

Jakub Urbanský, Ľubomír Beňa, Michal Kolcun, Dušan Medved', Marek Pavlík, Daniel Pál

Elektromobil ako zdroj elektrickej energie v rodinnom dome

V súčasnosti je možné zaznamenať zvyšujúci sa záujem o elektrické vozidlá na celom svete. Tieto elektrické vozidlá majú často zabudované veľkokapacitné batérie, ktoré im zaisťujú čo najdlhší možný dojazd. Elektromobily sa však väčšinou ostávajú zaparkované. Elektrina uložená v ich batériách je preto väčšinou nevyužitá. S čoraz častejším prienikom inteligentných sietí do praxe sa objavuje nová možnosť využitia veľkého úložného potenciálu batérií elektrických vozidiel. Vedci z celého sveta predstavili takzvaný koncept Vehicle-to-grid, kde navrhli použitie batérií pre elektrické vozidlá do elektrickej siete na uskladnenie a spätnú dodávku elektriny do elektrickej siete. Hlavným cieľom tohto článku je preskúmať možnosti implementácie technológie Vehicle-to-grid v menšom meradle v tzv. Technológii Vehicle-to-Home. Článok sa zaoberá vytvorením počítačového modelu hybridného systému a simuláciou použitia elektromobilu ako zdroja elektrickej energie v rodinnom dome v období jedného mesiaca. Na základe vykonaných simulácií môžeme konštatovať významný potenciál batérií pre elektrické vozidlá s vysokou kapacitou v domácich aplikáciách.

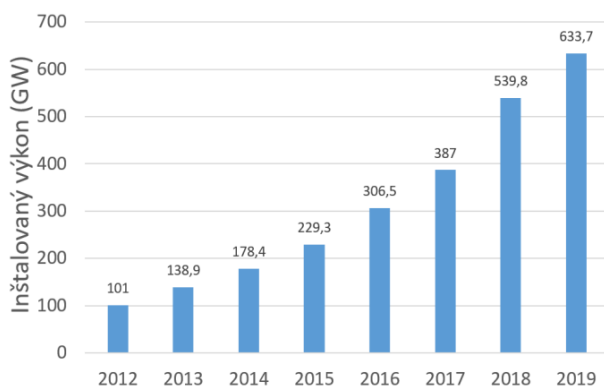
Kľúčové slová: v2h; vehicle to home; sieťovo integrované vozidlo; obnoviteľné zdroje

Nowadays we can notice the increasing interest in electric vehicles around the world. These electric vehicles have often built-in large capacity batteries to ensure the longest ride range possible. However, most of the time electric cars are not used for transport yet they are parked somewhere. Therefore, electricity stored in their batteries is most of the time unutilized. With more and more frequent penetration of smart grids in to practice, there occurs new possibility of using large storage potential of electric vehicles batteries. Researchers around world introduced so called concept Vehicle-to-grid, where they proposed application of electric vehicles batteries in to the power grid for storing and backwards supply of electricity. The main goal of this article is investigate possibility of Vehicle-to-grid technology implementation in smaller scale in so called Vehicle-to-home technology. In order to carry out needed simulations, the computer model of hybrid system was created. In the model we proposed and implemented new algorithm where we defined power flows in family house. Based on carried out simulations we can state significant potential of high capacity electric vehicles batteries in household application.

Keywords: vehicle to home; v2h, vehicle to grid; v2g; renewable resources

I. ÚVOD

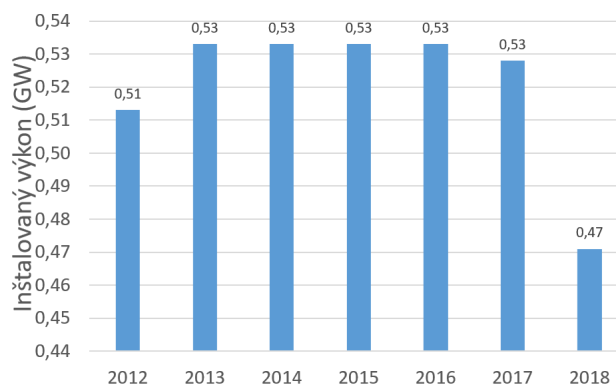
Produkcia elektrickej energie z fotovoltiky (FV) zaznamenala v posledných rokoch obrovský nárast. Na základe Obr. 1. je možné konštatovať nárast inštalovaného výkonu z fotovoltiky z 101 GW v roku 2012 na približne 663,7 GW v roku 2017. [1]



Obr. 1. Inštalovaný výkon z PV vo svete [1]

Slovenská republika v rokoch 2013 až 2017 udržiavala množstvo inštalovaného výkonu z FV približne na úrovni 0,53 GW (Pozri Obr. 2). Podľa aktuálne dostupných dát Európskej únie sa

v roku 2018 znížila inštalovaná kapacita vo FV na Slovensku o 12,77% [2].



Obr. 2. Inštalovaný výkon z PV na území Slovenskej republiky [2]

Výroba a spotreba elektrickej energie prebieha súbežne. Množstvo vyrobenej elektrickej energie sa musí rovnať množstvu spotrebovanej v každom časovom okamihu.[3] To vyžaduje približný plán výroby elektrickej energie v časovom predstihu, čo v prípade použitia konvenčných zdrojov elektrickej energie nie je problém. V prípade výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov, ktorých výroba nie je 100% predpovedateľná to však vytvára problém. Obnoviteľné zdroje elektrickej energie (OZE) ako napríklad

FV a veterná energia (VTE) je možné považovať za také zdroje elektrickej energie, ktorých výrobu nevieme ovplyvniť. Napr. množstvo vyrobenej elektrickej energie z FV panelu môže byť drasticky znížené pri zatiahnutí oblohy, čiastočnom zatižení panelu a pod. Jedným z existujúcich riešení je akumulácia elektrickej energie v prípade prebytočnej výroby z OZE.

Rastúci trend v používaní elektromobilov, ponúka využívanie veľkokapacitných akumulátorov inštalovaných v daných typoch vozidiel práve na akumuláciu elektrickej energie v čase nadvýroby z obnoviteľných zdrojov. Táto technológia je označovaná pojmom „sieťovo integrované vozidlo (z ang. Vehicle-to-Grid V2G, derivácie Vehicle-to-Building V2B a Vehicle-to-Home V2H)“. [4-6]

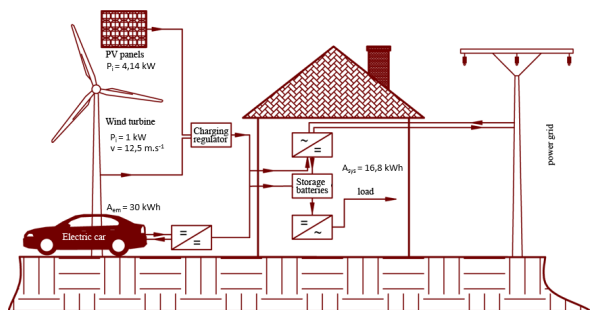
Množstvo štúdií ukazuje potenciál technológie V2H v znižovaní spotreby elektrickej energie v čase špičiek v dennom diagrame výroby elektrickej energie. [7-9], [14]

Tento článok je zameraný na vytvorenie počítačového on-grid modelu rodinného domu pozostávajúceho z OZE, statického akumulátora a využívania kapacity akumulátora elektrického vozidla s cieľom minimalizácie používania elektrickej energie z elektrickej siete a následné porovnanie v prípade integrácie elektromobilu ako zdroja elektrickej a v prípade jeho nepoužívania ako zdroja energie.

II. MODEL

Model (pozri Obr. 3) pozostáva z:

- FV panelov,
- veternej turbíny,
- elektromobilu,
- statických domových akumulátorov,
- pripojenia k sieti.



Obr. 3. Blokový diagram modelu

Dom je pripojený k distribučnej NN sieti (0,4kV) v dvojtarifovom móde:

- nízka tarifa (NT) 23:00 - 07:00,
- vysoká tarifa (VT) 07:00 - 23:00.

Jednotlivé časti modelu sú navrhnuté s ohľadom na nasledujúce predpoklady:

- variabilná prítomnosť elektromobilu v dome (pracovné dni sa opakujú a elektromobil je počas nich neprítomný 11 h, počas víkendov je neprítomný v piatich možných variáciách),
- primárne nabíjanie domových akumulátorov z OZE,
- sekundárne nabíjanie akumulátora elektromobilu v prípade jeho prítomnosti za podmienky $SOC_{em} < 100\%$ (elektromobil nie je možné nabíjať z distribučnej sústavy v dome),
- minimálna úroveň nabitia akumulátorov elektromobilu 60%,

- primárne pokrývanie spotreby domu z OZE,
- v prípade nedostatku výroby z OZE pokrývanie spotreby domu z akumulátorov elektromobilu,
- pri nedostatku výroby z OZE a neprítomnosti elektromobilu alebo pri úrovni nabitia elektromobilu pod minimálnu hranicu, pokrývanie spotreby z domových akumulátorov,
- v prípade poklesu SOC domových akumulátorov pod hodnotu 20%, pripojenie distribučnej sústavy, s úlohou pokryť spotrebu a zvýšiť SOC domových akumulátorov na hodnotu 30%.

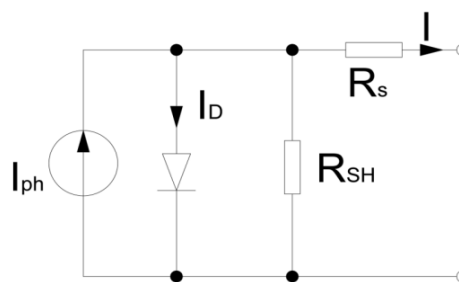
III. POPIS A IMPLEMETNÁCIA MODELU V POČÍTAČOVOM PROGRAME MATLAB SIMULINK

Jednotlivé časti modelu sú implementované v prostredí programu Matlab Simulink.

Fotovoltaický panel:

Fotovoltaický článok je založený na princípe polovodičov, premieňa energiu slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Elektrická energia, ktorú generuje je nízka, preto je potrebné zapojiť niekoľko článkov sériovo, paralelne, alebo sériovo paralelne, ktoré potom tvoria jeden panel.

V modeli je implementovaný fotovoltaický článok, ktorý je založený na jednodiodovom náhradnom modeli (Obr. 4).



Obr. 4. Náhradná schéma FV článku založená na jednodiodovom modeli [10]

V modeli je implementované aj vyhľadávanie maximálneho výkonového bodu založené na princípe inkrementálnej konduktancie. Inštalovaný výkon fotovoltiky je 4,41 kWp.

Veterná turbína:

Ako doplnkový zdroj elektrickej energie je použitá veterná turbína s nízkou rozbehovou rýchlosťou vetra. Implementácia danej turbíny je publikovaná v článku [11]. Inštalovaný výkon turbíny je 1 kW.

Domové akumulátory:

Domové akumulátory sú v modeli reprezentované funkčným blokom, pochádzajúcim z knižnice Simscape/SimElectronics/Sources, v ktorého dialógovom okne je možné nastaviť potrebné parametre akumulátora. Kapacita akumulátora je 16,8 kWh. Technológia Li-ion.

Elektromobil:

Elektromobil v modeli rodinného domu predstavuje akumulátor s reálnymi parametrami nastavenými podobne ako v prípade domových akumulátorov. Kapacita akumulátora je 30 kWh. Technológia Li-ion. Nabíjanie akumulátorov v modeli je zabezpečené trojštádiovým nabíjaním. Implementácia trojštádiového nabíjania je popísaná v článku [12].

Striedač:

Model skúma použiteľnosť akumulátorov elektromobilu pri akumulácii elektrickej energie v rodinnom dome na úrovni tokov

činného výkonu v systéme. Striedač je v modeli reprezentovaný iba blokom, ktorý znižuje množstvo elektrickej energie, ktorá ním preteká o svoju účinnosť. Účinnosť uvažovaného striedača je na úrovni 95%.

IV. PARAMETRE SIMULÁCIE

Model bol odsimulovaný pre dva rôzne scenáre. V prvom scenári bol ako zdroj elektrickej energie v rodinnom dome uvažovaný elektromobil. V druhom scenári bol elektromobil uvažovaný iba ako spotrebič elektrickej energie. Simulačný krok bol 1 sekunda. Doba trvania simulácie 30 dní.

Vstupné dáta v simulácii:

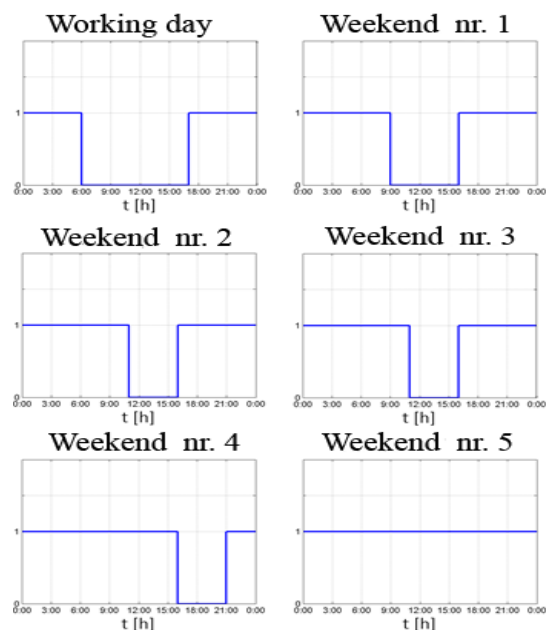
- globálne slnečné žiarenie ($W \cdot m^{-2}$),
- teplota okolia ($^{\circ}C$),
- rýchlosť vetru ($m \cdot s^{-1}$),
- prítomnosť elektromobilu v domácnosti (-),
- nabíjanie a vybíjanie elektromobilu mimo domu (-),
- spotreba, P_{load} (W).

Výstupné dáta v simulácii:

- úroveň nabitia domových akumulátorov, SOC_{dom} (%),
- úroveň nabitia akumulátorov elektromobilu, SOC (%),
- dodávaný výkon z OZE (suma PV + VTE), P_{OZE} (W),
- výkon pri vybíjaní domových akumulátorov, $+P_{bat}$ (W),
- výkon pri nabíjaní domových akumulátorov, $-P_{bat}$ (W),
- výkon pri vybíjaní elektromobilu, $+P_{bat_{em}}$ (W),
- výkon pri nabíjaní elektromobilu, $-P_{bat_{em}}$ (W),
- výkon odoberaný zo siete, $+P_{ds}$ (W),
- výkon dodávaný do siete, $-P_{ds}$ (W).

Prítomnosť elektromobilu v rodinnom dome:

Prítomnosť elektromobilu v rodinnom dome je riadená krokovým signálom podľa obr. 5. Signál je označený ako EM. Pracovné dni sa vždy opakujú a cez víkendy sa náhodne kombinujú náhodne kombinácie od 1 do 5.



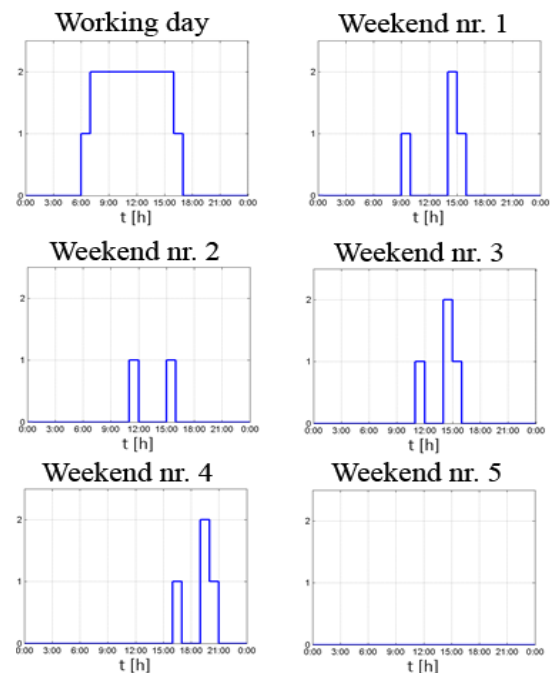
Obr. 5. Radiaci signál prítomnosti elektromobilu EM v rodinnom dome

Popis signálu:

- elektromobil je prítomný = 1;
- elektromobil nie je prítomný = 0;
- odpojenie elektromobilu, skok z 1 na 0,
- pripojenie elektromobilu, skok z 0 na 1.

Nabíjanie a vybíjanie elektromobilu mimo rodinného domu:

Nabíjanie a vybíjanie elektromobilu mimo rodinného domu sa riadi krokovým signálom zobrazeným na obr. 6, ktorý je označený ako EMI, pracovné dni sa vždy opakujú, víkendy sú náhodné kombinácie od variácií 1 až 5. Signál je v simulácii spárovaný s EM signálom.



Obr. 6. Radiaci signál nabíjania a vybíjania elektromobilu EMI mimo domu

Popis signálu EMI:

- elektromobil sa nenabíja/nevybíja = 0,
- elektromobil sa vybíja = 1,
- elektromobil sa nabíja = 2,
- elektromobil sa začína vybíjať, skok z 0 na 1 elektromobil sa prestáva vybíjať, skok z 1 na 0, alebo skok z 1 na 2,
- elektromobil sa začína nabíjať, skok z 1 na 2, alebo z 0 na 2,
- elektromobil sa prestáva nabíjať, skok z 2 na 1, alebo z 2 na 0.

V. VÝSLEDKY SIMULÁCIE

V simulácii bol uvažovaný letný mesiac. Jeho priemerné klimatické podmienky sú uvedené v Tab. 1. Je možné konštatovať, že vyrobené množstvo elektrickej energie z OZE mnohonásobne prevýšilo spotrebované množstvo elektrickej energie v rodinnom dome. Nákup z distribučnej sústavy nebol potrebný, naopak, dominoval jej predaj. V prípade, keď bol elektromobil integrovaný do hybridného systému rodinného domu, bolo množstvo elektrickej energie predávané do distribučnej sústavy vyššie, ako v prípade, kedy elektromobil integrovaný nebol. Počet nabíjajúcich cyklov domovej batérie bol v prípade integrácie elektromobilu až 9,1x nižší.

TABUĽKA I
Priemerné klimatické podmienky v simulácii za skúmaný mesiac

Globálne slnečné žiarenie [W.m ⁻²]	Rýchlosť vetru [m.s ⁻¹]	Teplota [°C]
243,76	2,71	21,7

TABUĽKA II
Výsledky simulácie za jeden kalendárny mesiac

	S prítomnosťou elektromobilu	Bez prítomnosti elektromobilu
Celková záťaž (kWh)	258,5	258,5
Elektrina (el.) vyrobená z FV (kWh)	694,3	694,3
El. vyrobená z VTE (kWh)	34,24	34,24
Nákup el. vo VT (kWh)	0	0
Nákup el. vo NT (kWh)	0	0
Predaj el. vo VT (kWh)	494,3	446,4
Predaj el. vo NT (kWh)	0	0
El. použitá z elektromobilu v dome (kWh)	93,54	0
El. akumulovaná z OZE do elektromobilu (kWh)	52,22	0
El. použitá z dom. akumulátorov (kWh)	11,41	104,9
El. akumulovaná do dom. akumulátorov (kWh)	12,12	110,4
Počet nabíjajúcich cyklov dom. bat (-)	0,88	8,01
Počet nabíjajúcich cyklov bat. elektromobilu (-)	11,24	0

VI. ZÁVER

Energeticky sebestačné domy sú nevyhnutným krokom v budúcnosti využívania OZE. Efektívna akumulácia elektriny je v tomto prípade dôležitým cieľom. Jednou z možností akumulácie elektriny vyrobenej z OZE je jej skladovanie vo vysokokapacitných batériách elektromobilov.

V tomto článku sme navrhli rodinný dom s hybridným on-grid systémom s možnosťou využitia akumulátora elektromobilu ako zásobníka a ako zdroja energie.

Simulácie sa uskutočňovali v prostredí Matlab Simulink. Je možné konštatovať, že vysokokapacitná batéria elektrického vozidla má podstatný prínos ako zásobník el. energie a aj ako zdroj energie v dome.

Takýto hybridný systém môže pomôcť šetriť el. energiu, pretože v budúcnosti sa predpokladá odklon od centralizovanej výroby smerom k lokálnej výrobe.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Agentúra na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-19-0576 "Sebestačnosť elektroenergetiky v podmienkach liberalizovaného trhu s elektrinou".

LITERATÚRA

- [1] SolarPower Europe: Global Market Outlook For Solar Power / 2020 - 2024, p. 20 [Online]. Available at: < https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/07/31-SPE-GMO-report-hr-hyperlinks.pdf?cf_id=25042> Accessed on January 18th, 2021
- [2] European Commission: EU energy statistical pocketbook and country datasheets 2020 [Online]. Available at: < https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_statistical_countrydatasheet_s.xlsx> Accessed on January 18th, 2021
- [3] M. Kolcun et al., "Prevádzka elektrizačnej sústavy" TUKE. Košice: 2009. ISBN 978-80-8073-837-2
- [4] Liu Ch, Chau K. T, Wu D, Gao S. Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies, IEEE Journals & Magazines, vol. 101, issue. 11, pp. 2409 - 2427, 2013. doi:10.1109/JPROC.2013.2271951R. Nicole, "Názov príspevku s kapitálkami len v prvom slove," *J. Name Stand. Abbrev.*, v tlači.

- [5] Chen J, Zhang Y, Su W. An anonymous authentication scheme for plug-in electric vehicles joining to charging/discharging station in vehicle-to-Grid (V2G) networks, IEEE Journals & Magazines, vol. 12, issue 3 pp. 9 - 19, 2015. doi:10.1109/CC.2015.7084359
- [6] Monteiro S, Pinto J. G, Afonso J. L. Operation Modes for the Electric Vehicle in Smart Grids and Smart Homes: Present and Proposed Modes, IEEE Journals & Magazines, vol. 65, issue 3, pp. 1007-1020, 2016. doi:10.1109/TVT.2015.2481005
- [7] Datta U, Kalam A, Shi J. Electric Vehicle (EV) in Home Energy Management to Reduce Daily Electricity Costs of Residential Customer. Journal of scientific & Industrial research vol.77, Issue 10, 2018. ISSN: 0022-4456
- [8] Xiaohua W, Xiaosong H, Yanqiong T, et.al. Optimal integration of a hybrid solar-battery power source into smart home nanogrid with plug-in electric vehicle. Journal of power sources vol. 363, 2017. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.07.086
- [9] Akshya S, Ravindran A, Srinidhi Sakthi A, et al. Grid Integration for Electric Vehicle and Photovoltaic Panel for a Smart Home. Proceedings of 2017 IEEE international conference on circuit power and computing technologies (ICCPCT), 2017. ISBN: 978 - 1 - 5090-4967-7
- [10] Urbánský J, Beňa E, "The influence of photovoltaic panel temperature on the amount of produced electricity", in: Projekt interdisciplinárny projektom 21 wieku. - Bielsko-Biala : ATH, 2017 P. 327-332. - ISBN 978-83-65192-80-7
- [11] Urbánský J, Beňa E, Špes M, "Implementation of incremental conductance algorithm for determining maximal power point of photovoltaic panel in MATLAB Simulink", in: Electrical Engineering and Informatics 9 : proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. - Košice : FEI TU, 2018 S. 111-113. - ISBN 978-80-553-2713-6.
- [12] Urbánský J, et al., " Možnosti výroby elektrickej energie z malej veternej turbíny", in: Elektroenergetika : International Scientific and Professional Journal on Electrical Engineering : Medzinárodný vedecký a odborný časopis pre elektroenergetiku. Roč. 12, č. 1 (2019), s. 21-24 [print]. - ISSN 1337-6756.
- [13] Urbánský J, et al., "Computer Simulation Model of Three Stage Battery Charger", in: Electrical Engineering and Informatics 10 : proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. - Košice (Slovensko) : Technická univerzita v Košiciach s. 295-297 [CD-ROM, online]. - ISBN 978-80-553-3342-7.
- [14] Zagrajek, K., Wróblewski, K., Biczek, P., Sosnowski, L. Operation of Electrical Vehicles Fast Charging Stations in Warsaw - Case study of innogyGO! collecting point, Przegląd Elektrotechniczny, 2020, vol. 96, nr 5, pp. 20-25, ISSN 0033-2097, doi:10.15199/48.2020.05.03

ADRESY AUTOROV

Jakub Urbánský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 040 01, Slovenská Republika, Jakub.Urbansky@tuke.sk
 Ľubomír Beňa, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 040 01, Slovenská Republika, Rubomir.Bena@tuke.sk
 Michal Kolcun, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Michal.Kolcun@tuke.sk
 Dušan Medved, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Dusan.Medved@tuke.sk
 Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Marek.Pavlik@tuke.sk
 Daniel Pál, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Daniel.Pal@tuke.sk

O AUTOROCH

Jakub URBANSKÝ narodený v roku 1991. V roku 2017 absolvoval vysokoškolské štúdium na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. V súčasnosti je Ph.D. študent na Katedre elektroenergetiky, Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Jeho výskum je zameraný najmä na oblasť akumulácie elektrickej energie.

Ľubomír BEŇA narodený v roku 1975. V roku 1998 absolvoval vysokoškolské štúdium na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Kandidátsku dizertačnú prácu obhájil v roku 2002. V súčasnosti pôsobí ako docent na Katedre elektroenergetiky FEI TU v Košiciach.

Michal KOLCUN narodený v roku 1954. Absolvoval Elektroenergetickú fakultu na Moskovskom energetickom inštitúte v rokoch 1973 – 1979, kde ukončil aj vedeckú aspirantúru v roku 1989. V roku 1993 habilitoval na docenta v odbore elektroenergetika na Fakulte elektrotechniky a informatiky TU v Košiciach, kde v roku 2000 inauguroval za profesora v odbore energetické a silnoprúdové inžinierstvo. Od roku 1979 pracuje na FEI TU v Košiciach, od 1999 ako vedúci Katedry elektroenergetiky.

Dušan MEDVEĎ narodený v roku 1979. V roku 2003 absolvoval štúdium na Katedre elektroenergetiky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Kandidátsku dizertačnú prácu obhájil v roku 2008. V súčasnosti pôsobí ako docent na Katedre elektroenergetiky FEI TU v Košiciach.

Marek PAVLÍK narodený v roku 1985. V roku 2008 absolvoval štúdium na Katedre elektroenergetiky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Po skončení štúdia pôsobil ako elektroprojektant v praxi. Od roku 2011 do 2015 pôsobil ako interný doktorand na katedre elektroenergetiky Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach (PhD.). Dodnes pôsobí ako odborný asistent na katedre elektroenergetiky.

Daniel PÁL narodený v roku 1994. V roku 2018 absolvoval štúdium na Katedre elektroenergetiky na Fakulte elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. V súčasnosti je Ph.D. študent na Katedre elektroenergetiky, Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Jeho výskum je zameraný najmä na oblasť obnoviteľných zdrojov.