



TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE
Faculty of Electrical Engineering and Informatics



Electrical Engineering and Informatics IX



Proceedings of
the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

ISBN 978-80-553-2713-6

Electrical Engineering and Informatics IX
Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic

Date of publication: July 2018 Language: English, Slovak
Printing: 50 pieces CD Pages: 771

Editorial board chairman: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.

Proceedings reviewers: Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
prof. Ing. Roman Cimbala, PhD.
prof. Ing. Pavol Galajda, PhD.
prof. Ing. Dušan Kocur, CSc.
prof. Ing. Ján Kollár, CSc.
prof. Ing. Dušan Levický, CSc.
prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.
prof. Ing. Linus Michaeli, DrSc.
prof. Ing. Ján Mihalík PhD.
prof. Ing. Ján Paralič PhD.
prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
prof. Ing. Iveta Zolotová CSc.
assoc. prof. Ing. Norbert Ádám, PhD.
assoc. prof. Ing. Anton Baláž, PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Beňa, PhD.
assoc. prof. Ing. Marek Bundzel PhD.
assoc. prof. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Bystrík Dolník
assoc. prof. Ing. Peter Drotár, PhD.
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.
assoc. prof. Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Gamec, PhD.
assoc. prof. Ing. Juraj Gazda, PhD.
assoc. prof. Ing. Zdeněk Havlice, CSc.
assoc. prof. Ing. Marián Mach CSc.
assoc. prof. RNDr. Dušan Olčák, CSc.
assoc. prof. Ing. Ján Papaj, PhD.
assoc. prof. Ing. Branislav Sobota, PhD.
assoc. prof. Ing. Slavomír Šimoňák, PhD.
assoc. prof. Ing. Martin Tomášek, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Ján Vaščák
assoc. prof. Ing. Jaroslava Žilková, PhD.

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

Simulácia energetických úložísk v smart grid sieťach

¹Tomáš SPIŠÁK, ²Stanislav ILENIN, ³Martin VOJTEK

¹Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická
Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

¹tomas.spisak.5@student.tuke.sk, ²stanislav.ilenin@tuke.sk, ³martin.vojtek@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok sa zaoberá simuláciami energetických úložísk v smart grid sieťach. V prvej časti článku sa nachádza teoretický popis rôznych druhov akumulácií a popis smart grid sietí, ako aj ich celkový vplyv na elektrizačnú sústavu. Sú taktiež podrobne popísané spôsoby nabíjania elektromobilov a druhy nabíjacích staníc pre elektromobily. Je uvedená aj prognóza elektromobility na Slovensku pre rok 2030. V druhej časti článku bol vytvorený model v prostredí programu simulink, ktorý predstavuje vybranú časť elektrizačnej sústavy v roku 2030. Po vytvorení modelu boli nasimulované tri sedem dňové scenáre. Výsledky týchto scenárov boli zaznamenané a graficky vyhodnotené.

Kľúčové slová — smart grid, energetické úložisko, akumulácie elektrickej energie, distribučná sieť, užívateľ, nabíjacia stanica, elektromobilita, fotovoltaika

I. ÚVOD

Systémy ktoré riadia oblasť distribúcie elektrickej energie v celej Európe sú už staré a boli navrhnuté v období po druhej svetovej vojne. Zo začiatku boli siete budované ako regionálne sústavy. Tieto regionálne sústavy sa neskôr postupne prepájali a rozširovali sa. Väčšinou siete distribuovali elektrickú energiu len z niekoľkých pár elektrární (centrálnych). Pohon týchto elektrární bol zabezpečený zemným plynom, ropou alebo uhlím. Vplyvom klimatických zmien na našej planéte dochádza k zisteniu že starý systém už nespĺňa požadované požiadavky ktoré sa každým rokom menia [1].

Prevádzkovatelia prenosových sústav čelia každým rokom novým a novým výzvam nie len zo strany ponuky ale aj zo strany dopytu. Vznikajú nové otázky na ktoré je potrebné v najbližšej dobe nájsť vhodné riešenia :

- Spaľovanie fosílnych palív (vplyv na klimatické zmeny)
- Používanie ekologických zdrojov elektrickej energie (slnečná, vodná, veterná)
- Zvýšenie bezpečnosti dodávok elektrickej energie
- Zvýšenie ochrany sietí proti kybernetickým útokom
- Zvýšenie ochrany koncového užívateľa (súkromie)

Odpoveďou na tieto otázky je vybudovanie smart grids (inteligentnej siete) so zavedením inteligentného (smart metering) merania spotreby elektrickej energie. Inteligentné siete obsahujú možnosť monitorovania spotreby elektrickej energie vďaka ktorej je koncový užívateľ schopný aktuálnej regulácie spotreby elektrickej energie. Koncový užívateľ môže slúžiť aj ako samostatná jednotka produkujúca elektrickú energiu.

Inteligentné siete zabezpečia distribučným spoločnostiam informácie v reálnom čase, vďaka ktorým bude možné efektívne hospodárenie a riadenie celej elektrickej siete ktorá je braná ako jeden integrovaný systém ktorý je schopný v reálnom čase zaznamenávať zmeny v dodávke, odbere, nákladoch a emisiách nie len od veľkých odľahlých elektrární s nadmernou a premenlivou spotrebou, ale aj od solárnych panelov umiestnených na strechách koncových užívateľov.

II. METÓDY UKLADANIA ELEKTRICKEJ ENERGIE

Existuje viacero spôsobov ktorými sa dá elektrická energia uskladniť. V tejto kapitole sú popísané niektoré spôsoby, ktorými je možné elektrickú energiu uskladniť.

Spôsoby skladovania energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov (druhy energií) :

- Tepelná energia (roztopená soľ, ľad)
- Elektrická energia (zotrvačníky, stlačený vzduch, pružiny)

- Chemická energia (vodík)
- Potenciálna energia (rôzne formy vodnej energie, ako je napríklad prečerpávacia elektrárňa)
- Elektrochemická energia (Klasické akumulátory, akumulátory s vnútornou akumuláciou, prietokové kyselinové akumulátory)

III. NABÍJANIE ELEKTROMOBILU

Nabíjanie elektromobilu je veľmi dôležitý proces a vývoj nabíjačiek pre elektromobily (EV) neustále napreduje. Obsahom nabíjacej stanice pre EV je nabíjací kábel, stojan, privedenie výkonu, konektor pre EV, ochrany. Nabíjacia stanica sa prispôsobuje parametrom siete daného štátu v ktorom je umiestnená. Pretože parametre siete sa môžu značne líšiť (frekvencia, napätie). Veľký dôraz pri nabíjaciach staniciach sa kladie na ich účinnosť a spoľahlivosť pri postačujúcej výkonnosti a nízkych nákladoch a rozmeroch nabíjacej stanice (NS).

Hlavný parameter, ktorý sa posudzuje pri nabíjaní elektromobilu je úroveň nabíjacieho výkonu. Úroveň nabíjacieho výkonu má vplyv na rýchlosť nabíjania a ceny a fluktuácie v sieti. IEC 31851 je medzinárodný štandard, ktorý definuje parametre nabíjania elektromobilu. Spôsob nabíjania elektromobilu sa delí na on board (palubné) a off-board (vonkajšie) s jednosmerným, alebo obojsmerným tokom výkonu.

Pri palubných (on-board) nabíjačkách je majiteľ schopný nabíjať svoje vozidlo na každom mieste na ktorom je dostupná elektrická energia. Pri vonkajších (off-board) nabíjačkách je rýchlosť nabíjania podstatne vyššia [2].

IV. SIMULÁCIA ENERGETICKÝCH ÚLOŽÍSK

V tejto časti sú popísané konkrétne simulácie vopred vybraných funkcií, ktoré boli uskutočnené. Bola uskutočnená simulácia konkrétnej časti elektrizačnej sústavy (obce) v roku 2030 z pohľadu smart grid, elektromobility a obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. Táto simulácia zobrazuje predpoveď toho, ako bude vyzerat táto časť elektrizačnej sústavy na základe predpovedí, ktoré obsahujú dokumenty „stratégia rozvoja elektromobility v Slovenskej republike a jej vplyv na národné hospodárstvo Slovenskej republiky“ a dokument ktorý bol vypracovaný ministerstvom hospodárstva „Národný politický rámec pre rozvoj trhu s alternatívnymi palivami“.

A. Scenár 1

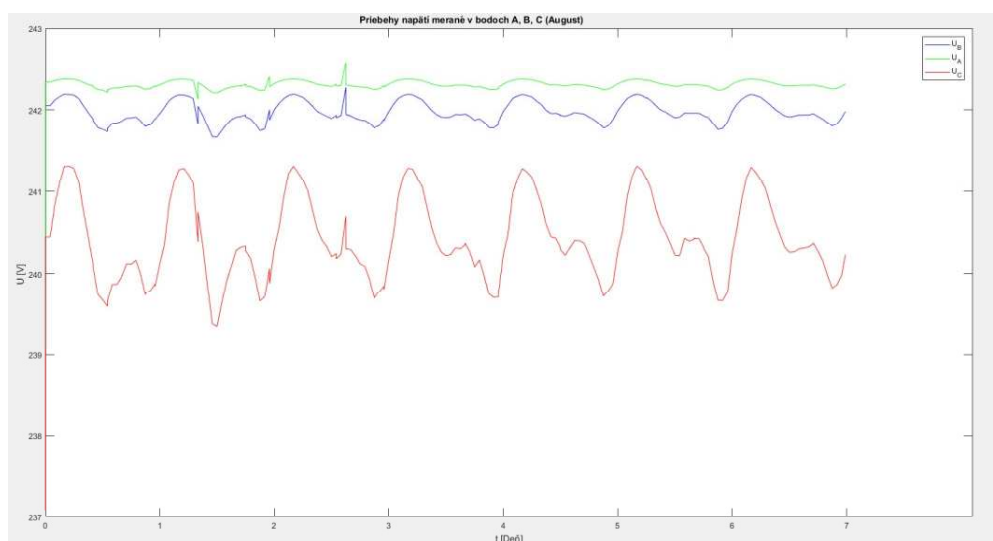
V prvom scenári (scenár 1) je znázornený súčasný stav vybranej časti elektrizačnej sústavy v roku 2018. To znamená že v tejto elektrizačnej sústave nie je inštalovaný fotovoltaiický systém, nie sú tu rýchlonabíjacie stanice pre EV a elektrizačná sústava nedisponuje akumuláčným systémom.

Meranie elektrických veličín v elektrizačnej sústave sa uskutočnilo v troch bodoch :

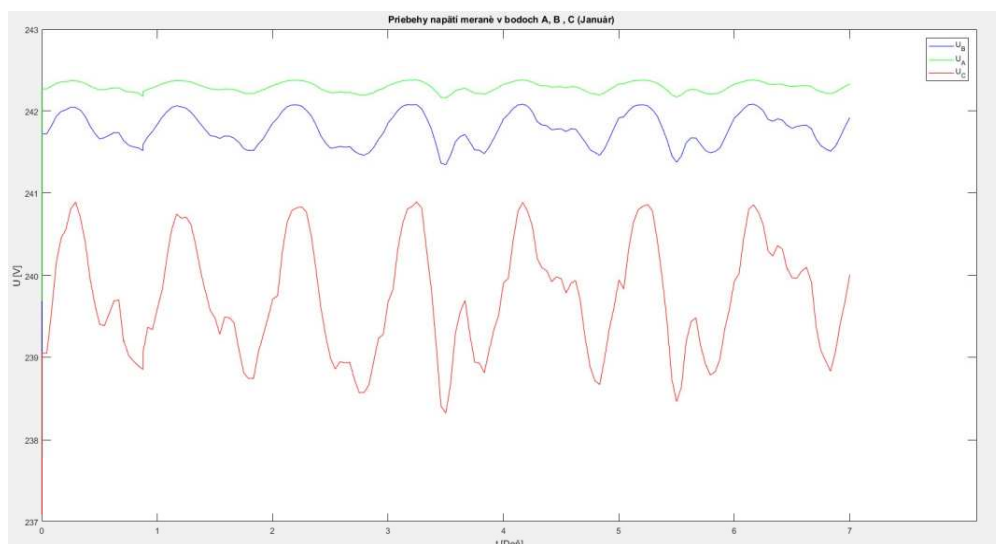
Bod A: začiatok elektrizačnej sústavy

Bod B: stred elektrizačnej sústavy

Bod C: koniec elektrizačnej sústavy

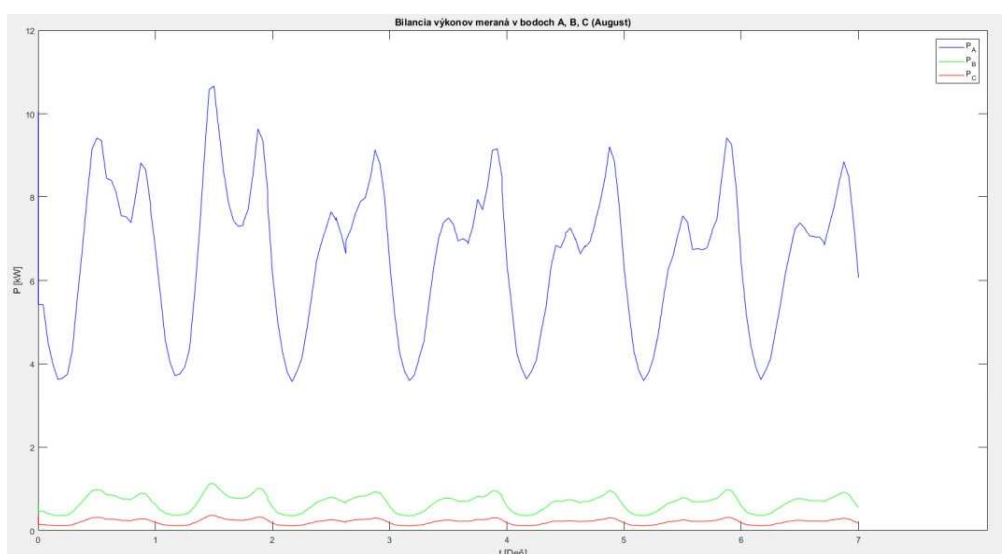


Obr. 1 Meranie napätia v bodoch A, B, C (7 dní, August)



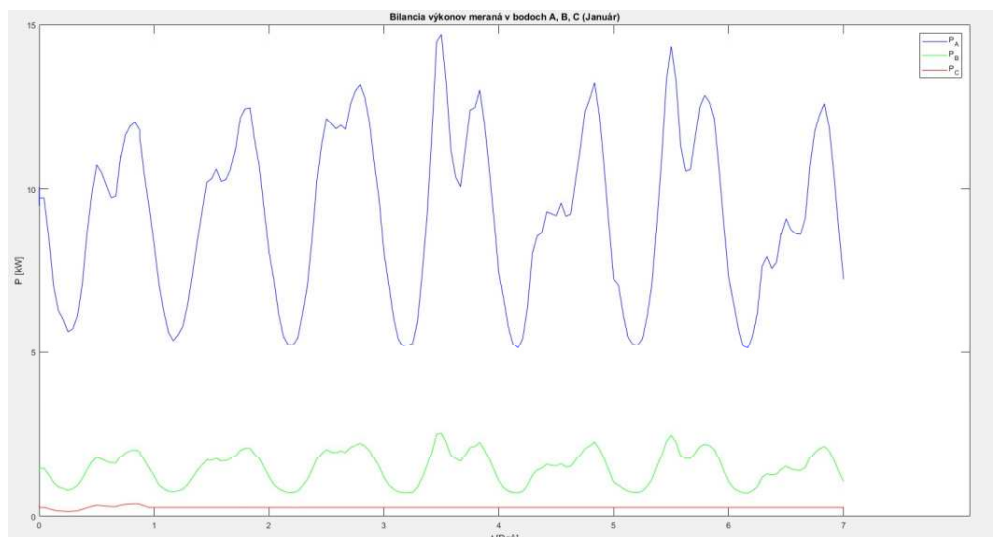
Obr. 2 Meranie napätia v bodoch A, B, C (7 dní, Január)

Na Obr. 1 a Obr. 2 sa nachádza meranie priebehov napätí vo vopred zvolených bodoch A, B, C, kde priebeh napätia U_A predstavuje napätie merané v meranom bode A, priebeh napätia U_B predstavuje napätie v meranom bode B a priebeh napätia U_C predstavuje napätie v meranom bode C. Simulácia bola uskutočnená pre sedem dní v letnom mesiaci (august) a sedem dní v zimnom mesiaci (Január). Z priebehov vyplýva že najstabilnejšie napätie je v bode A, ktoré bolo merané najbližšie k transformátoru. Naopak najmenej stabilné napätie je v bode C, ktoré bolo merané najďalej od transformátora (koniec elektrizačnej sústavy). Z grafov vyplýva že tvrdosť siete sa značne znižuje so vzdialenosťou od transformátora.



Obr. 3 Meranie výkonu v bodoch A, B, C (7 dní, August,)

Na Obr. 3 a Obr. 4 sa nachádzajú priebehy výkonov, ktoré boli merané vo vopred zvolených bodoch A, B, C. Simulácia bola uskutočnená pre sedem dní v letnom mesiaci (august) a sedem dní v zimnom mesiaci (Január). Priebeh výkonu meraný v bode A predstavuje zároveň aj priebeh výkonu celej časti elektrizačnej sústavy, pretože bod A sa nachádza priamo za transformátorom. Spotreba danej časti elektrizačnej sústavy bola v simulovaných siedmich dňoch v auguste 2590 kWh a v simulovaných siedmich dňoch v januári 3521 kWh. Z týchto nameraných údajov o spotrebe vyplýva že daná časť elektrizačnej sústavy má vyššiu spotrebu elektrickej energie v zimných mesiacoch, ako v letných. Toto tvrdenie dokazuje aj priebeh výkonu P_A , ktorý predstavuje meranie výkonu v bode A, v letnom aj v zimnom mesiaci. Priebeh výkonu P_B predstavuje meranie výkonu v bode B. Priebeh výkonu P_C predstavuje meranie výkonu v bode C.



Obr. 4 Meranie výkonu v bodoch A, B, C (7 dní, Január)

B. Scenár 2

V druhom scenári je riešená prognóza roku 2030. Boli taktiež urobené priebehy napätí a výkonov v bodoch A, B a C. Do vybranej časti elektrizačnej sústavy bol pridaný fotovoltaický systém, ktorý pokrýva 35% spotreby elektrizačnej sústavy. Umiestnenie fotovoltaického systému je za meracím bodom B. Toto umiestnenie bolo zvolené na základe tvrdosti siete v tomto bode elektrizačnej sústavy. Simuláciami bolo zistené že, ak sa fotovoltaický systém umiestnil v oblasti menšej tvrdosti siete (koncové miesta elektrizačnej sústavy) malo to negatívne vplyvy na napätie v tejto časti elektrizačnej sústavy. Dochádzalo k výkyvom napätia, ktoré presahovali povolenú toleranciu $+10\%$, alebo -10% od menovitej hodnoty napätia. Taktiež boli pridané dve nabíjacie stanice pre elektromobily, ktoré boli strategicky umiestnené. Prvá nabíjacia stanica pre EV bola umiestnená na začiatok elektrizačnej sústavy (k prvému koncovému užívateľovi) a druhá nabíjacia stanica bola umiestnená na koniec elektrizačnej sústavy (k poslednému koncovému užívateľovi).

V simulácii bolo nabíjanie elektromobilov zvolené na každý deň od 18:00 do 18:37. Prvá a druhá nabíjacia stanica nabíjali EV súčasne v ten istý čas. Boli merané priebehy napätí v bodoch A, B, C pre sedem dní v letnom mesiaci (august) a sedem dní v zimnom mesiaci (január) po nainštalovaní nabíjacích staníc, ktoré nabíjajú EV každý deň od 18:00 do 18:37 (bez fotovoltaického systému). Na priebehoch napätí sú viditeľné poklesy napätí práve v časoch nabíjania EV pomocou nabíjacích staníc. Najvýraznejší pokles napätia bol zaznamenaný v priebehu napätia U_C , ktoré je merané v bode C (najďalej od transformátora). Toto napätie v čase nabíjania EV pokleslo až na hodnotu 223 V. Maximálny pokles napätia pri priebehu P_B (merací bod B) bol 238 V a pri priebehu napätia P_A (merací bod A) bol tento pokles len 241 V. Pokles napätí P_A a P_B bol značne menší oproti poklesu napätia P_C a to z dôvodu väčšej tvrdosti siete pri meracích bodoch A a B. Z nameraných priebehov výkonov je viditeľné markantné zvýšenie výkonu P_A v čase nabíjania elektromobilov. Maximálny nameraný výkon P_A v čase nabíjania EV dosahoval hodnotu až 102 kW v zimnom mesiaci (január) a hodnotu 92 kW v letnom mesiaci (august). Spotreba danej časti elektrizačnej sústavy v letnom mesiaci (august) pri meraných siedmich dňoch bola 2744 kWh. V zimnom mesiaci (január) pri meraných siedmich dňoch sa spotreba rovnala 3677 kWh.

Boli merané priebehy výkonov nabíjacích staníc (P_{NS}), fotovoltaického systému (P_{PV}) a výkonu meraného v bode A (P_A). Tieto priebehy výkonov boli merané počas siedmich dní v letnom mesiaci (august) a siedmich dní v zimnom mesiaci (január). Z priebehu fotovoltaického systému P_{PV} je viditeľné že v zimnom mesiaci (január) je výroba fotovoltaického systému veľmi malá. Maximálny dosiahnutý výkon fotovoltaického systému v zimnom mesiaci (január) bol 5 kW. Avšak v letnom mesiaci (august) je výroba fotovoltaického systému značne vyššia. Maximálny dosiahnutý výkon fotovoltaického systému v letnom mesiaci (august) bol 24 kW. Spotreba danej časti elektrizačnej sústavy v letnom mesiaci (august) pri meraných siedmich dňoch bola 1763 kWh. V zimnom mesiaci (január) pri meraných siedmich dňoch sa spotreba rovnala 3583 kWh. Vplyvom výroby fotovoltaického systému v letnom mesiaci (august) dochádzalo pri vysokej výrobe fotovoltaického systému k prietokom vyrobenej elektrickej energie do siete, čo je v našom prípade nežiadúci jav. Jedným z možných riešení tohto problému je inštalácia akumulačného systému. Riešenie tohto problému sa nachádza v scenári 3.

C. Scenár 3

Tretí scenár obsahuje model, ktorý je vlastne modelom z druhého scenára ku ktorému je pridaný akumulačný systém. Tento model obsahuje fotovoltaiiku, pokrývajúcu 35 % spotreby, dva nabíjacie stanice pre EV a akumulačný systém, ktorý bol umiestnený vedľa fotovoltaiického systému. Boli merané priebehy napätí v bodoch A, B, C pre sedem dní v letnom mesiaci (august) a sedem dní v zimnom mesiaci (január) po nainštalovaní dvoch nabíjacích staníc, ktoré nabíjajú EV každý deň v čase od 18:00 do 18:37, nainštalovaní fotovoltaiického systému a nainštalovaní akumulačného systému. Spotreba danej časti elektrizačnej sústavy v letnom mesiaci (august) pri meraných siedmich dňoch bola 3883 kWh. V zimnom mesiaci (január) pri meraných siedmich dňoch sa spotreba rovnala 3897 kWh.

Boli merné priebehy výkonov nabíjacích staníc (P_{NS}), fotovoltaiického systému (P_{PV}), akumulačného systému (P_{BESS}) a výkonu meraného v bode A (P_A). Tieto priebehy výkonov boli merané počas siedmich dní v letnom mesiaci (august) a siedmich dní v zimnom mesiaci (január). Z priebehov výkonov je viditeľné že nedochádza k prietokom elektrickej energie vyrobenej fotovoltaiickým systémom do siete. Z priebehu výkonu akumulačného systému P_{BESS} je vidieť že akumulačný systém sa dobíja pri výrobe fotovoltaiického systému. V zimných mesiacoch, kedy je výroba fotovoltaiického systému veľmi malá a nepostačujúca sa akumulačný systém nabíja v časoch nízkeho odberu a to od neskorých nočných hodín (23:00) až do skorých ranných hodín (5:00). Energia uložená v akumulačnom systéme je využitá pri vysokých odberoch v sieti, ktoré sú prevažne spôsobené nabíjaním elektromobilov. Akumulačný systém nám zabezpečil to že priebeh výkonu P_A je teraz až na malé výkyvy spôsobené nabíjaním EV takmer na konštantnej hodnote 23 kW. Bol meraný aj priebeh stavu nabitia akumulačného systému použitého pri simuláciách v letnom mesiaci (august) a v zimnom mesiaci (január). Z priebehu stavu nabitia akumulačného systému v letnom mesiaci (august) je možné vidieť že akumulačný systém dosiahol vyššiu úroveň nabitia (93 %), ako v zimnom mesiaci (január), kedy dosiahol úroveň nabitia 85 %. Vyššia úroveň nabitia batérie v letnom mesiaci (august) bola zapríčinená vyššou výrobou fotovoltaiického systému, kedy bola intenzita slnečného žiarenia značne vyššia. V zimných mesiacoch sa akumulačný systém nabíjal hlavne zo siete v časoch nízkeho odberu.

V. ZÁVER

V článku sú popísané rôzne využívané druhy akumulácií energie, ako aj vplyvy smart grid sietí na elektrizačnú sústavu a v konečnom dôsledku aj na koncového užívateľa. Je podrobne rozobraná problematika týkajúca sa nabíjania elektromobilov a nabíjacích staníc, ktoré boli nevyhnutné pre správne vykonanie simulácií. Pre simulácie bol zvolený, ako obnoviteľný zdroj energie fotovoltaiický systém a vhodný akumulačný systém s potrebným logickým riadením nabíjania a vybíjania. Pomocou vytvoreného modelu v prostredí simulink na základe prognózy pre rok 2030 boli vytvorené tri rôzne scenáre. Výsledky týchto scenárov boli podrobne opísané a graficky vyhodnotené. Merali a skúmali sa rôzne elektrické parametre. Boli zistené vážne nedostatky pri použití nabíjacích staníc a fotovoltaiického systému z pohľadu vplyvu na elektrizačnú sústavu a jej elektrické parametre, ktoré boli vyriešené pridaním akumulačného systému do danej časti elektrizačnej sústavy. Stále sa však naskytá možnosť na ďalšie veľké množstvo rôznych simulácií a skúmanie vplyvu elektromobility a obnoviteľných zdrojov energií na elektrizačnú sústavu v budúcnosti.

VI. POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: *Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií*, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

VII. LITERATÚRA

- [1] Juris, A.: Rozvoj smart grids na Slovensku Paradigmy budúcich zmien v 21. storočí – infraštruktúra spoločnosti, infraštruktúra človeka, kontrolovaná spoločnosť. Zborník statí, Vydal ekonomický ústav SAV, Bratislava, ISBN 978 – 80 – 7144 – 198 – 4, e – ISBN 978 – 80 – 7144 – 199 – 1.
- [2] Falvo, V., D. Sbordon, I. Bayram a M. Devetsikiotis. Ev charging stations and models: international standards [online]. 2014, [online]. [cit. 20.3.2018]. Dostupné na internete: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6872107/>>

Electrical Engineering and Informatics IX

Proceedings of the
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Edition I, 771 pages
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

ISBN 978-80-553-2713-6