

Róbert Štefko, Zsolt Čonka, Marek Bobček, Alžbeta Miháliková, Michal Kolcun

## Pôsobenie OZE na prevádzku elektrizačnej sústavy a návrh vytvorenia mikrosiete

Pôsobenie obnoviteľných zdrojov elektrickej energie na prevádzku sústavy sa už potvrdil, pričom jeho neustály nárast bude mať pri takomto trende v blízkej budúcnosti značný vplyv, pre ktorí budú potrebné zmeny. Z tohto dôvodu je potrebné pre každú uvažovanú oblasť zohľadňovať celkový mix lokálnych zdrojov elektrickej energie, pretože iba takto môžeme uvažovať s odľahčovaním prenosovej sústavy. Stále je otázkou či v budúcnosti je priaznivé, aby lokálne zdroje, ako fotovoltika fungovali v čisto ostrovnom režime ak sa nejedná o úplne ostrovné systémy, pre vzdialené mikrosiete, kde je značný problém so zavedením elektrickej energie. Bol vytvorený jednoduchý model v programe Matlab a Simulink, kde sa testovala prevádzka pre rôzne scenáre prevádzky lokálnej mikrosiete.

**Kľúčové slová:** obnoviteľne zdroje elektrickej energie, fotovoltika, elektromobilita, diesel generátor.

The impact of renewable electricity sources on the operation of the grid has already been confirmed, and its continued growth will have a significant impact soon with such a trend, for which changes will be needed. For this reason, it is necessary to consider the overall mix of local electricity sources for each area under consideration, as this is the only way to consider transmission system relief. It is still a question whether in the future it is favourable for local sources such as photovoltaics to operate in a pure island mode unless they are completely island systems, for remote microgrids where there is a considerable problem with the introduction of electricity. A simple model was created in Matlab and Simulink to test the operation for different scenarios of local microgrid operation. **(The impact of RES on the operation of the electricity system and the design of a microgrid)**

**Keywords:** renewable sources of electricity, photovoltaics, electromobility, diesel generator.

### I. ÚVOD

Medzi obnoviteľné zdroje elektrickej energie patria predovšetkým slnko, voda, vzduch a rôzne iné zdroje, ktoré sa dajú použiť ako náhrada, prípadne, ako pomocný zdroj pri výrobe elektrickej energie. U nás sa však väčšina elektrickej energie vyrába práve z jadrových a tepelných elektrární. Predstavuje alternatívu fosílnych palív, ktorých zdroje sa raz vyčerpajú. Problém fotovoltických elektrární je veľmi závislý na klimatických podmienkach, ktorých predikcia ešte nie je úplne najpresnejšia. Pre využitie vetra platia podobné princípy, ako pri fotovoltike s tým rozdielom, že veterné elektrárne sú stabilnejšie pre možnosti ich regulácie, ale ich vhodné umiestnenie je pre územie Slovenska nevyhovujúce, pretože všetky potenciálne miesta, kde by mohli byť umiestnené veterné elektrárne sú chránené územia z tohto dôvodu nemajú veľkú perspektívu pre uplatňovanie. Trend, ale v posledných rokoch prechádza do využitia veľkého množstva malých zdrojov, kde by sa práve takéto malé veterné turbíny mohli uplatniť. Jedny z prvých experimentálnych štúdií prebiehajú v Číne a Indii, kde uvažujú umiestňovať malé veterné turbíny na cesty, kde prebieha značná celodenná doprava. Zatiaľ, čo potenciál vody je na území Slovenska značne využívaný. Kde najväčšie využitie je na Vážskej kaskáde, vodnom diele Gabčíkovo, ktoré, avšak nemôže ísť na plný výkon a následne vodné nádrže Čierny Váh, Ružín a Domaša [1].

Pri riešení situácie v súvislosti s pripájaním (malých elektrární) k elektrickej sieti sú potrebné isté predpisy a normy, podľa ktorých sa treba riadiť. Pred pripojením k sieti musí každá malá elektrárňa spĺňať niektoré základné technické požiadavky. Medzi technické požiadavky patrí: frekvenčná odchýlka, odchýlka napätia, napäťová asymetria,

úroveň skratu, úroveň izolácie, ochrana proti poruchám a interferenciám a energetický faktor [1].

Podľa štatistik sa podiel globálnej spotreby primárnej energie každoročne zhoršuje, ale za posledné dva roky sa táto miera spotreby globálnej energie zlepšila, začala rásť. Podobne v prípade fosílnych palív sa rast spotreby zvýšil za posledných desať rokov iba o 16,90 %. V prípade uhlia taktiež klesá miera spotreby. Tempo rastu ostatných obnoviteľných zdrojov energie bolo až 16,64 %, čo bolo asi 11-krát vyššie ako ročné tempo rastu spotreby fosílnych energií. Štruktúra rozvoja obnoviteľnej energie, ako je veterná, slnečná, biomasa, geotermálna, vodíková energia a ďalšie zdroje, sa líši v závislosti od krajiny [1].

### II. ROZMIESTNENIE OZE NA ÚZEMÍ SLOVENSKEJ REPUBLIKY

S cieľom znížiť straty pri prenose elektriny a tým aj znížiť náklady, sa elektrina začína vyrábať na mieste alebo v blízkosti miesta spotreby daného zdroja. Takéto zdroje nazývame distribuované zdroje alebo decentralizované zdroje energie (DZE) [1].

Pre potenciálne lokality pre umiestnenie ďalších solárnych systémov vychádza najvhodnejšie južná časť Slovenska, kde je priemerné ročné žiarenie pri optimálnom uhle nad 1500 kWh/m<sup>2</sup> za rok. Rovnako pozitívom pre túto lokalitu je rozsiahla Podunajská nížina, ktorá na rozdiel od pohorí v severných oblastiach nemá vplyv na skrátenie času slnečného žiarenia. Čo zvyhodňuje lokalitu na rozmiestnenie solárnych systémov pre oblasti od Komárna po Nitru. Potenciálne miesto sa navyše nachádza v blízkosti Popradu, čo je hornatá oblasť so zvýšeným výskytom búrok a oblačnosti. Napriek tomu údolie ponúka najvhodnejšiu polohu spomedzi všetkých horských oblastí pre severnú časť Slovenska, pričom priemerné ročné žiarenie pri optimálnom uhle je približne 1400 kWh/m<sup>2</sup> za rok.

Najmenej perspektívne miesto na rozmiestnenie solárnych systémov je na severe Slovenska v okolí Žiliny, Martina a Sabinova. Z Obr. 1 je možné vidieť výrazne vyšší počet DZE na strednom Slovensku, čo potvrdzuje aj prehľad v Tab. 1 [2].

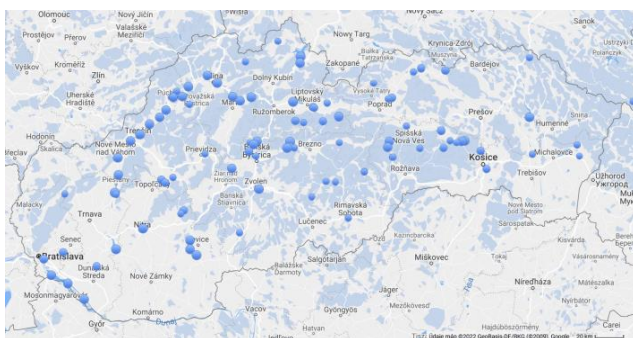


Obr. 1 Rozmiestnenie fotovoltických elektrární na území Slovenska [2]

Tab. 1 Rozdelenie elektrární na Slovensku [2][3]

Elektrárne	Rozdelenie územia Slovenskej republiky		
	Západné Slovensko	Stredné Slovensko	Východné Slovensko
Fotovoltika	104.28 MW	240.16 MW	133.9 MW
Vodné	1166.2 MW	1289.98 MW	111.19 MW
Biomasa	43.67 MW	56.78 MW	52.39 MW
Bioplyn	44.41 MW	33.65 MW	24.82 MW
Veterné	3.14 MW	0 MW	0 MW
Atómové	1950 MW	0 MW	0 MW
Ostatné OZE	4.66 MW	0 MW	0 MW

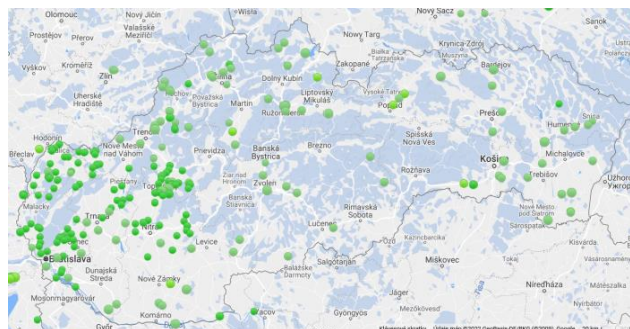
Slovensko má stále potenciál na budovanie ďalších vodných elektrární, napríklad na riekach Laborec, Ondava alebo Topľa, ako zobrazuje Obr. 2. Porovnanie rovnomerného rozloženia energetických zdrojov v Tab. 1 zobrazuje výrazný nedostatok zdrojov na východnom Slovensku. To povedie k problematickému návrhu mikrosietí z dôvodu oveľa menšieho počtu elektrární a tým aj väčších počiatkových investícií.



Obr. 2 Rozmiestnenie vodných elektrární na území Slovenska [2]

Obnoviteľné zdroje energie, ako je biomasa a bioplyn alebo biopalivá, zaznamenali výrazný nárast najmä na západnom Slovensku, kde sa nachádza značný počet malých zdrojov, pričom rozloženie výkonu týchto zdrojov je na Slovensku rovnomerné, ako ukazuje Obr. 3. S podporou rozvoja týchto technológií by však v budúcnosti mohol

byť výkon z týchto zdrojov vyšší. Z tohto dôvodu je potrebný ďalší rozvoj aj v tejto oblasti. Primárnou nevýhodou tohto typu obnoviteľného zdroja energie pri efektívnom využívaní biomasy je potreba rozsiahlej plochy na pestovanie vhodného paliva, pričom bioplyn si vyžaduje stály prísun biologického odpadu, ktorí zabezpečujú najmä živočíšne družstvá, ktorých výskyt na Slovensku v posledných rokoch klesá.



Obr. 3 Rozmiestnenie bioplynových elektrární a elektrární na biomasu na území Slovenska [2]

### III. VÝVOJ OBNOVITELNÝCH ZDROJOV ENERGIE V EURÓPSKEJ ÚNII

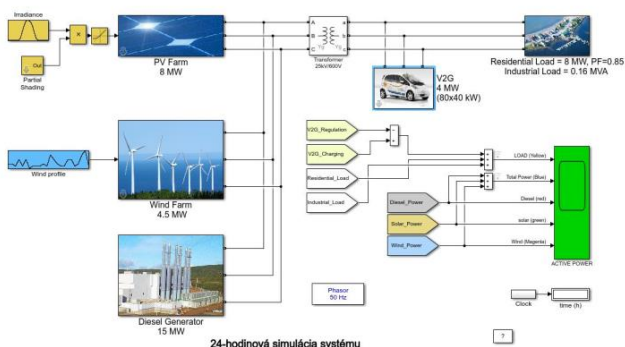
Podľa rôznych správ sa očakáva, že výroba energie z obnoviteľných zdrojov v EÚ sa v roku 2030 zvýši o 50 % v porovnaní so súčasným scenárom. Spolu s energetickou účinnosťou rastie aj dopyt po elektrine. Zo súčasného pohľadu na scenár sa dá očakávať, že EÚ potrebuje ďalšie úsilie na zabezpečenie svojho cieľa v oblasti obnoviteľnej energie [4].

Viac ako polovica (56,4 %) čistej elektrickej energie vyrobenej v EÚ v roku 2019 pochádzala z nehorľavých primárnych zdrojov. Menej ako polovica (43,6 %) pochádza z horľavých palív, (ako je zemný plyn, uhlie a ropa). Štvrtina (26,2 %) pochádza z jadrových elektrární. Spomedzi obnoviteľných zdrojov energie bol najvyšší podiel čistej výroby elektriny v roku 2019 z veterných turbín (13,0 %) za ktorými nasledovali vodné elektrárne (12,2 %) a fotovoltické elektrárne (4,5 %). Relatívny význam obnoviteľných zdrojov energie vo vzťahu k čistej výrobe elektriny v EÚ vzrástol v rokoch 2009 až 2019 z 18,3 % na 30,0 %, pričom došlo k relatívne veľkému poklesu významu horľavých palív z 52,5 % na 45,6 % a tiež k zníženiu podiel elektriny vyrobenej z jadrových elektrární z 29,1 % na 26,2 %. Spomedzi obnoviteľných zdrojov energie sa podiel čistej elektrickej energie vyrobenej zo slnka a vetra výrazne zvýšil: z 0,5 % v roku 2009 na 4,5 % v roku 2019 v prípade slnečnej energie a zo 4,5 % v roku 2009 na 13 % v roku 2019 v prípade veterných turbín [5].

### IV. OVERENIE NÁVRHU OZE V MIKROSIEŤI V SIMULAČNOM PROGRAME MATLAB & SIMULINK

Mikrosieťový systém môže fungovať súbežne s distribučnou sieťou ako samostatný energetický ostrov (režim vypnutia siete) alebo v prechode medzi hlavným režimom pripojeným k sieti a režimom prevádzky ostrova (režim zapnutia / vypnutia siete). Integrácia distribuovaných zdrojov je zvyčajne prepojená s dopytom pre lokálne zaťaženie a distribučnou sieťou prostredníctvom elektrických rozhraní. Rôzne použité topológie elektrických rozhraní sú potrebné na reguláciu toku energie pre každý distribuovaný zdroj v rámci mikrosieťového systému. Cieľom riadiaceho strediska mikrosiete je vytvoriť vhodné ovládacie impulzy pre každý konvertor porovnaním

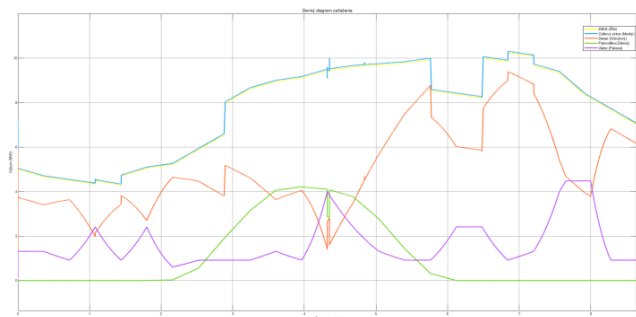
referenčných hodnôt výkonu, ktoré poskytuje stredisko na riadenie mikrosiete, s nameranými hodnotami výkonu [6].



Obr. 4 Schéma návrhu energetického mixu pre ostrovnú prevádzku [1]

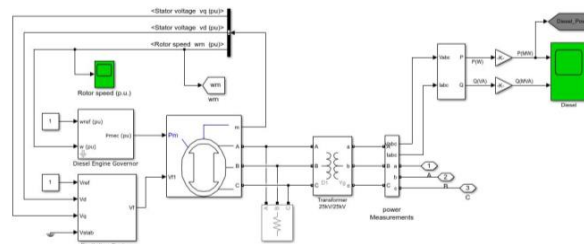
Na Obr. 4 vidno schému návrhu energetického mixu pre ostrovnú prevádzku obsahuje obytnú a priemyselnú záťaž, čo je v podstate obec Kurima, ďalej sa tam nachádzajú elektromobily, ktoré sa pomaly stávajú súčasťou nášho života a značne ovplyvňujú prevádzku elektrizačnej sústavy. Následne sa v schéme nachádza fotovoltaika s výkonom 8 MW, veterná farma s výkonom 4,5 MW, elektromobily, ktorých tam je 80 kusov a diesel generátor o výkone 15 MW, ktorý bude slúžiť, ako pomocný zdroj pri týchto obnoviteľných zdrojoch.

Na Obr. 5 je zobrazený celkový graf zaťaženia jednotlivých prvkov. Je tam zobrazená aj: fotovoltaika fialovou farbou, veterná farma tyrkysovou farbou, diesel generátor zelenou farbou, záťaž obce Kurima je modrou farbou a celková výroba distribuovaných zdrojov je červenou farbou.



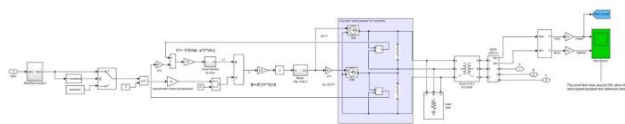
Obr. 5 Model denného diagramu zaťaženia pre obec Kurima aj s jednotlivými krivkami uvažovaných OZE [1]

Model diesel generátora bol zostavený z dostupných modulov z knižnice Simscape. Dieselový generátor (tiež známy ako naftový agregát) je kombináciou naftového motora s elektrickým generátorom v spojení so základným riadiacim systémom a ďalšími prvkami na výrobu elektrickej energie. Náhradná schéma diesel generátora je na Obr. 6.



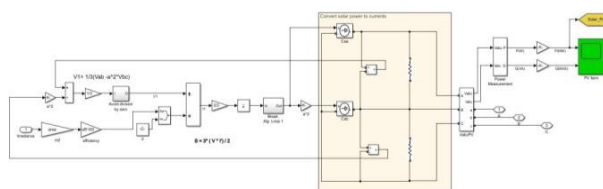
Obr. 6 Schéma modelu diesel generátora [1]

Malé veterné elektrárne nachádzajú uplatnenie hlavne v lokálnych aplikáciách, napríklad za účelom zaistenia energetickej sebestačnosti v obytných domoch, kde predstavujú alternatívny zdroj energie alebo pri zásobovaní elektrinou v miestach bez pripojenia na verejnú elektrickú sieť napríklad záhradkárske oblasti a podobné. Malé veterné turbíny sa skladajú z lopatiek rotora, generátora alebo alternátora, veže, kabeláže a z prvkov vyvažujúc ich systém (batérie, meniče, regulátory, ističe). Taktiež v prípade malých veterných elektrární je najčastejšie používaným princípom použitie rotora s horizontálnou osou otáčania. Na rozdiel od veľkých veterných elektrární je však ich konštrukcia podstatne jednoduchšia a objavuje sa tu širšie spektrum používaných riešení zjednodušený model vetranej farmy generuje energiu pomocou lineárneho vzťahu medzi nominálnou rýchlosťou vetra a nominálnym výkonom. Keď je rýchlosť vetra medzi nominálnou rýchlosťou a maximálnou hodnotou, výkon je pevne stanovený na 1 p.j.. V simulácii sa uvažovalo s menovitým výkonom 4,5 MW pri nominálnej rýchlosti vetra 13,5 m/s a maximálnej rýchlosti vetra 25 m/s, ako aj zobrazuje Obr. 7.



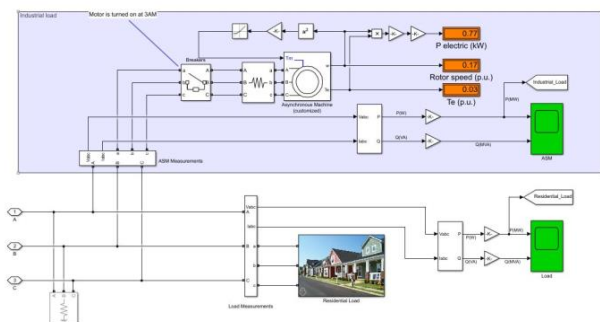
Obr. 7 Model malej vetranej elektrárne [1]

Fotovoltaická elektrárň niekedy tiež označovaná, ako solárna elektrárň je súborom článkov na výrobu elektrickej energie za využitia fotovoltaického javu. Základným stavebným prvkom fotovoltaickej elektrárne sú fotovoltaické panely, striedače (majú za úlohu premeniť jednosmerný prúd zo solárnych panelov na striedavý. Ako je znázornené na Obr. 8 záťaž fotovoltaiky má podstatný vplyv na celkovú záťaž distribučnej sústavy tak ako veterná farma. Nevýhodou fotovoltaiky je, že má kolísavý prínos elektrickej energie do distribučnej sústavy a všetka výroba závisí hlavne od klimatických podmienok.



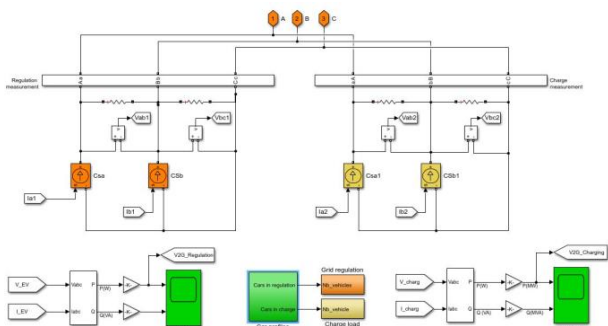
Obr. 8 Model fotovoltaickej elektrárne [1]

Ako je vidieť na Obr. 5 obec ako hlavná časť návrhu ma najväčší podiel na zaťažení a celkovo ma aj najväčší vplyv na distribučnú sieť. Obr. 9 je schéma obce Kurima, ktorá v sebe zahŕňa aj priemyselnú záťaž a záťaž obce.



Obr. 9 Schéma modelu zaťaženia obce Kurima [1]

V prípade problematiky elektro mobility pri dobíjaní batérií používajú elektrickú energiu z distribučnej siete, a preto je vidno aj nárast jalového výkonu. Nabíjačky elektromobilov sú náročné na výkon a potrebujú značný výkon zo siete hlavne pre rýchlo nabíjačky. Z nulového odberu ide vo veľmi krátkej chvíli do maximálneho odberu, čo zákonite zmení respektíve ovplyvní parametre napätia v sieti. Práve inteligentné siete sú však pre optimálnu prevádzku energetického systému v súvislosti s masovým nasadzovaním elektromobilov potrebné. Umožnia nabíjať batérie v čase, keď je v sieti prebytok energie a je aj lacnejšia (napr. v noci) a naopak, v čase špičky dokážu prebytočnú energiu z batérií predávať za vyššiu cenu späť do siete.



Obr. 10 Schéma modelu elektromobilu [1]

## V. ZÁVER

Cieľom príspevku bolo poukázať na problematiku obnoviteľných zdrojov energie na prevádzku elektrizačnej sústavy. Práca sa zameriava na popis jednotlivých typov obnoviteľných zdrojov elektrickej energie, ako je Slnko, čiže fotovoltika, veterné elektrárne, vodné elektrárne, biomasa a bioplyn. V prvej časti bola vykonaná analýza jednotlivých typov obnoviteľných zdrojov elektrickej energie a ich prínos a vplyv v elektrizačnej sústave. V druhej časti bol popísaný návrh energetického mixu pre ostrovnú prevádzku, ktorý bol vytvorený v programe Matlab & Simulink. V poslednej časti sa nachádzajú výsledky a popis simulácie návrhu energetického mixu, ktorý sa robil pre obec Kurima.

Simulácie v programe Matlab & Simulink jasne poukázali, aký vplyv majú obnoviteľné zdroje energie na záťaž v distribučnej sieti. Z uvedeného je možné konštatovať, že z hľadiska fotovoltických zdrojov a veterných zdrojov v distribučných sieťach nízkeho napätia je využívanie sieťovej podpory riadením ich výkonu vhodnou

alternatívou pre reguláciu napätia a zvyšuje využiteľnosť výkonového potenciálu zdroja.

Odporúčanie pre prax je nasledovné:

- Pri obnoviteľných zdrojov elektrickej energie zapojených do elektrizačnej sústavy treba počítať s nestálosťou a výkyvom dodávanej elektrickej energie
- Je potrebné mať batérie, kde sa bude ukladať vyrobená energia (alebo adekvátna náhrada napr. vodík)
- Vyriešiť výkyv výkonov a záťaže v sieti
- Pri návrhu ostrovnej prevádzky je nutné používať inteligentné systémy.

## POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila agentúra na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0576 a APVV-21-0312 a Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied (VEGA) v rámci projektu č. 1/0757/21.

## LITERATÚRA

- [1] A. Miháliková: Pôsobenie OZE na prevádzku elektrizačnej sústavy a návrh vytvorenia mikrosiete: Diplomová práca. Košice: TUKE, 2022. s. 68.
- [2] R. Štefko, et al.: Case study of the design of renewable energy sources for microgrid systems. In: Proceedings of the 11th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, ELEKTROENERGETIKA 2022, Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2019, s. 235-240. ISBN: 978-8-0553-4104-0.
- [3] Ministry of Economy of the Slovak Republic: Fotovoltika, In: enviroportal.sk. [online], 2022, [cit. 2022-04-05], Dostupné na internete: <<https://www.enviroportal.sk/fotovoltika>>.
- [4] S. Paul, T. Dey, P. Saha, S. Dey and R. Sen: Review on the development scenario of renewable energy in different country. In: 2021 Innovations in Energy Management and Renewable Resources, Kolkata, India, 2021, s. 1-2.
- [5] Eurostat Statistics Explained: Electricity production, consumption, and market overview. [online], [cit.2023-10-26]. Dostupné na internete: <[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_production,\\_consumption\\_and\\_market\\_overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview)>.
- [6] M. Elsieid, et al.: Analysis, Modeling, and Control of an AC Microgrid System Based on Green Energy. In: International conference on Renewable energies and Power Quality (ICREPQ'14), Španielsko, 2014, s. 1-6.

## ADRESY AUTOROV

Róbert Štefko, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [robert.stefko@tuke.sk](mailto:robert.stefko@tuke.sk)

Zsolt Čonka, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [zsolt.conka@tuke.sk](mailto:zsolt.conka@tuke.sk)

Marek Bobček, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [marek.bobcek@tuke.sk](mailto:marek.bobcek@tuke.sk)

Alžbeta Miháliková, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [alzbeta.mihalikova@student.tuke.sk](mailto:alzbeta.mihalikova@student.tuke.sk)

Michal Kolcun, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [michal.kolcun@tuke.sk](mailto:michal.kolcun@tuke.sk)