



Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-19-0576**

Sebestačnosť elektroenergetiky v podmienkach liberalizovaného trhu s elektrinou

Zodpovedný riešiteľ **Dr. h. c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.**

Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Mäsiarska 74, Košice

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Óbuda University, Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering, Power System department, Budapešť, Maďarsko
Rzeszów University of Technology, Department of Electrical and Computer Engineering Fundamentals, Rzeszów, Poľsko

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

-

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

- BEŇA, Ľubomír - GÁLL, Vladimír - KANÁLIK, Martin - KOLCUN, Michal - MARGITOVÁ, Anastázia - MÉSZÁROS, Alexander - URBANSKÝ, Jakub: Calculation of the overhead transmission line conductor temperature in real operating conditions. In: Electrical Engineering (2020). ISSN 0948-7921. <https://doi.org/10.1007/s00202-020-01107-2>.
- PÁL, Daniel - BEŇA, Ľubomír - URBANSKÝ, Jakub - KOLCUN, Michal - MEDVEĎ, Dušan - PAVLÍK, Marek: Vplyv prevádzky obnoviteľných zdrojov energie na napäťové pomery v sieti. In: Elektroenergetika. Roč. 13, č. 1 (2020), s. 20-22. - ISSN 1337-6756.
- PÁL, Daniel - MORVA, Gyorgy - KÁDÁR, Péter - BEŇA, Ľubomír: The effect of small power plants on the distribution of mains voltage and power losses. In: IEEE 3rd International Conference AND workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO EPE 2020), Nov. 18-19, 2020, Budapest, Hungary. DOI: 10.1109/CANDO-EPE51100.2020.9337801.
- ŠTEFKO, Róbert - ČONKA, Zsolt - KURIMSKÝ, Juraj - KOLCUN, Michal: Problems of protection of industrial networks with a high share of renewable energy sources. In: IEEE 3rd International Conference AND workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO EPE 2020), Nov. 18-19, 2020, Budapest, Hungary. DOI: 10.1109/CANDO-EPE51100.2020.9337771.
- TAILOR, Rikin - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal - BEŇA, Ľubomír: Electric Energy Flow Algorithm for Household in Smart Street Development. In: IEEE 3rd International

Conference AND workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO EPE 2020), Nov. 18-19, 2020, Budapest, Hungary. DOI: 10.1109/CANDO-EPE51100.2020.9337804.

- ŠTEFKO, Róbert - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal: Case Study of Power Plants in the Slovak Republic and Construction of Microgrid and Smart Grid. In: Applied Sciences. 2021; 11(11):5252. doi: 10.3390/app11115252
- TAILOR, Rikin - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal - BEŇA, Ľubomír: Electrical Energy Flow Algorithm for Household, Street and Battery Charging in Smart Street Development. In: Energies. 2021; 14(13):3771. doi: 10.3390/en14133771
- MEDVEĎ, Dušan - KOLCUN, Michal - PAVLÍK, Marek - BEŇA, Ľubomír - MEŠTER, Marián: Analysis of prosumer behavior in the electrical network. In: Energies. 2021; 14(24):8212. doi: 10.3390/en14248212
- PÁL, Daniel - BEŇA, Ľubomír - OLIINYK, Maksym: The Impact Of Electric Vehicles On Smart Grid. In: Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 21, No. 1, 2021, 35–42, ISSN 1335-8243, DOI: 10.15546/aei-2021-0006
- KOHAN, Vladimír - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal - KARABINOŠ, Matej - HAVRAN, Peter - ŠTEFKO, Róbert - TAILOR, Rikin: Use of FACTS system to improve power system operation (damping oscilation and power flow control). In: IEEE 4th International Conference AND workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO EPE 2021), Nov. 17-18, 2021, Budapest, Hungary. pp 113-118, ISBN 978-1-6654-2023-5.
- PÁL, Daniel - BEŇA, Ľubomír - ČONKA, Zsolt: Optimization algorithms for calculation of selected network parameters. In: IEEE 4th International Conference AND workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO EPE 2021), Nov. 17-18, 2021, Budapest, Hungary. pp 167-172, ISBN 978-1-6654-2023-5.
- TAILOR, Rikin - BEŇA, Ľubomír - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal: Design of Management Systems for Smart Grid. In: 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE). 13-15 Sept. 2021. Rzeszow. DOI: 10.1109/WZEE54157.2021.9576919.
- OLIINYK, Maksym - DŽMURA, Jaroslav - KOLCUN, Michal - HUMENÍK, Jozef - KANÁLIK, Martin - PAVLÍK, Marek - PÁL, Daniel - MEDVEĎ, Dušan: Impact of electric vehicles and demand management systems on electrical distribution networks. In: Electrical Engineering. 2022, Vol. 104, Issue: 2, pp 667-680, DOI: 10.1007/s00202-021-01327-0.
- MEDVEĎ, Dušan - BEŇA, Ľubomír - KOLCUN, Michal - PAVLÍK, Marek: Influence of Impurities in Electrical Contacts on Increasing the Efficiency of Energy Transmission. In: Energies. 2022; 15(7):2339. Special Issue: Selected Issues of Electrical Engineering, Electronics and
- PÁL, Daniel - BEŇA, Ľubomír - KOLCUN, Michal - ČONKA, Zsolt: Optimization of Active Power Losses in Smart Grids Using Photovoltaic Power Plants. In: Energies. 2022; 15(3):739. Special Issue: Selected Issues of Electrical Engineering, Electronics and Mechatronics. (WZEE 2021). 13-15 Sept. 2021. Rzeszow. DOI: 10.3390/en15030739
- ČONKA, Zsolt - BEŇA, Ľubomír - ŠTEFKO, Róbert - PAVLÍK, Marek - HOLCSIK, Peter - PÁLFI, Judith: Wind Turbine Power Control According to EU Legislation. In: Energies. 2022; 15(22), 8614; Special Issue: Selected Issues of Electrical Engineering, Electronics and Mechatronics. (WZEE 2021). 13-15 Sept. 2021. Rzeszow. DOI: 10.3390/en15228614
- HOLCSIK, Peter - PÁLFI, Judith - ČONKA, Zsolt - BENCE, Kocsis István: Fault Point Location Method, Based on Harmonics Analysis of a Distribution System. In: Acta Polytechnica Hungarica. Volume 19, Issue 4, Pages 147 - 164. 2022. - ISSN 1785-8860. DOI: 10.12700/APH.19.4.2022.4.8.
- KOHAN, Vladimír - KOLCUN, Michal - ČONKA, Zsolt - HAVRAN, Peter - KARABINOŠ, Matej - TAILOR, Rikin Jitendrakumar - ŠTEFKO, Róbert: Improving the Operation of Power System Control During Disturbances Using FACTS Controllers. In: 22nd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). - Ostrava: VSB, 08-10 June 2022, Kouty nad Desnou, Czech Republic, P. 1-5. ISBN 978-1-6654-1057-1. DOI: 10.1109/EPE54603.2022.9814108.
- TAILOR, Rikin - ČONKA, Zsolt: Electric Vehicle Charging Management System in the Residential Streets for Individual Houses Using a Smart Controller in a Present Grid. In: Proceedings of the 11th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering - ELEKTROENERGETIKA 2022. Košice: TU, 2022 (12-14 September), p. 277-282, ISBN 978-805534104-0.

- PAVLÍK, Marek - BEŇA, Ľubomír - MEDVEĎ, Dušan - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal: Analysis and Evaluation of Photovoltaic Cell Defects and Their Impact on Electricity Generation. In: *Energies*. 2023; 16(6):2576. Special Issue: Selected Issues of Electrical Engineering, Electronics and Mechatronics. (WZEE 2021). 13-15 Sept. 2021. Rzeszow. DOI: 10.3390/en16062576.
- MEDVEĎ, Dušan - BEŇA, Ľubomír - OLIIYK, Maksym - DŽMURA, Jaroslav - MAZUR, Damian - MARTINKO, Dávid: Assessing the Effects of Smart Parking Infrastructure on the Electrical Power System. In: *Energies*. 2023; 16(14):5343. Special Issue: Selected Issues of Electrical Engineering, Electronics and Mechatronics. (WZEE 2021). 13-15 Sept. 2021. Rzeszow. DOI: 10.3390/en16145343.
- PAVLÍK, Marek - BEREŠ, Matej - KOVÁČ, Dobroslav - VINCE, Tibor - KOVÁČOVÁ, Irena - MOLNÁR, Ján: Efficiency Optimization in Multi-Branch Converters through Dynamic Control. In: *Sustainability*. 2023; 15(22):16032. DOI: 10.3390/su152216032.
- KIRÁLY, Jozef - MEDVEĎ, Dušan: Electromobility in smart grids - simulation of V2G charging influence on grids. In: *Przeglad Elektrotechniczny*. Vol. 99, No. 4 (2023), pp. 237-240. ISSN 0033-2097. doi: 10.15199/48.2023.04.41.
- MEDVEĎ, Dušan - BEŇA, Ľubomír - JITENDRAKUMAR TAILOR, Rikin: Energy Storage System Utilization, in a Distribution Power System. In: *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 20, No. 11, 2023, pp. 97-114. ISSN 1785-8860. doi: 10.12700/APH.20.11.2023.11.7.
- MARTINKO, Dávid - MEDVEĎ, Dušan - KOLCUN, Michal - MAZUR, Damian: Planning of the Optimal Performance of Household Photovoltaics and Battery Storage within Consideration of Investment Return. In: *Przeglad Elektrotechniczny*. Vol. 100, No. 1 (2024), pp. 105-111. ISSN 0033-2097. DOI: 10.15199/48.2024.01.22.
- ŠTEFKO, Róbert - ČONKA, Zsolt - KOLCUN, Michal - JURÁK, Viktor - PÁLFI, Judith: Communication research of protective relays for microgrids and active distribution networks. In: *Przeglad Elektrotechniczny*. Vol. 99, No. 7 (2023), pp. 232-236. ISSN 0033-2097. doi: 10.15199/48.2023.07.43.
- MARTINKO, Dávid - MEDVEĎ, Dušan - KOLCUN, Michal: Predicted Impact of Future Penetration Levels of Domestic PV and Battery Sizes on Low-voltage Grid Consumption Balances. In: 23rd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Brno: VUT, 24-26 May 2023, Brno, Czech Republic, P. 1-6. ISBN 979-8-3503-3593-4. DOI: 10.1109/EPE58302.2023.10149226.
- KIRÁLY, Jozef - MEDVEĎ, Dušan - KOLCUN, Michal - PAVLÍK, Marek: Simulation of EV operation in "Vehicle 2 grid" charging mode. In: 23rd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Brno: VUT, 24-26 May 2023, Brno, Czech Republic, P. 1-5. ISBN 979-8-3503-3593-4. DOI: 10.1109/EPE58302.2023.10149305.
- MARGITA, František - BEŇA, Ľubomír - MALSKA, Wiesława - PIJARSKI, Pawel: Possibilities of Increasing the Ampacity of Overhead Lines Using HTLS Conductors in the Electric Power System of the Slovak Republic. In: *Applied sciences*. Bazilej: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024. ISSN 2076-3417. DOI: ... (v tlači).
- MARGITA, František - BEŇA, Ľubomír: Stanovenie ampacity vonkajších vedení v podmienkach elektrizačnej sústavy Slovenskej republiky. In: *Elektroenergetika*. Roč. 17, č. 1 (2024), s. 23-26. ISSN 1337-6756.
- BEŇA, Ľubomír - JITENDRAKUMAR TAILOR, Rikin - MEDVEĎ, Dušan - MAZUR, Damian: Electric vehicle charging management system in the industrial zone. In: *Archives of Electrical Engineering*, 2024, vol. 73, No 2, pp. 433-450, DOI: 10.24425/aee.2024.149925.
- PAVLÍK, Marek - BEREŠ, Matej - BEŇA, Ľubomír: The influence of various commonly used building materials on the shielding effectiveness, reflection and absorption of the electromagnetic wave. In: *Applied sciences*. Bazilej: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 14, No. 6 (2024), p. 1-18. ISSN 2076-3417. DOI: 10.3390/app14062521.
- MEDVEĎ, Dušan - KOLCUN, Michal - KIRÁLY, Jozef - MARGITA, František - HYSENI, Ardian - MAZUR, Damian: Analysis of electric vehicle charging process. In: 24rd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Ostrava: VSB, 15-16 May 2024, Kouty nad Desnou, Czech Republic, P. 1-6. ISBN 979-835034877-4. DOI: 10.1109/EPE61521.2024.10559521.
- MARGITA, František - BEŇA, Ľubomír - PIJARSKI, Michal: Calculation of the ampacity of overhead power lines under the conditions of the electric power system of the Slovak Republic. In: 24rd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Ostrava: VSB, 15-16 May 2024, Kouty nad Desnou, Czech Republic, P. 285-289. ISBN 979-

Uplatnenie výsledkov projektu

- Výsledky projektu boli prezentované v množstve vedeckých článkov, publikovaných v renomovaných domácich aj zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science a SCOPUS. Publikované práce zahŕňali technické analýzy, ekonomické hodnotenia, optimalizačné metódy a nové technológie.
- Projekt prispel k vzdelávaniu a rozvoju študentov, ktorí sa podieľali na výskume prostredníctvom bakalárskych, diplomových a dizertačných prác. Študenti získali praktické skúsenosti a cenné poznatky, ktoré uplatnili vo svojich prácach a následne v praxi. Úspešne bolo obhájených množstvo bakalárskych a diplomových prác, ktoré sa zaoberali aktuálnymi problémami v oblasti elektroenergetiky a prispeli k riešeniu praktických výziev.
- Výsledky projektu boli využité pri návrhu a implementácii nových technológií a inovácií v oblasti riadenia a prevádzky elektrizačnej sústavy, vrátane pokročilých monitorovacích systémov (WAMS), optimalizačných algoritmov a inteligentných riadiacich systémov.
- Ekonomické analýzy a hodnotenia, ktoré boli súčasťou projektu, môžu poskytnúť cenné údaje pre investorov a prevádzkovateľov elektrizačnej sústavy, pre efektívnejšie plánovanie a implementáciu OZE.
- Analýzy návratnosti investícií do fotovoltických systémov a batériových úložísk poskytli odporúčania pre ich intenzívnejšie implementovanie.
- Výsledky projektu boli prezentované na medzinárodných vedeckých konferenciách, kde získali pozitívnu odozvu a podnietili ďalšiu medzinárodnú spoluprácu v oblasti elektroenergetiky.
- Spolupráca s medzinárodnými partnermi a výskumnými inštitúciami prispela k výmene poznatkov a skúseností.
- Výsledky výskumu boli publikované v niekoľkých monografiách a odborných knihách, ktoré slúžia ako vzdelávacie materiály pre študentov a odbornú verejnosť.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Predkladaný projekt mal počas svojho trvania 07/2020-06/2024 niekoľko vytýčených cieľov, ktoré riešiteľský tím splnil. Počas uvedeného obdobia sa podarilo identifikovať vhodné obnoviteľné zdroje energie pre ES SR, analyzovať ich charakteristiky a vstupno/výstupné parametre. Vytvorili sme simulačné počítačové modely, ktoré testovali integráciu OZE v rôznych častiach ES SR. Taktiež sme analyzovali nepriaznivé vplyvy na stabilitu prevádzky ES SR a navrhli sme opatrenia na ich elimináciu. Modelovali sme scenáre prevádzky ES SR pri kritických tokoch výkonov, ktoré boli spôsobené prevádzkou OZE. Vytvorili sme viaceré simulačné počítačové modely, ktoré testovali integráciu OZE v rôznych častiach ES SR. Testovali sme rôzne typy energetických úložísk a ich efektívnosť pri riadení tokov výkonov. V neposlednom rade sme analyzovali ekonomické aspekty integrácie OZE do ES SR, vrátane návratnosti investícií.

Uvedené ciele boli naplnené, pričom počas riešenia projektu, riešiteľský tím diseminoval výsledky v renomovaných periodikách, ako aj na rôznych konferenciách alebo odborných podujatiach pre odbornú alebo laickú verejnosť. Podobne, pri riešení čiastkových cieľov projektu boli do riešenia zapojení aj diplomanti, resp. študenti doktorandského štúdia, ktorých záverečné práce súviseli s problematikou projektu. Aj takýmto spôsobom sa odovzdávali skúsenosti a vedomosti školiteľov (členov riešiteľského tímu) mladším generáciám a možno aj budúcim kolegom alebo novým inovátorom, ktorí pretavia získané vedomosti a skúsenosti v praxi.

Zoznam výstupov (časopiseckých, konferenčných, knižných) sú uvedené v príslušných dielčích monitorovacích správach projektu. Na tomto mieste je však vhodné uviesť významné výsledky dosiahnuté v predkladanom projekte (za celé obdobie riešenia).

- Identifikovali sme a analyzovali vhodné obnoviteľné zdroje energie vrátane fotovoltických a veterných elektrární.
- Vyvinuli sme detailné počítačové modely ES SR, ktoré sme použili na simuláciu rôznych scenárov integrácie OZE.
- Simulovali sme prevádzku ES SR pri vysokých tokoch výkonov spôsobených OZE a identifikovali potenciálne destabilizujúce faktory.

- Vyvinuli sme modely pre optimálne riadenie tokov výkonov medzi úložiskami a ES. Testovali sme tieto modely v laboratórnych podmienkach a overili ich efektívnosť v praxi.
- Použitím metód SWOT a STEEP sme analyzovali ekonomickú efektívnosť nasadenia OZE do ES SR. Výsledky sme zverejnili v sérii odborných publikácií a prezentácií na medzinárodných konferenciách.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The presented project had several set goals during its duration from 07/2020 to 06/2024, which the project team successfully achieved. During this period, suitable renewable energy sources (RES) for the Slovak Republic's power system (ES SR) were identified, and their characteristics and input/output parameters were analyzed. We developed simulation computer models to test the integration of RES in various parts of the ES SR. Additionally, we analyzed adverse impacts on the stability of the ES SR's operation and proposed measures to eliminate them. We modeled scenarios of the ES SR's operation under critical power flow conditions caused by the operation of RES. Various simulation computer models were created to test the integration of RES in different parts of the ES SR. We tested various types of energy storage systems and their effectiveness in managing power flows. Finally, we analyzed the economic aspects of integrating RES into the ES SR, including the return on investment.

The stated goals were met, and during the project, the team disseminated results in renowned journals, as well as at various conferences and professional events for both professional and general audiences. Similarly, graduates and doctoral students, whose theses were related to the project's issues, were also involved in solving partial goals of the project. In this way, the experiences and knowledge of the supervisors (members of the project team) were passed on to younger generations, possibly future colleagues or new innovators who will apply the acquired knowledge and experience in practice.

The list of outputs (journal, conference, book) is provided in the respective partial monitoring reports of the project. Here, however, it is appropriate to mention the significant results achieved in the presented project (for the entire duration of the project):

- We identified and analyzed suitable renewable energy sources, including photovoltaic and wind power plants.
- Detailed computer models of the ES SR were developed and used to simulate various scenarios of RES integration.
- We simulated the operation of the ES SR under high power flows caused by RES and identified potential destabilizing factors.
- Models for optimal power flow management between storage systems and the ES were developed. These models were tested in laboratory conditions and their effectiveness verified in practice.
- Using SWOT and STEEP methods, we analyzed the economic efficiency of deploying RES into the ES SR. The results were published in a series of professional publications and presentations at international conferences.