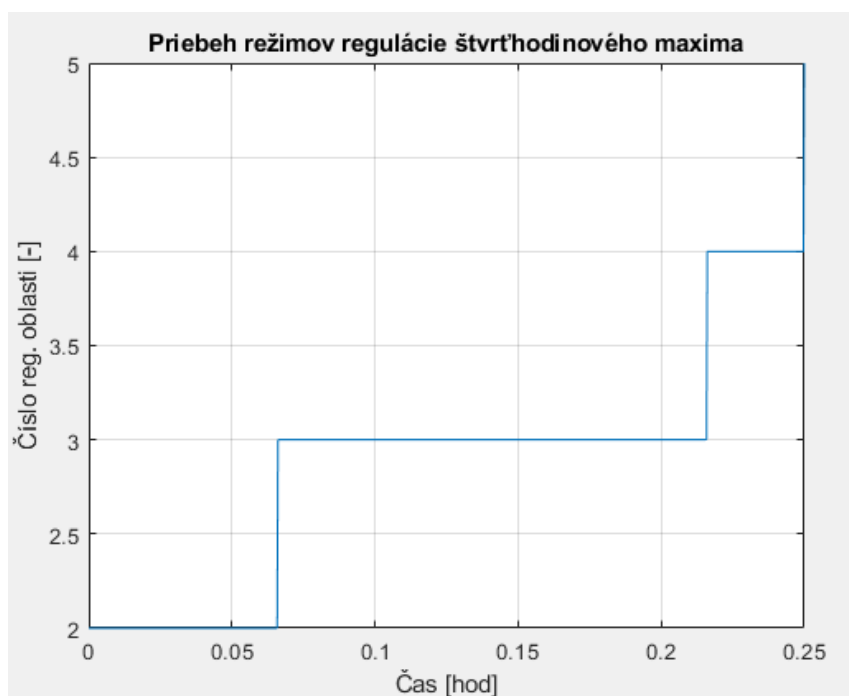
Druhý simulačný scenár overuje funkcionality algoritmu v kritickej štvrt'hodine, kedy by bez akejkoľvek regulácie došlo k prekročeniu RK už v 720 sekunde vid'. Obr. 6-11 modrá prerušovaná charakteristika. Priebeh výkonu vid'. modrá charakteristika Obr. 6-10 sa v simulácii pri tomto scenári pohybuje vždy nad RK (pomerná hodnota =1) a je zhora ohraničený veľkosťou MRK (pomerná hodnota =1,5), ktorú odberné miesto nesmie za žiadnych okolností prekročiť. Časový priebeh prechodov jednotlivých zadaných režimov regulácie je vyobrazený vid'. Obr. 6-12. Algoritmus postupne prechádza z neutrálnej oblasti cez injektovanie energie z batérie až po odpájanie spotrebičov podľa priority. Veľkosť injektovaného výkonu je definovaná podľa toho, v ktorej z podoblastí sa aktuálna hodnota spotreby nachádza a smerom k odpájaniu spotrebičov sa zvyšuje až po maximálny výkon batérie (invertoru) vid'. Obr. 6-11 - postupné znižovanie strmosti krivky skutočného odberu (modrý priebeh). Pretože nasimulovaný výkon batérie nepostačuje na pokrytie zvýšenej spotreby, dochádza k odpájaniu spotrebičov podľa priority. Priorita (poradie odpájania) je v navrhnutom algoritme určená príslušnosťou k niektorej zo zadaných podoblastí. V reálnej aplikácii by algoritmus musel zohľadňovať aj ďalšie skutočnosti, akými sú napríklad individuálne vypínacie podmienky spotrebičov. Na obrázkoch Obr. 6-10 a Obr. 6-11 je opäť znázornený aj výsledný priebeh výkonu a štvrt'hodinovej spotreby po regulácii. Z grafov je zrejmé, že štvrt'hodinová spotreba objektu je vhodnými zásahmi regulácie znížená tak, aby nedošlo k prekročeniu RK.



Obr. 6-10: Graf priebihu reálneho výkonu (elektromer) v čase pre simulačný scenár č. 2



Obr. 6-11: Regulácia štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 2



Obr. 6-12: Režimy regulácie štvrt' hodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving pre simulačný scenár č. 2

1. Oblasť nabíjania batérie
2. Neutrálna oblasť
3. Oblasť injektovania energie z batérie
4. Oblasť odpojenia spotrebičov
5. Oblasť hysterézie regulácie
6. Oblasť prekročenia RK

6.3.2 Zhrnutie simulačných scenárov

Výsledky jednotlivých simulačných scenárov potvrdzujú, že navrhnutý algoritmus funguje a vhodnými regulačnými zásahmi optimalizuje priebeh spotreby tak, aby bola dodržaná RK. Obdobnú myšlienku algoritmu regulácie štvrťhodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving by bolo možné po sérii úprav a ďalších optimalizácií implementovať ako knižnicu funkčných blokov v priemyselnom PLC. Výstupy zo simulácií navrhnutého modelu regulácie by mohli slúžiť aj ako podklad pri navrhnutí optimálnej veľkosti rezervovanej kapacity či voľbe potrebného výkonu batérie.

Nutné je ale poznamenať, že tento model algoritmu je navrhnutý s veľkou mierou abstrakcie a zanedbania parametrov plynúcich z reálnej implementácie.

7. ZÁVER

Pre zabezpečenie stability a kvality distribučnej siete je nutné eliminovať časovo nerovnomernú spotrebu elektrickej energie. Jedným z účinných prostriedkov na odstránenie nerovnomernej spotreby je monitorovanie a regulácia štvrťhodinového maxima. Táto práca popisuje dôvody merania štvrťhodinového maxima, princíp funkčnosti elektromerov a ich komunikačné možnosti spolu s popisom najpoužívanejších komunikačných protokolov vhodných na odpočet nameraných dát z elektromerov.

V rámci problematiky komunikácie s elektromerom bola v praxi odskúšaná komunikácia protokolom IEC62056-21. V prvom prípade v SCADA systéme od spoločnosti IPESOFT, ktorá protokol natívne podporuje. Ďalej v priemyselnom PLC od firmy AMiT, kde bolo treba vytvoriť aplikáciu, ktorá protokol dekóduje.

Ďalej som sa venoval analýze komerčne vyrábaných regulátorov na sledovanie štvrťhodinového maxima, ktoré sú dobrým podkladom zadefinovania nových požadovaných vlastností a požiadaviek, na ktoré by mal navrhnutý algoritmus reflektovať.

Po kapitolách, v ktorých popisujem základné princípy merania a regulácie spotreby elektrickej energie, nasleduje kapitola obsahujúca návrh algoritmu regulácie štvrťhodinového maxima s využitím čoraz viac preferovaných obnoviteľných zdrojov energie. Pre reálne využitie v našich klimatických podmienkach som ako vhodný zdroj zvolil fotovoltaiiku v kombinácii s batériovým úložiskom. Návrh algoritmu bol orientovaný na využiteľnosť v riadiacich členoch priemyselných technológií.

V rámci overenia funkčnosti simulačného modelu algoritmu regulácie štvrťhodinového maxima s aplikáciou Peak-Shaving som vytvoril dva simulačné scenáre pre komplexné overenie navrhnutého algoritmu regulácie.

Samotná simulácia algoritmu regulácie overila dôležitosť využitia batériového úložiska na kompenzáciu výkonových špičiek, ktoré môžu vzniknúť napríklad pri plnom obsadení nabíjacích staníc elektromobilov. Obsadenosť nabíjacích staníc elektromobilov je časovo variabilná veličina, pre prevádzkovateľa veľmi ťažko predvídateľná, čím znemožňuje optimálne nastavenie rezervovanej kapacity odberného miesta.

Jedno z možných riešení tohto problému môže byť navrhnuté využitie batériového systému a OZE ako zdroja energie pre vykrývanie zvýšenej spotreby elektrickej energie počas nabíjania väčšieho počtu elektrických vozidiel v spojení s reguláciou štvrťhodinového maxima smerom k distribučnej sústave.

Výstupy zo simulácií môžu byť podkladom pre implementáciu úprav energetických knižníc v PLC, ktoré zahŕňajú reguláciu štvrťhodinového maxima. Jednou z veľkých výhod použitia PLC oproti komerčným regulátorom štvrťhodinového maxima je možnosť začleniť samotnú reguláciu štvrťhodinového maxima s batériovým systémom a OZE do riadenia výrobného procesu. Hlavnými kritériami výberu vhodného typu PLC pre túto implementáciu je pomer cena/výkon a hardvérová škálovateľnosť PLC.

LITERATÚRA

- [1] MATOUŠEK, Antonín. *VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE*. 1rd edition. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav elektroenergetiky Technická 2848/8, 616 00 Brno, 2007. ISBN ISBN 80-214-3317-5.
- [2] Rozptýlená výroba elektrickej energie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-11-05]. Dostupné z:
https://sk.wikipedia.org/wiki/Rozpt%C3%BDlen%C3%A1_v%C3%BDroba_elektrickej_energie
- [3] Slovenská elektrizačná prenosová sústava. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z:
https://sk.wikipedia.org/wiki/Slovensk%C3%A1_elektriza%C4%8Dn%C3%A1_prenosov%C3%A1_s%C3%BAstava
- [4] *Distribučná sústava* [online]. Liptovský Mikuláš, Slovakia: Pavel ŠIMON s.r.o., 2014 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z:
<https://www.energiaweb.sk/2014/08/12/distribucna-sustava/>
- [5] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. 1rd edition. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [6] BEŤKO, Milan. Optimalizácia odberu elektrickej energie (1). *AT&P journal* [online]. 841 02 Bratislava: HMH s.r.o., 2003, **12003**(12003), 2 [cit. 2020-11-04]. ISSN 1336-233X. Dostupné z:
<https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2003-1-36.pdf>
- [7] PIVOŇKOVÁ, Alena. *Optimalizační algoritmy řídicích systému inteligentních budov* [online]. Praha, 2005 [cit. 2020-12-21]. Dostupné z:
https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/index.php/Dp_191_cz. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická, Katedra řídicí techniky. Vedoucí práce Jaroslav Honc.
- [8] DRHOLEC, Jiří. *Vliv nereferenčních podmínek na přesnost statických a indukčních elektroměrů*. Ostrava, 2010. Bakalárska práca. VŠB - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra Elektroenergetiky. Vedoucí práce Ing. Vladimír Král, Ph.D.
- [9] CARBOL, Zbyněk. *Možnosti využití elektroměrů*. Ostrava, 2010. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra Elektroenergetiky. Vedoucí práce Ing. Petr Krejčí, PhD.

- [10] Inteligentné elektromery. *VSD, a.s.* [online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.vsds.sk/edso/domov/technicke-info/meranie-distribucie/elektromery/ms>
- [11] TMĚJ, Miloslav. *Monitoring čtvrt hodinového maxima Monitoring of Quarter-Hour Maximum*. Ostrava, 2012. Bakalárska práca. VŠB - Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra Elektroenergetiky. Vedoucí práce Ing. Petr Kačor, Ph.D.
- [12] ONDRO, Vladimír, Peter ADAM, Branislav VAŠ a Branislav BLAŠKO. *ZÁSADY A PODMIENKY MONTÁŽE A PREVÁDZKOVANIA MERANIA ELEKTRINY* [online]. 010 47 Žilina, 2018, , 29 [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: https://www.ssd.sk/buxus/docs/dokumenty/firmy_a_organizacie/SSD%20%20Z%C3%A1sady%20a%20podmienky%20mont%C3%A1%C5%BEe%20a%20prev%C3%A1dzkovanie%20merania%20elektriny1.pdf
- [13] BUŠ, Ondřej. *SIMULÁTOR DLMS KONCENTRÁTORU* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-12-06]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Tomáš Lieskovan.
- [14] HORYCH, Vladimír. *ANALÝZA ŘÍDICÍCH PROTOKOLŮ VYUŽÍVANÝCH V PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍCH*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Koutný.
- [15] NOVOTNÝ, Michal. *Komunikace s elektroměry dle normy ČSN EN 62056-21* [online]. , 5-7 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://amitomation.cz/produkt/aplikacni-poznamky/>
- [16] INTERNATIONAL STANDARD. *Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control - Part 21: Direct local data exchange*. CEI/IEC 62056-21:2002. 2002.
- [17] HUMAJ, Peter. *Komunikácia – DLMS/COSEM protokol*. *IPESOFT spol. s r.o.* [online]. Žilina [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.ipesoft.com/sk/blog/komunikacia-dlms/cosem-protokol>
- [18] KOHOUT, David. *ZÁTĚŽOVÝ GENERÁTOR ZPRÁV DLMS/COSEM* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: www.vutbr.cz. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Tomáš Lieskovan.

- [19] JIRKA, Matej. *Framework DLMS/COSEM pro sběr dat v AMM systémech* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/b/b9/Dp_2016_jirka_matej.pdf. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická, Katedra řídicí techniky. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Novák Ph.D.
- [20] JAROMÍR, Polášek. *IMPLEMENTACE PROTOKOLU HDLC V SÍŤOVÝCH SIMULÁTORECH* [online]. Brno, 2018 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: www.vutbr.cz. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Pokorný.
- [21] HUMAJ, Peter. Komunikácia – Modbus protokol. *IPESOFT spol. s r.o.* [online]. Žilina, 2017 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.ipesoft.com/sk/blog/komunik%C3%A1cia-modbus-protokol>
- [22] ĎUĐÁK, Juraj. *Príspevok k priemyselným komunikačným štandardom* [online]. Bratislava, 2010 [cit. 2020-12-06]. Dizertačná práca. SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE FAKULTA INFORMATIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ. Vedoucí práce Doc. Pavel Čičák, PhD.
- [23] Modbus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- [24] SLUKA, Filip. *SBĚRNICE M-BUS V AUTOMATIZACI BUDOV*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, PhD.
- [25] ŘÍHA, Zbyněk a Libor URBAČKA. *Komunikace v síti M-Bus* [online]. , 4-5 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://amitotation.cz/produkt/aplikacni-poznamky/>
- [26] MAJDA, František. *Čtvrthodinové maximum* [online]. Praha 8: FCC PUBLIC, s. r. o., 2008 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/ctvrthodinove-maximum--12120>
- [27] VIDIM, Jan. *Řízení čtvrt hodinového maxima* [online]. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/13513-rizeni-ctvrthodinoveho-maxima>

- [28] *DUEL Námestovo s.r.o.* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.duel-ltd.sk/>
- [29] *PK-ELSYS* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.pk-elsys.cz/>
- [30] *RB spol s r. o.* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <http://www.rb.sk/>
- [31] D2000 V12 Dokumentácia. *Doc IPESoft spol. s r.o.* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://doc.ipesoft.com/>
- [32] NOVÁČEK, Richard. *MALÉ A MIKRO FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/60940>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Jiří Vaněk.
- [33] SHI, Yuanyuan a Baosen ZHANG. *Using Battery Storage for Peak Shaving and Frequency Regulation: Joint Optimization for Superlinear Gains* [online]. , 9 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication>
- [34] OUDALOV, Alexandre a Rachid CHERKAOUI. *Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application* [online]. , 6 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication>
- [35] PTÁČEK, Jiří. *Modulární systémy ABB pro skladování energie* [online]. , 20 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2017/Energie_pro_budoucnost_XXII_MSV2017/05-ABB-battery-storage-solutions.pdf

- [36] PINKOŠ, Patrik. *Rozšířené využití bateriových systémů v průmyslových objektech* [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=171509. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Pitron.
- [37] TICHÝ, Jiří. Lithiové akumulátory Přehled základních typů a jejich vlastností. *TZB-info* [online]. UETE FEKT VUT v Brně [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/13612-lithiove-akumulatory>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

AC	Striedavý prúd (Alternating Current)
DC	Jednosmerný prúd (Direct current)
PLC	Programovateľný logický automat
HDO	Hromadné diaľkové ovládanie
NN	Nízke napätie
VN	Vysoké napätie
VVN	Veľmi vysoké napätie
SEPS	Slovenská elektrizačná prenosová sústava
ES	Elektrizačná sústava
ZSDis	Západoslovenská distribučná, a.s.
SSE-D	Stredoslovenská energetika – Distribúcia, a. s.
VSD	Východoslovenská distribučná, a.s.
GPRS	General Packet Radio Service, (Univerzálna paketová rádiová služba)
OM	Odborné miesto
ELM	Elektromer
MES	Výrobný informačný systém (Manufacturing Execution System)
BESS	Batériové systémy (Battery Energy Storage Systems)

Symboly:

P	Výkon	[W]
W	Práce	[J]
E	Energie	[J]
f	Frekvencia	[Hz]
U	Napätie	[V]
I	Prúd	[A]
i	Okamžitá hodnota prúdu	[A]
u	Okamžitá hodnota napätia	[V]
p	Okamžitý výkon	[W]
Q	Jalový výkon	[var]
φ	Fázový posun medzi fázorovými vektormi napätia a prúdu	[°, rad]
S	Zdanlivý výkon	[VA]
t	Čas	[s]

ZOZNAM PRÍLOH

PŘÍLOHA A - SCHEMATICKÉ NÁKRESY ZAPOJENIA ELM	77
PŘÍLOHA B - APLIKÁCIA UŽÍVATELSKEJ KOMUNIKÁCIE PLC AMIT S ELM CEZ PROTOKOL IEC62056-21	79
PŘÍLOHA C - SIMULAČNÝ MODEL ALGORITMU REGULÁCIE S APLIKÁCIOU PEAK- SHAVING.....	82

Příloha A - Schematické nákresy zapojenia ELM

A.1 Schéma nepriameho merania

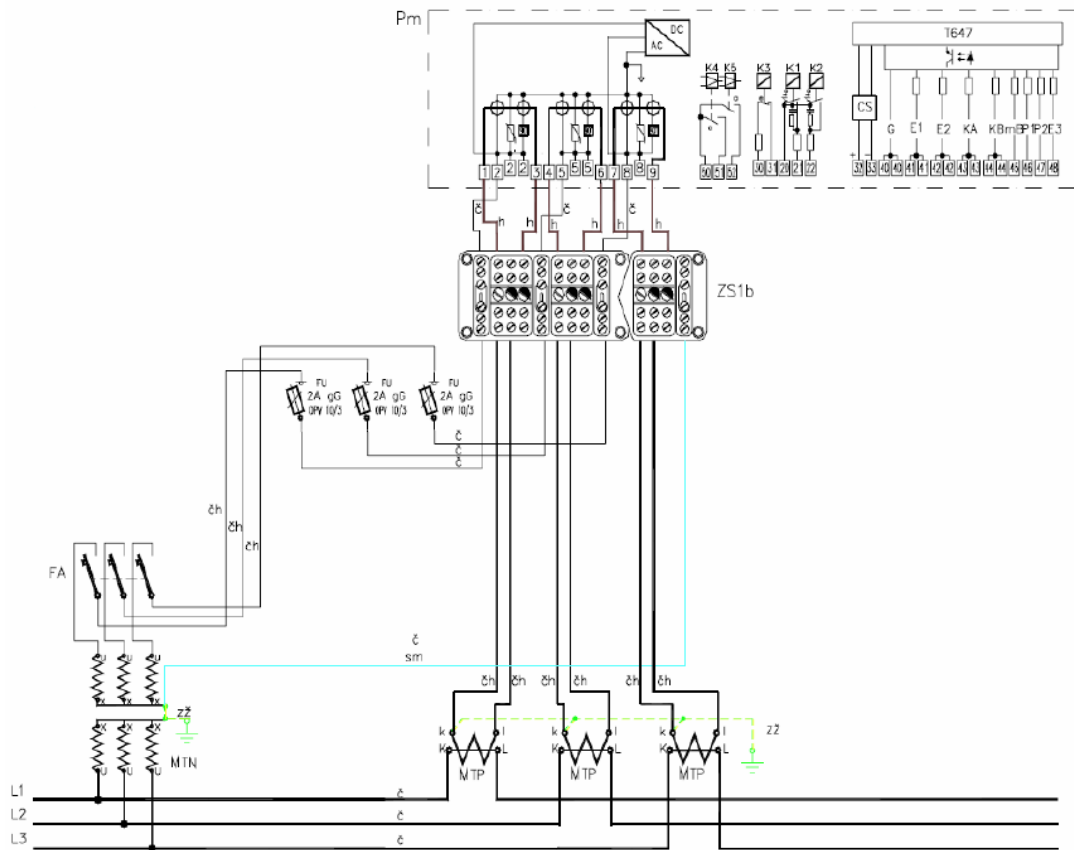


Schéma zapojenia elektromera - nepriame meranie [11]

Legenda:

Funkčný blok *Pm* – štvorkvadrantný elektronický elektromer trojfázový

MTP – meracie transformátory prúdu

MTN – meracie transformátory napätia

FA – trojfázový istič min. 6A

FU – poistkový odpínač s poistkou 2A

ZS1b – šróbovacia svorkovnica

A.2 Schéma polopriameho merania

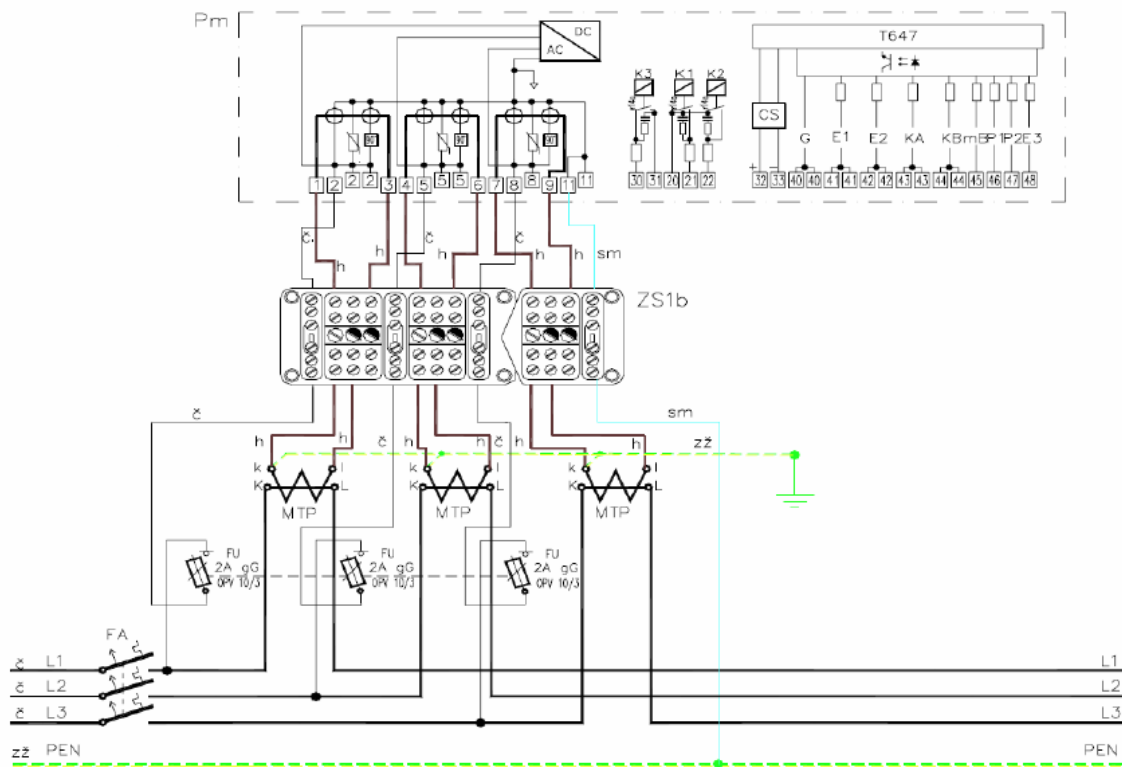


Schéma zapojenia elektromera - polopriame meranie [11]

Legenda:

Funkčný blok *Pm* – štvorkvadrantný elektronický elektromer trojfázový

MTP – meracie transformátory prúdu

FA – trojfázový istič min. 6A

FU – poistkový odpínač s poistkou 2A

ZS1b – šróbovacia svorkovnica

Příloha B - Aplikácia užívateľskej komunikácie PLC AMiT s ELM cez protokol IEC62056-21

Proces – Proc00 – Hlavný stavový automat

```
//Command - send request
if START.0

    Switch RequestState // init = 1
//-----
        //Idle
        Case 1
            // Send Requested
            Let L2_Event = L2E_SEND // 0x0002
        EndCase
//-----

        //Finish
        Case 4
        //Obtain correct data
        if ReqResult.2
            Call Lib110
        Endif

        Let RequestState = 0x0001 // -> Idle
        //Error
        if ReqResult.3
            Let CntError = CntError+1
        Endif

        EndCase
//-----

    EndSwitch
    Call Lib103
Endif
```

Proces – ProcInit – Inicializačný proces

```
:01000 ComInit 0x0002, 1, 300, 7, 1, 1, :01100, :NONE, :NONE, :NONE,
InputBuf, OutputBuf // Main user communication

:01001 Tmo :01102, 10, 30000 //Timeout

:01100 SubInst Lib100 //Instance of subroutine interrupt ComInit

:01102 SubInst Lib102 //Instance of subroutine interrupt Tmo

    Let L2_Status = L2S_IDLE //Init State
    Let RequestState = 0x0001 // -> Idle
```

Podprogramy – Program100

```
    //Event - Obtain char
    Let L2_Event = L2E_CHAR
    //Automat L2
    Call Program103
```

Podprogramy – Program102

```
//Tmo passed
Let L2_Event = L2E_TMO //0x0008
Call Program103
```

Podprogramy – Program103

```
Switch L2_Status // init = 1
//-----
//L2_Status - Idle
Case 1
If L2_Event.1 // Set in Proc00
ComWrite :01000, OutTlg, 0, OutLength, NONE, NONE
TmoStart :01001, 24000
Let RequestState = 0x0002 // -> Busy
Let L2_Status = L2S_RECEIVE //0x0002 -> Receive
EndIf
EndCase
//-----
// L2_Status - Receive
Case 2
// Obtain char
If L2_Event.2 // Set in interrupt Program100
ComRead :01000, InTlg, InLength, InLength, NONE
//TMO
TmoStart :01001, 24000
//Check for ETX
Let InChar = InTlg[0, InLength-1]
If InChar == 3 //ETX
TmoStop :01001
Let InLength = 0
Let ReqResult = 0x0004 //-> Data
Let RequestState = 0x0004 // -> Finish
Let L2_Status = L2S_IDLE // 0x0001
//Let InTlg2A[0,*] = InTlg[0,*]
Endif
Endif
EndCase
//-----
EndSwitch //... L2_Status

//Check Tmo passed
If L2_Event.3 // Set in interrupt Program102
TmoStop :01001
Let ReqResult = 0x0008 // Increments CntError in Proc00
Let RequestState = 0x0004 //-> Finish
Let L2_Status = L2S_IDLE // 0x0001
EndIf

Let L2_Event = L2E_NONE
```


Podprogramy – Program110

```
//Označenie výrobcu
StrParse InTlg, 1, NONE, "", 18, 3, "", Vyrobce,NONE.0,0
//Typ elektromeru
StrParse InTlg, 6, NONE, "", 18, 12, "", Typ_elmer,NONE.0,0
//Chyba elektromeru
StrParse InTlg, 25, NONE, "", 18, 6, "", Chyba_elmer,NONE.0,0
//Výrobné číslo
StrParse InTlg, 40, NONE, "", 18, 8, "", SN,NONE.0,0
//Komunikačná adresa
StrParse InTlg, 56, NONE, "", 18, 6, "", Adresa,NONE.0,0
//Odběr + dodávka v T1
StrParse InTlg, 71, NONE, "", 18, 14, "", Odber1,NONE.0,0
StrParse InTlg, 93, NONE, "", 18, 14, "", Odber2,NONE.0,0
StrParse InTlg, 115, NONE, "", 18, 14, "", Odber3,NONE.0,0
//Počet výpadkov napätia fáze L1
StrParse InTlg, 138, NONE, "", 18, 4, "", Vypadek_L1,NONE.0,0
//Počet výpadkov napätia fáze L2
StrParse InTlg, 151, NONE, "", 18, 4, "", Vypadek_L2,NONE.0,0
//Počet výpadkov napätia fáze L3
StrParse InTlg, 164, NONE, "", 18, 4, "", Vypadek_L3,NONE.0,0
//Počet výpadkov napájania
StrParse InTlg, 177, NONE, "", 18, 4, "", Vypadek_U,NONE.0,0
//Konstanta IR
StrParse InTlg, 190, NONE, "", 18, 15, "", Konst_IR,NONE.0,0
//Konstanta S0
StrParse InTlg, 214, NONE, "", 18, 15, "", Konst_S0,NONE.0,0
//Dátum kalibrácie
StrParse InTlg, 239, NONE, "", 18, 14, "", Datum_kalibr,NONE.0,0
//Identifikacia konfiguracie
StrParse InTlg, 261, NONE, "", 18, 4, "", Ident_konfig,NONE.0,0
//Zákaznícké číslo prevedenia
StrParse InTlg, 274, NONE, "", 18, 11, "", ID_provedeni,NONE.0,0
//Doba čítania odberu v T1
StrParse InTlg, 294, NONE, "", 18, 11, "", Doba_cit_odb,NONE.0,0
//Doba čítania dodávky v T1
StrParse InTlg, 315, NONE, "", 18, 11, "", Doba_cit_dod,NONE.0,0
//Prevádzkový čas
StrParse InTlg, 334, NONE, "", 18, 11, "", Provozni_cas,NONE.0,0
//Výkon
StrParse InTlg, 354, NONE, "", 18, 10, "", Vykon_1,NONE.0,0
//Výkon
StrParse InTlg, 373, NONE, "", 18, 10, "", Vykon_2,NONE.0,0
//Výkon
StrParse InTlg, 392, NONE, "", 18, 10, "", Vykon_3,NONE.0,0
//Max.výkon vo fázi
StrParse InTlg, 412, NONE, "", 18, 10, "", Max_vykon,NONE.0,0
//čas od nulovania maxim
StrParse InTlg, 431, NONE, "", 18, 11, "", Cas_nul_max,NONE.0,0
```

Příloha C - Simulačný model algoritmu regulácie s aplikáciou Peak-Shaving

C.1 Simulačný model MATLAB

```
% Simulacny model MATLAB/SIMULINK - algoritmus riadiacej logiky peak-
shaving
clear
clear all
close all
clc
syms 'Z';

% Definicia premennych pouzitych v SIMULINK-u
DO5 = true;
DO4 = true;
DO3 = true;
DO2 = true;
DO1 = true;
DO0 = true;
batt = 0;

%Definicia zakladnych simulacnych parametrov
IndexHysteresis = 98; % Pomerne(%) mnozstvo regulovanej RK
Time = linspace(0.0,0.25,901); % Definovanie casoveho vektoru (v hod.)
IndexP_charge = 8; % Pocet podoblasti pre nabijanie baterie - delenie
vykonu
IndexP_uncharge = 4;% Pocet podoblasti pre injektaz vykonu z baterie
IndexPriority = 5; % Pocet odpinacich kanalov so spotrebicmi
RK = 500; % Rezervovana kapacita v [W]
MRK = 800; % Maximalna rezervovana kapacita vo [W]
P_batt_charge = 200; % Maximalny nabijaci vykon baterioveho systemu
[W]
P_batt_uncharge = 200;% Maximalny vybijaci vykon baterioveho systemu
[W]

%Definovanie vykreslovania regulacnych charakteristik - moznost zmeny
% velkosti jednotlivych oblasti pomocou offsetu v rovniciach
Yn1 = ((IndexHysteresis/100)/Time(end))*Time;

C = (IndexHysteresis/100) == Z*Time(end)+0.1;
KYn2 = double(solve(C, Z));
Yn2 = KYn2*Time+0.1;
% Vypocet priesečníka s y osou
PyYn2 = Z == KYn2*0+0.1;
PyYn2 = double(solve(PyYn2, Z));
%-----

C = (IndexHysteresis/100) == Z*Time(end)-0.1;
KYn3 = double(solve(C, Z));
Yn3 = KYn3*Time -0.1;
% Vypocet priesečníka s x osou
PxYn3 = 0 == KYn3*Z-0.1;
```

```

PxYn3 = double(solve(PxYn3, Z));
%-----
x = find(Yn3 < 0); Yn3(x) = 0;

C = (IndexHysteresis/100) == Z*Time(end)+0.4;
KYn4 = double(solve(C, Z));
Yn4 = KYn4*Time +0.4;
% Vypocet priesečníka s y osou
PyYn4 = Z == KYn4*0+0.4;
PyYn4 = double(solve(PyYn4, Z));
%-----

Yn5 = (IndexHysteresis/100).*ones(1,length(Time));
KYn5 = 0;
PyYn5 = (IndexHysteresis/100);

% Vykreslenie grafu so zadefinovanymi regulacnymi charakteristikami
figure
hold all;
h(1) = plot(Time,Yn1,'LineWidth',1,'LineStyle','--',
', 'color', '#4DBEEE');
h(2) = plot(Time,Yn2,'LineWidth',3,'color', '#EDB120');
h(3) = plot(Time,Yn3,'LineWidth',3,'color', '#77AC30');
h(4) = plot(Time,Yn4,'LineWidth',3,'color', '#D95319');
h(5) = plot(Time,Yn5,'LineWidth',3,'color', 'r');
lgd = legend(h, {'Ideálny odber', 'Oblasť injektovania z
baterie', 'Oblasť dobíjania baterie', 'Oblasť odpinania
spotrebicov', 'Oblasť hysterezie
regulácie'}, 'Location', 'southeast', 'AutoUpdate', 'off');
lgd.TextColor = 'black';
xlim([0 0.25])
ylim([0 1])
title('Regulačné oblasti navrhnutého algoritmu')
xlabel('Čas [hod]')
ylabel('Pomerné množstvo energie [-]')
grid on

%Automatizované vykresľovanie oblasti podľa zadefinovaných premenných
StateDiff = (Time(end)-PxYn3)/IndexP_charge;
for i = 1 : IndexP_charge
P1 = [(PxYn3+(i-1)*StateDiff),0];
P2 = [PxYn3 + i*StateDiff,0];
P3 = [Time(end), KYn3*Time(end) - (KYn3*(PxYn3+i*StateDiff))];
P4 = [Time(end), KYn3*Time(end) - (KYn3*(PxYn3+(i-1)*StateDiff))];
ChargeBattArea(i).x = [P1(1,1);P2(1,1);P3(1,1);P4(1,1)];
ChargeBattArea(i).y = [P1(1,2);P2(1,2);P3(1,2);P4(1,2)];
ChargeBattArea(i).k =
boundary(ChargeBattArea(i).x,ChargeBattArea(i).y);
plot(ChargeBattArea(i).x(ChargeBattArea(i).k),ChargeBattArea(i).y(Char
geBattArea(i).k), 'LineStyle', ':', 'color', 'r');
end

TimeHelp = cat(2,-0.1,Time);
StateDiff = (PyYn4-PyYn2)/IndexP_uncharge;
for i = 1 : IndexP_uncharge
P1 = [0, (PyYn2+(i-1)*StateDiff)];
P2 = [0, (PyYn2+ i*StateDiff)];

```

```

[xi1,~] = polyxpoly(TimeHelp, KYn2*TimeHelp+0.1, [0
Time(end)], [PyYn2+(i)*StateDiff
KYn4*Time(end)+(PyYn2+(i)*StateDiff)]);
P3 = [xi1,KYn4*xi1+(PyYn2+(i)*StateDiff)];
[xi2,~] = polyxpoly(TimeHelp, KYn2*TimeHelp+0.1, [0
(Time(end))], [PyYn2+(i-1)*StateDiff KYn4*(Time(end))+(PyYn2+(i-
1)*StateDiff)]);
P4 = [xi2,KYn4*xi2+(PyYn2+(i-1)*StateDiff)];

UnchargeBattArea(i).x = [P1(1,1);P2(1,1);P3(1,1);P4(1,1)];
UnchargeBattArea(i).y = [P1(1,2);P2(1,2);P3(1,2);P4(1,2)];
UnchargeBattArea(i).k =
boundary(UnchargeBattArea(i).x,UnchargeBattArea(i).y);
plot(UnchargeBattArea(i).x(UnchargeBattArea(i).k),UnchargeBattArea(i).
y(UnchargeBattArea(i).k), 'LineStyle',':', 'color','r');
end

StateDiff = (PyYn5-PyYn4)/IndexPriority;
for i = 1 : IndexPriority
P1 = [0, (PyYn5-(i-1)*StateDiff)];
P2 = [0, (PyYn5- i*StateDiff)];
P3 = [Time(end), (IndexHysteresis/100)];
P4 = [Time(end), (IndexHysteresis/100)];
ShutDownArea(i).x = [P1(1,1);P2(1,1);P3(1,1);P4(1,1)];
ShutDownArea(i).y = [P1(1,2);P2(1,2);P3(1,2);P4(1,2)];
ShutDownArea(i).k = boundary(ShutDownArea(i).x,ShutDownArea(i).y);
plot(ShutDownArea(i).x(ShutDownArea(i).k),ShutDownArea(i).y(ShutDownAr
ea(i).k), 'LineStyle',':', 'color','r');
end
%Definicia pomocnych premennych v algoritme
RK_15min = RK/4;
P_batt_charge = P_batt_charge/RK;
P_batt_uncharge = P_batt_uncharge/RK;
P_batt_charge_index = P_batt_charge /IndexP_charge;
P_batt_uncharge_index = P_batt_uncharge /IndexP_uncharge;
model_name = 'ELM_MZ';
ramp = zeros(1,length(Time));
ramp2 = zeros(1,length(Time));
power = zeros(1,length(Time));
diff = zeros(1,length(ramp));
attempt = zeros(1,length(ramp));
open(model_name);

% Algoritmus riadenia Peak-Shaving v spolupraci so SIMULINK modelom
for i = 1 : length(Time)

    if (i==1)
        %Nacitanie sekundovej hodnoty so SIMULINK-u + zastavenie
simulacie
        %po dobu vykonavania algoritmu
        set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'start');
        disp(get_param(model_name, 'SimulationStatus'));
        pause(1);
        set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'pause');
        disp(get_param(model_name, 'SimulationStatus'));
        %Nacitanie hodnoty vykonu a postupne integrovane spotreby +
graf

```

```

power(i) = out.simout.Data(i,2);
power(i) = power(i)/RK;
ramp(i) = power(i)*Time(i);
ramp2(i) = ramp(i)/(RK_15min/RK);
diff(i) = ramp2(i);
else
    %Nacitanie sekundovej hodnoty so SIMULINK-u + zastavenie
simulacie
    %po dobu vykonavania algoritmu
    set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'continue');
    disp(get_param(model_name, 'SimulationStatus'));
    pause(1);
    set_param(model_name, 'SimulationCommand', 'pause');
    disp(get_param(model_name, 'SimulationStatus'));
    %Nacitanie hodnoty vykonu a postupne integrovanie spotreby +
graf
    power(i) = out.simout.Data(i,2);
    power(i) = power(i)/RK;
    ramp(i) = ramp(i-1)+(power(i)*(Time(i)-Time(i-1)));
    ramp2(i) = ramp(i)/(RK_15min/RK);
    diff(i) = (ramp2(i) - ramp2(i-1))/(Time(i)-Time(i-1));
    line ([Time(i-1) Time(i)], [ramp2(i-1) ramp2(i)], 'color', 'b');
end

    %Urcenie polohy krivky spotreby na grafe oblasti - Kazdy bod na
grafe
    %spotreby je v realnom case vyhodnocovany
    if ramp2(i) < Yn3(i)
        StateArea = 1; %Oblast dobijania baterie

    elseif ramp2(i) >= Yn3(i) && ramp2(i) < Yn2(i)
        StateArea = 2; %Neutralna oblast

    elseif ramp2(i) >= Yn2(i) && ramp2(i) < Yn4(i)
        StateArea = 3; %Injektovanie z baterie

    elseif ramp2(i) >= Yn4(i) && ramp2(i) < Yn5(i)
        StateArea = 4; %Oblast odpajania spotrebicov

    elseif ramp2(i) >= Yn5(i) && ramp2(i) < 1
        StateArea = 5; %Hysterezia regulacie

    else
        StateArea = 6; % Mimo rozsah

    end

    %Stavovy automat podla prislusnosti k jednotlivym regulacnym
oblastiam
    switch StateArea
    case 1 % Nabijanie baterie
        [xi, yi] = polyxpoly(Time, Yn3, [i 100000], [ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
        in = zeros(1, IndexP_charge);
        %Kazdy bod na grafe spotreby je v realnom case
vyhodnocovany
        %podla prislusnosti k podoblastiam nabijania baterie
        for j = 1 : IndexP_charge

```

```

                in(j) =
inpolygon(Time(i),ramp2(i),ChargeBattArea(j).x(ChargeBattArea(j).k),Ch
argeBattArea(j).y(ChargeBattArea(j).k));
                if (in(j) == 1)
                    batt = (P_batt_charge_index*j); %Aka oblast, taky
vykon
                    % Zapis do premennych simulacie
                    set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');
                end
            end

            case 2 %Neutralna oblast - ziadne akcne zasahy
                %Vykreslovanie priesečníkov implementovaného predikčného
rezimu
                [xi,yi] = polyxpoly(Time,Yn3, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
                [xi1,yi1] = polyxpoly(Time,Yn2, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);

            case 3 %Injektovanie z baterie
                [xi,yi] = polyxpoly(Time,Yn2, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
                [xi1,yi1] = polyxpoly(Time,Yn4, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
                in = zeros(1,IndexP_uncharge);
                %Kazdy bod na grafe spotreby je v realnom case
vyhodnocovany
                %podla prislusnosti k podoblastiam nabijania baterie
                for j = 1 : IndexP_uncharge
                    in(j) =
inpolygon(Time(i),ramp2(i),UnchargeBattArea(j).x(UnchargeBattArea(j).k
),UnchargeBattArea(j).y(UnchargeBattArea(j).k));
                    if (in(j) == 1)
                        batt = -(P_batt_uncharge_index*j); %Aka oblast, taky
vykon
                        % Zapis do premennych simulacie
                        set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');
                    end
                end

            case 4 %Oblast odpajania spotrebicov - nutne zadefinovat pocet
                % spotrebicov podla premennej IndexPriority
                [xi,yi] = polyxpoly(Time,Yn4, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
                [xi1,yi1] = polyxpoly(Time,Yn5, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
                in = zeros(1,IndexPriority);
                for j = 1 : IndexPriority
                    in(j) =
inpolygon(Time(i),ramp2(i),ShutDownArea(j).x(ShutDownArea(j).k),ShutDo
wnArea(j).y(ShutDownArea(j).k));

                if in(IndexPriority) == 1    % Spotrebic poslednej
priority

```

```

DO5 = false; % Vypnutie simulovaneho stykaca az do
dalsej 15min
batt = -P_batt_uncharge_index;
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/DO5const','Value','DO5');
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');

elseif in(IndexPriority-1) == 1 % Spotrebic
predposlednej priority
DO4 = false;
batt = -P_batt_uncharge_index;
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/DO4const','Value','DO4');
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');

elseif in(IndexPriority-2)== 1 % Spotrebic strednej
priority
DO3 = false;
batt = -P_batt_uncharge_index;
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/DO3const','Value','DO3');
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');

elseif in(IndexPriority-3)== 1 % Spotrebic druhej
priority
DO2 = false;
batt = -P_batt_uncharge_index;
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/DO2const','Value','DO2');
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');

elseif in(IndexPriority-1)== 1 % Spotrebic najvyssej
priority
DO1 = false;
batt = -P_batt_uncharge_index;
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/DO1const','Value','DO1');
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/battconst','Value','batt');

end
end

case 5 % Hlavny istic odberneho miesta - vypne vsetky
spotrebice
[xi,yi] = polyxpoly(Time,Yn5, [Time(i) 100000],[ramp2(i)
(diff(i)*100000)]);
DO0 = false;
set_param('ELM_MZ/PLC-Peak
Shaving/DO0const','Value','DO0');

case 6
error = 1; %% Mimo rozsah

```

```

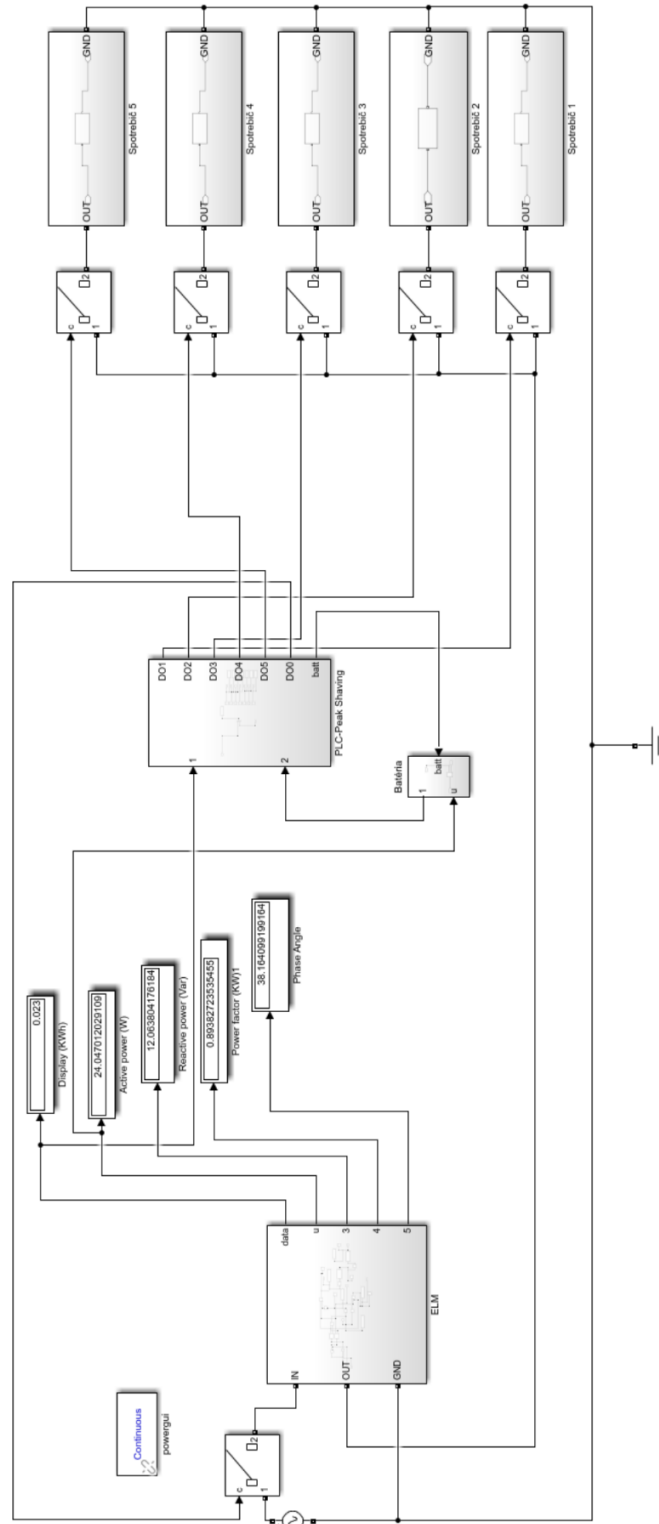
end

    %Vykreslovanie priesečnikov ciary predikcie s regulacnych
charakteristikami
    p = line([Time(i) 10000],[ramp2(i)
(abs(diff(i))*10000)], 'LineStyle','-', 'color','r');
    r = plot(xi,yi, '*', 'color','g');
    r1 = plot(xil,yil, '*', 'color','r');
    pause(0.01);
    %Vypocet zostavajuceho casu kedy dojde k pretnutiu regulacnej
%charakteristiky (ak sa neudeje akcny zasah)
    TimeCross = xi - Time(i)+0.01;
    disp(TimeCross);
    delete(p);
    delete(r);
    delete(r1);
end
hold off;
%koniec

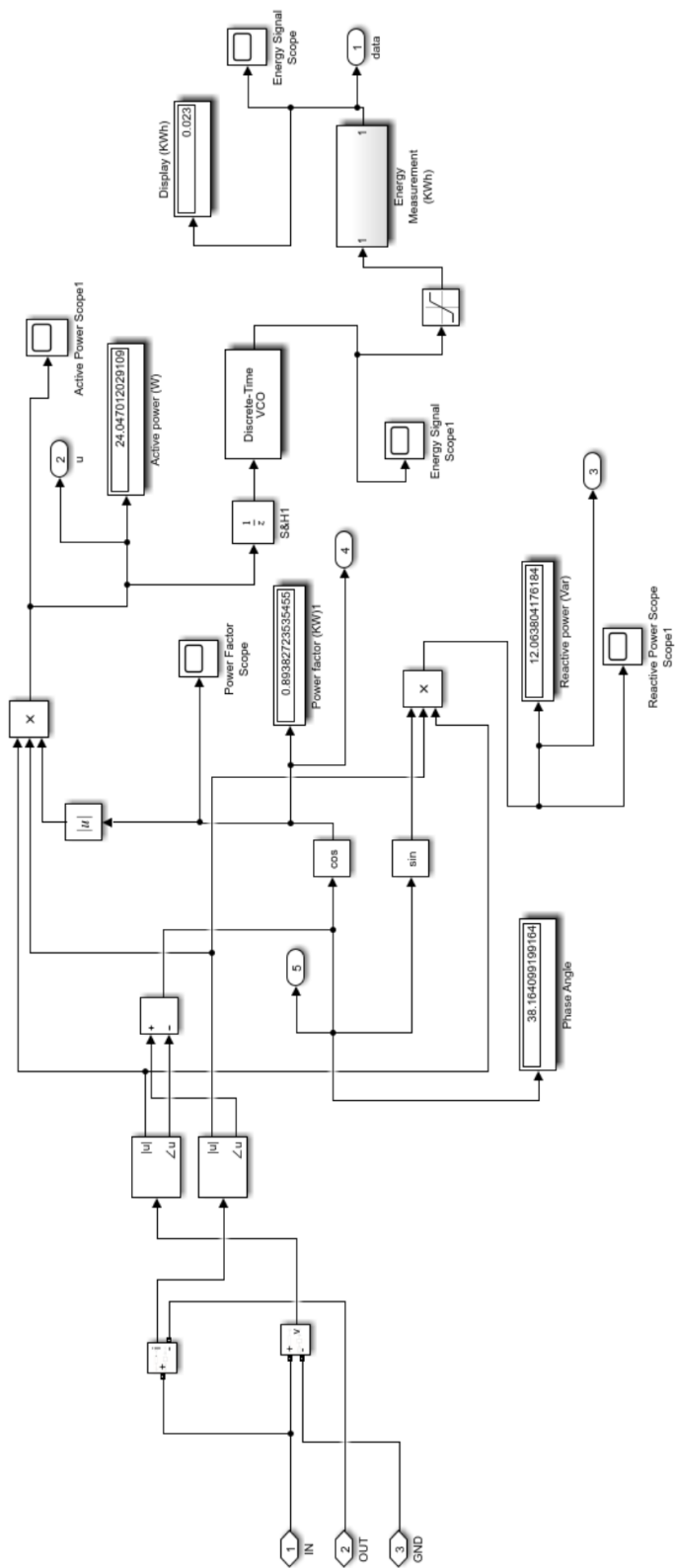
```


C.2 Simulačný model – SIMULINK

Náhľad na celý model:



Náhľad na blok *ELM*:



Náhľad na blok *PLC-Peak Shaving*:

