

10. 11. 2022

Modra - Harmónia



# INTELIGENTNÉ A BEZPEČNÉ INFORMAČNO KOMUNIKAČNÉ TECHNOLÓGIE A SYSTÉMY



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA

Tento zborník príspevkov a konferencia boli podporované Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií.



## **INTELIGENTNÉ A BEZPEČNÉ INFORMAČNO KOMUNIKAČNÉ TECHNOLÓGIE A SYSTÉMY**

**Editor:** Miriam Szabová, Milan Perný, Zoltán Kováč

**Recenzenti:** Vladimír Šály, Vladimír Nečas, Gregor Rozinaj, Attila Kment, František Janíček, Michal Riess, Peter Chochol, Roman Behul, Miroslav Pánik

Všetky uverejnené príspevky boli recenzované.

© 2022 Slovenská technická univerzita v Bratislave

Prvé vydanie

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU.

Adresa vydavateľa:

Vydavateľstvo SPEKTRUM STU

Vazovova 5, 812 43 Bratislava

**ISBN 978-80-227-5230-5**

**Konferencia a zborník boli podporené Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.**

**This volume of papers and conference was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-20-0157 for project „Efficient interconnection of urban energy systems using advanced open Technologies“.**

# INTELIGENTNÉ A BEZPEČNÉ INFORMAČNO KOMUNIKAČNÉ TECHNOLOGIE A SYSTÉMY

**Termín konania** 10. 11. 2022

**Miesto konania** Modra – Harmónia

**Záštita konferencie:** Slovenská technická univerzita v Bratislave  
**Garanti konferencie:** Ing. Roman Behul  
prof. Ing. Anton Beláň PhD.  
prof. Ing. František Janíček, PhD.  
prof. Ing. Ivan Kotuliak, PhD.  
Ing. Rastislav Krbaťa, PhD., MBA  
prof. Ing. Ján Murgaš, PhD.  
Dr. Ing. František Simančík, PhD.

## Programový výbor konferencie:

prof. Ing. Anton Beláň, PhD.  
Ing. Štefan Čerba, PhD.  
Ing. Milan Jarás, PhD.  
Ing. Rastislav Krbaťa, PhD., MBA  
Ing. Kristián Košťál, PhD.  
prof. Ing. Ján Murgaš, PhD.  
prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD.  
doc. Dr. techn. Ing. Michal Ries  
Dr. Ing. František Simančík, PhD.  
doc. Ing. Daniela Špirková, PhD.  
doc. Ing. Radoslav Vargic, PhD.

## Kontakt a informácie:

Ing. Milan Perný, PhD. (milan.perny@stuba.sk)

## Rokovacie jazyky:

SJ, AJ

## Termín zaslania príspevku: 12.10. 2022

na adresu milan.perny@stuba.sk

## Organizačný výbor:

Miriam Szabová  
Milan Perný  
Zoltán Kováč

Konferencia bola organizovaná s podporou v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

 **VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA**



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



## ZOZNAM PRÍSPEVKOV

### INTELIGENTNÉ A BEZPEČNÉ INFORMAČNO KOMUNIKAČNÉ TECHNOLOGIE A SYSTÉMY

**Roman Behul, Jana Stadtruckerová, Peter Chochol, František Janíček**

1. PREHLÁD NAJNOVŠÍCH EURÓPSKÝCH POLITÍK V OBLASTI OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV ENERGIE ..... 8

**Ján Beňadik, János Kurcz**

2. ZMYSEL A VYUŽITEĽNOSŤ DÁT, KTORÉ VIEME ZÍSKAVAŤ Z PROSTREDIA MIKROGRIDU AKO PODKLAD PRE JEHO OPTIMÁLNE FUNGOVANIE Z TECHNICKÉHO A EKONOMICKÉHO HĽADISKA ..... 17

**Jozef Novotný, Jakub Slávik**

3. ŠTATISTICKÁ ANALÝZA SEKUNDOVÝCH ZMIEN VÝROBY FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE ..... 23

**Jakub Slávik, Igor Kalamen**

4. VPLYV DECENTRALIZOVANEJ VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE NA ELEKTRIZAČNÚ SÚSTAVU..... 31

**Dagmar Jarásová, Martin Holiš, Rastislav Krbaťa, Jakub Slávik, Michal Minárik**

5. MODELOVANIE A SIMULÁCIA MIKROGRIDOV V PODMIENKACH SLOVENSKA ..... 34

**Milan Jarás, János Kurcz, Ján Poničan, Marek Gebura, Jaroslav Longauer, František Simančík**

6. PREVÁDZKOVÁ ANALÝZA FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE A BATÉRIOVÉHO ÚLOŽISKA V RÁMCI SMART GRIDU ..... 37

**János Kurcz, Ján Poničan, Peter Tóth, Milan Jarás, Jaroslav Longauer, Marek Gebura, František Simančík**

7. VÝZNAM FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE S BATÉRIOVÝM ÚLOŽISKOM A PRVÉ VÝSLEDKY VÝSKUMU NA TAKOMTO SYSTÉME ..... 45

**Ján Poničan, Milan Jarás, János Kurcz, Marek Gebura, Jaroslav Longauer, František Simančík**

8. PREVÁDZKOVÁ ANALÝZA SIEŤOVEJ FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE V RÁMCI SMART GRIDU..... 50

**Štefan Čerba, Branislav Vrban, Jakub Lüley, Vendula Filová, Vladimír Nečas**

9. VPLYV SMART-GRID TECHNOLOGIÍ A MODERNEJ ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY NA BEZPEČNÚ PREVÁDZKU JADROVÝCH ELEKTRÁRNÍ ..... 55

**Jakub Lüley, Branislav Vrban, Štefan Čerba, Vendula Filová, Vladimír Nečas**

10. MALÉ MODULÁRNE REAKTORY PRE BUDÚCNOSŤ ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY ..... 59

**Branislav Vrban, Štefan Čerba, Jakub Lüley, Vendula Filová, Vladimír Nečas**

11. MOŽNOSTI SKLADOVANIA ELEKTRICKEJ ENERGIE PRE MALÉ MODULÁRNE REAKTORY ..... 65

**Ján Poničan, Vendula Filová, Matej Sadloň, Štefan Čerba, Branislav Vrban, Jakub Lüley, František Janíček, Vladimír Nečas**

12. IMPLEMENTÁCIA POŽIADAVIEK Z NARIADENIA EÚ 2016/631 NA PRIPÁJANIE ZDROJOV ELEKTRICKEJ ENERGIE V EÚ..... 73

**Ivan Sekaj, Martin Ernek, Filip Zúbek, Ivan Kenický**

13. NÁVRH NEURO-REGULÁTOROV FREKVENCIE V OSTROVNÝCH SYSTÉMOCH ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY ..... 80

**Slavomír Kajan, Ladislav Körösi, Peter Mácsik, Jarmila Pavlovičová**

14. MODELOVANIE DYNAMICKÝCH PROCESOV V MIKROGRIDOCH POMOCOU LSTM AND GRU REKURENTNÝCH NEURÓNOVÝCH SIETÍ ..... 85

**Marián Tárník, Martin Ernek, Tomáš Murgaš, Adrian Ilka, Martin Dodek, Eva Miklovičová**

15. IDENTIFIKÁCIA PARAMETROV ASYNCHRÓNNEHO MOTORA S VYUŽITÍM METÓD UMELEJ INTELIGENCIE..... 89

**Marián Tárník, Martin Ernek, Tomáš Murgaš, Adrian Ilka, Martin Dodek, Eva Miklovičová**

16. ANALÝZA ŠTRUKTÚRY SYSTÉMOVÉHO STABILIZÁTORA V SIMULAČNOM PROSTREDÍ PRE ZLEPŠENIE ČINNOSTI A ZLEPŠENIE TLMENIA OSCILÁCIÍ V ES SR ..... 94

**Marián Tárník, Martin Ernek, Tomáš Murgaš, Adrian Ilka, Martin Dodek, Eva Miklovičová**

17. ON ESTIMATION OF ACTIVE POWER FREQUENCY RESPONSE IN MICROGRIDS ..... 99

**Vladimír Kujan, Milan Perný, Dušan Gavora, Juraj Packa, Vladimír Šály, František Janíček**

18. VPLYV NEPÁRNYCH HARMONICKÝCH NA NN SIETĚ ..... 102

**Jozef Bendík, Matej Cenký, Anton Beláň, Boris Cintula, Žaneta Eleschová, Peter Janiga**

19. ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE ÚDAJOV Z FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE PRE POTREBY DIMENZOVARIA BATÉRIOVÝCH SYSTÉMOV ..... 105

**Jozef Bendík, Matej Cenký, Anton Beláň, Boris Cintula, Žaneta Eleschová, Peter Janiga**

20. DIMENZOVARIA BATÉRIOVÝCH SYSTÉMOV PRE POTREBY VYHLADENIA VÝKONOVÝCH FLUKTUÁCIÍ Z FOTOVOLTIKÝCH ELEKTRÁRNÍ ..... 110

**Dionýz Gašparovský**

21. POTREBA A SMEROVANIE VÝSKUMU ADAPTÍVNEHO VEREJNÉHO OSVETLENIA V KONCEPTE INTELIGENTNÝCH MIEST ..... 116

**Zoltán Kováč**

22. ÚVOD KONCEPTU ENERGETICKO-POTRAVINOVEJ SEBESTAČNOSTI PRE PROSUMER ALBERT..... 119

**Attila Kment, Marek Pípa, František Janíček**

23. AKTUÁLNY STAV REALIZÁCIE LOKÁLNEHO MIKROGRIDU ÚEAE ..... 127

**Mansi Bhatnagar, Divyanshu Singh, Vivek Dwivedi, Gregor Rozinaj**

24. SMART GRID LOAD PREDICTION METHODOLOGY BASED ON THE RECURRENT NEURAL NETWORK AND METAHEURISTIC ALGORITHM ..... 129

**Martin Medvecký, Radoslav Vargic, Juraj Londák**

25. ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOSTI VYUŽITIA ENERGIE V MIKROGRIDE PROSTREDNÍCTVOM INTELIGENTNÝCH TECHNOLOGÍÍ ..... 132

**Juraj Londák, Radoslav Vargic**

26. AN APROACH TO DEVICE IDENTIFICATION IN MICRO GRID ..... 136

**Nasim Bahar, Michal Ries, Kristián Košťál**

27. KEEPING TRADERS' PRIVACY IN BLOCKCHAIN-BASED ENERGY-SHARING SYSTEM ..... 139

**Abidullah Zarghoon, Michal Ries, Kristián Košťál**

28. USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR LOCAL ENERGY SHARING IN RURAL COMMUNITIES..... 141

**Daniela Špirková, Július Golej, Monika Zatrochová, Miroslav Pánik, Branislav Mišota, Ivan Katrenčík**

29. INOVATÍVNE RIEŠENIA - ENERGETICKY ÚSPORNÉ STREŠNÉ NADSTAVIBY ..... 144

**Július Golej, Branislav Mišota, Daniela Špirková, Monika Zatrochová, Ivan Katrenčík, Miroslav Pánik**

30. NARASTAJÚCI VÝZNAM FOTOVOLTICKÝCH SYSTÉMOV V AKTUÁLNE SA PREHLBUJÚCEJ ENERGETICKEJ KRÍZE ..... 148

**Ivan Katrenčík, Monika Zatrochová, Július Golej, Branislav Mišota, Miroslav Pánik**

31. VYHODNOTENIE INVESTÍCIE DO OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV V ČASE ENERGETICKEJ KRÍZY ..... 153

**ONLINE SEKCIA** (zahraniční výskumníci zapojení do projektu)

**Prof. Dr. Ir. Pavol Bauer, Phd.**

COMPARISON OF MICROGRIDS LAYOUTS

**Prof. dr. ir. Miro Zeman, PhD.**

LOCAL MICRO-ENERGY SYSTEM POWERED FROM RENEWABLES

# PREHĽAD NAJNOVŠÍCH EURÓPSKÝCH POLITÍK V OBLASTI OBNOVITELNÝCH ZDROJOV ENERGIE

*Roman Behul<sup>1</sup>, Jana Stadtruckerová<sup>1</sup>, Peter Chochoľ<sup>2</sup>, František Janíček<sup>3</sup>*

*1. Atos IT Solutions and Services, s.r.o.*

*2. SFÉRA, a.s.*

*3. Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*

*E-mail: roman.behul@atos.net*

## ÚVOD

Projekt INTELIGENTNÉ A BEZPEČNÉ INFORMAČNO KOMUNIKAČNÉ TECHNOLOGIE A SYSTÉMY-SMART GRID - sa realizuje v rámci 2. etapy Medzinárodného centra excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov(CE-2). Ide o projekt v rámci medzinárodnej vedecko-technickej spolupráce v oblasti energetiky a informačno-komunikačných systémov pri budovaní inteligentných sietí a decentralizovaných energetických sústav. Projekt realizujú priamo 4 partneri zo Slovenskej republiky so zapojením zahraničných expertov- Atos IT Solutions and Services, s.r.o. Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky STU, ÚMMS SAV a spoločnosť SFÉRA, a.s. Projekt sa realizuje v rámci financovania z Operačného programu Výskumná infraštruktúra a v súlade s Kartou projektu (schválenou Výskumnou agentúrou v SR) , ktorá definuje výskumné úlohy a výstupy pre partnerov projektu). Už v štádiu prípravy projekt sledoval dopyt na základe narastajúceho technologického potenciálu využitia alternatívnych zdrojov energií. Tento potenciál bol už v čase prípravy projektu CE-2 intenzívne podporovaný viacerými politikami programami Európskej únie v tejto oblasti a to hneď z viacerých hľadísk- prvotne možno z hľadiska zníženia nepriaznivých zdrojov na životné prostredie pri získavaní energií z klasických zdrojov, v poslednom období z prevládajúceho hľadiska energetickej nezávislosti a nutnej hospodárnosti a prijateľných cien energií , nutných doslova k prežitiu hospodárstva i domácností. Predmetom výskumu projektu a súčasne podporných politík i vynakladaných zdrojov EÚ sú decentralizované inteligentné siete (mikrogridy), ktoré ponúkajú jednu z možností riešenia transformácie energetiky a poskytujú nové príležitosti pre odberateľov, energetické spoločenstvá a komunity vyrábajúce energiu z obnoviteľných zdrojov energie. Mnohé vonkajšie podmienky pôvodne výhodných zdrojov energií, najmä ropy a plynu sa po 24.februári 2022 medzičasom zmenili, táto situácia výrazne vplýva hlavne na pôvodnú ekogickú motiváciu prechodu na alternatívne zdroje energií z pohľadu ochrany klímy, teraz tieto procesy nás priamo nútia hľadať v nefosílnych zdrojoch energií nielen zdrojovo nezávislé ale tiež ekonomicky prijateľné riešenia (už len preto, že ich nebud možné dotovať v rámci mixu z cenovo dostupných energetických zdrojov). To vytvára stále väčší tlak na hľadanie riešení rovnako vďaka informačným technológiám, ktoré prevezmú riadiace procesy získavania energií s technologickými možnosťami uskladnenia prebytočnej energie a zdigitalizujú maximum procesov, potrebných pre autonómne riadenie smart gridu a zabezpečenie jeho prepojitelnosť na už existujúcu energetickú sieť.

Z hľadiska využívania a podpory inštalácie obnoviteľných zdrojov energií Európska komisia 18.mája 2022 (reflektujúc aktuálnu medzinárodnú situáciu) predstavila stratégiu energetickej politiky s názvom REPower Plan- ako odpoveď na narušenie globálnych energetických trhov, spôsobených inváziou Ruska na Ukrajine, ktorý by na jednej strane sa mal vysporiadať so závislosťou EU na ruských fosílnych palivách, na druhej strane pokračovať v úsilí ako uchopiť zvládnutie klimatických kríz. Opatrenia v REPowerEU pláne môžu na tieto ambície odpovedať prostredníctvom úspor energií, diverzifikáciou zdrojov dodávok energií a akceleráciou rozvoja vo využívaní obnoviteľných zdrojov. Jednou z aktuálnych iniciatív je „European Solar Rooftop Initiative“, ktorá má „odomknúť“ potenciál solárnej energie na základe inštalácií na obytných a verejných budovách ako aj na budovách priemyselných parkov. Na základe tejto iniciatívy by členské štáty by mali podporovať, resp. využiť európske investície do týchto zdrojov spoločne s technológiami uskladňovania energií optimálne s využitím tepelných čerpadiel s predpokladanou návratnosťou týchto investícií kratšej ako 10 rokov. Článok má napomôcť definovať aktuálne miesto projektu v rámci týchto procesov a nasmerovať jeho



výstupy tak, aby boli realizovateľné pri nasadzovaní najnovších technológiách využiteľných v smart gride, ktoré projekt *experimentálne overuje v svojich laboratóriách a to v kontexte príležitostí využitia výstupov projektu na Slovensku ako aj za jeho hranicami. Veríme, že celý rad podporných európskych mechanizmov sa postupne aj na Slovensku premietne aj do podpory decentralizovaných zdrojov energií.*

Jedným z výstupov projektu majú byť aj riešenia, ako ekonomicky prevádzkovať smart grid a aké externé zdroje a podporu štátu bude takáto transformácia vyžadovať (resp. do akej miery bude optimálne mať zabezpečenú na Slovensku energiu z týchto zdrojov). Nasledujúca kapitola (článok) má byť sprievodcom, poukazujúcim na to, aké ciele si stanovila v oblasti alternatívnych zdrojov energií Európska únia, kde sa z tohto vývoja v ďalších krajinách EÚ môžeme poučiť a aké sú podnety, či stimuly, ktoré tento vývoj určujú v súčasnosti a budú určovať v blízkej budúcnosti.

## 1. Motivácia medzinárodných spoločenstiev a jednotlivých krajín k prechodu na nové zdroje energií - snaha o záchranu klímy, ekológia a ekonómia, medzinárodná situácia a ďalšie.... Európska únia ako významný faktor uskutočňovania týchto zmien

Obnoviteľné zdroje energií (slnečná energia, veterná energia, vodná, geotermálna, voda z oceánov biomasa a biopalivá sú alternatívou k fosílnym palivám. Pôvodne akcelerátorom pri zdokonaľovaní využitia týchto nefosílnych zdrojov bolo ekologické hľadisko, najmä zníženie skleníkových plynov CO<sup>2</sup>, ktoré produkujú najmä tepelné elektrárne na báze uhlia. Celosvetovo išlo k významným dohovory, napríklad Parížsky dohovor, kde sa konkrétne kroky signatárskych krajín mali odvíjať od opatrení, ktoré mali zastaviť a neskôr aj znížiť ohrozenia, vyplývajúce z globálneho otepľovania Zeme. Nemecko, ako najsilnejšia európska ekonomika v rámci EÚ, so silným ekonomickým a súčasne ekologickým potenciálom a podporou väčšiny obyvateľstva, početným ekologickým hnutiam a podpore zo strany politickej reprezentácie, na tejto vlne prijalo razantné opatrenia v rámci EÚ na podporu inštalácie alternatívnych zdrojov energií, ktoré mali aspoň zčasti nahradiť elektrinu vyrábanú v jadrových elektrárnach. Išlo najmä o rozhodnutie zatvoriť jadrové elektrárne v Nemecku po prírodnom nešťastí a následnej havárii jadrovej elektrárne v japonskej Fukušime). Často úsilie o zmenu paradigmy a politické rozhodnutia prebehli optimálne inštitucionálne i finančné možnosti prechodu z klasických energetických zdrojov a ich nahradením spomínanými zdrojmi alternatívnych energií. V súčasnom období Slovensko ako aj ostatné krajiny Európskej únie (a mnohé iné regióny sveta) čelia prudkému nárastu cien energií, plynu, elektrickej energie alebo ropy. Najviac na túto situáciu vplyva vojenský konflikt na území Ukrajiny a odvetnými opatreniami Ruskej federácie, od ktorých sú krajiny Európy stále neprimerane energeticky závislé. Preto aj smelé kroky vtedajšej nemeckej politickej reprezentácie obmedziť výrobu elektriny z jadra musia doznať značných korekcií, pokiaľ nedokážeme tento deficit, ktorý sa odzrkadľuje aj v prudkom náraste cien energií, nahradiť. Pôvodne stanovený ekologický motív pri preferencii alternatívnych zdrojov ako keby ustupoval do úzadia a riešenia aj v tejto oblasti boli vyvolané skôr ekonomickou nutnosťou znížiť náročnosť pri zabezpečení cenovo dostupných energií.

## 2. Prehľad EÚ legislatívy podporujúcu transformáciu energetiky v oblastiach obnoviteľných zdrojov energií - stimuly pre nasmerovanie výskumu a vývoja v krajinách EÚ

Vráťme sa k obdobiu pred vypuknutím energetickej krízy. Právne predpisy EÚ o podpore obnoviteľných zdrojov energií zaznamenali v posledných 15-tich rokoch významný vývoj. V roku 2008 stanovili lídri EÚ dosiahnuť 20 % podiel energie z obnoviteľných zdrojov na spotrebe energie v EÚ do roka 2020 (potom v roku 2009 bola prijatá Smernica o energii z obnoviteľných zdrojov- RED I, ktorú spomenieme nižšie). V roku 2018 bol dohodnutý cieľ dosiahnuť 32 % podiel energie z obnoviteľných zdrojov na spotrebe energie. Vzhľadom na nové ambície EÚ v oblasti klímy bola v júli 2021 zo strany Európskeho parlamentu navrhnutý ambicióznejší cieľ na 40 % podiel energie z obnoviteľných zdrojov do roku 2030 (rozpracovaný v Smernici o energii z obnoviteľných zdrojov- RED-2, tiež nižšie).

Základným dokumentom, z ktorého vychádza aj energetická politika Európskej únie, je Zmluva o fungovaní Európskej únie, kde v konsolidovanom znení z 7.6.2016 upravuje politiku EÚ v oblasti energetiky je to Hlava XXI, článok 194- s názvom "Ciele v oblasti energetiky", kde sa uvádza: "V rámci vytvorenia a fungovania vnútorného trhu a so zreteľom na potrebu zachovávať a zlepšovať životné prostredie, sleduje politika Európskej únie v oblasti energetiky a ducha solidarity medzi členskými štátmi tieto ciele.....":

- a) zabezpečovať fungovanie trhu v oblasti energetiky,
- b) zabezpečovať bezpečnosť dodávok energie v rámci Únie,
- c) presadzovať energetickú efektívnosť a úsporu a vývoj nových a obnoviteľných zdrojov energie,
- d) podporovať prepojenie energetických sietí.

## A. Európska legislatíva k energiám z obnoviteľných zdrojov

Pokiaľ ide o obnoviteľné zdroje energií, toto základné politické nasmerovanie bolo postupne rozpracované vo viacerých smerniciach:

### 1. Smernica o energii z obnoviteľných zdrojov (RED I): do roku 2020

Pôvodná smernica o energii z obnoviteľných zdrojov bola prijatá 23. apríla 2009 (smernica 2009/28/ES, ktorou sa zrušujú smernice 2001/77/ES a 2003/30/ES) a ustanovilo sa v nej, že do roku 2020 sa musí 20 % spotreby energie v EÚ pokryť z obnoviteľných zdrojov energie. Okrem toho mali všetky členské štáty povinnosť dosiahnuť 10 % podiel obnoviteľných zdrojov energie na dopravných palivách. V smernici sa tiež navrhli rozličné mechanizmy, ktoré by členské štáty mohli využiť na dosiahnutie svojich cieľov (ako systémy podpory, potvrdenia o pôvode, spoločné projekty a spolupráca medzi členskými štátmi a tretími krajinami), ako aj kritériá udržateľnosti pre biopalivá. Smernica potvrdila stanovené vnútroštátne ciele v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov pre každú krajinu do roku 2020, pričom sa zohľadnila ich východisková situácia a celkový potenciál v oblasti obnoviteľných zdrojov energie (od podielu obnoviteľných zdrojov na úrovni 10 % v prípade Malty do 49 % v prípade Švédska). Každý členský štát EÚ si v národnom pláne obnoviteľných zdrojov energie stanovil, ako plánuje splniť svoj cieľ a všeobecný plán svojej politiky obnoviteľných zdrojov energie. Pokrok v plnení vnútroštátnych cieľov sa meral každé dva roky, keď členské štáty EÚ uverejnili správy o pokroku v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov. Every two years, EU countries report on their progress towards the EU's 2020 renewable energy goals. Based on the national reports and on other available data, the European Commission produces an EU-wide report which gives an overview of renewable energy policy developments in EU countries.

### 2. Smernica o energii z obnoviteľných zdrojov (RED II): do roku 2030

V júli 2021 Komisia v rámci realizácie balíka opatrení týkajúcich sa Európskej zelenej dohody („Naším cieľom je urobiť z Európy prvý klimaticky neutrálny kontinent na svete“), navrhla zmenu smernice o energii z obnoviteľných zdrojov Návrh SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY, ktorou sa mení smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001, nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/1999 a smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 98/70/ES, pokiaľ ide o podporu energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorou sa zrušuje smernica Rady (EÚ) 2015/652, s cieľom zosúladiť ciele v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov, ktoré sú v nej stanovené, so svojimi novými ambíciami v oblasti klímy. Európska komisia navrhla zvýšiť záväzný cieľ podielu obnoviteľných zdrojov energie v energetickom mixe EÚ na 40 % do roku 2030. V súčasnosti sa rokuje o rámci politik v oblasti energetiky na obdobie po roku 2030.

Nariadenie Európskeho Parlamentu a Rady o zriadení Energetickej únie a opatrení v oblasti klímy. Vytvorenie energetickej únie je súčasťou desiatich politických priorít EK a toto nariadenie je dôležitým prvkom strategického rámca energetickej únie.

V decembri 2018 nadobudla účinnosť revidovaná Smernica o obnoviteľných zdrojoch energie- Smernica EÚ 2005/2001- Smernica Európskeho parlamentu a Rady z 11.decembra 2018 o podpore a využívaní energie z obnoviteľných zdrojov ako súčasť balíka „Čistá energia pre všetkých Európanov“-

„Clean energy for all Europeans Package“. Tento balík, ktorý bol prijatý v roku 2019, mal napomôcť dekarbonizovať energetický systém EÚ v zmysle cieľov európskeho "Green Dealu", ktorej cieľom je udržať EÚ v celosvetovom meradle boja proti globálnemu otepľovaniu a v oblasti obnoviteľných zdrojov energie a v širšom zmysle pomôcť EÚ splniť si svoje záväzky znižovania emisií podľa Parížskej dohody (pod organizáciou OSN v roku 2015) – „...udržanie nárastu globálnej priemernej teploty výrazne pod 2 °C nad predindustriálnymi úrovňami a snaha o obmedzenie teploty do 1,5 °C v porovnaní s predindustriálnymi teplotami, pričom sa uznáva, že takto by bolo možné znížiť riziká a dopady klimatických zmien“.

Bola revidovaná smernica je v platnosti od decembra 2018 a do júna 2021 sa mala stať vnútroštátnym právom v krajinách EÚ s účinnosťou od 1. júla 2021. Smernica stanovuje nový záväzný cieľ EÚ v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov na rok 2030, t. j. dosiahnuť aspoň 32 % konečnej spotreby energie, a obsahuje doložku umožňujúcu upraviť tento podiel do roku 2023 smerom nahor a zvýšený 14 % cieľ, pokiaľ ide o podiel obnoviteľných palív v doprave do roku 2030.

Členské štáty EÚ mali navrhnúť svoj národný energetický cieľ a stanovujú 10-ročné národné plány v oblasti energetiky a klímy počas programu Horizont 2030 a následne vypracujú správy o pokroku každé dva roky. Tieto plány posúdi Komisia, ktorá by mohla prijať opatrenia na úrovni EÚ s cieľom zabezpečiť ich súlad s celkovými cieľmi EÚ.

## B. Európska zelená dohoda

Komisia prijala 11. decembra 2019 oznámenie o Európskom ekologickom dohovore (COM(2019)0640) (Európska zelená dohoda). V tejto dohode sa stanovuje podrobná vízia, ako by sa Európa mala stať klimaticky neutrálnym kontinentom do roku 2050 tým, že bude dodávať čistú, cenovo dostupnú a bezpečnú energiu.

## 3. Realizácia Európskej zelenej dohody

Európska komisia 14. júla 2021 uverejnila nový legislatívny balík o energetike s názvom „Fit for 55“: plnenie cieľa EÚ v oblasti klímy do roku 2030 na ceste ku klimatickej neutralite (COM(2021)0550). V rámci novej revízie smernice o energii z obnoviteľných zdrojov (COM(2021)0557) navrhuje zvýšiť záväzný cieľ týkajúci sa podielu obnoviteľných zdrojov energie v energetickom mixe EÚ na 40 % do roku 2030 a stanoviť nové ciele na vnútroštátnej úrovni, ako napríklad: nová referenčná hodnota, čo sa týka využívania energie z obnoviteľných zdrojov v budovách do roku 2030, na úrovni 49 %, nová referenčná hodnota, čo sa týka ročného zvýšenia podielu energie z obnoviteľných zdrojov v priemysle, na úrovni 1,1 percentuálneho bodu, záväzné ročné zvýšenie využívania energie z obnoviteľných zdrojov v sektore vykurovania a chladenia v členských štátoch o 1,1 percentuálneho bodu, orientačné ročné zvýšenie využívania energie z obnoviteľných zdrojov a odpadového tepla a chladu v diaľkovom vykurovaní a chladení o 2,1 percentuálneho bodu. V snahe dekarbonizovať a diverzifikovať odvetvie dopravy stanovuje: cieľ znížiť do roku 2030 intenzitu skleníkových plynov z dopravných palív o 13 %, a to vo všetkých druhoch dopravy, 2,2 % podiel pokročilých biopalív a bioplynu do roku 2030 s priebežným cieľom 0,5 % do roku 2025 (započítané raz), cieľ 2,6 % pre palivá z obnoviteľných zdrojov nebiologického pôvodu a 50 % podiel obnoviteľných zdrojov energie, čo sa týka spotreby vodíka v priemysle, vrátane neenergetického využitia do roku 2030. V súčasnosti sa rokuje o budúcom politickom rámci na obdobie po roku 2030.

## 4. Čistá energia pre všetkých Európanov

Komisia 30. novembra 2016 zverejnila predchádzajúci legislatívny balík návrhov s názvom Čistá energia pre všetkých Európanov (COM(2016)0860) ako súčasť širšej stratégie energetickej únie (COM(2015)0080). V decembri 2018 nadobudla účinnosť revidovaná smernica o energii z obnoviteľných zdrojov (smernica (EÚ) 2018/2001), ktorou sa podporuje využívanie energie z obnoviteľných zdrojov týmito opatreniami:

- ďalšie nasadzovanie obnoviteľných zdrojov energie v sektore elektrickej energie,

- začlenenie obnoviteľných zdrojov energie do odvetvia vykurovania a chladenia (zaviedol sa orientačný ročný nárast energie z obnoviteľných zdrojov vo vykurovaní a chladení o 1,3 %),
- dekarbonizácia a diverzifikácia odvetvia dopravy stanovením:
  - 14 % podielu energie z obnoviteľných zdrojov na celkovej spotrebe energie v odvetví dopravy do roku 2030,
  - 3,5 % podielu pokročilých biopalív a bioplynu do roku 2030 s priebežným cieľom 1 % do roku 2025 (započítané dvojnásobne),
  - 7 % stropu pre biopalivá prvej generácie v cestnej a železničnej doprave a plány na postupné ukončenie používania palmového oleja (a iných biopalív na báze potravín, ktoré zvyšujú emisie CO<sub>2</sub>) do roku 2030 prostredníctvom systému certifikácie,
- posilňovanie kritérií udržateľnosti EÚ v oblasti bioenergie,
- zabezpečenie dosiahnutia záväzného cieľa EÚ včas a nákladovo efektívnym spôsobom.

## 5. Mechanizmus financovania energie z obnoviteľných zdrojov

Komisia zriadila mechanizmus financovania EÚ (nariadenie 2020/1294) vychádzajúci z článku 33 nariadenia o riadení ((EÚ) 2018/1999) v balíku opatrení v oblasti čistej energie pre všetkých Európanov. Tento systém je v platnosti od septembra 2020 a Komisia ho v súčasnosti zavádza. Hlavným cieľom tohto mechanizmu je pomôcť krajinám dosiahnuť ich individuálne a kolektívne ciele v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov. Mechanizmus financovania spája krajiny, ktoré prispievajú k financovaniu projektov (prispievajúce krajiny), s krajinami, ktoré súhlasia s vybudovaním nových projektov na svojom území (hostiteľské krajiny). Komisia navrhla vykonávací rámec a prostriedky na financovanie mechanizmu, pričom stanovuje, že členské štáty, fondy EÚ alebo príspevky súkromného sektora môžu financovať akcie v rámci tohto mechanizmu. Energia získaná prostredníctvom tohto mechanizmu financovania sa započíta do cieľov v oblasti energie z obnoviteľných zdrojov všetkých zúčastnených krajín a prispeje k ambícii Európskej zelenej dohody dosiahnuť uhlíkovú neutralitu do roku 2050.

### Ďalšie kroky

#### 1. Transeurópska energetická sieť

V decembri 2020 Komisia prijala návrh na revíziu týchto pravidiel (COM(2020)0824) s cieľom prepojiť regióny, ktoré sú v súčasnosti izolované od európskych trhov s energiou. Cieľom revízie je podporiť výrazné zvýšenie podielu energie z obnoviteľných zdrojov v európskom energetickom systéme v súlade s celkovým cieľom Európskej zelenej dohody dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050.

Európsky parlament prijal v júli 2020 uznesenie o revízii usmernení pre transeurópsku energetickú sieť (TEN-E) s cieľom aktualizovať ich a zosúladiť s politikou EÚ v oblasti klímy. Pôvodné rozhodnutie č. 1254/96/ES bolo niekoľkokrát revidované a nariadením (EÚ) č. 347/2013 sa stanovili súčasné usmernenia pre transeurópsku energetickú infraštruktúru.

#### 2. Revízia smernice o zdaňovaní energie

V júli 2021 Komisia uverejnila návrh (COM(2021)0563) o revízii smernice o zdaňovaní energie (smernica 2003/96), v ktorom navrhuje zosúladiť zdaňovanie energetických výrobkov s politikami EÚ v oblasti energetiky a klímy, pričom sa budú podporovať čisté technológie a odstrániť sa zastarané výnimky.

Vybrané štatistické ukazovatele- alternatívne energie v skladbe energetických zdrojov v Slovenskej republike, z toho aj podiel solárnej energie s výhľadom do roka 2030

Tab.1 Odhad celkového očakávaného príspevku jednotlivých technológií výroby energie z obnoviteľných zdrojov v SR v období rokov 2021 s výhľadom do roku 2030 (inštalovaná kapacita, hrubé množstvo vyrobenej elektriny).

	2021		2022		2023		2024		2025	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Prečerpávacie vodné elektrárne (PVE)	916	420	916	420	916	420	916	450	916	450
Vodné elektrárne	1 627	4 467	1 628	4 470	1 629	4 473	1 630	4 476	1 641	4 507
<1 MW	36	104	37	107	38	110	39	113	40	116
1 MW – 10 MW	60	168	60	168	60	168	60	168	70	196
>10 MW	1 531	4 195	1 531	4 195	1 531	4 195	1 531	4 195	1 531	4 195
Geotermálna energia	0	0	0	0	0	0	4	28	4	28
<b>Slniečna energia – fotovoltaika</b>	680	714	730	767	790	830	850	893	870	914
Veterná energia - na pobreží	30	60	100	200	150	300	200	400	250	500
Biomasa:pevná	190	1 045	200	1 100	200	1 100	200	1 100	200	1 100
bioplyn/biometán	130	936	150	1 080	160	1 152	170	1 224	180	1 296
<b>SPOLU (bez PVE)</b>	<b>2 657</b>	<b>7 222</b>	<b>2 808</b>	<b>7 617</b>	<b>2 929</b>	<b>7 855</b>	<b>3 054</b>	<b>8 121</b>	<b>3 145</b>	<b>8 344</b>

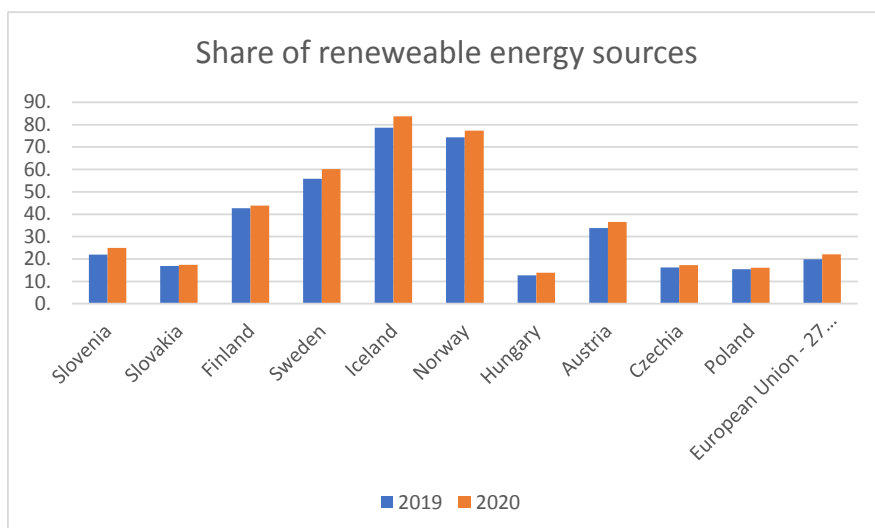
	2026		2027		2028		2029		2030	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Prečerpávacie vodné elektrárne (PVE)	916	450	916	450	916	450	916	500	916	500
Vodná:	1 731	4 754	1 742	4 785	1 753	4 816	1 754	4 819	1 755	4 822
<1 MW	41	119	42	122	43	125	44	128	45	131
1 MW – 10 MW	80	224	90	252	100	280	100	280	100	280
>10 MW	1 610	4 411	1 610	4 411	1 610	4 411	1 610	4 411	1 610	4 411
Geotermálna	4	28	4	28	4	28	4	29	4	30
<b>Slniečna energia – fotovoltaika</b>	900	945	950	998	1 000	1 050	1 100	1 155	1 200	1 260
Veterná na pobreží	300	600	350	700	400	800	450	900	500	1 000
Biomasa:pevná	200	1 100	200	1 100	200	1 100	200	1 100	200	1 100
bioplyn/biometán	190	1 368	200	1 440	200	1 440	200	1 440	200	1 440
<b>SPOLU (bez PVE)</b>	<b>3 325</b>	<b>8 795</b>	<b>3 446</b>	<b>9 051</b>	<b>3 557</b>	<b>9 234</b>	<b>3 708</b>	<b>9 443</b>	<b>3 859</b>	<b>9 652</b>

## Energetický prehľad Únie a politický kontext národného plánu na situáciu na Slovensku - úmysel - realita podmienok pre zvyšovanie podielu výroby elektriny z alternatívnych zdrojov

Energetická politika bola prijatá uznesením vlády Slovenskej republiky č. 548/2014. Energetická politika Slovenskej republiky (energetická politika) je strategický dokument, ktorý definuje primárne ciele a priority energetického odvetvia na obdobie do roku 2035 s výhľadom do roku 2050. Energetická politika je súčasťou národnej hospodárskej stratégie Slovenskej republiky, nakoľko zabezpečenie udržateľného hospodárskeho rastu je podmienené spoľahlivou dodávkou cenovo dostupnej energie. Cieľom energetickej politiky je zabezpečiť trvalú udržateľnosť slovenského energetického sektora s cieľom prispieť k udržateľnému rastu národného hospodárstva a jeho konkurencieschopnosti. Prioritou z tohto hľadiska je zabezpečiť spoľahlivosť a stabilitu zásobovania energiou, efektívne využívanie energie pri optimálnych nákladoch a zabezpečenie ochrany životného prostredia. Energetická politika signalizuje určité opatrenia zamerané na znižovanie konečnej ceny elektriny, vrátane postupného znižovania cien za elektrinu z obnoviteľných zdrojov energie (prvý míľnik bol rok 2020), pričom sa zameriava na využívanie obnoviteľných zdrojov energie pri výrobe tepla, a určité zmeny týkajúce sa účinnosti v oblasti taríf v súvislosti s kombinovanou výrobou elektriny a tepla. Prioritou Slovenskej republiky v energetike je zabezpečiť synergiu medzi čiastkovými politikami, nákladovú efektívnosť, presadzovanie princípov suverenity pri energetickom mixe, zachovanie konkurencieschopnosti a energetickej bezpečnosti. V tomto kontexte považujeme náhradu vysokoemisných zdrojov energie za nízkoemisné, ako aj rozvoj obnoviteľných zdrojov energie (OZE) a opatrenia na zvyšovanie energetickej efektívnosti za prostriedky na dosiahnutie emisných cieľov. Na Slovensku, ako aj v niekoľkých ďalších členských štátoch, bude bezpečná a udržateľná jadrová energetika hrať veľmi dôležitú úlohu pri prechode na nízkouhlíkovú ekonomiku. Predlžovanie životnosti existujúcich jadrových zdrojov (s najväčším podielom na výrobe elektriny) je efektívnym nástrojom na dosahovanie klimatických cieľov (pri minimálnom dopade na koncové ceny elektrickej energie. V oblasti obnoviteľných zdrojov energie (OZE) je snaha podporovať formy, ktoré dokážu nahrádzať fosílna palivá tak, aby bola zabezpečená spoľahlivosť výroby a dodávky elektriny resp. tepla bez veľkých dodatočných nákladov. Budú vytvorené podmienky pre optimálne využívanie obnoviteľných zdrojov energie v energetickom mixe tak, aby boli zabezpečené ciele SR vyplývajúce z legislatívy EÚ. V októbri 2018 bola Národnou radou schválená novela zákona č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie v súlade s filozofiou postupného znižovania podpory týmto zdrojom (?), pričom priorita je zabezpečiť nákladovú efektívnosť a minimalizovať vplyv na koncové ceny energie. Aktualizácia bola prijatá uznesením Vlády Slovenskej republiky č. 478/2018. Hlavným cieľom aktualizovanej národnej adaptačnej stratégie je zlepšiť pripravenosť Slovenska čeliť nepriaznivým dôsledkom zmeny klímy, priniesť čo najširšiu informáciu o súčasných adaptačných procesoch na Slovensku a ustanoviť inštitucionálny rámec a koordinačný mechanizmus na zabezpečenie účinnej implementácie adaptačných opatrení na všetkých úrovniach a vo všetkých oblastiach, ako aj zvýšiť celkovú informovanosť o tejto problematike.

Tab.2 Podiel energie z obnoviteľných zdrojov vo vybraných krajinách EÚ v %.

	2019	2020
EÚ 27 členských krajín	19,8	22,1
Maďarsko	12,6	13,8
Rakúsko	33,7	36,5
Poľsko	15,4	16,1
Slovinsko	21,9	25,0
Slovensko	16,9	17,3
Švédsko	55,8	60,1
Island	78,6	83,7
Nórsko	74,4	77,3



Obr.1 Vývoj obnoviteľných zdrojov energie vo vybraných krajinách porovnanie rokov 2020 a 2022- EÚ v % (zdroj: Eurostat dataset 19.4.2022).

Politiky v oblasti EÚ vs realita na Slovensku - podiel alternatívnych energií a solárnej energie špecificky na celkovej energetickej produkcii v SR a problém, ktorý je potrebné riešiť -pripojenie decentralizovaných sústav - smart grid - na energetickú sieť Slovenskej republiky ukazujú nasledovné grafy a tabuľky:

Tab.3 Podiel skladby jednotlivých zdrojov energie (energetický mix) - príspevok jednotlivých technológií výroby energie v SR v období roka 2021 – podiel.

Zvyškový energetický mix (Residual Mix 2021)	2021
Obnoviteľné zdroje - celkom	13,44%
Ostatné obnoviteľné	0,38%
Biomasa	3,81%
Solárne	2,61%
Geotermálne	0,00%
Veterné	0,04%
Vodné	6,60%
Jadrové zdroje celkom	58,77%
Fosílné zdroje celkom	27,79%
Ostatné fosílné	4,88%
Čierne uhlie	1,26%
Hnedé uhlie	3,10%
Ropné produkty	1,29%
Plynné palivo	17,26%

## 6. Príklady medzinárodnej spolupráce SR v oblasti smart grid

### Projekt ACON

Hlavný cieľom cezhraničného smart grid projektu ACON (*Again COnnected Networks*) medzi Slovenskou a Českou republikou je posilniť integráciu českého a slovenského trhu s elektrinou a efektívne zjednotiť správanie a aktivity užívateľov elektrizačných sústav tak, aby vznikla ekonomicky výhodná, udržateľná elektrizačná sústava s malými stratami a s vysokou kvalitou a bezpečnosťou dodávok.

V novembri 2020 bol projekt zaradený na štvrtý zoznam Projektov spoločného záujmu (PCI) EÚ. Realizátorom projektu je na strane SR spoločnosť Západoslovenská distribučná, a.s., a na strane ČR spoločnosť E.ON Distribuce, a.s. Odhadované náklady na projekt sú 221 mil. eur a predpokladaný termín realizácie sú roky 2018-2024.

Projekt ACON obsahuje viaceré inteligentné a inovatívne prvky a je jedným z prvých smart grid projektov na zozname PCI. Vďaka inteligentným technológiám sa doplnia nové komunikačné prvky a tiež aj inteligentné riadenie zaťaženia automatickými algoritmi, čo zvýši informovanosť, zaistí lepšie prepojenie a v budúcnosti umožní využívať distribučné sústavy na širšie nasadenie obnoviteľných zdrojov, ako aj prístup k digitálnej infraštruktúre.

Realizátori projektu ACON, získali z finančného nástroja EÚ CEF-Energetika podporu viac ako 91 miliónov eur na konštrukčné práce.

Cieľom cezhraničného smart-grid projektu Danube InGrid (Danube Intelligent Grid) medzi Slovenskou republikou a Maďarskom je širšia integrácia obnoviteľných zdrojov do distribučnej sústavy prostredníctvom využitia smart technológií a ich inteligentný manažment, pri súčasnom zabezpečení vysokej kvality a bezpečnosti dodávok pre spotrebiteľov elektrickej energie v regióne strednej a východnej Európy.

Odhadované náklady na projekt sú 296 mil. eur a predpokladaný termín realizácie sú roky 2020-2027. Hlavným prínosom projektu je zabezpečenie lepších a ekonomicky efektívnejších dodávok elektrickej energie pre strategické priemyselné oblasti a konečných spotrebiteľov v oblasti západného Slovenska a severozápadného Maďarska. V rámci projektu budú zavádzané smart grid technológie, a to na vnútroštátnej, ako aj cezhraničnej úrovni, za účelom rozvoja modernej energetickej infraštruktúry. Projekt bude takisto efektívne integrovať správanie a činnosť všetkých užívateľov trhu pripojených do elektrickej siete, predovšetkým spotrebiteľov, prosumerov, výrobcov, s cieľom integrácie veľkého množstva elektrickej energie vyrobenej z obnoviteľných a/alebo distribuovaných zdrojov energie. Rozvoj skúseností v oblasti smart technológií v regióne západného Slovenska a severozápadného Maďarska bude prínosný nielen pre užívateľov elektrickej siete, ale aj prevádzkovateľov distribučných sústav.

### Smart-grid projekt Danube InGrid

Cieľom cezhraničného smart-grid projektu Danube InGrid (Danube Intelligent Grid) medzi Slovenskou republikou a Maďarskom je širšia integrácia obnoviteľných zdrojov do distribučnej sústavy prostredníctvom využitia smart technológií a ich inteligentný manažment, pri súčasnom zabezpečení vysokej kvality a bezpečnosti dodávok pre spotrebiteľov elektrickej energie v regióne strednej a východnej Európy.

Odhadované náklady na projekt sú 296 mil. eur a predpokladaný termín realizácie sú roky 2020-2027. Hlavným prínosom projektu je zabezpečenie lepších a ekonomicky efektívnejších dodávok elektrickej energie pre strategické priemyselné oblasti a konečných spotrebiteľov v oblasti západného Slovenska a severozápadného Maďarska.

V rámci projektu budú zavádzané smart grid technológie, a to na vnútroštátnej, ako aj cezhraničnej úrovni, za účelom rozvoja modernej energetickej infraštruktúry. Projekt bude takisto efektívne integrovať správanie a činnosť všetkých užívateľov trhu pripojených do elektrickej siete, predovšetkým



spotrebiteľov, prosumerov, výrobcov, s cieľom integrácie veľkého množstva elektrickej energie vyrobenej z obnoviteľných a/alebo distribuovaných zdrojov energie. Rozvoj skúseností v oblasti smart technológií v regióne západného Slovenska a severozápadného Maďarska bude prínosný nielen pre užívateľov elektrickej siete, ale aj prevádzkovateľov distribučných sústav.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

- [1] REPowerEU Plan, Brussels, 18.5.2022, COM(2022) 230 final.
- [2] EU Solar Energy Strategy, Brussels, 18.5.2022, COM(2022) 221 final.
- [3] Eurostat Dataset, Share of energy from renewable sources, 19.4.2022.
- [4] Národný energetický mix 2021, [www.okte.sk](http://www.okte.sk).
- [5] Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 – 2030.
- [6] Denisa Funtíková, Čo ak chcete fotovoltaiku, ale distribučka vás odmieta pripojiť do siete? (otázky a odpovede), Denník N 4.10.2022.
- [7] Legislatíva Európskeho spoločenstva k podpore energie z obnoviteľných zdrojov- Návrh SMERNICE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY zo 14.septembra 2022, ktorým sa mení smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/2001, nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/1999 a smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 98/70/ES, pokiaľ ide o podporu energie z obnoviteľných zdrojov, a ktorou sa zrušuje smernica Rady (EÚ) 2015/652.
- [8] Ministerstvo hospodárstva SR, Projekty spoločného záujmu, Elektroenergetika.

## ZMYSEL A VYUŽITEĽNOSŤ DÁT, KTORÉ VIEME ZÍSKAŤ Z PROSTREDIA MIKROGRIDU AKO PODKLAD PRE JEHO OPTIMÁLNE FUNGOVANIE Z TECHNICKÉHO A EKONOMICKÉHO HĽADISKA

*Ján Beňadik<sup>1</sup>, János Kurcz<sup>2</sup>*

*1. Atos IT Solutions and Services, s.r.o.*

*2. Ústav materiálov a mechaniky strojov, SAV, Dúbravská cesta 9, 845 13 Bratislava  
E-mail: [jan.benadik@atos.net](mailto:jan.benadik@atos.net)*

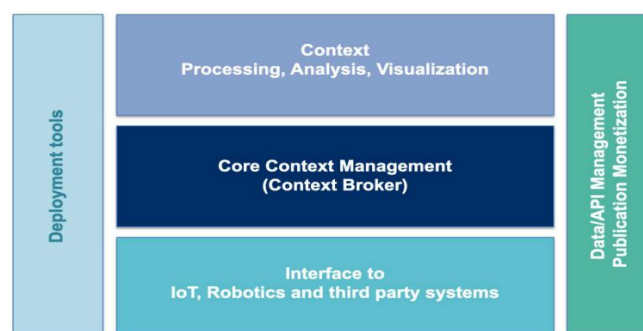
## Úvod

Ak sme si ešte prednedávnom mohli povedať, že prvotným impulzom pre rozvoj obnoviteľných zdrojov energie a ich spájanie do väčších celkov bola ekológia a prínos v boji proti klimatickej zmene, kým ekonomický aspekt bol viac vecou politiky než ekonómie, vo svetle aktuálnych pohybov cien energií a energetických komodít sa pohľad na ekonomický prínos dostáva výraznejšie do popredia. Ak hovoríme o spájaní do väčších celkov, hovoríme o takzvaných gridoch, respektíve v menšom meradle o mikrogridoch, či ešte menších nanogridoch, pričom rozlišujúcim prvkom je veľkosť uvažovaného

geografického priestoru. Mikrogrid zahŕňa komponenty výroby/generovania, skladovania, riadenia distribúcie a spotreby energie v konkrétnom geograficky obmedzenom priestore – typicky širší komplex budov, obec, nižší územný celok. Nanogrid obdobne, ale v tomto prípade uvažujeme o menšej geografickej jednotke, typicky jedna budova/menší komplex budov. Komunitný mikrogrid (ako špeciálna forma gridu) zvyčajne slúži komplexu funkčne prepojených zariadení v geografickej jednotke a často s vládou podporovaným financovaním. Jeho primárnym účelom je zabezpečiť napríklad napájanie služieb, bez ktorých ľudia nemôžu žiť dlhší čas. Môžu sem patriť nemocnice, policajné a hasičské stanice, prístrešky, obchody s potravinami, čerpacie stanice, zariadenia na úpravu odpadu a vody a komunikačná infraštruktúra. Veľkosť mikrogridov sa môže značne líšiť. Mikrogrid môže generovať dostatok energie pre niekoľko domácností alebo celú komunitu. Môže začínať v malom a neskôr sa k nemu pridávajú ďalšie zdroje. Mikrogrid sa môže do veľkej miery prispôbiť potrebám hostiteľa, čo je najčastejšie najnižšia možná cena energie/najvyššia účinnosť systému v danom momente, či slúžiť ako forma záložnej elektriny - keď dôjde k výpadku primárneho zdroja energie (typicky štandardná rozvodná sieť), môže prejsť do tzv. ostrovného módu, odpojiť sa od siete a využiť svoje vlastné zdroje na zabezpečenie dodávky elektriny k spotrebiteľom/spotrebičom. (Ale cieľom môže byť ešte stále napríklad aj zníženie emisií.) Vnútorne zdroje mikrogridu sa môžu tiež veľmi líšiť. Niektoré zahŕňajú iba zdroje obnoviteľnej energie; iné môžu obsahovať aj tradičné palivové generátory. Medzi najbežnejšie obnoviteľné zdroje patria solárne panely, v našich podmienkach už menej často veterné turbíny, bioplynové kogeneračné jednotky a niekedy dokonca aj malé vodné elektrárne, či elektrické vozidlá a palivové články na báze vodíka. Mikrogridy čoraz častejšie zahŕňajú aj prostriedky na skladovanie energie. A okrem výrobných zdrojov musí mikrogrid obsahovať aj infraštruktúru, ako sú drôty, káble, prepínače, potrubia a transformátory na distribúciu energie od zdroja k spotrebiteľovi. Digitálne senzory a akčné členy dopĺňajú systém o schopnosti zhromažďovania a zdieľania údajov, ako aj schopnosťami odozvy a správy v reálnom čase. A sme pri dátach - alfa a omega prevádzky akéhokoľvek energetického zdroja. Ak hovoríme o spájaní do gridov (a je jedno akého typu), vždy je to v prvom rade o stanovených cieľoch, z nich vyplývajúceho „nejakého“ riadenia/optimalizácie aktuálneho stavu a prognóze (výroby/spotreby) budúceho stavu. K tomu sa môžu naviazať aj ďalšie funkcionality, ale toto je prevádzka základ. A znovu sme pri dátach. Dátach, ktoré musím niekde zmerať, niekam poslať, niekde spracovať, niekde vyhodnotiť (niekde uložiť pre budúce využitie) a v konečnom dôsledku použiť vo svoj prospech za účelom dosiahnutia svojich cieľov. A aby som mnou namerané dáta vedel niekam poslať, musím mať zároveň istotu, že cieľová stanica im bude rozumieť – čiže musím mať známy a navzájom dohodnutý komunikačný protokol. Dá sa to všetko manuálne? Dá, len to dlhšie trvá ...

Na uľahčenie riadenia celého životného cyklu dát preto slúžia takzvané platformy, ktoré obsahujú všetky potrebné komponenty. Líšia sa konkrétnym zameraním, variabilitou, rozsahom funkcionalít a technologickým základom. Jedným z takých základov je napríklad FIWARE.

## 1. FIWARE



Obr.1 Fiware katalóg [1].

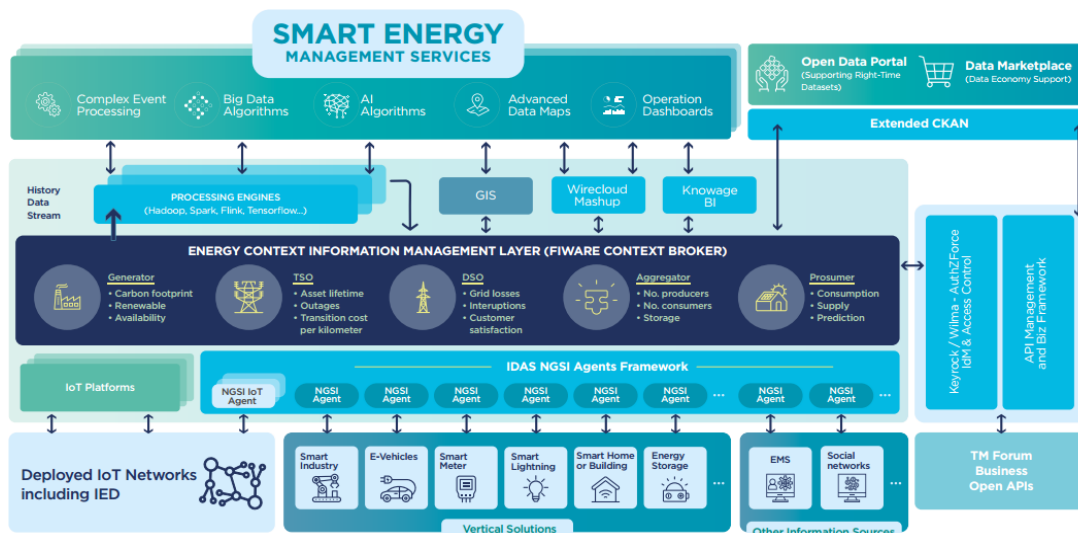
FIWARE [1] bol vytvorený s cieľom vytvoriť otvorený ekosystém s využitím otvorených a implementáciou riadených štandardov softvérových platforiem, ktoré uľahčujú vývoj inteligentných riešení a podporujú organizácie pri ich prechode na „SMART“ organizácie. Z technického hľadiska FIWARE prináša framework Open Source softvérových komponentov, ktoré zostavené dohromady a kombinované s inými komponentmi tretích strán vytvárajú platformu pre vývoj inteligentných riešení a inteligentných organizácií vo viacerých aplikačných oblastiach: mestá, výroba, verejné služby, agropotravinárstvo atď. Od vytvorenia nadácie FIWARE na konci roku 2016 sa vytvorila živá celosvetová FIWARE komunita, ktorá zahŕňa viac ako 90 členských organizácií vrátane veľkých korporácií, poskytovateľov služieb, technologických centier a univerzít a stoviek individuálnych členov. Na tomto technologickom základe vznikajú platformy „Powered by FIWARE“ v rôznych „SMART“ doménach: SMART CITIES, SMART ENVIRONMENT, SMART AGRIFOOD, SMART SENSING, SMART ROBOTICS, SMART WATER, SMART AERONAUTICS, SMART HEALTH, SMART ENERGY, SMART DESTINATION, SMART MANUFACTURING.

## 2. FIWARE a digitálne dvojča, Smart Data Models

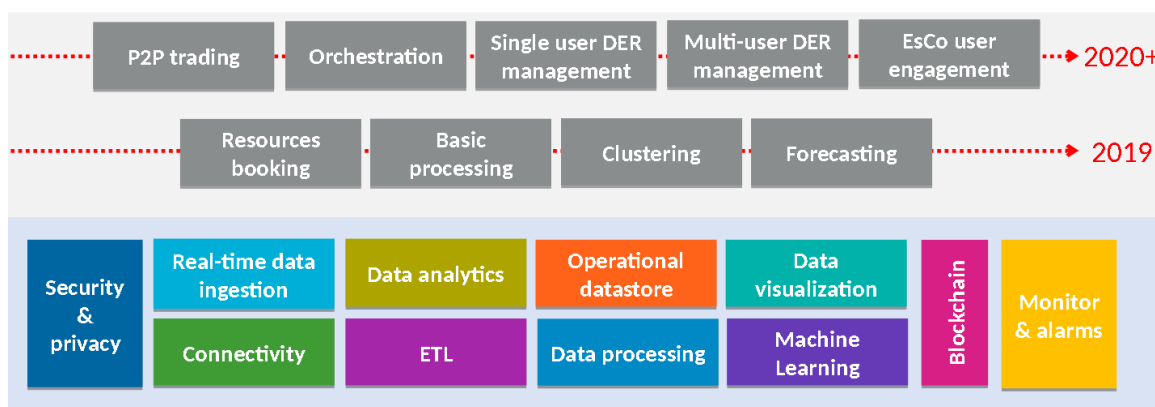
Každá softvérová „Powered by FIWARE“ architektúra je založená na reprezentácii údajov digitálneho dvojčaťa reálneho sveta. Vo FIWARE je digitálne dvojča entita, ktorá digitálne predstavuje skutočnú fyzickú entitu. Každé digitálne dvojča je univerzálne identifikované pomocou URI (Universal Resource Identifier), patrí k určitému typu (napr. typ teplota, typ napätie), ktorý je tiež univerzálne identifikovaný pomocou svojho URI a je charakterizované niekoľkými atribútmi, ktoré sú zase klasifikované ako:

- vlastnosti uchovávané údaje (napr. „aktuálne napätie“, alebo „maximálna teplota“),
- vzťahy, z ktorých každý obsahuje URI identifikujúci inú entitu digitálneho dvojčaťa, s ktorou je daná entita prepojená (napr. konkrétny vlastník, vlastníci konkrétnej budovy).

Atribúty digitálneho dvojčaťa môžu predstavovať hodnoty od celkom statických (napr. „GPS súradnice“ konkrétneho miesta), až po atribúty, ktoré sa menia veľmi dynamicky (napr. „sila vetra“ alebo „intenzita slnečného žiarenia“ v konkrétnom mieste), ale aj na atribúty, ktoré sa síce menia, ale nie tak často (napr. „vlhkosť vzduchu“ na konkrétnom mieste). Veľmi dôležité je, že atribúty digitálneho dvojčaťa sa neobmedzujú len na pozorovateľné údaje, ale aj na odvodené údaje. Digitálne dvojča slnečného panelu teda nemusí mať len meračom meraný atribút „aktuálne napätie“, ale napríklad aj atribút „predpoveď napätia o 30 minút“, ktorý predpovie umelá inteligencia (AI) na základe svojich algoritmov, ktoré určia hodnotu tohto atribútu na základe aktuálnych údajov o napätí, iných relevantných údajov ovplyvňujúcich jeho výšku (napr. aktuálne pozorované a predpovedané počasie, sila vetra, teplota atď.) a historických informácií o generovanom napätí za daných podmienok. Preto sa očakáva, že reprezentácia sveta digitálnymi dvojčatami architektúry „powered by FIWARE“ bude obsahovať všetky informácie potrebné pre inteligentné aplikácie, nielen merateľné údaje, ale aj ďalšie rozšírené poznatky a poznatky získané v priebehu času. Jednoducho povedané – čím viac je možné zo systému získať, či do systému vložiť dát, tým je vyšší predpoklad, že digitálna reprezentácia reality bude vernejšia a systém bude mať širšie možnosti s nimi pracovať. Nemusí pritom znamenať, že to bude viesť využiť okamžite, ale je to dobrý vklad do budúcnosti.



Obr.2 Referenčná architektúra pre Smart Energy management system „Powered by FIWARE“ [2].



Obr.3 Bloková architektúra FUSE (Framework for Utilities and Services) [6].

### 3. Vhodná granularita dát

Na základe Prevádzkového poriadku OKTE, a.s. [4] sú všetky zúčtovacie intervaly pre meranie a odpočty energií nastavené na 15 minút a pre potreby vzájomného zúčtovania takáto granularita dát postačuje. Lenže to je aktuálny stav a budúcnosť môže priniesť potrebu detailnejších dát, napríklad aj z hľadiska riešenia stability systému v náročnejších podmienkach väčšieho zapájania volatilnejších zdrojov, medzi ktoré patria aj tie na báze slnka a vetra. Navyše sekundové údaje o výrobe FVE sú prínosné aj pre agregátora – dňa 1.10 2022 vyšla novela zákona 251/2012 o energetike [5]. Ak sa agregátor (ktorý okrem iného môže zlučovať malé zdroje, t.j. aj FVE) rozhodne, že chce poskytovať aj podporné služby, tak potrebuje mať sekundové meranie výkonu zariadení (vyrábaného, či spotrebovaného), ktoré sú do tejto služby zapojené. V technickom poriadku (dokument B) prevádzkovateľa prenosovej sústavy [3] sa uvádza požiadavka pre výrobcov (elektrárne), ktoré sú zapojené do podporných služieb (PpS) aby posielali sekundové merania do automatizovaného systému dispečerského riadenia (ASDR). Agregácia je niečo pomerne nové, v súčasnosti ešte nevieme povedať ako to bude presne fungovať v praxi a či sekundové meranie bude zbytočné, prínosné alebo vyžadované. Dovtedy však dobre poslúži na pochopenie variabilného správania sa fotovoltaickej elektrárne (FVE), či iných prvkov gridu. Takže stačí využiť schopnosti moderných zariadení, ktoré dokážu merať a odosielať namerané údaje

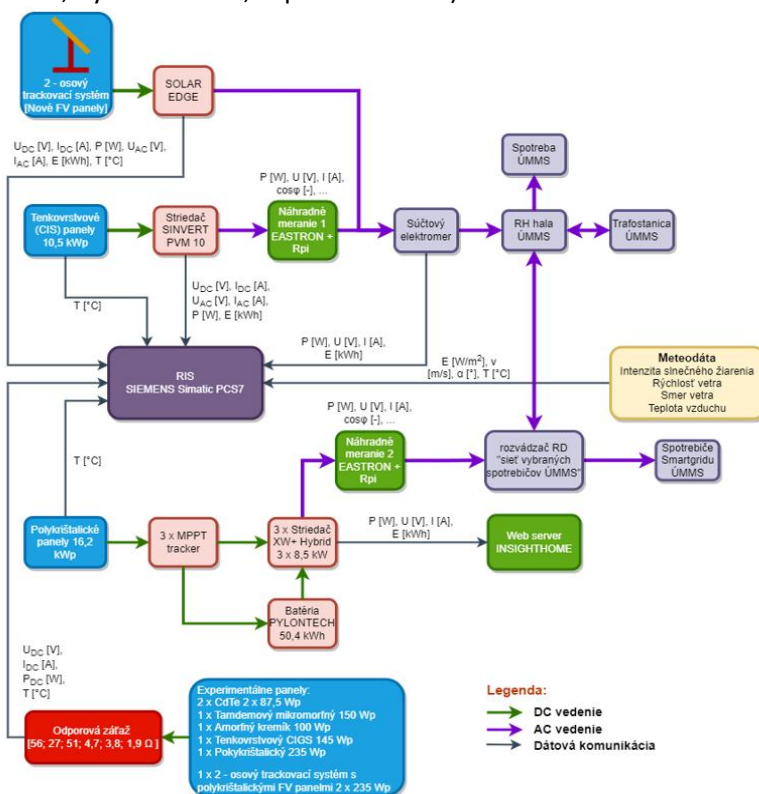
v sekundových intervaloch, pričom takéto meranie nepredstavuje žiadne pridané náklady, okrem objemu spracovávaných dát, čo však pri súčasných výkonových kapacitách výpočtovej techniky nie je problém.

### 3.1. Získavanie dát a ich dynamika

Pre meranie dynamiky výroby elektriny boli v laboratóriu SAV v sekundových intervaloch zaznamenávané údaje, týkajúce sa elektrických veličín výroby (dátum; čas; UL1[V]; UL2[V]; UL3[V]; THDU[%]; IL1[A]; IL2[A]; IL3[A]; THDI[%]; PL1[W]; PL2[W]; PL3[W]; P[W];  $\cos\phi L1[-]$ ;  $\cos\phi L2[-]$ ;  $\cos\phi L3[-]$ ;  $\cos\phi[-]$ ; Ein[kWh]; Eout[kWh]) osobitne za každý druh panelov:

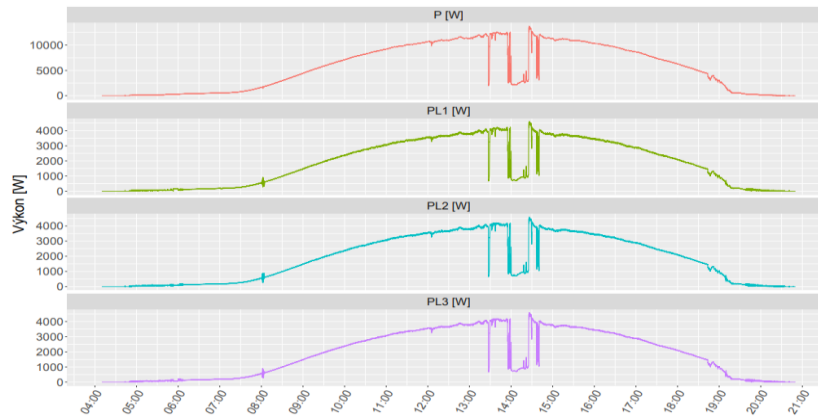
- polykrystalické panely SFM-235P, inštalovaný výkon 16,2kWp,
  - v priebehu trvania projektu sa inštalovaný výkon zmenou zapojenia znížil na 15,52kWp, meranie sa zmenilo na meranie výstupu hybridného systému (FVE + AKU),
- tenkovrstvé panely SF150-S, inštalovaný výkon 10,5kWp,
- experimentálne panely (sústava FS-397, NT-150AX, SG-HN100-GG, TCF-C972, GS-HCPV-TR-250).

Pri experimentálnych paneloch boli okrem elektrických veličín merané aj meteorologické dáta (Smer vetra; Slnéčné žiarenie; Rýchlosť vetra; Teplota vzduchu).



Obr.4 Schéma zapojenia laboratória SAV.

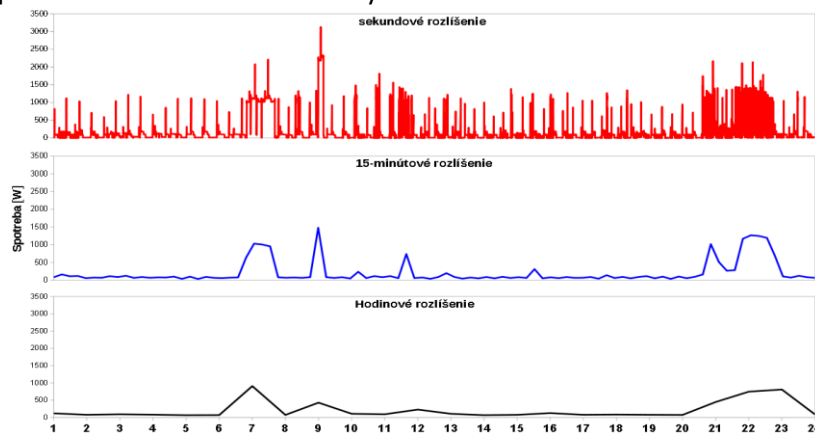
Z hľadiska vyhodnocovania prevádzky FVE sú nevyhnutné a postačujúce základné elektrické dáta, tie ostatné - ako napríklad meteorologické - sú z kategórie „nice to have“, pretože v spojení s externými zdrojmi historických dát rozširujú možnosti systému smerom ku predikciám správania za určitých podmienok, napríklad aj možnosťou tréningu umelej inteligencie, ktorá je na objemy historických dát odkázaná. Okrem meteorologických do takejto kategórie spadajú aj externé zdroje ekonomických dát, aj keď predikcia cenového vývoja energií je v súčasnej dobe tak trochu veštenie z krištáľovej gule. Ale v teoretickej rovine - so správne nastavenými externými zdrojmi ekonomických aj sociologických dát a vhodne natrénovanej umelej inteligencii je toto priestor na modelovanie ekonomického vývoja a analýzu ekonomickej efektivity prevádzky.



Obr.5 Priebeh fázových a celkového výkonu polykrystalických panelov laboratória SAV dňa 19. 6. 2021.

Jednoducho povedané: ak vyrábam aj spotrebávam energiu, oplatí sa mi z ekonomického hľadiska práve v tomto okamihu tú mnou vyrobenú rovno spotrebávať a prebytky ukladať do virtuálnej batérie, alebo je výhodnejšie prebytky ihneď predať na trhu, alebo je v tomto okamihu ekonomicky najvýhodnejšie spotrebávať energiu z distribučnej siete a moju výrobu ukladať do batérií (fyzických, či virtuálnych), alebo je ešte iná možnosť?

Dynamiku spotreby domácnosti sme merali sekundovým meraním (Dátum; Čas; UL1[V]; IL1[A]; PL1[W];  $\cos\phi$  L1[-]; UL2[V]; IL2[A]; PL2[W];  $\cos\phi$  L2[-]; UL3[V]; IL3[A]; PL3[W];  $\cos\phi$  L3[-]; f[Hz]) spotrebu rodinného domu v južnej oblasti Slovenska, dlhodobo obývaného 2 osobami, s prípravou TUV elektrickým bojlerom, vykurovaním na plyn, plynovým sporákom s elektrickou rúrou a elektrickým čerpadlom na zavlažovanie záhrady.



Obr.6 Ukážka priebehu spotreby rodinného domu dňa 19. 6. 2021.

## Záver

Sekundové meranie výkonu fotovoltických panelov potvrdilo jednu z ich očakávaných a charakteristických vlastností: pokles výkonu pri výskyte lokálnej oblačnosti môže byť veľmi výrazný a to už v priebehu niekoľkých sekúnd, pričom sa ukazuje, že zostupná fáza je strmšia ako vzostupná. V prípade čisto fotovoltického gridu bez batérového úložiska by bolo možné tento jav čiastočne eliminovať napríklad väčším plošným rozptýlením panelov, ale len za predpokladu lokalizovanej oblačnosti, ktorá neprekryje celú oblasť. Sekundové meranie spotreby odhalilo mierne odlišný typ dynamiky: krátkodobé nárasty (typicky spínanie chladničky, zapnutie rýchlovarnej kanvice, či elektrického prietokového ohrievača, zavlažovacieho čerpadla), ktoré sú pri 15-minútových intervaloch vyhladené a pri hodinových sa prakticky strácajú, ale aj určité charakteristické prejavy: viditeľný nárast v rannom čase (hygiena, rýchlovarná kanvica, mikrovlnka, častejšie otvorená chladnička sa častejšie zopne), o niečo miernejší v čase obeda (chladnička) a výraznejší vo večernom čase (svietenie + TV + chladnička + večerná hygiena). Z pohľadu merania spotreby teda neprináša sekundová granularita dát

praktický význam, napomáha ale v stanovení skutočného odberového diagramu konkrétneho objektu (konkrétnych objektov gridu) a môže byť pomôckou pri rozhodovaní, v akom čase je vhodné spúšťať niektoré spotrebiče, ktorých používanie znesie takýto manažment. Inými slovami z praxe – posunúť napríklad použitie práčky do časového úseku, kedy je energetická výroba vyššia, prípadne vypracovať časový harmonogram používania určitých zariadení v rámci účastníkov gridu.

## PodĎakovanie

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaného zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

- [1] FIWARE for Digital Twins, FIWARE Foundation e.V., Franklinstrasse 13A, 10587 Berlin, Germany, June 2021.
- [2] Smart-Energy-Brochure-FIWARE-Web-1-2.pdf [Online]. August 2018 [Cit. 2022-08-30], web address: <https://www.fiware.org/wp-content/uploads/2018/10/Smart-Energy-Brochure-FIWARE-Web-1-2.pdf>.
- [3] SEPS, Technické podmienky prístupu a pripojenia, pravidlá prevádzkovania prenosovej sústavy, dokument B, September 2022.
- [4] Prevádzkový poriadok organizátora krátkodobého trhu s elektrinou OKTE, a.s. Október 2022.
- [5] Zákon č. 251/2012 Z. z., október 2022.
- [6] FUSE-DigitalShow\_2019\_v01.pptx, Andrea Rossi, ARI, November 2019.

## ŠTATISTICKÁ ANALÝZA SEKUNDOVÝCH ZMIEN VÝROBY FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE

*Jozef Novotný<sup>1</sup>, Jakub Slávik<sup>2</sup>*

*1. SFÉRA, a.s.*

*2. Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*

*E-mail: [jozef.novotny@sfera.sk](mailto:jozef.novotny@sfera.sk)*

## Úvod

Produkcia elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie za posledných desať rokov významne vzrástla najmä vplyvom energetickej politiky a environmentálnych faktorov. V podmienkach Slovenskej republiky získala prioritu výstavba fotovoltaických elektrární, ktorých súhrnný inštalovaný výkon dosiahol v roku 2020, podľa výročnej správy organizátora krátkodobého trhu s elektrinou, hodnotu 535 MW [1].

Obnoviteľné zdroje energie sú všeobecne známe svojou sezónnosťou a fluktuáciou výkonu na rôznych časových škálach. Preto jednou z najväčších výziev je technické zvládanie týchto fluktuácií. Analýza, modelovanie a výskum elektrizačnej sústavy sú vo veľkej väčšine prípadov vykonávané v časovom rozlíšení 15, 30 alebo 60 minút. Tento článok sa preto zameriava na veľmi krátke časové rozlíšenie analyzovaním vysokofrekvenčných sekundových dát výroby fotovoltaickej elektrárne. Cieľom je reprezentovať dôležitosť variability pri modelovaní a simuláciách prevádzky elektroenergetických

systémov a súčasne poskytnúť štatistický podklad pre analýzy na sekundovej báze. Porozumenie vlastnostiam obnoviteľných zdrojov pomocou vysokofrekvenčných dát je dôležitým aspektom pri návrhu elektroenergetických systémov napríklad mikrogridov v ostrovnej prevádzke, pretože vysoká variabilita vyrábaného výkonu vedie k napäťovým fluktuáciám ako lokálneho parametru a fluktuáciám frekvencie ako globálneho parametru. Z tohto dôvodu sú mikrogridy náročné nielen na riadenie, ale aj dimenzovanie elektrických ochrán a udržanie dynamickej a statickej stability ich ostrovnej prevádzky.

Obecne sú vysokofrekvenčné fluktuácie v akademickej oblasti skúmané minimálne najmä z dôvodu nedostupnosti takýchto dát a tiež kvôli prirodzenému vzájomnému tlmeniu fluktuácií, ktoré vzniká rozložením obnoviteľných zdrojov v geografickom reliéfe krajiny. Toto rozloženie redukuje variabilitu, neeliminuje je však úplne. Niektoré výskumné štúdie v minulosti používali rôzne štatistické techniky na transformáciu z nízkofrekvenčných (bežné obchodné merania) na vysokofrekvenčné dáta alebo nástroje na generovanie syntetických vysokofrekvenčných dát [2].

V tomto článku sú prezentované číselné a grafické výsledky analýzy časových radov vo forme nameraných hodnôt činného výkonu fotovoltaickej elektrárne s výkonom 16,2 kWp pripojenej do distribučnej elektrickej siete. Zámerom článku je poskytnúť pohľad na sekundovú dynamiku výroby fotovoltaických elektrární a zdôvodniť jej opodstatnenie pri modelovaní a návrhu elektroenergetických systémov.

## 1. Vysokofrekvenčné dáta

Databáza nameraných hodnôt obsahuje vysokofrekvenčné dáta v sekundovom rozlíšení. Všetky merané parametre sú uvedené v tabuľke 1. V rámci analýzy je analyzovaný časový úsek od 1.7.2021 do 31.7.2021 sumárneho vyrábaného výkonu  $P$ . Deň 4.7.2021, 5.7.2021 a 6.7.2021 sú vynechané z analýzy kvôli poruche meracieho systému. Spolu ide o 28 analyzovaných dní. Lokalita je Bratislava. Merací systém vyhotovuje jeden textový súbor vo formáte .txt na dennej báze. Dátový processing a analýza je vykonaná v štatistickom softvéri R. Celkový počet meraných parametrov je 19. Fotovoltická elektráreň obsahuje 69 polykryštalických panelov s výkonom 235 Wp v troch stringoch. Analýza je založená na porovnaní dvoch dní s najnižšou a najvyššou variabilitou výroby.

Tab.1 Obsah súboru .txt.

Parameter	Označenie
Časová pečiatka	-
Napätie	$V_1, V_2, V_3$
Koeficient harmonického skreslenia napätia	THDU
Prúd	$I_1, I_2, I_3$
Koeficient harmonického skreslenia prúdu	THDI
Činný výkon	$P_1, P_2, P_3, P$
Účinník	$\cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \cos \varphi_3, \cos \varphi$
Spotrebovaná elektrická energia	$E_{in}$
Vyrobená kumulovaná elektrická energia	$E_{out}$

## 2. Metodika výberu dvoch dní s najnižšou a najvyššou variabilitou výroby a ich analýza

Metodika výberu je založená na kvantifikácii variability časových radov výroby výkonu pomocou súčtu absolútnych hodnôt prvých diferencií podľa vzorca



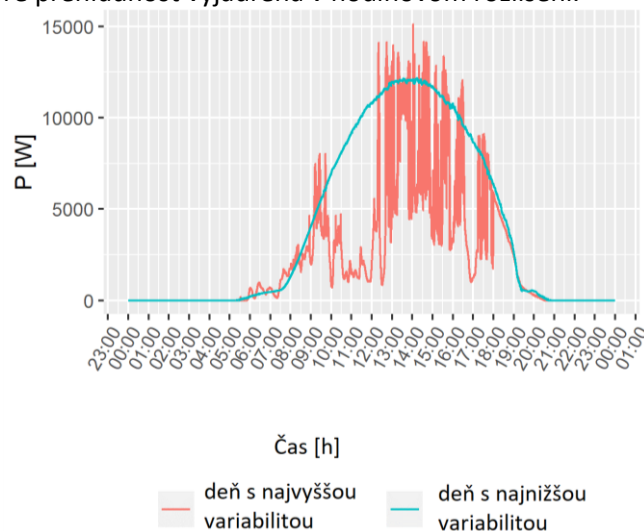
$$VAR_{P_{out}} = \sum_2^{86400} \left| \frac{P_{(t)} - P_{(t-\Delta t)}}{3600} \right| [Wh] \quad (1)$$

$P(t)$  je výkon v čase  $t$ ,  $P_{(t-1)}$  je výkon v čase  $t - 1$ . Obe veličiny sú merané vo wattoch. Diferencie sú podelené počtom sekúnd v hodine tak, aby daná hodnota zodpovedala energii vyjadrenej vo Wh. Hodnota 86 400 zodpovedá počtu sekúnd za deň. Vzhľadom na to, že ide o prvú diferenciu, časový krok je v tomto prípade  $\Delta t = 1$ . Z uvedeného vzorca vyplýva, že čím je veľkosť diferencií vyššia a skokové zmeny častejšie, tým variabilita nadobúda vyššiu hodnotu. V tab.2 je uvedená hodnota  $VAR_{P_{out}}$  pre dni s najnižšou a najvyššou variabilitou výroby elektriny.

Tab.2 Dni s najnižšou a najvyššou variabilitou výroby.

Deň	$VAR_{P_{out}}$ [Wh]
16.7.2021	126,33
14.7.2021	814,56

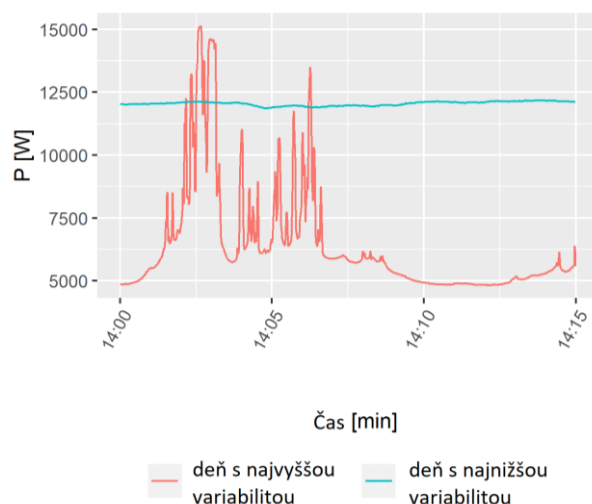
Na obr.1 je pre porovnanie zobrazený priebeh sekundových hodnôt výroby výkonu v dni s najnižšou a dni s najvyššou variabilitou. Je zrejмый signifikantný rozdiel v premenlivosti výroby. Samotná časová os je pre prehľadnosť vyjadrená v hodinovom rozlíšení.



Obr.1 Profílové porovnanie dní s najnižšou a najvyššou variabilitou.

Keďže v analytickej a simulačnej praxi sa najviac používajú dáta s 15 minútovým časovým rozlíšením, ktoré zahŕňajú vyjadrenie jednej štvrt hodiny jednou číselnou hodnotou, je z obr.1 odvodený obr.2 s časovým úsekom od 14:00 do 14:15. Obr.2 teda poskytuje podrobný pohľad na premenlivosť výroby vo vnútri štvrt hodiny. Časová os je v tomto prípade vyjadrená v minútovom rozlíšení.

Pre zaujímavosť sú v tab.3 uvedené štatistické charakteristiky vybranej štvrt hodiny. Uvedené sú priemery, mediány a smerodajné odchýlky, ktoré popisujú šírku rozloženia hodnôt v množine nameraných dát. Bežné meracie systémy v rámci štvrt hodinových odpočtov vypočítavajú priemernú hodnotu vo vopred definovaných časových rezoch vo vnútri štvrt hodiny. Výsledná nameraná hodnota je priemer týchto hodnôt. Informácia o vnútornej štvrt hodinovej variabilite tak nie je zachovaná.



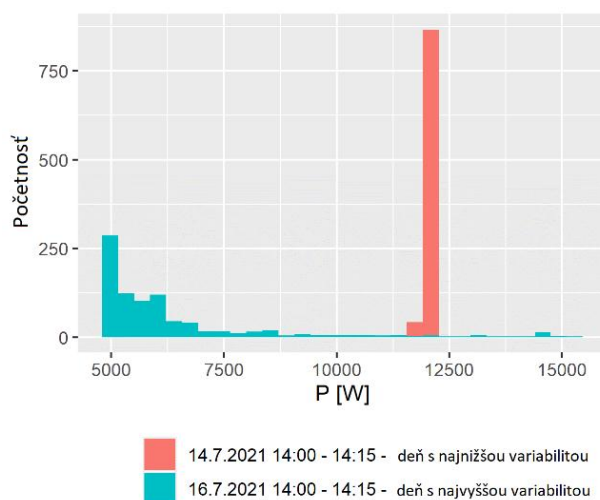
Obr.2 Časové priblíženie vybranej štvrťhodiny v sekundovom rozlíšení.

Tab.3 Štatistická charakteristika štvrťhodín pre vybrané dni.

	Deň s najnižšou variabilitou	Deň s najvyššou variabilitou
Minimálna hodnota	11 860	4 824
Medián	12 071	5 722
Priemer	12 051	6 398
Maximálna hodnota	12 184	15 130
Smerodajná odchýlka	82,02	2214,23

Variabilitu výkonu vo vnútri štvrťhodiny je vhodné vizualizovať aj pomocou histogramu, ktorý interpretuje namerané hodnoty výkonu indikáciou počtu nameraných hodnôt, ktoré ležia v určitom rozsahu. Čím vyššia je početnosť hodnôt v danom rozsahu, tým je stĺpec v histograme vyšší. Na obr.3 je vizualizovaný histogram pre vybrané štvrťhodiny. Z obrázku vyplýva signifikantný rozdiel v rozložení (distribúcií) hodnôt medzi štvrťhodinou s vysokou a nízkou variabilitou. Štvrťhodina s nízkou variabilitou je reprezentovaná jedným vysokým stĺpcom a jedným veľmi nízkym. Z toho vyplýva, že v tejto štvrťhodine je koncentrácia nameraných hodnôt oscilujúca veľmi blízko priemernej hodnote 12 051 W, ktorá je uvedená v tab.2. Naopak, pri vysokej variabilite je evidentná koncentrácia hodnôt predovšetkým v rozsahu od 5 000 do 7 500 W. Hodnoty nad 7 500 W sú tiež zastúpené, avšak ich početnosť je nízka. Histogram tiež poskytuje hrubú informáciu o zakladajúcom pravdepodobnostnom rozložení hodnôt.

Z tab.3 je možné vysledovať aj ďalší indikátor variability a to percentuálny rozdiel medzi priemerom a mediánom. Obe charakteristiky patria k mieram centrálnej tendencie. Štvrťhodina s nízkou variabilitou má percentuálny rozdiel 0,17 %, pričom štvrťhodina s vysokou má 11,81 %. Rozdiel je možné vysvetliť nerovnomerným asymetrickým rozložením hodnôt s vysokou variabilitou, pričom priemer, na rozdiel od mediánu, ako indikátor strednej hodnoty je citlivý na extrémne hodnoty.



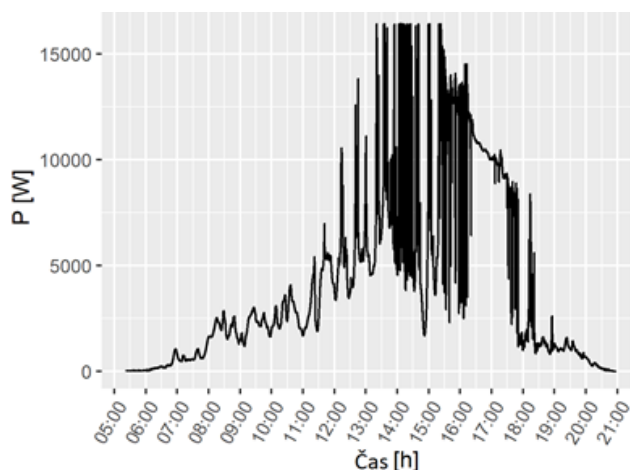
Obr.3 Vizualizácia nameraných sekundových údajov vo vybraných štvrt hodinách histogramom.

### 3. Štatistická analýza fluktuácií

Fluktuácia výkonu  $\Delta P_{\Delta t}(t)$  je definovaná v čase  $t$  pre danú periódu časového rozlíšenia. Parameter  $\Delta t$  je rozdiel medzi dvomi po sebe idúcimi hodnotami vyrábaného výkonu  $P_{PV(t)}$ . Hodnoty sú prepočítané na inštalovaný výkon  $P^*$  [3]:

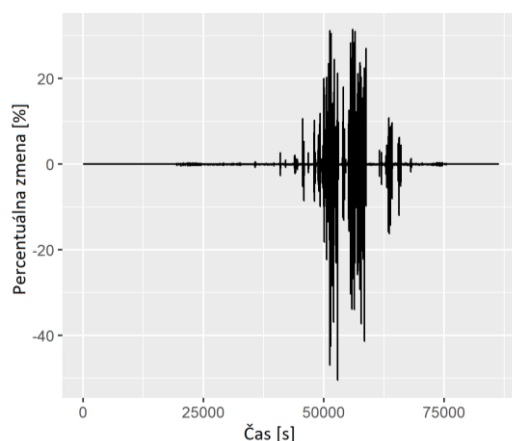
$$\Delta P_{\Delta t}(t) = \frac{[P_{PV}(t) - P_{PV}(t - \Delta t)]}{P^*} * 100 [\%] \quad (2)$$

Štatistická analýza je vykonaná pre namerané hodnoty zo dňa 02.07.2021, kedy sa súčasne vyskytla najväčšia kladná aj záporná zmena v diferencovanom časovom rade pre  $\Delta t = 1$ . Z obr.4 vyplýva vysoká variabilita a nepravidelnosť vyrábaného výkonu.



Obr.4 Vizualizácia priebehu výkonu pre deň 02.07.2021.

Percentuálne zmeny výkonu podľa (2) sú graficky zobrazované aj v časovej doméne na obr.5. Na obr.6 je histogram percentuálnych zmien. Hodnoty kedy bola výroba nulová sú z analýzy odstránené. Histogram jasne deklaruje, že najväčšia koncentrácia percentuálnych zmien je v okolí nuly. Tento fakt je vyjadrený aj v tab.4, z ktorej vyplýva, že maximálna hodnota zápornej fluktuácie a teda pokles výkonu bol viac ako 50 % medzi dvomi po sebe nasledujúcimi sekundami. Nárast bol v tomto prípade 31,49 %.

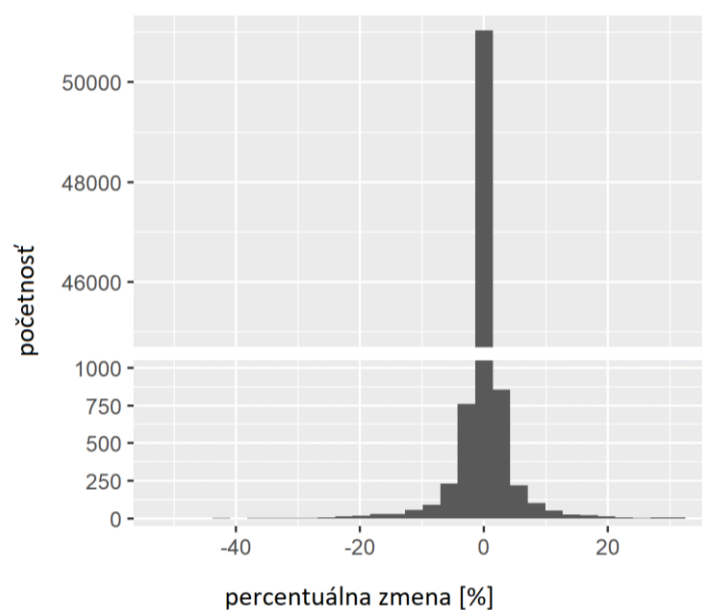


Obr.5 Vizualizácia percentuálnych zmien výkonu dňa 02.07.2021 v časovej doméne.

Tab.4 Štatistická charakteristika fluktuácií vyjadrených v percentách.

	$\Delta P_{\Delta t} [\%]$
Minimálna hodnota	-50,50
Medián	0,00
Priemer	0,00
Maximálna hodnota	31,49
Smerodajná odchýlka	1,59

Vzhľadom na to, že percentuálne vyjadrenie fluktuácií je zaťažené dominantným počtom veľmi nízkych hodnôt oscilujúcich okolo nuly, sú pre ďalšiu analýzu odstránené všetky hodnoty spadajúce do intervalu (- 5 %, 5 %), čím sú vytvorené dva dátové súbory s kladnými a zápornými hodnotami. Štatistická charakteristika týchto súborov je vyjadrená v tab.5.



Obr.6 Vizualizácia percentuálnych zmien výkonu dňa 02.07.2021 pomocou histogramu.

Tab.5 Štatistická charakteristika fluktuácií vyjadrených v percentách.

	$(\min(\Delta P_{\Delta t}), -5\%) [\%]$	$(5\%, \max(\Delta P_{\Delta t})) [\%]$
Minimálna hodnota	-50,50	5,01
Medián	-8,62	8,34
Priemer	-11,22	10,25
Maximálna hodnota	-5,02	31,46
Smerodajná odchýlka	7,13	5,54

#### 4. Štatistická analýza rýchlosti poklesu a nárastu výkonu

Z vyššie uvedených analýz vyplýva, že skoková zmena poklesu výkonu môže dosiahnuť až 50 % z inštalovaného výkonu v priebehu jednej sekundy, čo v prípade mikrogridov alebo iných izolovaných sústav s vysokou penetráciou fotovoltických elektrární môže mať negatívny dopad na kvalitu dodávanej elektrickej energie.

Z pohľadu riadenia je preto dôležitá kvantifikácia rýchlosti poklesu a nárastu výkonu udávaná v bežnej praxi v MW/min najmä pre prevádzkovateľov distribučných a prenosových sústav. Keďže sú k dispozícii sekundové hodnoty, táto kapitola pracuje s W/s. Výpočet je urobený podľa [4]:

$$R_{RATEPV} = \frac{P_{pv}(t) - P_{pv}(t-1)}{\Delta t} \left[ \frac{W}{s} \right] \quad (3)$$

Kde  $R_{RATEPV}$  je rýchlosť zmeny výkonu,  $P_{pv}$  je výkon v čase a  $\Delta t$  je časový krok. Analýza je vykonaná pre pohyblivé okno s časovým rozdielom  $\Delta t = 1, 2, 3$  a  $4$ , čo zodpovedá šírke časových okien  $2, 3, 4$  a  $5$  sekúnd. V tab.6 sú uvedené štatistické charakteristiky pre pokles výkonu a v tab.7 pre nárast výkonu. Hodnoty sú uvedené vo W/s.

Z tabuliek vyplýva, že s nárastom šírky použitého okna absolútna hodnota charakteristík klesá a dostavuje sa efekt vyhladenia. Obidva dátové súbory pre všetky časové rozdiely boli testované na normalitu Shapiro-Wilkovým testom. V praxi sa často predpokladá, že dáta pochádzajú z normálneho rozdelenia. Testovanie však zamietlo hypotézu, že dátové súbory zodpovedajú normálnemu rozdeleniu [5]. Z toho vyplýva, že je vhodnejšie zvažovať ako mieru centrálnej tendencie medián. Z tabuliek tiež vyplýva drobný rozdiel medzi absolútnymi hodnotami mediánov pre pokles a nárast výkonu. Z hodnôt vyplýva záver, že pokles výkonu je obecné rýchlejší. Napríklad pre  $\Delta t = 2$  je mediánový pokles rýchlejší o 10,13 % oproti nárastu. Na základe tejto skutočnosti bola sformulovaná hypotéza, že rozdiel rýchlosti poklesu a nárastu je väčší ako 0 a teda štatisticky významný. Keďže dáta nepochádzajú z normálneho rozdelenia, bol pre testovanie zvolený Wilcoxonov test [6]. Test rozhoduje na základe vypočítanej p-hodnoty, či mediánový rozdiel medzi dvomi dátovými súbormi je alebo nie štatisticky významný. Výsledky z testovania sú uvedené v tab.8. Obecné platí, že ak je p-hodnota vyššia ako 0,05, prijíma sa hypotéza, že rozdiel nie je štatisticky významný. Ak je hodnota menšia, prijíma sa alternatívna hypotéza a rozdiel dvoch mediánov je štatisticky významný.

Tab.6 Štatistická charakteristika poklesu výkonu.

	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$
Minimálna hodnota	-8 182	-4 934	-3 635	-2 771
Medián	-1 396	-1 413	-1 321	-1 272
Priemer	-1 818	-1 673	-1 506	-1 409
Maximálna hodnota	-813	-812	-810	-811
Smerodajná odchýlka	1 155	847	641	497

Tab.7 Štatistická charakteristika nárastu výkonu.

	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 2$	$\Delta t = 3$	$\Delta t = 4$
Minimálna hodnota	812	813	812	811
Medián	1351	1283	1205	1147
Priemer	1660	1493	1368	1268
Maximálna hodnota	5101	4520	3548	2844
Smerodajná odchýlka	898	677	517	405

Tab.8 Vyhodnotenie testovania štatistickej hypotézy o rozdielnosti mediánov.

Časový krok	p-hodnota	záver
$\Delta t = 1$	0,189	Rozdiel nie je štatisticky významný
$\Delta t = 2$	0,005	Rozdiel je štatisticky významný
$\Delta t = 3$	0,014	Rozdiel nie je štatisticky významný
$\Delta t = 4$	0,000	Rozdiel je štatisticky významný

## Záver

Z analýz vyplýva vysoká miera premenlivosti výkonu vyrábaného fotovoltickými elektrárnami, ktorú je potrebné zohľadniť pri návrhu riadenia mikrogridov a pochopeniu dynamiky obnoviteľných zdrojov energie. Maximálny pokles medzi dvomi po sebe idúcimi sekundami dosiahol magnitúdu -50, 50 %, čo je 8 181 W, pričom inštalovaný výkon je 16 200 W. Maximálny nárast výkonu medzi dvomi po sebe idúcimi sekundami dosiahol 31,49 %, čo je 5 101 W. Na základe mediánových rozdielov v rýchlosti poklesu a nárastu výkonu pre rôzne časové okná bola sformulovaná hypotéza, že existuje štatisticky významný rozdiel medzi rýchlosťou a poklesom výroby. Tento bol preukázaný pri  $\Delta t = 2$  a  $\Delta t = 4$ . Numericky je rýchlosť poklesu obecné mierne väčšia ako rýchlosť nábegu výroby výkonu po odchode mrakov.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



## Literatúra

- [1] <https://www.okte.sk/en/information/annual-reports/>.
- [2] LAVE, Matthew, Matthew J. RENO a Robert J. BRODERICK. Characterizing local high-frequency solar variability and its impact to distribution studies. Solar Energy [online]. 2015, 118, 327-337 [Date of citation: 2022-03-30]. ISSN 0038092X. doi:10.1016/j.solener.2015.05.028.
- [3] MARCOS, Javier, Iñigo DE LA PARRA, Miguel GARCÍA a Luis MARROYO. Control Strategies to Smooth Short-Term Power Fluctuations in Large Photovoltaic Plants Using Battery Storage Systems. Energies [online]. 2014, 7(10), 6593-6619 [Date of citation: 2022-03-30]. ISSN 1996-1073. doi:10.3390/en7106593.

- [4] MALEKI, Sajad a Mehrdad TARAFDAR HAGH. Review of PV power ramp rate control methods and their requirements. SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications [online]. 2021, 2(2), 14-25 [cit. 2022-03-30]. ISSN 2735-4571. doi:10.21608/svusrc.2021.83458.1011.
- [5] Shapiro–Wilk Test in R Programming. GeeksforGeeks [online]. 16.7.2020 [Date of citation: 2022-03-31]. Web adress: <https://www.geeksforgeeks.org/shapiro-wilk-test-in-r-programming/>.
- [6] Unpaired Two-Samples Wilcoxon Test in R. STHDA [online]. [Date of citation: 2022-03-31]. Web adress: <http://www.sthda.com/english/wiki/unpaired-two-samples-wilcoxon-test-in-r>.

## VPLYV DECENTRALIZOVANEJ VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE NA ELEKTRIZAČNÚ SÚSTAVU

*Jakub Slávik<sup>1</sup>, Igor Kalamen<sup>2</sup>*

*1. Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*

*2. SFÉRA, a.s.*

*E-mail: jakub.slavik@stuba.sk*

### Úvod

Jednou z dlhodobých stratégií EÚ v oblasti energetiky je zvyšovanie využitia obnoviteľných zdrojov pri produkcii tepla a elektrickej energie. Členské štáty zaviedli rôzne formy podpory a nariadení pre splnenie týchto cieľov. V konečnom dôsledku sa preto postupne presúva časť výroby z veľkých centrálnych zdrojov na miestnu úroveň v distribučných sústavách – dochádza k tzv. decentralizácii výroby elektrickej energie a tepla.

Rozmach decentralizovanej výroby, resp. výroby z obnoviteľných zdrojov však prináša so sebou aj viaceré problémy a ovplyvňuje elektrizačnú sústavu. Cieľom tohto článku je analýza vplyvu tejto transformácie na elektrizačnú sústavu.

### 1. Výroba z obnoviteľných zdrojov

Na začiatok je potrebné konštatovať, že ani jeden z obnoviteľných zdrojov nie je v súčasnosti plnohodnotným zdrojom elektrickej energie, resp. prevádzka OZE v ostrovnom režime je ekonomicky nerentabilná. Tento fakt je spôsobený charakterom samotných zdrojov – sú nepredikovateľné a neregulovateľné, čo v konečnom dôsledku má viacero nepriaznivých bočných efektov ako napr. potreba podporných služieb (regulácia činného výkonu a napätia) na reguláciu odchýlky vplyvom nerovnomernej výroby, či zmena parametrov sústavy ako napr. veľkosť skratového výkonu.

Na druhej strane OZE prispieva k znižovaniu emisií CO<sub>2</sub> a k ochrane životného prostredia (aj keď celková miera znižovania emisií závisí najmä od charakteru podporných služieb, ktoré sú nasadzované pre pokrytie odchýlok).

### 2. Pripájanie OZE do elektrizačnej sústavy

Proces pripájania nových zdrojov do elektrizačnej sústavy (či už distribučnej, alebo prenosovej) sa riadi technickými podmienkami prevádzkovateľa sústavy a nesmie ovplyvniť bezpečnosť dodávky a stabilitu sústavy. Pri analýze možnosti implementácie nových zdrojov je potrebné posúdiť viacero faktorov ako napr.:

- Dovoľené zaťaženie transformátorov (distribučných/prenosových) – nasadenie nového zdroja nespôsobí preťaženie jestvujúcich transformátorov napájajúcich skúmané uzlové oblasti, na odstránenie tohto problému je potrebné zvýšiť výkon preťažených transformátorov (ich výmenou), alebo pridať nový transformátor tak, aby bola možná ich paralelná prevádzka.
- Dovoľené zaťaženie vedení (distribučných/prenosových) – situácia je tu obdobná ako v prípade zaťaženia transformátorov a teda nesmie dôjsť k preťaženiu vedení, čo je v niektorých situáciách

pomerne zložitú a vyplýva to z charakteru využívania jednotlivých vedení (napr. problematiky zaťaženia medzištátnych vedení).

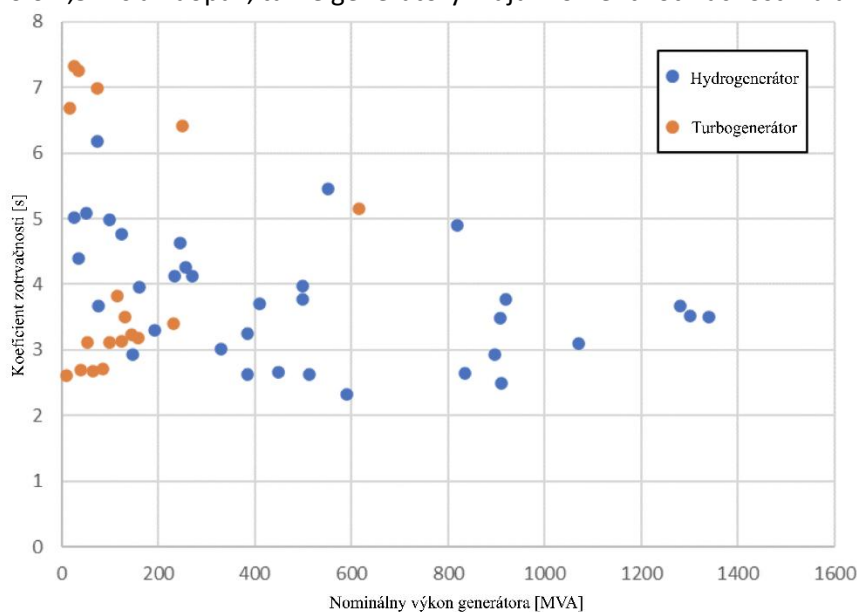
- Kritérium „N-1“ – jedná sa o základné bezpečnostné kritérium a zahŕňa oba hore uvedené faktory. Hovorí o tom, že výpadok akéhokoľvek prvku v sústave nesmie mať za následok narušenie stability elektrizačnej sústavy (t.j. nedôjde k prekročeniu limitných hodnôt prúdov, napätí a frekvencie).
- Dostupný objem regulačnej elektriny, resp. dostupnosti podporných služieb – pri prevádzke OZE je dominantnou práve sekundárna regulácia (+/-). Zjednodušene povedané, čím je väčší objem výroby v decentralizovaných zdrojoch, tým je potrebný väčší objem podporných služieb. Treba si však uvedomiť, že premiestnením výroby z centrálnych (riadených) zdrojov do decentralizovanej (neriadenej) výroby je v konečnom dôsledku aj zníženie inštalovaného výkonu použiteľného pre účely podporných služieb.

### 3. Presun výroby z centrálnych zdrojov do decentralizovaných

Hlavným problémom pri presune inštalovaného výkonu z centrálnych zdrojov (t.j. ťažkých generátorov s veľkým inštalovaným výkonom a veľkou zotrvačnosťou) do malých decentralizovaných zdrojov je zmena prevádzkových parametrov sústavy – okrem problémov spojených s podpornými službami, ktoré boli spomenuté vyššie, dochádza aj k zmene zotrvačnosti sústavy a skratových výkonov, čo významne vplýva na stabilitu sústavy ako celku.

### 4. Vplyv zmeny veľkosti momentu zotrvačnosti na stabilitu sústavy

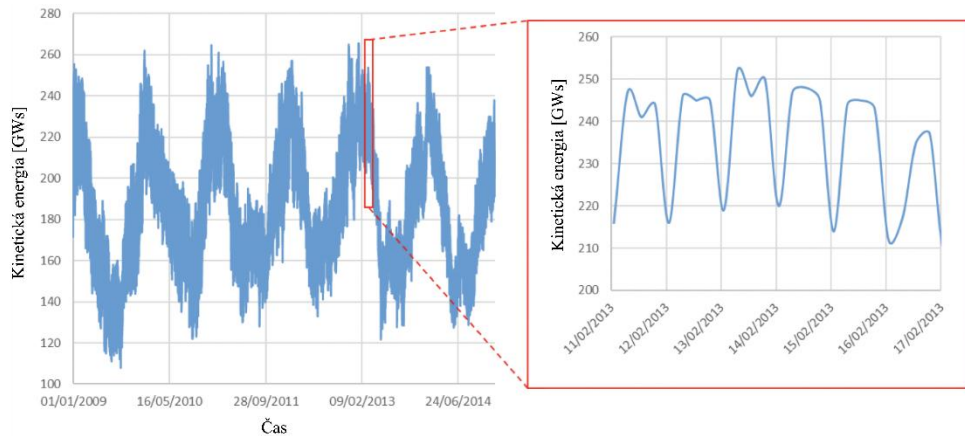
Vo všeobecnosti platí, že čím väčší generátor, t.j. čím väčší inštalovaný výkon generátora, tým je väčší jeho moment zotrvačnosti. Na obr.1 sú uvedené momenty zotrvačnosti v závislosti od typu rotora a jeho nominálneho výkonu. Je vidieť, že odľahčené turbogenerátory majú moment zotrvačnosti okolo 2,5-4 s a naopak, ťažké generátory majú moment zotrvačnosti na úrovni 5-8 s.



Obr.1 Veľkosť koeficientu zotrvačnosti generátorov v závislosti od typu rotora a nominálneho výkonu [1].

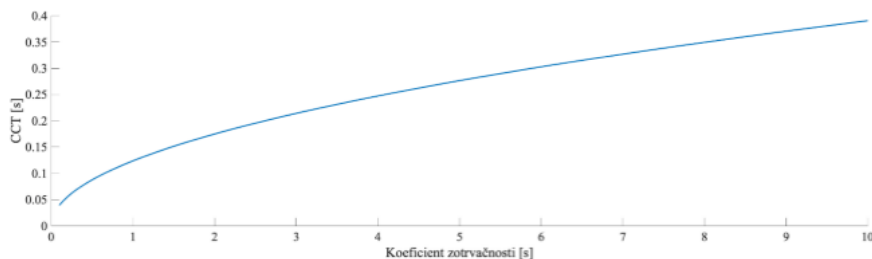
Z pohľadu sústavy spôsobilo odpojenie ťažkého generátora (jadrovej elektrárne v prepojenej sústave Švédska-Fínska-Nórsko z dôvodu odstávky) v roku 2009 zníženie kinetickej energie sústavy – priebeh uvedený na obr.2 – veľkosť kinetickej energie sústavy je podstatne nižšia v tomto roku ako v ostatných rokoch.





Obr.2 Priebeh kinetickej energie sústavy podľa rokov a dní [2].

Následne má veľkosť zotrvačnosti generátorov vplyv na dynamickú stabilitu, resp. veľkosť kritického času – túto hodnotu získame na základe riešenia diferenciálnej pohybovej rovnice generátora a grafické zobrazenie výsledkov je na obr. 3.



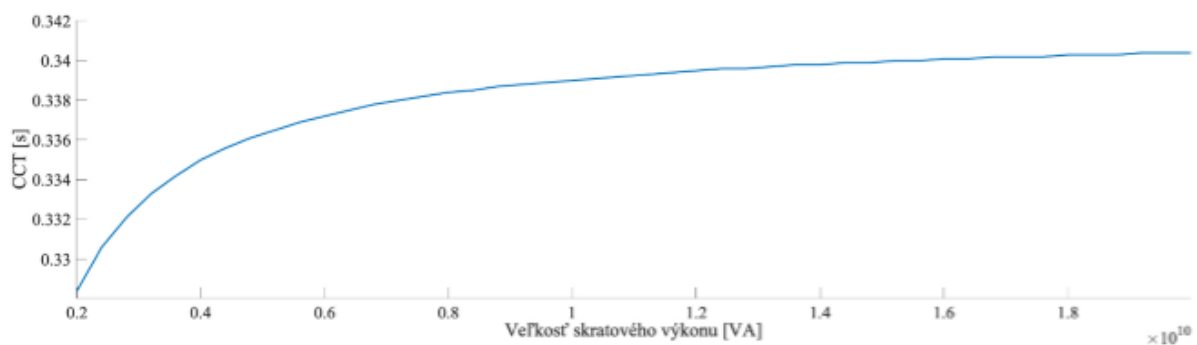
Obr.3 Vplyv koeficientu zotrvačnosti na veľkosť CCT.

### 5. Vplyv zmeny veľkosti skratového výkonu na stabilitu sústavy

Minimálne veľkosti skratového výkonu definuje prevádzkový poriadok prevádzkovateľa prenosovej sústavy podľa napäťovej hladiny nasledovne [1]:

- 110kV – 0,7 GVA
- 220kV – 1 GVA
- 400kV – 2 GVA

Na obr.4 môžeme vidieť vplyv veľkosti skratového výkonu na veľkosť kritického času – na intervale od 0,7 GVA vyššie je táto závislosť prakticky lineárna a preto môžeme konštatovať, že v prípade dodržania týchto hodnôt nedôjde k výraznému ovplyvneniu dynamickej stability sústavy.



Obr.4 Vplyv veľkosti skratového výkonu na veľkosť CCT.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vĎaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] Technické pravidlá SEPS, a.s., určujúce technicko-konštrukčné a prevádzkové požiadavky na pripojenie do prenosovej sústavy prevádzkovateľa Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a.s., k 1.12.2015.
- [2] P. Tielsen, P.Henneaux and S. Cole, Penetration of renewables and reduction of synchronous inertia in the European power system – Analysis and solutions, 2018.

## MODELOVANIE A SIMULÁCIA MIKROGRIDOV V PODMIENKACH SLOVENSKA

*Dagmar Jarásová<sup>1</sup>, Martin Holiš<sup>1</sup>, Rastislav Krbata<sup>1</sup>, Jakub Slávik<sup>2</sup>, Michal Minárik<sup>1</sup>*

*1. SFÉRA, a.s.*

*2. Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*

*E-mail: dagmar.jarasova@sfera.sk*

## Úvod

Pre elektrizačnú sústavu v minulosti bol charakteristický centralizovaný systém. Postupne vývojom nových technológií a nových riešení sa charakter centralizovaného systému mení na systém obsahujúci decentralizované prvky. Integrácia a automatizácia decentralizovaných zdrojov si vyžaduje splnenie kritéria spoľahlivosti zabezpečenia dodávky elektrickej energie. Tento proces decentralizácie sa stáva jednou z možností riešenia energetickej nezávislosti, úspory energií a ďalšieho rozvoja energetiky. Úspešnosť uvedeného procesu je ovplyvnená legislatívnymi a technickými predpokladmi, z čoho vyplýva, že uvedený proces je procesom na dlhšie časové obdobie.

### 1. Mikrogridy v slovenských podmienkach

Na slovenské podmienky má značný dosah vplyv legislatívneho prostredia EÚ. Aj keď ešte v podmienkach Slovenska nie sú implementované všetky potrebné legislatívne predpisy (tzv. Zimný balíček), tak je možné tieto modely mikrogridov realizovať v oblasti výskumu a tým podporiť uvedený proces. V prostredí EÚ sa riešia mikrogridy na úrovni predkladania viacerých odporúčaní Európskej komisii ako napr. odporúčanie predložené Európskej komisii s názvom “Report on Regulations for Low Voltage Direct Current (LVDC) and DC technologies”, 30.6.2022 a “Education Working Sub-Group Report”, 28.6.2022 a mnohých ďalších. Problematika je realizovaná na úrovni pilotných projektov napr. projektu PLATONE [1] - platforma riešiaci Manažovanie prevádzky distribučnej siete v súvislosti s OZE (ako sú pilotné projekty v Nemecku, Taliansku a v Grécku), taktiež riešia zúčtovanie na báze blockchain, ďalším projektom zameraným na energetické komunity je projekt FEVER [2] - kde je využívaná akumulácia (storage), peer to peer trading a v projekte EdgeFlex [3] - sa rieši flexibilita, obchodovanie a predaj na trhu s elektrinou.

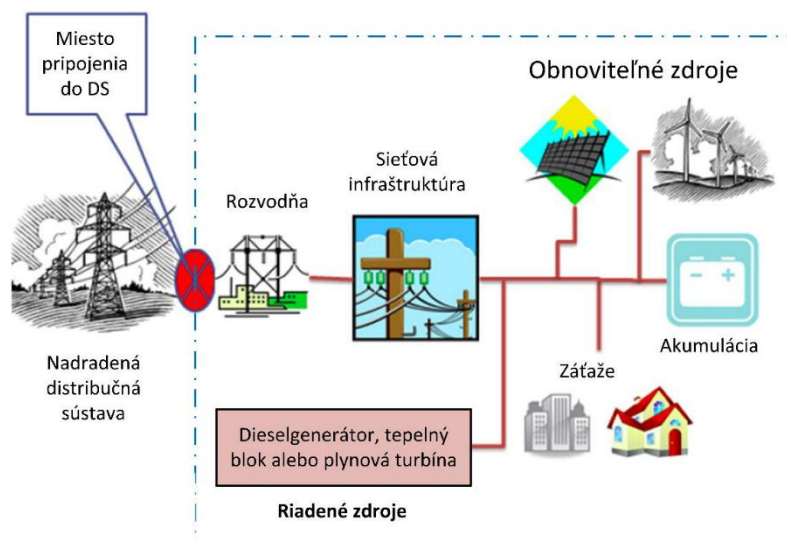
## 2. Definícia Mikrogrid sietí

Mikrogridy sú lokálne zoskupené zdroje elektrickej energie a záťaže, ktoré sú za normálnych prevádzkových podmienok synchronne pripojené do konvenčnej centralizovanej siete, ale ktoré je možné odpojiť a prevádzkovať aj v samostatnom ostrovnom režime. Definícia CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Électriques) uvádza: Mikrogridy sú elektrické systémy obsahujúce záťaže a rozptýlené zdroje elektrickej energie, ktoré je možné používať v kontrolovanom a koordinovanom režime prevádzky a to buď pri pripojení k nadradenej distribučnej sieti, alebo pri režime ostrovej prevádzky časti siete [4]. Na obrázku je uvedená základná koncepcia topológie Mikrogrid sietí.

## 3. Prínosy decentralizovaného systému

- Prínos pre životné prostredie - nižšie zaťaženie životného prostredia vďaka využívaniu obnoviteľných zdrojov elektrickej energie a kombinovanej výroby elektrickej energie a tepla.
- Odpadové teplo využiteľné pre vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody – umožňuje využitie odpadového tepla v miestach kde nie je dostupné teplo z veľkých teplární s kombinovanou výrobou elektrickej energie z tepla.
- Zvýšenie kvality a spoľahlivosti dodávok elektrickej energie – smart technológie umožňujú rýchlu lokalizáciu a izoláciu oblasti postihnutej poruchou a navyiac umožňujú rozšírené možnosti zálohovania pomocou ostrovných režimov rozptýlených zdrojov elektrickej energie.
- Navýšenie kapacity siete – s využitím rozptýlených zdrojov elektrickej energie dochádza aj k lokálnej spotrebe v blízkosti výroby, teda sieť na vyšších napäťových hladinách je menej zaťažovaná. To umožňuje pripojenie nových odberateľov bez nutnosti rozširovania siete.
- Zníženie strát – rovnako ako v prípade navýšenia kapacity siete aj tu sa prejaví efekt nižšieho zaťažovania sietí vyšších napäťových hladín [5].

Miera benefitov bude významne závisieť na regulačnej politike a legislatíve.



Obr.1 Ilustrácia konceptu topológie siete Mikrogridov.

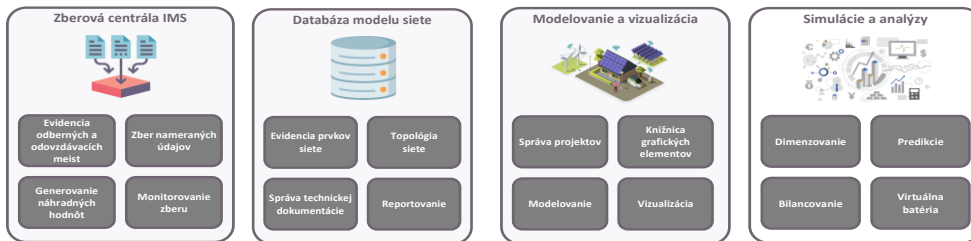
## 4. Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa

SFÉRA, a.s. ako partner projektu Centra excelentnosti 2, ktorý začal v novembri 2019 rieši nasledovné časti návrhu:

### Funkčné oblasti jednotlivých častí návrhu

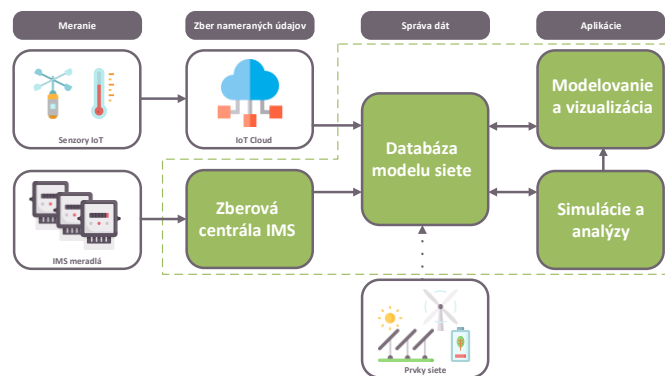
- Zberová centrála - CE2 Prototyp / ZC,
- databáza modelu siete - CE2 Prototyp / DB,

- modelovanie a vizualizácia - CE2 Prototyp / VS,
- simulácie a analýzy - CE2 Prototyp / AS.



Obr.2 Funkčné oblasti jednotlivých častí návrhu.

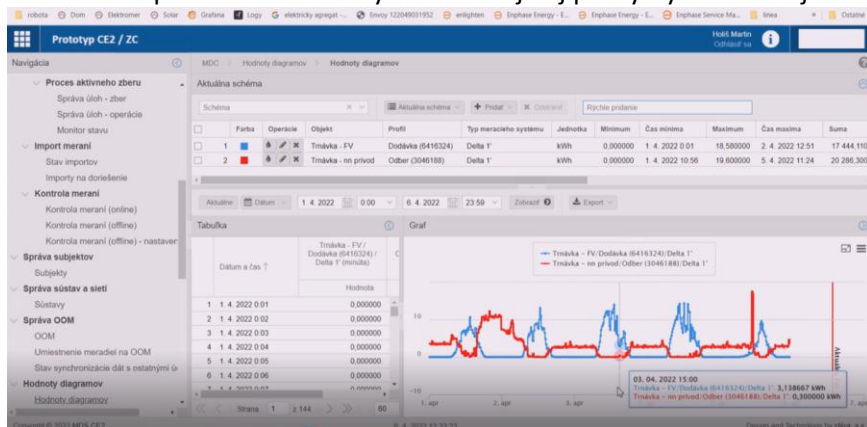
### Časti navrhovaného riešenia v rámci celkovej architektúry



Obr.3 Časti navrhovaného riešenia v rámci celkovej architektúry.

### Grafické vyhodnocovanie meraných dát z mikrogridu

Z reálnych meraní uskutočňovaných v mikrogride na STU-Trnávka, kde z jednotlivých elektromerov v minútových rastroch (z fotovoltiky-výroba, nn-prívodu-odber, serverovne a tepelného čerpadla) sa dostávajú dáta do Zberovej centrálky SFÉRA. Na príklade meraných dát je ukázaný priebeh dodávky z fotovoltiky do mikrogridu, priebeh spotreby a priebeh prebytkov nespotrebovanej elektrickej energie odovzdávanej späť do siete. Modrá krivka dáva informáciu o priebehu výroby, červený priebeh hovorí o spotrebe. Taktiež systém eviduje aj prebytky elektrickej energie.



Obr.4. Grafické vyhodnocovanie meraných z mikrogridu.

Obdobne do Zberovej centrálly SFÉRA sú importované aj dáta z Mikrogridu z UMMS SAV. Následne s dátami sú vykonávané ďalšie spracovania a analýzy.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] Projekt PLATONE <https://www.platone-h2020.eu/> (ID 864300).
- [2] Projekt FEVER <https://fever-h2020.eu/> (ID 864 537).
- [3] Projekt EdgeFlex <https://edgeflex-h2020.eu/> (ID 883 710).
- [4] HATZIARGYRIOU, Nikos a Thomas DEGNER. Microgrid: architectures and control. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2014. ISBN 978-1-118-72065-3.
- [5] Katarína Čerňanová: Technicko-ekonomická analýza prevádzky Microgrids, Bakalárska práca, ČVUT Praha, Česká republika, 2018.

## PREVÁDZKOVÁ ANALÝZA FOTOVOLTCICKEJ ELEKTRÁRNE A BATÉRIOVÉHO ÚLOŽISKA V RÁMCI SMART GRIDU

**Milan Jarás, János Kurc, Ján Poničan, Marek Gebura, Jaroslav Longauer, František Šimančík**

*Ústav materiálov a mechaniky strojov, SAV, Dúbravská cesta 9, 845 13 Bratislava*

*E-mail: milan.jaras@savba.sk*

## Úvod

V rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra vznikol Projekt „Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa“, ďalej len CE2, ktorý si kladie za cieľ v nadväznosti na niektoré ambiciózne ciele Európskej komisie prinášať riešenia pre rozvoj smartgridov. Jedným z nich je napr. príprava slovenského energetického sektora na nové výzvy plynúce z aktuálnych európskych právnych predpisov v týchto oblastiach. Projekt má priniesť nové pohľady na matematicko-fyzikálne modely inteligentných sietí, resp. vytvorí simulačné prostredia pre širokú verejnosť, ktoré by poskytovali užívateľom možnosť technicky a ekonomicky si namodelovať lokálny smart mikro grid. Modelovaním a simuláciami by sa mali dosiahnuť výsledky aké prípadné technické vplyvy má daná konfigurácia mikrogridu na okolie, čo by umožnilo optimalizáciu návrhov tak, aby boli v súlade s podmienkami prevádzky takýchto lokálnych smartgridov.

Projekt je realizovaný konzorciom 4 výskumných inštitúcií, a to Atos IT Solutions and Services s.r.o., spoločnosť SFÉRA, a. s., výskumné inštitúcie – Slovenská technická univerzita v Bratislave a Ústav materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied. V rámci projektu sa realizuje výskum a vývoj, priemyselný výskum a experimentálny vývoj nových inteligentných riešení reagujúcich na súčasné trendy a požiadavky o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov energie a potreby zabezpečenia kvality, spoľahlivosti a riadenia výroby, akumulácie, distribúcie a spotreby energie. Smartgridy predstavujú generačnú zmenu fungovania distribučných sietí, ktoré sa menia z centralizovaných na decentralizované, s možnosťou trhového fungovania a fyzického riadenia toku energie v sieti, s integrovanými obnoviteľnými zdrojmi energie a ďalšími nízko-uhlíkovými technológiami. Tento príspevok je venovaný doterajším špecifickým výsledkom a praktickým prínosom

v rámci riešenia projektu, ktoré boli dosiahnuté vzájomnej spolupráce Slovenskej technickej univerzity v Bratislave a Ústavom materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied.

Na Slovensku je aktuálne v platnosti veľká novela „Zákona o energetike“, ktorá ako aj ďalšie platné, ale aj pripravované právne predpisy vychádza z balíka legislatívnych dokumentov, známych ako tzv. „Zimný energetický balíček“. Novela vyvoláva búrlivú diskusiu zástupcov odborníkov a významných spoločností na slovenskom trhu s energiami. Aktuálne je diskutovaná problematika merania energie, zberu a spracovávania nameraných dát. V úzkej súvislosti so zberom a spracovaním nameraných dát je následne problematika kybernetickej bezpečnosti, práv a povinností subjektov na trhu, ktoré následne operujú s týmito údajmi. Legislatíva by tak mala dávať odpovede pre možnosti rozvoja nových obchodných modelov trhu s energiou, nakoľko právne predpisy EÚ definujú viaceré nové pojmy na trhu s elektrinou, nové subjekty, ktoré budú vykonávať špecifickú činnosť na trhu. V rámci rozvoja lokálnych inteligentných sietí sú to napr. subjekty ako „prosumer“, či „agregátor“ a v terminológii nových služieb je to napr. služba poskytovania „flexibility“. Zjednodušene povedané, vyšší rozvoj obnoviteľných zdrojov energie aj v segmente malých výrobcov – napr. budov s fotovoltaickou elektrárnou sa z majiteľa výrobného zdroja, ktorý však elektrinu aj spotrebovávajú vo svojom odbernom mieste, stáva prosumer. Vyšší počet prosumerov v rámci lokálneho mikrogridu vyžaduje agregátora, ktorý bude agregovať – teda spájať a riadiť tak ich dynamické správanie sa v sieti s využitím ďalších prvkov v sieti ako napríklad technológie akumulácie energie, prípadne technológie aktívneho riadenia iných prvkov v sieti. Využívanie aktívneho riadenia výroby, akumulácie a spotreby elektriny v sieti dáva agregátorovi potenciál poskytovať flexibilitu do distribučnej sústavy –teda službu, ktorú distribútor využije pre udržanie bezpečnej prevádzky nadradenej siete a agregátor získa možnosť aktívne sa zúčastňovať na dynamickom vývoji trhu s elektrinou.

Nevyhnutnou súčasťou akéhokoľvek rozvoja smartgridov je rozvoj inštalácie inteligentných elektromerov (smartmeters). Pojem inteligentný merací systém (IMS) je v slovenskej legislatíve už pomerne dlhú dobu známy. Jeho definícia vychádza zo zákona o energetike č. 251/2012 Z. z. [1] a paradoxne v zmysle definície už takmer všetky elektromery sú inteligentné. Inteligentným elektromerom pre účely fakturácie sú tzv. určené meradlá a ďalšie technické prostriedky, ktoré umožňujú zber spracovanie a prenos nameraných údajov o výrobe alebo spotrebe elektriny alebo plynu, ako aj poskytovanie týchto údajov účastníkom trhu. Nasadzovanie inteligentných elektromerov upravuje vyhláška č. 358/2013 Z. z. [2], ktorá taktiež definuje 3 triedy inteligentných elektromerov v zmysle ich dodatočných funkcionalít podľa toho pre aké kategórie (celkovo 4) odberateľov budú nasadené. Odberné miesto, v ktorom sa nachádza zariadenie na výrobu elektriny – napr. prosumer s fotovoltaickou elektrárnou je v zmysle tejto vyhlášky vybavené inteligentným elektromerom najvyššej triedy funkcionality, t.j. IMS so špeciálnou funkcionalitou. Zavádzanie inteligentných elektromerov v procese rozvoja smartgridov a obnoviteľných zdrojov elektriny špecifikuje aj smernica EÚ o vnútrnóm trhu s elektrinou [3], kde sú v článku 20 uvedené nevyhnutné funkcie inteligentných elektromerov. Pri implementácii tejto smernice do novely zákona o energetike sa v súčasnosti vedie diskusia hlavne o prístupe k meraným údajom koncových odberateľov. Odberateľ by tak v zmysle tejto smernice mal mať prístup k výrobe a spotrebe elektriny bez dodatočných nákladov cez štandardizované rozhranie alebo cez vzdialený prístup, k meraným údajom v tzv. takmer reálnom čase. Takmer reálny čas je v kontexte inteligentného merania krátke časové obdobie, obvyčajne v rozsahu sekúnd alebo až po interval zúčtovania odchýlok na vnútroštátnom trhu, čo na Slovensku predstavuje 15 minútové intervaly.

Na základe vyššie uvedených skutočností vznikla spolupráca Slovenskej technickej univerzity v Bratislave a Ústavu materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied analýza rôznych spôsobov získavania dát z rôznych druhov inteligentných meracích systémov v rámci spoločne riešeného projektu CE2. Obidve inštitúcie majú vlastné, špecifické laboratórium pre výskum obnoviteľných zdrojov energie [4], [5], vybudované počas predchádzajúcich projektov financovaných z európskych štrukturálnych a investičných fondov. V tejto etape projektu je realizovaná ich modernizácia a čiastočná zmena spôsobu prevádzky jednotlivých výrobných zdrojov tak, aby predmet

ich výskumu priamo nadväzoval na výskumné aktivity v druhej etape projektu. Pristúpilo sa k zameraniu sa na spôsoby riadenia týchto výrobných zdrojov, ako aj na pokročilé simulácie technických vplyvov mikrogridu na okolitú sieť pre rôzne kombinácie režimov prevádzky jednotlivých výrobných zdrojov ale aj inštalovaných spotrebičov.

### Progres v modernizácii laboratória SAV

Výskumné aktivity Ústavu materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied v Bratislave vychádzajú taktiež z postupnej modernizácie jednotlivých obnoviteľných zdrojov energie [5], inštalácie nových technológií a systému merania vybudovaného inteligentného mikrogridu. Smartgrid sa nachádza v priestoroch laboratória Ústavu materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied v Bratislave.

Podobne, ako tomu bolo v prípade laboratória STU, aj v laboratóriu SAV boli počas predchádzajúcich projektov financovaných z európskych štrukturálnych a investičných fondov inštalované viaceré obnoviteľné zdroje. Išlo o fotovoltické elektrárne rôzneho typu a tepelné čerpadlo na báze využívania geotermálnej energie z vybudovaných geotermálnych vrtov. Fotovoltické elektrárne boli realizované z dvoch hlavných častí, a to z technológie tenkovrstvových CIGS (Copper Indium Gallium Selenide) panelov, s inštalovaným výkonom 10,5 kWp a z bežne používaných polykrystalických kremíkových panelov, s inštalovaným výkonom 16,2 kWp. Z fotovoltickej technológie boli inštalované aj tzv. experimentálne panely rôznej materiálnej štruktúry pre účely analýzy degradácie a taktiež aj špeciálne samostatné solárne články, pracujúce na princípe koncentrácie slnečného žiarenia, umiestnené na konštrukcii sledujúcej polohu slnka na oblohe počas dňa, tzv. „trackeroch“ s integrovaným chladením. Tepelné čerpadlo na princípe voda-voda s inštalovaným výkonom 6 kWe a 37 kWt, využíva vstupnú vodu z hlbinného zemného vrtu a bolo realizované pre potreby vykurovania, ale aj chladenia.

Počas prevádzky týchto zdrojov a po ukončení prvej etapy projektu sa taktiež ukázali viaceré technické aspekty, kvôli ktorým nebolo možné ďalej technológie prevádzkovať a vzhľadom na to, že boli technológie taktiež z veľkej časti realizované ako prototypové, bolo potrebné analyzovať tieto nedostatky, aby ich bolo možné v čo možno najkratšom čase odstrániť. V druhej etape projektu sa pristúpilo k postupnej rekonštrukcii a prioritne bola zvolená rekonštrukcia riadiaceho systému a fotovoltickej elektrárne. Smartgrid v laboratóriu SAV je riadený riadiacim systémom SIEMENS SIMATIC PCS7, na ktorý boli pracovníci aj školení, aby bolo možné v budúcnosti vykonávať nastavovanie a úpravy jednoduchšieho charakteru pre prípad doplnenia jednotlivých meracích členov, zmeny v konfigurácii rozhrania vizualizácie a podobne.

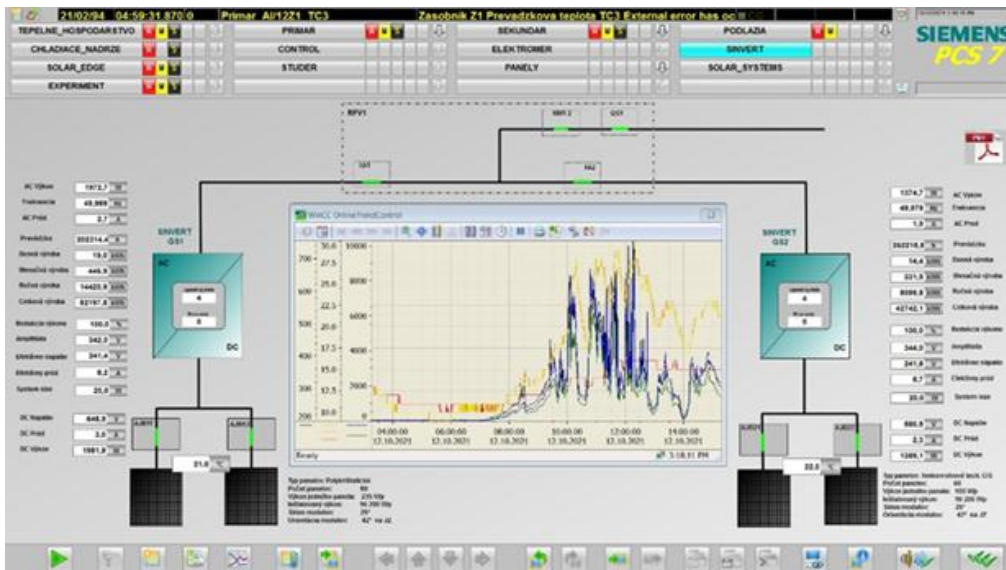


a)



b)

Obr.1 Obnoviteľné zdroje, ktoré sú súčasťou mikrogridu a) fotovoltická elektrárň (vľavo technológia CIGS, vpravo technológia polykrystalického kremíka, b) tepelné čerpadlo na geotermálnu energiu.



Obr.2 Riadiaci systém SIEMENS SIMATIC PCS7 a jeho grafické rozhranie pre vizualizáciu technológie a meraných hodnôt.

V súčasnej dobe je technológia riadiaceho systému FVE a samotnej FVE plne funkčná a podobne ako v laboratóriu STU, aj v laboratóriu SAV bol zvolený spôsob merania v zmysle aspektov, o ktorých sa pojednáva v legislatívnych rámcoch spomínaných v úvode. Riadiaci systém SIEMENS SIMATIC PCS7 poskytuje merané údaje a ich archiváciu z fotovoltaickej elektrárne, experimentálnych panelov a údajov z meteorostanice. Súčasťou meteorostanice je meranie teploty, rýchlosti a smeru vetra a meranie intenzity globálneho slnečného žiarenia certifikovaným pyranometrom Kipp&Zonen CMP11 s platným protokolom o kalibrácii. Prístupilo sa k zvoleniu tzv. podružného merania s vysokou frekvenciou zberu dát. Boli použité inteligentné elektromery s komunikáciou prostredníctvom MODBUS protokolu a komunikačného rozhrania RS 485. Komunikácia prebieha prostredníctvom mikropočítača Raspberry PI, ktorého komunikačný softvér zvláda zbierať údaje z inteligentných elektromerov s vysokou frekvenciou odčítania a zápisu do súboru, a to každú sekundu.

### Rozšírenie výskumného potenciálu Smart Gridu laboratória SAV

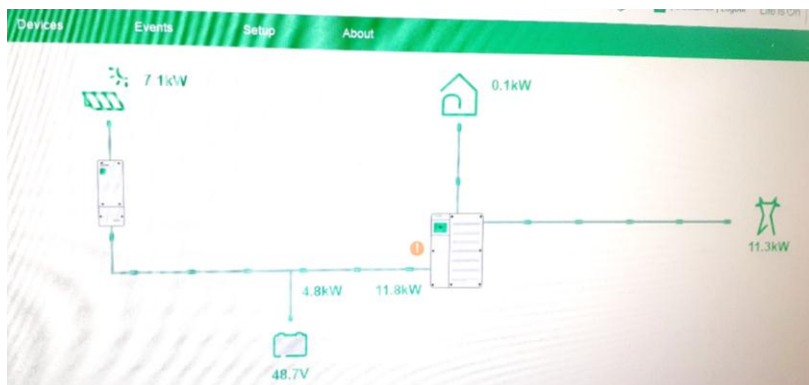
Realizáciu plánovanej investície v rámci modernizácie smartgridu sa dosiahla transformácia časti fotovoltaickej elektrárne (FVE s polykrystalickými panelmi) zo sieťovej na hybridnú prevádzku s doplnením technológie akumulácie a zabezpečeného napájania časti obvodov v režime ostrovnej prevádzky.



Obr.3 Nové rozšírenie Smartgridu o batériové úložisko so systémom nabíjačiek a striedačov.



Takéto riešenie umožní využívať elektrinu z FVE, riadiť jej prebytky a akumulovať ju. Následne je možné v ostrovej prevádzke simulovať a analyzovať rôzne prevádzkové stavy. V ďalšej etape výskumu bude vytvorené automatizované riadenie výkonu systému, ktorý bude napojený na predikciu výroby elektrickej energie z FVE na základe meteorologických údajov. Je predpoklad, že takýmto spôsobom bude možné prevádzkovať systém aj s nižšou kapacitou.



Obr.4 Monitorovací systém batériového úložiska v prevádzke.

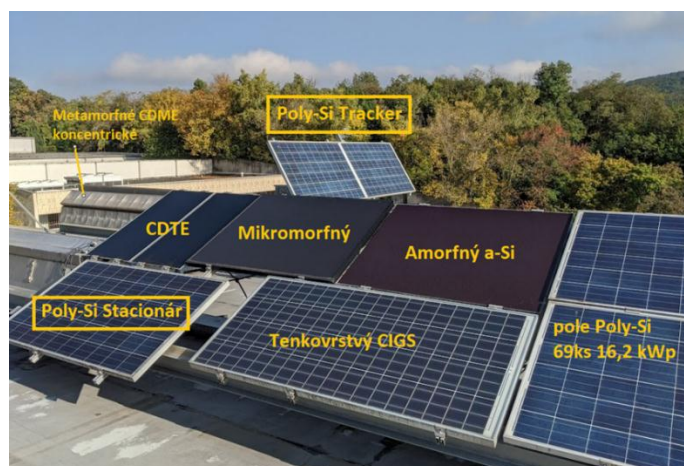
Okrem uvedeného výskumu prebieha rekonštrukcia trackovacích konštrukcií s cieľom využiť ich pre nové fotovoltaické panely. Budú tak súčasne dostupné údaje o výrobe fotovoltaickej elektrárne v statickom rozpoložení, slnko-sledujúcom rozpoložení a pokiaľ budú nové FV panely rovnakej technológie, bude možné taktiež analyzovať pokrok v zvyšovaní účinnosti polykrystalických panelov ako aj mieru ich degradácie v čase.

### Analýzy prevádzkových stavov Smart Gridu

Táto analýza sa zameriava po inštalácii batériového úložiska analýzou prevádzkových stavov kombinácie fotovoltaickej elektrárne a batériového úložiska a možnosťami využiteľnosti takejto Smart Grid v praxi.

### Vybrané prevádzkové stavy a udalosti na FV systéme Smart Gridu

V rámci Smart Gridu UMMS SAV sú na streche experimentálnej haly prevádzkované, merané a porovnávané viaceré typy FV panelov obr.5. Pri ich prevádzke sa kombinujú viaceré vplyvy. A to nielen meteofaktory, ako zatienie, orientácia, polohovanie/trackovanie, no aj elektrické zapojenie, charakter odberu el. energie, a neposledne teplota samotného panelu.



Obr.5 Testované FV panely na streche experimentálnej haly UMMS SAV.

V článku predkladaných prevádzkových stavov sú za pohľadu prevádzky, no najmä produkcie a efektivity výroby elektrickej energie vybrané nasledovné stavy a udalosti:

- poruchové stavy FV panelu, defektné bunky,
- poruchy na polohovacom zariadení a ich vplyv na redukciu vyrobenej el. energie na strane FV panelov,
- účinnosti FV elektrárni, polí dvoch rôznych druhov panelov.

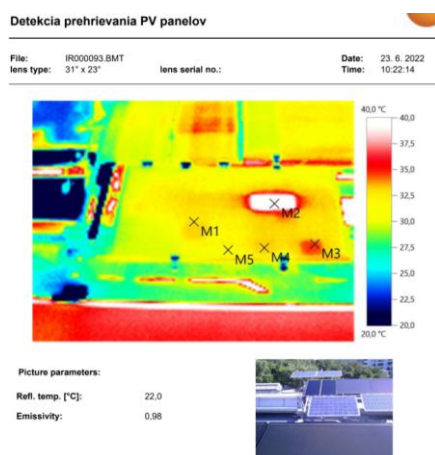
Tab.1 Porovnanie nameraných výkonov experimentálnych FV panelov za slnečného dňa (19.5.2022).

Slnecná energia	19.5.2022							
	8289,7 Wh/m2 deň	ASi - P Value	Mikromorfny - P	CdTe - P ValueY	CIGs - P ValueY	PolyTrack - P	PolySi static - P	
Výroba za deň	Wh	662,5	784,8	976,3	782,5	4117,4	1285,2	
Plocha panelov	m2	1,25	1,25	1,65	1,25	3,30	1,65	
Výkon panelov	Wp in total	100	145	175	150	470	235	
Celkovo vyrobená EE	Wh/m2 day	530,7	628,6	591,7	626,8	1247,7	778,9	
Plošná účinnosť	%	6,4%	7,6%	7,1%	7,6%	15,1%	9,4%	
Merný výkon	kWh/kWp	6,63	5,41	5,58	5,22	8,76	5,47	
Efektívnosť k CIGs	%	127,0%	103,7%	106,9%	100,0%	167,9%	104,8%	

## Poruchové stavy FV panelu, defektné bunky

V rámci dlhodobej prevádzky fotovoltického systému dochádza na FV paneloch nielen k ich postupnej degradácii, ale aj k poruchám spôsobenými rôznymi hraničnými stavmi, udalosťami, ktoré mnohokrát nie je možné predvídať. Preto je na mieste pravidelná kontrola, meranie (profilaktika) prevádzkových stavov, pri ktorých je možné detekovať nielen systémové, ale aj lokálne poruchy. V podmienkach Smart Gridu UMMS SAV, kde sú dlhodobo porovnávané viaceré druhy FV panelov a niektoré aj s polohovaním, je pravidelná kontrola stavu panelov kľúčová pre správne vyhodnotenie a porovnanie.

Základným nástrojom kontroly FV panelov je kontrola funkčnosti jednotlivých buniek, kedy prehrievanie signalizuje poruchový stav a to nielen na konkrétnej bunke, ale aj na celej línii buniek s ktorými je spojená v sérii. Záznam z protokolu detekcie porúch infrakamerou ukazuje poškodené bunky na obr.6.



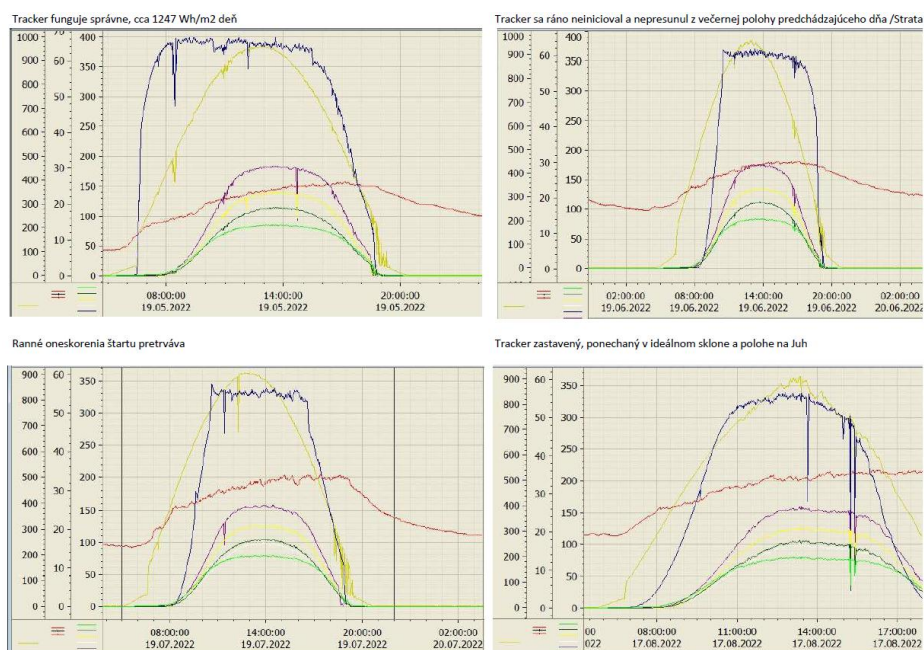
Obr.6 Záznam z protokolu detekcie porúch infrakamerou s identifikáciou poškodených buniek FV polykryštálického panelu.

## Poruchy na polohovacom zariadení a vplyv na redukcii výroby na strane FV panelov

Polohovacie, alebo trekovacie zariadenie umožňuje intenzívnu výrobu elektrickej energie z FV panelov. Avšak keďže sa jedná o komplexné technické zariadenie, toto si vyžaduje údržbu a pravidelný prevádzkový servis. Otázkou je pri klesajúcich cenách samotných panelov ich opodstatnenosť ako aj prínos.

Tab.2 Porovnanie poklesu efektívnosti poruchami na trackeri (v ľavej časti polySi na trackeri, v pravej časti polySi stacionárne 42° JZ).

		19.5.2022		19.6.2022		17.8.2022	
Slnečná energia	Wh/m2 deň	8 293		8 456		6 848	
Výroba za deň	Wh	4 117	1 285	3 192	1 248	2 282	1 028
Plocha panelov	m2	3,3	1,65	3,3	1,65	3,3	1,65
Výkon panelov	Wp in total	470	235	470	235	470	235
Celkovo vyrobená EE	Wh/m2 day	1 248	779	967	756	692	623
Plošná účinnosť	%	15,0%	9,4%	11,4%	8,9%	10,1%	9,1%
Merný výkon	kWh/kWp	8,76	5,47	6,79	5,31	4,86	4,38
Efektívnosť k polyTrack	%	100%	62%	78%	61%	55%	50%



Obr.7 Vývoj poruchy trackovacieho zariadenia a dopad na pokles účinnosti a výroby el. energie (žltá čiara je priebeh slnečného osvetlenia-stupnica ľavého stĺpca, modrá-PolySiTrack 470W 2panely, Fialová PolySi statický 1x235W, svetložltá-CdTe, čierna-Mikromorfný, biela-CIGS, zelená aSi - pravá stupnica [W], ružová, červená kumulatívna výroba el. energie v kWh a červená tenká je teplota okolia- stredný stĺpec).

## Účinnosti FV elektrárni, polí rôznych druhov panelov

Význam tenkovrstvých panelov narastá s podoblačným rozptýleným slnečným žiarením. Vtedy vyrábajú s vyššou efektívnosťou ako monokryštalické, či polykryštalické panely. Pri prevádzke FV systému je potrebné sledovať efektívnosť na základe, ktorej je možné identifikovať výskyt porúch, či defektov panelov. Na nasledovných dvoch obrázkoch je pekne vidieť stúpajúci trend efektívnosti polykryštalických panelov oproti tenko vrstvomým s príchodom slnečnejšieho počasia počas jari tab. 1.

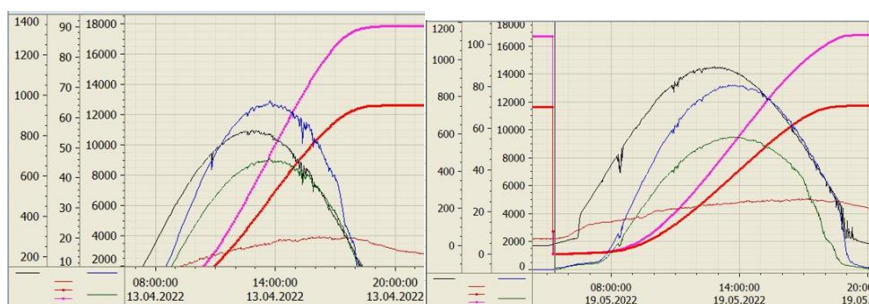
V jarných mesiacoch bola produkcia, merná produkcia vztiahnutý na výkon dokonca vyššia pri tenko vrstvovom CIS FV paneli.

Tab.3 Porovnanie efektívnosti výroby 13.4. a 19.5.2022 FV polí PolySi 16,2kWp vs CIS 10,5 kWp.

Poly 16,2 kWp	Solar osvit W/m2 deň	CIS 10,5 kWp
89 905 Wh	6 387	64 422 Wh
113,85 m2		87,4 m2
16215 Wp in total		10500 Wp in total
789,68 Wh/m2 day	7,121%	737,19 Wh/m2 day
12,4% Eff		11,5% Eff
5,54 kWh/kWp		6,14 kWh/kWp

## Záver

Táto publikácia vznikla na základe vzájomnej spolupráce Slovenskej technickej univerzity v Bratislave a Ústavu materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied v Bratislave. Prínos k riešeniu v zmysle aktivít projektu bol najmä vďaka tomu, že obidve inštitúcie disponujú vlastným laboratóriom pre výskum obnoviteľných zdrojov a participujú na riešení v zmysle aktivít projektu. Pokiaľ ide o jednotlivé technológie obnoviteľných zdrojov, z časti obsahujú rovnaké technológie a práve preto bol zvolený odlišný spôsob merania a získavania dát. Keďže, ako bolo spomenuté v úvode, jedná sa o komplikovanú problematiku merania, získavania a spracovania dát vzhľadom na víziu budúceho rozvoja decentralizovanej energetickej infraštruktúry a inteligentných sietí v odvetví elektroenergetiky – smartgridov.



Obr.9 Zvyšovanie výkonu polykrystalických panelov s nástupom slnečného počasia z 13.4.2022 na 19.5.2022 a predlžovaním sa slnečných hodín z dĺžkou dňa, (čiernou čiarou je priebeh slnečného osvitu-stupnica prvého stĺpca, modrým-polySi 16,2kWp, zeleným CIS 10,5kWp- pravá stupnica [W], ružová, červená s bodmi je kumulatívna výroba el. energie v kWh a červená tenká je teplota okolia-stredný stĺpec).

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

- [1] Poničan, Ján -- Kurcz, János -- Perný, Milan -- Slávik, Jakub -- Janíček, František -- Sadloň, Matej -- Simančík, František -- Gebura, Marek -- Jarás, Milan -- Kment, Attila -- Pípa, Marek: Aplikovaný výskum inteligentných OZE vyústil do významnej spolupráce STU, SAV a priemyselných partnerov - 2. časť. *ATP Journal*, 29. s. 62--64.
- [2] Janíček, František -- Šály, Vladimír -- Packa, Juraj -- Perný, Milan -- Kováč, Zoltán -- Szabová, Miriam: STU, Slovenská akadémia vied a priemyselní partneri riešia v rámci spoločného projektu kľúčové otázky zo smart energetiky. *Magazín mobilita - stroje - technológia - ekológia*, 16. s. 48--50.
- [3] Kurcz, János -- Poničan, Ján -- Perný, Milan -- Šály, Vladimír -- Jarás, Milan: Špecifiká priebehu dodávky elektrickej energie z fotovoltaických elektrární. In: *Elektrotechnologie 2022 / ETGALL 2022*, MACH, P., Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2022, s. 56--61. ISBN 978-80-01-06991-2.
- [4] Kurcz, János -- Poničan, Ján -- Perný, Milan -- Janíček, František -- Simančík, František -- Gebura, Marek -- Jarás, Milan: Dynamický priebeh dodávky elektrickej energie z fotovoltaických elektrární. In: *Energetika*, 72. s. 123--128.
- [5] Kurcz, János -- Poničan, Ján -- Chudý, Michal -- Šály, Vladimír -- Janíček, František -- Gebura, Marek: Dynamic changes of photovoltaic power plants power supply. In: *Elektroenergetika 2022*, KOLCUN, M. -- KOLCUNOVÁ, I. -- KURIMSKÝ, J., Košice: Technical University of Košice, 2022, s. 251--255. ISBN 978-80-553-4104-0.
- [6] Vyhláška 358/2013 Z. z. Ministerstva hospodárstva Slovenskej republiky z 28. októbra 2013, ktorou sa ustanovuje postup a podmienky v oblasti zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike. *Dostupné online*: <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2013/358/#paragraf-4.odsek-4>>.
- [7] Zákon č. 251/2012 Z. z. z 31. júla 2012 o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov. *Dostupné online*: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2012/251/>.
- [8] Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2019/944 z 5. júna 2019 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou a o zmene smernice 2012/27/EÚ. *Dostupné online*: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=SK>>.

## VÝZNAM FOTOVOLTCICKEJ ELEKTRÁRNE S BATÉRIOVÝM ÚLOŽISKOM A PRVÉ VÝSLEDKY VÝSKUMU NA TAKOMTO SYSTÉME

**János Kurcz, Ján Poničan, Peter Tóth, Milan Jarás, Jaroslav Longauer, Marek Gebura, František Simančík**  
*Ústav materiálov a mechaniky strojov, SAV, Dúbravská cesta 9, 845 13 Bratislava*  
*E-mail: janos.kurcz@savba.sk*

### Úvod

Fotovoltaické elektrárne (ďalej FVE) sú s pomedzi dostupných obnoviteľných zdrojov elektrickej energie (ďalej OZE) najviac dostupné nielen pre domácnosti a firmy, ale aj pre energetické podniky. Nasvedčuje tomu aj zvýšený dopyt na trhu od začiatku energetickej krízy. Existuje mnoho dôvodov prečo zažívajú najväčší rozmach. Tie najvýznamnejšie sú nasledovné:

- Dobrá dostupnosť a cena prvkov na trhu.
- Relatívne krátky čas medzi vznikom požiadavky na vybudovanie FVE a skutočným spustením elektrárne.
- Vysoká flexibilita rozširovania a zmeny inštalácie.
- Jednoduchá montáž a takmer bezúdržbová prevádzka bez pohyblivých častí.

Okrem spomenutých výhod FVE majú aj mnohé nevýhody a negatívne vplyvy na prevádzku elektrizačnej sústavy a na trh s elektrinou [2-4]. Intermitentnosť FVE spôsobuje najväčšie problémy prevádzkovateľom elektrizačných sústav. Variabilita týchto elektrární sa mierne znižuje ich veľkosťou [5], resp. ich rozšírením na čo najväčšom území [6]. Z dôvodu ťažkej predikovateľnosti a malých množstiev vyrobenej elektrickej energie nie je možné s ňou priamo obchodovať. Okamžitá výroba elektrickej energie z FVE sa v mnohých prípadoch neprekrýva so spotrebou odberateľa.

Hybridné systémy, ktoré obsahujú FVE a akumulčné zariadenie vytvárajú priestor pre presúvanie času dodávky elektrickej energie z času výroby. Pre FVE vzniká určitá nezávislosť

dodávaného výkonu od poveternostných podmienok. Táto nezávislosť je funkciou kapacity akumuláčného zariadenia.

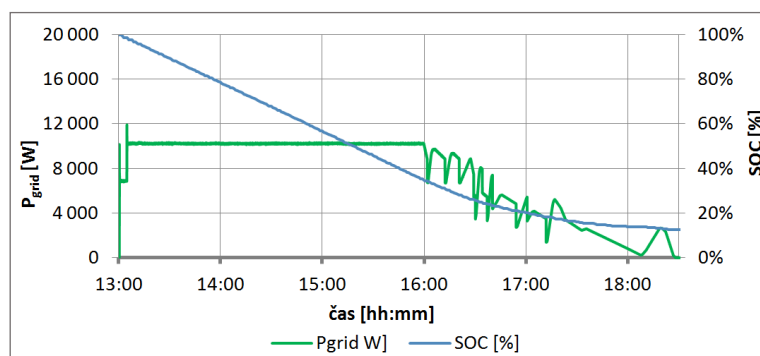
## 1. Teoretický rozbor

Parametre hybridného fotovoltaického systému Ústavu materiálov a mechaniky strojov (ďalej ÚMMS) Slovenskej akadémie vied (ďalej SAV) sú uvedené v tabuľke tab.1.

Tab.1 *Parametre hybridného fotovoltaického systému ÚMMS SAV [7-8].*

Parameter	Hodnota	Poznámka
$P_{inšt-FVE}$ [kW]	15,51	Celkový inštalovaný výkon FV modulov
$P_{inšt-inv}$ [kVA]	20,4	Celkový inštalovaný výkon striedačov
$P_{vs-inv}$ [W]	198-570	Celková vlastná spotreba striedačov
$P_{vs-mppt}$ [kW]	Do 95 %	Účinnosť nabíjačiek <sup>1</sup>
$E_{acu}$ [kWh]	49,73	Celková kapacita akumulátorov
$E_{acu-use-p}$ [kWh]	47,24	Využitelná kapacita akumulátorov - dané výrobcom
$E_{acu-use-m}$ [kWh]	43,3	Využitelná kapacita akumulátorov - meranie <sup>2</sup>

Špecifickou vlastnosťou a tým aj okrajovými podmienkami prevádzky akumuláčného systému sú hranice nabitia a vybitia. Veľkosť nabíjacieho prúdu je postupne obmedzovaný z dôvodu vysokého nabitia akumulátorov. Na druhej strane pri vybití, riadenie akumuláčného zariadenia obmedzuje vybitý prúd pri nízkych hodnotách nabitia. Tieto okrajové podmienky sú definované výrobcom v riadiacom algoritme akumulátorov za účelom zvyšovania životnosti (množstva nabíjajúcich-vybíjajúcich cyklov). Obmedzenie vybitia je možné vidieť na obr.1.



Obr.1 *Priebeh dodávaného výkonu pri vybití akumulátorov do siete pri prúde 13,8 A v každej fáze.*

Počas experimentu bol systém schopný dodávať nastavený výkon po dobu takmer 3 hodín od 13:05 do 18:30. Pri SOC (state of charge - percento nabitia akumulátorov) 35 % zariadenia začali obmedzovať dodávaný výkon aby nedošlo k trvalému poškodeniu akumuláčného zariadenia.

<sup>1</sup> Pre výkony 2200 - 6000 W je účinnosť vyššia ako 90 %, pre výkony 800 - 2200 W je v rozmedzí 80 až 90 % a pre nižšie výkony prudko klesá.

<sup>2</sup> Experimentálne meranie prebehlo pri konštantnom dodávanom prúde 13,83 A v každej fáze, až po úplné vybitie (obr.1).

## 2. Experiment

Predmetom prvých experimentov na vyššie uvedenom systéme bolo dodávanie ustáleného výkonu počas rovnakého časového intervalu. Veľkosť dodávaného výkonu sa navrhol a manuálne nastavil deň pred skutočnou dodávkou na základe meteorologických predpovedí počasia a predchádzajúcich skúseností prevádzky on-grid FVE s uvažovaním vlastnej spotreby zariadení.

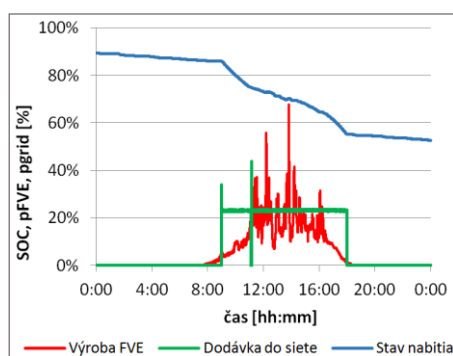
V prvej fáze experimentov sa zisťovala potrebná kapacita akumulátorov pre konštantnú dodávku elektrickej energie. Na diagramoch obr.2-4 je možné vidieť porovnanie priebehu dodávaného výkonu hybridným systémom a výroby FVE rádo vo podobného výkonu s mierne odlišnou technológiou. Hodnoty uvedené v diagramoch sú v pomere k inštalovanému výkonu jednotlivých FVE nasledovne:

$$P_{FVE} = \frac{P_{FVE1}}{P_{inšt-FVE1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

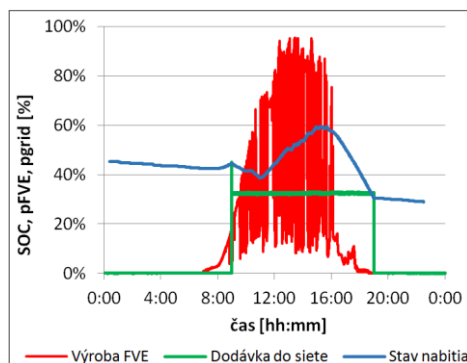
$$p_{grid} = \frac{P_{grid}}{P_{inšt-FVE2}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde  $P_{FVE1}$  je aktuálny výkon FVE pracujúca do siete (on-grid) s prislúchajúcim inštalovaným výkonom  $P_{inšt-FVE1}$ . Veličina  $P_{grid}$  označuje okamžitú dodávku výkonu do siete a  $P_{inšt-FVE2}$  je inštalovaný výkon FVE zapojenej do hybridného systému.

Počas zamračeného dňa (obr.2) bol dodávaný konštantný výkon nastavený na približne 23 % inštalovaného výkonu FVE. Tento výkon bol dodávaný 9 h. Pričom pre reguláciu a vykrytie vlastnej spotreby bolo potrebných 30,8 % (15,33 kWh) kapacity akumulátorov. Je predpoklad, že v prípade presnejšieho odhadu by postačovala nižšia využiteľná kapacita akumulátorov.

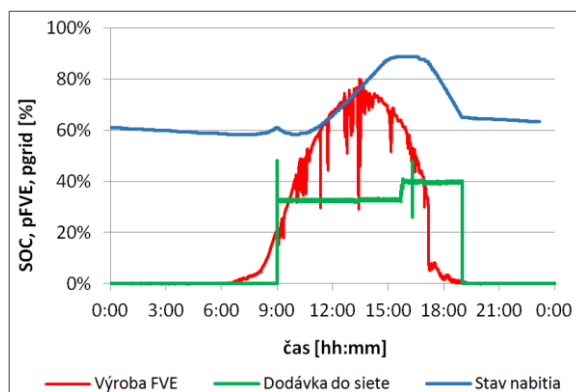


Obr.1 Priebeh dodávaného výkonu, výroby FVE a stavu nabitia akumulátorov počas zamračeného dňa v mesiaci september.



Obr.2 Priebeh dodávaného výkonu, výroby FVE a stavu nabitia akumulátorov počas polooblačného dňa v mesiaci september.

Zásadnou výhodou hybridného systému je v tom, že počas polooblačného dňa (obr.3) s vysokou variabilitou bolo možné dodávať konštantný výkon počas doby 10 hodín (pri výkone 32 % inštalovaného výkonu FVE). Počas tohto dňa sa dosiahla relatívne vysoká presnosť odhadu dodanej energie (vrátane vlastnej spotreby), keďže zmena v SOC akumulátorov pred a po dodávke bola len 14,1 %. Na druhej strane pre reguláciu bolo potrebné využiť až 29 % kapacity akumulátorov.



Obr.3 Priebeh dodávaného výkonu, výroby FVE a stavu nabitia akumulátorov počas slnečného dňa v mesiaci september.

Pri vysokej nepresnosti odhadu výroby FVE a pri nedostatočnej rezerve nabitia akumulátorov, ako to nastalo počas jasného dňa, bolo potrebné zvýšiť dodávaný výkon do siete. Zmena vo veľkosti dodávaného výkonu nastala z dôvodu, že riadenie akumulátorov už začalo obmedzovať výkon FVE. V prípade, že takéto systémy budú zapojené do trhu s elektrinou, v určitých prípadoch je možno finančne výhodnejšie radšej obmedziť výkon FVE ako zaplatiť penalizáciu za nedodržanie obchodných množstiev.

### 3. Výsledky a diskusia

Dodávka konštantného výkonu počas určitého časového okna bez softvérovej predikcie výroby FVE vyžaduje využívanie veľkej časti kapacity akumulačného zariadenia. Je potrebné udržiavať akumulátor nabitý s dostatočnou rezervou aj pre vybíjanie aj pre nabíjanie. Pomerne vysoká kapacita akumulačného zariadenia umožňuje aj takúto reguláciu. Pre investorov však takéto predimenzované riešenie môže byť finančne nevýhodné. Trh s elektrinou umožňuje obchodovať s elektrinou v tzv. blokoch (peak load, base load), ktoré je možné nasimulovať metódou uvedenou v kapitole 3. Experiment. Podľa štúdií [10-11] je pri hybridných systémoch alebo virtuálnych elektrárňach s FVE vhodnejšie dodávať elektrinu na dennom trhu s elektrinou a v hodinových blokoch. V ďalšej etape výskumu bude vytvorené automatizované riadenie výkonu systému, ktorý bude napojený na predikciu výroby elektrickej energie z FVE na základe meteorologických údajov. Je predpoklad, že takýmto spôsobom bude možné prevádzkovať systém aj s nižšou kapacitou. Optimalizačný algoritmus zabezpečí výhodnú prevádzku z rôznych požadovaných hľadísk (dosiahnutie najväčšej výroby a/alebo zisku z predaja elektrickej energie, minimalizovanie produkcie CO<sub>2</sub>, zvyšovanie životnosti zariadení a iné). Systém umožňuje nabíjanie akumulátorov aj zo siete, čo prináša ďalšie funkcie nielen pre služby prevádzkovateľom sústav, ale aj možnosť nabíjania akumulátorov v čase nízkej ceny elektrickej energie a následného vybíjania v čase s vysokou cenou.

### Záver

Konfigurácia hybridnej elektrárne v rámci Smart Gridu ÚMMS SAV umožňuje dodávanie stáleho výkonu do siete nezávisle od výroby FVE, čím sa takmer úplne eliminuje intermitentnosť FVE. Je možné presúvať dodávku elektrickej energie do siete na iný časový interval ako čas výroby pomocou skladovania energie v akumulátoroch.



Na základe doteraz získaných skúseností a cieľov výskumu je v pláne previesť nasledovné simulácie na Smart Grid:

- dodávka konštantného výkonu do siete v určitom časovom intervale,
- orezávanie výkonových špičiek spotreby a tým znižovanie zmluvného výkonového maxima (znižovanie fixných nákladov za elektrickú energiu) odberateľa,
- regulácia dodávky elektrickej energie na základe krivky ceny elektrickej energie na dennom trhu,
- prípadne agregovanie, poskytovanie flexibility pri združenej prevádzke viacerých takýchto zariadení a iné.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

- [1] Slovenská asociácia fotovoltaického priemyslu: *Fotovoltaika a jej výhody*, [online], (2022), [cit. 7.10.2022], dostupné na: < <https://www.sapi.sk/fotovoltaika>>.
- [2] Ž. ELESCHOVÁ et al.: *19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Smart Grids Analysis – View of the Transmission Systems Voltage Stability, str. 1-6, (2018), 10.1109/EPE.2018.8396023.
- [3] Ž. ELESCHOVÁ et al.: *19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, The influence of smart grids on a large synchronous generators operation, str. 1-6, (2018), 10.1109/EPE.2018.8395948.
- [4] J. BENDÍK et al.: *22th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Stochastic Concept for Modeling Distributed Energy Resources in Power Systems, str 1-6, (2022).
- [5] J. KURCZ et al.: *Energetika*, Dynamický priebeh dodávky elektrickej energie z fotovoltaických elektrární - 1. Fotovoltaické elektrárne na Slovensku, In. číslo 2, roč. 72, str. 123-128, (2022), ISSN 0375-8842.
- [6] J. KURCZ et al.: *11th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering*, Dynamic Changes of Photovoltaic Power Plants Power Supply, str. 251-255, (2022).
- [7] Schneider Electric: *Conext™ XW Inverter/Charger*, str. 118, (2016).
- [8] Schneider Electric: *MPPT PV Optimization 600 Vdc Solar Charge Controllers*, str. 2, (2022).
- [9] Pylontech: *Rechargeable Li-ion Battery US3000C Operation Manual*, str. 5, (2022).
- [10] R. CALDON et al.: *9th International Universities Power Engineering Conference*, Optimisation algorithm for a virtual power plant operation, UPEC 2004, vol. 2, str. 1058-1062, (2004).
- [11] P. LOMBARDI et al.: *Power & Energy Society General Meeting*, Optimal Operation of a Virtual Power Plant, PES '09, IEEE. str. 1 - 6, (2009), DOI: 10.1109/PES.2009.5275995.

# PREVÁDZKOVÁ ANALÝZA SIEŤOVEJ FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE V RÁMCI SMART GRIDU

**Ján Poničan, Milan Jarás, János Kurcz, Marek Gebura, Jaroslav Longauer, František Šimančík**  
*Ústav materiálov a mechaniky strojov, SAV, Dúbravská cesta 9, 845 13 Bratislava*  
*E-mail: jan.ponican@savba.sk*

## Úvod

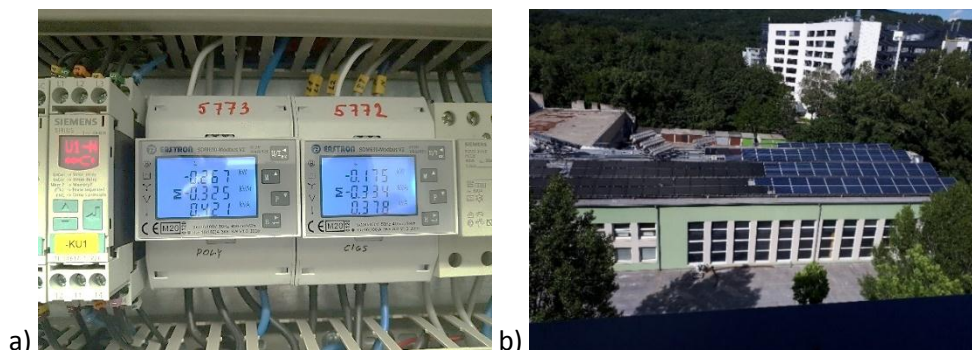
Príspevok z oblasti sekcie „Obnoviteľné zdroje v rámci Smart Grid“ popisuje doterajšie výsledky prvej fázy výskumu a analýz prevádzkových stavov sieťovej fotovoltaickej elektrárne s inteligentným monitorovaním a zberu dát v takmer reálnom čase sekundového merania. Príspevok obsahuje zhodnotenie prevádzky sieťovej fotovoltaickej elektrárne na Ústave materiálov a mechaniky strojov (ÚMMS) Slovenskej akadémie vied (SAV) v rámci celoročnej prevádzky, merania a zberu údajov inteligentným elektromerom s automatikou komunikáciou a archiváciou meraných dát. Tento príspevok prináša v nadväznosti na ďalšie publikácie [1, 2] zo smartgridu na Ústave materiálov a mechaniky strojov SAV cenné poznatky o spôsoboch prevádzky a riadenia výroby elektriny vysoko nepredikovateľným zdrojom – fotovoltaickou elektrárnou. Cieľom tohto príspevku v rámci sekcie je poukázanie na širokú premenlivosť výroby elektriny z fotovoltaickej elektrárne, pracujúcej v sieťovej prevádzke v čase. Okrem štandardného vyhodnotenia výroby elektriny (kumulatívne vyhodnotenie v mesačných intervaloch) sa tento príspevok zameriava na vyhodnotenie sekundových priebehov výkonu v rámci vybraných dní a pri všetkých štyroch ročných obdobiach. Vysokú premenlivosť výkonu a prudké dynamické zmeny v generovanom výkone je dôležité poznať, a to najmä pri malých FVE pracujúcich v rezidenčných podmienkach. V tomto prostredí je z legislatívnych aspektov nesmierne dôležité, aby bola elektrina z FVE spotrebovaná v reálnom čase, pokiaľ nie je odberné miesto vybavené akumuláciou elektriny. Produkcia elektriny má počas dňa častokrát veľmi dynamický priebeh. Bežné výsledky simulácie z používaných simulačných nástrojov prezentujú kumulatívne mesačné produkcie elektriny počas roka, no úplne absentujú fluktuáciu denných množstiev produkovanej elektriny. Takéto výsledky sú častokrát používané aj pre marketingové účely, kde sú potenciálnemu investorovi z rezidenčnej oblasti – tzv. prosumerovi, prezentované teoretické množstvá elektriny, ktoré počas jednotlivých mesiacov v roku FVE vyprodukuje, no veľkú časť z tohto množstva prosumer nie je schopný bez systému akumulácie využiť.

## 1. Špecifikácia sieťovej fotovoltaickej elektrárne v smartgride

V rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra vznikol Projekt „Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa“, ktorý si kladie za cieľ v nadväznosti na niektoré ambiciózne ciele Európskej komisie prinášať riešenia pre rozvoj smartgridov. Jedným z nich je napr. príprava slovenského energetického sektora na nové výzvy plynúce z aktuálnych európskych právnych predpisov v oblasti energetiky, inteligentných sietí a trhu s energiou. V rámci tohto projektu prebehla okrem iných činností v rámci aktivít projektu aj revitalizácia existujúcej fotovoltaickej elektrárne (FVE). Elektrárňou, ktorá najprv bola spustená v režime sieťovej prevádzky a doplnená o systém automatizovaného merania a zberu dát s využitím inteligentného meracieho systému s automatickým zberom a archiváciou meraných údajov [1], bola v nedávnej dobe rekonštruovaná do režimu hybridnej prevádzky a doplnená o aktívne riadený manažment a batériové akumulčné úložisko. Počas príprav rekonštrukcie FVE na režim hybridnej prevádzky, boli získané cenné merané dáta počas obdobia jedného roku. Tieto údaje ponúkajú široké možnosti pre spracovanie a rôzne analýzy

Grafické vyhodnotenie priebehov výroby elektriny FVE na streche laboratória ÚMMS SAV, ktoré sú uvedené v tomto príspevku sú ilustrované pre vybrané dni počas roka takým spôsobom, aby bolo možné v rámci jedného mesiaca interpretovať jasný slnečný deň, polooblačný deň s vysokým kolísaním výkonu FVE a čisto zamračený deň. Všetky spracované dáta pochádzajú z okamžitého merania s časovým rozlíšením 1s inteligentným elektromerom Eastron SDM630-Modbus V2 3F

s automatickou MODBUS komunikáciou prostredníctvom mikropočítača Raspberry PI (obr.1). Inštalovaný výkon FVE je 16,2 kWp, pozostávajúcej z 69 ks polykrystalických panelov s jednotkovým výkonom 235 Wp. Jedná sa o pomerne staršiu inštaláciu (sprevádzkovanú v r. 2014). Orientácia FVE je 42° na JZ a sklon panelov je 26°. Situácia umiestnenia FVE je znázornená na obr.1, pričom predmetná FVE s polykrystalickými panelmi je v pravej časti strechy laboratória [1].



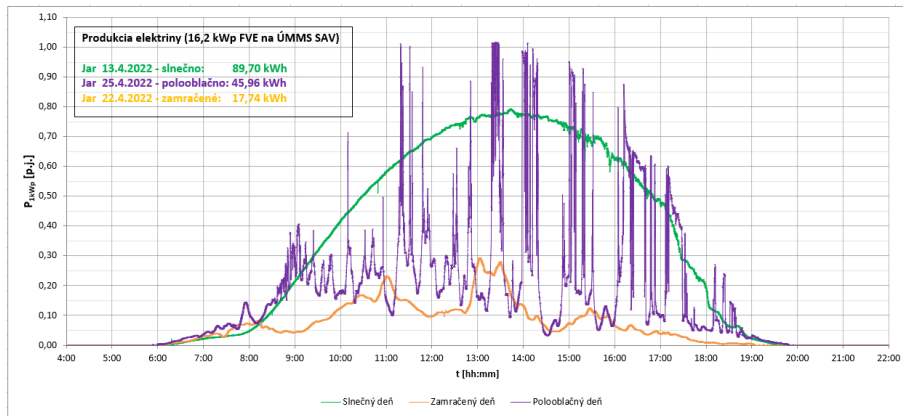
Obr.1 Systém merania inteligentným elektromerom s MODBUS protokolom pre automatickú komunikáciu a) Situácia umiestnenia FVE na streche ÚMMS SAV b).

## 2. Vyhodnotenie priebehov výkonu FVE počas vybraných dní v roku

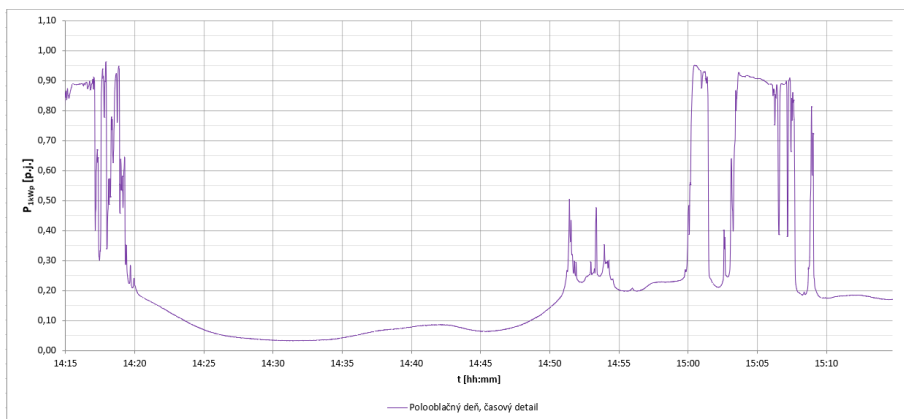
Všetky grafické priebehy majú skutočnú hodnotu výkonu (os „y“ ) prepočítanú na mernú jednotku 1 kWp, čo je praktickejšie pre porovnanie s FVE rozdielneho inštalovaného výkonu. Taktiež je túto os možné interpretovať cez pomernú jednotku od hodnoty 0 do hodnoty 1 a prezentovať ako percentuálne vyjadrenie skutočného výkonu. Nasledujúce grafické priebehy znázorňujú priebeh výkonu počas vybraných dní v rámci štyroch ročných období. Ročné obdobia pre jednotlivé vybrané dni boli vybrané ako príslušné vybrané mesiace, a to:

- jar – mesiac marec,
- leto – mesiac júl,
- jeseň – mesiac september,
- zima – mesiac január.

Na obr.2 vidieť priebehy FVE počas vybraných dní počas aprílového počasia. 13.4.2022 bol deň s najvyššou produkciou (takmer 90 kWh) bol počas slnečného počasia. Počas zamračeného dňa vyrobila FVE len 17,74 kWh elektriny, čo predstavovalo len približne 20% produkcie voči slnečnému jarnému dňu. Zaujímavý je najmä polooblačný deň, kedy FVE vyprodukovala takmer 46 kWh, no FVE dosahovala vysokú dynamiku zmeny výkonu v čase (obr.3). Vyššie maximálne hodnoty výkonu sú spôsobené vyššou intenzitou slnečného žiarenia, nakoľko v daný deň bol veľmi čistý vzduch (spôsobený veterným počasím a prechodom preháňok v predošlom dni). Vyšší výkon je taktiež spôsobený aj teplotou panelu, pretože pri striedajúcich sa oblakoch sa povrch panelu neprehrieva tak výrazne, ako je tomu pri celodennom slnečnom počasí. Maximálna teplota vzduchu bola v slnečný deň 20°C a teplota panelu dosahovala 42°C. V slnečný deň bola maximálna intenzita slnečného žiarenia 820 W.m<sup>-2</sup> a v polooblačný deň pri „čistejšom“ vzduchu až 1310 W.m<sup>-2</sup>.

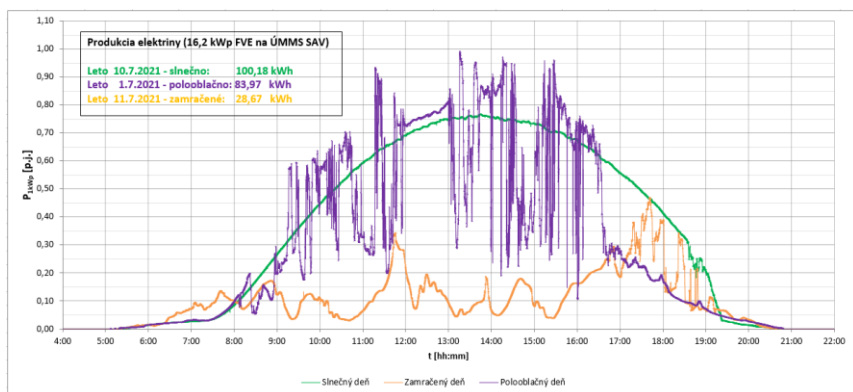


Obr.2 Priebeh výkonu FVE - Jarné obdobie (apríl).

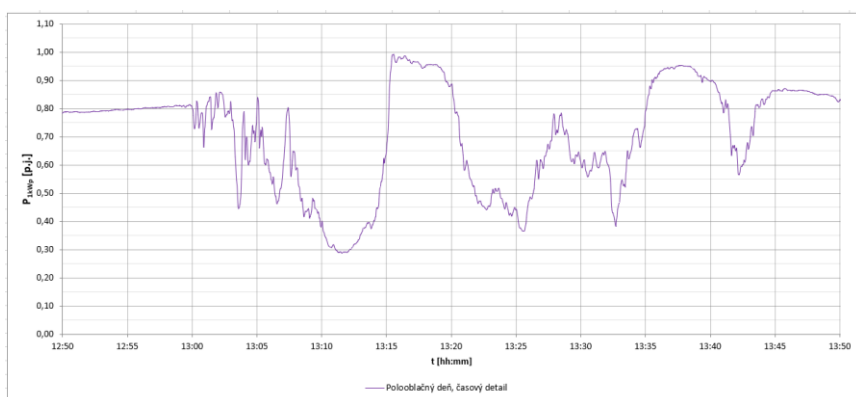


Obr.3 Priebeh výkonu FVE - jarné obdobie (časový detail polooblačného dňa).

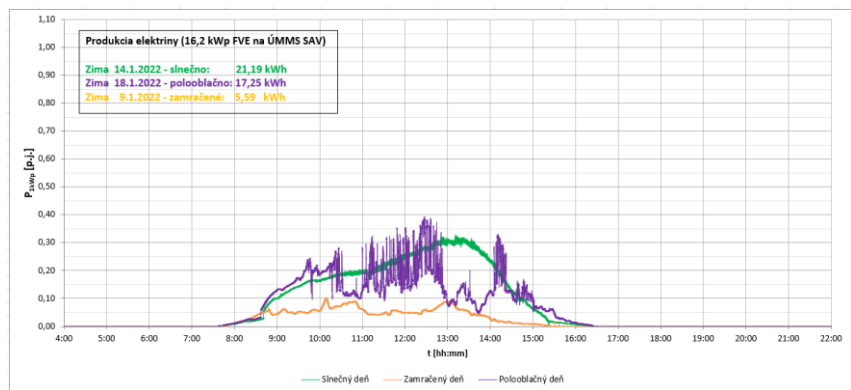
Na obr.4 vidieť priebeh FVE počas vybraných dní počas leta. Podobne boli vybrané 3 dni pre ilustráciu extrému dynamických zmien výkonu a slnečného a zamračeného počasia. 10.7.2021 bol deň s najvyššou produkciou vyše 100 kWh, počas slnečného počasia. Počas zamračeného dňa vyrobila FVE len 28,7 kWh elektriny, čo predstavovalo len približne 30% produkcie voči slnečnému dňu. Tak isto, ako tomu bolo v predchádzajúcom grafickom priebehu v jarný polooblačný deň, aj v letnom polooblačnom dni bola maximálna intenzita slnečného žiarenia vyššia ako v slnečný deň (počas slnečného dňa 930 a počas polooblačného dňa 1230 W.m<sup>-2</sup>). V letnom počasí bol pozorovaný zaujímavý efekt, spočívajúci v teplote povrchu panelov. Pri letnej teplote vzduchu 32°C mal povrch panelov teplotu až 62°C, čo už je pomerne vysoká hodnota a spôsobuje nezanedbateľné zníženie výkonu FVE podľa príslušného teplotného koeficientu (približne 0,5 % na °C). Keďže nominálny výkon panelu je definovaný pri tzv. štandardných testovacích podmienkach – teda pri teplote panelu 25°C a intenzite slnečného žiarenia 1 000 W.m<sup>-2</sup> a tak letná teplota povrchu 62°C už spôsobí približne 19 percentné zníženie výkonu. Časový detail priebehu výkonu v polooblačnom dni je uvedený na obr.5, kde je možné vidieť vysokú dynamickú zmenu výkonu v čase. Rýchlosť dynamickej zmeny výkonu v čase v tento deň dosahovala až 65 % predchádzajúcej hodnoty počas 5 sekúnd, čo je pre využívanie FVE v rezidenčných podmienkach a bez akumulácie neželený jav najmä pre pokrývanie spotreby elektriny v reálnom čase [3, 4].



Obr.4 Priebehy výkonu FVE - letné obdobie (júl).



Obr.5 Priebehy výkonu FVE - letné obdobie (časový detail polooblačného dňa).



Obr.6 Priebehy výkonu FVE - zimné obdobie (január).

Tab.1 Porovnanie produkcie elektriny v daný deň počas ročných období.

Produkcia elektriny za daný deň [kWh]	Podiel [%]	Dátum	
Jar - slnečno	89,70	90%	13.4.2022
Jar - polooblačno	45,96	46%	25.4.2022
Jar - zamračené	17,74	18%	22.4.2022
Leto - slnečno	100,18	100%	10.7.2021
Leto - polooblačno	83,97	84%	1.7.2021
Leto - zamračené	28,67	29%	11.7.2021
Jeseň - slnečno	81,11	81%	3.9.2021
Jeseň - polooblačno	34,39	34%	16.9.2021
Jeseň - zamračené	7,88	8%	22.9.2021
Zima - slnečno	21,19	21%	14.1.2022
Zima - polooblačno	17,25	17%	18.1.2022
Zima - zamračené	5,59	6%	9.1.2022

Podobným spôsobom vyhodnotenia boli urobené aj prevádzky FVE pre vybrané dni v jesennom a zimnom období (v mesiacoch september a január). Grafický priebeh zo zimného obdobia je uvedený na obr.6. Z porovnania prevádzky FVE počas vybraných dní a počas všetkých ročných období boli získané mnohé technické poznatky. Veľkým praktickým prínosom pre laickú verejnosť je pomer dennej produkcie elektriny z FVE v rámci ročných období. Množstvá celkovej dennej produkcie elektriny kvôli lepšej prehľadnosti uvedené v tab.1 Zaujímavé je, že v letnom období pri zamračenom dni FVE vyrobí denne približne 1/3 výroby elektriny v porovnaní s dňom s maximálnou výrobou. V letnom zamračenom dni FVE vyrobí približne toľko isto elektriny, ako počas jasného zimného dňa. Najnepriaznivejšie obdobie, vzhľadom na množstvo vyprodukovanej elektriny je zimné zamračené počasie, kedy FVE vyprodukuje len približne 6 % elektriny v porovnaní s letným slnečným dňom.

## Záver

Praktické zhodnotenie prevádzky sieťovej FVE v jednotlivých dňoch v roku v okamžitom čase ukázalo, že polooblačné dni spôsobujú veľké výkyvy výkonu, čo má dopady na parametre v sieti. Výskumy ukazujú, že hlavne pri malých – rezidenčných FVE sú tieto výkyvy vyššie v porovnaní s FVE s väčším inštalovaným výkonom [5]. Pri porovnávaní reálnej kumulatívnej mesačnej výroby elektriny FVE s údajmi zo simulačných nástrojov sa ukázali mierne nepresnosti, ktoré sú pravdepodobne spôsobené lokálnym charakterom počasia. V jesennom a zimnom období tento charakter spôsobujú lokálne inverzie a tento efekt simulačné nástroje nezohľadňujú dostatočne. V tomto príspevku v laboratóriu ÚMMS SAV sa pristúpilo k systému merania IMS podružnými meradlami, ktoré nie sú v zmysle vyhlášky [6] kategorizované ako „určené meradlá“ a teda nemôžu byť použité ako fakturačné meradlá, no poskytujú dáta jednoduchšej štruktúry a vysokej frekvencie merania, čo „určené meradlá“ neposkytujú, nakoľko poskytujú údaje v časových intervaloch po 15 minútach. Takéto možnosti sú veľkým benefitom pre praktické možnosti realizácie bakalárskych a diplomových prác študentov v širokom zameraní riešení problémov a v neposlednom rade aj pre zvýšenie povedomia mladej generácie pre štúdium v oblasti stále populárnejšom odvetví elektroenergetiky – smartgridov.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

- [1] Poničan, Ján -- Kurcz, János -- Perný, Milan -- Slávik, Jakub -- Janiček, František -- Sadloň, Matej -- Simančík, František -- Gebura, Marek -- Jarás, Milan -- Kment, Attila -- Pípa, Marek: Aplikovaný výskum inteligentných OZE vyústil do významnej spolupráce STU, SAV a priemyselných partnerov - 2. časť. *ATP Journal*, 29. s. 62--64.
- [2] Janiček, František -- Šály, Vladimír -- Packa, Juraj -- Perný, Milan -- Kováč, Zoltán -- Szabová, Miriam: STU, Slovenská akadémia vied a priemyselní partneri riešia v rámci spoločného projektu kľúčové otázky zo smart energetiky. *Magazín mobilita - stroje - technológie - ekológia*, 16. s. 48--50.
- [3] Kurcz, János -- Poničan, Ján -- Perný, Milan -- Šály, Vladimír -- Jarás, Milan: Špecifiká priebehu dodávky elektrickej energie z fotovoltaických elektrární. In: *Elektrotechnologie 2022 / ETGALL 2022*, MACH, P., Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2022, s. 56--61. ISBN 978-80-01-06991-2.

- [4] Kurcz, János -- Poničan, Ján -- Perný, Milan -- Janíček, František -- Šimančík, František -- Gebura, Marek -- Jarás, Milan: Dynamický priebeh dodávky elektrickej energie z fotovoltaických elektrární. In: *Energetika*, 72. s. 123--128.
- [5] Kurcz, János -- Poničan, Ján -- Chudý, Michal -- Šály, Vladimír -- Janíček, František -- Gebura, Marek: Dynamic changes of photovoltaic power plants power supply. In: *Elektroenergetika 2022*, KOLCUN, M. -- KOLCUNOVÁ, I. -- KURIMSKÝ, J., Košice: Technical University of Košice, 2022, s. 251--255. ISBN 978-80-553-4104-0.
- [6] Vyhláška 358/2013 Z. z. Ministerstva hospodárstva Slovenskej republiky z 28. októbra 2013, ktorou sa ustanovuje postup a podmienky v oblasti zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike. *Dostupné online*: <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2013/358/#paragraf-4.odsek-4>>.

## VPLYV SMART-GRID TECHNOLOGIÍ A MODERNEJ ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY NA BEZPEČNÚ PREVÁDZKU JADROVÝCH ELEKTRÁRNÍ

**Štefan Čerba, Branislav Vrban, Jakub Lüley, Vendula Filová, Vladimír Nečas**

*Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*  
E-mail: stefan.cerba@stuba.sk

### Úvod

Pripojenie jadrových elektrární (ďalej len JE) do elektrizačnej sústavy (ďalej len ES) je obrovským záväzkom, vyžaduje si to vybudovať celú infraštruktúru potrebnú na distribúciu elektrickej energie (EE) vyrobenej v JE ekonomicky realizovateľným a bezpečným spôsobom. Jednou z najvýznamnejších častí takejto infraštruktúry je elektrizačná sústava. V súčasnosti už väčšina krajín, dokonca aj tie, ktoré nemajú skúsenosti s jadrovou energiou, má funkčnú ES, avšak pripojenie veľkej JE k nej vždy prináša nové technické výzvy. Ak má JE fungovať bezpečne, spoľahlivo, a ekonomicky efektívne, to isté musí platiť aj pre ES [1]. Prepojené ES sú často považované za najväčšie a najkomplexnejšie systémy na svete a tvoria ich tisíce kilometrov prenosových a distribučných vedení, stovky či tisíce dodávateľov a nespočetné množstvo staníc konečných spotrebiteľov. V porovnaní s inými typmi elektrární, ako sú vodné, obnoviteľné alebo uhoľné elektrárne, sú jadrové elektrárne zvyčajne veľmi veľké a mimoriadne citlivé zariadenia. Sú zároveň výrobcami a spotrebiteľmi elektrickej energie preto spojenie s ES musí byť zabezpečené za každých okolností. Vďaka svojmu relatívne veľkému výkonu dodávajú JE do siete obrovské množstvo elektriny, no zároveň vyžadujú stabilnú dodávku elektriny pre prevádzku ich bezpečnostných systémov. Platí to pri spúšťaní, prevádzke, odstavení ale obzvlášť pri dochladzovaní reaktora, pri ktorom JE nedokáže vyrobiť dostatok elektriny na svoje účely. Strata externého napájania by mohla viesť k významným ekonomickým, sociálnym a environmentálnym dôsledkom.

Moderná, vybilancovaná ale hlavne spoľahlivá ES je kľúčom k bezpečnej prevádzke súčasnej flotily JE a k realizácii nových jadrových projektov. Na rozhranie medzi ES a JE vplývajú nasledovné faktory:

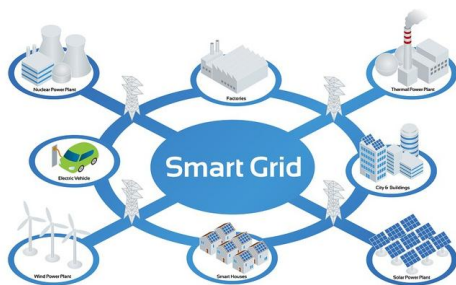
- veľkosť a celková prepojenosť ES,
- požiadavky na jadrovú bezpečnosť,
- rovnováha medzi výrobou a spotrebou,
- charakter a kvalita vyrobenej elektrickej energie.

### 1. Modernizácia elektrizačnej sústavy

Celá filozofia návrhu a prevádzky elektrizačnej sústavy sa za posledné desaťročia významne zmenila. Do ES, ktorá bola primárne navrhnutá na prenos elektriny z centralizovaných zdrojov k dodávateľom, sa postupne implementujú nové technológie. Koncept centralizovaných zdrojov sa mení na systém distribuovaných zdrojov energie. Modernizáciou sa do siete dostávajú riešenia

inteligentných sietí, takzvaných smart-grid, s vysokorýchlostnými snímacími a riadiacimi prvkami a systémami na skladovanie elektrickej energie [2]. Väčšina jadrových elektrární bola navrhnutá a postavená na pôvodný koncept centralizovaných zdrojov, preto zmenám a modernizácii ES sa musí prispôbiť aj súčasná flotila jadrových reaktorov. Keď hovoríme o inteligentnej sieti, teda smart-gride (SG), môže ísť o elektrickú sieť založenú na digitálnych technológiách a IoT riešeniach, používaných na dodávku elektriny spotrebiteľom prostredníctvom obojsmerných digitálnych komunikačných kanálov. SG možno považovať aj za inováciu, ktorá zefektívni prenos elektrickej energie a môže pomôcť konečným spotrebiteľom šetriť elektrickú energiu [3]. Ako vidíme, jednotná definícia neexistuje, preto nie je presne možné ani určiť akýsi zoznam komponentov inteligentných sietí. Napriek tomu je však možné rozdeliť vplyv smart-grid riešení na nasledovné domény:

1. kvalita elektrickej energie,
2. spoľahlivosť a stabilita ES,
3. ochranné systémy,
4. rozhranie JE – ES.



A; Schéma smart-gridu



B; Interakcie JE a ES

Obr.1 Ilustračné obrázky [1],[4] k problematike.

## 2. Zraniteľnosť elektrických systémov v dôsledku smar-gridu

Keďže sa do tradičnej ES implementuje stále viac nových technológií inteligentných sietí, možno identifikovať aj ich vplyvy. Medzi hlavné patria distribuované zdroje energie, hlavne obnoviteľné zdroje energie (OZE), ako sú solárne alebo veterné, systémy na skladovanie elektrickej energie, migrogridy a zariadenia inteligentného snímania. Vzhľadom na zraniteľnosť elektrických systémov, obnoviteľné zdroje energie je možno spomenúť na prvom mieste [2]. Ich výkon silne závisí od lokálnych podmienok, ako je teplota, rýchlosť a smer vetra, oblačnosť, uhol dopadu slnečného žiarenia a pod. Keďže tieto podmienky sa neustále menia, je ťažké ich predvídať, plánovanie dodávky elektrickej energie z týchto zdrojov pre zabezpečenie záložného napájania JE, by bolo veľmi nespoľahlivé. Variabilita dodávky EE v dôsledku OZE môže byť problematická pre prevádzku celej siete a môže viesť k zmenám napätia a frekvencie, ako aj problémom kvality EE.

Skladovanie nadbytočnej vyrobenej elektrickej energie, či už formou prečerpávacích vodných elektrární, alebo do batérií alebo vodíka, prináša značné výhody, ale môže viesť aj k ohrozeniu dodávky elektrickej energie do JE, hlavne ak ide o veľkokapacitné systémy. Porucha takého veľkokapacitného systému skladovania energie môže spôsobiť dynamické zmeny v ES, ovplyvniť zotrvačnosť siete a môže mať aj fatálne účinky na prevádzku [2].

Snímacie a inteligentné zariadenia, ako aj komunikačné platformy používané na efektívne riadenie dopytu a ponuky elektriny v inteligentných sieťach môžu tiež ovplyvniť zraniteľnosť elektrických systémov. V čase kybernetických útokov môžu byť tieto komponenty vstupnými bodmi do siete pre hackerské útoky, ktoré môžu viesť k narušeniu funkčnosti siete. Vzhľadom na veľkosť a masívnosť inteligentných sietí môže byť monitorovanie a detekcia potenciálnych útokov veľmi ťažké alebo dokonca nemožné. Potenciálne nepriaznivé vplyvy technológií smart-grid na spoľahlivosť externého napájania JE sú zhrnuté v tab.1.



Tab.1 Vplyv smart-grid riešení na spoľahlivosť externého napájania JE.

Komponent	Vplyv
OZE	Negatívny vplyv na výkon siete v dôsledku kolísania výkonu. Znížená zotrvačnosť systému v dôsledku OZE.
Skladovanie nevyužitej EE	Zraniteľnosť siete v dôsledku straty jedného systému skladovania energie. Zariadenie atraktívne pre fyzické a kybernetické útoky. Znížená zotrvačnosť systému v prípade invertovorvých systémov úložnými systémami.
Mikrogridy	Kaskádna nestabilita mikrosietí sa môže šíriť mimo distribučných systémov. Prenosové a distribučné siete môžu byť oveľa viac prepojené vďaka migrogridom. Najrelevantnejšie pre JE priamo pripojené k prepravnej sieti.
Systémy inteligentného snímania	Vedú k zložitejšej prevádzke siete, čo si vyžaduje oveľa hlbšie pochopenie rozhrania medzi prevádzkovateľmi siete a JE. Obojsmerná komunikácia môže znamenať rôzne charakteristiky sledovania zaťaženia pre JE. Poskytujú príliš rýchle zmeny v rozhodovaní o JE.

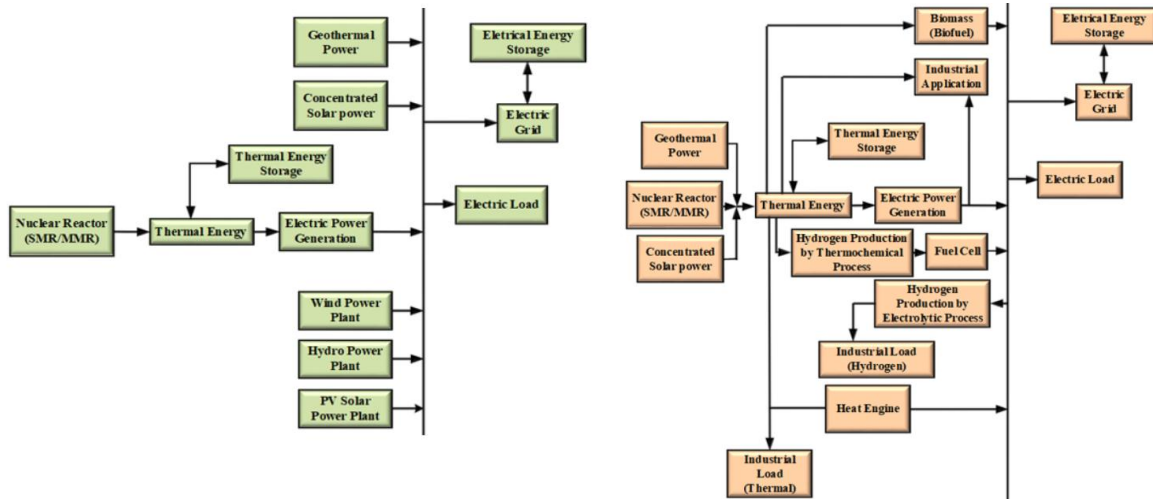
### 3. Hybridné systémy N-R HES

V súčasnosti sa približne 10 % svetovej elektriny vyrába z jadrových elektrární. 2553 TWh elektriny v roku 2020 bolo vyrobených zo 440 reaktorov [5]. To predstavuje priemerný výkon jedného reaktora využívaného na výrobu elektriny okolo 660 MWe. Pri faktore dostupnosti jadrových blokov na úrovni 80 % to zodpovedá priemernému elektrickému výkonu 827 MWe na blok. V roku 2021 bolo na celom svete vo výstavbe 55 reaktorov, väčšina z nich s inštalovaným výkonom 1000 MWe a viac. Slovensko je výnimkou, keďže 2 budované bloky JE Mochovce sú bloky VVER-440 s inštalovaným výkonom 440 MWe [6]. Inštalovaný výkon 440 MWe možno vzhľadom na veľkosť Slovenska a možnosti záložného napájania stále považovať za vysoký.

Vo všeobecnosti vysoký inštalovaný výkon jadrových reaktorov vyžaduje silné externé napájanie, čo ešte viac zdôrazňuje vplyv technológií smart-grid na prevádzku JE. Avšak, existujú možné spôsoby, ako prekonať niektoré z týchto výziev zavedením malého modulárneho reaktora (Ang. Small Modular Reactor - SMR). Existuje taktiež niekoľko iniciatív na integráciu jadrových a obnoviteľných technológií s cieľom poskytnúť vysokovýkonné energetické systémy s maximálnym využitím jadrových elektrární pri efektívnej spolupráci s OZE. Sú to jadrové-obnoviteľné hybridné systémy (Ang. Nuclear-Renewable Hybrid Energy Systems - N-R HES) [7]. Integrácia obnoviteľných jadrových zdrojov sa môže uskutočniť na rôznych úrovniach. Ak sú systémy na výrobu energie založené na OZE inštalované okolo tradičnej veľkej jadrovej elektrárne, nazýva sa to rozsiahla integrácia. Keď sa malá JE, ako napríklad SMR, sa integruje do systému výroby energie založenej na OZE na podporu miestneho dopytu po elektrine, nazýva sa to čiastočná integrácia OZE a JE. N-R HES pripojený k sieti predstavuje riešenie pre priemysel, kancelárske komplexy alebo aj univerzity. Môže to znížiť závislosť od siete a znížiť náklady na energiu [7]. Pri integrácii N-R HES existujú hlavne štyri spôsoby:

- A. Voľná integrácia.
- B. Viacnásobná integrácia na úrovni produktov.
- C. Viacnásobná integrácia na úrovni zdrojov.
- D. Pevná integrácia.

Jednotlivé typy integrácie N-R HES sú graficky znázornené na obr.2 a obr.3. Pri integrácii typu A sú OZE kombinované s JE s cieľom výroby elektrickej energie. Jednotlivé typy OZE a malý modulárny jadrový reaktor vyrábajú elektrickú energiu oddelene a sú následne integrované na úrovni distribučnej siete. Kombinovaný systém môže dodávať prebytočnú elektrinu do siete a taktiež je v prípade potreby možné odoberať EE zo siete [7]. V prípade integrácie typu B je malý modulárny jadrový reaktor najskôr integrovaný s geotermálnym zdrojom a koncentrovaným solárnym zdrojom na úrovni tepelnej energie. Táto tepelná energia môže byť použitá na výrobu elektrickej energie, na priemyselné aplikácie alebo uložená v rôznych formách, napríklad vo forme vodíka. Vyrobená elektrická energia môže byť spolu s elektrickou energiou získanej z biomasy a z vodíka dodaná do siete [7].

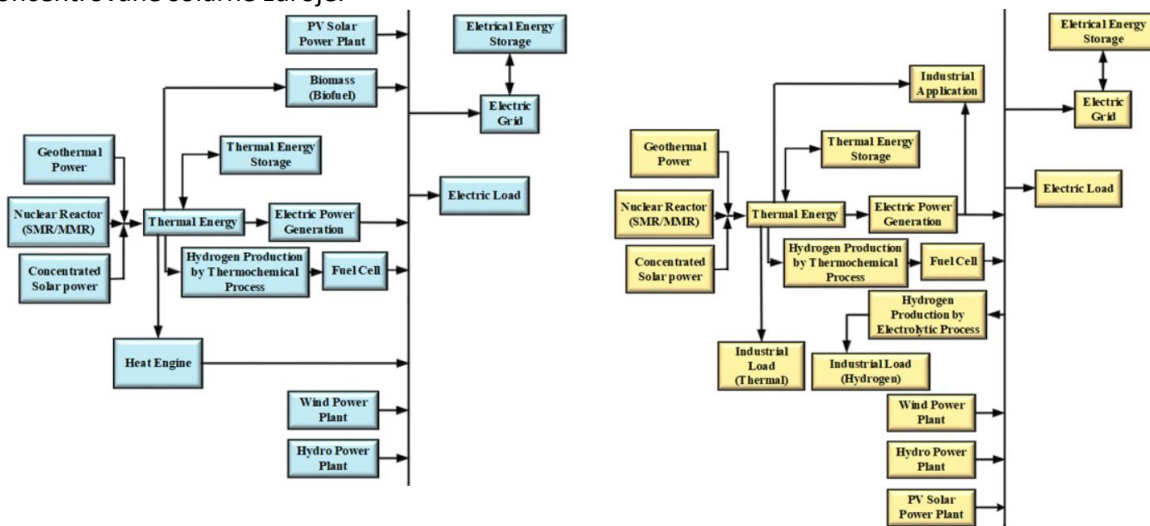


Integrácia typu A

Integrácia typu B

Obr.2 Hybridný systém N-R HES typu A a B [7].

V prípade možnosti C je integrácia zabezpečená na dvoch úrovniach, na úrovni tepelnej a elektrickej energie. Pri prvej úrovni sú na výrobu tepelnej energie použité geotermálne zdroje alebo koncentrované solárne zdroje.



Integrácia typu C

Integrácia typu D

Obr.3 Hybridný systém N-R HES typu C a D [7].

Tento tepelný výkon spolu s tepelným výkonom jadrového reaktora sa využíva na výrobu elektrickej energie. Pri integrácii na úrovni elektrickej energie je výroba zabezpečená malým modulárnym reaktorom a veternými, solárnymi, vodnými obnoviteľnými zdrojmi resp. zdrojmi z biomasy. Tento hybridný systém dodáva zvyšnú elektrickú energiu a čerpá potrebnú elektrickú energiu do a z siete. Táto schéma taktiež využíva systémy ukládanie elektrickej aj tepelnej energie [7]. V poslednom spôsobe integrácie sa všetky formy energetických mixov spájajú, aby sa dosiahlo maximálne využitie dostupnej energie v hybridnom systéme. Elektrická energia sa získava z tepelnej energie zo všetkých zdrojov a aj priamo z vodných solárnych a veterných OZE. Dostupná tepelná a elektrická energia sa využíva vo všetkých možných aplikáciách, ako je napr. odsolovanie morskej vody, výroba palivových článkov, vykurovanie a pod. [7].

## Záver

Implementáciou smart-grid komponentov do elektrizačnej sústavy vznikajú aj obavy súvisiace so zvýšenou variabilitou siete. Najväčšie obavy prináša integrácia veterných a fotovoltaických zdrojov do siete. Boli tiež identifikované zraniteľné miesta spôsobené distribuovanými zdrojmi energie, systémami skladovania energie a mikrogrdmi. Potenciálne problémy spočívajú v tom, že všetky môžu spôsobiť rozsiahle výpadky dodávky. Očakáva sa, že výskyt takýchto rozsiahlych výpadkov bude zriedkavý, ale následky môžu byť vysoké. V kybernetickej bezpečnosti možno vidieť ďalšie zraniteľnosti. Použité inteligentné snímacie a riadiace jednotky môžu byť vstupnými bodmi do siete pre kybernetické útoky. Je evidentné, že jadrové elektrárne sa budú musieť prispôbiť všetkým týmto zmenám v ES. Na jednej strane to môže byť problematické, keďže súčasná flotila bola navrhnutá pre centralizované siete a má vysoký inštalovaný výkon, ktorý si priamo vyžaduje nezávislé napájanie pre bezpečnostné systémy. Riešením do budúcnosti by mohlo byť zavedenie malých modulárnych reaktorov buď ako samostatných blokov, alebo ako súčasť hybridného systému s OZE.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] IAEA: Interfacing Nuclear Power Plants with the Electric Grid, [https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc53inf-3-att5\\_en.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc53inf-3-att5_en.pdf) [March. 10, 2022].
- [2] M. Villaran: A literature Review: Smart Grids Impacts on Nuclear Power Plants, Brookhaven National Laboratory, Brookhaven, USA (2016).
- [3] M. Shabanzadeh, M.P. Mofhaddam: What is the Smart Grid? Definitions, Perspectives and Ultimate Goals, Teheran, Iran (2016).
- [4] European Union Agency for Cybersecurity: Smart Grid Security Certification in Europe: Challenges and Recommendations, <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/smart-grid-security-certification-in-europe-challenges-and-recommendations> [Apr. 2, 2022].
- [5] World Nuclear Org: Nuclear Power in the World, <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx> [Apr. 5, 2022].
- [6] Slovenské Elektrárne, a.s.: Atómové elektrárne, <https://www.seas.sk/o-nas/nase-elektrarne/atomove-elektrarne/> [Apr. 5, 2022].
- [7] IEEE.: Grid-Connected Nuclear-Renewable Micro Hybrid Energy Systems, <https://smartgrid.ieee.org/bulletins/august-2019/grid-connected-nuclear-renewable-micro-hybrid-energy-system> [Apr. 5, 2022].

## MALÉ MODULÁRNE REAKTORY PRE BUDÚCNOSŤ ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY

*Jakub Lüley, Branislav Vrban, Štefan Čerba, Vendula Filová, Vladimír Nečas*

*Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita  
v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: jakub.luley@stuba.sk*

## Úvod

Implementácia digitálneho riešenia pre správu elektrických sietí je poháňaná celosvetovým posunom smerom k uhlíkovej neutralite. Vytvorenie takzvaných inteligentných sietí je kľúčovým prvkom pre budúce a udržateľné energetické systémy [1]. Inteligentná sieť bude neoddeliteľnou

súčasťou systému elektrickej energie, ktorá bude inteligentne integrovať činnosti všetkých používateľov pripojených k sieti, ako sú generátory, spotrebitelia a tí, ktorí robia oboje, s cieľom efektívne poskytovať udržateľné, ekonomické a bezpečné dodávky elektriny. Rozvoj inteligentných sietí urýchli elektrifikácia alebo hydrogenácia dopravy, priemyslu a diaľkového vykurovania. Ďalšia motivácia transformácie elektrických sietí nespočíva len v znižovaní nákladov, ktoré je možné realizovať automatizáciou, ale aj v zapojení zákazníkov [2]. Preto sa elektrické siete blížia k novej ére a mohli by prejsť zásadnou architektonickou zmenou [3].

Špeciálnou súčasťou inteligentných sietí, resp. jej podčastou, je MicroGrid, kde je možné integrovať rôzne zdroje energie. MicroGrid je schopná kombinovať viaceré zdroje, záťaže a zásobníky energie do autonómneho energetického systému, ktorý môže byť prevádzkovaný aj nezávisle od rozsiahlej rozvodnej siete [4,5]. MicroGrid môže eliminovať straty pri prenose energie a poskytnúť zvýšenú odolnosť najmä vo vysoko industrializovaných alebo vidieckych oblastiach. Sú teda riadené lokálne a považujú sa za jeden celok v elektrickej sieti [6].

Potenciálnym riešením vhodného zdroja energie pre nasadenie v MicroGridoch je malý modulárny reaktor (SMR) ako zdroj energie základného pásma [7]. SMR môže poskytovať energiu s nízkymi emisiami uhlíka za cenu porovnateľnú alebo nižšiu, ako sa očakáva pri výrobe z fosílnych palív. Veľkosť uvažovaných SMR je porovnateľná voči obnoviteľným zdrojom energie plánovaným pre MicroGridy. Hlavnými výhodami SMR v porovnaní s obnoviteľnými zdrojmi sú flexibilita výroby energie, ktorú je možné kombinovať s miestnym priemyslom v rámci neelektrickej aplikácie, a dlhodobá stabilita vďaka dlhým cyklom výmeny paliva [6]. V špeciálnych prípadoch idú vývojári ešte o krok ďalej a snažia sa riešiť ďalšie medzery na trhu, ako sú menšie zdroje zabezpečujúce spoľahlivé napájanie na odľahlých miestach, ako sú ťažobné oblasti, kde jediný zdroj pripadajúci do úvahy je spaľovací generátor pracujúci mimo siete [8].

## 1. Malé modulárne reaktory

Vývoj technológie SMR možno považovať za evolúciu a adaptáciu jadrového priemyslu na globálny energetický trh. Obmedzenia kapacity siete a pomalý rast dopytu po energii viedli k skúmaniu menších a škálovateľných technológií jadrovej energetiky, ktoré možno použiť buď na nahradenie veľkých jadrových elektrární, alebo na doplnenie existujúcej inštalovanej kapacity. Okrem toho rastúce využívanie prerušovanej obnoviteľnej kapacity, ako je veterná, solárna, prílivová a geotermálna výroba, si vyžaduje zavedenie malých jadrových elektrární so základným zaťažením s vylepšenými schopnosťami sledovania zaťaženia na stabilizáciu dodávky do siete. Vo všeobecnosti by nový jadrový reaktor alebo akýkoľvek iný energetický blok v elektrickej sieti nemal predstavovať viac ako 10 % inštalovaného výkonu [8]. Hlavným dôvodom je zabezpečiť, aby jedno vypnutie reaktora nespôsobil neprijateľné kolísanie sieťového napätia a frekvencie. Zároveň by mala byť zabezpečená stabilita siete, aby sa naďalej zabezpečila spoľahlivá dodávka elektriny.

V roku 2022 bolo vo výstavbe 51 jadrových energetických reaktorov v rôznych fázach s celkovým čistým inštalovaným výkonom 53 644 MWe [9]. Všetky tieto energetické reaktory sú evolučne založené na malých prototypoch alebo demonštračných reaktoroch, kde sa predchádzajúce návrhy pohybovali od menej ako 100 MWe do nie viac ako 300 MWe [8]. Malé množstvo týchto demonštračných jednotiek je bezpečne prevádzkovaných dodnes. Preto existujú veľké skúsenosti s výstavbou a prevádzkou takýchto malých jednotiek. Hlavným záujmom je teraz zlepšiť bezpečnostné prvky, integrovať primárne komponenty do kompaktného dizajnu, minimalizovať silu alebo reguláciu externého výkonu a zmierniť riziká šírenia. Existuje niekoľko koncepcií návrhov reaktorov, ktoré sú založené na rôznych jednotkách veľkého rozsahu. Najrozšírenejší koncept je odvodený od tlakovodných reaktorov (PWR), ale koncepty IV. generácie ponúkajú varianty v rozsahu SMR vo všetkých ich alternatívach:

- Superkritický vodou chladený reaktor (SCWR);
- Vysokoteplotný reaktor (VHTR);
- Reaktor chladený roztavenými solami (MSR);
- Sodíkom chladený rýchly reaktor (SFR);

- Rýchly reaktor chladený olovom (LFR);
- Plynom chladený rýchly reaktor (GFR).

Jadrový priemysel je pomerne konzervatívny trh, čo znamená, že kým reaktor alebo JE nie sú postavené a pripojené k sieti, stále ide len o papierový koncept. Na preukázanie životaschopnosti sú aktuálne tri demonštračné jednotky SMR v pokročilom štádiu nasadenia s plánovaným začiatkom komerčnej prevádzky medzi rokmi 2020 a 2023:

- Akademik Lomonosov v Ruskej federácii;
- CAREM v Argentíne;
- HTR-PM v Číne.

Očakáva sa, že v rokoch 2025–2035 začne prevádzku viac komerčných flotíl SMR. CAREM, pozri obr.1, bol jedným z prvých konceptov, ktorý plne integroval kompenzátor tlaku, mechanizmus pohonu riadiacej tyče a 12 parných generátorov vo vnútri tlakovej nádoby reaktora. Vďaka svojej inovatívnej integrácii hlavných komponentov PWR do jednej jednotky bol tento konkrétny koncept označovaný ako integrálny tlakovodný reaktor ( iPWR ) a je teraz základom pre niekoľko návrhov po celom svete. V súčasnosti je vo výstavbe prototypový závod s výkonom 32 MW(e), ktorý má overiť inovatívne technológie, overiť licenčný prístup a preskúmať otázky spoľahlivosti. CNEA predpokladá, že po prototypu bude nasledovať výstavba väčšej verzie, ktorá bude poskytovať elektrický výkon medzi 100 a 200 MW(e) [8].



Obr.1 Výstavba reaktora CAREM [10].

Čína začala svoj výskumný a vývojový program na vysokoteplotných plynom chladených reaktoroch (HTGR) v 70. rokoch 20. storočia. V roku 1992 čínska vláda schválila výstavbu malého vysokoteplotného plynom chladeného testovacieho reaktora (HTR-10) a v januári 2003 dosiahol reaktor prevádzku na plný výkon (10 MW<sub>th</sub>). Odvtedy Inštitút pre jadrové a nové energetické technológie (INET) univerzity v Tsinghua používa HTR-10 na uskutočňovanie experimentov a overovanie kľúčových inherentných bezpečnostných prvkov spojených s modulárnymi HTR, pozri obr.2. Ďalší krok Číny vo vývoji HTGR sa začal v roku 2001 keď bol spustený projekt vysokoteplotného plynom chladeného reaktora – využívajúceho guľôčkové palivo tzv. pebblebed (HTR-PM). HTR-PM bude komerčným demonštračným zariadením na výrobu elektriny. V porovnaní s HTR-10 boli komponenty pre HTR-PM zväčšené, hoci konštrukčné základy sú podobné. V demonštračnej elektrárni HTR-PM sú dva reaktorové moduly (každý s vlastným PG) pripojené k jednému turbínovému agregátu. Táto konfigurácia umožní vývojárovi plne demonštrovať uskutočniteľnosť pripojenia viacerých modulov k jednej turbíne. Budúce komerčné nasadenie HTR-PM pravdepodobne spojí až šesť modulov dohromady do jednej turbíny [8].



Obr.2 Umiestnenie lokality HTR-10 v Číne [11].

KLT- 40S je PWR vyvinutý pre jadrovú elektrárňu namontovanú na lodi a poskytuje 35 MW(e) na modul. Konštrukcia je založená na komerčnom námornom pohonnom zariadení KLT- 40 a ide o pokročilú verziu reaktora, ktorý historicky poskytoval energiu lodoborcom v ťažších podmienkach v porovnaní so stacionárnymi jadrovými elektrárnami. Plávajúca jadrová elektrárňa, pozri obr.3, sa vyrába v lodeniach a môže byť zákazníkom dodaná ako kompletne zmontovaná, odskúšaná a pripravená na prevádzku. Tento prístup eliminuje potrebu budovania špeciálnych dopravných spojení a prípravnej infraštruktúry, ktoré sú potrebné pre pozemné jadrové elektrárne. KLT- 40S je navrhnutý s osvedčenými bezpečnostnými riešeniami, ako je kompaktná konštrukcia jednotky SG s krátkymi potrubiami spájajúcimi hlavné zariadenie, potrubia primárneho okruhu malého priemeru a osvedčené aktuátory núdzového odstavenia reaktora založené na rôznych princípoch činnosti [8].



Obr.3 Akademik Lomonosov transportovaný na miesto prevádzky [12].

## 2. Aplikáčné možnosti SMR

Najrelevantnejšie oblasti nasadenia, ktoré boli identifikované pre technológiu SMR, sú tieto: (1) vzdialené alebo izolované komunity; (2) ťažký priemysel; (3) aplikácie na sieti [6]. Kompaktný a modulárny dizajn umožňuje škálovateľné nasadenie SMR v širokej škále prostredí a aplikácií, vrátane tých, ktoré vyžadujú elektrické aj tepelné zdroje energie [13]. Do MicroGridu je možné začleniť niekoľko modulov, ktoré uspokojia špecifické požiadavky na zaťaženie ako spoľahlivý nízkouhlíkový elektrický zdroj alebo poskytovateľ tepelnej energie. MicroGrid poháňaná SMR je schopná riadiť rezidenčnú, obchodnú a priemyselnú záťaž aj v kombinácii so solárnymi fotovoltaickými panelmi, veternými turbínami a systémami skladovania energie (ESS) [6].

ESS možno klasifikovať na základe rôznych foriem energie používanej na skladovanie elektrickej energie. Vo všeobecnosti možno ESS charakterizovať takto: (1) mechanický; (2) elektrochemický; (3) elektrický; (4) tepelný, (5) hybridný a (6) chemický [ 14]. Najbežnejšie využívaným ESS pre MicroGridy je batériový systém skladovania energie (BESS) [15], systém skladovania energie na báze stlačeného vzduchu [16], systém skladovania energie na báze zotrvačníka [17], systém

skladovania energie na báze superkondenzátora [18], supravodivý magnetový systém uchovávania energie [19], systém uchovávania energie založený na vodíkových palivových článkoch [20] a hybridný systém uchovávania energie [21].

Idealizovaný koncept počíta s prevádzkou SMR v režime sledovania záťaže. Systém riadenia energie MicroGridu je potom zodpovedný za výber, kedy a ako veľmi sa má zmeniť úroveň výstupného výkonu SMR. Optimálna prevádzková stratégia pre celý MicroGrid sa musí zaoberať viacerými cieľmi a obmedzeniami, medzi ktoré patria náklady na palivo, tepelné namáhanie systémov prenosu tepla, účinnosť, rezervná kapacita, spoľahlivosť a stav zariadení. Napríklad predpovede dopytu po nočnej záťaži možno použiť na plánovanie úprav úrovne výstupného výkonu pre SMR na toto obdobie, zatiaľ čo ESS možno použiť na kompenzáciu akéhokoľvek krátkodobého nesúladu medzi dostupným výkonom a dopytom po záťaži.

Alternatívnym prístupom k prevádzke SMR po záťaži je udržiavať reaktor na konštantnej úrovni výkonu a striedať výkon na ESS alebo presmerovať časť tepelného výkonu do iného priemyselného tepelného procesu [22]. Efektívne tak maximalizujete využitie vyrobenej tepelnej energie a zároveň uspokojíte spotrebu elektriny. Niektoré priemyselné procesy môžu využívať tepelnú aj elektrickú energiu. Bolo navrhnutých niekoľko kombinácií tohto prístupu, pričom sa uvažuje aj o kombinácii elektrických a tepelných výstupov na výrobu vodíka pomocou procesu vysokoteplotnej elektrolyzy, ktorý je účinnejší ako konvenčná elektrolyza [23]. Vodík je alternatívnym zásobníkom na skladovanie nevyužitého výkonu reaktora. Výroba vodíka môže byť veľmi flexibilná vďaka tomu, že proces elektrolyzy je možné na požiadanie znovu spustiť, pričom sa zachová kvalita výroby vodíka. Vodík slúži ako nosič energie, ktorý môže byť následne využitý pri preprave alebo vrátený späť do elektrickej siete pomocou modulov palivových článkov. Ak vezmeme do úvahy tento prístup, možno dosiahnuť rýchlejšiu návratnosť investícií ako v prípade čistých aplikácií jadrovej energie na elektrickú energiu [6]. Súvisiace prístupy boli navrhnuté, ako možno využiť nadbytočnú alebo nevyužitú tepelnú energiu. Zoznam vhodných procesov a kandidátov SMR je uvedený v tab.1. Najjednoduchším riešením, ktoré možno efektívne uplatniť v pobrežných alebo ostrovných regiónoch, je prevádzka odsoľovacieho zariadenia [24]. Pitnú, ako aj technickú vodu možno jednoducho skladovať a prepravovať do regiónov, kde je to potrebné. Použitie hybridných systémov má priame dôsledky na prevádzkovú stratégiu MicroGridov a mali by sa zväžiť v dynamických modeloch [6].

Východná časť Slovenskej republiky môže z pohľadu Slovenska ideálne slúžiť na inštaláciu SMR. V tejto lokalite nie je významný zdroj elektriny, no región pokrýva hutnícku výrobu a niekoľko väčších miest. V kraji je viacero vodných elektrární, solárnych elektrární, ale aj tepelných elektrární. Prepojenie na celoštátnu elektrizačnú sústavu zároveň nie je ideálne. Nasadenie aspoň jedného 100 - 300 MWe bloku by umožnilo znížiť závislosť regiónu od fosílnych palív prevažne dovážaných zo zahraničia, zefektívniť využívanie vodných elektrární a urýchliť nasadenie uhlíkovo neutrálnych zdrojov. Stabilná produkcia základného pásma a garantované ceny energií podporujú rozvoj priemyslu v regióne. Sieťové prepojenie s okolitými krajinami by sa dalo charakterizovať ako základné, no napriek tomu postačuje na export elektriny.

Tab.1 Priemyselné tepelné procesy a kandidáti SMR [25].

Vybrané procesy	Procesná teplota (°C)	Kandidátske reaktory na vstup tepla
Diaľkové vykurovanie	80-200	PWR alebo odpadové teplo z reaktora s vyššou teplotou
Odsoľovanie morskej vody		
Sušenie surovín, koncentrácia minerálov		
Raфинácia ropy	250 – 550	PWR, MSR, FR
Spracovanie ropných bridlíc a ropných pieskov	300 – 600	MSR, FR
Kogenerácia elektriny a pary	350 – 800	MSR, FR, VHTR, PWR s tepelnou augmentáciou

Vybrané procesy	Procesná teplota (°C)	Kandidátske reaktory na vstup tepla
Parné reformovanie zemného plynu alebo uhlia (výroba metanolu); produkcia syntetického plynu	500 – 900	MSR, FR, VHTR, PWR s tepelnou augmentáciou
Výroba vodíka prostredníctvom HTSE <sup>1</sup>	800-1000	FR, VHTR, MSR alebo PWR s tepelnou augmentáciou
Výroba vodíka parným reformovaním metánu		
Kalcinácia		
Splyňovanie uhlia		

## Záver

Týmto spôsobom by sa vytvoril sebestačný región, ktorý by sa dal charakterizovať z pohľadu MicroGridu. Strategická poloha SMR v regióne by umožnila aj hybridné využitie. Prepojenie SMR so sústavou ESS je najprirodzenejším a najefektívnejším využitím potenciálu SMR. Alternatívou by mohol byť aj v súčasnosti rozvíjajúci sa vodíkový priemysel pre aplikácie mobility.

Implementácia technológií SMR je najslubnejšou alternatívou rozšírenia trhu s jadrovou energiou opierajúcou sa o stabilitu výroby energie do siete v strategických lokalitách, odľahlých územiach alebo krajinách s malou alebo neprepojenou elektrickou sieťou, kde by veľké jadrové bloky neboli vhodné. Okrem toho v dôsledku prispôsobenia environmentálnych politík a rastúceho úsilia v boji proti emisiám CO<sub>2</sub> je potrebné postupne ukončiť prevádzku starších zariadení na fosílnu palivá. Tieto lokality už majú vybudovanú infraštruktúru elektrickej siete a majú tak možnosť umiestniť novú elektrárňu s porovnateľným výkonom. Hlavnou výhodou, ktorú treba zdôrazniť, pri využití SMR je hybridná aplikácia. Samostatné alebo flotila SMR môže fungovať ako energetický ostrov a chrbtica MicroGridu takmer univerzálne pre všetky možnosti. Vysoko industrializované oblasti, vzdialené lokality alebo ako podpora expandujúcich, ale prerušovaných obnoviteľných zdrojov, SMR sú riešeniami na uspokojenie dopytu po energii a napĺňanie nízkouhlíkovej politiky. Najväčším nedostatkom SMR je aktuálna jednotková cena. Hoci pojem „modulárny“ často súvisí s prístupom, v ktorom sú dizajn, komponenty, zostavy alebo konštrukcie rozdelené do modulov, ktoré sa dajú ľahšie zostaviť a vyrobiť, čo by malo predovšetkým znížiť cenu výstavby a údržby. No prvé nasadené SMR budú skonštruované ako zariadenia na mieste, možno s testovaním prototypových výrobných liniek modulov malých objemov, aby sa získali výrobné skúsenosti.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] ENTSOG and ENTSO-E, TYNDP Scenario report, June 2020.
- [2] European Commission, Joint Research Center (JRC): Global Energy and Climate Outlook 2019: electrification for the low-carbon transition, 2020.
- [3] S. Borenius, H. Hämmäinen, M. Lehtonen and P. Ahokangas, “Smart grid evolution and mobile communications—Scenarios on the Finnish power grid,” *Electric Power Systems Research*, vol. 199, October 2021.
- [4] S. Parhizi, H. Lotfi, A. Khodaei, S. Bahramirad, “State of the art in research on microgrids: a review,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 890-925, 2015.



- [5] N. Hatzigiorgiou, H. Asano, R. Iravani, C. Marnay "Microgrids," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 5, pp. 78-94, 2007.
- [6] D. Michaelson, J. Jiang, "Review of integration of small modular reactors in renewable energy microgrids," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 152, December 2021.
- [7] J. Vujić, R.M. Bergmann, R. Škoda, M. Miletić, "Small modular reactors: simpler, safer, cheaper?," Energy, vol. 45, pp. 288-295, 2012.
- [8] IAEA, "Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment," IAEA nuclear energy series, No. NR - T - 1.18, August 2021.
- [9] URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>, access 1.4.2022.
- [10] URL: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Nucleoelectrica-contracted-to-complete-CAREM-25>, access 26.03.2022.
- [11] URL: <https://www.tsinghua.edu.cn/en/info/1244/10921.htm>, access 1.4.2022.
- [12] URL: <https://www.power-technology.com/analysis/floating-nuclear-power/>, access 1.4.2022.
- [13] G. Iyer, N. Hultman, S. Fetter, S. H. Kim, "Implications of small modular reactors for climate change mitigation," Energy Economics, vol. 45, pp. 144-154, September 2014.
- [14] S. Choudhury, "Review of energy storage system technologies integration to microgrid: Types, control strategies, issues, and future prospects," Journal of Energy Storage, Vol. 48, April 2022.
- [15] I. Alsaidan, A. Khodaei, W. Gao, "A comprehensive battery energy storage optimal sizing model for microgrid applications," IEEE Trans. Power Syst., vol. 33, pp. 3968-3980, April 2017.
- [16] H. Ibrahim, K. Belmokhtar, M. Ghandour, "Investigation of usage of compressed air energy storage for power generation system improving-application in a microgrid integrating wind energy," Energy Procedia, vol. 73, pp. 305-316, 2015.
- [17] A.K. Arani, H. Karami, G. Gharehpetian, M. Hejazi, "Review of flywheel energy storage systems structures and applications in power systems and microgrids," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 69, pp. 9-18, 2017.
- [18] F.A. Inthamoussou, J. Pegueroles-Queralt, F.D. Bianchi, "Control of a supercapacitor energy storage system for microgrid applications," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 28, pp. 690-697, March 2013.
- [19] T.T. Nguyen, H.J. Yoo, H.M. Kim, "Applying model predictive control to SMES system in microgrids for eddy current losses reduction," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 26, pp. 1-5, April 2016.
- [20] S.A. Konstantinopoulos, A.G. Anastasiadis, G.A. Vokas, G.P. Kondylis, A. Polyzakis, "Optimal management of hydrogen storage in stochastic smart microgrid operation," Int. J. Hydrog. Energy, vol. 43, pp. 490-499, January 2018.
- [21] M.S. Guney, Y. Tepe, "Classification and assessment of energy storage systems," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 75, pp. 1187-1197, 2017.
- [22] M.F. Ruth, O.R. Zinaman, M. Antkowiak, R.D. Boardman, R.S. Cherry, M.D. Bazilian, "Nuclear-renewable hybrid energy systems: opportunities, interconnections, and needs," Energy Convers Manag, vol. 78, pp. 684-694, 2014.
- [23] D. Ingersoll, Z. Houghton, R. Bromm, C. Desportes, M. McKellar, R. Boardman, "Extending nuclear energy to non-electrical applications," The 19th Pacific Basin Nuclear Conference (PBNC 2014), Vancouver, BC (2014).
- [24] M. Rath, M. G. Morgan, "Assessment of a hybrid system that uses small modular reactors (SMRs) to back up intermittent renewables and desalinate water", Progress in Nuclear Energy, vol. 122, April 2020.
- [25] Sh. M. Bragg-Sitton, "Hybrid energy systems using small modular nuclear reactors (SMRs)," in Handbook of Small Modular Nuclear Reactors (Second Edition), D.T. Ingersoll and M. D. Carelli, Woodhead Publishing, 2020.

## MOŽNOSTI SKLADOVANIA ELEKTRICKEJ ENERGIE PRE MALÉ MODULÁRNE REAKTORY

**Branislav Vrban, Štefan Čerba, Jakub Lüley, Vendula Filová, Vladimír Nečas**

*Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita  
v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: [branislav.vrban@stuba.sk](mailto:branislav.vrban@stuba.sk)*

### Úvod

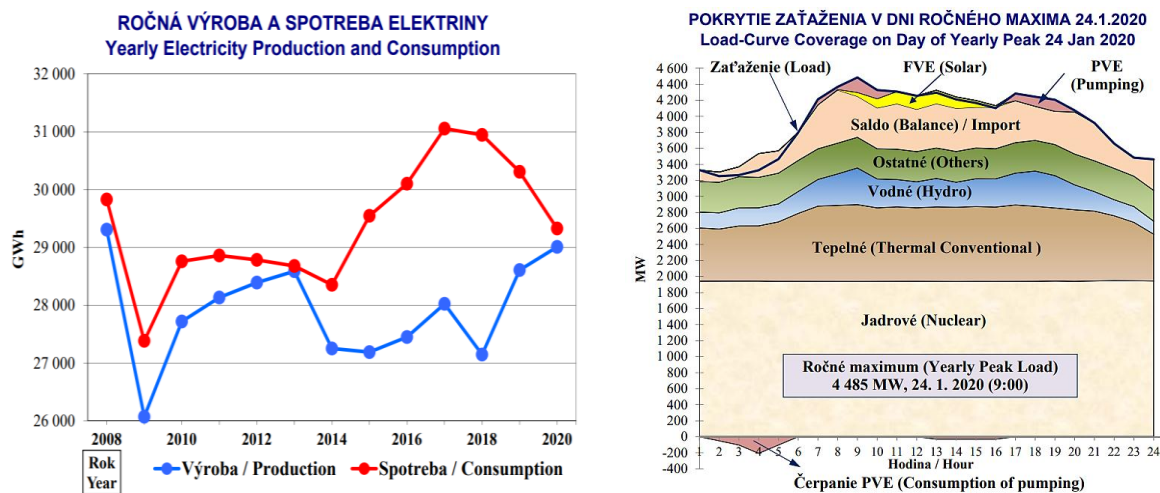
Výroba elektrickej energie je vo väčšine krajín zabezpečovaná pomocou využitia fosílnych alebo jadrových palív, prípadne s pomocou energeticky využiteľného hydropotenciálu [1]. V súčasnosti silný posun politik smerom k navyšovaniu využitia obnoviteľnej energie kladie vyššie požiadavky na jadrové reaktory vrátane potreby zvýraznenej potreby ich prevádzky v režime sledovania záťaže. Naopak, nové zariadenia, ako sú elektrické vozidlá, majú možnosť spätne exportovať elektrickú energiu do elektrizačnej sústavy, a tak môžu výrazne znížiť závislosť zmien dopytu po energii od výkyvov počasia a iných externých zdrojov. Je zjavné, že tieto premenlivé požiadavky na výkon môžu ovplyvniť koeficient pohotovosti reaktorov (UCF) a tým negatívne ovplyvniť ich ekonomiku.

Chýbajúcim článkom v energetickom systéme by mohla byť symbiotická spolupráca malých a stredne veľkých jadrových reaktorov [2] s rôznymi systémami skladovania energie. Táto spolupráca má potenciál umožniť prevádzku reaktora na konštantnej výkonovej úrovni skladovaním lacnejšej mimošpičkovej elektrickej energie, ktorá môže byť následne predaná v prípade vysokého dopytu za vyššiu cenu. Okrem toho, na dosiahnutie klimatických cieľov stanovených v Parížskej dohode [3] sa jadrová energia javí ako jedna z primárnych alternatív k obnoviteľným zdrojom energie umožňujúca zníženie emisií uhlíka v elektrotechnickom sektore [4]. Nevyhnutnosť znižovania emisií uhlíka je zdôraznená povahou Parížskej dohody, ktorá je právne záväzná medzinárodná zmluva o zmene klímy, ktorú prijalo 196 zmluvných strán na COP 21 v Paríži 12. decembra 2015 a nadobudla platnosť 4. novembra 2016.

## 1. Energetický mix Slovenska

### A. Všeobecný prehľad

Slovensko vyrába elektrinu v jadrových elektrárňach, vodných elektrárňach, elektrárňach na zemný plyn a uhlie, ako aj z obnoviteľných zdrojov energie. V roku 2020 Slovensko vyrobilo 29 010 GWh elektriny, pričom celková spotreba činila 29 328 GWh. Po rokoch tak dopyt po elektrickej energii takmer pokryla výroba. Ako je znázornené na obr. 1-a), táto dobre vyvážená výroba a spotreba boli dosiahnuté najmä vďaka klesajúcemu dopytu po elektrickej energii, ktorý bol badateľný v posledných 4 rokoch [5]. Slovenská republika už disponuje nízkouhlíkovým mixom zdrojov elektrickej energie, kde podiel na bezuhlíkovej výrobe elektriny v roku 2020 dosiahol takmer 80 %. Najvyšší podiel na výrobe elektrickej energie mali v roku 2020 jadrové elektrárne (52,66 %). Nasledovali tepelné elektrárne (21,31 %), vodné elektrárne (16,61 %), obnoviteľné zdroje (7,96 %) a ostatné elektrárne (0,38 %) [5]. Názorne je pokrytie krivkou zaťaženia v dni ročného maxima v roku 2020 znázornené na obr. 1-b). Z dlhodobého hľadiska výroba elektrickej energie v tepelných elektrárňach na Slovensku postupne upadá a význam jadrovej energie a energie z obnoviteľných zdrojov rastie. Dôkazom toho môžu byť plány vlády SR zatvoriť Elektrárňu Nováky (ENO) do roku 2023 pre jej ekonomické, sociálne, klimatické, zdravotné a environmentálne dopady. Jednotky č. 3 a 4 (2 x 110 MWe) ENO B boli už k 31.12.2015 odstavené.



a) Ročná výroba a spotreba

b) Pokrytie krivky zaťaženia v dni ročného maxima

Obr.1 Prehľad výroby a spotreby v SR.

### B. Špecifiká jadrovej energie

Po odstavení dvoch jadrových reaktorov v Jaslovských Bohuniciach v rokoch 2006 a 2008 muselo Slovensko elektrickú energiu dovážať. Očakáva sa, že krajina sa po spustení tretieho a štvrtého bloku Jadrovej elektrárne Mochovce (EMO) opäť stane sebastačnou a dokonca sa stane čistým exportérom elektrickej energie. MAAE zvyčajne definuje malé a stredné alebo modulárne reaktory

(SMR) ako reaktory s výkonom do 300 MW(e) (malé alebo malé modulárne) a reaktory s výkonom 300 – 700 MW(e) (stredne veľké). Reaktory, ktoré sú v súčasnosti prevádzkované a vo výstavbe na Slovensku (VVER-440) je teda možné považovať za stredne veľké reaktory. Nová generácia SMR má potenciál ťažiť z flexibilných možností výroby energie, širokého spektra aplikácií, zvýšenej bezpečnosti vyplývajúcej zo základných prvkov pasívnej bezpečnosti, znížených počiatkových kapitálových investícií a možností pre kogeneráciu a neelektrické aplikácie. Vyšší očakávaný podiel jadrovej energie v sústave s významným podielom obnoviteľných zdrojov zvýši potrebu prevádzky v režime sledovania záťaže pre zdroje energie pracujúce v základnom pásme a otvorí možnosť skladovania mimošpičkovej elektrickej energie v dedikovaných systémoch jej skladovania. Predpokladané prifázovanie turbogenerátorov do siete pre EMO 3 je plánované v tomto roku a prvá kritickosť EMO 4 je plánovaná v nasledujúcich 2 rokoch. Vzhľadom na nestálosť politickej situácie a aktuálnu vojnu na Ukrajine existujú vážne obavy z dokončenia posledného bloku.

Napriek tomu, že jadrová energetika je pre Slovensko strategickým zdrojom elektrickej energie prebieha neutála politická diskusia o budúcnosti a daňových podmienkach jadrového priemyslu, čo prináša nedôveru investorov a účinne bráni kapitálovo náročnej výstavbe nových jadrových energetických zdrojov. Ako príklad možno uviesť, že v roku 2022 Slovensko v reakcii na zvyšovanie cien elektriny súhlasilo s upustením od už ohlásených plánov uvaliť 50 % daň na zisky z predaja jadrovej energie výmenou za pevnú cenu elektriny, na základe memoranda o porozumení podpísaného so Slovenskými elektrárňami a.s. [6].

Vo svete a aj na Slovensku čelia jadrové elektrárne meniacej sa dynamike elektrizačnej sústavy v dôsledku regulačných obmedzení a obmedzených skúseností s nárastom výroby elektriny a flexibilnou prevádzkou. Slovenské VVER majú obmedzenú kapacitu na úpravu elektrického výkonu. Obmedzenia sú dané najmä vlastnosťami jadrového paliva a pridruženého turbogenerátora. Počet zmien výkonu v jadre pod 5 % menovitého výkonu (RP) nie je obmedzený. V rámci 5 % a 10 % RP nie sú žiadne limity pre zmeny pomalšie ako 3 % RP za minútu. Pre rýchlejšie zmeny však existuje obmedzenie rovné 2500 cyklov [7]. Pre väčšie zmeny RP sa povolené počty dramaticky znižujú. V modernizovaných projektoch VVER-440 sú 2 turbíny na reaktor s cca. 250 MWe s povolenou zmenou 3 % menovitého výkonu za minútu. Súčasná verzia európskych požiadaviek očakáva, že JE musí byť minimálne schopná dennej cyklickej prevádzky v rozsahu 50 % až 100 % svojho menovitého výkonu, s rýchlosťou zmeny elektrického výkonu od 3 do 5 % menovitého výkonu za minútu [8]. Požiadavka na prevádzku jadrových elektrární v režime sledovania zaťaženia prirodzene otvára otázky o ekonomike, bezpečnosti (obmedzenej integritou paliva) a vplyve na starnutie zariadení v dôsledku flexibilnej prevádzky. Preto je potrebné investovať do potenciálne nového jadrového paliva a vyvinúť novú generáciu paliva s podporou nových simulačných nástrojov a experimentálnych údajov [9]. Podľa literatúry [10] sa nepredpokladá žiadny významný vplyv flexibilnej prevádzky na rýchlosť starnutia komponentov zariadenia. Je pochopiteľné, že prevádzka v režime sledovania zaťaženia znižuje koeficient využitia a tým negatívne ovplyvňuje celkovú ekonomiku.

Je zjavné, že prevádzka jadrových elektrární v režime sledovania záťaže je ekonomicky a technicky náročná a výhodnejšie je skladovať prebytočnú alebo mimošpičkovú elektrickú energiu pomocou technológií skladovania energie. Významné využitie týchto technológií má potenciál zlepšiť ekonomiku jadrových elektrární a môže poskytnúť nákladovo efektívne sieťové služby, ako je záložná energia, regulácia frekvencie a rezervy rýchlej odozvy. Ako je uvedené v predchádzajúcich odsekoch, zvýšenie podielu jadrovej energie a obnoviteľných zdrojov energie na Slovensku v budúcnosti vytvorí funkčné podmienky pre začlenenie možností skladovania energie do elektrizačnej sústavy.

## 2. Systémy skladovania energie

Skladovanie veľkého množstva elektrickej energie mimo špičky možno dosiahnuť využitím niekoľkých veľkokapacitných systémov skladovania energie. Odborná literatúra disponuje množstvom schematických popisov technológií, ale mnohé z nich sú len v koncepčnom štádiu vývoja. Systémy skladovania energie možno kategorizovať podľa foriem energie, ktoré využívajú.

## A. Chemická energia

Skladovanie chemickej energie je založené na ukladaní energie do chemických väzieb, ktoré je možné neskôr prerušiť a tým naakumulovanú energiu uvoľniť. Najbežnejšími predstaviteľmi tejto kategórie sú superkondenzátory (elektrolytické) a batérie (elektrochemické). Superkondenzátory uchovávajú energiu v elektrickom poli medzi dvoma elektródami oddelenými membránou priepustnou pre ióny. Superkondenzátory sú použiteľné práve na krátkodobé skladovanie energie a disponujú malou kapacitou. Na druhej strane, niekoľko typov batérií je celosvetovo v rôznych štádiách vývoja a už sa používajú na poskytovanie podporných služieb elektrizačnej sústavy. Batérie možno rozdeliť na bežné batérie a prietokové batérie. Bežná batéria je taká, v ktorej dochádza k pohybu chemických látok medzi anódou a katódou v priestore batérie. Prietokové batérie majú väčšiu veľkosť a ponúkajú mnoho výhod oproti bežným batériám. Prietokové batérie uchovávajú energiu v elektrolyte batérie, a nie v elektródach, čo umožňuje rýchle dobitie prietokovej batérie jednoduchou výmenou nádrží s elektrolytom v systéme batérie. Veľkosť nádrže závisí od požadovanej kapacity batérie. Keď je v prevádzke, elektrolyt z nádrží prúdi do batérie, kde podstúpi elektrochemickú reakciu s výsledným skladovaním alebo produkciou elektrickej energie. Bežné konvenčné batérie sú lítium-iónové, sodíko-sírne, olovené a nikel-kadmiové batérie. Zinok-brómové a vanádiové redoxné batérie sú najslubnejšími predstaviteľmi prietokových batérií.

V lítium-iónovom batérovom článku sa energia ukladá tak, že pozitívne nabité lítiové ióny prechádzajú tekutým elektrolytom. V posledných rokoch lítium-iónové batérie dominovali na trhu so stacionárnymi aplikáciami na ukladanie energie v sieti [11]. Lítium-iónové batérie sa vyznačujú vysokou hustotou energie, veľmi vysokou účinnosťou cyklu a rýchlou odozvou. Lítium je však vysoko reaktívne v prípade vystavenia kyslíku alebo vody a musí byť starostlivo zabalené. Ďalším problémom je roztok organického uhlíčitanu a  $\text{LiPF}_6$ , ktorý je vysoko toxický a horľavý [12].

Hlavnými charakteristikami sodno-sírných (NaS) batérových systémov sú dlhé doby vybíjania, vysoká hodnota impulzného výkonu a extrémne prevádzkové podmienky. V NaS batérii pôsobí roztavený sodík (s možnou exotermickou reakciou s vodou) a síra ako dve elektródy batérie, pričom beta-oxid hlinitý pôsobí ako pevný elektrolyt. Preto sa prevádzková teplota batérie musí udržiavať v rozmedzí 300 až 350 °C. Vzhľadom na povahu materiálov použitých v batérii je potrebné dodržiavať prísne bezpečnostné opatrenia. Napriek bezpečnostným výzvam ponúkajú batérie NaS vynikajúcu hustotu energie a sú sľubné pre použitie v aplikáciách, ktoré vyžadujú krátke a vysoké dodávky energie [13].

Olovené batérie sú najstaršou dostupnou formou ukladania elektrickej energie. Cyklická životnosť týchto batérií a ich slabý výkon pri nižších teplotách ich však nezvýhodňujú pre viaceré služby energetického manažmentu [11]. Nikel-kadmiové batérie ponúkajú podobný výkon ako olovené batérie, ale s vynikajúcimi cyklistickými schopnosťami, hustotou energie a pamäťovým efektom. V NiCd batérii sa na výrobu katódy používa hydroxid nikelnatý a anóda je vyrobená z kovového kadmia [14]. Tieto batérie nevyžadujú tepelný manažment na udržanie špecifickej prevádzkovej teploty. Ak sa však batéria ihneď po vybití úplne nenabije, maximálna kapacita batérového systému začne rapídne klesať. Obmedzeniami veľkého nasadenia týchto batérií sú početné environmentálne riziká súvisiace s kadmiumom a nikelom. Obidva sú toxické ťažké kovy; kadmium je klasifikované ako karcinogénna látka pre ľudí a nikel môže vyvolať rakovinu pľúc a gastrointestinálneho traktu. Zinok-bromidové prietokové batérie sú hybridné prietokové batérie, kde časť energie je uložená v elektrolyte a ďalšia časť na inej tak, že ju počas nabíjania pokovujeme zinkom [15]. Tento typ batérie vyniká dlhou životnosťou, modularitou a takmer žiadnou energetickou stratou. Zložitosť technológie však prináša vyššie náklady a prísnejšie prevádzkové podmienky. Zinok-bromidové batérie sú vhodné na využitie v elektrizačnej sústave vďaka milisekundovým časom odozvy, ktoré sú vhodné na poskytovanie rýchlych podporných služieb a pretože ich neobmedzuje veľkosť výkonu, hĺbka vybitia a rýchlosť samovybíjania batérie. Bróm však výrazne znečisťuje životné prostredia, napáda tesnenia a vyvoláva koróziu.

Ďalším zástupcom prietokových batérií je vanádiová redoxná batéria (VRB), ktorá je dnes najvyspelejším typom prietokovej batérie. Táto batéria ukladá energiu pomocou redoxných párov vanádu, ktoré sa uchovávajú v dvoch samostatných nádržiach s elektrolytom. Keď elektrolyt preteká

batériou počas nabíjania, ióny vanádu prijímajú elektróny na anóde a ukladajú elektróny na katóde. Reakcie prebiehajú v opačnom smere, keď sa batéria vybíja. Významnou výhodou systémov VRB je, že oba roztoky elektrolytov sú chemicky identické, vďaka čomu je prevádzka batérie oveľa jednoduchšia a lacnejšia. Stále však čelia niektorým technickým výzvam, vrátane nízkej stability a rozpustnosti elektrolytu, čo môže viesť k zníženiu hustoty energie, ktorá je nižšia ako u iných systémov na ukladanie batérií [13]. Kapitálové náklady týchto systémov však zostávajú príliš vysoké na to, aby prenikli na trh [16].

Batériové skladovacie systémy (BEES) zahŕňajú hlavne batérie, riadiace a energetické systémy. Ako je uvedené v predchádzajúcich odsekoch, niektoré z týchto systémov obsahujú vzácne materiály, čo negatívne ovplyvňuje kapitálové náklady a znižuje udržateľnosť takýchto riešení. Bežné batérie tiež trpia nízkym počtom cyklov nabíjania a vybíjania, čo znamená dodatočné náklady potrebné na výmenu batérií. Vzhľadom na požiadavky na skladovanie energie vo veľkom meradle je dôležitou otázkou relatívne menšia skladovacia kapacita spôsobená veľmi nízkou mernou energiou a nízkou hustotou energie. Potreba väčšieho počtu batériových jednotiek môže byť teda kompenzovaná distribuovaným batériovým úložiskom využívajúcim elektrické autá pripojené k sieti, keď nie sú v prevádzke. Toto sa označuje ako prevádzka z vozidla do siete [17]. Projekt Tehachapi Energy Storage [18] môže slúžiť ako príklad reálneho využitia systémov BEES v sieti. Projekt Tehachapi Energy Storage (2014 – 2021) bol 8 MW / 32 MWh lítium-iónový batériový systém na skladovanie energie v rozvodni Monolith v Tehachapi Kalifornia, ktorý postačoval na napájanie 1 600 až 2 400 domácností na štyri hodiny. Jednou z dôležitých technológií je skladovanie vodíkovej energie. Pri tejto forme skladovania energie môže byť elektrina, ktorá bola vyrobená v elektrárni, použitá na výrobu vodíka najmä prostredníctvom vysokoteplotnej (>800 °C) [19] parnej elektrolýzy, ktorá znižuje množstvo elektrickej energie v porovnaní s nízkoteplotnými metódami. Ďalšou možnosťou je využitie termochemických procesov, ktoré disociujú vodu pomocou série chemických reakcií pri rôznych teplotách. Termochemický cyklus síry a jódu aj cyklus chloridu meďnatého vyžadujú relatívne vysoké teploty (cca 900 °C a 500 °C). Všetky vyššie uvedené metódy vyžadujú značné množstvo elektriny z JE s malým využitím procesného tepla.

Po vyrobení vodíka sa musí skladovať v špecifickej forme. V tuhej fáze sa skladuje vo forme hydridov sodíka, horčíka alebo lítia [20], [21]. V plynnej fáze sa vodík ukladá vo veľkých množstvách pod zemou v soľných jaskyniach, vyčerpaných ložiskách ropy a plynu a v hydrokolektoroch [1]. Z dôvodov materiálových vlastností a prevádzkových nákladov sa veľké množstvá plyného vodíka zvyčajne neskladujú pri tlakoch presahujúcich 100 barov v nadzemných nádobách a 200 barov v podzemných zásobníkoch. Keďže skladovacie tlaky sú obmedzené, sú obmedzené aj dosiahnuteľné skladovacie hustoty vodíka: pri 100 baroch a 20 °C je hustota plyného vodíka približne 7,8 kg/m<sup>3</sup> [22]. Nízka hustota vodíka vedie k veľkým objemom pre skladovanie, a tým k vysokým investičným nákladom. Veľké množstvá vodíka sú už uložené pod zemou: napr. sklady v soľných dutinách v Teeside, Spojené kráľovstvo a Texas, USA, preukázali použiteľnosť tohto prístupu [23]. Ako alternatíva k soľným jaskyniam je najslubnejšou možnosťou skladovania vodíka vo veľkom meradle v kovových nádobách skladovanie v potrubí. Potrubné zásobníky sa už použili na skladovanie zemného plynu, najmä na zvládnutie špičiek dopytu po zásobníkoch [24]. Okrem kompresie možno hustotu čistého vodíka zvýšiť aj jeho skvapalňovaním. Skvapalnenie má tú výhodu, že už pri atmosférickom tlaku možno dosiahnuť veľmi vysoké hustoty uskladnenia vodíka: hustota nasýteného kvapalného vodíka pri 1 bar je 70 kg/m<sup>3</sup> [25]. Kvapalný vodík vyžaduje značné množstvo energie, pretože sa musí ochladiť pod kritický bod 33 K. Zásobníky majú najčastejšie dvojité steny s guľovitým tvarom, aby sa minimalizovala rýchlosť odparovania, a sú špeciálne izolované, aby sa minimalizoval prenos tepla žiarením. V dôsledku vysokého stupňa izolácie a nízkeho pomeru povrchu k objemu sú rýchlosti odparu pri väčších guľovitých nádržiach veľmi nízke, bežne pod 0,1 % za deň [26]. Ďalšou alternatívou je chemická väzba vodíka chemickými hydridmi, ako je metanol, amoniak alebo kyselina mravčia. Treba však poznamenať, že užitočnosť týchto chemikálií jednoznačne presahuje skladovanie vodíka.

Chemická energia uložená vo vodíkových väzbách sa potom môže neskôr použiť v palivovom článku alebo spaľovacej turbíne na produkciu užitočnej práce. V dôsledku vysokých nákladov sa výroba vodíka zvyčajne nepovažuje za vhodnú na každodenné riadenie výkyvov na trhoch s elektrickou

energiou spôsobených premenlivou výrobou elektriny z obnoviteľných zdrojov energie. Navyše žiadny zo spomínaných pokročilých výrobných procesov nebol preukázaný mimo laboratórneho rozsahu. V dôsledku intenzívneho výskumu sa očakáva, že náklady na vodíkové palivové články v nasledujúcom desaťročí výrazne klesnú [27]. Systémy výroby vodíka možno tiež jednoducho rozšíriť pre potreby elektrizačnej sústavy. Systémy skladovania vodíkovej energie sú navyše kompaktné a možno ich jednoducho integrovať do výrobného cyklu elektrárne.

## **B. Mechanická energia**

Mechanické skladovanie energie predstavuje väčšinu dnes inštalovanej kapacity skladovania energie na svete. Existuje niekoľko technológií založených na mechanickej energii, ako je skladovanie energie stlačeného vzduchu (CAES), prečerpávací vodná elektrárň (PSH) a ukladanie energie v zotrvačníkoch (FES). CAES ukladá elektrinu ako potenciálnu energiu v dôsledku rozdielov v tlakových zásobníkoch plynu. Vo svete sú dnes v prevádzke iba dva plnohodnotné systémy CAES: jeden v Nemecku a jeden v americkom štáte Alabama [11]. Aj keď systémy CAES ponúkajú rýchle nábehové rýchlosti, tak ako zariadenia PSH, účinnosť procesu skladovania a premeny energie je relatívne nízka v porovnaní s inými technológiami skladovania energie. Podzemné skladovacie systémy CAES sú cenovo najvýhodnejšie a dosahujú s úložnou kapacitou do 400 MW a s dobou vybíjania 8 (nadzemná) až 26 (podzemná inštalácia) hodín [28]. Zotrvačníky uchovávajú kinetickú energiu v dôsledku vnútornej hmoty rotujúceho rotora vo vákuovej komore bez trenia. V moderných zotrvačnickových systémoch je rotor obsiahnutý v hrubej oceľovej nádobe, ktorá chráni rotor a motor-generátor používaný na premenu elektrickej energie na mechanickej energiu a naopak. Systémy FES majú najvyššiu účinnosť prenosu energie, ale majú len veľmi obmedzenú energetickú kapacitu len v desiatkach kWh [28]. Prečerpávací vodná elektrárň je najrozvinutejšia a osvedčená technológia skladovania energie na svete. Prečerpávacie vodné elektrárne akumulujú energiu prečerpávaním vody z nižšej nádrže do vyššej nádrže pomocou elektrickej energie vyrobenej v období mimo špičky. Počas obdobia špičky môže voda tiecť späť do dolnej nádrže a vyrábať elektrickú energiu rovnakým spôsobom ako konvenčná vodná elektrárň. Medzinárodná energetická agentúra odhaduje, že zariadenia PSH predstavujú 99 % celosvetovej kapacity skladovania energie [29]. Prečerpávací vodná elektrárň Čierny Váh je najväčšou slovenskou prečerpávacou elektrárnou a svojim inštalovaným výkonom aj najväčšou vodnou elektrárnou. Horná nádrž nachádzajúca sa v nadmorskej výške 1160 metrov nad morom nemá vlastný prítok. Inštalovaný výkon Čierneho Váhu je 735,16 MWe [30]. Jej využitie v slovenskej elektrizačnej sústave je možné vidieť na Obr.1-b). Medzi hlavné problémy PSH patrí umiestnenie (geografické podmienky), povoloňacie procesy, akceptácia verejnosťou a súvisiace procesy vplyvu na životné prostredie, ktoré môžu trvať mnoho rokov. V každom prípade je zjavné, že PSH je najideálnejšia možnosť pre veľkokapacitné skladovanie elektrickej energie mimo špičky.

## **C. Termálna energia**

Technológie skladovania tepelnej energie (TES) uchovávajú energiu vo forme tepla. Väčšinou sa používajú v elektrárnach na skladovanie tepelnej energie pred jej premenou na elektrickú energiu alebo na iné účely, ako je diaľkové vykurovanie. Technológie TES sa zvyčajne zvažujú v spojení s koncentrovanými solárnymi obnoviteľnými zdrojmi energie [31], ale mohli by byť tiež priamo začlenené do projektov JE [31]. Na rozumné ukladanie tepla sa používajú pevné alebo tekuté materiály podľa prevádzkovej teploty. Medzi pevné materiály akumulujúce teplo patrí betón, skaly a keramika. Ako kvapalné skladovacie médiá sa zvyčajne vyberajú roztavené soli, voda alebo syntetické oleje [32]. V prípade akumulácie latentného tepla materiál s fázovou zmenou ukladá teplo ako teplo topenia alebo teplo vyparovania. Jedným zo zaujímavých systémov skladovania tepelnej energie je dobre zavedený podzemný tepelný energetický systém, v ktorom sa energia ukladá vo vrtoch, hydroakumulátoroch a kavernách. Typickým úložným médiom je voda [14]. Ekonomická efektívnosť týchto systémov do značnej miery závisí od okolitých geografických podmienok. Ďalšou využiteľnou technológiou je systém akumulácie teplej a studenej vody. Tieto systémy sa používajú predovšetkým na presun dopytu po energii na vykurovanie a chladenie obytných a komerčných budov do obdobia

mimo špičky, so snahou o zníženie nákladov. V typickom systéme skladovania teplej a studenej vody zariadenie chladí alebo odovzdáva teplo vode, ktorá je potom uložená v izolovanej nádrži. Výkon týchto systémov je obmedzený výstupnou teplotou, ktorá je závislá od teploty topenia a varu vody.

Roztavené soli sú materiálom s fázovou zmenou, ktorý sa bežne používa na skladovanie tepelnej energie. Roztavené soli sú za izbových podmienok tuhé, ale pri zahrievaní sú kvapalné. Vo väčšine systémov akumulácie tepla, v systémoch skladovania energie roztavenej soli, sa roztavená soľ udržiava ako kvapalina počas celého procesu skladovania energie. Zaujímavý návrh spojenia pokročilého vysokoteplotného reaktora s blokom tepelnej energie roztavenej soli chloridu lítneho (s využitím latentného tepla) možno nájsť v literatúre [31]. V blokovej schéme systému je zásobník tepelnej energie LiCl s kapacitou 150 MWd tepelnej energie umiestnený medzi tradičnou primárnou a sekundárnou slučkou JE. Treba poznamenať, že tento koncept je použiteľný aj pre iné TES. Podľa autorov príspevku sa výrazne zvýšia charakteristiky jadrového energetického reaktora podľa zaťaženia a zavedie sa dodatočná bezpečnostná rezerva v prípade neplánovaného odstavenia.

### 3. Regulačné aspekty

Spojenie veľkého systému skladovania energie s jadrovým reaktorom prináša niekoľko výziev na zaručenie bezpečnosti kombinovaného systému. Dá sa predpokladať, že veľké skladovanie tepelnej energie zlepší bezpečnosť vďaka dodatočnej tepelnej zotrvačnosti, bez prenosu zmien teploty do aktívnej zóny a schopnosti absorbovať rozpadové teplo v prípade potreby. Niektoré zo systémov skladovania energie môžu poskytovať núdzovú záložnú energiu užitočnú na chladenie v prípade vonkajšieho napájania alebo v prípade iných scenárov. Existujú však obavy o spoľahlivosť a integritu takýchto systémov, požiare v prípade systémov BEES, chemickú interakciu sodíka v NaS, záplavy spôsobené poruchami systémov skladovania teplej a studenej vody, zamrznutie roztavených solí a blokovanie tepelnej výmeny z reaktora, výbuchy vodíka a iné. Napokon možno identifikovať významné regulačné výzvy, ktoré predstavuje prepojenie veľkého systému skladovania energie s jadrovým reaktorom, kde je potrebné vyvinúť celú metodiku hodnotenia bezpečnosti vrátane nových simulačných kódov podporených experimentálnou prácou. Na základe týchto zistení je potrebné vytvoriť a národnými regulačnými orgánmi prijať riadny medzinárodne akceptovaný licenčný rámec.

### Záver

Výrazný posun smerom k obnoviteľnej energii a výstavbe nových jadrových elektrární na Slovensku prináša výzvy pre efektívnu a ekonomickú prevádzku zdrojov energie pracujúcich v základnom pásme zaťaženia. Na druhej strane možno tieto výzvy považovať za možnosti nových technológií. Systémy skladovania energie sú nepochybne zaujímavé pre vedeckú a priemyselnú komunitu a ich možná interakcia s jadrovými reaktormi sa zdá byť obojstranne výhodná. Táto životaschopná spolupráca môže dokonca pomôcť dekarbonizovať elektrotechnický sektor, a tak dosiahnuť stanovené klimatické ciele. Existuje množstvo potenciálnych veľkých systémov na skladovanie energie s rôznymi úrovňami zrelosti, ktoré je možné zvažovať pre budúcu aplikáciu. Veľkou výhodou do budúcnosti je, že jadrové bloky nachádzajúce sa na Slovensku je možné logicky nahradiť novou generáciou malých modulárnych reaktorov bez toho, aby boli ohrozené už nasadené samostatné systémy skladovania energie. Okrem vykonaného prehľadu táto práca uvádza predbežné kroky pre modelovanie slovenskej siete s využitím európskeho rýchleho reaktora sodíka (ako zástupcu SMR) v spolupráci so samostatnými alebo integrovanými technológiami skladovania energie v blízkej budúcnosti.

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vĎaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] N. Gnanapragasam, D. Ryland a S. Suppiah, „Stav možností skladovania energie pre elektrinu z jadrových elektrární,“ Medzinárodná konferencia IEEE o inĎinierstve inteligentných energetických sietí (SEGE), 2013, s. 1-11, DOI: 10.1109/ SEGE.2013.6707910.
- [2] MAAE, „Výhody a výzvy malých modulárnych rýchlych reaktorov“, Zborník z technického stretnutia, IAEA-TECDOC-1972, Viedeň, MAAE, 2021.
- [3] Parížska dohoda k Rámčovému dohovoru Organizácie Spojených národov o zmene klímy, 12. decembra 2015, TIAS č. 16-1104.
- [4] MAAE, „Zmena klímy a jadrová energia 2020“, Viedeň, MAAE, 2020.
- [5] SEPS, „ Individuálna a konsolidovaná výročná správa 2020“, Bratislava, SEPS as, 2021.
- [6] J. Stojaspal, „Slovensko zníži daň výmenou za pevnú cenu elektriny“, Bloomberg Tax, prístup: 7. apríla 2022, online: <https://news.bloombergtax.com/daily-tax-report-international/slovakia-to-zrazkova-daň-pri-návratke-za-pevnú-cenu-elektriny>.
- [7] Slovenské elektrárne as, „Prevádzkový predpis - Bezpečnostná správa JE V-2 (6-BSP-001),“ SE as, Bohunice, 2012.
- [8] NEA, „Technické a ekonomické aspekty zaťaženia jadrových elektrární“, OECD NEA, 2011.
- [9] H. Chan Kim, S. Kyu Seo, S. Uk Lee a Y. Sik Yang, „Vývoj modulu NUFORM3D s FRAPCON3.4 na simuláciu mechanickej interakcie povlaku peliet“, Nuclear Engineering and Design, Vol. 318, 2017, s. 61-71, DOI: 10.1016/j.nucengdes.2017.03.035.
- [10] C. Bruynooghe, A. Eriksson a G. Full, „Prevádzkový režim v jadrových elektrárnach (JE) v závislosti od zaťaženia a vplyv na náklady na prevádzku a údržbu (O&M) – kompatibilita s variabilitou veternej energie,“ 24 583 EUR podľa vedeckých a technických správ, 2010.
- [11] AA Akhil, G. Huff, AB Currier, BC Kaun, DM Rastler, SB Chen, AK Cotter, DT Bradshaw a WD Gauntlett, „Príručka skladovania elektriny v spolupráci s NRECA“, DOE/EPRI 2013, Sandia National Laboratory, Albuquerque, NM, 2013.
- [12] Z. Zhou, T. Levin a G. Conzelmann, „Prieskum vedľajších trhov USA“, Argonne National Laboratory, Argonne, IL, 2016.
- [13] X. Luo, J. Wang, M. Dooner a J. Clarke, „Prehľad súčasného vývoja technológií skladovania elektrickej energie a aplikačného potenciálu v prevádzke energetických systémov“, Applied Energy, Vol. 137, s. 511-536, 2015.
- [14] J. Coleman, S. Bragg-Sitton, E. Dufek, S. Johnson, J. Rhodes, T. Davidson a ME Webber, „Hodnotenie možnosti skladovania energie pre jadrovú energiu“, INL/EXT-17-42420 Rev. 0, INL, USA, jún 2017.
- [15] J. Intrator, E. Elkind, A. Abele, S. Wiessman, M. Sawchuk a E. Barklett, „Strategická analýza skladovania energie v roku 2020 v Kalifornii“, Program verejného výskumu energie (PIER), 2011.
- [16] Z. Abdin, KR Khalilpour, „Kapitola 4 – Single and Polystorage Technologies for Renewable-Based Hybrid Energy Systems,“ v Polygeneration with Polystorage for Chemical and Energy Hubs, Academic Press, str. 77-131, 2019. ISBN 9780128133064, DOI: 10.1016/B978-0-12-813306-4.00004-5.
- [17] K. Clement-Nyns, E. Haesen a J. Driesen, „ Vplyv od vozidla k sieti na distribučnú sieť“, Electric Power Systems Research, zv. 81, s. 185-192, január 2011.
- [18] N. Pinsky, L. O'Neill, „Projekt skladovania veternej energie Tehachapi“, správa o výkonnosti technológie č. 3, Južná Kalifornia Edison, USA, 2017, DOI: 10.2172/1349233.
- [19] JE O'Brien, MG McKellar, EA Harvego a CM Stoots, „Vysokoteplotná elektrolyza pre rozsiahlu výrobu vodíka a syngasu z jadrovej energie – súhrn systémových simulácií a ekonomických analýz,“ International Journal of Hydrogen Energy, vol. 35, s. 4808-4819, október 2009.
- [20] B. Sakintuna, F. Lamari-Darkrim a M. Hirscher, „Metal hydride materials for solid hydrogen storage: A review,“ International Journal of Hydrogen Energy, vol. 32, s. 1121-1140, január 2007.
- [21] DD Macdonald, J. McLafferty, J. Tokash, A. Saleg, R. Sharna, S. Sharifi-Asl, SK Lee, K. Williams a M. Taylor, „Elektrochemické vodíkové skladovacie systémy“, Záverečná správa Ministerstva materiálov Veda a inĎinierstvo, Pennsylvania State University, jún 2010.
- [22] J. Andresson, S. Grönkvist, „Veľké skladovanie vodíka“, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 44, s. 11901-11919, máj 2019, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.03.063.



- [23] E. Wolf, „Veľké skladovanie vodíkovej energie“, In Garche J, editor. Elektrochemické skladovanie energie pre obnoviteľné zdroje a vyrovnanie siete. Amsterdam: Elsevier; 2015. s. 129-42.
- [24] O. Kruck, F. Crotagino, R. Prelicz, T. Rudolph „Prehľad všetkých známych technológií podzemného skladovania vodíka,“ HyUnder; 2013 august. Dodanie, 2013 (3.1).
- [25] A. Witkowski, A. Rusin, M. Majkut, K. Stolecká, „Komplexná analýza kompresie vodíka a prepravy potrubím z hľadiska termodynamiky a bezpečnosti“, roč. 141, Energia, s. 2508-2518, 2017.
- [26] WA Amos, „Náklady na skladovanie a prepravu vodíka“, Golden, CO (USA): Národné laboratórium pre obnoviteľnú energiu; 1999.
- [27] M. Beaudin, H. Zareipour, A. Schellenberglobe a W. Rosehart, „Ukladanie energie na zmiernenie variability obnoviteľných zdrojov elektriny: Aktualizovaný prehľad“, Energia pre trvalo udržateľný rozvoj, roč. 14, str. 302-314, 2010.
- [28] D. Rastler, „Možnosti technológie skladovania elektrickej energie – základný náter v bielej knihe o aplikáciách, nákladoch a prínosoch“, Technická správa inštitútu Electric Power Research Institute, 2010.
- [29] Medzinárodná energetická agentúra, „Technologický plán: skladovanie energie“, Paríž, Francúzsko, 2014.
- [30] Slovenské elektrárne, „Prečerpávací elektrárň Čierny Váh“, Slovenské elektrárne as (seas.sk). prístup: 7. apríla 2022, online: <https://procurement.seas.sk/ciorny-vah-hpp>.
- [31] SA Alameri, JC King., „Systém skladovania tepelnej energie spojeného jadrového reaktora pre zvýšenú záťaž po prevádzke“, v proc. Medzinárodná jadrová atlantická konferencia – INAC 2013, Brazília, 2013.
- [32] A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Lázaro, P. Dolado, B. Zalba, LF Cabeza, „Súčasný stav v oblasti vysokoteplotného skladovania tepelnej energie na výrobu energie. Časť 1 – Koncepty, materiály a modelovanie,“ Renewable and Sustainable EnergyReviews, Vol. 14, s. 31–55, 2010.

## IMPLEMENTÁCIA POŽIADAVIEK Z NARIADENIA EÚ 2016/631 NA PRIPÁJANIE ZDROJOV ELEKTRICKEJ ENERGIE V EÚ

*Ján Poničan<sup>1</sup>, Vendula Filová<sup>2</sup>, Matej Sadloň<sup>1</sup>, Štefan Čerba<sup>2</sup>, Branislav Vrban<sup>2</sup>, Jakub Lüley<sup>2</sup>, František Janíček<sup>1</sup>, Vladimír Nečas<sup>2</sup>*

1. Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika
2. Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: [vendula.filova@stuba.sk](mailto:vendula.filova@stuba.sk)

### Úvod

Prijatie nariadenia EÚ 2016/631 [1], ktorým sa stanovuje sieťový predpis pre požiadavky na pripojenie výrobcov elektriny do elektrizačnej sústavy prebehlo síce už v roku 2016, no viaceré implementácie boli realizované len v poslednom období. Nariadenie sa zaoberá požiadavkami pre pripájanie nových výrobných zariadení do elektrizačnej sústavy. Práve pripájanie nových zdrojov do elektrizačnej sústavy na Slovensku bolo v posledných rokoch takpovediac nemožné. Efekt posudzovania žiadostí o pripojenie nového zdroja do sústavy v zmysle technických podmienok prevádzkovateľov distribučných sústav spôsobil na Slovensku tzv. „stop-stav“ a prakticky do sústavy nebolo možné pripojiť nový výrobný zdroj. Prijatím nariadenia EÚ 2016/631 bolo potrebné prepracovať technické podmienky pre pripájanie nových zdrojov do sústavy tak, aby boli v súlade s novým prijatým nariadením EÚ 2016/631.

Prijatím nariadenia EÚ 2016/631 však „stop-stav“ naďalej pokračoval, nakoľko mnohé technické faktory, ale aj legislatívne bariéry, týkajúce sa bezpečnej prevádzky elektrizačnej sústavy, nepovoľovali vo väčšom množstve pripájanie nových zdrojov. Veľkú úlohu pre postupné uvoľnenie „stop-stavu“ zohralo prijatie novely zákona o podpore OZE Ministerstvom hospodárstva v roku 2019. Týmto sa výrazne posunula situácia, hlavne z legislatívnej oblasti. Boli stanovené zdroje na výrobu elektriny, ktoré budú môcť využívať štátne podporné schémy pri ich prevádzke. Taktiež boli vypracované podrobnejšie analýzy, ktoré ukázali, v ktorých oblastiach je možné pripájať nové zdroje, vzhľadom na voľné kapacity inštalovaného výkonu v súlade s technickým stavom súčasnej infraštruktúry elektrizačnej sústavy. K výraznejšiemu rozvoju pripájania nových zdrojov však nedošlo, vzhľadom na nedostatočnú „kvalitu“ infraštruktúry elektrizačnej sústavy z hľadiska bezpečnosti prevádzky. Pre reálne uvoľnenie kapacít pre nové výrobné zdroje bolo z pohľadu bezpečnosti

prevádzky elektrizačnej sústavy nevyhnutné dokončenie častí prenosovej sústavy. Konkrétne išlo o posilnenie prenosových kapacít – výstavba nových 400 kV vedení na slovensko-maďarskom cezhraničnom profile. Išlo o nové vedenia na trase Veľký Ďur – Gabčíkovo – Gönyű a Rimavská Sobota – Sajóivánka, ktoré boli definitívne sprevádzkované prevádzkovateľom prenosovej sústavy na Slovensku a Maďarsku dňa 6. apríla 2021. Týmto krokom sa z pohľadu technických súvislostí odstránili vplyvy, ktoré doposiaľ bránili pripájaniu nových výrobných zdrojov do elektrizačnej sústavy a uvoľnili sa významné kapacity pre budúci rozvoj obnoviteľných zdrojov na Slovensku.

## 1. Čo nové nariadenie prináša

Prvé zmeny v technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných sústav boli pozorovateľné v technických podmienkach, aktualizovaných v roku 2017. Podrobnejšie zapracovanie nariadenia EÚ 2016/631 do technických podmienok sa uskutočnilo až v roku 2019. Vo verziách technických podmienok prevádzkovateľov distribučných sústav z obdobia 2017 a 2018 boli v zmysle nariadenia EÚ 2016/631 zapracované zmeny týkajúce sa jedine rozdelenia výrobných zdrojov na kategórie A, B, C, D v zmysle inštalovaného výkonu výrobného zdroja a napätovej hladiny v mieste pripojenia zdroja do elektrizačnej sústavy.

Podrobné implementovanie požiadaviek pre pripájanie nových výrobných zdrojov do elektrizačnej sústavy, v zmysle nariadenia EÚ 2016/631 bolo vykonané až v roku 2019, z pohľadu implementovania požiadaviek pre výrobné zdroje do technických podmienok prevádzkovateľov distribučných sústav. Z pohľadu prevádzkovateľa prenosovej sústavy boli požiadavky pre nové výrobné zdroje implementované a riadne schválené dokumenty technických podmienok prístupu a pripojenia, pravidiel prevádzkovania prenosovej sústavy až neskôr, pričom boli mnohokrát aktualizované. Najnovšie (prístup 1.5.2021) verzie technických podmienok prevádzkovateľa prenosovej sústavy nadobúdajú účinnosť 1.1.2021 (Dokument N), resp. 1.4.2021 (Dokument B), odkedy sa ruší účinnosť pôvodných dokumentov technických podmienok.

Z pohľadu implementácie nariadenia EÚ 2016/631 sa v technických podmienkach prevádzkovateľa prenosovej sústavy, ako aj prevádzkovateľov distribučných sústav stanovilo rozdelenie výrobných zdrojov podľa celkového inštalovaného výkonu P<sub>ne</sub> a napätovej hladiny v mieste pripojenia zdroja na jednotlivé kategórie zdrojov A, B, C, D. Vo všetkých technických podmienkach bolo rozdelenie zdrojov na jednotlivé kategórie stanovené jednotne, ako je to uvedené v tabuľke. Z pohľadu elektrizačnej sústavy Slovenskej republiky je možné v zmysle nižšie uvedenej tabuľky zjednodušene povedať, že výrobné zdroje, ktoré sú pripojené do distribučnej sústavy s výnimkou distribučnej sústavy 110 kV sú delené na typ A, B, C, D, v závislosti od veľkosti inštalovaného výkonu zdroja v rozsahu do 100 kW, do 5 MW, do 20 MW a nad 20 MW [4]. Výrobné zdroje, ktoré sú pripojené do distribučnej sústavy 110 kV a prenosovej sústavy spadajú výlučne do kategórie D, pričom veľkosť inštalovaného výkonu výrobného zdroja nie je posudzovaná. Na jednotlivé kategórie zdrojov sú kladené mnohé požiadavky, ktoré musí zdroj spĺňať, aby mohol byť do sústavy pripojený.

Kategória (typ) výrobné podľa nariadenia komisie č. 2016/631	Výkonová hranica	Napätová hladina miesta pripojenia do DS
A	$0,8 \text{ kW} \leq P_{ne} < 100 \text{ kW}$	< 110 kV
B	$100 \text{ kW} \leq P_{ne} < 5 \text{ MW}$	< 110 kV
C	$5 \text{ MW} \leq P_{ne} < 20 \text{ MW}$	< 110 kV
D	$P_{ne} \geq 20 \text{ MW}$	< 110 kV
	nerozhoduje	$\geq 110 \text{ kV}$

Obr.1 Kategorizácia zdrojov.

Implementácia nariadenia EÚ 2016/631 do technických podmienok jednotlivých prevádzkovateľov distribučných sústav rieši hlavné bezpečnostné požiadavky, týkajúce sa bezpečnej

prevádzky elektrizačnej sústavy v zmysle vplyvu výrobných zariadení na okolitú elektrizačnú sústavu. Medzi hlavné požiadavky na výrobné zariadenia patria požiadavky týkajúce sa:

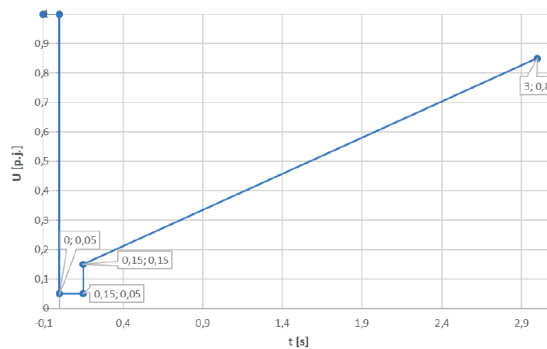
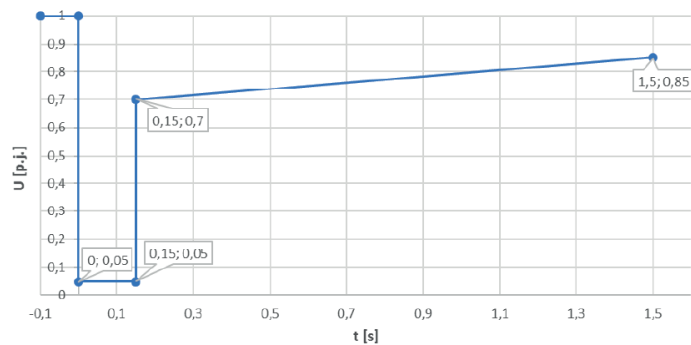
- Frekvenčného správania sa výrobného zariadenia,
- Schopnosti automatického pripojenia po poruchách v sústave,
- Prevádzky zariadení počas skratu,
- Riedenia činného výkonu pri zmenách frekvencie,
- Parametrov pre dodávku jalového výkonu,
- Nastavenia elektrických ochrán,
- Parametrov zariadení pre potreby simulačných modelov.

Implementácia nariadenia EÚ 2016/631 do technických podmienok jednotlivých prevádzkovateľov distribučných sústav bola v mnohých oblastiach vykonaná identicky, no pri niektorých požiadavkách s možnou voľbou jednotlivých hodnôt parametrov bola prevádzkovateľom distribučnej sústavy stanovená špecifická požadovaná hodnota, v zmysle rozsahu voľby. Ide napríklad o nastavenie ochrán pôsobiacich na hlavné rozpojovacie miesto, mierne odlišné časové priebehy napätia v mieste pripojenia pri prevádzke počas skratu, Požiadavky na jalový výkon pre synchronne jednotky typu C, D (porovnávané jednotlivé technické podmienky jednotlivých PDS).

Frekvenčné správanie sa výrobného zariadenia definuje požiadavky na prevádzku, resp. prístrojové vybavenie zdrojov typu A, B, C, D. Frekvenčná stabilita týchto zdrojov hovorí, aký požadovaný čas musia tieto zdroje ostať v prevádzke pri zmene frekvencie v sieti v rámci rozsahu 47,5 až 51,5 Hz. Požiadavky frekvenčnej stability definujú aj rýchlosť zmeny frekvencie, kedy sa zdroj nesmie od siete odpojiť. Pri zníženej, resp. zvýšenej frekvencií sú definované požiadavky v rámci schopnosti odozvy činného výkonu na zmenu frekvencie výrobných zdrojov, akým spôsobom musia vedieť jednotlivé typy zdrojov zvýšiť, resp. znížiť činný výkon.

V zmysle napätových požiadaviek sú na výrobné zdroje v rámci kategórií kladené požiadavky hlavne. Pre jednotlivé typy výrobných zdrojov sú tak v zmysle nariadenia EÚ 2016/631 stanovené napätové a frekvenčné pri prevádzke počas skratu a v schopnosti automatického pripojenia sa do sústavy po plánovanom odpojení, ale aj po nečakaných poruchách v sústave rozsahy, kedy a pri akom časovom oneskorení je možné výrobný zdroj opätovne zapnúť do sústavy prostredníctvom fázovacieho prvku. Fázovací prvok možno zopnúť po prijatí signálu pre odblokovanie hlavného rozpojovacieho miesta z riadiaceho centra alebo automaticky pri stanovenom oneskorení. Oneskorenie zapnutia je stanovené časom, počas ktorého musí byť napätie a frekvencia v stanovenom rozsahu. V rámci napätových požiadaviek sú pre jednotlivé výrobné zdroje stanovené požiadavky pre schopnosť výrobného zdroja pri prevádzke počas skratu. Požiadavky stanovujú časový priebeh napätia v mieste pripojenia pre poruchové podmienky, v ktorom sa musia výrobné zdroje udržať pripojené do siete a po odznení poruchy pokračovať v stabilnej prevádzke. Tieto priebehy sú odlišné pre synchronne zdroje a nesynchronne zdroje. Nesynchronným výrobným zdrojom je napríklad výroba vo fotovoltaickej elektrárni, ktorá dodáva výkon do sústavy prostredníctvom výkonovej elektroniky, alebo skupina veterných elektrární, ktoré pracujú v nesynchronnej sieti a sú do synchronnej siete pripojené prostredníctvom výkonovej elektroniky.

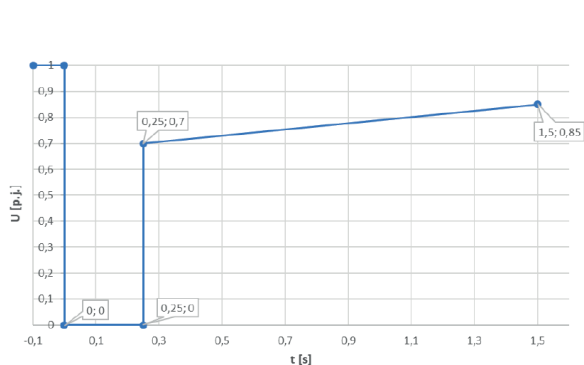
Špecifické požiadavky, uvedené v technických podmienkach, týkajúce sa výrobného zdroja typu D definujú v rámci napätových požiadaviek aj napätový rozsah a dobu, v ktorej musia výrobné zdroje byť schopné udržať pripojenie do siete a pracovať v rámci tohto rozsahu napätia v mieste pripojenia. Podmienky sú definované v závislosti od napätovej hladiny. Pre zdroj typu D sú tieto požiadavky definované pre napätovú úroveň 110 kV a 400 kV. V nových technických podmienkach sú taktiež zapracované zmeny týkajúce sa správania sa výrobného zdroja. Podľa typu zdroja sú v technických podmienkach uvedené požiadavky na korekciu nastavenej hodnoty činného výkonu. Tieto požiadavky sa týkajú zdrojov typu C a D a to tak, že regulačný systém zdroja musí byť schopný upravovať zadanú hodnotu činného výkonu v súlade s pokynmi príslušného prevádzkovateľa distribučnej, resp. prenosovej siete.



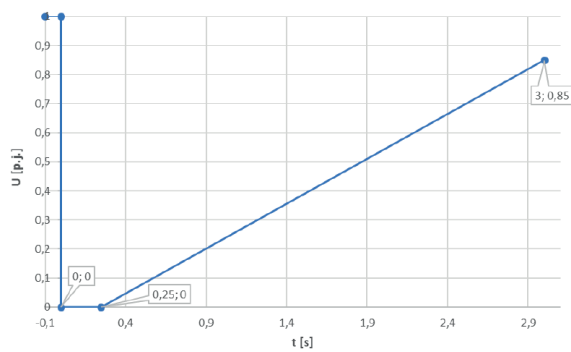
A;

B;

Obr.2 Časový priebeh napätia výrobného zdroja typu B a typu C počas skratu pre A) synchronne zdroje a B) nesynchronne zdroje [6].



A;



B;

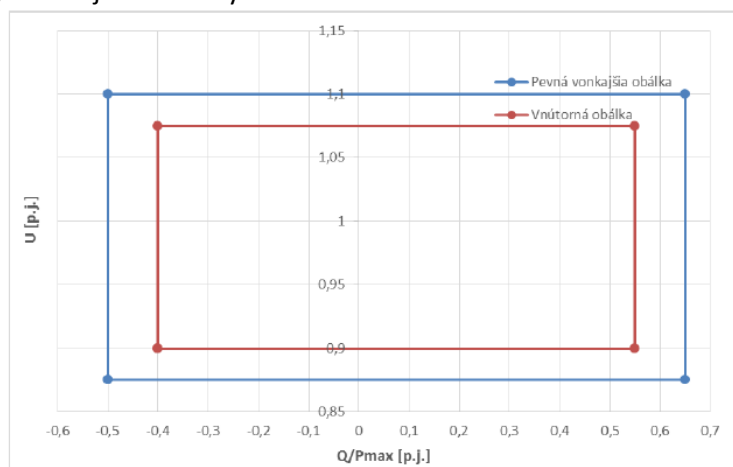
Obr.3 Časový priebeh napätia výrobného zdroja typu D počas skratu pre a) synchronne zdroje a b) nesynchronne zdroje [6].

Aktivácia zvýšenia činného výkonu pri podfrekvenciách v rámci pracovného režimu výrobných zdrojov musí prebiehať tak, aby bol zabezpečený čo najmenší vplyv na susedné oblasti v sieti. Požiadavky sú v takomto prípade kladené na frekvenčnú hranicu aktivácie činného výkonu, statiku generátora a prvotnú reakciu výrobného zariadenia na zmenu frekvencie. Aktivácia zvýšenia činného výkonu musí prebehnúť v zmysle odchýlky frekvencie  $\pm 200$  mHz, pričom výrobný zdroj musí byť schopný poskytovať plnú rezervu činného výkonu v stanovenom čase a taktiež doba plnej aktivácie rezervy činného výkonu musí byť do uvedeného maximálneho času. V technických podmienkach je taktiež upravená aj rýchlosť zmeny činného výkonu na výstupe výrobného zdroja v oboch smeroch v závislosti od osobitností hnacej jednotky a od typu primárnej technológie jednotky na výrobu elektriny. Zmena je určená ako rozsah zmeny činného výkonu v stanovenom časovom rozsahu. Riadenie a monitorovanie odozvy činného výkonu na zmenu frekvencie pre uvedené typy zdrojov musí byť v uvedenom rozsahu a výrobný zdroj musí byť vybavený vhodným komunikačným rozhraním pre prenos informácií v reálnom čase zabezpečeným spôsobom od zdroja do riadiaceho centra.

V zmysle požiadaviek pre pripojenie nového výrobného zdroja, vyplývajúcich z nariadenia EÚ 2016/631, sú tieto požiadavky zapracované do technických podmienok a upravujú aj požiadavky

týkajúce sa poskytovania modelov daného výrobného zdroja pre účely overenia správania sa výrobného zdroja v sieti a to v ustálenom stave, prechodných javoch ako aj pre účely simulácie elektromagnetických prechodných javov. Základné súbory modelov musia obsahovať jednotlivé časti zariadenia ako alternátor a jeho pohon, reguláciu napätia, výkonu a otáčok, modely ochrán, meničov a nesynchronných modulov. Odpovedajúce modely musia byť v súlade s platnými štandardami.

Dôležitými požiadavkami z hľadiska elektroenergetiky a bezpečnosti prevádzky elektrizačnej sústavy sú pre nové výrobné zdroje taktiež požiadavky týkajúce sa jalového výkonu. Dodávka, prípadne spotreba jalového výkonu prvkami v sieti je dôležitá z hľadiska napätových pomerov v elektrizačnej sústave. V technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných sústav a prenosovej sústavy sa táto požiadavka týka výrobných zdrojov typu C a D. Podobne ako tomu bolo pri napätových požiadavkách pri prevádzke výrobných zdrojov počas skratu, aj pri požiadavkách na jalový výkon sú mierne odlišné požiadavky pre synchronne a nesynchronne jednotky. Nesynchronným výrobným zdrojom je napríklad výroba vo fotovoltaickej elektrárni, ktorá dodáva výkon do sústavy prostredníctvom výkonovej elektroniky.

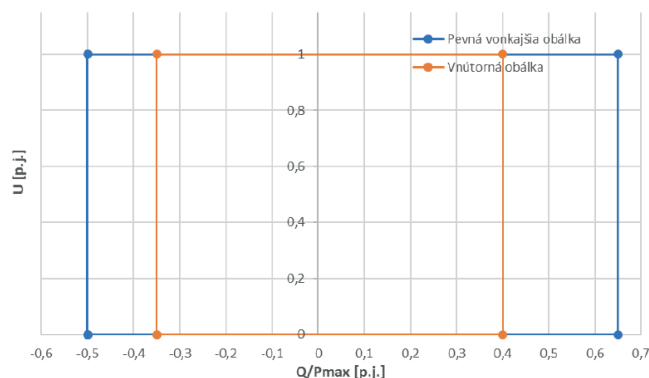


Obr.4 U-Q/P diagram synchronného výrobného zariadenia pre maximálny dodávaný činný výkon [7].

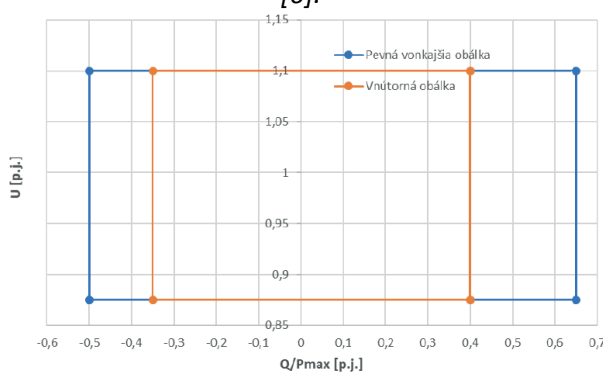
Synchronne zdroje musia byť schopné dodávať dostatočný jalový výkon (induktívneho/kapacitného) charakteru. Jalový výkon musí kompenzovať jalový výkon na vedení alebo v kábli medzi svorkami blokového transformátora výrobného zdroja, alebo svorkami alternátora, ak neexistuje blokový transformátor, a miestom pripojenia. V prípade dodávky maximálneho činného výkonu musí byť výrobný zdroj schopný pracovať v medziach vnútornej obálky diagramu výrobného zariadenia ako je uvedené na obr.4. Pokiaľ je dodávaný výkon nižší, ako maximálny, musí byť zdroj schopný pracovať v rámci prevádzkového PQ diagramu generátora.

Nesynchronne zdroje musia byť schopné dodávať dodatočný jalový výkon (induktívneho/kapacitného) charakteru. Jalový výkon musí kompenzovať spotrebu jalového výkonu na vedení alebo v kábli vysokého napätia medzi svorkami vysokého napätia blokového transformátora jednotky na výrobu elektrickej energie alebo svorkami jej alternátora, ak neexistuje blokový transformátor, a miestom pripojenia. V prípade dodávky maximálneho činného výkonu musí byť výrobný zdroj schopný pracovať v medziach vnútornej obálky diagramu, ktorý je uvedený na obr.5. Pokiaľ je dodávaný výkon nižší, ako je maximálny, musí byť výrobný zdroj schopný pracovať v rámci vnútornej obálky diagramu, ktorý je uvedený na obr.6.

Jednotliví prevádzkovatelia distribučných sústav majú mierne odlišné mierne odlišné varianty možností fungovania výrobného zdroja v rámci hraníc diagramu, hlavne v hraníc vnútornej obálky. Na obr.4 je znázornený príklad pracovnej oblasti synchronného generátora v zmysle požiadaviek na jalový výkon.



Obr.5 U-Q/P diagram nesynchronného výrobného zariadenia pre maximálny dodávaný činný výkon [6].



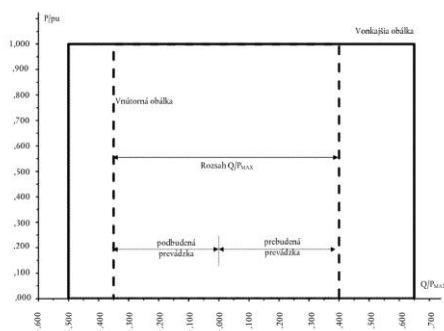
Obr.6 U-Q/P diagram nesynchronného výrobného zariadenia pre nižší, ako maximálny dodávaný činný výkon [6].

Zaujímavé zistenie, ktoré bolo pozorované v rámci transpozície nariadenia EÚ 2016/631 je, že prevádzkovatelia distribučných sústav na Slovensku v rámci vlastných technických podmienok majú aplikované požiadavky pre prevádzku nesynchronných zdrojov pri dodávanom výkone nižšom ako je maximálny výkon, odlišný diagram prevádzky tohto zdroja, ako je popísaný v nariadení EÚ 2016/631. Z posudzovaného diagramu podľa nariadenia EÚ 2016/631, ktorý je znázornený na obr.7 je možné vidieť odlišné interpretovanie osi „y“. V technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných sústav na Slovensku je os „y“ v diagrame prevádzky nesynchronných výrobných zdrojov pri dodávanom výkone nižšom ako je maximálny výkon interpretovaná ako napäťová os, ako je možné vidieť na obr.8. V zmysle nariadenia EÚ 2016/631 je os „y“ reprezentovaná činným výkonom, vztiahnutým k nominálnym hodnotám výrobných jednotky. V takomto zmysle je diagram prevádzky nesynchronných výrobných zdrojov, pri dodávanom výkone nižšom ako je maximálny výkon uplatnený v technických podmienkach prevádzkovateľa prenosovej sústavy.

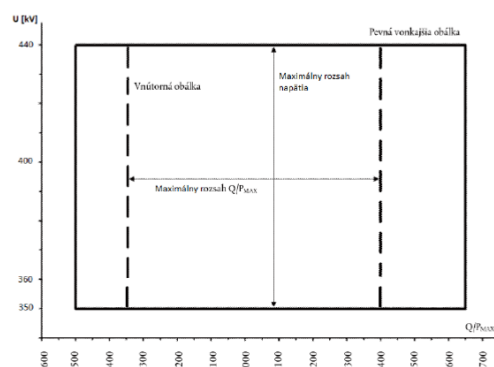
Diagram prevádzky nesynchronných výrobných zdrojov, ktorý je uvedený na obr.7, sa týka výrobných zdrojov typu D, ktoré sú v zmysle napäťových hladín elektrizačnej sústavy na Slovensku pripojené do prenosovej sústavy a sú v prevádzke pri dodávanom činnom výkone inom ako je maximálny. Konkrétny tvar, veľkosť a pozícia vnútornej obálky majú byť, podľa potreby na reguláciu v mieste pripojenia zariadenia k PS, definované konkrétnejšie v individuálnej zmluve s vlastníkom výrobného zariadenia. Dané špecifikácie sa vzťahujú k miestu pripojenia výrobného zariadenia k prenosovej sústave. Tieto zdroje sú tzv. parky zdrojov, ktoré sú do prenosovej sústavy pripojené prostredníctvom meničov napätia.

Pokiaľ je dodávaný maximálny činný výkon, musí byť výrobný zdroj schopný pracovať v rámci diagramu, ktorý je uvedený na obr.8. Požiadavky pre konkrétny tvar, veľkosť a pozíciu vnútornej obálky sú identické v zmysle vyššie uvedeného popisu.

V technických podmienkach prevádzkovateľa prenosovej sústavy sú uvedené aj ďalšie, podrobnejšie špecifikácie prevádzky týchto zdrojov v rámci pracovného bodu výrobného zdroja vo vnútornej obálke uvedených diagramov.



Obr.7 Diagram prevádzky nesynchronných výrobných zdrojov [7].



Obr.8 Diagram prevádzky nesynchronných výrobných zdrojov pre maximálny činný výkon [7].

V nových technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných sústav sa pre nesynchronne výrobné zdroje typu C a D, pri ktorých sa vyžaduje schopnosť prevádzky počas skraty požaduje, aby dokázali prednostne dodávať činný výkon a to najneskôr do 150 ms od vzniku poruchy. Je taktiež vyžadované, aby tieto zdroje s inštalovaným výkonom 5 MVA a viac boli schopné prispieť k tlmeniu kmitov činného výkonu. Taktiež sa požaduje, aby nesynchronne zdroje typu B,C,D, dokázali obnoviť dodávku činného výkonu na 90 % dodávaného činného výkonu pred poruchou do 1 s od momentu dosiahnutia 85 % z hodnoty napätia pred poruchou Stanovená je aj určitá odchýlka veľkosti dodávaného činného výkonu. Pre výrobné zdroje typu C a D sú v technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných sústav aplikované požiadavky v zmysle nariadenia EÚ 2016/631 týkajúce sa zahájenia štartu z tmy, ostrovnej prevádzky, prechodu na vlastnú spotrebu, straty uhlovej stability a prístrojového vybavenia výrobného zariadenia. V rámci prístrojové vybavenie výrobného zariadenia sú kladené požiadavky pre prístroje na zaznamenávanie porúch, monitorovanie chodu výrobného zariadenia, monitorovanie dynamického správania sa sústavy a archiváciu priebehu meraných veličín činného a jalového výkonu, frekvencie, napätia v definovanom časovom úseku a hustotou vzorkovania meraní. Monitorovanie správania sa sústavy má byť zabezpečované meraním kyvov frekvencie v stanovenom rozsahu. Pri strate uhlovej stability, alebo strate riadenia musí byť výrobný zdroj schopný sa automaticky odpojiť od sústavy tak, aby zabránil poškodeniu výrobných jednotky a prispel k zachovaniu bezpečnosti okolitej sústavy. Pri prechode výrobného zdroja na vlastnú spotrebu sa vyžaduje rýchla opätovná synchronizácia v zmysle plánov obnovy synchronizácie a dodržaní požadovaných parametrov. Pre ostrovnú prevádzku sa vyžaduje, aby tieto výrobné zdroje boli schopné ostrovnej prevádzky a boli galvanicky oddelené v hlavnom rozpojovacom mieste, ktoré je vypnuté a akákoľvek zmena prevádzkového stavu výrobného zariadenia je možná len v zmysle pokynov riadiaceho centra. Pri ostrovnej prevádzke sú aplikované aj špecifické požiadavky, ktoré upravujú iné právne predpisy Slovenskej republiky. Požiadavky pre zahájenie štartu z tmy vyplývajú z technológie výrobných zariadení a teda požiadavky platia len pre výrobné zdroje, ktorých technológia umožňuje štartu z tmy.

## PodĎakovanie

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-

komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] Regulation (EU) 2016/631 “Establishing a network code on requirements for grid connection of generators” Internet: [https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631 &from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631&from=EN) [Apr. 15, 2021].
- [2] Regulation (EU) 2017/1485 “Establishing a guideline on electricity transmission system operation” Internet: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1485&from=SK> [Jan. 1, 2022].
- [3] J. Rychlak “National-level Implementation of the Commission Regulation (EU) 2016/631 of 14/04/2016 Establishing a Network Code on Requirements for Grid Connection of Generators” Internet: <http://actaenergetica.org/article/en/national-level-implementation-of-the-commission-regulation-eu-2016-631-of-14-04-2016-establishing-a-network-code-on-requirements-for-grid-connection-o.html?tab=article> [Apr. 20, 2021].
- [4] Publications Office of the EU. “Implementation of the network code on requirements for grid connection of generators” Internet: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/> [Apr. 15, 2021].
- [5] Entsoe. “Implementation Guidance Documents” [https://www.entsoe.eu/network\\_codes/cnc/cnc-igds/](https://www.entsoe.eu/network_codes/cnc/cnc-igds/) [Apr. 15, 2021].
- [6] Západoslovenská distribučná, a. s. “Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy spoločnosti Západoslovenská distribučná, a.s. účinné od 1. 5. 2019” Internet: <https://www.zsdis.sk/Uvod/Spolocnost/Dokumenty/Predpisy-prevadzkovateľa> [May. 5, 2021].
- [7] Stredoslovenská distribučná, a. s. “Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy Stredoslovenská distribučná, a. s., platné od 1.4.2019 do 14.02.2021” Internet: [https://www.ssd.sk/dokumenty/technicke-podmienky/archiv?page\\_id=6295](https://www.ssd.sk/dokumenty/technicke-podmienky/archiv?page_id=6295) [May. 5, 2021].
- [8] Slovenská električná prenosová sústava, a. s. “Účinné Technické podmienky prístupu a pripojenia, pravidlá prevádzkovania prenosovej sústavy” Internet: <https://www.sepsas.sk/sk/dokumenty/technicke-podmienky/> [February. 5, 2022].

## NÁVRH NEURO-REGULÁTOROV FREKVENCIE V OSTROVNÝCH SYSTÉMOCH ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVY

*Ivan Sekaj, Martin Ernek, Filip Zúbek, Ivan Kenický*

*Ústav robotiky a kybernetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave,  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: [Ivan.sekaj@stuba.sk](mailto:Ivan.sekaj@stuba.sk)*

## Úvod

Pri riadení (resp. regulácii) agregátov, ktoré sa podieľajú na výrobe elektrickej energie v elektrizačnej sústave (ES) sa dlhodobo používajú osvedčené metódy, algoritmy a štruktúry regulátorov. Tie sú spravidla založené na lineárnych dynamických systémoch, ktoré sa dajú opísať lineárnymi diferenciálnymi rovnicami. V praxi frekventovane využívanými regulátormi sú PID regulátory, resp. jednoduchšie PI regulátory, prípadne viaceré štruktúry regulátorov, ktoré sú opísateľné prenosovými funkciami, čiže laplaceovými transformáciami lineárnych diferenciálnych



rovníc [1,2]. Avšak, dynamické procesy, ktoré prebiehajú v elektrizačnej sústave veľmi často nie sú lineárne deje. Preto použitie lineárnych regulátorov má obmedzené možnosti, používa sa na obmedzených pracovných rozsahoch, za istých zjednodušujúcich predpokladov, prípadne sa používa s limitovanými kvalitatívnymi ukazovateľmi.

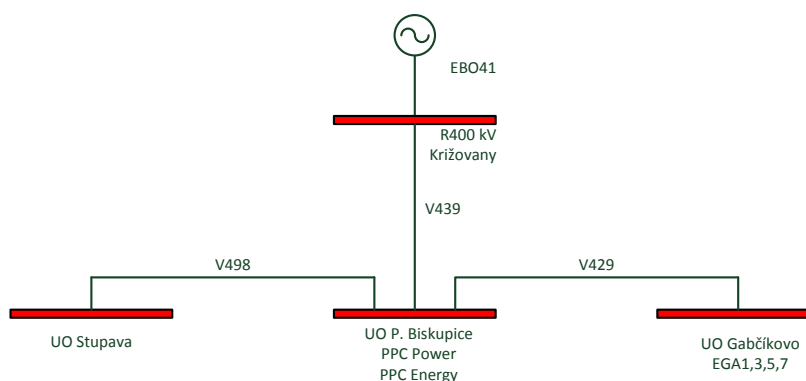
V súčasnosti sa na aproximáciu, modelovanie či predikciu nelineárnych funkcií aj nelineárnych dynamických systémov s výhodami používajú umelé neurónové siete (UNS) [3,4]. Použitie UNS pri riadení sa vyskytuje často, avšak UNS tu obyčajne plní pomocnú funkciu modelu, prediktora, aproximátora a pod. UNS ako priamy prvok generovania riadiaceho zásahu (regulátor) je zatiaľ v praxi málo frekventovaný [5,6]. A využitie UNS vo funkcii regulátora v oblasti riadenia elektrizačnej sústavy zatiaľ ani publikované nebolo. Dôvodom môže byť veľký počet neznámych parametrov, ktoré treba pri UNS určiť, čiže netriviálny proces učenia UNS, ako aj vysoké nároky kladené na spoľahlivosť v oblasti energetiky. Istú úlohu tu však môže zohrávať aj istý konzervativizmus a opatrnosť v oblasti energetiky.

V predstavovanom projekte sme sa venovali návrhu regulátorov frekvencie v izolovanom ostrove Elektrizačnej sústavy Slovenskej republiky (ESSR), ktorý pozostáva zo 4 blokov vodných turbo-generátorov, 2 blokov paroplynového cyklu (PPC) a jedného bloku jadrovej elektrárne. Navrhli sme náhradu PI regulátorov frekvencie (otáčok) regulátormi na báze UNS – tzv. neuro-regulátormi (NR). V článku je ukázaná štruktúra použitých NR, proces ich učenia a experimentálne výsledky, ktoré boli dosiahnuté na simulačnom modeli. Model zahŕňa hypotetický ostrov vytvorený na JZ Slovensku. Pri učení UNS sa bežne používa algoritmus spätného šírenia chyby (Backpropagation) v jeho mnohých alternatívach [3,4], prípadne učenie s posilňovaním (Reinforcement learning, RL) [7,8]. Prvý menovaný prístup je pre priame riadenie ťažko použiteľný, nakoľko nemáme k dispozícii výstupné dáta na učenie. RL je použiteľný veľmi obmedzene, nakoľko sa pri riadení ES jedná o spojitý stavový priestor a o dynamický systém. Z uvedených dôvodov sme navrhli použiť ako metódu učenia evolučný algoritmus, v našom prípade genetický algoritmus [9,10].

V 2. kapitole tohto článku je opísaný existujúci typ PI regulátora a je opísaný ostrov elektrizačnej sústavy, na ktorom bol overovaný nový spôsob riadenia. V 3. kapitole je opísaný navrhovaný neuro-regulátor a vysvetlený princíp učenia NR pomocou neuro-evolúcie (NE). Experimentálne výsledky sú predstavené v kapitole 4 a 5. kapitola vyhodnocuje celý navrhnutý prístup.

## 1. Štruktúra PI - regulátorov a uvažovaný ostrov elektrizačnej sústavy

Pre účely demonštrácie navrhovaného nového spôsobu regulácie bol zvolený model izolovaného ostrova elektrizačnej sústavy, ktorý je lokalizovaný na JZ Slovenska a je vytvorený v simulačnom prostredí Matlab/Simulink [11,12]. Ostrov pozostáva zo 4 blokov Vodnej elektrárne Gabčíkovo (VEGA) a 2 blokov PPC Podunajské Biskupice v režime riadenia otáčok, jedného bloku jadrovej elektrárne Jaslovské Bohunice (EBO) v režime riadenia výkonu a dvoch rozvodných uzlov Križovany a Stupava (obr.1).



Obr.1 Schéma ostrova ESSR na JZ Slovensku.

Uvedené uzlové sústavy sú navzájom prepojené na úrovni 400kV vedeniami V498, V439 a V429. Celkové zaťaženie sústavy je 484,6 MW. V simulačnom modeli ostrova sa nachádzajú nasledovné zdroje výroby elektrickej energie: Vodné zdroje VEGA1,3,5 a 7, paroplynové zdroje PPC Power, PPC Energy, jadrový zdroj EBO41. Model každého zdroja pozostáva zo synchronného generátora, budiaceho systému, turbíny, regulátora otáčok, systémového stabilizátora a blokového transformátora. Paroplynové a vodné zdroje v ostrove pracujú v režime regulácie otáčok. Jadrový zdroj pracuje v režime regulácie výkonu. Počas simulačného experimentu bol skúmaný vplyv nasledovného scenára na kvalitu regulácie frekvencie: V 50. sekunde vypnutie záťaže o veľkosti 48 MW, v 100. sekunde vypnutie vodného zdroja EGA7 s výrobou 30MW. Model regulátora PI otáčok, ktorý sa aktuálne používa sa nachádza na obr.2.

## 2. Neuro-regulátor otáčok a jeho tréning

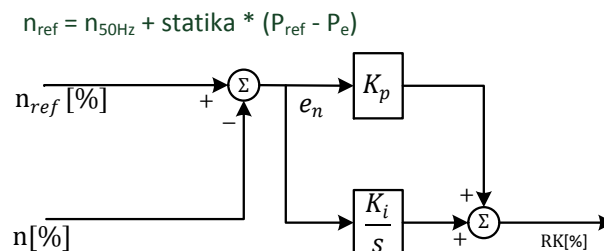
Štruktúra UNS pre regulátor otáčok je naznačená na obr.3 obsahuje 8 vstupov, jednu skrytú vrstvu neurónov s 10 neurónmi a 1 výstup. Použitá aktivačná funkcia v neurónoch skrytej a výstupnej vrstvy je v tvare  $y=tanh(3x)$ . Pre nájdenie parametrov UNS (váhy a prahy) je použitý genetický algoritmus, ktorý minimalizuje kriteriálnu funkciu (fitness) v tvare

$$IAE = \int_0^T |e| dt \quad (1)$$

Kde  $e$  je regulačná odchýlka frekvencie. Jeden chromozóm (jedinec) populácie je reprezentovaný vektorom všetkých parametrov UNS, čiže všetkých váh a prahov UNS v tvare

$$ch=[W_1, W_2, B_1]=[w_{1,1,1} \ w_{1,1,2} \dots \ w_{2,10}, b_{1,1} \ b_{1,2} \dots \ b_{1,10}] \quad (2)$$

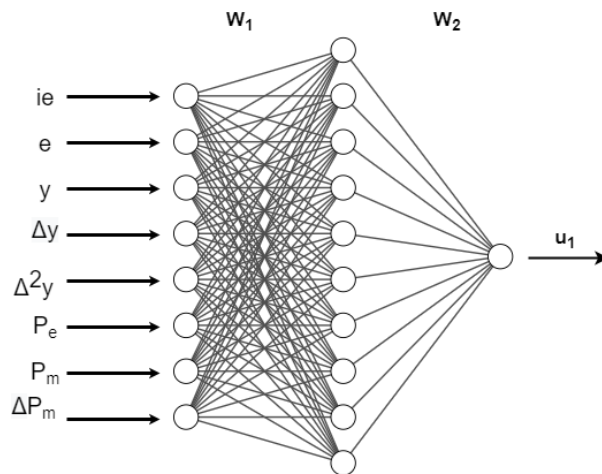
Chromozóm v tvare rov.(2) reprezentuje regulátor pre jeden blok. Nakoľko v našom prípade navrhujeme riadenie súčasne 7 blokov: VEGA1,3,5,7 a PPC Energy, PPC Power, EBO41 bude chromozóm obsahovať prvky 7 neurónových sietí. Vo všeobecnosti je odporúčané prvky  $b_i$  používať. V tejto aplikácii však prvky vektorov B nie sú využívané, sú nulové. Dĺžka chromozómu je 630 prvkov (génov).



Obr.2 Schéma regulátora otáčok na blokoch VEGA,  $n_{ref}$  sú referenčné otáčky,  $n$  je výstupná regulovaná frekvencia.

Genetický algoritmus, ktorý hľadá parametre UNS, pričom minimalizuje kritérium (1) je opísaný nasledujúcimi krokmi:

1. Nastav počítadlo generácie na  $g=1$ . Inicializuj počiatkovú populáciu  $P(g)$ .
2. Vyhodnoť fitness každého jedinca.
3. Vyber skupinu najúspešnejších (elitných) jedincov  $E$ .
4. Vyber 3 skupiny rodičov  $P_1, P_2, P_3$  pomocou turnajového výberu.
5. Skupinu  $P_1$  modifikuj pomocou lokálnej mutácie na  $P_1'$ .
6. Skupinu  $P_2$  modifikuj pomocou globálnej mutácie na  $P_2'$ .
7. Skupinu  $P_3$  modifikuj použitím kríženia dvojíc jedincov na  $P_3'$ .
8. Inkrementuj počítadlo generácie  $g=g+1$ . Zjednot' všetky skupiny do novej populácie  $P(g)=E \cup P_1' \cup P_2' \cup P_3'$ .
9. Pokračuj v bode 2 pokiaľ nie sú splnené ukončovacie podmienky.



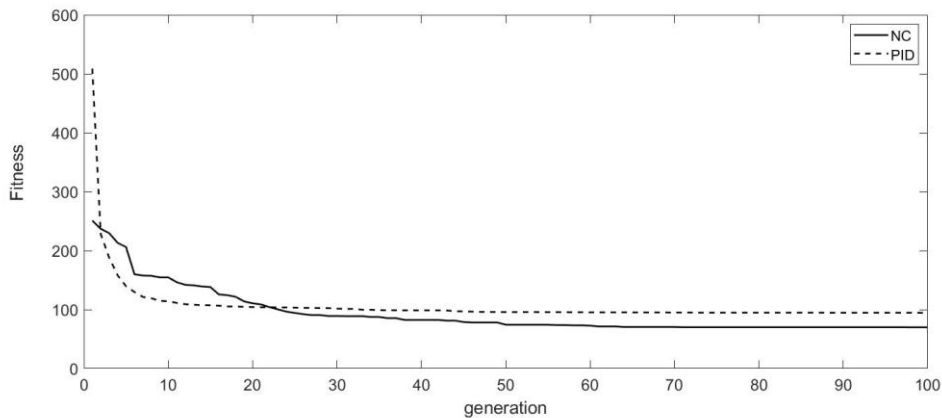
Obr.3 Schéma použitého neuro-regulátora otáčok,  $e$  - regulačná odchýlka,  $ie$  - suma regulačnej odchýlky,  $y$  - regulovaná veličina (frekvencia),  $u_1$  - akčná veličina,  $P_e$  - elektrický výkon,  $P_m$  - mechanický výkon,  $W_i$  - matice váh UNS.

## 2. Experimentálne výsledky

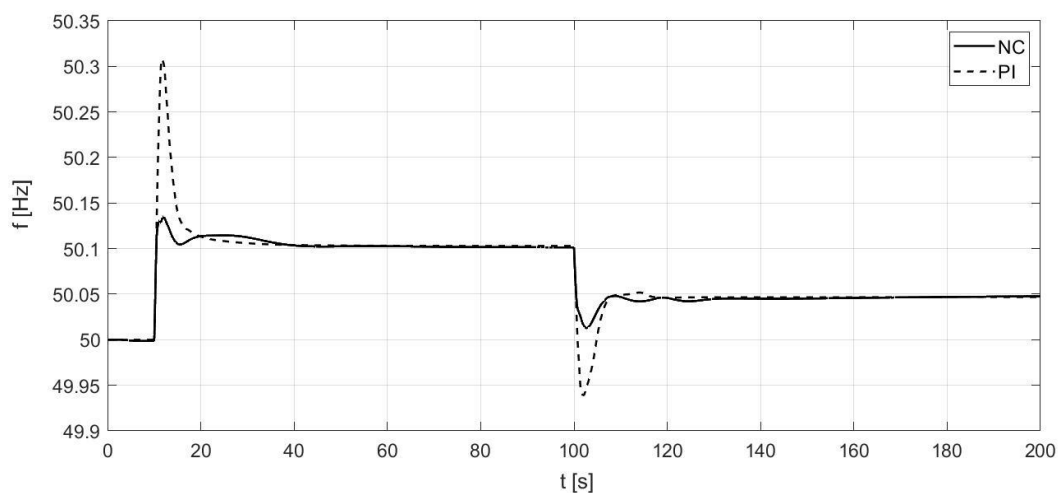
Návrh PI regulátora aj návrh NC bol realizovaný genetickým algoritmom, pričom po uskutočnení 100 generácií už priebeh fitness funkcie v oboch prípadoch stagnoval a preto mohol byť beh optimalizačného algoritmu ukončený (obr.4). Použitá veľkosť populácie bola 200 jedincov. Porovnanie priebehu frekvencie v ostrove pri použití PI regulátora a neuro-regulátora je na obr.5. Je evidentné, že kvalita regulácie pri NR je výrazne lepšia, než použitím PI regulátora. Veľkosť prekmitu frekvencie po prvej poruche pri PI regulátore je 0,2039 Hz a pri NR dosahuje iba 0,0318 Hz, čo je 6,4 krát menej. Lepší výsledok NR je evidentný aj z obr.4., kde finálna dosiahnutá hodnota fitness podľa (1) po 100 generáciách v prípade NR je 70,1, kým pri PI regulátore to je 94,7. Dôvody lepšieho výkonu NR možno vidieť v tom, že NR je na rozdiel od PI regulátora nelineárny dynamický prvok, využíva viac vstupných informácií o riadenom objekte (sedem miesto dvoch) a v danom prípade má miesto 2 nastaviteľných parametrov 90 voľných parametrov. Vďaka tomu je schopný absorbovať väčšie množstvo znalostí o dynamike a riadení regulačného obvodu. Nevýhodou NR v porovnaní PI je značne dlhší čas návrhu. Tréning NR v danom prípade trval na jednom procesore typu Intel i7-6700k v prostredí Matlab/Simulink približne 13 hodín.

## Záver

V navrhnutom prístupe bol overený nový typ regulátora na báze umelých neurónových sietí, ktorý je určený pre riadenie agregátov v elektrizačnej sústave. V demonštrovanom experimente bol takýto neuro-regulátor porovnaný s konvenčným PI regulátorom frekvencie implementovaným na siedmych turbo-generátoroch izolovaného ostrova ESSR. Dosiahnuté výsledky naznačujú, že neuro-regulátory sú perspektívne riadiace prvky pre vyžitie pri riadení systémov výroby elektrickej energie v elektrizačnej sústave. Nakoľko deje v elektrizačnej sústave, či sa jedná o izolované systémy, ako ostrov z uvažovaného príkladu, malé mikrogridy, či celá prepojená elektrizačná sústava, majú nelineárny charakter a ich štruktúra a správanie sú veľmi komplikované, použitie UNS pri ich riadení môže byť veľmi prínosné. Môže predstavovať signifikantný nárast v kvalite riadenia aj v efektívnosti prevádzky ES.



Obr.4 Porovnanie priebehov fitness funkcie (1) pri návrhu PI regulátorov a neuro-regulátorov.



Obr.5 Porovnanie priebehov regulácie frekvencie v ostrove pri použití PI regulátorov a neuro-regulátorov.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] R.C. Dorf: Modern Control Systems, Addison-Wesley publishing Company (1990).
- [2] B.C Kuo: Automatic Control Systems, Prentice-Hall International Editions (1991).
- [3] V. Kvasnička, Ľ. Beňušková, J. Pospíchal, I. Farkaš, P. Tiňo, A. Kráľ: Úvod do teórie neurónových sietí, Iris (1997).
- [4] S.Haykin: Neural Networks, Macmillan (1994).
- [5] F.J. Gomez: Robust Non-linear Control through Neuroevolution, Artificial Intelligence Laboratory The University of Texas at Austin, Austin, Texas 78712 (2003).

- [6] I. Sekaj, I. Kenický, F. Zúbek: Neuro-Evolution of Continuous-Time Dynamic Process Controllers, Zborník medzin. konf. MENDEL 27, 7-11 (2021).
- [7] R.S. Sutton a A.G. Barto: Reinforcement Learning, second edition: An Introduction, MIT Press, ISBN: 978-0-262-35270-3, 552 (2018).
- [8] V. Minh et al.: Human-level control through deep reinforcement learning, Nature 518, 529 (2015).
- [9] A.E. Eiben a J.E. Smith: Introduction to Evolutionary Computation, Springer (2013).
- [10] I. Sekaj: Evolučné výpočty, Iris, Bratislava (2005).
- [11] Matlab R2020b, The MathWorks © Inc., www.mathworks.com (2020).
- [12] I. Sekaj a M. Ernek: Controller design of isolated power-electricity island using genetic algorithm, Journal of Electrical Engineering. Vol. 70, s. 46 No. 1 (2019).

## MODELOVANIE DYNAMICKÝCH PROCESOV V MIKROGRIDOCH POMOCOU LSTM AND GRU REKURENTNÝCH NEURÓNOVÝCH SIETÍ

**Slavomír Kajan, Ladislav Körösi, Peter Mácsik, Jarmila Pavlovičová**

*Ústav robotiky a kybernetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: slavomir.kajan@stuba.sk*

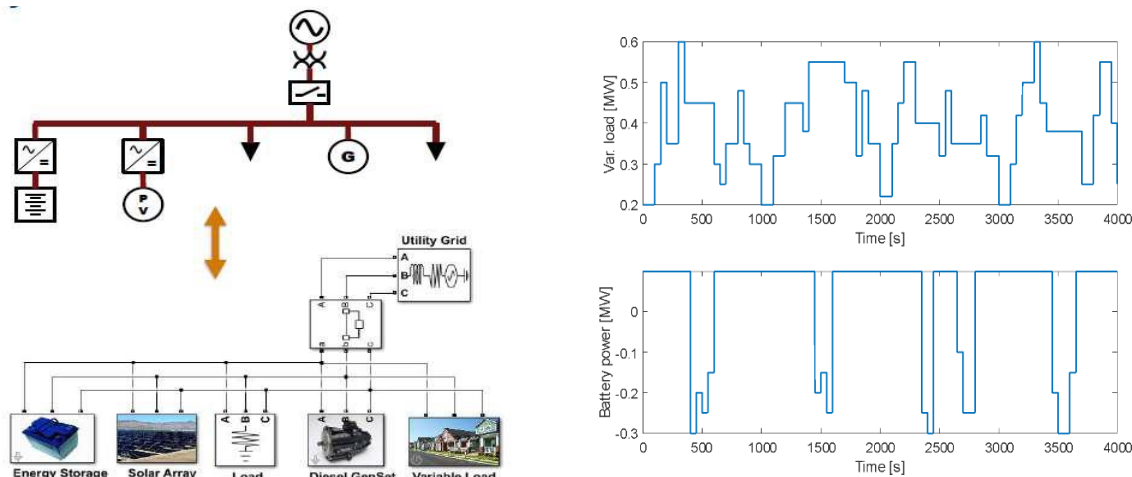
### Úvod

Ako získavať a zapájať energiu z obnoviteľných zdrojov do elektrizačnej siete pri zabezpečení napätovej a frekvenčnej stability siete je aktuálna téma. Spomedzi obnoviteľných zdrojov má najväčší potenciál využitia slnečná energia. Riešením ako zapájať obnoviteľné zdroje do siete je vytvorenie inteligentných sietí. Optimalizácia výkonu, zabezpečenie stability a efektívnosti sú hlavné znaky inteligentných sietí. Samotný grid je možné rozdeliť na viacero samostatných mikrogridov. Pre zabezpečenie stability siete je potrebné modelovať dynamické deje v smart gride. Jeden prístup modelovania je vytvorenie analytického modelu, ktorý vyžaduje správnu parametrizáciu [1-4]. Hlavnou nevýhodou tohto prístupu je zložitosť fyzikálneho modelu s veľkým počtom parametrov a potrebou odborníka pri parametrizovaní modelu. Náš prístup vytvára dynamický model z meraných dát s využitím umelých neurónových sietí [5-10]. Najznámejší neurónový model na modelovanie nelineárnych dynamických systémov je tzv. NNARX model [11], ktorý využíva doprednú viacvrstvovú perceptrónovú sieť na modelovanie parametrov lineárneho ARX modelu. V súčasnosti sa častejšie na modelovanie nelineárnych dynamických systémov využívajú rekurentné neurónové siete (RNN) [5], konkrétne modely s LSTM a GRU sieťami [6-10]. Tento článok sa zaoberá aplikáciou LSTM a GRU rekurentných neurónových modelov pre modelovanie dynamických zmien v mikrogride. Data na tréning a testovanie neurónových modelov boli získané zo simulačného modelu jednoduzového gridu so slnečnou energiou a batériami v prostredí Matlab [1]. Neurónové modely boli použité na modelovanie závislosti napätia od zmeny zaťaženia a režimu batérie. Jednotlivé neurónové modely sú graficky porovnané a zhodnotená ich kvalita. Ďalším cieľom článku je využitie rekurentných neurónových sietí na predikciu výkonu slnečnej energie v závislosti od počasia. Neurónové prediktívne modely boli použité na modelovanie výkonu slnečnej energie na základe teploty a intenzity slnečného žiarenia.

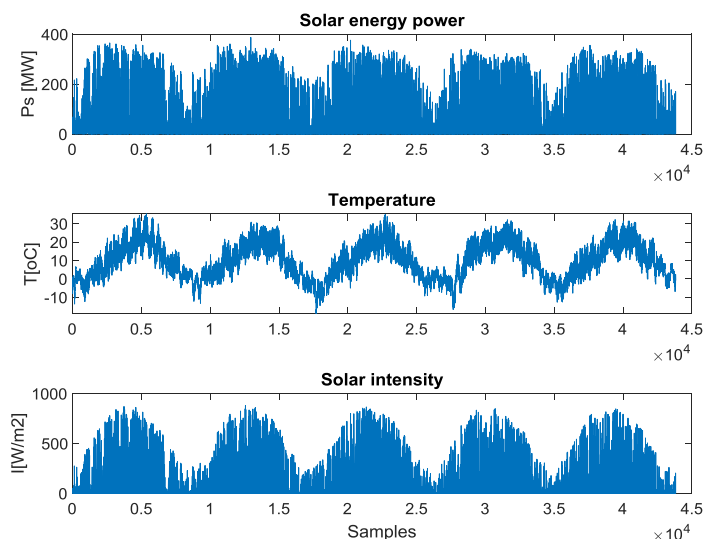
### 1. Simulačný model mikrogridu a data pre neurónové modely

Ako príklad mikrogridu sme si zvolili jednoduzový mikrogrid so slnečnou energiou, batériami a variabilnou záťažou [1]. Simulačná schéma mikrogridu bola vytvorená v prostredí Matlab pomocou knižnice Simscape Power Systems [13]. Blokovaná schéma mikrogridu je zobrazená na obr.1a. Nominálne parametre elektrickej siete sú napätie 5kV a frekvencia 50Hz. Zmenu napätia a frekvencie gridu sme dosiahli zmenou záťažových scenárov a nabíjajúcich režimov baterií. Striedali sme režimy nabíjania a vybíjania batérií so zmenami záťaže. Priebehy vstupných veličín gridu (variabilná záťaž a výkonu batérií) sú zobrazené na obr.1b. Samotný vstup do neurónového modelu bol tvorený súčtom týchto

dvoch vstupných veličín. Výstupné veličiny mikrogridu sú napätie a frekvencia. Na účely tréningu neurónového modelu na predikciu výkonu solárnej energie bol použitý súbor údajov z webového portálu Open Power System Data (OPSD) [14]. Dataset obsahoval údaje o výkone slnečnej energie pre Slovensko za roky 2015 až 2019, ako aj údaje o teplote a intenzite slnečného žiarenia merané v hodinových intervaloch. Údaje z rokov 2015 až 2018 boli použité na tréning neurónového modelu a rok 2019 na testovanie. Na obr.2 sú zobrazené tieto data.



Obr.1 a) Bloková schéma mikrogridu, b) Časový priebeh variabilnej záťaže a výkonu batérií.



Obr.2 Priebeh výkonu slnečnej energie, teploty a intenzity slnečného žiarenia pre roky 2015 až 2019.

## 2. Rekurentné neurónové modely

Cieľom tohto príspevku bolo overiť vhodnosť jednotlivých modelov neurónových sietí pre účely modelovania dynamických procesov v mikrogridoch. Pre porovnanie modelov neurónových sietí sme zvolili dva modely rekurentných neurónových sietí. LSTM rekurentná sieť obsahuje vstupnú sekvenčnú vrstvu, vrstvu LSTM, plne prepojenú vrstvu a regresnú vrstvu. V štruktúre siete LSTM je nastavený počet skrytých neurónov vo vrstve LSTM. Architektúra siete LSTM je znázornená na obr.3 [12]. Nahradením vrstvy LSTM vrstvou GRU získame sieť GRU. Vrstvy LSTM a GRU sa učia dlhodobé závislosti medzi vzorkami v časových radoch so sekvenčnými dátami. Vo vrstve LSTM sa stav bunky, skrytý stav a výstupný stav aktualizujú na základe údajov časového radu, predchádzajúceho stavu bunky a skrytého stavu. Vrstva riadi tieto aktualizácie pomocou brán. Vrstva GRU predstavuje zjednodušenú verziu vrstvy LSTM.



Obr.3 Architektúra LSTM rekurentnej neurónovej siete [12].

### 3. Experimentálne výsledky

Neurónové modely boli trénované a testované na simulovaných dátach z jednouzlového mikrogridu [1], kde vstupom do modelu je časový priebeh zmien výkonovej záťaže a výstupmi sú priebehy napätia a frekvencie mikrogridu. Trénovanie neurónových modelov bolo realizované v prostredí Matlab pomocou Deep Learning Toolboxu [12]. Na trénovanie neurónovej siete bola použitá chybová funkcia MSE (mean square error). Je definovaná nižšie uvedeným vzťahom ako priemerná suma kvadrátov odchýliek medzi výstupom modelu  $y_m$  a výstupom modelovaného systému  $y_s$ .

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_s(t) - y_m(t))^2 \quad (1)$$

Pri modeloch LSTM a GRU sme zvolili štruktúru siete s dvoma skrytými vrstvami medzi, ktorými je dropout vrstva s parametrom 0.5. Pre model v uzavretej slučke bola vstupom časová sekvencia zmien záťaže. Pre otvorenú slučku bola pridaná sekvencia výstupu systému posunutá o jednu vzorku. Počet neurónov v skrytých vstvách sme nastavili na 200. Pre trénovanie modelov sme nastavili 500 tréovacích epoch a trénovanie s optimizérom učenia Adam. Vyčíslené hodnoty MSE chýb na tréovacích a testovacích dátach pre najlepšie natrénované LSTM a GRU modely sú uvedené v tab.1 a tab.2. Najlepšie výsledky pre uzavretú slučku boli získané s modelom LSTM a porovnanie tohto modelu s údajmi je na obr.4.

Tab.1 Hodnoty MSE chyby pre LSTM model.

	Train Data Open loop	Test Data Open loop	Train Data Closed loop	Test Data Closed loop
Napätie	0.0223	0.0225	0.0178	0.0255
Frekvencia	1.0477e-09	9.9472e-10	2.1658e-08	3.1230e-08

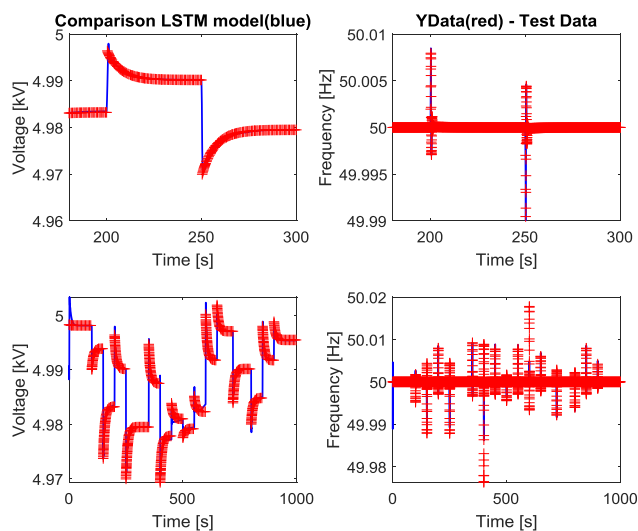
Tab.2 Hodnoty MSE chyby pre GRU model.

	Train Data Open loop	Test Data Open loop	Train Data Closed loop	Test Data Closed loop
Napätie	0.0057	0.0053	0.0095	0.1697
Frekvencia	9.8401e-10	9.6988e-10	1.7097e-08	4.7946e-08

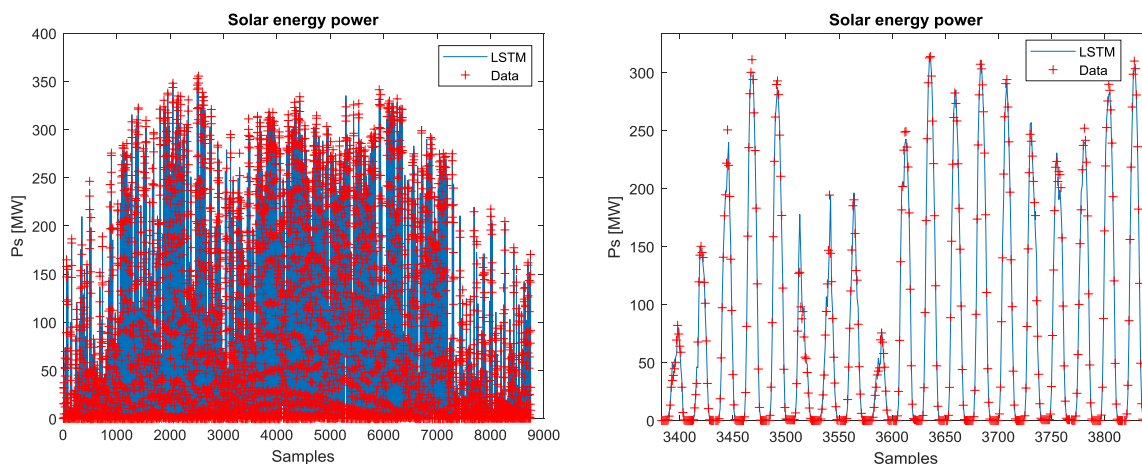
Pre trénovanie modelu solárnej energie sme nastavili 200 tréovacích epoch s Adam optimalizátorom učenia. Modely LSTM a GRU obsahujú štruktúru siete s dvoma skrytými vrstvami, medzi ktorými je relu nelineárna funkcia. Pre model s uzavretou slučkou boli vstupmi časová postupnosť teploty a snečná intenzita. Pre otvorenú slučku bola výstupná sekvencia systému posunutá o jednu vzorku. Počet neurónov v skrytých vrstvách sme nastavili na 200. Chyby MSE na tréovacích a testovacích dátach pre najlepšie modely LSTM a GRU sú uvedené v tab.3. Najlepšie výsledky pre uzavretú slučku boli získané s modelom LSTM a porovnanie tohto modelu s údajmi na testovacích dátach je zobrazené na obr.5.

Tab.3 Hodnoty MSE chyby pre LSTM a GRU modely.

Výkon slnečnej energie	Train Data Open loop	Test Data Open loop	Train Data Closed loop	Test Data Closed loop
LSTM model	66.91	65.71	69.01	67.48
GRU model	66.44	65.32	71.23	69.69



Obr.4 Porovnanie LSTM modelu v uzavretej slučke pre výstup napätia a frekvencie.



Obr.5 Porovnanie LSTM modelu v uzavretej slučke pre výstup výkonu slnečnej energie.

## Záver

V tomto článku sme porovnávali modely neurónových sietí LSTM a GRU na modelovanie dynamických procesov v mikrogridoch. Údaje na tréning a testovanie týchto modelov boli získané z jednodušieho simulačného modelu microgridu. Tieto modely neurónových sietí boli použité na modelovanie závislosti napätia od zmeny záťaže a režimu batérie ako aj na predikciu výkonu slnečnej energie od počasia. Modely boli graficky porovnané a vyhodnotené z hľadiska kvality. Naše experimenty ukázali, že model GRU je vhodnejší pre krátkodobú predikciu v otvorenej slučke. Pre predikciu v uzavretej slučke sú však vhodnejšie modely LSTM. V reálnom nasadení je potrebný model s možnosťou dlhodobšej predikcie a hlavne model, ktorý zaisťuje stabilitu, čo LSTM model v našich experimentoch spĺňal.



## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] J. LeSage (2021). Systems-Level Microgrid Simulation from Simple One-Line Diagram, MATLAB Central File Exchange. Retrieved March 2, 2021.
- [2] R. AbdelHady (2017). Modeling and simulation of a micro grid-connected solar PV system, Water Science 31, Egypt, p. 1–1.
- [3] S.Priya, M.Marimuthu, S.Vijayalakshimi, S. Prassanna Perumal (2018). Modelling and simulation of hybrid (wind and solar) for DC microgrid, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 9, Issue 3, March-2018.
- [4] M.A. Fouad, M.A. Badr, M.M. Ibrahim (2019). Modeling of Micro-Grid System Components using MATLAB/Simulink, International Journal of Systems Signal Control and Engineering Application, Page No.: 93-104 Volume: 12, Issue 4, 2019.
- [5] T. B. Lopez-Garcia, A. Coronado-Mendoza, J. A. Domínguez-Navarro, Artificial neural networks in microgrids: A review, Engineering Applications of Artificial Intelligence 95 (2020).
- [6] Y. Li, J. Yang, H. Wang, J. Cui, Y. Ma, S. Huang, Dynamic equivalent modeling for microgrid based on GRU, 7th International Conference on Power and Energy Systems Engineering, (2020).
- [7] U. B. Tayab, A. Zia, F. Yang, J. Lu, M. Kashif (2020), Short-term load forecasting for microgrid energy management system using hybrid HHO-FNN model with best-basis stationary waveletpacket transform, Energy, Volume 203, 2020.
- [8] M. Aslam, J. M. Lee, H. S. Kim, S. J. Lee, S. Hong (2020), Deep Learning Models for Long-Term Solar Radiation Forecasting Considering Microgrid Installation: A Comparative Study, Energies 2020, Volume 1
- [9] Y. Wang, W. Liao, Y. Chang, (2018), Gated Recurrent Unit Network-Based Short-Term Photovoltaic Forecasting. Energies 2018, 11, 2163. <https://doi.org/10.3390/en11082163>.
- [10] S. Hochreiter, J. Schmidhuber (1997) Long Short-Term Memory. Neural Comput 1997; 9 (8): 1735–1780. doi: <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
- [11] N. Kishor, R.P. Saini, S.P. Singh, (2004). Small hydro power plant identification using NNARX structure. Neural Computing & Applications, 14, 212-222.
- [12] M. H. Beale, M. T. Hagan, H. B. Demuth, (2021) Deep Learning Toolbox User's Guide, The MathWorks.
- [13] Simscape Toolbox User's Guide, The MathWorks. (2021).
- [14] Dataset: Open Power System Data (OPSD) data packages, <https://open-power-system-data.org>.

## IDENTIFIKÁCIA PARAMETROV ASYNCHRÓNNEHO MOTORA S VYUŽITÍM METÓD UMELEJ INTELIGENCIE

**Marián Tárník, Martin Ernek, Tomáš Murgaš, Adrian Ilka, Martin Dodek, Eva Miklovičová**

Ústav robotiky a kybernetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave,  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: martin.ernekek@stuba.sk

## Úvod

Typickým modelom pohonu, ktorý je súčasťou vlastnej spotreby elektrárne, je model asynchrónneho motora s jednoduchým rotorom nakrátko alebo s tzv. dvojistou klieťkou pre úpravu rozbehovej momentovej charakteristiky. Pre relevantné výsledky výpočtov simulačných nástrojov je

potrebné aby výstupy simulačných modelov zodpovedali nameraným charakteristikám. Štruktúra takýchto simulačných modelov je spravidla známa, daná ich štandardným odvodením a implementáciou. Parametre daného modelu sú však často čiastočne alebo úplne neznáme. Vo veľkej miere je to aj pravidlom pri veľkých asynchrónnych motoroch vo vlastnej spotrebe elektrární. Pre dosiahnutie zhody medzi simuláciou a priebehmi reálnych veličín je potrebné nájsť zodpovedajúce hodnoty parametrov. Cieľom tohto príspevku je vytvorenie postupu identifikácie hodnôt parametrov modelu asynchrónneho motora, ktorý je súčasťou vlastnej spotreby, s využitím metód umelej inteligencie.

## 1. Model asynchrónneho motora

Jedným so štandardných spôsobov modelovania záťaže v elektroenergetike je prístup stanovený Western Electricity Coordinating Council (WECC) [1]. Súčasťou tohto prístupu je aj model trojfázového indukčného motora. Ide o dynamický systém 5. rádu (5 diferenciálnych rovníc). Tento model využíva pojmy ako sú prechodný dej (prechodné napätie) a sub-prechodný dej (sub-prechodné napätie) v rovnakom zmysle ako je to štandardom pri modelovaní synchrónnych strojov.

Odvodenie modelu je tiež založené na rovnakých predpokladoch ako pri synchrónnom stroji (najmä zanedbanie tzv. transformátorových napätí (v statore) a podobne). Výsledné rovnice je možné rozdeliť na niekoľko súčastí. Dynamický systém elektromagnetickej časti indukčného stroja je modelovaný nasledovne:

$$\dot{E}'_q = -\frac{1}{T_{po}}E'_q - (\omega_0 SLIP)E'_d - \frac{1}{T_{po}}(L_S - L_p)i_d \quad (1)$$

$$\dot{E}'_d = -\frac{1}{T_{po}}E'_d - (\omega_0 SLIP)E'_q - \frac{1}{T_{po}}(L_S - L_p)i_q \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}''_q = & -\frac{1}{T_{ppo}}E''_q + \left(\frac{1}{T_{ppo}} - \frac{1}{T_{po}}\right)E'_q - \omega_0 SLIP E''_d + \omega_0 SLIP E'_d \\ & - \left(\frac{(L_p - L_{pp})}{T_{po}} + \frac{(L_S - L_p)}{T_{po}}\right)i_d \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}''_d = & -\frac{1}{T_{ppo}}E''_d + \left(\frac{1}{T_{ppo}} - \frac{1}{T_{po}}\right)E'_d - \omega_0 SLIP E''_q + \omega_0 SLIP E'_q \\ & - \left(\frac{(L_p - L_{pp})}{T_{po}} + \frac{(L_S - L_p)}{T_{po}}\right)i_q \end{aligned} \quad (4)$$

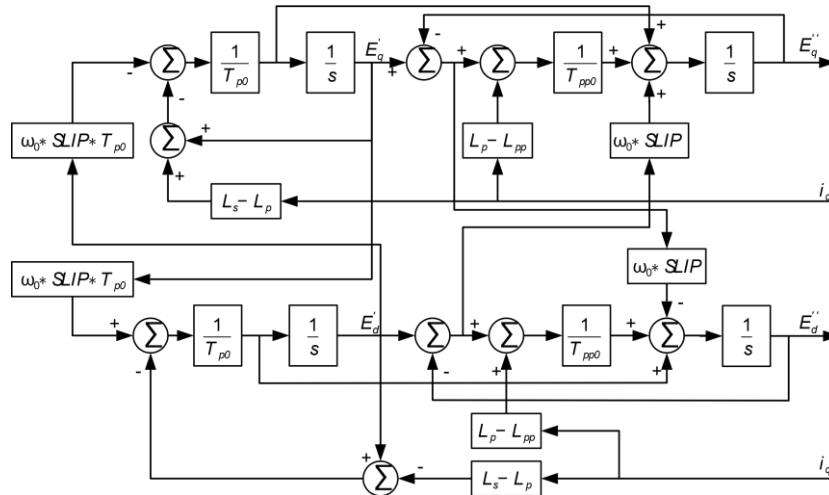
kde  $E'_d, E'_q, E''_d$  a  $E''_q$  sú prechodné a sub-prechodné napätia prislúchajúce daným dynamickým dejom (v dq súradnicovom systéme) a  $i_d, i_q$  zodpovedajú statorovému prúdu (v dq súradnicovom systéme). K celkovému opisu prislúcha diferenciálna rovnica opisujúca dynamiku skľuzu motora (*SLIP*), ktorú možno v princípe písať v tvare:

$$SLIP = -\frac{1}{2H}(E''_d i_d + E''_q i_q - T_{m0} \omega_0^{Etrq}) \quad (5)$$

kde člen  $T_{m0} \omega_0^{Etrq}$  v princípe zodpovedá mechanickej záťaži (statický moment sily  $T_{m0}$  a moment závislý na uhlovej rýchlosti  $\omega_0^{Etrq}$ ) avšak tento člen môže nadobúdať aj iné tvary. Vzťahy medzi svorkovým napätím ( $U_d, U_q$ ), dynamickými dejmi elektromagnetického podsystemu a statorovým prúdom sú dané algebraickými rovnicami:

$$i_d = \frac{R_a}{R_a^2 + L_{pp}^2} (U_d + E_d'') + \frac{L_{pp}}{R_a^2 + L_{pp}^2} (U_q + E_q'') \quad (6)$$

$$i_q = \frac{R_a}{R_a^2 + L_{pp}^2} (U_q + E_q'') + \frac{L_{pp}}{R_a^2 + L_{pp}^2} (U_d + E_d'') \quad (7)$$



Obr.1 Simulačný model pohonu vlastnej spotreby.

Tab.1 Parametre simulačného modelu pohonov vlastnej spotreby EMO TG22.

Parameter	Popis
$L_s$ [p.u.]	Synchrónna reaktancia
$L_p$ [p.u.]	Prechodná reaktancia
$L_{pp}$ [p.u.]	Sub-prechodná reaktancia
$L_l$ [p.u.]	Rozptylová reaktancia statora
$R_a$ [p.u.]	Odpor statorového vinutia
$T_{po}$ [s]	Prechodová časová konštanta
$T_{ppo}$ [s]	Sub-prechodná časová konštanta
$H$ [s]	Konštatnta zotrvačnosti
$D$ [-]	Koeficient tlmenia

## 2. Postup identifikácie

Východiskom pre identifikáciu neznámych parametrov asynchrónneho motora je množina hodnôt charakterizujúca rozbeh daného motora. Pozostáva z nasledovných nameraných údajov pri rozbehu pohonu: prúd, činný výkon a jalový výkon. Uvedené hodnoty jednotlivých veličín slúžia ako referenčné hodnoty pri vyhodnocovaní časového priebehu jednotlivých simulovaných veličín motora. Simulovaný časový priebeh je možné spracovať a vyhodnotiť tak, že sú získané konkrétne simulované hodnoty, ktoré je následne možné porovnať s referenčnými údajmi. Napríklad je možné získať odchýlky medzi referenčnými a simulovanými údajmi a následne stanoviť istú celkovú odchýlku medzi simuláciou a referenčnými hodnotami. Tu je možné využiť klasické prístupy tvorby účelovej funkcie (fit function) typicky využívajúcej sumu štvorcov odchýlok prípadne so zahrnutím váhovania. V našom prípade bola ako účelová funkcia zvolená normalizovaná odchýlka najmenších štvorcov medzi

nameranými a simulovanými hodnotami. Účelová funkcia obsahuje potom tri zložky, vzhľadom na veličinu, ktorú opisujú:

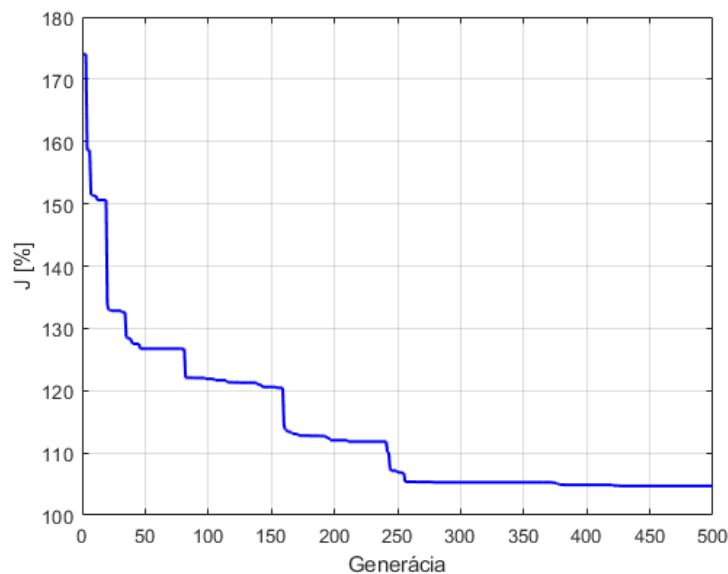
$$J = (J_I + J_P + J_Q) * 100\% = \left( \frac{\|I_{mer} - I_{sim}\|}{\|I_{mer} - \bar{I}_{mer}\|} + \frac{\|P_{mer} - P_{sim}\|}{\|P_{mer} - \bar{P}_{mer}\|} + \frac{\|Q_{mer} - Q_{sim}\|}{\|Q_{mer} - \bar{Q}_{mer}\|} \right) * 100\% \quad (8)$$

Účelová funkcia môže byť následne minimalizovaná použitím vybranej metódy umelej inteligencie, v našom prípade genetického algoritmu. Podrobnejší princíp činnosti genetických algoritmov je možné nájsť napr. v [2]. Genetický algoritmus prehľadáva vybraný priestor, kde sa môžu nachádzať neznáme parametre asynchrónneho motora. Na začiatku je potrebné si stanoviť množinu neznámych parametrov:

$$\{L_s, L_p, T_{po}, H, L_{pp}, L_l, T_{ppo}, p_m\} \in \left\{ \begin{matrix} 1,5 & 0,15 & 0,2 & 0,5 & 0,08 & 0 & 0,001 & 0,15 \\ 5 & 0,3 & 2 & 2 & 0,15 & 0,01 & 0,004 & 0,35 \end{matrix} \right\} \quad (9)$$

### 3. Simulačné výsledky identifikácie parametrov

Úlohou genetického algoritmu bolo nájsť hľadané neznáme parametre asynchrónneho motora. Genetický algoritmus bol nastavený na 300 generácií a vývoj účelovej funkcie medzi generáciami je zobrazený na obr.2.

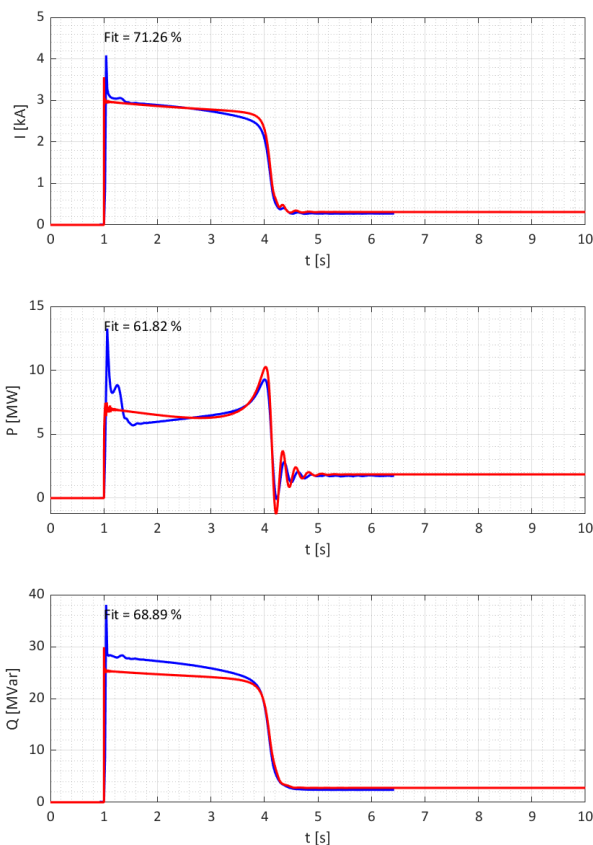


Obr.2 Vývoj účelovej funkcie.

Simulačné výsledky porovnania simulovaných veličín a meraných údajov sa nachádzajú na obr.3. Podobnosť nameraných a simulovaných priebehov *Fit* je daná hodnotením vypočítaným z normalizovanej odchýlky vyplývajúcej z čiastkovej hodnoty účelovej funkcie:

$$Fit = (1 - J) * 100\% \quad (10)$$

Podobnosť simulovaných a nameraných údajov pre danú veličinu je uvedená rovnako na obr.3.



Obr.3 Porovnanie nameraných údajov a charakteristík simulačného modelu.

## Záver

Cieľom príspevku bolo preukázanie možnosti identifikácie parametrov asynchrónnych motorov s použitím metód umelej inteligencie. Navrhovaná metóda identifikácie porovnáva namerané veličiny z rozbehu asynchrónneho motora so simulovanými údajmi a minimalizuje medzi týmito hodnotami odchýlku podľa zvolenej účelovej funkcie. Z porovnania priebehov je zrejmé, že daná metóda má vysokú úspešnosť pre identifikáciu neznámych parametrov asynchrónneho motora.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



## Literatúra

- [1] Q. Huang, R. Huang, B. J. Palmer, Y. Liu, S. Jin, R. Diao, Y. Chen, Y. Zhang, " A generic modeling and development approach for WECC composite load model", *Electric Power Systems Research*, Vol. 172, pp. 1-10, 2019.
- [2] I. Sekaj, *Evolučné výpočty a ich využitie v praxi*, IRIS, 2005.

# ANALÝZA ŠTRUKTÚRY SYSTÉMOVÉHO STABILIZÁTORA V SIMULAČNOM PROSTREDÍ PRE ZLEPŠENIE ČINNOSTI A ZLEPŠENIE TLMENIA OSCILÁCIÍ V ES SR

**Marián Tárnik, Martin Ernek, Tomáš Murgaš, Adrian Ilka, Martin Dodek, Eva Miklovičová**

Ústav robotiky a kybernetiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava  
E-mail: martin.ernekek@stuba.sk

## Úvod

Základnou úlohou riadenia prechodných procesov SG je zabezpečenie stability ES. Nestabilita synchronného generátora sa prejaví buď rýchlym zväčšovaním záťažového uhla synchronného generátora (nerovnováha mechanického výkonu turbíny a elektrického výkonu synchronného generátora), alebo rozkývaním rotora SG s následnou stratou synchronizmu. Oscilácie vznikajúce v ES môžeme z hľadiska stability rozdeliť do dvoch skupín - na bezpečné a nebezpečné.

V prvom prípade ide o elektromagnetickú formu oscilácií, ktoré spôsobuje nevhodné nastavenie parametrov regulátora budenia a stabilizátora. Kruhová frekvencia týchto oscilácií je vyššia ako 30 rad/s (4,7 Hz). Oscilácie svorkového napätia majú amplitúdu do 10 % jeho nominálnej hodnoty. Vzhľadom na vysokú frekvenciu oscilácií záťažový uhol na toto kmitanie nereaguje, preto stabilita ES nie je ohrozená.

Medzi nebezpečné oscilácie s možnosťou straty stability generátorov v elektrizačnej sústave možno zaradiť:

- Miestne alebo lokálne oscilácie typu turbogenerátor (TG) – ES. Frekvencia kmitov má hodnotu 0,7 – 2 Hz.
- Medzioblastné oscilácie vznikajú medzi dvoma alebo viacerými časťami ES. Frekvencia oscilácií je pomerne nízka a nachádza sa v okolí 0,5 Hz.
- Oscilácie medzi jednotlivými turbogenerátormi vznikajú pri vzájomnom kmitaní dvoch alebo viacerých turbogenerátorov, ktorých SG sú vzájomne elektricky silne prepojené. Frekvencia týchto oscilácií je pomerne vysoká a pohybuje sa od 1,5 – 3 Hz.
- Torzné oscilácie sa nachádzajú na hranici prechodu medzi nebezpečnými a bezpečnými osciláciami. Z hľadiska prevádzky turboagregátu sú veľmi nebezpečné.

Systémový stabilizátor má za úlohu tmiť oscilácie v ES a je súčasťou regulácie napätia väčších synchronných generátorov pracujúcich v ES SR. Výstup systémového stabilizátora modifikuje želanú hodnotu napätia regulátora budenia tak, aby pri zmenách v okolitej ES nedochádzalo k zvyšovaniu oscilácii ale k ich útlmu. V riadiacich systémoch budenia AVR synchronných generátorov sa v ES SR zvyknú využívať 2 štruktúry systémového stabilizátora:

- PSS3b – trojslučkový systémový stabilizátor.
- PSS2c – dvojslučkový systémový stabilizátor.

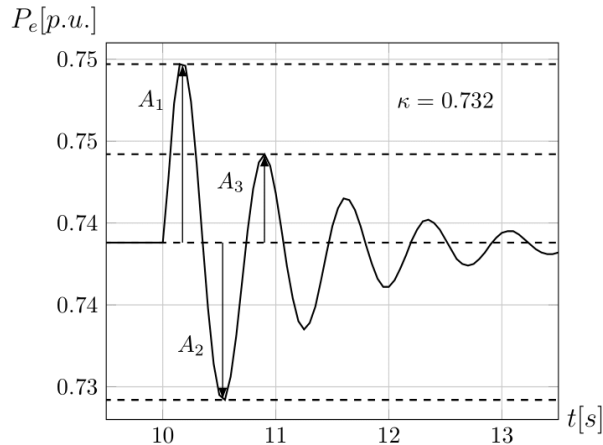
## 1. Hodnotenie tlmenia oscilácií

Hodnotenie tlmenia oscilácií činného výkonu SG sa zvyčajne vykonáva prostredníctvom 2 kritérií:

- Určenia indexu kmitavosti  $\kappa$  z prechodovej charakteristiky činného výkonu od zmeny želanej hodnoty napätia.
- Určenia maximálneho zosilnenia amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky činného výkonu.

Počas prechodného deja vyvolaného skokovou zmenou želanej hodnoty napätia dôjde k osciláciám činného výkonu (obr.1). Veľkosť a vplyv oscilácii sa posudzuje podľa indexu kmitavosti  $\kappa$ . Tento index sa vypočíta na základe troch po sebe idúcich amplitúd oscilácii činného výkonu  $A_1$ ,  $A_2$  a  $A_3$ . Amplitúda  $A_1$  je najvyššia, po nej nasleduje amplitúda  $A_2$  a amplitúda  $A_3$  býva najnižšia. Výpočet indexu kmitavosti je uvedený v rov.(1). Čím je index kmitavosti nižší, tým regulátor napätia spôsobuje vyššie tlmenie oscilácii a naopak. Dobré tlmiace vlastnosti sa dosahujú pri indexe kmitavosti  $\kappa \leq 0,5$ .

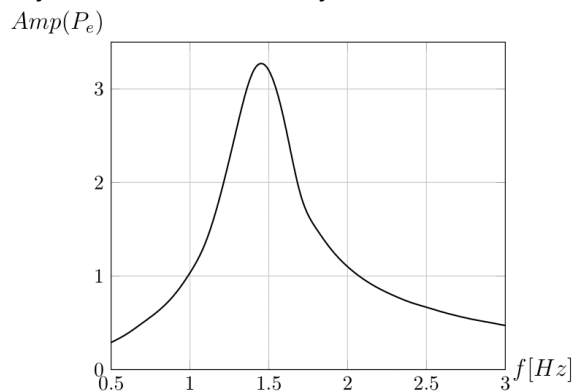
$$\kappa = \frac{|A_2 + A_3|}{|A_1 + A_2|} \quad (1)$$



Obr.1 Prechodný jav na činnom výkone spôsobený zmenou želanéj hodnoty napätia, určenie indexu kmitavosti  $\kappa$ .

V teórii riadenia lineárnych systémov sa frekvenčná charakteristika definuje ako grafické zobrazenie frekvenčnej prechodovej funkcie. Dynamický model SG je však nelineárny, preto pre jeho frekvenčnú charakteristiku používame všeobecnejšiu definíciu, kde sa týmto pojmom označuje pomer amplitúd výstupného a vstupného signálu a ich vzájomný fázový posun pre rôzne frekvencie sínusového vstupného signálu.

Na testovanie dynamických vlastností regulátorov budenia sa používajú frekvenčné charakteristiky merané v rozsahu frekvencií 0,2 až 3,5 Hz. Meranie frekvenčných charakteristík je dosť náročné a prináša určité riziká. Problémy môžu nastať, ak nie je vopred známy očakávaný priebeh amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky. Pri nevhodnej voľbe amplitúdy vstupného signálu v oblasti rezonančnej frekvencie môže veľmi narásť amplitúda výstupných signálov, najmä činného výkonu, čo môže spôsobiť výpadok bloku. Preto je nevyhnutné pred takýmto meraním zistiť odhad frekvenčných charakteristík na simulačnom modeli a podľa zistení meniť pri meraní amplitúdu vstupného signálu. Samotná frekvenčná charakteristika činného výkonu sa meria pomocou superponovania sínusového signálu s premenlivou frekvenciou na referenčnú hodnotu napätia regulátora budenia. Pre každú frekvenciu sa potom odčíta amplitúda vstupného a výstupného signálu bez jednosmernej zložky. V našom prípade je vstupným signálom želaná hodnota napätia regulátora budenia a sledovaným výstupným signálom je činný výkon. Podiel výstupnej a vstupnej amplitúdy dáva jeden bod frekvenčnej charakteristiky. Frekvenčná charakteristika nám teda zobrazuje zosilnenie systému pre danú frekvenciu vstupného signálu. Pokiaľ je maximum frekvenčnej charakteristiky činného výkonu menšie ako 1, hovoríme, že regulátor budenia má kvalitatívne dobré tlmenie oscilácií. Príkladom frekvenčnej charakteristiky vypovedajúcej o zlom tlmení oscilácií je charakteristika zobrazená na obr.2.



Obr.2 Frekvenčná charakteristika činného výkonu.

## 2. Voľba štruktúry PSS

Tlmenie oscilácií synchronného generátora závisí od voľby a nastavenia štruktúry systémového stabilizátora. V podmienkach ES SR sa najviac uplatňuje štruktúra PSS3b, ktorá obsahuje 3 vstupy. Oproti systémovému stabilizátoru PSS2a obsahuje navyše vstup pre budiaci prúd generátora. Meraný signál budiaceho prúdu generátora býva často ovplyvnený šumom a spínaním tyristorového mostíka budiča. Zavedenie tohto signálu do regulácie napätia navyše spomaľuje reguláciu napätia synchronného generátora. Systémový stabilizátor PSS3b je vďaka jeho jednoduchej štruktúre a prítomnosti väzby od budiaceho prúdu pomerne jednoduché simulačne nastaviť, ale prakticky je z uvedených dôvodov jeho nastavenie zložitejšie. Štruktúra PSS2c je na prvý pohľad výrazne zložitejšia a pre jej použitie je potrebné nastaviť viacero horného a dolnopriepustných filtrov. Z hľadiska výberu signálov je možné v tejto štruktúre využívať činný výkon generátora a otáčky generátora alebo frekvenciu. Vzhľadom na dodržanie regulačných vlastností napätia je výber štruktúry PSS2c vhodnejší. Štruktúra PSS2c využíva pre svoju činnosť rekonštrukciu urýchľovacieho momentu generátora. Presnejší opis s matematickým odvodením je možné nájsť napr. v [1] a [2]. Samotný stabilizátor PSS2c využíva na vstupoch sériové zapojenie dvoch hornopriepustných filtrov a dolnopriepustného filtra, kde je vhodné použiť prednastavené časové konštanty pre väzbu od otáčok  $T_{w1} = T_{w2} = 2s$ ,  $T_6 = 0s$  a pre väzbu od činného výkonu  $T_{w3} = 2s$ ,  $T_{w4} = 0s$  a  $T_7 = 0s$  [3]. Frekvencia zlomu týchto filtrov je  $0,5 \text{ rad/s}$ , čo zodpovedá  $0,0796 \text{ Hz}$ . Pásmo frekvencií prenesených filtermi tak zabezpečuje aj prenos pomalších medzioblastných oscilácií s frekvenciou  $0,1 \text{ Hz}$ . Nastavenie filtračných časových konštánt na rovnakú hodnotu je kľúčové vzhľadom na rovnaký fázový posun signálov po filtrácii. Úlohou týchto filtrov je aj odstránenie ustálenej zložky zo signálov. Odporúčaním IEEE [4] je aby zosilnenie  $K_{s2}$  bolo nastavené vzhľadom na konštantu zotrvačnosti sústrojenstva  $H$  ako  $K_{s2} = T_7 / (2H)$ . Zosilnenie  $K_{s3}$  býva obvyčajne 1 a v reálnych regulátoroch nebýva vždy implementované. Rád kaskády filtrov s časovými konštantami  $T_8$  a  $T_9$  zvykne byť navrhovaný ako  $m=5$  a  $n=1$ . Navyše nie vždy je v tomto filtri využívaná nula prenosovej funkcie filtra a teda časová konštantka  $T_8$  býva zvolená ako  $0 \text{ s}$ . Vlastnosti systémového stabilizátora PSS2c potom najviac ovplyvňujú zosilnenia  $K_{s4}$  a  $K_{s1}$  a séria filtrov na konci stabilizátora s časovými konštantami  $T_1, T_2, T_3, T_4$ . Táto séria filtrov slúži hlavne ku fázovému prispôsobeniu výstupného signálu stabilizátora.

## 3. Návrh parametrov PSS

Návrh parametrov systémového stabilizátora PSS2c je možné vykonať pomocou 2 možností. Prvou možnosťou je aproximácia modelu generátora, budiča a modelu siete pomocou Heffron Philipsovho modelu. Následne sú prostredníctvom vybranej metódy riadenia hľadané neznáme parametre stabilizátora PSS2c. Druhou možnosťou je navrhnúť neznáme parametre štruktúry PSS2c pomocou genetického algoritmu na simulačnom modeli. Predpokladom úspešného návrhu pri oboch postupoch je znalosť parametrov simulačných modelov. Simulačný model by mal byť pred návrhom overený pomocou meraní. Oba postupy umožňujú pomerne rovnocenný návrh parametrov systémového stabilizátora. Pri druhom postupe je možné meniť podmienky návrhu parametrov stabilizátora a tým pádom zabezpečiť aj iné kvalitatívne regulačné vlastnosti. Z uvedeného dôvodu je vybraný pre návrh parametrov postup s genetickým algoritmom.

Navrhovaný systémový stabilizátor musí zabezpečiť útlm oscilácií činného výkonu v určenom frekvenčnom rozsahu  $0,5\text{--}3,5 \text{ Hz}$ . Činnosť systémového stabilizátora však nesmie narušiť činnosť regulácie napätia, z čoho vyplýva druhá podmienka návrhu: V oblasti nižších frekvencií nesmie stabilizátor zosilňovať oscilácie jalového výkonu generátora. Z podmienok návrhu potom vyplýva nasledovná účelová funkcia:

$$J = J_P + J_Q = \|A_{Pe(f_1)}\|_{\infty} + \gamma \frac{\|A_Q(f_2)\|_1}{n_{f_2}} \quad (2)$$

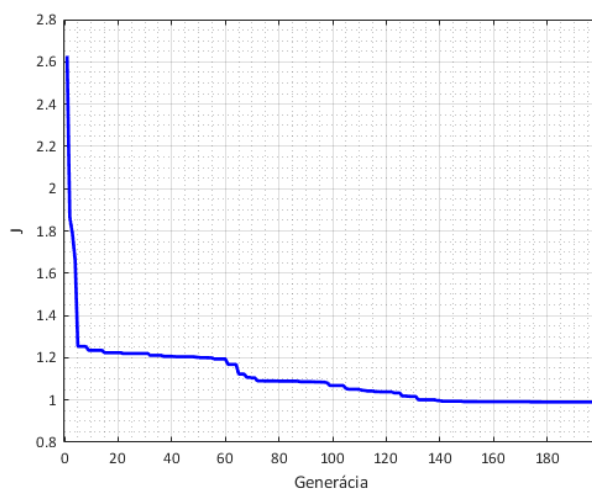


Prvá zložka účelovej funkcie  $J_P$  je maximálnou hodnotou amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky činného výkonu na frekvenčnom intervale  $f_1$  a druhú zložku účelovej funkcie  $J_Q$  tvorí priemerná hodnota amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky jalového výkonu na frekvenčnom intervale  $f_2$ . Genetický algoritmus využíva pre hľadanie parametrov priestor, v ktorom sa neznáme parametre môže nachádzať. Do optimalizačnej úlohy vstupuje nasledovná množina parametrov spolu s ohraňením:

$$\{k_{s1}, k_{s4}, T_9, T_1, T_2, T_3, T_4\} \in \left\{ \begin{matrix} 1 & 0.1 & 0.016 & 0.016 & 0.016 & 0.016 & 0.016 \\ 100 & 2 & 0,2 & 1 & 0,2 & 1 & 0,2 \end{matrix} \right\} \quad (3)$$

#### 4. Simulačné výsledky návrhu systémového stabilizátora PSS2c

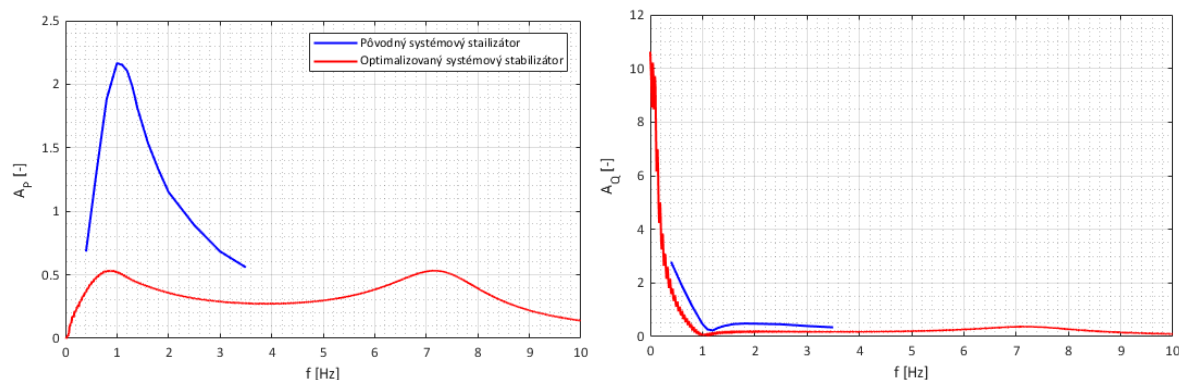
Úlohou genetického algoritmu bolo nastavenie neznámych parametrov PSS2c. Genetický algoritmus bol nastavený na 200 generácií a vývoj účelovej funkcie medzi generáciami je zobrazený na obr.3.



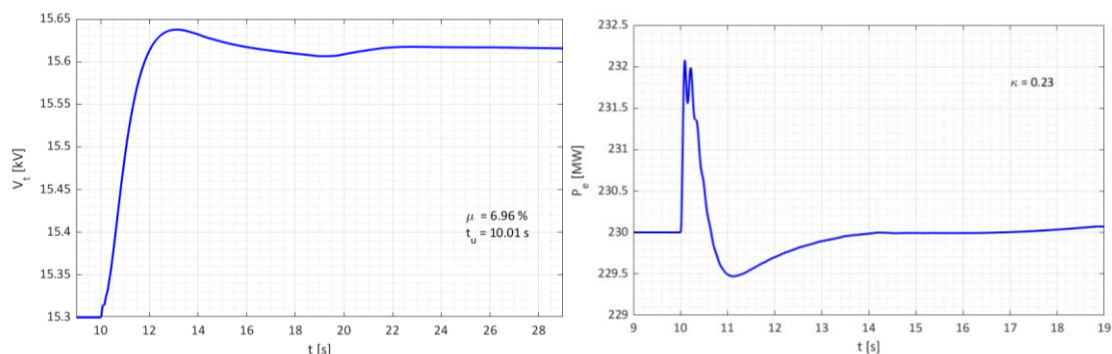
Obr.3 Vývoj účelovej funkcie.

Simulačné výsledky frekvenčných a prechodových charakteristík s použitím optimalizovaného nastavenia systémového stabilizátora sa nachádzajú obr.4 a obr. 5.

Maximum amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky činného výkonu s optimalizovaným nastavením PSS je 0,54. Index kmitavosti zistený z prechodovej charakteristiky je  $\kappa = 0,23$ . Optimalizované nastavenie PSS zmení čiastočne dynamické vlastnosti regulácie napätia, nemá však výrazne zhoršujúci vplyv na reguláciu.



Obr.4 Porovnanie nameraných frekvenčných charakteristík a frekvenčných charakteristík simulačného modelu s optimalizovaným nastavením PSS.



Obr.5 Prechodová charakteristika napätia a odozvy činného výkonu simulačného modelu s optimalizovaným nastavením PSS.

## Záver

Dôležitou súčasťou riadiaceho systému budenia je systémový stabilizátor, ktorý má za úlohu utlmiť vzniknuté oscilácie v ES. Tlmenie oscilácií na zdrojoch v ES SR je kvalitatívne hodnotené na základe prechodových a frekvenčných charakteristík činného výkonu. Kým podmienku pre tlmenie z hľadiska prechodových charakteristík obyčajne zdroje spĺňajú, pri frekvenčných charakteristikách býva kvalitatívne hodnotenie slabšie. Úlohou publikácie bolo nájsť metodiku pre nastavenie parametrov systémového stabilizátora tak, aby zlepšil tlmenie oscilácií. V tomto prípade bola pre analýzu zvolená štruktúra PSS2c. Neznáme parametre PSS boli nájdené pomocou genetického algoritmu a PSS zabezpečil požadovaný útlm oscilácií z hľadiska prechodových aj frekvenčných charakteristík činného výkonu.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] D. c. Lee, R. E. Beaulieu and J. R. R. Service, "A Power System Stabilizer Using Speed and Electrical Power Inputs-Design and Field Experience," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-100, no. 9, pp. 4151-4157, 1981.
- [2] F. P. de Mello, L. N. Hannett and J. M. Undrill, "Practical Approaches to Supplementary Stabilizing from Accelerating Power," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-97, no. 5, pp. 1515-1522, 1978.
- [3] G. R. Bérubé and L. M. Hajagos, "Accelerating-Power Based Power System Stabilizers," 2007.
- [4] Society, IEEE Power and Energy, "IEEE recommended practice for excitation system models for power system stability studies," IEEE, 2016.

# ON ESTIMATION OF ACTIVE POWER FREQUENCY RESPONSE IN MICROGRIDS

*Marián Tárník, Martin Ernek, Tomáš Murgaš, Adrian Ilka, Martin Dodek, Eva Miklovičová*

*Ústav robotiky a kybernetiky, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava*

*E-mail: marian.tarnik@stuba.sk*

## Introduction

The stability and quality of electric power generation are typically characterized by means of active power frequency response. Synchronous generators with an active power in the order of hundreds of megawatts use a Power System Stabilizer (PSS) to dampen undesirable active power oscillations. This work focuses on much smaller synchronous generators with power in the order of tenths of kilowatts. These can be deployed as a part of a smart microgrid, for example, in cogeneration units and small diesel plants. The control system of such a generator is usually designed without direct consideration of the active power oscillations. PSS is not used. However, overall control and decision making in smart microgrids can benefit from the availability of the information on active power oscillations measure, and it can be based on active power frequency response.

Renewable energy is being integrated into the distribution level, and conventional power grids are evolving towards smart grids. This process is driven by increasing environmental awareness to reduce the carbon footprint of humanity [1]. The stability and quality are the main concerns regarding the broad application of microgrids [2]. Different approaches have been developed to enhance the stability of microgrids so far [3]. For a more comprehensive literature review in this field, see [4, 5].

In general, the stability performance of microgrids is often assessed from the damping of the local mode, i.e., the generator swinging against the rest of the microgrid system. The microgrid has to be designed to provide acceptable performance. It is often not feasible to perform regular experiments to obtain a generator's frequency response in the microgrid. This paper summarizes strategies for frequency response estimation based on data from step response experiments and an approach based on the voltage disturbance data.

## 1. Estimation Based on the Voltage Step Response

In this case, voltage step response is considered as an active experiment to obtain frequency response data. See figure 1 as an example, where the deviation of the active power from its steady-state value and the deviation of the reference stator voltage from the corresponding nominal value are shown.

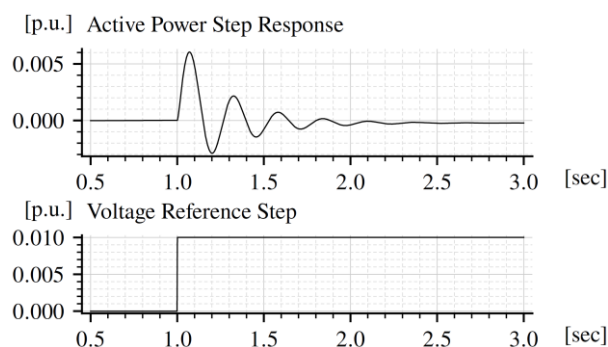


Fig.1 Voltage response step data (deviations from steady-state).

By means of traditional parametric system identification methods, one can obtain the transfer function corresponding to a given step response data. Having the transfer function, it is straightforward to construct the frequency response, which is a reasonable estimation of the true

frequency response. In [6], this is referred to as the parametric model estimation. A graphical comparison with the true frequency response is shown in figure 2.

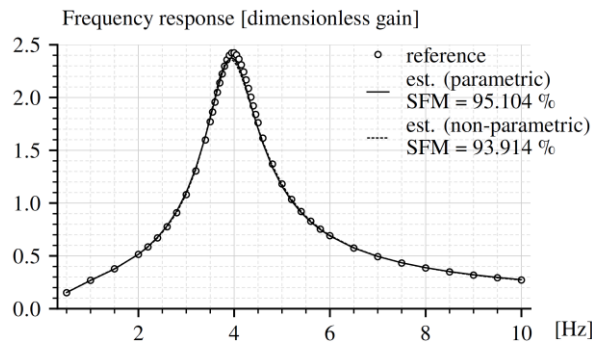


Fig.2 Graphical comparison of the reference with the frequency response obtained using the parametric model (transfer function) and the non-parametric approach (spectral analysis). SFM stands for Simple Fit Metric [6].

Another possible approach is to utilize a frequency response estimator based on the Fourier transform approach. In [6], this is referred to as the non-parametric model estimation. The result is graphically compared with the true frequency response in figure 2.

Both proposed methods are capable of providing estimates comparable to traditional measurements.

## 2. Estimation Based on the Voltage Disturbance

In contrast to the previous case, where the active experiment (voltage step) is used to obtain data, the passive experiment, in the form of voltage disturbance, is also considered. Particularly, voltage disturbance no. 1 is caused by a small step-wise change in the voltage reference signal (set-point change in microgrid), and disturbance no. 2 is caused by the asynchronous motor, which is connected to the microgrid. The step-wise change of the load torque causes the second disturbance. For more details on this simulation experiments, see [6].

In this case, only a non-parametric approach is possible to obtain the frequency response estimation. The results are presented in figure 3.

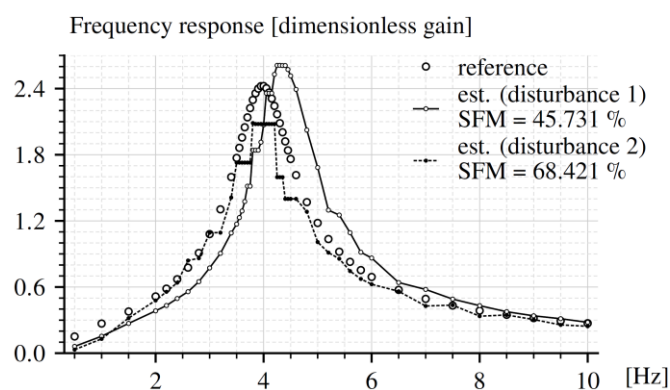


Fig.3 Graphical comparison of the estimated frequency responses for the passive experiment. SFM stands for Simple Fit Metric [6].

A graphical comparison shows that a reasonable estimate of the frequency response can be obtained even when the voltage itself, not the voltage reference, is considered as the input signal.

## Conclusion

The paper presents the results of the methods to estimate the frequency response of the generator's active power based on the data from the step response experiment and even from the entirely passive experiment data obtained under the operating conditions of the microgrid. Such data are, in principle, available during the nominal operation of the power microgrid. Therefore, by estimating power frequency response, the stability and performance of power microgrids can be improved over a wide range of operating conditions by employing oscillation measures likewise in larger power grids.

## Acknowledgement

This publication was created thanks to support under the Operational Program Integrated Infrastructure for the project: International Center of Excellence for Research on Intelligent and Secure Information and Communication Technologies and Systems - II. stage, ITMS code: 313021W404, co-financed by the European Regional Development Fund.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## References

- [1] Hassan Bevrani. Frequency Control in Microgrids, pages 319–347. Springer International Publishing, Cham, 2014.
- [2] Ke Guo, Yang Qi, Jiale Yu, David Frey, and Yi Tang. A converter-based power system stabilizer for stability enhancement of droop-controlled islanded microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(6):4616–4626, Nov 2021.
- [3] Mohammad Mahmoudian Esfahani, Hany F. Habib, and Osama A. Mohammed. Microgrid stability improvement using a fuzzy-based PSS design for virtual synchronous generator. In *SoutheastCon 2018*, pages 1–5, April 2018.
- [4] Sahil Mehta and Prasenjit Basak. A comprehensive review on control techniques for stability improvement in microgrids. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(4):e12822, 2021.
- [5] Tania B. Lopez-Garcia, Alberto Coronado-Mendoza, and Jos´e A. Dom´inguez-Navarro. Artificial neural networks in microgrids: A review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 95:103894, 2020.
- [6] Tárník, M., Ernek, M., Dodek, M., Miklovičová, E., Ilka, A., and Murgaš, T., Identification of Generator Active Power Oscillations Stability Measure, 2022, 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2022, pp. 1-4.



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ  
UNIVERZITA V BRATISLAVE

# VPLYV NEPÁRNYCH HARMONICKÝCH NA NN SIEŤ

*Vladimír Kujan, Milan Perný, Dušan Gavora, Juraj Packa, Vladimír Šály, František Janiček*  
*Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,*  
*Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*  
*E-mail: milan.perny@stuba.sk*

## Úvod

K elektrickej energii má dnes prístup 87 % svetovej populácie [1] a pre značnú časť predstavuje jeden z najdôležitejších druhov energie. Veľa súčasných elektrických spotrebičov využíva napájacie zdroje založené na polovodičovej technológii, ktorá na jednej strane prináša energetickú úsporu a vyššiu dynamiku regulácie oproti konvenčným technológiám, no na druhej strane sa prejavuje zhoršenou energetikou v podobe nepriaznivých účinkov na napájaciu sieť. Odber neharmonického elektrického prúdu, dokáže zvýšiť nielen záťaž na elektrickú sieť a jej prvky, ale aj ohroziť jej funkčnosť. V niektorých prípadoch môžu tieto spotrebiče dokonca ohroziť životy ľudí prostredníctvom obmedzenia funkčnosti prvkov ochrany pred úrazom elektrickou energiou. Cieľom príspevku je identifikovať a prezentovať zdroje vyšších harmonických v NN sústave a na vybranom zariadení demonštrovať praktické dopady činnosti zariadenia s polovodičovým meničom v NN sieti. Uvážením skutočnosti, že lokálne mikrogridy sa bez polovodičovej techniky nezaobídu (FV invertor, riadiaca jednotka, regulátor nabíjania akumuláčného systému a pod.) je preto tento výskum priamo napojený na aktivity a míľniky projektu CE2, ktorý je riešený na STU a poskytuje komplexnejšie informácie k popisu lokálnej energetickej sústavy.

## 1. Zdroje neharmonických prúdov a napätí v elektrických rozvodoch NN

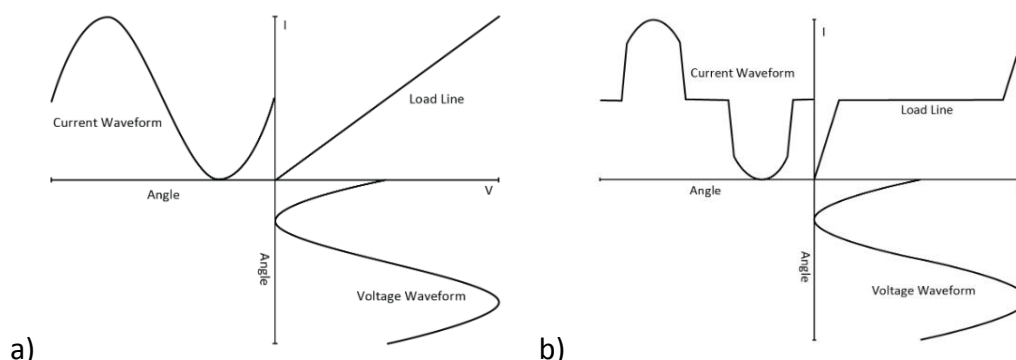
Príčinou vzniku vyšších harmonických je akákoľvek nelineárna záťaž v systéme ako napr. oblúkové pece, motory, spínané zdroje, a pod. Ak je záťaž lineárna, priebeh prúdu kopíruje priebeh napätia privedeného na záťaž (obr.1 a)). V prípade nelineárnej záťaže prúd nekopíruje priebeh napätia a jeho tvar je voči harmonickému priebehu napätia zdeformovaný (obr.1 b)). Neharmonický priebeh napätia vzniká následne v dôsledku neharmonického priebehu prúdu odoberaného nelineárnou záťažou často z dôvodu úbytku napr. na vedení.

Elektrické stroje s magnetickým obvodom, ako napr. transformátory alebo motory, sú navrhnuté tak, aby pri normálnej prevádzke pracovali v približne lineárnej oblasti magnetizačnej krivky ich magnetického obvodu, kedy nie sú zdrojom veľkého množstva vyšších harmonických. Ak sú však takéto elektrické stroje preťažované, vplyvom vysokej hodnoty magnetického toku sa prevádzka takéhoto stroja dostáva do nelineárnej oblasti magnetizačnej krivky. Na to, aby bolo možné udržať časový priebeh napätia harmonický, magnetizačný prúd musí vytvárať harmonický priebeh magnetického toku [2]. Potrebný magnetizačný prúd je v takomto prípade voči harmonickému zdeformovaný s obsahom vyšších harmonických vrátane tretej [3]. Čím je väčšia saturácia magnetického jadra elektrického stroja, tým je priebeh magnetizačného prúdu deformovanejší [2].

Princíp fázovej regulácie je založený na tzv. anti-paralelnom zapojení dvoch tyristorov. Privedením spínacieho impulzu sa tyristor otvorí a prepúšťa elektrický prúd do okamihu, keď hodnota elektrického prúdu klesne pod danú úroveň v závislosti od typu tyristora. V závislosti od okamihu (riadiaci uhol) spínacieho impulzu je možné na výstupe dosiahnuť požadovaný signál s požadovanou amplitúdou. Ich využitie je najmä pri regulácii otáčok elektrických motorov alebo jasú svetelných zdrojov. Činnosť fázového riadenia spôsobuje v sieti vznik vyšších harmonických prúdov. Neharmonický elektrický prúd prechádzajúci sieťou spôsobuje úbytky napätia na odporoch daného obvodu, čo v dôsledku spôsobuje deformáciu tvaru časového priebehu napájacieho napätia.

Rovnako ako pri fázovej regulácii, PWM (Šírkovo impulzná modulácia) využíva elektronické obvody najčastejšie za účelom regulácie otáčok a momentu elektrických motorov, jasú svetelných zdrojov prípadne teploty vyhrievaných objektov. Princíp PWM je založený na využití pravouhlého signálu rôznej šírky, čím je možné ovládať čas, počas ktorého je elektrické zariadenie napájané, čo sa

prejaví na rýchlosti nárastu a poklesu prúdu v obvode, čím je možné získať požadovaný priebeh výstupného prúdu.



Obr.1 Lineárna a) a nelineárna b) záťaž [4].

Spínané napájacie zdroje (angl. SMPS - Switched Mode Power Supplies) sa dnes využívajú takmer vo všetkých elektronických zariadeniach od napájacích zdrojov osobných počítačov, cez nabíjačky na rôzne elektronické zariadenia vrátane smartfónov až po železničné systémy a priemysel. SMPS počas svojej prevádzky však odoberá elektrický prúd v impulzoch, čím spôsobuje vznik vyšších harmonických s výrazným pomerom tretej harmonickej a nepárnych harmonických vyššieho rádu (obr. 2.). Jednofázové neprerušiteľne napájacie zdroje (angl. UPS) majú podobné charakteristiky ako spínané napájacie zdroje. Pri UPS systémoch s vyšším výkonom je síce snaha o použitie riešení potláčajúcich tento jav, pri lacných systémoch tvoriacich väčšinu inštalovaných zariadení nie je použitie takýchto prvkov zatiaľ z dôvodu ceny výhodné [4]. Elektronické predradníky kompaktných fluorescenčných svetelných zdrojov nahradili ich magnetických predchodcov a stali sa populárnymi vďaka ich vyššej účinnosti. Oproti ich predchodcom sú však len o niečo málo účinnejšie a hlavným dôvodom, prečo sú výhodnejšie je to, že fluorescenčný svetelný zdroj je efektívnejší pri vyšších frekvenciách, ktoré magnetické predradníky nedokázali poskytnúť. Ich nevýhodou je však fakt, že odoberajú prúd s obsahom vyšších harmonických. Aj keď existujú výrobky tohoto typu s riešeniami potláčajúcimi tento jav, väčšina malých a lacných jednotiek ich nemá [4]. V dnešnej dobe sa LED osvetlenie stalo synonymom moderného osvetlenia. Výhody LED sú nízka energetická náročnosť, vysoká účinnosť premeny elektrickej energie na svetlo, ekologickosť a vysoká životnosť. Z dôvodu prítomnosti LED ovládača je však zdrojom vyšších harmonických [5].

## 2. Analýza vybraného spotrebiča

Odoberaný prúd skúmaného PC zdroja s menovitým výkonom 350 W má priebeh v dvoch impulzoch ako je uvedené na obr. 2 a). Výška impulzov sa líši v závislosti od zaťaženia zdroja. Podobne aj hodnota  $THD_F$  (celkové harmonické skreslenie vztiahnuté ku základnej harmonickej signálu) je závislá od zaťaženia, pričom pri zaťažení 12 W dosahuje hodnotu 98,1 % a pri zaťažení 60 W hodnotu 76 %. Z FFT (Rýchla Fourierova Transformácia) získanej pomocou sieťového analyzára (obr. 2 b)) môžeme vidieť, že skúmaný PC zdroj generuje vyššie harmonické nepárneho násobku s dominantnou treťou harmonicou. Nižšia hodnota  $THD_F$  pri vyššom zaťažení sa prejavila na hodnote  $\lambda$  (celkový účinník), kde pri zaťažení 12 W dosahuje hodnotu 0,654 a pri zaťažení 60 W hodnotu 0,787.

Tab.1 Výkonové pomery skúmaného PC zdroja pre záťaž 12 W (vľavo) a záťaž 60 W (vpravo).

P [W]	22,23	$\lambda$ [-]	0,654	P [W]	79,2	$\lambda$ [-]	0,787
Q [VAr]	-5,61	$\cos(\varphi)$ [-]	0,967	Q [VAr]	-10,0	$\cos(\varphi)$ [-]	0,992
D [VAr]	25,09	$\tan(\varphi)$ [-]	-0,250	D [VAr]	61,3	$\tan(\varphi)$ [-]	-0,127
S [VA]	33,99	$\varphi$ [°]	-14	S [VA]	100,7	$\varphi$ [°]	+7



a) b)  
 Obr.2 Priebieh odoberaného prúdu skúmaného PC zdroja zaznamenaný sieťovým analyzéróm Chauvin Arnoux C.A 8331 pri zaťažení 12 W a). FFT odoberaného priebehu prúdu zdroja pre zaťaženie 60 W b).

## Záver

Charakter odberu v NN sieťach na strane koncového odoberateľa bol donedávna prevažne odporový alebo induktívny. Náhly nárast využitia elektronických meničov energie, ako napr. spínané zdroje, usmerňovače vo veľkej škále rôznych elektrických zariadení, elektronické predradníky či už LED alebo žiaroviek, elektronické ovládanie výkonu elektrických točivých strojov a pod. spôsobili zmenu charakteru odberu na odber s často veľmi deformovaným časovým priebehom, ktorý môže spôsobovať preťažovanie vodičov, zvýšenie strát elektrických strojov, obmedziť funkčnosť elektronických zariadení až spôsobiť zničenie časti elektrickej inštalácie, ak sa s daným problémom pri jej návrhu neuvažuje. Problematika výskytu vyšších harmonických a ich dopadov je v SR mimo akademického sektora vo veľkej miere neznáma alebo nepochopená. Platné normy STN EN, ako napr. STN EN 501 60, na danú problematiku síce upozorňuje obmedzením obsahu vyšších harmonických v napájacom napätí, avšak nezohľadňujú ostatné vplyvy vyšších harmonických prúdu a neudávajú riešenia a návody, ako sa s daným problémom vysporiadať.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
 Európsky fond regionálneho rozvoja  
 OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
 DOPRAVY A VÝSTAVBY  
 SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“, a zmluvy č. APVV-19-0049 pre projekt „Výskum starnutia elektroizolačných systémov, zmeny životnosti používaných materiálov po zavedení nových EÚ regulácií (RoHS, REACH)“.

## Literatúra

- [1] D. W. Gao, E. Muljadi, et al. *Renewable Energy Deployment in a Distribution Network*. Software Comparison for Technical report NREL/TP-5D00-64228, 1345057, Feb. 2017, doi:10.2172/1345057.



- Available from: <http://www.osti.gov/servlets/purl/1345057/>.
- [2] Y. Liu, Z. Wang, Modeling of Harmonic Sources Magnetic Core Saturation. 1998. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Modeling-of-Harmonic-Sources-Magnetic-Core-Liu-Wang/a72146cf9bfd3da69bab9b6f09af42b48699c427>.
- [3] Electrical installation handbook 2005. 2010. Available from: <https://library.e.abb.com/public/ae2141fea4bfa9d748257a700024a579/1SDC010002D0206.pdf>
- [4] D. Chapman. In: HARMONICS: CAUSES AND EFFECTS. 2011. Available from: [www.leonardo-energy.org/node/1283](http://www.leonardo-energy.org/node/1283).
- [5] C. Jettanasen, C. Pothisarn, Analytical Study of Harmonics Issued from LED Lamp Driver. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, volume 2, 2014: p. 4, ISSN 2078-0966. Available from: [http://www.iaeng.org/publication/IMECS2014/IMECS2014\\_pp683-686.pdf](http://www.iaeng.org/publication/IMECS2014/IMECS2014_pp683-686.pdf).

## ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE ÚDAJOV Z FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE PRE POTREBY DIMENZOVARIA BATÉRIOVÝCH SYSTÉMOV

*Jozef Bendík, Matej Cenký, Anton Beláň, Boris Cintula, Žaneta Eleschová, Peter Janiga*  
*Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,*  
*Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*  
*E-mail: jozef.bendik@stuba.sk*

### Úvod

Distribúované zdroje energie (DER), ako napríklad fotovoltaické elektrárne (FVE), malé vodné elektrárne, bioplynové stanice alebo veterné elektrárne (VE), tvoria neoddeliteľnú súčasť novobudovaných lokálnych energetických sietí - mikrogridov [1, 2]. DER môžeme ďalej kategorizovať v závislosti od schopnosti regulácie ich výroby na regulovateľné a neregulovateľné zdroje, FVE alebo VE [3, 4]. Dôvodom neregulovateľnosti FVE a VE ako samostatných zdrojov je ich závislosť na meteorologických podmienkach, hlavne slnečné žiarenie, rýchlosť vetra a oblačnosť. Základné problémy, ktoré tieto zdroje spôsobujú v elektrizačnej sústave (ES) sú [5]:

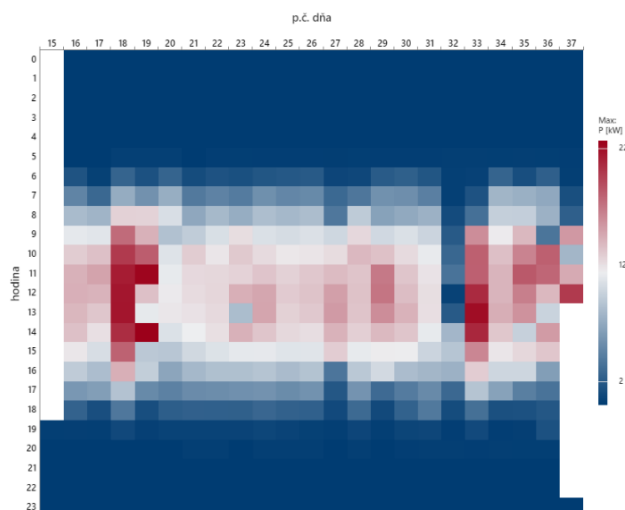
- výkonové fluktuácie,
- strata zotrvačnosti siete,
- nárasty napätia,
- zmena diagramu zaťaženia.

Prerušovaná a kolísajúca výroba je v moderných elektrizačných sústavách častým dôsledkom výroby z obnoviteľných zdrojov, ako sú napríklad FVE a VE. Ide o nestabilné zdroje, ktorých predikcia je problematická z krátkodobého aj dlhodobého hľadiska. Dlhodobá predikcia predstavuje sezónne zmeny vo výrobe, ako napríklad leto a zima. Krátkodobá predikcia predstavuje rádovo denné predpovede. Primárnym problémom krátkodobej predikcie sú chyby predpovede počasia. V priemere majú sítě FVE systémy dennú krivku výroby v typickom zvonovitom tvare, často však obsahuje prudké poklesy výkonu spôsobené napríklad prechodom mračen. Tieto, a im podobné javy majú za následok náhle poklesy a nárasty výkonu (výkonové fluktuácie), sú teda zdrojom frekvenčných fluktuácií [5, 6]. Ak je penetrácia obnoviteľných zdrojov (OZE) malá, fluktuácie sú zanedbateľné, a konvenčná frekvenčná regulácia poskytuje dostatočné prostriedky na jej reguláciu. Problém nastáva, ak je podiel OZE proporčne významný ku konvenčným točivým zdrojom v ES. Batériové systémy poskytujú riešenie takýchto problémov formou vyhladzovania výkonu z VE alebo FVE. Ďalšou aplikáciou batériových systémov pre OZE je možnosť využitia akumulácie elektriny a využitia prebytočnej energie v čase, keď sú OZE neaktívne, alebo je zvýšená požiadavka spotreby v ES [5, 6]. Tento príspevok sa venuje štatistickému vyhodnoteniu konkrétnej FVE, s cieľom potenciálnej eliminácie jej výkonových fluktuácií.

## 1. Analýza

Analýza výroby z FVE bola realizovaná na dátovej vzorke od 15.4.2013 do 7.5.2013 s 3 sekundovou granulositou vzoriek. Analyzovaná FVE má celkový inštalovaný výkon 20 kW. Na základe faktu, že ide o krátky časový úsek, nie je možné sledovať sezónnosť dát ani analyzovať iné ročné ukazovatele. Údaje sú však postačujúce na analýzu diferencií výroby, ktorá je základom napríklad pre návrh inštalovaného výkonu a kapacity batériového úložiska.

FVE v sledovanom časovom období vyrobila 1631,3 kWh. Nasledujúci graf zobrazuje maximálne hodinové hodnoty výroby FVE.



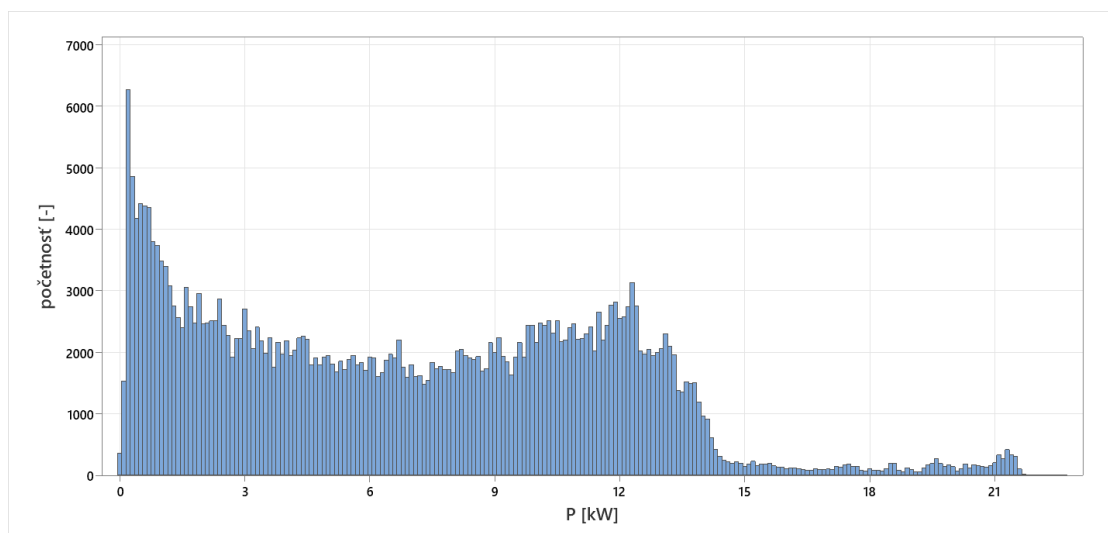
Obr.1 Heatmapa maximálneho dodávaného výkonu z FVE.

Pre všetky nasledujúce výkonové štatistiky bolo zvolené filtrovanie hodnôt na denné a nočné hodnoty. Za denné hodnoty boli považované všetky 3 sekundové hodnoty kde výroba predstavovala viac ako 10 W. Nasledujúca tabuľka obsahuje deskriptívne vyhodnotenie výroby FVE v sledovanom období.

Tab.1 Súhrnné štatistické porovnanie výroby z FVE.

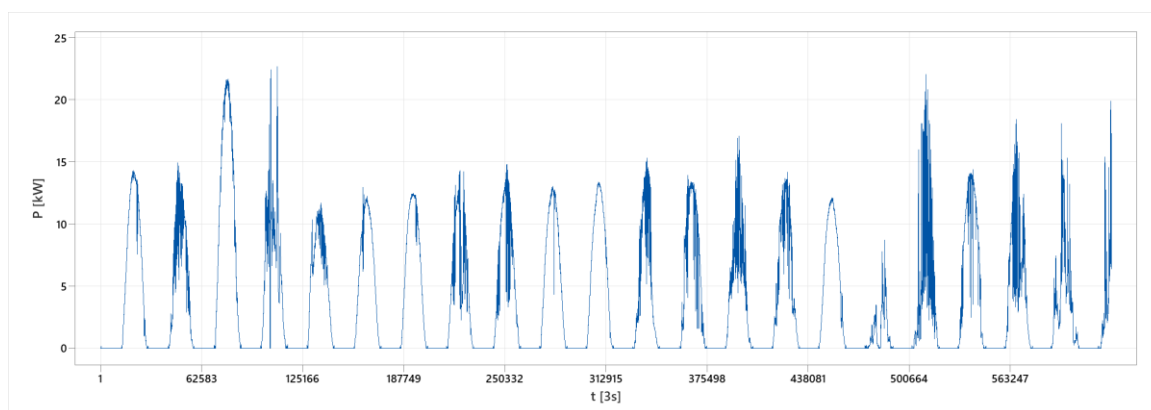
Výroba z FVE - P [kW]						
hodnoty	priemer	rozptyl	Q1	medián	Q3	maximum
nočné	0,009	0,000	0,009	0,009	0,009	0,020
denné	6,917	4,750	2,550	6,661	10,820	22,662

Nasledujúci histogram zobrazuje početnosti priemerných 3 sekundových výkonov FVE. Nočné údaje, hodnoty menšie ako 10 W sú ignorované.



Obr.2 Histogram výkonov z FVE.

Samotné priebehy sú zobrazené na nasledujúcom grafe.

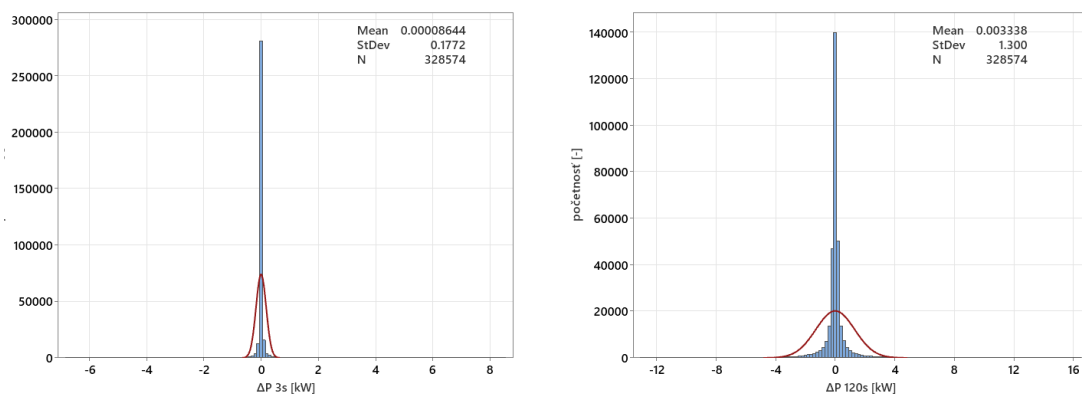


Obr.3 Priebehy FVE za sledované obdobie.

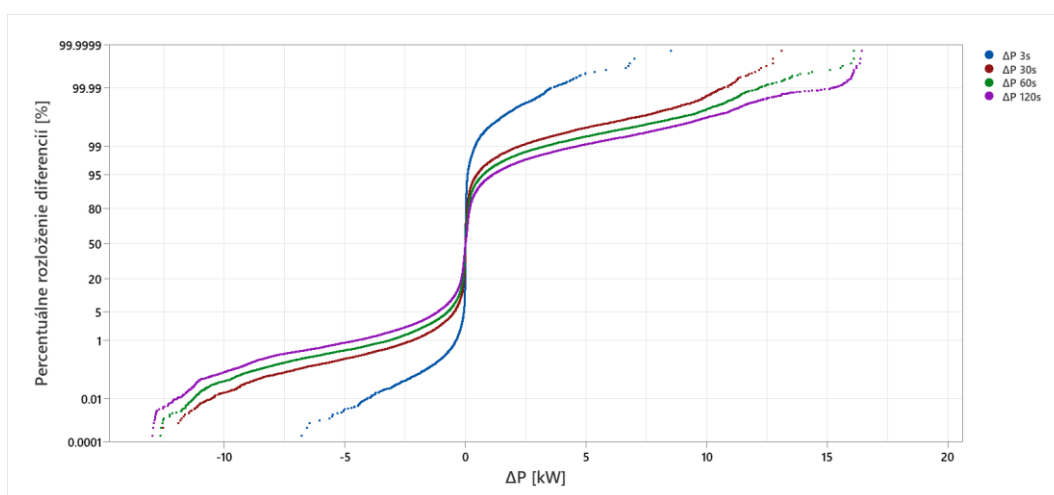
Za účelom kvalitatívneho posúdenia údajov ako aj následného posúdenia vplyvu vybranej regulácie pomocou batériového systému boli vyhodnotené 3 s, 30 s, 60 s, a 120 s diferencie výkonov. Aj v tomto prípade ide len o vyhodnotenie z denných hodnôt výkonov. Nasledujúci graf na obr. 6. zobrazuje individuálne hodnoty diferencií. Pre všetky prípady ich rozloženie nespĺňa podmienku normálneho rozloženia, ako je vidno na obr.4. Na obr.5 je zobrazené percentuálne rozloženie hodnôt jednotlivých diferencií. Štatistické vyhodnotenie absolútnych hodnôt zmien je uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab.2 Súhrnné štatistické porovnanie absolútnych zmien výroby.

vyhodnotenie absolútnych hodnôt zmien výroby [kW]						
diferencia	priemer	rozptyl	Q1	medián	Q3	maximum
$ \Delta P_{3s} $	0,0447	0,1715	0,0027	0,0089	0,0266	8,5082
$ \Delta P_{30s} $	0,2319	0,7235	0,0162	0,0418	0,1318	13,0944
$ \Delta P_{60s} $	0,3436	0,9498	0,0296	0,0724	0,2167	16,0880
$ \Delta P_{120s} $	0,4986	1,2003	0,0577	0,1235	0,3529	16,4379



Obr.4 Histogramy 3 s a 120 s diferencií výroby.

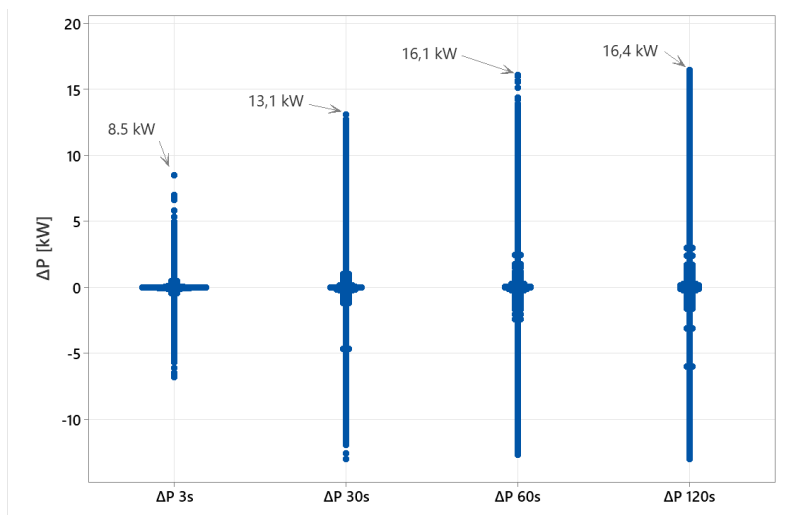


Obr.5 Percentuálne rozloženie hodnôt jednotlivých diferencií.

Porovnanie 3 s a 120 s diferencií tvorí základ hodnotenia účinnosti vyhladzovacieho algoritmu výkonu FVE. Tento algoritmus nie je obsahom tohto príspevku.

## Záver

Cieľom príspevku bolo štatistické zhodnotenie výroby z fotovoltaickej elektrárne nachádzajúcej sa pri vysokonapäťovom laboratóriu LVT. Celkový inštalovaný výkon FVE predstavuje 20 kW. V rámci analýzy bol spracovaný 22 dňový interval od 15.4.2013 do 7.5.2013 v 3 sekundovej granulite údajov. Boli vyhodnotené základe štatistické ukazovatele. Nosnou časťou analýzy bolo vyhodnotenie diferencií výroby pre čas 3 s, 30 s, 60 s a 120 s. Kľúčové údaje sú uvedené v tab. 2. - tieto hodnoty sú napríklad ideálnym kandidátom pre validáciu účinnosti algoritmu batériového manažmentu, ale aj pre mnohé iné kvalitatívne a kvantitatívne hodnotenia v moderných mikrogridoch.



Obr.6 Priebehy FVE za sledované obdobie.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] ABDELTAWAB, Hussein M. a Yasser A. I. MOHAMED. Distributed Battery Energy Storage Co-Operation for Renewable Energy Sources Integration. *Energies* [online]. 2020, **13**(20), 5517. Dostupné z: doi:10.3390/en13205517.
- [2] DRATSAS, Pantelis A., Georgios N. PSARROS a Stavros A. PAPATHANASSIOU. Battery Energy Storage Contribution to System Adequacy. *Energies* [online]. 2021, **14**(16), 5146. Dostupné z: doi:10.3390/en14165146.
- [3] AL ESSA, Mohammed Jasim M. a L. M. CIPCIGAN. Integration of renewable resources into Low Voltage grids stochastically. In: *2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON): 2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)* [online]. 2016, s. 1–5. Dostupné z: doi:10.1109/ENERGYCON.2016.7514134.
- [4] DILEEP, G. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy* [online]. 2020, **146**, 2589–2625. ISSN 0960-1481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2019.08.092.
- [5] WG B3.55. *TB 869 - Design guideline for substations connecting battery energy storage solutions (BESS)* [online]. B.m.: CIGRE. 2022 [vid. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://e-cigre.org/publication/869-design-guideline-for-substations-connecting-battery-energy-storage-solutions-bess>
- [6] *IEEE 1547-2018 - IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces* [online]. B.m.: IEEE. [vid. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/ieee/1547/5915/>.
- [7] WOYTE, Achim, Mirko BODACH, Ronnie BELMANS a Johan NIJS. Power Fluctuations in Micro-grids Introduced by Photovoltaics: Analysis and Solutions. 2022.
- [8] LI, Xiangjun, Dong HUI a Xiaokang LAI. Battery Energy Storage Station (BESS)-Based Smoothing Control of Photovoltaic (PV) and Wind Power Generation Fluctuations. *IEEE Transactions on Sustainable Energy* [online]. 2013, **4**(2), 464–473. ISSN 1949-3037. Dostupné z: doi:10.1109/TSTE.2013.2247428.

# DIMENZOVANIE BATÉRIOVÝCH SYSTÉMOV PRE POTREBY VYHLADENIA VÝKONOVÝCH FLUKTUÁCIÍ Z FOTOVOLTICKÝCH ELEKTRÁRNÍ

*Jozef Bendík, Matej Cenký, Anton Beláň, Boris Cintula, Žaneta Eleschová, Peter Janiga*  
*Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,*  
*Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*  
*E-mail: jozef.bendik@stuba.sk*

## Úvod

Pri návrhu BESS je v prvotnej fáze nutné poznať široké spektrum požiadaviek elektrizačnej sústavy (ES) a jej limitujúce podmienky na základe ktorých je možné určiť vyhovujúcu BESS technológiu, výkon a kapacitu úložiska. CIGRE vo svojej technickej brožúre TB 666 [1] sumarizuje niektoré spoločné menovatele, ktoré vyplývajú z integrácie obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Nasledujúca časť sa zaoberá konkrétnymi problémami s výkonovými fluktuáciami [2].

Nespojitá výroba v moderných elektrizačných sústavách je bežným dopadom výroby OZE, ako napríklad fotovoltaické (FVE) a veterné elektrárne (VE). Ide o nestabilné zdroje, ktorých predikcia je problematická z krátkodobého aj dlhodobého hľadiska. Dlhodobá predikcia predstavuje sezónne zmeny vo výrobe, ako je napríklad leto a zima. Krátkodobá predstavuje denné predpovede. Primárnym problémom krátkodobej predikcie sú chyby predpovede počasia. V priemere majú sítě FVE systémy dennú krivku výroby v typickom zvonovitom tvare, no táto krivka často obsahuje prudké poklesy výkonu spôsobené napríklad prechodom mračen. Tieto, a im podobné javy, majú za následok náhle poklesy a nárasty výkonu (výkonové fluktuácie), sú teda zdrojom frekvenčných fluktuácií [3].

Ak je penetrácia OZE malá, fluktuácie sú zanedbateľné a konvenčná frekvenčná regulácia poskytuje dostatočné prostriedky na jej reguláciu. Problém nastáva, ak je podiel OZE proporčne významný ku konvenčným točivým zdrojom v ES. BESS poskytujú riešenie takýchto problémov formou vyhladzovania výkonu z veterných alebo fotovoltaických elektrární. Ďalšou aplikáciou BESS pre OZE je možnosť využitia akumulácie elektriny a využitia prebytočnej energie v čase keď sú OZE neaktívne, alebo je zvýšená požiadavka spotreby v ES [4].

Funkcionalita BESS inštalácií zohľadňuje ich dimenzovanie a potrebu riešenia špecifických problémov siete. Funkčné požiadavky následne determinujú požadované vzorce nabíjania a vybíjania, časovú odozvu BESS, výkon, kapacitu a ostatné parametre [5]. Pri návrhu je ďalej nutné brať do úvahy celkové ekonomické benefity a obmedzenia, ako účinnosť, životný cyklus batérií, zastavanú plochu, prídavné zariadenia a špecializovaný personál [6].

Výber a použitie BESS je možné kategorizovať na základe povahy a doby trvania rizikových javov v elektrizačnej sústave. BESS vie zo svojej podstaty reagovať na systémové zmeny teoreticky okamžite (rámcovo stovky milisekúnd) ale je limitovaný svojím pripojením do siete.

IEC 62933-2-1 kategorizuje BESS aplikácie do nasledujúcich troch kategórií [7]:

### 1. Trieda A

- Nárazové, krátko trvajúce, výkonovo orientované použitie.
- Cyklické nabíjanie a/alebo vybíjanie nominálnym výkonom v krátkom časovom intervale (nie viac ako jednu hodinu).

### 2. Trieda B

- Pravidelné, dlho trvajúce, kapacitne orientované použitie.
- Cyklické nabíjanie a/alebo nominálnym výkonom v dlhých časových intervaloch (viac ako jednu hodinu).

### 3. Trieda C

- Pre núdzové a/alebo podporné služby.
- Dimenzované na základe konkrétnej potreby.

Tento príspevok navrhuje BESS pre aplikáciu do kategórie A, vyhladzovanie výkonu. Pri nepredikovateľných a nestabilných zdrojoch (primárne OZE) je vhodné ich výstupný výkon regulovať v zmysle čo najrovnomernejšieho výstupného výkonu. Takto aplikovaný BESS má za úlohu priamo

spolupracovať s jedným, alebo viacerými takýmito zdrojmi, ktorých výstupný výkon sumárne vyhladzuje a takto zregulovaný ďalej posiela do ES .

Ako sa môže naskytať na prvý pohľad vhodná úplná kompenzácia výstupného výkonu (napríklad pri FVE na dokonalý zvoncový tvar), táto funkcionálna nie je v žiadnom smere ekonomická, aj keď by bola samozrejme veľkým technickým benefitom pre samotnú ES. Nutná kapacita BESS potrebného pre takúto prevádzku je v drvivej väčšine prípadov jednoducho príliš veľká na to, aby bola rozumným spôsobom návratná (pri tejto konkrétnej funkcionálnosti).

Vyhladzovanie výkonu má za úlohu zjemňovať jednotlivé skokové zmeny výstupného výkonu zdroja tak, aby v sieti tiež nenastávali podobné skokové fluktuácie výkonu. V prípade zaznamenania takéhoto výkonového skoku BESS vyhodnotí na základe vnútornej logiky reakciu v podobe dodania alebo odobrania výkonu zo zdroja, čím ovplyvní celkový výstupný výkon z pripojeného uzla do ES [8].

## 2. Metodológia

Cieľom uvedeného BESS systému je regulácia a vyhladenie výkonových fluktuácií výroby FVE, opísaných bližšie v príspevku „ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE ÚDAJOV Z FOTOVOLTICKEJ ELEKTRÁRNE PRE POTREBY DIMENZOVARIA BATÉRIOVÝCH SYSTÉMOV“. Na obr.1 je zobrazený typický priebeh činného výkonu danej FVE zo dňa 3.5.2013.

Vo zvolenej analýze boli použité nasledovné okrajové podmienky:

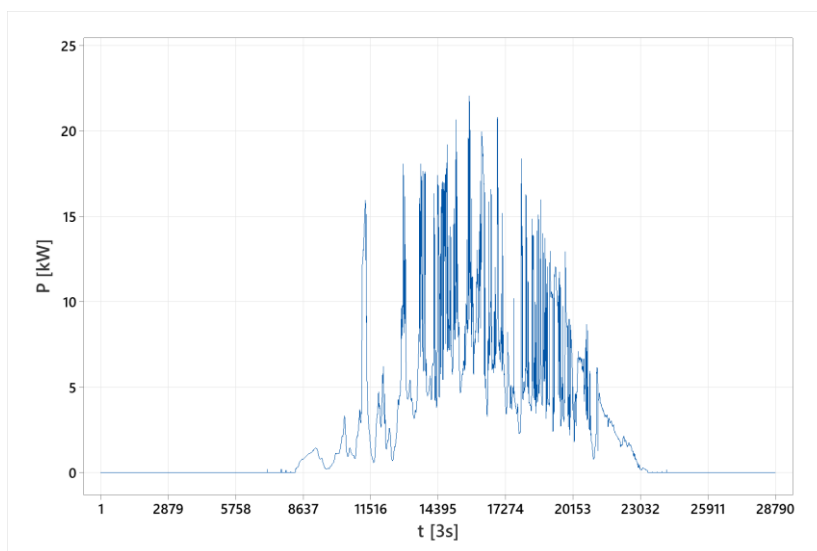
- množstvo uskladnenej energie nesmie prekročiť 90 % kapacity BESS,
- množstvo uskladnenej energie nesmie byť menej ako 10 % kapacity BESS,
- regulácia sa aktivuje ak požadovaný regulačný výkon predstavuje viac ako 1 % inštalovaného výkonu BESS,
- analýza pracuje s 3 sekundovými časovými oknami.

Ako batéria boli zvolené Lítium-iónove (Li-ion) batérie s nasledujúcimi parametrami:

- účinnosť nabíjania a vybíjania 99 %,
- efekt samovybíjania 0,03 % denne.

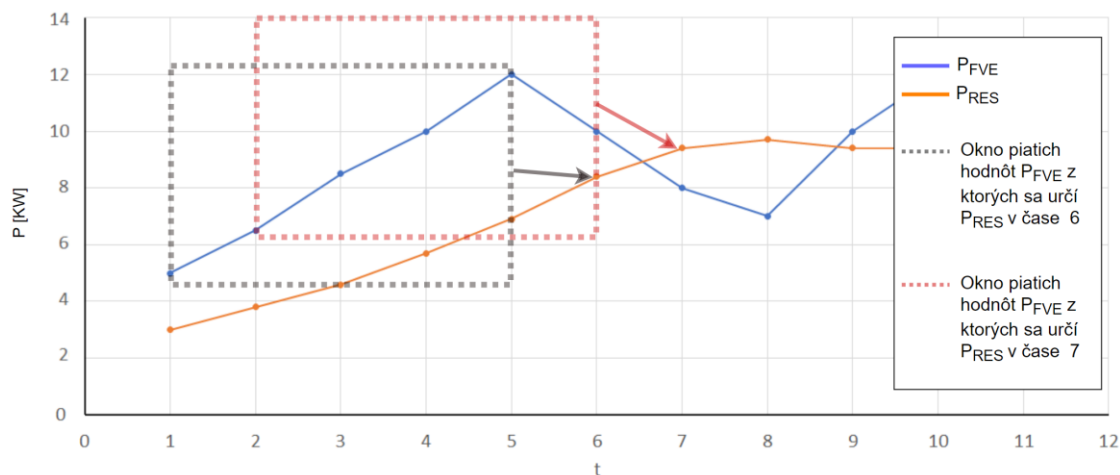
Pri simulácií regulácie pomocou BESS boli sledované nasledujúce parametre:

- $T_p$  - počet sekúnd kedy nebolo možné dodať požadovaný výkon
- $T_w$  - počet sekúnd s nedostatkom kapacity na nabitie alebo vybitie



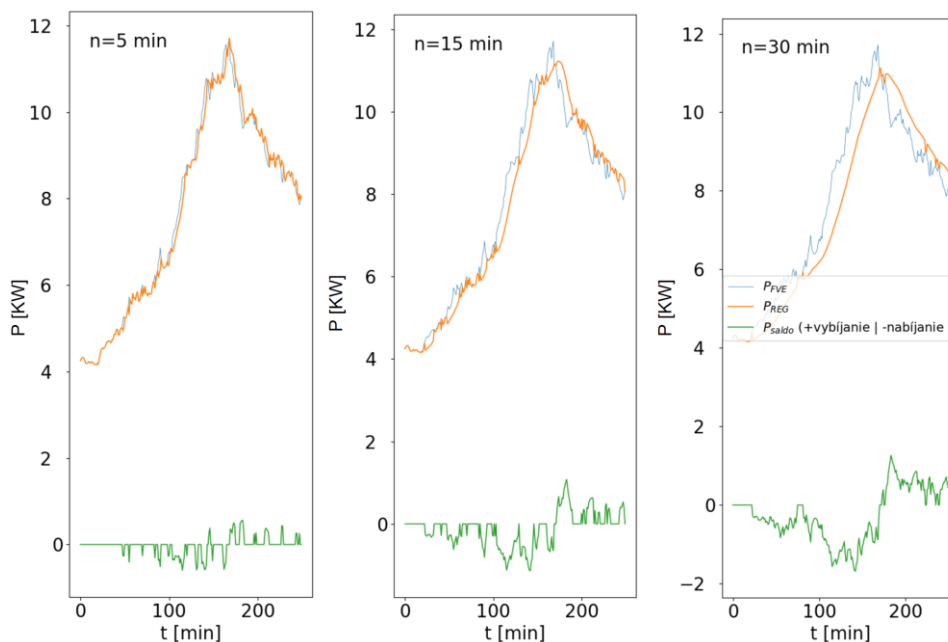
Obr.1 Priebeh výroby FVE z 3.5.2013.

Pre reguláciu za účelom vyhladenia priebehu výroby z FVE a eliminácie náhlych zmien bol vytvorený nasledujúci algoritmus postavený na princípe plávajúceho priemeru. V čase  $t$  je hodnota požadovaného regulovaného výkonu  $P_{REG}$  určená priemerovaním predchádzajúcich  $n$  hodnôt dodávaného výkonu z FVE. Príklad plávajúceho priemeru je zobrazený na nasledujúcom grafe, v tomto prípade bolo použitých 5 predchádzajúcich hodnôt na stanovenie regulovanej hodnoty  $P_{RES}$ .



Obr.2 Príklad určenia regulovanej hodnoty  $P_{RES}$  pomocou plávajúceho regulačného okna z piatich predchádzajúcich hodnôt  $P_{FVE}$ .

Z predchádzajúceho grafu je zrejme že časová šírka  $n$  priemerovaného okna bude mať zásadný vplyv na fungovanie regulácie. Na nasledujúcich grafoch je zobrazený regulovaný priebeh s 5 min, 15 min a 30 min plávajúcim oknom totožného priebehu výroby.



Obr.3 Vplyv rozličnej časovej šírky plávajúceho okna.



## 2. Návrh inštalovaného výkonu a kapacity BESS

Maximálny inštalovaný výkon bol stanovený nasledovne:

- kapacita úložiska je neobmedzená (v realite len ekonomický limit, nie technický),
- šírky časových okien boli uvažované 30 s, 120 s, 5 min, 10 min,
- simulovaná regulácia bola vykonaná uvedenou metodikou v predošlej časti, pre postupne sa znižujúce hodnoty inštalovaného výkonu BESS pre celé časové obdobie,
- pre každú hodnotu počítaného výkonu BESS bol analyzovaný parameter  $T_p$ .

Výsledky analýzy inštalovaného výkonu BESS sú uvedené v tab. 1. Z výsledkov vidno, že s vyššou hodnotou šírky časového okna narastá aj potrebný inštalovaný výkon na reguláciu. Pri 30 s okne je postačujúcich 10 kW na zregulovanie všetkých situácií v sledovanom období, pri 10 min okne je už potrebných 15 kW inštalovaného výkonu BESS na rovnaký účel. Návrh inštalovaného výkonu je v tomto prípade len principiálny z dôvodu nedostačeného skúmaného času prevádzky FVE systému.

Tab.1 Vyhodnotenie analýzy určenia maximálneho inštalovaného výkonu BESS.

Inštalovaný výkon BESS [kW]	šírka časového okna			
	30 s	120 s	5 min.	10 min.
1	1.564%	3.633%	6.076%	8.578%
2	0.604%	1.612%	2.826%	4.111%
3	0.299%	0.890%	1.588%	2.224%
4	0.163%	0.526%	0.952%	1.284%
5	0.087%	0.302%	0.585%	0.797%
6	0.046%	0.179%	0.347%	0.502%
7	0.018%	0.098%	0.198%	0.314%
8	0.005%	0.050%	0.103%	0.169%
9	0.001%	0.023%	0.054%	0.082%
10	0.000%	0.008%	0.027%	0.037%
11	0.000%	0.001%	0.013%	0.021%
12	0.000%	0.000%	0.008%	0.016%
13	0.000%	0.000%	0.003%	0.011%
14	0.000%	0.000%	0.000%	0.004%
15	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
16	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
17	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
18	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
19	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
20	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
21	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
22	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
23	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%

Podiel zo skúmaného časového intervalu s nedostatkom výkonu na reguláciu

Tab.3 Vyhodnotenie indexu  $I_{BESS}$  pre jednotlivé časové okná.

		inštalovaný výkon BESS [kW]																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
kapacita BESS [kWh]	40	13.8	16.7	19.0	21.2	23.9	26.2	27.2	29.1	30.1	31.5	31.3	31.2	31.1	30.9	30.8	30.6	30.5	30.4	30.2	30.1	30.0	29.9	29.6
	35	13.8	16.6	19.0	21.2	23.9	26.2	27.2	29.1	30.1	31.5	31.3	31.2	31.1	30.9	30.8	30.6	30.5	30.4	30.2	30.1	30.0	29.9	29.6
	30	13.8	16.6	18.9	21.2	23.9	26.2	27.2	29.1	30.1	31.5	31.3	31.2	31.1	30.9	30.8	30.6	30.5	30.4	30.2	30.1	30.0	29.9	29.6
	25	13.8	16.6	18.9	21.2	23.9	26.2	27.2	29.1	30.1	31.5	30.8	30.0	29.9	29.8	29.8	29.4	29.3	29.2	30.2	30.1	30.0	29.9	29.6
	20	13.8	16.6	18.9	21.2	23.9	26.2	27.2	29.1	30.1	30.3	30.3	30.2	30.1	29.9	29.7	29.3	29.2	29.1	29.1	29.6	30.0	29.9	29.6
	15	13.8	16.6	18.8	21.1	23.8	26.1	27.1	29.0	30.0	30.3	30.3	30.2	30.0	29.9	29.7	29.3	29.2	29.0	29.0	29.3	29.2	29.1	29.1
	10	13.7	16.5	18.8	21.1	23.8	26.1	27.1	28.9	30.4	30.0	29.5	29.0	28.9	28.7	28.5	28.4	28.6	28.5	29.0	28.9	28.8	28.4	28.4
	5	13.6	16.5	18.8	21.0	23.7	26.0	27.0	27.7	26.9	26.7	26.5	26.4	21.7	25.4	25.2	25.1	25.0	24.8	24.7	24.6	24.5	24.3	24.1

časové okno 30 s

		inštalovaný výkon BESS [kW]																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
kapacita BESS [kWh]	40	18.3	26.2	30.0	32.1	34.3	37.3	40.1	42.4	43.0	44.9	45.5	46.9	45.7	44.8	43.4	43.2	43.0	42.9	42.7	42.4	42.1	41.5	41.4
	35	18.3	26.1	29.9	32.0	34.3	37.3	40.0	42.4	43.0	44.8	45.5	46.4	45.0	43.8	43.4	43.1	42.8	42.7	42.1	41.9	41.7	41.1	40.9
	30	18.2	26.1	29.9	32.0	34.3	37.2	40.0	42.3	42.9	44.8	45.5	45.2	44.0	43.8	43.0	42.9	42.4	42.3	42.1	41.6	40.9	40.5	40.3
	25	18.1	26.0	29.8	31.9	34.2	37.2	39.9	42.3	42.9	44.8	45.4	44.2	43.8	43.4	42.9	42.7	42.1	41.5	40.9	40.4	40.2	39.8	39.6
	20	18.1	26.0	29.7	31.9	34.1	37.2	39.8	42.1	42.9	44.8	44.6	43.7	43.4	42.8	42.1	41.7	41.4	41.1	40.7	40.3	40.0	39.7	39.5
	15	18.0	25.8	29.5	31.6	34.0	36.8	39.4	41.7	42.4	43.7	42.4	41.7	41.7	41.6	41.3	40.9	40.6	40.4	40.0	40.0	39.6	39.3	39.0
	10	17.4	25.1	28.5	30.8	32.0	35.5	35.6	34.1	31.8	31.7	31.6	31.4	31.3	31.1	30.9	30.8	32.6	33.6	33.6	32.1	32.0	33.1	33.0
	5	16.0	23.5	24.1	23.2	23.2	23.3	22.5	19.9	19.0	16.9	17.1	17.0	16.8	16.7	16.6	16.2	16.1	15.9	15.8	15.8	15.6	15.8	15.3

časové okno 120 s

		inštalovaný výkon BESS [kW]																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
kapacita BESS [kWh]	40	20.3	30.2	37.2	42.1	47.2	52.2	56.6	60.1	61.9	62.6	64.2	63.6	61.8	61.4	61.2	59.9	60.8	60.6	60.4	60.2	59.0	59.8	58.6
	35	20.2	30.1	37.1	42.0	47.0	52.0	56.1	58.2	61.0	61.6	60.9	60.2	58.4	58.1	57.8	57.6	57.2	57.0	56.8	56.6	56.5	56.3	56.1
	30	20.1	29.9	36.9	41.6	46.5	51.4	55.5	57.4	58.7	58.4	55.5	53.1	50.9	50.1	49.9	49.3	49.1	49.0	48.9	48.8	48.7	48.3	48.4
	25	19.8	29.2	36.1	40.9	44.4	48.4	52.2	54.3	54.9	51.9	50.3	49.0	47.2	46.8	46.5	46.2	46.3	46.0	45.8	45.7	45.6	45.5	45.3
	20	19.3	28.4	35.2	39.5	42.6	46.2	48.6	50.5	48.5	43.3	39.0	42.6	42.4	42.0	41.9	41.8	41.7	41.5	41.4	41.3	32.4	41.1	32.0
	15	18.2	27.6	32.8	36.3	38.5	38.9	38.8	37.8	36.1	34.4	32.2	29.9	27.6	27.3	27.2	27.3	27.1	27.0	26.8	26.7	26.6	26.4	26.3
	10	18.3	26.1	29.9	31.9	32.7	29.9	28.9	27.9	27.3	26.5	21.0	23.8	20.1	23.4	23.2	23.1	23.0	22.9	25.7	25.6	25.5	25.4	22.3
	5	17.9	22.0	21.3	19.6	19.7	18.8	17.7	16.6	15.8	13.2	13.0	12.5	12.3	12.1	11.9	11.8	11.6	11.5	11.3	11.2	11.1	11.0	10.9

časové okno 5 min.

		inštalovaný výkon BESS [kW]																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
kapacita BESS [kWh]	40	19.0	30.3	37.8	43.6	47.8	52.5	55.2	54.4	52.7	50.4	48.1	48.0	47.0	46.1	45.9	45.7	45.5	45.3	45.1	44.8	44.6	44.3	44.1
	35	18.8	29.6	37.5	42.9	46.6	50.1	52.2	52.0	50.8	48.4	46.9	44.1	41.4	40.1	39.0	38.9	38.6	38.4	38.2	38.1	37.8	37.5	37.3
	30	18.4	29.1	36.3	41.8	44.3	45.8	46.2	46.3	46.1	45.8	44.6	40.8	38.5	37.0	36.4	36.2	36.0	35.9	35.7	35.5	35.3	35.0	34.9
	25	18.2	28.9	34.8	40.4	43.1	46.2	46.3	44.3	45.6	43.4	40.8	36.4	33.6	33.2	32.4	32.2	32.1	31.9	31.8	31.6	31.4	31.2	31.0
	20	17.4	29.0	34.7	38.2	38.6	40.1	40.2	39.4	40.2	38.7	34.3	31.3	29.1	28.8	27.0	28.6	28.4	28.2	28.0	27.9	25.9	27.5	25.6
	15	18.2	28.0	32.3	34.5	34.8	35.3	34.0	33.4	33.1	31.2	28.7	25.9	24.7	24.3	24.4	24.3	24.1	23.9	23.7	23.6	23.4	23.2	23.0
	10	19.2	25.6	29.0	31.2	31.4	31.3	28.7	26.4	23.5	24.9	16.1	15.0	22.1	14.5	13.6	13.4	13.3	13.9	13.7	13.6	13.3	12.3	12.9
	5	17.1	21.4	21.7	20.5	19.8	19.2	19.0	15.5	14.7	12.0	11.2	11.5	11.4	11.2	12.6	14.3	14.1	14.0	13.8	13.6	13.5	13.5	13.0

časové okno 10 min.

Maximálna inštalovaná kapacita BESS bola stanovená nasledovne:

- inštalovaná kapacita BESS bola uvažovaná od 5 do 30 kWh,
- šírky časových okien boli uvažované 30 s, 120 s, 5 min a 10 min,
- simulované regulácie boli vykonané pre všetky kombinácie nominálneho (inštalovaného) výkonu BESS, kapacity BESS a šírky časových okien,
- množstvo uskladnenej energie nesmie prekročiť 90 % kapacity BESS a nesmie byť menej ako 10% kapacity BESS,
- z každej simulácie bol spracovaný regulovaný priebeh  $P_{REG}$  kde boli spracované základné štatistické ukazovatele pre 3 s a 120 s diferencie, a následne bol vyhodnotený index účinnosti BESS  $I_{BESS}$  [%] podľa nasledujúceho vzťahu

$$I_{BESS-x} = 100 - \left( \frac{\frac{\Delta P_{avg-deň-x}^{3s}}{\Delta P_{avg-deň-raw}^{3s}} + \frac{\Delta \sigma_{deň-x}^3}{\Delta \sigma_{deň-raw}^3} + \frac{\Delta P_{max-x}^{3s}}{\Delta P_{max-raw}^{3s}}}{3} + \frac{\frac{\Delta P_{avg-deň-x}^{120s}}{\Delta P_{avg-deň-raw}^{120s}} + \frac{\Delta \sigma_{deň-x}^{120s}}{\Delta \sigma_{deň-raw}^{120s}} + \frac{\Delta P_{max-x}^{120s}}{\Delta P_{max-raw}^{120s}}}{3} \right) \frac{100}{2} \quad (1)$$

Kde:

- horný index 3 alebo 120 označuje vyhodnotenie veličiny z 3 s alebo 120 s diferencie priebehu,
- spodný index *raw* označuje hodnoty z neregulovaného priebehu FVE tab 2<sup>3</sup>,
- spodný index *x* označuje skúmaný regulovaný priebeh.

Tab.2 Súhrnné štatistické porovnanie absolútnych zmien výroby.

vyhodnotenie absolútnych hodnôt zmien výroby [kW]						
diferencia	priemer	rozptyl	Q1	medián	Q3	maximum
\Delta P 3s	0,0447	0,1715	0,0027	0,0089	0,0266	8,5082
\Delta P 120s	0,4986	1,2003	0,0577	0,1235	0,3529	16,4379

Tab.3 zobrazuje vyhodnotenie indexu  $I_{BESS}$  pre jednotlivé časové okná. Z výsledkov môžeme konštatovať, že:

- zvyšovaním šírky časového okna dochádza k efektívnejšiemu vyhladeniu priebehu do určitého bodu. Z predloženej analýzy vyplýva že optimálna šírka časového okna je ideálne pre 5 min. Pre podrobné posúdenie je nutné analyzovať časové okna s menším rozstupom.
- v prípade kritéria minimalizácie inštalovaného výkonu a kapacity a súčasne dodržaní účinnosti aspoň 50 % je ideálna navrhovaná hodnota nominálneho (inštalovaného) výkonu BESS 8 kW s kapacitou 20 kW ( $I_{BESS} = 50,5\%$ ).

Index  $I_{BESS}$  možno interpretovať ako percentuálne zlepšenie priebehu so zameraním sa na minimalizáciu priemernej hodnoty, smerodajnej odchýlky a maximálnej hodnoty 1 min a 5 min zmien.

## Záver

Cieľom príspevku bolo definovanie konceptu batériového manažmentu a následné dimenzovanie BESS pre konkrétnu inštaláciu FVE s výkonom 20 kW. Príspevok predkladá jednoduchý algoritmus vyhladzovania výkonových fluktuácií postavený na pohyblivom priemere z  $n$  predchádzajúcich známych hodnôt výroby FVE. Cieľom príspevku nebolo určiť optimálne hodnoty výkonu a kapacity BESS ale poukázať na metodiku a vyhodnotenie účinnosti BESS pre potreby vyhladzovania výkonu. Na základe tejto požiadavky boli vypočítané indexy účinnosti BESS pre vybrané kombinácie výkonov a kapacity BESS a pre jednotlivé možné šírky časových regulačných okien.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



<sup>3</sup> Výsledok z príspevku „ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE ÚDAJOV Z FOTOVOLTIČKEJ ELEKTRÁRNE PRE POTREBY DIMENZOvania BATÉRIOVÝCH SYSTÉMOV“.

## Literatúra

- [1] WG C1.30. *TB 666 - Technical risks and solutions from periodic, large surpluses or deficits of available renewable generation* [online]. B.m.: CIGRE. 2016 [vid. 2022-08-24]. Dostupné z: <https://e-cigre.org/publication/666-technical-risks-and-solutions-from-periodic-large-surpluses-or-deficits-of-available-renewable-generation>.
- [2] The impact of battery energy storage systems on distribution networks. *e-cigre* [online]. 3. prosinec 2018 [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://e-cigre.org/publication/721-the-impact-of-battery-energy-storage-systems-on-distribution-networks>.
- [3] Battery Energy Storage System based Voltage and Frequency Control of An Island Distribution Network. *e-cigre* [online]. 31. srpen 2020 [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: [https://e-cigre.org/publication/SESSION2020\\_C6-211](https://e-cigre.org/publication/SESSION2020_C6-211).
- [4] Real-Time Control Algorithm for the Integration of a Battery Energy Storage System to Optimize the Power Generation on a real Island Microgrid System: Conceptualization and Validation. *e-cigre* [online]. 31. srpen 2020 [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: [https://e-cigre.org/publication/SESSION2020\\_C6-209](https://e-cigre.org/publication/SESSION2020_C6-209).
- [5] The impact of battery energy storage systems on distribution networks. *e-cigre* [online]. 3. prosinec 2018 [vid. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://e-cigre.org/publication/721-the-impact-of-battery-energy-storage-systems-on-distribution-networks>.
- [6] Implementation of Battery Energy Storage for Frequency and Power Profile Regulation, and Spinning Reserve Management. *e-cigre* [online]. 31. srpen 2020 [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: [https://e-cigre.org/publication/SESSION2020\\_C6-109](https://e-cigre.org/publication/SESSION2020_C6-109).
- [7] TC 120. *IEC 62933-2-1:2017 - Electrical energy storage (EES) systems - Part 2-1: Unit parameters and testing methods - General specification* [online]. 2017 [vid. 2022-08-23]. Dostupné z: <https://webstore.iec.ch/publication/27124>.
- [8] LI, Xiangjun, Dong HUI a Xiaokang LAI. Battery Energy Storage Station (BESS)-Based Smoothing Control of Photovoltaic (PV) and Wind Power Generation Fluctuations. *IEEE Transactions on Sustainable Energy* [online]. 2013, 4(2), 464–473. ISSN 1949-3037. Dostupné z: doi:10.1109/TSTE.2013.2247428.

## POTREBA A SMEROVANIE VÝSKUMU ADAPTÍVNEHO VEREJNÉHO OSVETLENIA V KONCEPTE INTELIGENTNÝCH MIEST

*Dionýz Gašparovský*

*Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: [dionyz.gasparovsky@stuba.sk](mailto:dionyz.gasparovsky@stuba.sk)*

### Úvod

Rozvoj mestského osvetlenia sa do značnej miery spolieha na LED technológiu so zámerom budovať systémy tzv. „smart“ osvetlenia so širokými možnosťami riadenia ako významnú súčasť inteligentných miest (*smart cities*). Osvetlenie sa čoraz viac integruje s dopravou, telekomunikáciami, inžinierskymi sieťami atď. Zvlášť dôležité sú také interakcie, ktoré majú priamy vplyv na nastavenie cieľových parametrov osvetlenia. Napriek dostupnosti technických riešení však stále postrádame metodiku na definovanie aktuálnych zrakových potrieb vodičov, cyklistov, chodcov a ostatných užívateľov komunikácií a spôsob, ako pre nich určiť a nastaviť tie správne parametre osvetlenia v závislosti od vonkajších podmienok a dostupných informácií zo spolupracujúcich systémov.

### 1. Prehľad súčasného stavu

Medzinárodná komisia pre osvetlenie CIE namiesto marketingového výrazu „smart“ osvetlenie používa termín adaptívne osvetlenie [1] a definuje ho ako osvetlenie, ktoré holistickým spôsobom prispôsobuje celý súbor parametrov osvetlenia potrebám užívateľov v závislosti od aktuálnych podmienok, ktoré sa menia v priestore a čase. Využíva dynamické možnosti riadenia osvetlenia a posúva ich na vyššiu úroveň využitia, pričom rozlišuje tieto úrovne adaptability [2]:

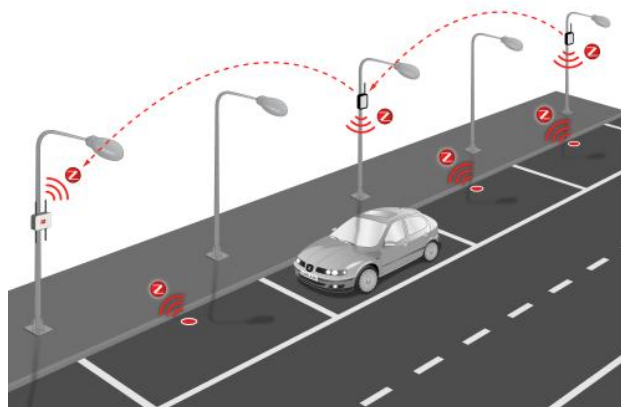
- Úroveň 1: použitie časových harmonogramov zostavených na základe štatistických údajov.
- Úroveň 2: použitie lokálnych snímačov a/alebo samostatných lokálnych riadiacich prvkov.
- Úroveň 3: napojenie na inteligentné systémy.
- Úroveň 4: kombinácia úrovní 2 a 3.

Príkladom inteligentných systémov sú napr. inteligentné dopravné systémy (IDS), technológia pripojených vozidiel (CVT = *Connected Vehicle Technology*) a pod.

K základným cieľom adaptívneho osvetlenia patrí zabezpečiť spracovanie dostupných vstupných údajov a s ohľadom na zrakové a mimozrakové potreby rôznych skupín a rôzneho zloženia užívateľov alebo dotknutých subjektov určiť súbor výstupných údajov a sprostredkovať ich poľu svietidiel vlastnej osvetľovacej sústavy, iným spolupracujúcim sústavám alebo nadradenej sústave.

V koncepte inteligentného mesta verejné osvetlenie predstavuje významný potenciál so značným plošným, energetickým aj komunikačným rozsahom. Pokrýva celé územie mesta, kde prostredníctvom svojej infraštruktúry môže poskytovať napájanie implementovaných technológií (nabíjacie stanice, hotspoty, kamerové systémy, snímače a pod.). Príkladom integrovaných riešení sú tzv. multifunkčné stožiare s vysokou mierou interoperability a kompatibility. Prepojiteľnosť však vyžaduje zmenu prístupu v spôsobe napájania sietí verejného osvetlenia, konkrétne prejsť zo spínanej prevádzky na celodenné kontinuálne napájanie s individuálnym riadením jednotlivých svietidiel.

Interoperabilita je zásadným aspektom vnútornej štruktúry inteligentného mesta. V hierarchickom usporiadaní zahŕňa všetky vrstvy od fyzickej, cez komunikačnú a informačnú až po aplikačnú príp. obchodnú vrstvu. Typický príklad interoperability sústavy verejného osvetlenia s parkovacím systémom je na obr.1 – úroveň osvetlenia reaguje na obsadenosť parkovacích miest a detektory súčasne poskytujú verejnosti informácie o voľných parkovacích miestach.



Obr.1 Príklad interoperability osvetlenia parkovacích miest s detekciou ich obsadenia vozidlami.

## 2. Motivácia a zdôvodnenie výskumu

Technológie adaptívneho osvetlenia sú už čiastočne k dispozícii, správne použitie tejto technológie však ešte nebolo zavedené. Preto existujú riziká, že niektoré aplikácie môžu nepriaznivo vplývať na užívateľa alebo dotknuté subjekty či plný potenciál adaptívneho osvetlenia zostane nevyužitý. Preto je nevyhnutné vypracovať a zaviesť základné normy v tejto oblasti.

Pre návrh, montáž, prevádzku a údržbu adaptívneho riadenia verejného osvetlenia je potrebné zabezpečiť správnu a efektívnu interoperabilitu osvetľovacej sústavy s inými súvisiacimi sústavami, t.j. vytvoriť rámcové podmienky a požiadavky pre takúto prevádzku a spoluprácu. Základné vedecké práce v tejto oblasti si berie na zodpovednosť Medzinárodná komisia pre osvetlenie CIE, pripravuje vytvoriť jednu dedikovanú technickú správu venovanú problematike adaptívneho verejného osvetlenia, ďalšie nové technické správy a revízie existujúcich technických správ na podporu adaptívneho verejného osvetlenia (napríklad aktualizované požiadavky na verejné osvetlenie, požiadavky na zábranu alebo obmedzenie rušivého svetla, optimalizácia verejného osvetlenia atď.). Nová technická správa sa pripravuje v technickej komisii CIE/TC4-62 Adaptívne verejné osvetlenie; vydaniu plnej technickej správy bude predchádzať technická informácia (TN) so základným konceptom riešenia a so základnými rámcovými požiadavkami na systémy adaptívneho verejného osvetlenia.

Zámerom výskumu je určiť, aké vstupné údaje sú potrebné na adaptívnu reguláciu osvetlenia a aké výstupy sprostredkujú odozvu systému na aktuálne požiadavky, ako prispôbiť parametre osvetlenia v závislosti od všetkých dostupných relevantných informácií prostredníctvom prepojenia vstupných a výstupných údajov. Treba vytvoriť dobrý teoretický základ, ktorý bude otvorený budúcim zlepšeniami a rozšíreniami.

Rýchly technologický vývoj v tejto oblasti a nesmierna popularita smart osvetlenia v cieľovej skupine užívateľov vedie k neustálemu nárastu dopytu po riešeniach s adaptívnym osvetlením, z čoho vyplýva potreba až nevyhnutnosť urgentného vypracovania a publikovania vhodných technických noriem. Pokiaľ architektúra systému, otvorené komunikačné protokoly, vlastnosti produktov atď. sa majú riešiť v príslušných medzinárodných normalizačných komisiách (napr. IEC, ITU), úlohou CIE je zamerať sa na fotometrické požiadavky, aplikácie osvetlenia a aspekty osvetľovacích sústav tak vo vlastnej réžii, ako aj v spolupráci s ISO a/alebo IEC a vytvoriť tak medzinárodné normy, ktoré by riešili tieto hľadiská a definovali by jasné a stručné požiadavky na adaptívne riadenie verejného osvetlenia.

### 3. Kľúčové problémy a otázky

CIE v rámci svojej vedeckovýskumnej stratégie [2] definuje kľúčové otázky, na ktoré má dať výskum adaptívneho osvetlenia odpoveď. V nadväznosti na ďalšie výskumné úlohy v oblasti verejného osvetlenia sa priority dajú ďalej konkretizovať v rámci týchto kľúčových problémov (výber):

- Denný priebeh intenzity premávky na komunikáciách tried osvetlenia M4, M3 a vyšších je už vysvetlený. Nepoznáme však priebehy a charakter premávky v rezidenčných oblastiach individuálnej a hromadnej výstavby. Informácie sú potrebné napr. na stanovenie pravdepodobností detekcie.
- Stanovenie minimálnej úrovne osvetlenia v čase bez detekcie vozidiel alebo osôb, udržiavaný z dôvodu základnej bezpečnostnej funkcie. Predbežne sa aplikuje trieda P6 na úrovni 2 lx.
- Rozšírenie existujúcich tried osvetlenia M, P a C na podtriedy prostredníctvom kontextových modifikátorov, ktoré zohľadnia kombinovaný vplyv viacerých faktorov.
- Zrakové podmienky vodičov, chodcov a cyklistov pri lokalizovanom osvetlení, vrátane predikcie ďalšieho pohybu a s tým súvisiacim osvetlením nadväzujúcich komunikácií a oblastí.
- Spôsob riešenia spätnej väzby z jasových analyzátorov, ktoré z prevádzkových dôvodov nemožno umiestniť v mieste pozorovateľa.
- Stanovenie dimenznej rezervy pri klasifikácii tried osvetlenia v prípade mimoriadnych udalostí (dopravná nehoda, práca na ceste a pod.).

### 4. Predpokladané dopady výskumu

Technologické prínosy: Technická správa sumarizujúca najnovšie výsledky výskumu a vývoja bude podkladom na vypracovanie aplikačnej normy, ktorá bude obsahovať informácie potrebné na vytvorenie vstupno-výstupného rozhrania medzi osvetľovacou sústavou a inými príslušnými systémami na zabezpečenie bezproblémovej, spoľahlivej a efektívnej interoperability s nadradeným konceptom inteligentného mesta (*smart city*). Riadenie osvetlenia na základe dostupných informácií bude optimalizované vzhľadom na aktuálne zloženie účastníkov premávky a užívateľov vonkajšieho priestranstva v danom mieste. Tento dokument prispeje k lepšej kvalite produktov, systémov, služieb ako aj k ich kompatibilite. Jedným z hlavných prínosov adaptívneho osvetlenia bude významný potenciál zníženia spotreby energie na osvetlenie.

Sociálne prínosy: Parametre osvetlenia prispôsobené užívateľom zvýšia ich zrakový výkon, zlepšia zrakovú pohodu, vzhľad a dobrý pocit pri pobyte vo vonkajšom prostredí. Dobré osvetlenie spolu s ďalšími inteligentnými službami napomáha zlepšovať spoločenskú komunikáciu a minimalizovať nevhodné a prípadne až kriminálne správanie.

Prínosy pre životné prostredie: Optimálnym riadením sa dajú minimalizovať vedľajšie účinky verejného osvetlenia ako napríklad interakcia s obyvateľmi (vrátane osvetlenia prenikajúceho dovnútra domácností), faunou a flórou a astronomickými pozorovaniami v kritických časových úsekoch. Vďaka zníženiu spotreby energie budú nižšie aj emisie oxidu uhličitého do ovzdušia.

## Záver

Potreba intenzifikácie vedeckovýskumných aktivít v oblasti adaptívneho verejného osvetlenia je veľmi naliehavá. Do popredia sa teraz dostáva najmä hľadisko minimalizácie spotreby energie na osvetlenie v súvislosti s očakávanou energetickou krízou s príslušnými ekonomickými dopadmi. Medzinárodná komisia pre osvetlenie CIE definuje potrebu a smerovanie výskumu v tejto oblasti na základe analytických prác vypracovaných na Ústave elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky FEI STU v Bratislave, stručne prezentovaných v tomto príspevku. Výskumné úlohy sa následne realizujú na špecializovaných vedeckovýskumných pracoviskách na celom svete, vrátane FEI STU.

## Podakovanie

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

- [1] CIE S 017/E:2020 ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd Edition.
- [2] CIE Research Strategy. International Commission on Illumination CIE, Vienna, April 2022. [https://files.cie.co.at/CIE%20Research%20Strategy%20\(April%202020\).pdf](https://files.cie.co.at/CIE%20Research%20Strategy%20(April%202020).pdf).

# ÚVOD KONCEPTU ENERGETICKO-POTRAVINOVEJ SEBESTAČNOSTI PRE PROSUMER ALBERT

*Zoltán Kováč*

*Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: kovac.zoltan8@gmail.com*

## Úvod

Príspevok sa zaoberá pripravovanou vedecko-technickou štúdiou v sektore energetika. Štúdia, či študovanie nového, digitálneho vzťahu, vzťahov 3 farebné profily ALBERT, eko-sieť. Ktoré budú zamerané na realizáciu požiadaviek pre fyzikálne zjednotenie inteligentných Smart elektrických sietí podľa [1], a to najmä pomocou internetu a rôznych zdrojov obnoviteľnej energie (tepelné a elektrické OZE), ako aj nového spôsobu akumulácie energie pre OZE (AKU) [3, 9]. Tzn., pomocou potrieb rastlinnej výroby, novým, zdrojom MULTI-LED Svetlo s teplom [2 až 11]. Čo by malo znamenať eko potraviny, či tzv. Potravinová batéria, teda vyšší stav „softvéru“, stav až SW2. To nazveme 4 Sektory, či ich až štvrtý Nástroj, resp. ich budúca AKU sieť na tretej, modrej mape, podľa tejto štúdie realizovateľnosti, Energeticko-Potravinovej sebestačnosti, skratka E-P v [3] s MESLED tech.

Čo by v budúcom výsledku mohlo znamenať, spoločná práca na kombináciách určité OZE + určitý skleník (podľa obr.1). Teda vždy ako „1 MAPOVÝ BOD, skratka „MB“ s ľubovoľnou novou osvetľovacou technológiou 3 v 1 (svetlo, teplo, chlad). Ktoré najprv v skleníkoch označíme ako Nástroje HW1, ale, samozrejme, označíme aj samotné „skleníky“, napr. ako Nástroje HW2. To znamená rôzny pestovateľský objekt, či eko-objekt (s „Certifikátom úspor“). Predstavuje sa (ich) realizačný návrh, tzn. vyššia spolupráca (až) štyroch Sektorov „4S“, a to od prvého Sektoru 1S – IT digitálny Sektor, či digitalizácia start-up – ako digitálna postavička pes Albert na obr.1. Dnes len ako budúca ENERGO správa, správca trojfarebnej obnoviteľnej MESLED ENERGY (právnická osoba).

Zámerom podľa obr.1 je „budúce a vždy domáce“ využitie tejto vyššej spolupráce (4S), teda využitie predstavených štyroch inovačných Nástrojov (pre 4 Sektory) v tomto „eko“ programe pre „celok“ (tzn. vždy pre domáci Multi-sektor, 4S). Povedzme, že aj „náš“ eko-program pre generovanie energetických (či aj iných) úspor rôznymi spôsobmi, teda rôznymi známymi a potencionálne novými

SW a HW Nástrojmi [10]. Či len ako nový pojem Nástroje Generátora úspor v konkrétnych MB, respektíve Nástroje v 1 mapový bod AKU siete, podľa [3]. Hovorovo aj ako, „ukladanie elektrickej energie do rastlinnej produkcie“ (stav SW2) na modrej, tzn. Prevádzkovej mape vybranej krajiny (krajín) so vždy svojimi mapovými (map.) bodmi obr.1.



Obr.1 Zámer digitálneho riešenia tri v jednom (eko-sieť), ako jeho/jej rozvoj z počiatočného stavu SW1 do vyššieho stavu SW2, pomocou pes Albert a HW Nástrojov v každom mapovom bode (SR).

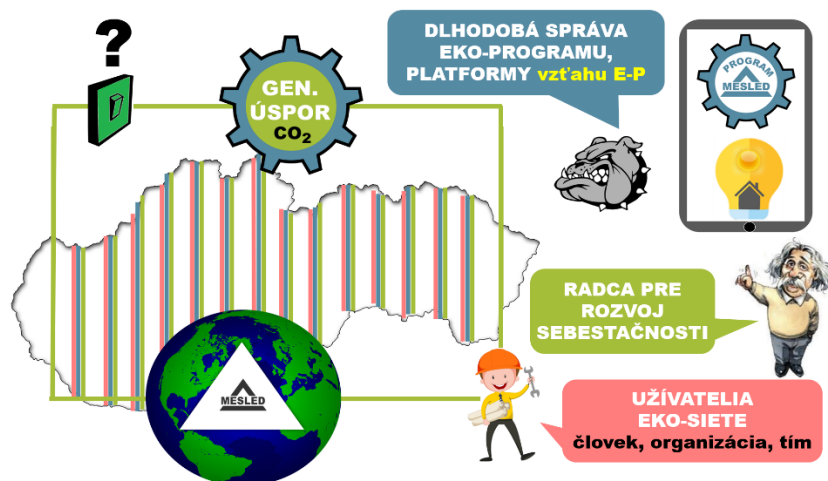
## 1. Materiál a metódy

Príspevok predstavuje energeticky-efektívny a inovačný, (slovenský) eko-program, akronym MESLED. Predstavuje sa spôsob, ako na to, či metóda k integrite Energeticko-potravinovej na 3 budúce mapy, tzn. nové a novšie Kolektívne know-how s MESLED v čase, t. j. podľa prvého, zdieľaného know-how pre vynález v ňom. To od dnes znamená, vzor [2] pre rôzne prv (atď.), hardvérové Nástroje HW1 až n, teda národne-zdieľaný, prvý vzor pre „nové a novšie“ vyhotovenia (domáceho) viac-účelového, Multifunkčného Energetického Systému s LED, tzn. akronym rôznej (budúcej), multifunkčnej technológie MESLED („3 sezóny režimy v 1 riešení“, tzv. Multifunkcia).

Navrhuje sa digitálny (troj)vzťah, tzn. vzťah trojfarebných ALBERTOV, či vzťah skratky E-P, Energeticko-potravinový. Všeobecne len ako digitalizácia troch relácií v budúcom (dlhšom) čase, a to pre všeobecné využívanie generovaného odpadového (voľného) tepla [5, 6, 12] z polovodičových LED svetelných zdrojov od dnes MULTI-LED, MESLED. Čiže pomocou ľubovoľnej novej, multifunkčnej technológie, tzn. s rôznymi prvými HW Nástrojmi HW1yyy (typológia MESLED, či kópie ALBERTyyy, modrá pre toto know-how). Čiže rôzne vyhotovenia, a najmä funkcie takejto multifunkčnej technológie 3 v 1 (svetlo, teplo, chlad), ktoré od dnes budeme všetci (4S) označovať už konkrétnejšie, t. j. podľa príslušného, tzv. vývojového profilu ALBERTyyy, a to vo všetkých budúcich mapových bodoch tzv. realizačného profilu ALBERT (xxx, človek, organizácia, tím). Jednoducho, budúci tzv. združený Prosumer ALBERT [3], podľa obr.1. To by malo znamenať výrobca aj spotrebiteľ elektrickej energie, ale aj eko potravín v jednom mapovom bode (MB), samozrejme s tým istým príslušným špecifickým označením MBxxx. Tzn., podľa konkrétneho realizačného profilu ALBERTxxx (GPS na modrej v poradí až tretej) mape, napríklad Slovenska.

Čiže budúce mapové body novej, pracovnej platformy pre túto navrhovanú, decentralizovanú skleníkovú FARMU na 3 mapy vyššej spolupráce 4S. Jednoducho FARMA (národného) Multi-sektora v nasledovnom farebnom poradí: 1S (IT), 2S (ENERGO), 3S (AGRO) a 4S (STAVBY). Teda štyri Sektory pre každú vybranú krajinu s implementovaným eko-programom pre rozvoj svojej energeticko-potravinovej sebestačnosti [3, 7, 8]. Služba E-P, energeticko-potravinová, či len ako digitalizácia dom. združenia ALBERT s IT Start-up (pes Albert), k vyššiemu (budúcemu) stavu SW2, tzn. podľa obr.2.





Obr.2 IT metóda k využitiu troch digitálnych relácií eko-programu na jednej mape integrity E-P, či tri mapy v jednej (3x Albert) pre MULTI-LED RIEŠENIA (3).

Týmto príspevkom sa 4S oboznamuje s absolútnou technologickou novosťou, resp. s digitálnou metódou pre jej zjednotenie vedy a techniky, tzn. prvých hardvérových Nástrojov, ktoré sa podľa dostupnej literatúry vyznačujú sezónnou multifunkcionalitou nových zariadení MESLED Moduly (3 pracovné režimy, až obr.7 a podľa [2, 9]). Inak povedané multifunkčnosť každej budúcej, systémovej aplikácie z nich v MBxxx (človek, tím) na všetky 3 mapy. To znamená rôzne MESLED Systémy (HW1yyy), najskôr v rôznych pestovateľských eko-objektoch s konkrétnym označením HW2zzz, typológia vždy dom. decentralizovanej skleníkovej FARMY (pestovateľské eko-objekty).

Z vyššie uvedeného vyplýva, že vždy všetky budúce mapové body (obr.1) označíme podľa príslušných profilov ALBERT takto: MBxxx = HW1yyy „+“ HW2zzz, a pod. Podľa pripravovanej vedecko-technickej štúdie [3] to už dnes znamená Energeticko-potravinový vzťah pre inovačný koncept sebestačnosti vo všetkých MB na domácej mape, resp. na 3 farebné mapy krajiny (krajín) s týmto národne-inovačným eko-programom MESLED (zdieľanie know-how, 3 pracovné režimy [2]).

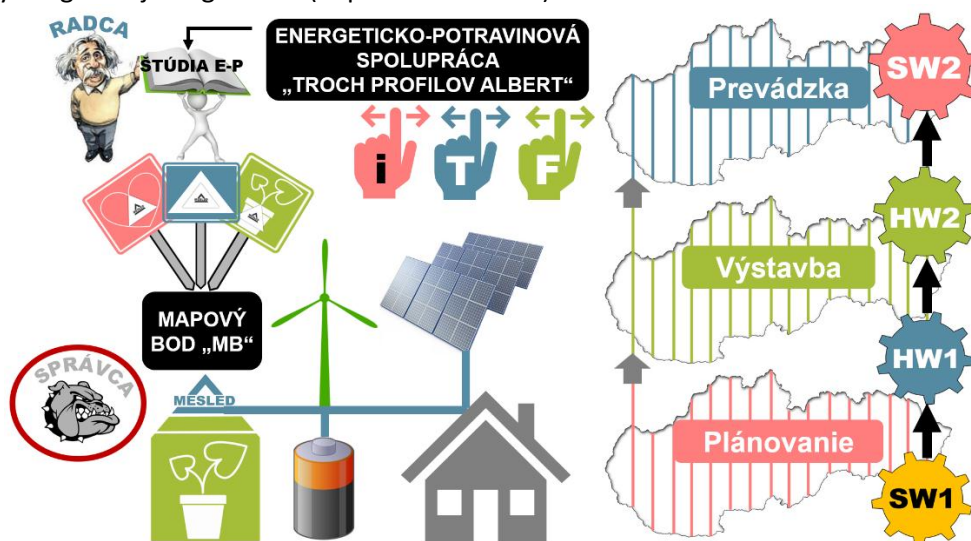
Išlo by o dlhodobý eko-program, ktorý v každom prítomnom čase, budeme môcť pre všetky mapové body sledovať „Online“ na takzvanej „trojfarebnej eko-sieti, eko-sieť krajiny“ (anglicky na „On3Line“). Eko-sieť a jej 3 digitálne relácie v čase pre Plánovanie, Výstavbu aj Prevádzku decentralizovanej, vždy národnej skleníkovej FARMY, teda na 3 farebné mapy = 1 mapa integrity E-P v krajine, viď. podľa príkladu na obr.2 (Slovensko).

## 2. Výsledky a diskusia

Výsledkom bude pripravená vedecko-odborná štúdia k integrite E-P, teda Energeticko-potravinová štúdia pre sebestačnosť v MB (služba E-P), vždy pre národnú úroveň, resp. úroveň. Táto štúdia E-P zadefinuje nevyhnutné manažérske práce na pracovnej platforme v čase, teda definíciu prác so Štyrmi Sektorovými Nástrojmi (podľa obr. 3, vpravo). A to tak, aby sa vo výsledku dosiahlo ukladanie elektrickej energie do eko-potravin, tzv. AKU sieť s mnohými bodmi MB na modrej, Prevádzkovej mape (t. j. budúci stav softvéru, až dom. Nástroj SW2). To bude prebiehať najmä pomocou multifunkčných zdrojov Svetla a tepla, tzn. s rôznou MESLED technológiou (HW1, 3v1). Nové a rôzne MULTI LED technológie, ktoré vo výsledku vždy označíme ako obnoviteľné prepojenie vo všetkých MB (HW2zzz), tzn. pre vždy „našu“, národnú, decentralizovanú FARMU.

Výsledkom by teda mali byť mnohé MB, či sieť bodov (obr.1) v mape integrity obr.2 = národná AKU sieť vo vyššom stave dom. Nástroja SW2 (modrá mapa na obr.3). To sa už dnes pre ENERGO Sektor (2S) analyzuje ako dopytovo riadené AKU spotrebiče „na diaľku“, teda riadené počítačom v požadovanom vyššom stave SW2, a teda ako nová podporná služba elektrickej stability konkrétnej Smart elektrickej siete na obr.3, MB s GPS (súradnice). Z toho vyplýva, že štúdia E-P by mala jednoznačne zadefinovať budúci čas (dianie) tejto digitalizácie (3 relácie), čiže postup digitálnej

postavičky Správca (pes Albert) a jeho Radcu Albert E. pre/na obr.2, a to podľa obr.3, tzn. podľa 3 farebné mapy k digitálnej integrite E-P (napr. na Slovensku).



Obr.3 Kolektívne know-how (3 farby = MESLED), či celkové ENERGO požiadavky pre digitalizáciu vyššieho stavu Nástroja SW2, stav modrej mapy Techniky, HW Nástrojov (napr. SR).

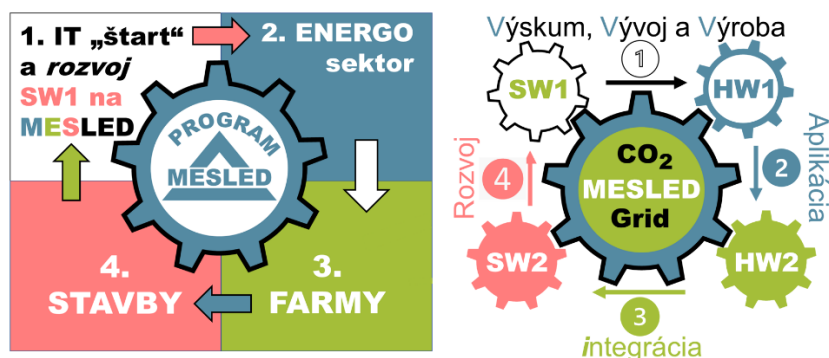
Príspevkom sa zahajuje odborná aj laická diskusia o takzvanom študovaní (požadovaného) vyššieho stavu dom. Nástroja SW2 (AKU sieť), ktorého budúca podoba v tomto eko-programe by mala pre verejnosť vždy znamenať aj vizuálnu informáciu v podobe zmeny osvetlenia v MB – informáciu o tom, čo všetko je už dnes potrebné urobiť pre to, aby bola zabezpečená vyššia istota pre neprežitú dodávku elektrickej energie, tzv. energetická bezpečnosť [8] (zodpovednosť psa Albert a Albert E.).

Viac-sektorová spolupráca 4S by mohla podľa zadaných prác v čase (v štúdií E-P [3]) čoskoro zabezpečiť spoločný výsledok ako tento vyšší stav dom. Nástroja SW2, teda premenlivé osvetlenie v eko-objekte podľa potrieb konkrétnej Smart elektrickej siete s daným MB (GPS). Vyššou spoluprácou 4S by sme evidentne vedeli pripraviť a využiť tieto podmienky (4S) pre vyššie nasadzovanie najmä tých obnoviteľných zdrojov energie [13], ktorých výroba je závislá na počasí (fotovoltaické panely, veterné turbíny), ale napríklad aj technológiu tepelných čerpadiel ľubovoľného typu (tepelné OZE).

Ako vieme, pre niektoré elek. OZE je nutné, aplikovať rôzne AKU prvky pre „ukladanie energie“, respektíve ju premieňať na iné formy a podoby energie, napríklad do eko-potravin vo vyššom stave dom. Nástroja SW2 (Potravinová batéria). To pripravovaná štúdia nazve ponukou spolupráce 4S (Multi-sektor, priemysel) pre vyšší (požadovaný) stav SW2, hovorovo ako už spomenutá Potravinová batéria krajiny, konkrétne na modrej, Prevádzkovej mape integrity (podľa príkladu obr.3). A teda potravinové, resp. rastlinné energetické úložisko v budúcej elektricky-Smart FARME (dom. SW2).

Ide o požadovaný výsledok pre dnešnú diskusiu o rôznych podobách „našej“ decentralizovanej, skleníkovej FARMY v takzvannej „správe“ (pes Albert), z čoho vyplýva, že každú pracovnú diskusiu na/o tejto pracovnej platforme bude vždy nutné zodpovedne spravovať, tzn. klasifikovať, ale aj indexovať podľa výsledkov (index ME [3]). K tomu sa požaduje táto typológia Užívateľov inovačného eko-programu s farbami akronymu MESLED, tzn. tieto Profily ALBERT:

1. Dig. profil **ALBERT** s nastaveniami pre vedu Nástrojov (obr.4 vľavo),
2. Dig. profil **ALBERT** s nastaveniami pre techniku Nástrojov (obr.4 vpravo),
3. Dig. profil **ALBERT** s nastaveniami pre konečného Užívateľa Nástrojov, Prosumer (obr.1).
4. Dig. profil **ALBERT** s nastaveniami pre investície „do“ štyroch štádií prechodu medzi Nástrojmi (šípky obr. 4), tzn. investičná zábezpeka pre túto Vedu a techniku, resp. pre 4 štádia eko-programu podľa štúdie Energeticko-potravinová „v“ MB ([3] Línie peniaz, až obr.8).
5. Dig. profil **ALBERT** pre napr. študenta, študentku ako štartovný užívateľ eko-programu.



Obr.4 Veda a Technika Nástrojov (Národný Generátor úspor).

Pracovná komunikácia Sektorov (ALBERTOV) sa zdá byť už teraz, vo vedeckom návrhu, kľúčová pre prvé tzv. štartovné štádium v skratke „3V“ (obr.4). Tento vedecko-technický príspevok takto otvára najmä odbornú diskusiu pre prvú, požadovanú typológiu xxx pracovnej platformy ALBERT („na internete“). Ide o takú typológiu pre dnešného človeka, pomocou ktorej bude môcť pripraviť vyššie požadovanú typológiu Nástrojov HW1 (yyy), ako aj typológiu Nástrojov HW2 (zzz), FARMA [3, 9].

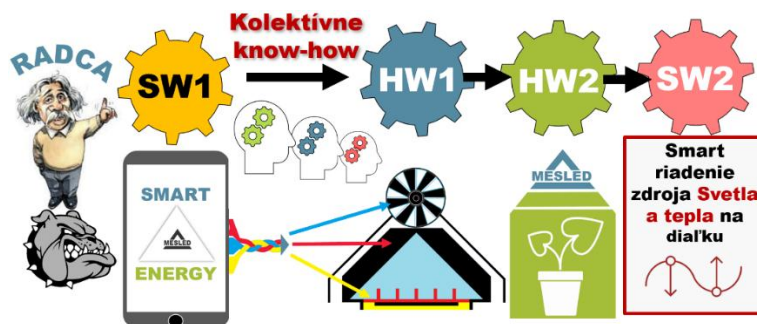
Vedecky sa napísalo toto všeobecné zdieľanie know-how („pomocou internetu“) s cieľom priniesť riešenia na využitie už známeho zapojenia pre 4 elektrický riadené ventily [2, 3, 4] v rôznych HW1 (yyy) pre tzv. sezónnosť. Vedecky sa navrhol postup realizácie celoročnej FARMY ako takzvané digitálne otáčanie sa systému na obr.4 vpravo (Generátor úspor), teda manažérsky systém prác na obr.4 vľavo, a potom aj vpravo k energeticko-potravinovej sebestačnosti, hovorovo integrita (s pes Albert).

Digitálne zjednotenie ALBERT (človek) pomocou 4 Nástroje na 3 mapy by od dnes mohlo znamenať, spoločné využitie poznatkov pre 3 sezónne pracovné režimy vo všetkých MESLED Moduloch a Systémoch (yyy), tzn. požadovaný výsledok prác od 3 FARBY na obr.4 vľavo „Veda“ pre vpravo „Technika“, čiže zjednotenie rôznych OZE v eko-objektoch FARMY (s) MESLED ENERGY.

## Záver

Výskumom pre nové know-how [2] (3 pracovné režimy „PR1, PR2 a PR3“ v HW1) sa analyzovali praktické spôsoby, ako pomocou kolektívneho know-how („internetu“) realizovať všetky MB (obr. 1) ako tzv. kolektívne produkty pre vymedzený trh, resp. trh úspor z (národného) Generátora úspor [3, 9]. Digitálne či reálne ako otáčací sa systém Nástrojov na obr.4 vpravo (súkolie), teda až v prítomnom čase každého „domáceho Generátora úspor“ (napr. doma na Slovensku). Z čoho vyplýva, že bude pravdepodobne všade nutná tá istá zábezpeka správy pre vymedzený trh úspor, trhu skratky E-P [3], tzn. nový trh pre Energeticko-potravinovú sebestačnosť človeka (ALBERT, niekto z nás, alebo tí po nás) vo vybranej krajine, krajinách.

Takto by záverom mohli byť napríklad aj rôzne nástrešné, či mobilné pestovateľské objekty, ale aj dnešné stavby ako eko-objekty (zo začiatku s dosť „drahým“) Certifikátom úspor pre štart Generátora, t. j. pomocou predstavenej tvorby kolektívneho know-how na obr.5.



Obr.5 Tvorba (národného) kolektívneho know-how a následne aj kolekt. produktov v čase.

Podľa výsledkov nášho výskumu je už dnes v eko-programe nutné analyzovať vyššiu pridanú hodnotu prác na každej budúcej (národnej) pracovnej platforme skratky E-P. K tomu, pripravíme budúce Úlohy v [3] pre spravovanie, či budúci čas tohto digitálneho skleníkového štúdia, resp. hospodárstva (FARMA). A to postupne, najskôr od hodnoty poznatkov (imanie start-up), cez hodnotu (aj) garantovaných úspor z Generátora (start-upom), až po hodnotu vyššieho potravinového zabezpečenia (od start-upu). To všetci (4S) nazveme ako ENERGO správa [3, 9] pre uzavretie vnútornej cirkulácie celkovej hodnoty eko-programu, podľa obr.6.

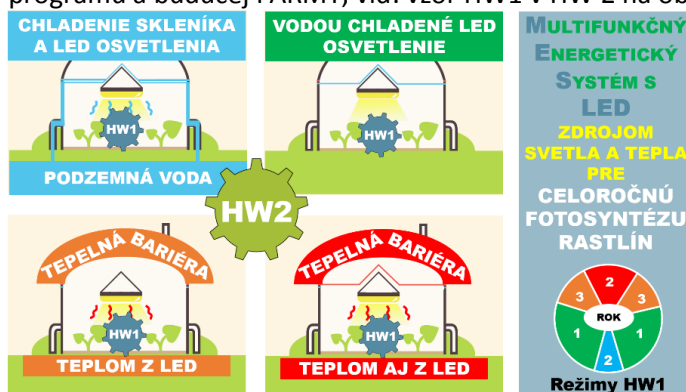


Obr.6 Tvorba celkovej hodnoty eko-programu a jej vnútorná cirkulácia v trhu E-P, tzn. ako národný výsledok všetky MB, či ich uzavretie cirkulácie CO2 „v“ Generátore (3 otázky).

#### 4. Súhrn

Predstavil sa návrh, či plán, ako pomocou národnej technicko-personálnej kapacity (typológia ALBERT) realizovať Energeticko-potravinovú sebestačnosť (vzťah E-P) doma, týmito poznatkami o novej technológii MESLED (typológia yyy a zzz). Požaduje sa vývoj ich napr. funkcie efektu bariéry na tepelné úniky skleníka v zime, napríklad vhodnou distribúciou teplého vzduchu zhora, viď. obr.7 dole (3 režimy prevádzky, APLIKÁCIA v rôzne HW2zzz). Táto funkcia sa po vývoji MESLED Systémy a Moduly nazve ako zimná funkcia, teda „virtuálna tepelná bariéra“, zatiaľ neznáma podpora vykurovania. Samozrejme, vždy sa myslí aj využívanie voľného tepla z LED svetla v MESLED osvetleniach HW1, zdieľané know-how, obr.7.

Všeobecným využitím generovaného (voľného) tepla z LED polovodičových svetelných zdrojov sa zadefinoval pojem „zdroj“ Svetla s teplom, či obchodne MESLED ENERGY. Energia získaného tepla z LED svetla, ktoré, ako už vieme, by bolo dobré využiť po celý rok optimálnym spôsobom (vzor [2] PR1, PR2 a PR3 pre Moduly a Systémy MESLED). A to najprv v pestovateľských objektoch, aby sa dostatočne potvrdila bezpečnosť funkcií tejto multi-novosti nad úrovňou ľudskej hlavy [4]. Profil ALBERT, ako Užívateľ eko-programu a budúcej FARMY, viď. vzor HW1 v HW 2 na obr.7 (od pes).

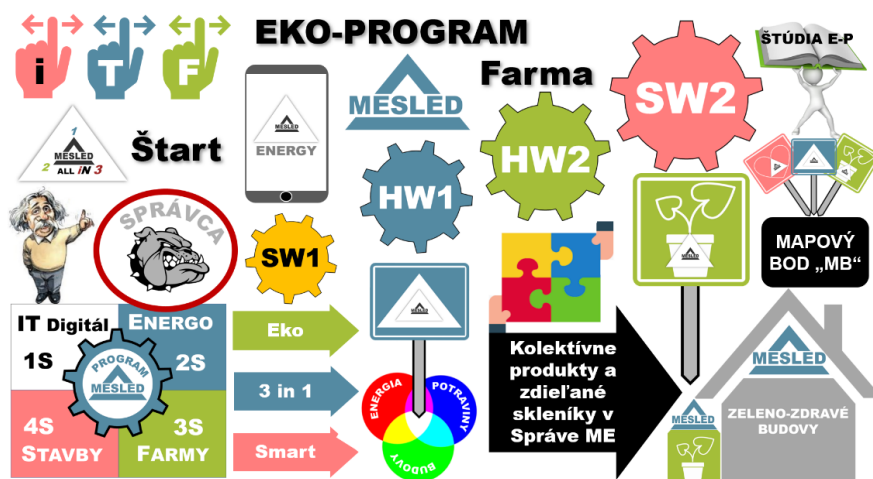


Obr.7 Súhrn novosti PR1,2,3 (HW1) v Nástrojoch HW2, kľúčová spolupráca pre vzťah E-P.

Povedzme, že aj naše hodnotné úspory na obr.6, generované spoločnou FARMOU na obr.7, či ponuka, napr. pre Vládu SR (zriadiť domáceho Správca, pes Albert). Povedzme eko-program, či eko-sieť s T – technická modrá, F – farmárska zelená a i – investičná a integračná červená farba, teda integrita budúceho trojuholníka na obr.8 vľavo, doprava = postup digitalizácie, či až pripravený zdroj. kód, sk eko-kód [3]. Teda (slovenská) digitalizácia Smart MESLED ENERGY, tzn. prvý potenciálny štart pre podporu k stavu SW2. Takže až 4 Nástroje pre „1 umelá inteligencia“, tzn. Softvér MESLED ENERGY pre spravovanie (pes Albert na predaj). Teda takto digitalizovaná VEDA a TECHNIKA pre 1 vynález MESLED [2] ENERGY [3]. Tri farebné mapy k MBxxx, obr.1 až obr.8 [eko-program].

Skratka táto vedecká, digitálne-obnoviteľná IT Energia MESLED (obr.8, ► PLAY). Pre technický tzv. eko index ALBERT, ALBERT, ALBERT a ALBERT, a to pre ľubovoľný človek na pracovnej platforme skratky E-P. Čo sa vedecky nazvalo ako štyri Sektory (4S) a ich inovačné SW-HW Nástroje v prítomnom čase (zdieľanie). Či ako navrhovaný národný eko-program a trojuholníkový trh E-P na obr.6, teda trh ÚSPOR s HODNOTOU ÚSPOR CO<sub>2</sub>, najmä teraz v časoch drahej energie a potravín.

Teda napíšu sa Úlohy pre Správca MESLED ENERGY, a jeho (dohľad) Radca Albert E. k integrite skratky E-P. Čiže k nadčasovej Energeticko-potravinovej sebestačnosti na už známe 3 farebné mapy. Myslia sa aj úlohy pre samotný človek na novej, pracovnej sociálnej sieti, eko-sieť, možno aj všetkých farieb (človek, Radca a Správca). Takto sa píše, vyfarbuje či už aj realizuje Služba Energeticko-potravinová [3]. Povedzme pre vždy domácu sebestačnosť v mapových bodoch, MB (obr.1), našej FARMY na našej mape (obr.2), napríklad podľa dostupnej Literatúry v spravovanej DATABÁZE poznatkov (pes Albert tzv. „vycvičený pes“ s imaním na predaj pre ENERGO Sektor), doslovne v [3].



Obr.8 Súhrn eko-program, 3 Návrhy a 3 Línie financií (šípky pri Multi-sektor k MB), Fond integrity.

Vedecky a energeticky ako digitálne riešenie pre Smart Grid, sieť či AKU sieť (imanie). Dúfame, budúca vlna rôznych inovácií pre Smart elektrické siete, doma (tzv. elektrifikácia eko-potravinami [3]). Odborne, energeticky ako, AKU sieť, či budúci výsledok spolupráce 4S [7, 8]. Súhrnom je zaujímavá informácia o budúcej ponuke, či službe E-P, od pes Albert (Start-up MESLED ENERGY).

Vedeckým poznatkom príspevku je však informácia o štúdií realizovateľnosti vzťahu E-P. Teda štúdia k príprave aj obchodného plánu pre uvedenú inovačnú realizáciu, eko. Napríklad ako vedecký výskum k pripravovanému projektu, eko-program na obr.8, tzn., inovačný projekt Smart MESLED ENERGY.

### Význam kľúčových slov

MESLED, obnoviteľné zdroje energie, poľnohospodárstvo, Smart farma, Kolektívne know-how, eko-sieť, eko-program.

**MESLED** – akronym zdieľaného technického návrhu pre riešenia Multifunkčný Energetický Systém s LED zdrojom Svetla a tepla. Nové a rôzne multifunkčné osvetľovacie Moduly a Syst. (HW1) s rôznymi funkciami (svetlo, teplo, teplo – virtuálna izolácia, vychladzovanie, výmena vzduchu, požiarna kvapalina a pod.). Úplne nová technológia MULTI-LED so systémovým potrubím [vzor 2].

**Obnoviteľné zdroje energie, OZE** – zdroje elektrickej a tepelnej energie pre pestovateľské objekty s [vzor 2], resp. obnoviteľné prepojenie pomocou systémového potrubia (tzn. elektrické aj tepelné OZE).

**Polnohospodárstvo** – kľúčový Sektor (3S) vo vzťahu E-P, či oblasť (zdieľané) pestovateľstvo pre overenie bezpečnosti multifunkcionality MESLED v „celku Nástrojov“, Potravinová batéria [vzor 9].

**Smart farma** – pre verejnosť požadovaná, elektricky-inteligentná FARMA, či požadované body na jej mape s celoročnou produkciou zdravých potravín a s nízko-energetickou prevádzkou. Najmä s využitím tepelných a elektrických OZE, ako aj optimálne-využitého tepelného zisku z LED v roku.

**Kolektívne know-how** – digitálny návrh pre relevantnú realizáciu (výskum, vývoj, výroba, aplikácia) známych, či perspektívnych funkcií MESLED. Čiže prostredníctvom internetu pre zdieľanie, ako aj kontinuálne vylepšovanie celkového kolektívneho know-how (databázy). Nová forma inovačnej, pracovnej sociálnej siete s inak rozvíjajúcim sa duševným vlastníctvom pre multi-funkčnosť (zdieľanie pre 4x ALBERT).

**Eko-sieť** – vedecký návrh 4x rôzne indexovanie profilov ALBERT, ako domáca realizovateľnosť troch digitálnych relácií v každom národnom prítomnom čase. Respektíve ako, rozvoj Softvéru z počiatočného (dnes požadovaného) stavu SW1 do vysvetleného, vyššieho stavu SW2, tzn. pomocou aplikovanej techniky HW1 (MESLED) v mnoho HW2 (pestovateľská FARMA, modrá mapa).

**Eko-program** – digitalizovaná postavička Radca Albert E., Správca MESLED ENERGY a typológia profilu ALBERT, človek. Teda vedecký spôsob ako sceliť 4 Nástroje s 3+1 farby pre 4 Sektory. Tzn., pomocou dlhodobého programu pre rôzne energetický-efektívne (eko) projekty Vedy a Techniky, a najmä ich budúce výsledky pre celkové kolektívne know-how „od“ 4 ventily [vzor 2 a OZE pre vzor 9]. Dnes ako, dlhodobý vedecký predpoklad pre aplikovateľnosť 3 sezónne režimy prevádzok MESLED technológií. V budúcnosti asi ako, eko-program známej MULTI-LED technológie zo Slovenska (vzor).

## PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.

## Literatúra

[1] Výskumný projekt „Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa (kód ITMS: 313021W404).“

[2] Z. – KOVAC. 2017. Energetický multifunkčný modul a energetický multifunkčný systém. In *vestník slovenské úžitkové vzory, úžitkový vzor č. 8104*, podľa patentovej prihlášky PUV 50003-2017.

[3] V príprave: Z. – KOVAC. (2023). Štúdia inovačného eko-programu MESLED a jeho Nástrojov integrity, vzťah E-P. In *pripravovaná vedecko-odborná štúdia energeticko-potravinovej sebestačnosti*.

[4] Z. – KOVAC, F. – JANICEK. 2018. Waste lighting heat generation as the key process to design the only technical device needed in interiors. In *zborník 12. ročník medzinárodnej vedeckej konferencie ELEKTRO 2018*. DOI:10.1109/ELEKTRO.2018.8398300.

- [5] Z. – KOVAC, F. – JANICEK, R. – Dubníčka. 2018. Potential of usable waste heat generated from LED light sources in industry. In *zborník medzinárodná vedecká konferencia, ENERGETIKA 2018*.
- [6] Z. – KOVAC. 2018. Potenciál a možnosti využitia generovaného odpadového tepla pri svietení s modernými LED zdrojmi. In *Magazín stroje a mechanizácia*, 05-08/2018, p. 8-10.
- [7] Z. – KOVAC, F. – JANICEK, J. – KUBICA. 2018. Ako svetlo a teplo využiť v budovách budúcnosti. In *časopis EUROSTAV 9/2018*.
- [8] Z. – KOVAC, F. – JANICEK, J. – KUBICA, M. – SZABOVA, K. – SLOVAK, P. – KACERIK. 2019. Výroba svetla a tepla v pestovateľských objektoch zvýši potravinovú a energetickú bezpečnosť. In *časopis ENERGETIKA, číslo 1, 2019, ročník 69, p. 41-44. 01/2019*.
- [9] Z. – KOVAC, M. – SADLON, J. – PONICAN, F. – JANICEK. 2019. Model of Smart Greenhouse for Future Grid. In *zborník 10. ročník medzinárodnej vedeckej konferencie ELEKTROENERGETIKA Symposium 2019*.
- [10] Z. – KOVAC, M. – PERNY. 2021. Perspektíva multifunkčnej technológie budov MESLED. In *Ročenka Energetika, strojárstvo 2021*.
- [11] Z. – KOVAC. 2020. Písomná práca k dizertačnej skúške na tému: Využívanie generovaného odpadového tepla z umelých svetelných zdrojov. In *listinná forma, dostupná v knižnici FEI STU v Bratislave*.
- [12] Zákon č. 321/2014 o energetickej efektívnosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [13] Zákon č. 309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.

## AKTUÁLNY STAV REALIZÁCIE LOKÁLNEHO MIKROGRIDU ÚEAE

**Attila Kment, Marek Pípa, František Janíček**

*Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: attila.kment@stuba.sk*

V rámci riešenia projektu „Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov - II. etapa“ bol navrhnutý v priestoroch Laboratória vysokých napätí Ústavu elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave na Technickej ulici 5 lokálny smart mikrogrid. Príspevok prináša prehľad aktuálneho stavu realizácie a integrácie zariadení.

### Prístrojové vybavenie

Do inteligentnej siete sú zahrnuté:

- zariadenia monitoringu spotreby elektrickej energie inštalované v transformátorovej stanici TS-78,
- 4 elektromery so špeciálnou funkcionalitou v transformátorovej stanici TS-78,
- ovládací a monitorovací systém verejného osvetlenia a dobíjania elektromobilov v transformátorovej stanici TS-78,
- kogeneračná jednotka s inštalovaným výkonom 20 kWe na zemný plyn i bioplyn,
- kogeneračná jednotka s inštalovaným výkonom 40 kWe na zemný plyn,
- fotovoltaická elektrárň s inštalovaným výkonom 20 kWp,
- meteostanica,
- dvojkomorová bioplynová stanica,
- tepelné čerpadlo s inštalovaným tepelným výkonom 20 kWt,
- chemický akumulčný systém elektrickej energie na báze bezúdržbových olovených akumulátorov s inštalovaným výkonom 10 kW, a kapacitou min. 20 kWh,
- chemický akumulčný systém elektrickej energie na báze LiION akumulátorov s inštalovaným výkonom 10 kW, a kapacitou min. 20 kWh,
- sieťová stožiarová nabíjačka elektromobilov s inštalovaným výkonom 22 kW,
- dvojité sieťové nabíjačky elektromobilov s inštalovaným výkonom 2x22 kW,

- elektromer so špeciálnou funkcionalitou merajúci spotrebu Laboratória vysokých napätí na úrovni nízkeho napätia,
- elektromer so špeciálnou funkcionalitou merajúci spotrebu tepelného čerpadla,
- elektromer so špeciálnou funkcionalitou merajúci výrobu i vlastnú spotrebu fotovoltaickej elektrárne,
- elektromer so špeciálnou funkcionalitou merajúci spotrebu dátovej infraštruktúry,
- elektromery so špeciálnou funkcionalitou merajúci výrobu i vlastnú spotrebu kogeneračných jednotiek,
- elektromery s rozšírenou funkcionalitou merajúce odber i dodávku elektrickej energie z akumulačného systému na báze olovených akumulátorov v sieťovej i ostrovnej prevádzke,
- elektromery s rozšírenou funkcionalitou merajúce odber i dodávku elektrickej energie z akumulačného systému na báze LiION akumulátorov v sieťovej i ostrovnej prevádzke.

Keďže komunikácia uvedených zariadení je možná na rôznych fyzikálno-dátových vrstvách a na rôznych – spravidla proprietárnych – protokoloch, bolo potrebné všetky zariadenia prepojiť po rôznych konverziách na rozhraní ethernet. Následne sa vytvorila lokálna, na internete nesmerovaná privátna podsieť, do ktorej boli uvedené zariadenia zapojené. Postupne sa získavali dáta z elektromerov so špeciálnou funkcionalitou a dáta namerané po minútových intervaloch sa zozbierali a s periodicitou 30 až 120 minút v závislosti od množstva získaných dát zasielali na lokálny ftp server. Keďže použité skaláry na tento účel disponujú s malou operačnou pamäťou, zber dát bol navrhnutý inovovať pomocou ethernetových modulov priamo inštalovaných do elektromerov. Toto riešenie navyše umožňuje dáta odčítať podľa potreby a nie iba v pevne stanovených časoch.

Aktuálne sa pracuje na prispôsobovaní a parametrizácii komunikačných protokolov uvedených zariadení a vytvorení jednotného lokálneho grafického rozhrania. To by malo umožniť na základe používateľských práv v reálnom čase najprv sledovať parametre všetkých prepojených zariadení, s vyššími právami odoslať výzvy a spracovávať odozvy prepojených zariadení. Na úrovni inštalatéra, resp. administrátora vykonať zmeny v parametroch systému a pridávať a uberať ďalších funkcií.

V ďalšom sa plánuje sprístupnenie monitorovacieho a ovládacieho rozhrania zo širšej lokálnej siete Ústavu, prípadne privátnych sietí ďalších spolupracujúcich pracovísk.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.



# SMART GRID LOAD PREDICTION METHODOLOGY BASED ON THE RECURRENT NEURAL NETWORK AND METAHEURISTIC ALGORITHM

*Mansi Bhatnagar, Divyanshu Singh, Vivek Dwivedi, Gregor Rozinaj*

*Ústav multimediálnych informačných a komunikačných technológií, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika*

*E-mail: mansi.v113@gmail.com*

## Introduction

Power forecasting can be used to achieve energy conservation by using a variety of machine learning techniques. Therefore, the multiple influencing factors, such as the fluctuating environment, temperature, humidity, population patterns, calendar signals, and social conventions, pose the biggest challenges to predicting future energy load. Due to customers' stochastic and non-linear behavior, it is very difficult to map these affecting factors and load changes accurately. To use the capacity of the power plant up to the necessary demand level, the electricity suppliers need projections for congestion control, supply, and demand management. The dataset can be used by statistical and machine learning methods to obtain data on electricity consumption [1]. These consumption datasets are typically represented as time series. Datasets based on time series might be multi- or univariate. Data from time series can include observations with particular time stamps. Timestamps might be in the seconds or years range.

The statistics on power usage can occasionally be inaccurate for a variety of reasons, such as instrument failure or missing records. Such outliers and missing numbers must be found and accurately processed. The current situation calls for a more intelligent grid that can forecast power consumption. On the data produced by the grid, Machine Learning (ML) methods can be applied to achieve this. The medium-term forecasting ranges from months to one year, and the long-term forecasting ranges from one year to ten years. Estimated short-term forecasting comprises of hourly, daily, or week projections. It is important to note that it is a reliable method for determining the load that will have the financial impact on any power system. The calculations' results can be used to make the majority of decisions. Electric forecast can be separated based on weather and ahead load structure because the link between many parameters is complex and unstable.

In terms of social, economic, and environmental growth, energy is fundamental. It has a significant effect on population, education, industry, agricultural goods, health, and the quality of human existence.

## 1. Literature Review

Chonglin et al. [2] developed a Tree Regression (TR)-based model employing cross-validation and the black box method to compute the VM energy utilization. Information on server and virtual machine features is acquired using the black box method. Data were taken into account as linear numbers for their prediction

M. Alazab [3] suggested framework with LSTM evaluates real data from residential smart Meters. It is crucial to understand home usage, hence many studies are digging deeper to uncover patterns. Other factors can potentially affect the forecasting of long-term home electricity demand. The number of families in the community is one potential factor. Chitsaz et al[4] .'s proposal used SRWNN (Self-Recurrent Wavelet Neural Networks) as the forecasting engine and Levenberg-Marquardt (LM) learning method to train the SRWNN to anticipate short-term electricity load for buildings in micro-grid. Utilizing actual load data from a microgrid and electricity systems, they demonstrated the viability of the suggested forecasting methodology.

Amber et al. [5] suggested two power consumption-forecasting methods based on genetic programming model and multiple regression. However, they only forecast power use on a daily basis.

[6] built an SVR- and ANN-based prediction model that takes into account event information as well as normal external influences and compared their performance. However, compared to other approaches, their prediction accuracy was shown to be somewhat lower.

## 2. Methodology

The framework for the given methodology has been illustrated in the figure

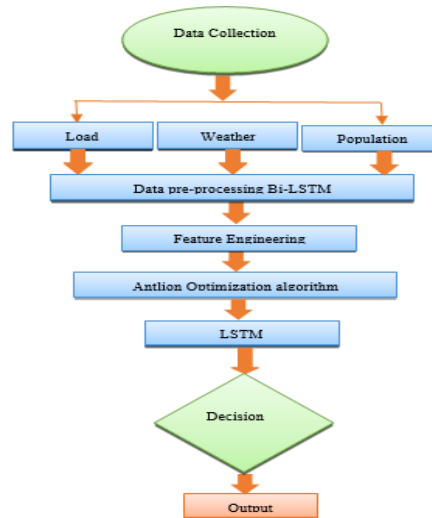


Fig.1 Framework of methodology.

### Data Processing

The electricity load data has been originally collected at one hour interval from 2003 to 2015. The data set was processed to segment the data into batches of 24 instances with the time step of one. Population data was collected from different regions of Ontario corresponding to the electric load data. Weather data is also collected with different attributes for the same region. The weather data collected consist of 26 attributes. The different sets of data collected were processed and feature engineering was implemented to extract relevant attributes.

### Feature engineering

An accurate study of the feature set's properties is necessary for the appropriate mapping of the parameters for electrical load forecasting. Prior to integration with the power load data, the population data underwent preprocessing. Authors computed pairwise correlation between the parameters of weather data using the Pearson correlation approach for feature selection, and then filtered the results based on load consumption.

The electric load data and population data are combined with the parameters that are filtered out using feature selection. The preprocessed data is organized in a stepwise fashion with the capacity to anticipate values up to an hour in the future. The final integrated dataset values are normalized by scaling the values to unit variance and eliminating mean value for each parameter separately. The dataset is utilized to assess the algorithms. After dividing the dataset into a training, validation and test sample set, LSTM neural network model with ant-lion meta heuristic algorithm was assessed on the dataset.

### 3. Experiment

The Authors have used the integrated data set to assess the algorithms. A long-short term memory neural network model was developed with the input shape of 24\*19 describing the data of 24 hours containing 19 attributes as a single input. The model contains a dropout and a dense layer consisting of one unit and tanh activation function. The model was evaluated using mean square error metric.

The no of units for the LSTM layer in the model are defined using ant lion algorithm. The algorithm is used to assess the dataset using genetic algorithm methodology to precisely approximate the number of unit for the LSTM layer. After evaluating the antlion algorithm 13 number of unit was optimal for the LSTM layer on the basis of the dataset. This adapted LSTM model was trained and evaluated on the dataset which returned a mean square error loss of 0.0359. after 50 epochs. This model is adaptable to the scalability of the dataset.

### 4. Results

The Antlion algorithm after execution resulted in 13 number of layers for the LSTM model. The LSTM model developed after executing optimization algorithm was evaluated on the dataset for 50 epochs which resulted in 0.0359 mean square error. Tab. 1 represents output of an antlion algorithm. Fig.2 shows the training and validation loss.

### Conclusion and Discussion

The authors have integrated the data of weather and population data with the electric load data considering the factors impacting electricity consumption. The antlion algorithm helps the LSTM model in adapting to the dataset. On evaluation the framework is able to predict the electric load with a marginal error of 0.0359.

### Acknowledgement

This publication was created thanks to support under the Operational Program Integrated Infrastructure for the project: International Center of Excellence for Research on Intelligent and Secure Information and Communication Technologies and Systems - II. stage, ITMS code: 313021W404, co-financed by the European Regional Development Fund.



Tab.1 Antlion Outcomes.

Number of units	Loss
13	0.1216
11	0.1217
5	0.1219
3	0.1222
14	0.1216
4	0.1219
12	0.1217
16	0.1216
2	0.1223
6	0.1219
15	0.1217

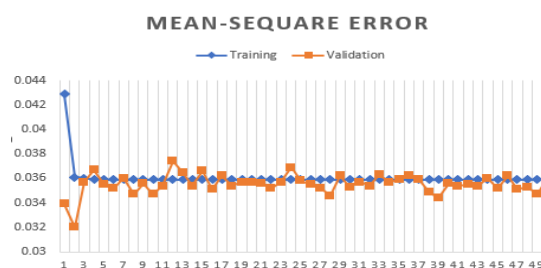


Fig.2 Training and validation loss.

## Reference

- [1] M. Bhatnagar, V. Dwivedi, D. Singh and G. Rozinaj, "Comprehensive Electric load forecasting using ensemble machine learning methods," 2022 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/IWSSIP55020.2022.9854390.
- [2] J. Yang, C. Liu, Y. Shang, B. Cheng, Z. Mao, C. Liu, L. Niu, and J. Chen, "A cost-aware auto-scaling approach using the workload prediction in service clouds," Information Systems Frontiers, vol. 16, no. 1, pp. 7-18, 2014.
- [3] M. Alazab, S. Khan, S. S. R. Krishnan, Q. V. Pham, M. P. K. Reddy, and T. R. Gadekallu, "A Multidirectional LSTM Model for Predicting the Stability of a Smart Grid," IEEE Access, vol. 8, pp. 85454–85463, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2991067.
- [4] H. Chitsaz, H. Shaker, H. Zareipour, D. Wood, N.Amjady (2015) Short-term electricity load forecasting of buildings in microgrids. Energy Build 99:50–6.
- [5] K.P. Amber, M.W. Aslam, S.K.Hussain (2015) Electricity consumption forecasting models for administration buildings of the UK higher education.
- [6] K.Grolinger, A. L'Heureux, M.A. Capretz, L. Seewald (2016) "Energy forecasting for event venues: Big data and prediction accuracy," Energy Build 112:222–233.

## ZVÝŠENIE EFEKTÍVNOSTI VYUŽITIA ENERGIE V MIKROGRIDE PROSTREDNÍCTVOM INTELIGENTNÝCH TECHNOLOGIÍ

*Martin Medvecký, Radoslav Vargic, Juraj Londák*

*Ústav multimediálnych informačných a komunikačných technológií, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19, Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: martin.medvecky@stuba.sk*

### Úvod

Jedným zo spôsobov šetrenia nákladov za elektrickú energiu je efektívny manažment elektrickej energie v rámci mikrogridu [1,2,3]. Ideálnym prípadom je okamžitá spotreba všetkej vyrobenej energie bez potreby jej ukladania do batérie alebo posielania do gridu, ako aj nulová potreba odoberania elektrickej energie z gridu. Jedným zo spôsobov ako dosiahnuť požadovaný vyvážený stav je koordinácia výroby a spotreby energie v rámci mikrogridu. Pre splnenie tohto cieľa je potrebné vybaviť jednotlivé prvky mikrogridu smart funkciami umožňujúcimi merať ich aktuálny výkon (pre zdroje el. energie) alebo príkon (spotrebičov) a mať možnosť online ovládať jednotlivé výkonovo náročne spotrebiče.

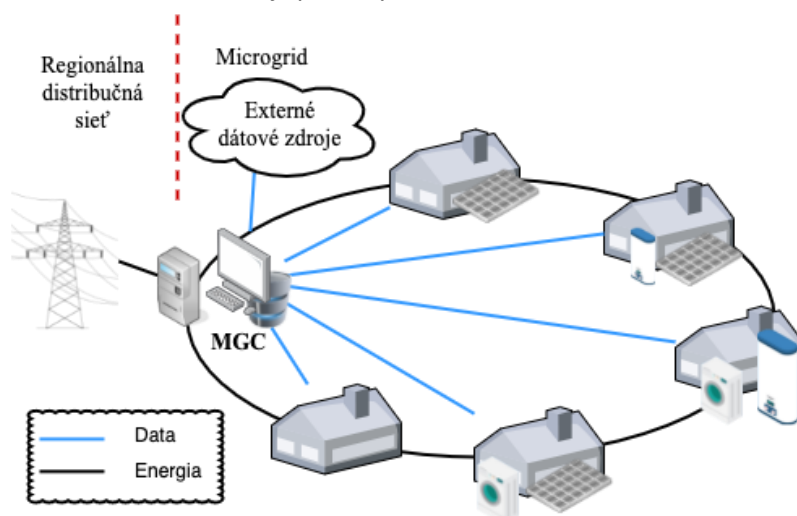
### 1. Teoretický rozbor

Predpokladajme, že členmi mikrogridu sú jednotlivé domácnosti, ktoré majú vlastné zdroje energie (fotovoltaické panely, veterné turbíny a pod. ) pre ktoré ja charakteristický určitý priebeh výroby energie daný charakterom zdroja. Skutočné vyprodukované množstvo energie je závislé aj od vonkajších faktorov, najmä počasia, ktoré ovplyvňuje úroveň slnečného svitu a silu vetra a to ako z dlhodobého hľadiska (v závislosti na ročnom období), strednodobého hľadiska (výskyt oblačnosti z dôvodu prechodu frontu) tak aj z krátkodobého hľadiska (výskyt individuálnych oblakov). Aj keď produkcia energie z lokálnych zdrojov nie je garantovateľná na 100%, je do určitej miery predikovateľná. Niektoré vplyvy sa dajú predpovedať na základe dlhodobých skúseností (napr. vplyv ročného obdobia), informácií z externých zdrojov (predpoveď počasia) alebo lokálnym vyhodnotením aktuálnej situácie (napr. z video kamery snímajúcej oblohu).

Na strane spotreby je možné identifikovať nasledovné vlastnosti. Spotreba jednotlivých odberateľov spravidla vykazuje určitý opakujúci sa charakter (na dennej báze). Niektoré aktivity musia byť vykonané okamžite (napr. zapnutie svetla pri vstupe do miestnosti), iné je možné odložiť na neskôr (napr. ohrev vody alebo pranie v pračke). Niektoré aktivity, môžu byť viacnásobne prerušené (napr.

ohrev vody), iné po svojom začatí vyžadujú dlhšiu, nepretržitú dodávku el. energie (napr. pranie v pračke, umývanie riadu v umývačke, pečenie v el. trúbe a pod.).

Z hľadiska priebehu spotreby niektoré spotrebiče majú rovnomerný charakter odberu el. energie (elektrický bojler), iné majú fázu s vyššou spotrebou (automatická pračka v čase ohrevu vody), alebo sa fázy s nižšou a vyššou spotrebou striedajú (elektrická trúba). Pri nekoordinovanej výrobe a spotrebe v rámci mikrogridu vznikajú obdobia prebytku a nedostatku el. energie. Najpoužívanejším riešením v takom prípade je ukladanie prebytočnej energie do batérií, čo je však náročné na prvotné investície alebo dodávanie prebytočnej energie do gridu, čo však nemusí byť výhodné [4]. Nedostatok energie býva potom krytý z batérií alebo z gridu. Nami navrhovaným riešením je koordinácia spotreby elektrickej energie v rámci mikrogridu. Základom efektívneho manažmentu energie v mikrogride je možnosť aktívneho ovládania spotrebičov (ich zapínanie a vypínanie) tak, aby sa čo najefektívnejšie využila energia generovaná energetickými zdrojmi v rámci mikrogridu bez potreby jej ukladania do alebo čerpania z batérie, resp. gridu. To je možné dosiahnuť inteligentnými snímačmi a smart zásuvkami s funkciou merania aktuálnej spotreby [5].



Obr.1 Model pre koordináciu spotreby elektrickej energie v rámci mikrogridu.

Na rozdiel od modelu využívaného súčasnými distribútormi elektrickej energie, kde je možné zapínať vybrané spotrebiče v domácnosti len spolu a aj to spravidla raz alebo dva krát za deň, v nami navrhovanom modeli uvažujeme s ovládaním jednotlivých spotrebičov v reálnom čase podľa aktuálnej situácie v mikrogride. Z uvedeného dôvodu musia mať všetky dôležité komponenty, inteligentnými snímačmi a smart zásuvkami možnosť online komunikácie so systémom na efektívnu redistribúciu energie v rámci mikrogridu. Táto komunikácia môže prebiehať prostredníctvom jednotnej hybridnej siete využívajúcej viacero rôznych technológií [6,7]. Bližšie navrhnutý model je znázornený na obr.1.

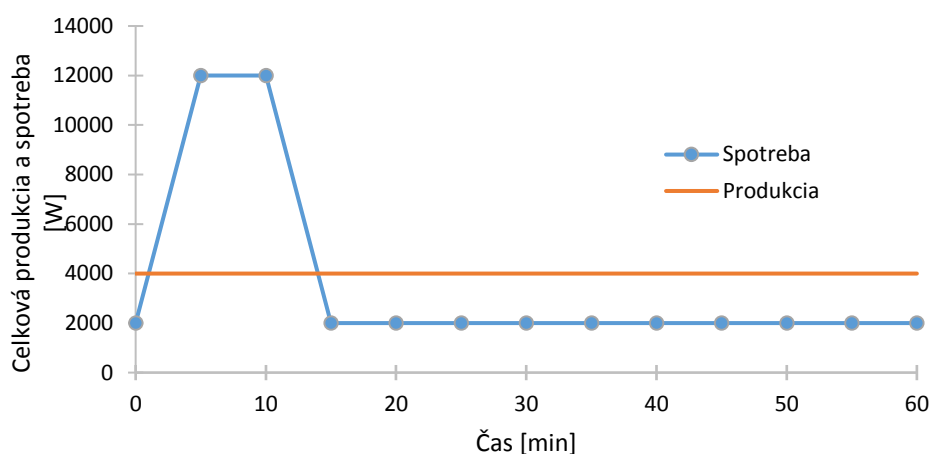
## 2. Experimentálne overenie

Model pre koordináciu spotreby elektrickej energie v rámci mikrogridu V rámci projektu sme skúmali navrhnutý model koordinácie spotreby elektrickej energie v rámci mikrogridu a porovnali ho s prípadmi, keď takáto koordinácia nebola robená, resp. sa vykonávala len v rámci jednotlivých domácností. V rámci experimentálneho overenia výhodnosti navrhnutého riešenia sme vyhodnocovali viacero parametrov, konfigurácií a aplikačných situácií. Napríklad sme predpokladali, že v daný deň bude prať v automatickej pračke 5 domácností. Každá z týchto domácností má 2 fotovoltaické panely s výkonom 400 Wp [8], t.j. 800 Wp na domácnosť, resp 4 kWp na všetkých 5 domácností. Keďže sa nachádzajú na približne rovnakej pozícii, priebeh generovanej elektrickej energie majú totožný. Predpokladajme, že počas dna bude slnečné obdobie, ktoré umožní max. produkciu elektrickej energie solárnymi panelmi počas min. 2 hodín. Domácnosti majú približne rovnaké automatické pračky, kde program pri praní na 40°C trvá 60 minút. Z uvedeného času zohrievanie vody na požadovanú teplotu trvá len asi 10 minút, zvyšok doby je v činnosti prevažne len motor a občas niektoré ďalšie funkčné

prvky, ako napr. vodné čerpadlo a pod. Príkion výhrevného telesa je 2000 W, motora 400 W a čerpadla 30 W.

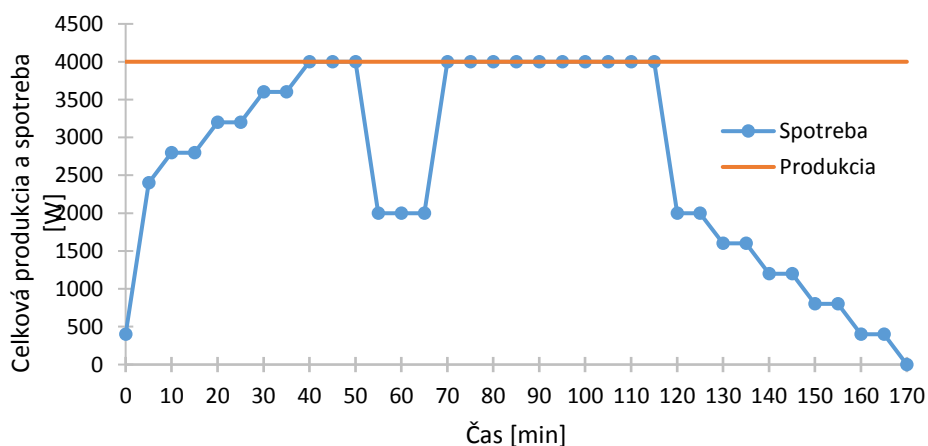
### 3. Dosiahnuté výsledky

V prípade, že nie je koordinovaná výroba a spotreba elektrickej energie v rámci mikrogridu, môže nastať situácia, že všetkých 5 domácnosti bude prať v dobe, keď fotovoltaické panely negenerujú žiadnu energiu, t.j. elektrická energia produkovaná fotovoltaickými panelmi počas dňa bude musieť byť ukladaná do batérii alebo do gridu a elektrická energia na pranie bude musieť byť odoberaná z gridu alebo z batériového úložiska. Pokiaľ bude optimalizácia výroby a spotreby elektrickej energie robená len v rámci jednotlivých členov gridu (domácností), môže nastať situácia, keď jednotliví členovia začnú prať súčasne, čo môže spôsobiť krátkodobé zvýšenie požiadavky na odber elektrickej energie až 12 kW, čo niekoľko násobne prevyšuje možnosti fotovoltaických zdrojov (4 kWp). Na druhej strane prevažnú väčšinu času bude vznikáť prebytok 2 kW, ktorý bude potrebné uložiť do batérii alebo dodať do gridu. Pribeh max. spotreby pri jednom pracom cykle v rámci gridu je znázornený na nasledovnom obr.2.



Obr.2 Pribeh celkovej spotreby elektrickej energie pri optimalizácii spotreby robenej len v rámci jednotlivých členov gridu.

Pri koordinácii spotreby energie v rámci celého mikrogridu možno dosiahnuť inteligentným ovládaním jednotlivých spotrebičov maximálne využitie energie generovanej mikrogridom. Pribeh max. spotreby pre dva po sebe nasledujúce pracie cykly je znázornený na obr. 3



Obr.3 Pribeh celkovej spotreby elektrickej energie pri optimalizácii spotreby v rámci celého gridu.

Ako je z grafu vidieť, uvedený spôsob koordinácie umožňuje dosiahnuť najlepšie využitie vyrobenej energie. Navyiac, vďaka možnosti ovládania spotrebičov možno nespotrebovanú časť elektrickej energie využiť prostredníctvom iných diaľkovo ovládaných spotrebičov, napr. na ohrev teplej vody v domácnostiach. Keďže výhrevné telesá v zásobníkoch na teplú vodu majú spravidla príkon 2 kW, čo prevyšuje produkčnú kapacitu fotovoltaických panelov inštalovaných v rámci jednotlivých domácností, koordináciou riadenia ohrevu vody v rámci mikrogridu možno dosiahnuť ďalšiu významnú úsporu.

## Záver

Navrhnutý model riadenia spotrebičov a zdrojov v rámci mikrogridu, ktorý zahŕňa meranie výroby a spotreby, predikcie výroby a spotreby a rôzne stupne voľnosti ovplyvňovania spotreby prostredníctvom systému na efektívnu redistribúciu energie v rámci mikrogridu preukázal z hľadiska troch sledovaných modelov najlepšie výsledky. To je dosahované použitím smart technológií - senzorov a spínačov schopných dodávať informácie o výrobe a spotrebe elektrickej energie v mikrogride v reálnom čase ako aj sofistikovaného, prediktívneho riadiaceho systému schopného túto spotrebu efektívne manažovať. Významným prínosom koordinácie spotreby elektrickej energie v rámci mikrogridu je zníženie nárokov na veľkosť batériového úložiska alebo jeho úplná absencia.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] Rahbar, K., Chai, C. C., and Zhang, R.: Energy cooperation optimization in microgrids with renewable energy integration. in IEEE Transactions on Smart Grid, 9(2), 2018, 1482–1493.
- [2] Moayedi, S. and Davoudi, A. (2017). Unifying distributed dynamic optimization and control of islanded DC microgrids. in IEEE Transactions on Power Electronics, 32(3), 2329–2346.
- [3] M. N. Alam, S. Chakrabarti, A. Ghosh: Networked Microgrids: State-of-the-Art and Future Perspectives. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume: 15, Issue: 3, March 2019, pp: 1238 – 1250.
- [4] J. Londak, M. Medvecký, and R. Vargic: Data Communication in Microgrid, in 2022 International Symposium ELMAR, Zadar, Croatia, Sep. 2022, pp. 53–56. doi: 10.1109/ELMAR55880.2022.9899804.
- [5] J. Londak, R. Vargic: An Approach to Device Identification In Micro Grid, In: Inteligentné a bezpečné informačno komunikačné technológie a systémy 2022, Modra – Harmónia, 2022.
- [6] IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks, IEEE. doi: 10.1109/IEEESTD.2020.9144691.
- [7] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture, IEEE. doi: 10.1109/IEEESTD.2002.93395.
- [8] Technická špecifikácia solárneho panelu LP182\*182-M-54-MH, Leapton Energy Co., Ltd., Japonsko, Dostupné na internete [https://www.leaptonenergy.jp/cms\\_xF2uQCfP/wp-content/themes/leaptonenergy/pdf/English/pdf\\_English01.pdf](https://www.leaptonenergy.jp/cms_xF2uQCfP/wp-content/themes/leaptonenergy/pdf/English/pdf_English01.pdf).

# AN APPROACH TO DEVICE IDENTIFICATION IN MICRO GRID

**Juraj Londák, Radoslav Vargic**

*Ústav multimediálnych informačných a komunikačných technológií, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: juraj.londak@stuba.sk*

## Introduction

The ability and need to identify individual devices in the energy network has recently grown in importance. This increase is related to the advent of smart grid technologies as well as the ever-increasing pressure on efficient energy consumption. Smart grid technologies and standards contribute to greater awareness and thus efficiency of energy consumption, both at the level of households, buildings or entire communities [1]. This concept is based in our previous work where we identify Micro Grid with possible Distributed Energy Resources as basic functional block of Smart Grid architecture [2]. Micro Grid in our understanding has considerable amount of autonomy, and therefore requires vast amount of data and functions to manage complex management scenarios. From a device identification point of view, we know the active and passive methods. By passive methods we mean methods that do not require any additional activity from the identified device compared to their primary function. One of the passive methods of identifying devices is the Load Monitoring method, which we can still divide into intrusive and non-intrusive.

Basic concept behind Load Monitoring (LM) is that AC meter is connected between socket and device been identified. Energy consumption of device is than sampled. Based on typical characteristics of consumption can be that device identified e.g., using premeasured libraries of device typical characteristics. Monitoring can be performed agentless, then we can talk about Non-intrusive Load Monitoring (NILM). From the viewpoint of Micro Grid, it corresponds to the measurements at the Micro grid border, so there is aggregated power load characteristics for whole Micro Grid, so we need first to disaggregate it to identify the particular devices. On the other hand, when we attach the monitoring device directly to the measured devices we do not need to perform the disaggregation at all, but we need to enter the Micro Grid, so it is called Intrusive Load Monitoring [3]. However, if there are hierarchical structures in micro grid and there is no problem to access them, all the corresponding measurement points could be considered as NILM points. The NILM can be performed using low frequency features (based on U, I sampling below 1kHz) or high frequency features (based on U, I sampling below 1kHz) [4]. There is great number of freely available datasets for both cases, such as PLAID [5], BLOND [6], SustDataED2 [7]. These datasets are aimed to help with NILM research and are not meant as public databases of ELS for NILM systems in production.

Active device identification on the other hand is method where validated device actively announces its identity by different available methods. One of very interesting methods is proposed in [8]. Authors provide design of transmitter and receiver of identification sequence using electric current based power line communication (ECPLC). This communication here is preformed between enabled device and enabled electricity socket.

In next chapter we would like to analyze both, active and passive methods. We identify their weak and strong sides and emphasize specifics of both.

## 1. Analyses of approaches

Active and passive methods for device identification, have their strengths and weaknesses. In this section we identify them and compare them together.

The basic advantage of passive identification methods is the unnecessary adaptation of terminal equipment. NILM methods that represent passive identification (PI) methods thus have a greater potential for rapid adoption into the household environment but also into the commercial building environment. A prerequisite for deploying NILM methods in a Micro Grid network is the presence of the network analyzer. There could be one analyzer analyzing aggregated data from whole



Micro Grid or multiple "smaller" analyzers can analyze the data from some physical part of the Micro Grid, they can be even located in the smart sockets. This could help to help to decrease the aggregation level and make the device identification easier. Smart socket concept has been already introduced [9]. However, its further development did not occur. Although there exists lot of public NILM datasets, there is up to our knowledge no live system that includes shared NILM ELS database, where the data would be accessed (directly or indirectly) by the network analyzers themselves and where the data are managed. By data management we mean wider set of operation such as upload, validation, download, versioning, notifications etc. There is also no standardized procedure or protocol for such operations.

Active methods require the cooperation of the terminal equipment itself, which must be adapted for such communication, whether in terms of software or hardware. However, the advantage for these increased costs is the greater flexibility and intelligence of the solution. One option is the previously mentioned method of communication ECPLC [4], which we consider as active direct identification (ADI) method and which requires the implementation of a transmitter in each appliance and receiver in the plug or elsewhere in the network. Thus, the device can transmit a simple identifier about itself, by which it can be recognized. This approach is then already very well-known from Ethernet network standards [10]. In other words, this identifier could be treated similarly to Ethernet MAC address. Another alternative is to use indirect communication method, we call it active indirect identification (AII), where the plug or phase location can be discovered indirectly, e.g., using any home automation system that can gather the information about device activity and pair it to power consumption. However, a mapping to the power line topology, phases is necessary to do manually. To standardize this alternative, there can help the emerging Matter standard [7], whose basic ambition is unification of current separated standards and introduce unified communication. Thus, certified devices already have solved the identification function and the method of communication using the standard. From the point of view of our vision of the Internet of Energy, it is therefore necessary to focus more on communicating the Micro Grid Control (MGC) system also using this standard and using relevant information for the needs of energy equipment management.

## 2. Proposed approach

Based on analyses in previous section we propose following approach to identification of devices and our approach to Internet of Energy. We consider that the method that can bring the greatest benefits to the user is the hybrid identification. Hybrid identification combines the advantages of both, active and passive approaches analyzed in the section 2.

In the case of active methods, we propose to use both methods, direct and indirect, wherever they are available and combine the obtained information. The weakness of direct method is that it still requires the standardization and cooperation of major appliance producers. However, it has an advantage of (at least partial) automatic connection point location discovery. Data obtained via direct method can be communicated further using Matter standard. Direct approach shall be combined with indirect. Here we propose to use the Matter standard due to its wide acceptance by the major manufacturers of smart devices. It is therefore necessary to focus on software development so that the Matter standard and its low-power networking technologies based on IEEE 802.15.4-2020 [12] is applicable as a link access standard and to prepare a protocol base for Discovery function and Inventory Management in the MGC systems environment. It is also necessary to prepare MGC systems for communication with the Matter certified devices.

Micro grid equipped this way, it will be able to recognize and include in the wiring hierarchy all active devices in the case that the power infrastructure in Micro grid also actively announces its identity and connected devices.

To enhance the effectivity of the system, e.g., in case where the active methods are not sufficiently available in the Micro Grid, we propose the Micro Grid to be supplemented with a NILM analyzer (or set of analyzers), which will try to recognize devices using a centralized ELS repository. For the most detailed mapping of the network, it is desirable that load patterns are collected at the

outlet level. By a combined function, when the active identification of a device and the assignment of its load pattern would be recognized, it would be possible to identify rogue devices, which is very helpful functions in bigger commercial buildings and campuses. Micro grid, mapped in this way, then has a lot of information about who can then get stuck with the main functions of smart grid networks, which are "self-healing" and "decisions making". The schematic example control plane architecture is depicted on Fig.1.

Here we can see particular types of identification devices (ADI, AII, PI) that are mounted directly to smart plugs. They are as close as possible to the devices being identified. However multiple devices can be connected to single plug (this situation is depicted on the right side of the image) and the ADI, AII, PI should take in account this. The information flow (except for direct identification) is proposed to be Matter based. The smart plus situation as depicted on Fig.1 can be extended to deployment of ADI, AII, PI measurement points higher in the hierarchical Micro Grid topology, e.g. particular phases in households, households itself, building, areas etc. By higher positioning we however can lose precision and accuracy of the ADI, AII, PI methods as there is harder to do the disaggregation of the measurements and have precise and reliable information over the situation in the Micro Grid.

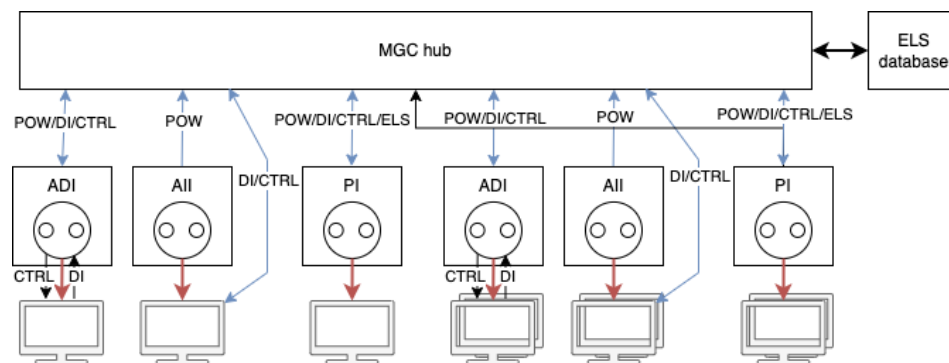


Fig.1 Example control plane architecture according to proposed hybrid approach – focus on smart plug centric solution. By red is depicted the energy flow. Other abbreviations are POW-power related measurements, DI-device identification related data, CTRL-control commands, ELS-electic load signatures.

## Conclusion

In the paper, we summarized the currently available methods of device identification using different approaches. We analyzed the advantages and disadvantages of each approach and their possible complement. In the second half of the article, we proposed our hybrid method of device identification and communicating between them. We also outlined the basic use cases and scenarios for using device identification in practice in our approach to energy management, which we called the Internet of Energy. The presented contribution should serve as a basis for further elaboration of the issue of Device Identification and its further use within the proposed concept.

## Acknowledgement

This publication was created thanks to support under the Operational Program Integrated Infrastructure for the project: International Center of Excellence for Research on Intelligent and Secure Information and Communication Technologies and Systems - II. stage, ITMS code: 313021W404, co-financed by the European Regional Development Fund.

## References

- [1] A. F. da S. Veloso, R. G. de Oliveira, A. A. Rodrigues, R. A. L. Rabelo, and J. J. P. C. Rodrigues, "Cognitive Smart Plugs for Signature Identification of Residential Home Appliance Load using Machine Learning: From Theory to Practice," in *2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, Shanghai, China, May 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCW.2019.8756885.
- [2] J. Londak, M. Medvecký, and R. Vargic, "Data Communication in Microgrid," in *2022 International Symposium ELMAR*, Zadar, Croatia, Sep. 2022, pp. 53–56. doi: 10.1109/ELMAR55880.2022.9899804.
- [3] E. J. Aladesanmi and K. A. Folly, "Overview of non-intrusive load monitoring and identification techniques," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 30, pp. 415–420, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.12.414.
- [4] W. A. de Souza, F. D. Garcia, F. P. Marafão, L. C. P. da Silva, and M. G. Simões, "Load Disaggregation Using Microscopic Power Features and Pattern Recognition," *Energies*, vol. 12, no. 14, p. 2641, Jul. 2019, doi: 10.3390/en12142641.
- [5] "PLAID 2014." figshare, Jan. 14, 2020. doi: 10.6084/m9.figshare.11605074.v1.
- [6] T. Kriechbaumer and H.-A. Jacobsen, "BLOND, a building-level office environment dataset of typical electrical appliances," *Sci Data*, vol. 5, no. 1, p. 180048, Dec. 2018, doi: 10.1038/sdata.2018.48.
- [7] L. Pereira, D. Costa, and M. Ribeiro, "A residential labeled dataset for smart meter data analytics," *Sci Data*, vol. 9, no. 1, p. 134, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41597-022-01252-2.
- [8] H. Ikegami, M. Tsukada, H. Ochiai, H. Nii, and H. Esaki, "Electric current based power line communication for plug-load device auto identification," in *2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Miami, FL, USA, Nov. 2015, pp. 121–126. doi: 10.1109/SmartGridComm.2015.7436287.
- [9] "Sony develops 'Authentication Outlet' Where Electricity Use can be Managed and Consumed on a Per-User and Per-Device Basis," *Sony Group Portal - Sony Global Headquarters*. <http://www.sony.com/en/SonyInfo/News/Press/201202/12-023E/index.html> (accessed Sep. 28, 2022).
- [10] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture," IEEE. doi: 10.1109/IEEESTD.2002.93395.
- [11] "Build With Matter | Smart Home Device Solution," *CSA-IOT*. <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/> (accessed Oct. 02, 2022).
- [12] "IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks," IEEE. doi: 10.1109/IEEESTD.2020.9144691.

## KEEPING TRADERS' PRIVACY IN BLOCKCHAIN-BASED ENERGY-SHARING SYSTEM

*Nasim Bahar, Michal Ries, Kristián Košťál*

*Fakulta informatiky a informačných technológií, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: muhammad.bahar@stuba.sk*

## Introduction

Energy is so crucial in our daily life, and it is one of the basic needs of humans. For a long time, we received energy from centralized sources. Blockchain technology makes it possible to distribute energy from decentralized sources to consumers. The security, decentralization, and immutability features of blockchain technology make it more transparent for Defi. The Integration of the smart grid with the blockchain is feasible for decentralized energy sharing based on blockchain [1-4].

Privacy protection is the key to ensuring human dignity, safety, and self-determination. Zero-knowledge proof and attribute-based encryption technology are widely used in the field of data sharing, and the zero-knowledge proof is developed very rapidly with blockchain technology. The zero-knowledge proof technology zk-SNART has the features of proof-shortness and zero-knowledge. It means It can be used in sensitive attributes hidden in data sharing. This article discusses a possible solution to protect traders' privacy in the decentralized energy-sharing system. The data that needs to preserve privacy may include the portion of shared energy, the revenue of a particular trader, etc.

## 1. Related Work

Privacy is still the trending topic in blockchain technology, and Zero-knowledge proof algorithms are the adequate technology to solve the privacy leakage problem in the public ledger. There are various zero-knowledge algorithms, mainly including zk-STARK[5], SK-SNARK[6, 7], Bullet-proof [8], etc. Zk-SNARK is the most used algorithm because of its short proof and easy verification. Z-cash was the first cryptocurrency that implemented Zk-SNARK to preserve the privacy of all transactions [9]. Recently, some other scheme was developed based on Zk-SNARK, including PLONK and Sonic. In a related study, Agrawal provides a framework with the help of algebra and arithmetic sentences combination to prove sentences composed of and, or, and algorithms. His method reduces the amount of calculation to the prover but increases the proof size [10]. The research of Yang Li proposes a combined model of Zk-SNARK and attributed-based encryption (CP-ABE) to preserve privacy in data-sharing systems [11].

## 2. Proposed Solution

We proposed to use Zk-SNARK to design a general circuit and automatically generate the corresponding circuit. Zk-SNARK (Zero-Knowledge Succinct Non-interactive Argument of Knowledge) has the characteristics of proof shortness and zero-knowledge. Zk-SNARK is made from different ingredients, including polynomial constraint, polynomial verification, NP problems, Quadratic arithmetic problem, and circuit verification. Zk-SNARK first generates a public parameter called a public character reference string, which is then sent to the prover and the verifier.

The public parameters are used to generate the proof and then send the evidence to the verifier. The evidence which is generated by the prover is very concise, and the verifier can verify it quickly to determine whether it is accurate.

Mainly the zk-SNARK consists of three algorithms; The Key generator takes a secret parameter and a program C and generates two public keys, a proving key pk, and a verification key vk. These are generated once, and it is public parameters.

The prover P takes as input the proving key pk with input x and private witness w, the algorithm generates the proof = P(pk, x, w), the prover knows a witness w, and that witness satisfies the program. The third algorithm is verifier V which computes V(vk,x,prf) to return true if the proof is correct and false otherwise. Below is the mathematical description.

Generator (C circuit,  $\lambda$  is secret parameter) : (pk, vk) = G( $\lambda$ , C)

Prover (x pub inp, w sec inp):  $\pi = P(\text{pk}, x, w)$

Verifier:  $V(\text{vk}, x, \pi) == (\exists w \text{ s.t. } C(x,w))$

Based on the above characteristics of Zk-SNARK, we can generate a general circuit from the different attributes, which can be considered as privacy of the shared energy system to preserve the privacy of those attributes of the traders.

## Conclusion

Blockchain is a public ledger in which participants can see all the transactions. There is a need to protect the privacy of confidential data in the blockchain network. Recently, Zero-knowledge proof technology has been trending in many data-sharing domains, particularly in the blockchain. Zk-snark is a widely used zero-knowledge algorithm and has been used in different projects. Energy sharing based on blockchain is trending, and there is a need to protect some confidential data of traders, for example, the amount of shared energy, the price of energy, the revenue of a particular trader, etc. In this article, we discussed the possible solution to protect traders' privacy in the blockchain energy-sharing system. In future work, it is necessary to find confidential data and set up the zk-SNARK based on those attributes.

## Acknowledgment

This publication has been written thanks to the support of the Operational Programme Integrated Infrastructure for the project: International Center of Excellence for Research on Intelligent and Secure Information and Communication Technologies and Systems – II. Stage (ITMS code: 313021W404), co-funded by the European Regional Development Fund (ERDF).



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## References

- [1] Agung, A.A.G. and R. Handayani, Blockchain for smart grid. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2020.
- [2] Mengelkamp, E., et al., A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets. Computer Science-Research and Development, 2018. 33(1): p. 207-214.
- [3] Mollah, M.B., et al., blockchain for future smart grid: A comprehensive survey. IEEE Internet of Things Journal, 2020. 8(1): p. 18-43.
- [4] Petri, I., et al., blockchain for energy sharing and trading in distributed prosumer communities. Computers in Industry, 2020. 123: p. 103282.
- [5] Ben-Sasson, E., et al., Scalable, transparent, and post-quantum secure computational integrity. Cryptology ePrint Archive, 2018.
- [6] Ben-Sasson, E., et al. SNARKs for C: Verifying program executions succinctly and in zero knowledge. in Annual cryptology conference. 2013. Springer.
- [7] Petkus, M., Why and how zk-snark works. arXiv preprint arXiv:1906.07221, 2019.
- [8] Bünz, B., et al. Bulletproofs: Short proofs for confidential transactions and more. In 2018 IEEE symposium on security and privacy (SP). 2018. IEEE.
- [9] Sasson, E.B., et al. Zerocash: Decentralized anonymous payments from bitcoin. In 2014 IEEE symposium on security and privacy. 2014. IEEE.
- [10] Agrawal, S., C. Ganesh, and P. Mohassel. Non-interactive zero-knowledge proofs for composite statements. In Annual International Cryptology Conference. 2018. Springer.
- [11] Li, Y., et al. Privacy Protection Model for Blockchain Data Sharing Based on zk-SNARK. In International Conference of Pioneering Computer Scientists, Engineers and Educators. 2021. Springer.

## USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR LOCAL ENERGY SHARING IN RURAL COMMUNITIES

*Abidullah Zarghoon, Michal Ries, Kristián Košťál*

*Fakulta informatiky a informačných technológií, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika  
E-mail: muhammad.bahar@stuba.sk*

## Introduction

Blockchain is one of the contemporary era's rising technologies, and it is arguably expanding faster than other technologies. One of the reasons for its quick expansion is the fact that it may be utilised in a variety of fields. It may also be claimed that blockchain technology sprang to popularity as a result of cryptocurrencies such as Bitcoin, Ethereum, and others; nevertheless, the technology has established itself as far more than merely an infrastructure for cryptocurrencies. A huge number of research centres are now trying to investigate various sectors where blockchain technology might be adapted and applied. For example, healthcare can use blockchain to share data more securely around the world [1], government is considering implementing blockchain in procurement to eliminate or at least reduce corruption rates [2], and smart cities are focusing their infrastructure on

blockchain to avoid disruption in smart devices and provide a secure and smooth living standard [3]. There are several more instances where blockchain technology can be more efficient than previous technologies; however, the focus of this research paper will be on the usage of blockchain technology in energy sharing.

Human kind have been using energy in one way or another since the start of civilization and have worked tirelessly to create more powerful and more approachable consumable energy to meet their needs. However, the past century and especially with electricity used in masses as one of the most prominent sources of energy has raised our needs for energy even more. Energy required by the world comes from different sources, such as petroleum, gas, coal, nuclear electric power and from renewable energy sources such as solar, hydroelectric, wind and more. However, it should be noted that renewable energy only accounted to around 29% of global energy in 2020 [4]. And there is still a large gap between the conventional energy that is mainly produced using oil, gas and coal and the renewable energy. Therefore, this paper will discuss how blockchain technology can be used in effectively assisting the generation and sharing of renewable energy.

## 1. Blockchain for Energy Sharing and Trading

In order to ensure that energy sharing and trading can take place between two parties, it is important that a contract should be available between them and that all related parties agree on all the terms and rules in the contract. To achieve this, smart contracts can be generated with the help of blockchain technology that can be used to set the governing rules between the related parties [5]. Additionally, sometimes due to the nature of energy provision in some places that is heavily dependent on a single provider can cause consumers requests for large amount of energy being failed, as the individual company is not able to provide the energy requested by the consumer, thus, implementation of blockchain technology in energy sharing and trading can allow energy companies and prosumers to share energy between themselves as a group and complete the request of consumers [6]. Faizan Ali Safdar in [9] also notices that microgrids are usually restricted to local peers and that in microgrids prosumers have to register with a centralized authority and proposes that prosumers should be grouped and blockchain will be implemented for performance scalability and trust between the members of the group.

Thus, based on the concepts currently under-research it can be stated that blockchain can provide a wide variety of benefits for the consumers, prosumers and energy companies to generate, share and trade electricity between them. It can reduce infrastructure cost as different people would be attracted to join the market and sell the energy they produce; in addition, it will have a positive impact on the environment because most of the energy generated will come from renewable sources.

## 2. Blockchain-assisted Local Energy Sharing in Rural Communities

In developing countries, there are certain issues that make it very hard for the government to provide energy to whole population, for instance, poor infrastructure, energy waste, war and conflict, poor distribution and lack of storage to name a few [10]. Considering the issues, the locals usually turn to providing energy for themselves mostly by using solar panels. It can also be argued that certain aspects still limit all people in rural areas to receive energy, such as price of solar panels, lack of energy sharing and lack of proper infrastructure to provide energy sharing. Blockchain technology can be very helpful in setting up the infrastructure required by locals for energy sharing and trading. Both Ali and Jogunola in their respective works have identified mechanisms that can be applied in blockchain to allow energy sharing, such as prosumer groups [8] and smart contracts [7]. Although, the research is aimed at energy provision through blockchain, it is not very focused on individuals taking advantage of blockchain technology to share energy among individual-to-individual. It can be argued that working on the same concept and focusing on households would prove effective and would work step by step towards local energy stations, local power grids and more.

- **Possible Advantages**

Most individuals in rural regions cannot afford an energy source since it necessitates the purchase of either regular fuel for generators or massive solar panels that would satisfy the needs together with storage units. Local peer-to-peer or even house-to-house energy sharing can deliver energy to consumers without investing in huge infrastructure while also providing a market for individuals to participate. Furthermore, it has the potential to accelerate the expansion of renewable energy sources such as solar panels and wind turbines, therefore benefiting the environment. It may also be claimed that if the notion is initiated at a lower level, it can be implemented on bigger sizes.

- **Limitations**

First and foremost, if a country or area want to utilize blockchain in energy sharing, the government must ensure that adequate infrastructure is available for the technology to begin. Second, in certain areas, energy is given by either the government or a commercial group. In Afghanistan, for example, Da Afghanistan Brishna Sherkat (DABS), a semi-government for-profit business, provides electricity. Such organizations may play a role in the government's energy strategy, limiting locals' ability to construct technologies capable of sharing and exchanging energy.

- **Possible Solutions**

In other areas, such as Afghanistan, the government may find it difficult to put in place the necessary infrastructure in the smallest period of time. As a result, we recommend that the government enable private entities to build the infrastructure. This will significantly shorten the term and create a new market for private firms to compete in. Second, private groups may give needed social awareness by employing their resources to engage more people in their specific activities. Second, governments that do not already have regulations in place would be forced to adopt and execute rules allowing local areas to share and trade energy locally.

## Summary

Blockchain is a rapidly evolving technology that sprang to prominence with the advent of cryptocurrencies. It has shown to be more than simply an infrastructure for cryptocurrencies, and blockchain is now being examined in several industries, with a wide range of research being performed to integrate blockchain in healthcare, governance, procurement, IoT, EVs, energy trading, sharing, and other areas. Despite the fact that most of the applications are still in the early phases of research, they are quite promising. For example, in energy sharing and trading, concepts that can be beneficial in integrating blockchain in energy sharing and trade have been offered. To begin, it should be noted that in many regions, energy is distributed by a single government agency, particularly in developing nations such as Afghanistan and Pakistan. As a result, most of these government or semi-government enterprises are unable to satisfy the needs of their customers and suffer a power deficit. The use of blockchain in the energy industry can allow the creation of various effective small-scale energy silos, especially in rural regions. This will allow diverse parties to enter the energy market by investing in renewable energy sources, reducing the environmental effect of non-renewable energy sources, and ensuring that the majority of the population obtains the necessary energy.

This paper proposed that blockchain in energy sharing and trading should be started at a very low level of communities, such as household-to-household. This will allow locals to evaluate the potential of the market. And after the concept is implemented locally, the concept can be slowly expanded. However, there are certain limitation, for instance lack of infrastructure for blockchain and lack of energy sharing and trading policies. These challenges can possibly be mitigated by bringing in the private sector into the equation. Private sector can provide the required infrastructure much faster than government would be able to and in addition private sector would prove effective in social awareness required for the concept to work. In addition, government would have to implement proper policies and procedures for energy sharing that would not limit locals from creating energy sharing platforms in their vicinity.

## Acknowledgment

This publication has been written thanks to the support of the Operational Programme Integrated Infrastructure for the project: International Center of Excellence for Research on Intelligent and Secure Information and Communication Technologies and Systems – II. Stage (ITMS code: 313021W404), co-funded by the European Regional Development Fund (ERDF).



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## References

- [1] M. Hölbl, M. Kompara, A. Kamišalić, and L. Nemeč Zlatolas, "A Systematic Review of the Use of Blockchain in Healthcare," *Symmetry*, vol. 10, no. 10, doi: 10.3390/sym10100470.
- [2] A. Thio-ac, A. et al., "Blockchain-based system evaluation: The effectiveness of blockchain on E-procurements," *arXiv preprint arXiv:1911.05399*, 2019.
- [3] B. Bhushan, et al., "Blockchain for smart cities: A review of architectures, integration trends and future research directions," *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, p. 102360, 2020.
- [4] I. E. Agency, "Renewables 2020, Analysis and forecast to 2025," France, 2020.
- [5] Z. Zheng, S. Xie, H.-N. Dai, X. Chen, and H. Wang, "Blockchain challenges and opportunities: A survey," *International journal of web and grid services*, vol. 14, no. 4, pp. 352-375, 2018.
- [6] S. J. Pee, et al., "Blockchain based smart energy trading platform using smart contract," in *2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, 11-13 Feb. 2019 2019, pp. 322-325, doi: 10.1109/ICAIIIC.2019.8668978.
- [7] O. Jogunola, M. Hammoudeh, B. Adebisi, and K. Anoh, "Demonstrating Blockchain-Enabled Peer-to-Peer Energy Trading and Sharing," in *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 5-8 May 2019 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CCECE.2019.8861525.
- [8] V. Hassija, et al., "A Blockchain-Based Framework for Lightweight Data Sharing and Energy Trading in V2G Network," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 6, pp. 5799-5812, 2020.
- [9] F. S. Ali, et al., "Blockchain-assisted Decentralized Virtual Prosumer Grouping for P2P Energy Trading," in *2020 IEEE 21st International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, 2020, pp. 385-390.
- [10] R. Poudyal, et al., "Mitigating the current energy crisis in Nepal with renewable energy sources," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 116, p. 109388, 2019.

## INOVATÍVNE RIEŠENIA - ENERGETICKY ÚSPORNÉ STREŠNÉ NADSTAVIBY

**Daniela Špírková<sup>1</sup>, Július Golej<sup>1</sup>, Monika Zatrochová<sup>1</sup>, Miroslav Pánik<sup>1</sup>, Branislav Mišota<sup>1</sup>, Ivan Katrenčík<sup>1</sup>,  
Jana Šujanová<sup>2</sup>**

*1. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ústav manažmentu, Vazovova 5, Bratislava*

*2. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta informatiky a informačných technológií,  
Ilkovičova 2, Bratislava*

*E-mail: daniela.spirkova@stuba.sk*

## Úvod

Zníženie spotreby energie je jedným z pilierov udržateľného rozvoja. V európskom meradle sa spotrebuje takmer 40 % energie na prevádzku budov, pretože 90 % času trávime v budovách. Zníženie spotreby energie v budovách možno považovať za základ inovatívnych riešení pre bytovú výstavbu a obnovu bytového fondu v budúcnosti, ktoré zároveň generujú významné užívateľské skúsenosti - zabezpečenie zdravého vnútorného prostredia s optimálnym dizajnom budovy, CO<sub>2</sub> neutrálne bývanie, dosiahnutie rovnováhy medzi tepelnými ziskami, izolačnou kapacitou a výmenou vzduchu a pod. Celosvetový dopyt po elektrickej energii neustále rastie a tento rast sa bude pravdepodobne



zrýchľovať. Je to spôsobené najmä hospodárskym rastom. Spoločnosť McKinsey vo svojej správe „Global Energy Perspective 2021“ [1] predikuje, že spotreba elektrickej energie do roku 2050 sa môže zdvojnásobiť. Obmedzené zásoby fosílnych palív, rovnako aj ich nepriaznivý vplyv na životné prostredie, predpokladajú zvýšenú spotrebu rozvoja obnoviteľných energetických zdrojov.

Cieľom článku je predstaviť riešenie energeticky úsporných strešných nadstavieb – SOLTAG koncept, ktorý rieši moderný a udržateľný spôsob bývania a využíva najnovšie poznatky a technológie na znižovanie energetickej náročnosti budov. Splňa požiadavky na energetickú efektívnosť, CO<sub>2</sub> neutrálne bývanie budúcnosti s využitím takzvanej solárnej architektúry.



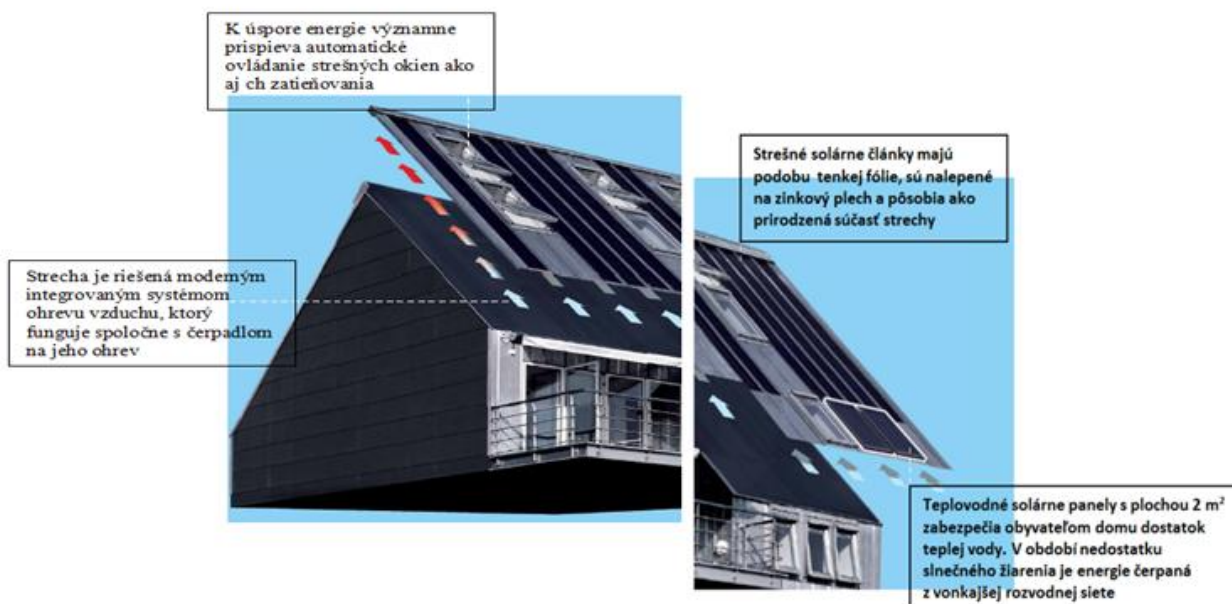
Obr.1 Modulárny dizajn, založený na priemyselne predpripravených prvkoch, ktorý je možné kombinovať aj s konvenčným dizajnom.

Spolupráca odborníkov z Holandska, Francúzska, Nemecka, Talianska, Slovenska, Českej republiky, Poľska, Švédska a Dánska v rámci projektu SuReFIT vyústila do návrhu realizácie priemyselne vyrábaného riešenia (prefabrikované moduly) – koncept SOLTAG pri štandardnej úrovni nákladov na sociálne (nájomné) bývanie plus ďalšie náklady na kvalitu energie. To by malo viesť v budúcnosti k pozitívnej celkovej ekonomike pre nájomcov v dôsledku znížených prevádzkových nákladov. Tento modulárny dizajn je z 90% založený na kvalite priemyselne predpripravených prvkoch a je ho možné kombinovať aj s konvenčným dizajnom (obr.1). Koncept strešnej nadstavby SOLTAG bol zaradený do medzinárodného projektu ANNEX 50.

## 1. Modulárne stavebné systémy

Prefabrikácia sa často označuje za "najstaršiu novú myšlienku architektúry", a to z dobrého dôvodu. Celé desaťročia bola prefabrikácia považovaná za špičku v oblasti redefinovania dizajnu a výstavby - napriek tomu sa jej potenciál často nevyužil nad rámec prototypov. Popri konvenčne vyrábaných bytoch postavených v období úsporných opatrení experimentovali projektanti s bytmi vyrobenými v továrňach alebo zostavenými z priemyselných komponentov (napríklad Eamesov dom), ktoré sa spoliehali na celý rad nových konštrukčných a obalových technológií [2].

Modulárny systém SOLTAG (obr.1) je navrhnutý ako riešenie pre úpravu strechy - bytu (modul), ktorý je možné postaviť na existujúcich bytových domoch s plochými strechami bez nutnosti napojenia na súčasný energetický systém budovy. Princípy projektu je možné použiť aj v novostavbách. Moderný energetický systém je navrhnutý tak, aby bolo možné dom zásobovať energiou iba z vlastných zdrojov nezávisle od okolia. To je dosiahnuté využitím solárnych článkov a panelov, v streche integrovaného systému pre ohrev vzduchu a samozrejme aj vďaka správnej orientácii objektu voči svetovým stranám. Solárne články pokrývajú plochu 3,5 m<sup>2</sup>, avšak na ich inštaláciu je možné využiť aj ďalších 14 m<sup>2</sup>, čo je potom dostačujúce na zabezpečenie nulovej ročnej energetickej bilancie. Takto získaná energia je využitá na nezávislé podlahové vykurovanie a prevádzku vetracej jednotky so systémom rekuperácie tepla, ventilátorov a tepelného čerpadla [3].



Obr.2 Prototyp ekologického prefabrikovaného strešného apartmánu s rozlohou 84 m<sup>2</sup> [3].

## 2. Materiály a metódy

Analýza štatistických údajov nám ukázala, že počet nových bytových jednotiek postavených ako strešné prístavby predstavoval približne 900 bytov ročne (46,5 % od roku 1954). To znamená, že na Slovensku je v priemere asi 1 954 nových bytových jednotiek postavených ako strešné prístavby a nadstavby - typické pre bytové domy aj rodinné domy. Pomer novostavieb bytových jednotiek v bytových a rodinných domoch je 46,5 / 54,5, pričom podiel prístavieb a stavieb v bytových domoch je prakticky zanedbateľný [4].

Výpočty boli spracované pre tri varianty (typy) solárnych domov SOLTAG [6]:

1. SOLTAG 1 (nízkoenergetická hladina) - dom využívajúci len pasívne slnečné svetlo - potreba tepelnej energie 30 kWh/m<sup>2</sup>

2. SOLTAG 2 (pasívna úroveň) – dom využívajúci solárne panely a fotovoltaické strešné panely (plocha 3,5 m<sup>2</sup>) - potreba tepelnej energie 15,2 kWh/m<sup>2</sup>

3. SOLTAG 3 (takmer nulová potreba energie) – dom využívajúci solárne panely a fotovoltaické strešné panely (plocha 17,5 m<sup>2</sup>) - potreba tepelnej energie 0 kWh / m<sup>2</sup> - dom s nulovou alebo kladnou energiou (sebestačný dom).

## 3. Diskusia

Ideálny počet podlaží existujúcich obytných budov určených na strešné nadstavby sa podľa nášho názoru pohybuje v rozmedzí 2 až 5 podlaží s ohľadom na možnosť použitia žeriavov a postavených v období rokov 1946 až 1990. Na základe štatistických údajov môžeme konštatovať, že na Slovensku je takýchto vhodných budov (teoreticky závisí aj od celkového technického stavu budovy) 31 899 [5]. Ak vezmeme do úvahy, že na každú bytovú budovu možno postaviť v priemere 8 bytových jednotiek, celkový počet postavených bytových jednotiek na Slovensku by bol 255 192.

Dom je zložený z dvoch základných spojených modulov. Jeden modul je zložený z technického zázemia, kuchyne, kúpeľne, haly a spálne. V druhom module je zabudovaná jedáleň a obývací priestor s otvoreným priestorom v podkroví. Prefabrikované moduly SOLTAG sa vyrábajú za optimálnych podmienok vo výrobných halách. Odtiaľ sú dopravené na stavbu, kde ich spojením vznikajú bytové jednotky. Sú vyrobené na mieru a prispôsobujú sa každému projektu s ohľadom na konkrétnu situáciu.

Základom konštrukcie nadstavby je rámová konštrukcia, ktorá zároveň tvorí podporu pre vonkajšiu terasu na severnej strane a balkón, nachádzajúce sa po celej dĺžke strany južnej. Ide o ľahký konštrukčný systém. Strešná konštrukcia pozostáva z oceľového rámu s drevenými latami. Súčasťou dokonale vzduchotesného plášťa je 350 mm tepelná izolácia v stenách a 400 mm v streche.

Stavebnicová strecha s integrovaným systémom ohrevu vzduchu, ktorého vrchný plášť tvorí zinkový plech, má zvislé drážky vhodné pre osadenie strešných okien a solárnych panelov. Celé riešenie umožňuje vďaka automaticky riadeným aktívnym prvkom maximálne využitie všetkých tepelných ziskov a zaistenie dokonalého vnútornej mikroklimy (obr.2).

Tab.1 Úspory spojené s potrebou tepla na vykurovanie konceptu Soltag [4].

	Murovaná nadstavba	Soltag 1	Soltag 2	Soltag 3
Potreba tepla na vykurovanie	50 kWh/m <sup>2</sup>	30 kWh/m <sup>2</sup>	15,2 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>
Využitelná podlahová plocha bytu	84 m <sup>2</sup>	84 m <sup>2</sup>	84 m <sup>2</sup>	84 m <sup>2</sup>
Ročná potreba tepla	4,200 kWh	2,520 kWh	1,276.8 kWh	336 kWh
Cena energie – pevná zložka	190,5388 EUR/kW	190.5388 EUR/kW	190.5388 EUR/kW	190.5388 EUR/kW
Energy price – variabilná zložka	0.0502 EUR/kWh	0.0502 EUR/kWh	0.0502 EUR/kWh	0.0502 EUR/kWh
Náklady spojené s dodávkou tepla na vykurovanie za rok	EUR 210.84	EUR 126.504	EUR 64.09536	EUR 16.8672
Náklady na vykurovanie za rok	EUR 401.3788	EUR 317.0428	EUR 254.63416	EUR 207.406
Percentuálna úspora	/	40%	69.6%	92%
Úspora energie (TJ)	/	EUR 1543.4	EUR 2685.5	EUR 3549.8
Finančná úspora (EUR) ročne	/	160.55	279.36%	369.27



Obr.3 CO<sub>2</sub> neutrálny strešný apartmán má veľmi dobrú kvalitu denného svetla a jeho využitie môže byť aj ako rodinný dom [3].

Hlavným pozitívnym aspektom nadstavieb so systémom SOLTAG 3 je, že tieto budovy sú CO<sub>2</sub> neutrálne. Ich prevádzka je pokrytá energiou získanou zo slnka - prostredníctvom slnečných kolektorov alebo fotovoltaických panelov. V prípade prebytku elektrickej energie sa táto energia prenáša do siete alebo sa odoberá v prípade jej nedostatku.

## Záver

Výhodou využitia ľahkého konštrukčného systému, ktorý sa však vyznačuje výbornými statickými vlastnosťami, je minimálne zaťaženie nosného systému existujúcej budovy strešnou nadstavbou. Tieto ekologické prefabrikované strešné apartmány s rozlohou 84 m<sup>2</sup> sú pripravené na zdvíhanie až na strechu existujúcich panelových bytových domov (napr. z obdobia 60. a 70. rokov). To znamená, že ploché strechy je možné využiť aj ako „nové stavebné parcely“ a to aj bez potreby napojenia na súčasný energetický systém budovy. Je to taktiež ideálne riešenie pre novostavby ako napr. radové domy (obr.3), alebo rodinné domy a pod.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



VÝSKUMNÁ  
AGENTÚRA



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## Literatúra

- [1] McKinsey and Company: Global Energy Perspective, 2021.
- [2] M. Lawson, R.Ogden, C.H.Goodier, Design in Modular Construction; CRC Press: Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group, USA 2014.
- [3] Velux: Bydlení s úsporou energie. 2011.
- [4] D. Spirkova, K. Teplicka, S. Hurna, R. Janiss. Evaluation of Energy Savings and Economic Benefits of SOLTAG Rooftop Extensions under the Conditions of a Model Area in the Slovak Republic. Sustainability, Volume 13, Issue 2, 2021.
- [5] D. Spirkova, K. Ivanicka. Obnova bytových domov s využitím nadstavieb. Statis, 2011 .
- [6] Zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

## NARASTAJÚCI VÝZNAM FOTOVOLTICKÝCH SYSTÉMOV V AKTUÁLNE SA PREHLBUJÚCEJ ENERGETICKEJ KRÍZE

**Július Golej, Branislav Mišota, Daniela Špirková, Monika Zatrochová, Ivan Katrenčík, Miroslav Pánik**

*Ústav manažmentu, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská  
republica*

*E-mail: branislav.misota@stuba.sk*

## Úvod

Súčasná energetická kríza ako súčasť aktuálneho svetového geopolitického vývoja, nepriaznivo zasahuje rozpočty domácností a podnikov v celej EÚ. Stabilná dodávka energie a tým zabezpečená prevádzková bezpečnosť pre domácnosti, v priemysle, ale aj vo verejných službách, je jednou z hlavných úloh vyspelej spoločnosti [1]. Extrémny nárast cien elektrickej energie a plynu spôsobujú, že domácnosti, ale i podniky sa čoraz viac zaujímajú o alternatívne riešenia a úsporné opatrenia, ktoré im znížia účty. Medzi najvýznamnejšie dostupné riešenia tejto krízy patrí znižovanie aktuálnej spotreby energií, zvyšovanie energetickej efektívnosti budov a prechod na obnoviteľné zdroje energie (OZE). Zvyšovanie podielu OZE sa podieľa, okrem environmentálneho prínosu, najmä zvyšovaním sebestačnosti, energetickej bezpečnosti, diverzifikácii dodávok energie a v súčasnosti, najmä na znižovaní nákladov za energie. Náklady na energie, predovšetkým kúrenie a ohrev teplej vody, tvoria jeden z najväčších výdavkov slovenských domácností. Investovať do úspor energií je

zásadným spôsobom šetrenia peňazí. Najväčšiu úsporu na energiách je možné dosiahnuť investíciou do obnovy nehnuteľností, ale aj obnoviteľných zdrojov energie [2]. Štandardná domácnosť použije ročne na energie priemerne značnú časť svojich príjmov. Transformácia z tradičných energetických zdrojov na obnoviteľné si vyžaduje pomerne vysoké vstupné investície. Slovensko v súčasnosti nemá dostatočnú podporu OZE najmä na národnej úrovni. Vláda SR však nereaguje dostatočne pružne ani na aktuálnu energetickú krízu. Chýba tu regulácia na trhu s energiami, výrazná podpora a motivácia na prechod na OZE, najmä čo sa týka priemyslu a podnikateľského prostredia. Aj preto vidíme ako jedno z optimálnych riešení práve znižovanie energetickej potreby. Tu považujeme za kľúčové sektory priemyslu a budov. Všeobecne, sektor budov v Európe je najväčším spotrebiteľom energií. Na vykurovanie a chladenie sa používa takmer 50 % konečnej spotreby energie v EÚ, z čoho 80 % sa využíva v budovách. Odhadovaný podiel sektoru budov na konečnej spotrebe energie v SR je približne 40%, pričom v budovách sa 70 % spotrebovaných energií využíva na kúrenie a chladenie. Na Slovensku je približne 1 milión bytových a rodinných domov. Viac ako polovica všetkých budov je energeticky neefektívnych. Ak v tejto oblasti dokážeme znížiť energetickú potrebu a zbaviť ju plytvania, potom optimalizovanú potrebu vieme oveľa jednoduchšie pokryť kombináciou OZE bez ich enormného kapacitného navyšovania. Výrazné zníženie energetickej potreby budov je možné zabezpečiť prostredníctvom hĺbkovej obnovy budov, prostredníctvom ktorej dokážeme znížiť energetickú spotrebu budovy aj o viac ako 60%. Toto radikálne zníženie spotreby energií v budove nám dokáže v kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi významne znížiť náklady za energie. Kombinácia fotovoltiky a tepelných čerpadiel sa momentálne pre domácnosti javí ako ideálna voľba a riešenie energetickej krízy. V súčasnej dobe pod tlakom neustále sa zvyšujúcich nákladov na energie, ktorý predstavuje aj sociálny problém [3], zameriava aj obyvateľstvo čím ďalej tým viac svoju pozornosť na energetickú hospodárnosť budov a zaujíma sa možnosti úspor energie. Energetická kríza, ktorá vyvrcholila v priebehu roka 2022, spôsobila, že výdavky za energie budú výrazne vyššie. Dôležitá bude najmä aktívna úloha štátu pri podpore domácností, priemyslu a ostatných podnikov, počas tejto prebiehajúcej krízy. Práve pomoc štátu znáša v súčasnosti pomerne veľa kritiky, keďže sa momentálne javí ako veľmi pomalá a nedostatočná.

## 1. Metodika

Metodika modelovania je realizované prostredníctvom dvoch rôznych variantov, ktoré vychádzajú z aktuálne známych predikcií cien elektrickej energie pre domácnosti pre rok 2023, ktoré na konci septembra prezentovali Národná banka Slovenska (NBS) [4] a Inštitút finančnej politiky (IFP), ktorý je analytickým útvarom Ministerstva financií Slovenskej republiky [5]. Nárast ceny elektrickej energie pre domácnosti podľa z predikcie NBS by mal byť 100 %. Podľa prognózy, IFP by mala cena elektrickej energie pre domácnosti. Ako jednotkové ceny elektrickej energie v roku 2023 sme zvolili na základe predikcie NBS 0,30 €/ kWh v druhom prípade na základe predikcie IFP sme počítali s cenou 0,21 €/ kWh .

Model rodinného domu je zhotovený na dvoch rôznych variantoch. Na úvod sme si stanovili niekoľkých vstupných parametrov. Zvolili dva varianty modelových domov a dve ceny elektrickej energie pre domácnosti (prvá cena elektrickej energie pre domácnosti, ktorá vychádza z predikcie NBS, druhá počíta s cenou elektrickej energie pre domácnosti, ktorá vychádza z predikcie IFP) pre modelové domy. Prvý predstavuje rodinný dom v pôvodnom technickom stave postavený približne v 70. rokoch minulého storočia (neobnovený rodinný dom). Druhý variant počíta s rodinným domom z toho istého obdobia, na ktorom sa realizovala obnova. Oba domy majú rovnakú priemernú podlahovú plochu 150 m<sup>2</sup>, obýva ich priemerná štvorčlenná rodina, strešnú konštrukciu tvorí sedlová strecha a nachádzajú sa v lokalite na strednom Slovensku v Banskej Bystrici. Práve poznanie umiestnenia je dôležité z hľadiska informácií ohľadom fotovoltického potenciálu vybranej lokality v rámci Slovenska [7]. Oba scenáre uvažujú so spotrebou v reálnom čase, kde je optimalizácia kľúčová najmä v prípade inštalácie bez fyzickej alebo virtuálnej batérie určenej na skladovanie energie, pretože nedostatočná flexibilita vo využívaní elektriny vyrobenej prostredníctvom fotovoltického systému predstavuje

hlavnú prekážku pri používaní takejto systému. Pri modelovaní sme vychádzali z priemernej ročnej spotreby energie v domácnosti vzhľadom na detailnejšie rozdelenie ročnej spotreby energie v domácnosti podľa Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky [6]. Percentuálne rozdelenie ročnej spotreby energie v domácnosti podľa MŽP SR je nasledujúce: kúrenie (74%), ohrev vody (13%), osvetlenie + ostatné spotrebiče (9%) a varenie (4%). Maximálne pokrytie energetickej potreby domu z FVE sme uvažovali v objeme 60 % z energetickej potreby na ohrev vody a 40 % z energetickej potreby na ostatné spotrebiče. Predpokladaný objem výroby z FVE ročne sme určili vzhľadom inštalovaný výkon v jednotlivých scenároch a fotovoltaického potenciálu danej lokality v rámci Slovensku. Ceny inštalácií FVE sme prebrali z ponuky pre fotovoltaické elektrárne na kľúč [8].

## 2. Výsledky

Prvý variant modelu rodinného domu (tab. 1, nižšie) je v pôvodnom technickom stave, tzn. nebola na ňom počas jeho životnosti vykonávaná akákoľvek obnova, svojou spotrebou spadá do energetickej triedy E. Taktiež bol stanovený % podiel plochy otvorových konštrukcií z celkovej plochy obalových konštrukcií (tzv. teplovýmennnej plochy). tab. 2, zobrazuje ekonomické zhodnotenie fotovoltaického systému inštalovaného v tomto variante rodinného domu.

Tab.1 Prvý variant modelu rodinného domu.

technický stav:	pôvodný (neobnovený)
energetická trieda:	E
energetická spotreba m. d. (kWh/(m <sup>2</sup> .a)):	220
celková energetická spotreba domu (kWh/rok):	33000
lokality:	Banská Bystrica, 48.738403°, 19.157349°
geografické údaje	nadm. výška 345 m.n.m., Banskobystrický kraj, Slovensko
špecifický fotovoltaický výkon z 1 kWp (kWh/kWp)*:	1177,7

\*Zdroj: Solargis

Zdroj: vlastné spracovanie

Tab.2 Ekonomické zhodnotenie modelu rodinného domu: prvý variant.

		Max. pokrytie z FVE (%)	Max. pokrytie z FVE (kWh)	Úspora nákladov na energiu (€)
<b>Rozdelenie ročnej spotreby energie v domácnosti :</b>	(kWh)			
kúrenie	24420			
ohrev vody	4290	60	2574	
svietenie + ostatné spotrebiče	2970	40	1188	
varenie	1320			
<b>Ročná spotreba energie v domácnosti spolu</b>	33000		3762	
<b>Max. pokrytie z FVE spolu</b>			3762	
<b>Predpoklad. výroba z FVE (ročne)</b>		<b>Inštalovaný výkon 3,28 kWp</b>	3862,8	
<b>Investičné náklady (€)</b>		7000		
<b>Úspora nákladov na energiu podľa:</b>				
<b>Predikcia ceny 2023 NBS (0,30 €/ kWh)</b>				1158,86
<b>Predikcia ceny 2023 IFP (0,21 €/ kWh)</b>				811,20

Zdroj: vlastné spracovanie

Druhý variant modelu rodinného domu (tab.3, nižšie) je v obnovenom technickom stave, tzn. bolo realizované: zateplenie obvodového plášťa a strechy, výmena všetkých výplní otvorov a výmena zdroja tepla. Svojou spotrebou spadá do energetickej triedy C. Má rovnaký % podiel plochy otvorových konštrukcií z celkovej plochy obalových konštrukcií ako prvý variant. tab.4, zobrazuje ekonomické zhodnotenie fotovoltického systému inštalovaného v tomto variante rodinného domu.

Tab.3 Druhý variant modelu rodinného domu.

<b>technický stav:</b>	obnovený
<b>energetická trieda:</b>	C
<b>energetická spotreba m. d. (kWh/(m<sup>2</sup>.a)):</b>	135
<b>celková energetická spotreba domu (kWh/rok):</b>	20250
<b>lokality:</b>	Banská Bystrica, 48.738403°, 19.157349°
<b>geografické údaje</b>	nadm. výška 345 m.n.m., Banskobystrický kraj, Slovensko
<b>špecifický fotovoltický výkon z 1 kWp (kWh/kWp):</b>	1177,7

Zdroj: vlastné spracovanie

Na základe vyššie popísaných variantov sme určili celkovú spotrebu energie na vykurovanie jednotlivých rodinných domov rôzneho technického stavu, ich ročnú spotrebu energií na ostatné činnosti v domácnosti a vyčíslili sme náklady na energiu. Vychádzajúc z informácií o celkovej spotrebe energie v každom dome možno navrhnuť efektívny fotovoltický systém na výrobu energie. Ideálna pozícia pre dosiahnutie optimálneho výkonu fotovoltických panelov je spravidla orientácia na južnú svetovú stranu, s náklonom strechy okolo 35°. Pri východnej alebo západnej orientácii je výkon z fotovoltického systému nižší, čo je možné kompenzovať prostredníctvom niekoľkých fotovoltických panelov navyše oproti optimálnej južnej orientácii, ale pri zvýšených investičných nákladoch na fotovoltický systém.

Tab.4 Ekonomické zhodnotenie modelu rodinného domu: druhý variant.

		Max. pokrytie z FVE (%)	Max. pokrytie z FVE (kWh)	Úspora nákladov na energiu (€)
<b>Rozdelenie ročnej spotreby energie v domácnosti :</b>	(kWh)			
kúrenie	14985			
ohrev vody	2632,5	60	1579,5	
svietenie + ostatné spotrebiče	1822,5	40	729	
varenie	810			
<b>Ročná spotreba energie v domácnosti spolu</b>	20250			
<b>Max. pokrytie z FVE spolu</b>			2308,5	
<b>Predpoklad. výroba z FVE (ročne)</b>		<b>Inštalovaný výkon 2,46 kWp</b>	<b>2897,1</b>	
<b>Investičné náklady (€)</b>		5000		
<b>Úspora nákladov na energiu podľa:</b>				
<b>Predikcia ceny 2023 NBS (0,30 €/ kWh)</b>				869,14
<b>Predikcia ceny 2023 IFP (0,21 €/ kWh)</b>				608,40

Zdroj: vlastné spracovanie

## Záver

Na základe informácií o lokalite (teplote vzduchu a geomorfológii), sme určili jednotlivé druhy dopadu slnečného žiarenia a vypočítali ročný špecifický fotovoltický výkon zariadenia. Ďalej bola daná do súvisu ročná spotreba rodinného domu, ročná produkcia energie z fotovoltického systému a investičné náklady na fotovoltický systém. Nakoniec bola vyčíslená úspora na celkových nákladoch za energiu dosiahnutá využitím FV systému. Ak v tejto oblasti dokážeme znížiť energetickú potrebu budov a zbaviť ju tak plytvania, potom optimalizovanú potrebu vieme oveľa jednoduchšie pokryť kombináciou z obnoviteľných zdrojov energie, bez ich enormného kapacitného navyšovania. Výrazné zníženie energetickej potreby budov je možné zabezpečiť prostredníctvom hĺbkovej obnovy budov, prostredníctvom ktorej dokážeme znížiť energetickú spotrebu budovy aj o viac ako 60%. Využívanie OZE okrem uvádzaných výhod prináša aj určité riziká. Najvýznamnejšie riziko využívania elektriny zo slnečnej energie sa vyznačuje fluktuáciou jej výroby, ktorá negatívne ovplyvňuje bezpečnosť a spoľahlivosť prevádzkovania elektrizačnej sústavy. Ďalšie riziko súvisí so zvýšenými investičnými nákladmi. Tieto negatívne vplyvy možno minimalizovať starostlivým výberom lokality a zvážením všetkých možných negatívnych dopadov danej technológie. Všeobecne však môžeme tvrdiť, že pozitíva využívania OZE jednoznačne prevažujú nad negatívami najmä pri súčasnom extrémnom stave na trhu s energiami.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404 a Národná infraštruktúra pre podporu transferu technológií na Slovensku II, spolufinancovaných zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



## Literatúra

- [1] F. Janíček, et al, The energy present and future. Amos Ostrava, (2014).
- [2] F. Janíček, et al, Renewable energy resources 1: technologies for a sustainable future. Renesans (2009).
- [3] J. Golej, et al, Post-crisis development of residential real estate prices and their determinants of influence in Slovakia. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, , 3: s. 441-451 (2016).
- [4] Národná banka Slovenska: Ekonomický a menový vývoj jeseň (2022) Dostupné na: <https://nbs.sk/publikacie/ekonomicky-a-menovy-vyvoj>.
- [5] Inštitút finančnej politiky Ministerstva financií Slovenskej republiky: 61. zasadnutie výboru pre makroekonomické prognózy september (2022) Dostupné na: <https://mfsr.sk/sk/financie/institut-financnej-politiky/ekonomicke-prognozy/makroekonomicke-prognozy/61-zasadnutie-vyboru-makroekonomicke-prognozy-september-2022.html>.
- [6] Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia. Zelená domácnosť alebo konajme 3E – ekonomicky, environmentálne, eticky (2016).
- [7] SOLARGIS. Dostupné na: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.4375,3>.
- [8] EU-POWER fotovoltické elektrárne na kľúč september (2022) Dostupné na: <https://eu-power.sk/fotovolticke-elektrarne/>.



# VYHODNOTENIE INVESTÍCIE DO OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV V ČASE ENERGETICKEJ KRÍZY

*Ivan Katrenčík, Monika Zatrochová, Július Golej, Daniela Špírková, Branislav Mišota, Miroslav Pánik*  
*Ústav manažmentu, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská*  
*republika*  
*E-mail: ivan.katrencik@stuba.sk*

## Úvod

V súčasnosti je významnou témou energetická kríza nielen na Slovensku ale aj v celej Európe. Je to dlhodobý proces a všetky krajiny EÚ sa snažia nájsť možnosti, ako sa odstrihnúť od závislosti na dovoze energetických surovín z Ruska. Veľkú úlohu tu zohrávajú obnoviteľné zdroje a návrat k reálnejším a sociálne únosnejším cenám energií [1]. Dosiahnuť to možno len znížením dopytu po energiách. Obnova a energetická efektívnosť budov, vrátane využitia obnoviteľných zdrojov energie, by mala byť súčasťou každého riešenia na trvalé zníženie cien energií. Aby sa uspokojil rastúci dopyt po elektrine a splnili ciele v oblasti klímy, investície do elektrizačnej sústavy sa musia zdvojnásobiť na 55 miliárd EUR ročne a prostriedky na budovanie kapacít v oblasti čistej výroby energie sa musia zvýšiť na 75 miliárd EUR ročne<sup>4</sup>. V tejto súvislosti majú s ohľadom na bezpečnosť dodávok, odstraňovanie energetickej chudoby, zaručenie prijateľných cien a vytváranie pracovných miest veľký význam verejné investície do inteligentných energetických systémov a systémov získavania energie z obnoviteľných zdrojov, ako aj do skladovacej a akumulácie infraštruktúry [3].

## 1. Výsledky

Rezidenčný objekt, ktorý sme v rámci výskumu použili je rodinný dom, ktorý je možné štandardne nájsť na území Slovenska. Vstupné údaje o cenách sme získali pomocou prieskumu trhu dopytovaním od vybraných spoločností poskytujúcich služby predaja a montáže fotovoltaických systémov a pomocou prieskumu na internete. Skúmané zariadenia patria do strednej cenovej a kvalitovej kategórie a sú bežné na trhu dostupné. Samotná simulácia prebiehala v softvérovom riešení od National Renewable Energy Laboratory nazývanej SAM (System Advisor Model) [2]. Dáta o objekte boli získané z vlastných databáz a interným výskumom.

Uvedený návrh domu sme simulovali v dvoch trhových podmienkach. Prvá simulácia prebehla v podmienkach platných v 1Q/2022 a druhá simulácia prebehla v trhových podmienkach platných v septembri 2022. V simuláciách boli použité identické modely nehnuteľnosti aj systému s rovnakými obmedzujúcimi podmienkami.

## Model domu

Modelovaná nehnuteľnosť patrí medzi štandardnej rodinné domy. Mala rozmery 100 m<sup>2</sup> a sedlovú strechu. Bola štandardne zateplená a jej orientácia bola 190 stupňov juhozápadne. Dom bol postavený sedem rokov dozadu a na vykurovanie a ohrev teplej vody využíval plyn alebo tuhé palivá.

Spotreba elektrickej energie bola kalkulovaná pre štvorčlennú rodinu a bola rozpočítaná na jednotlivé mesiace. Následne bol spracovaný hodinový profil spotreby každého dňa počas roka. Ročná spotreba energie bola uvažovaná na 3 248,80 kWh s najväčšou spotrebou v júny až auguste.

Vo výpočte sme uvažovali s meteorologickými podmienkami platnými na západnom Slovensku, v blízkosti hlavného mesta Bratislava (48.191, 17.249, 130 m.n.m.). Dátový súbor, obsahujúci typický meteorologický rok (TMY) bol získaný z nástroja Európskej komisie PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Súbor TMY obsahuje hodinové meteorologické dáta

---

<sup>4</sup> K tomuto záveru dospela federácia európskeho elektroenergetického priemyslu Eurelectric.

za jeden typický rok, ktoré boli získané sledovaním obdobia 12 rokov (2007-2016) a vyhodnotením štandardných dát typických pre danú konkrétnu lokalitu [4].

## Návrh systému

Navrhovaný systém pozostával z jedného 3kW meniča napätia a šiestich monokryštalických solárnych panelov o výkone 455 Wp. Moduly boli rozdelené do dvoch paralelných vedení obsahujúcich po tri solárne panely. Uvažované bolo s umiestnením na streche objektu v sklone 20 stupňov. Celková plocha systému bola 13,044 m<sup>2</sup>.

Straty uvažované v simulácií pozostávali zo strát v dôsledku znečistenia (5,0 %), odrazu žiarenia (1,889 %), odchýlky modulu od štandardných testovacích podmienok (2,7 %), strát na strane vedenia a ostatného príslušenstva (4,5 %). Zároveň sme uvažovali s celkovou degradáciou systému vo výške 0,55 % za rok (na strane DC). Cena zariadenia v 1. simulácií bola 4 434,33 EUR a v 2. simulácií 4 830,64 EUR. Cenový nárast predstavuje 8,94 %.

Prostriedky potrebné na inštaláciu fotovoltaického systému boli uvažované z vlastných zdrojov vlastníka bez potreby dodatočného financovania z cudzích zdrojov. Životnosť systému bola uvažovaná 25 rokov a dlhodobá inflácia bola počítaná na úrovni 2,5 %<sup>5</sup>. Reálna úroková sadzba uvažovaná pri výpočte čistej súčasnej hodnoty, vnútorného výnosového percenta a diskontovanej doby návratnosti bola stanovená na 3,0% a bola získaná zo štúdie AURES 2 (European research project on auction designs for renewable energy support, 3/2021)[6]. Vypočítaná nominálna úroková miera bola 5,57 %.

Prebytky vyrobenej elektrickej energie boli uvažované uchovať za poplatok vo virtuálnej batérii poskytovanej predajcom energie a použité na krytie spotreby domácnosti v časoch, keď systém negeneroval dostatok energie na krytie aktuálnej spotreby [7]. Sadzby elektrickej energie v prvej simulácií boli uvažované 0,1414 EUR/kWh za nákup a 0,0779 EUR/kWh za predaj. V druhej simulácií sme uvažovali s cenami elektriny za nákup 0,1570 EUR/kWh a 0,0971 EUR/kWh za predaj elektriny. Nárast cien je 11,04 % pri nákupe a 24,65 % pri predaji. V sadzbe nákup elektriny je uvažované s dodávkou ako aj s distribúciou elektriny. Sadzba predaj elektriny vyjadruje hodnotu dodávky elektriny z fotovoltaického systému (v simulácií uvažujeme ako o „predaji“, pretože dodávateľ si za uchovanie prebytku energie účtuje distribučné poplatky na úrovni 0,0599 EUR/kWh). V simulácií je uvažovaný aj ročný nárast ceny elektrickej energie na úrovni 0,5 %.

## Výsledky simulácie

V dnešných cenách by domácnosť spotrebovala v prvom roku 606 EUR, čo je o 51 EUR viac, ako to bolo v simulácií z 1Q/2022. Inštaláciu fotovoltaického systému by ušetrila 392 EUR ročne je oproti prvej simulácií o 58 EUR viac. Čistá súčasná hodnota vyšla 1 317 EUR, jednoduchá doba návratnosti 10,8 roka a diskontovaná doba návratnosti 16,4 roka. Prehľad týchto ukazovateľov sa nachádza v tab. 1.

Tab.1 Porovnanie ukazovateľov 1. a 2. simulácie.

Ukazovateľ	1.simulácia	2. simulácia	Rozdiel
Cena elektriny bez PV systému (1. rok)	555 €	606 €	+ 51 €
Cena elektriny s PV systémom (1. rok)	221 €	214 €	- 7 €
Čistá úspora (1. rok)	334 €	392 €	+ 58 €
Čistá súčasná hodnota	644	1 317	+ 673 €
Jednoduchá doba návratnosti	12,1 roka	10,8 roka	- 1,3 roka
Diskontovaná doba návratnosti	19,5 roka	16,4 roka	-3,1 roka

<sup>5</sup> Priemerná hodnota inflácie v eurozóne za obdobie 1985-2021 podľa údajov svetovej banky [5]

Z viacerých zdrojov je predpoklad, že ceny energií v nasledujúcom období ešte prudšie vzrastú [8]. Ak by cena energie hypoteticky vzrástla o 100 %, teda na dvojnásobok súčasnej hodnoty, dostali by sme ešte lepšie výsledky (pri zachovaní aktuálnych cien vstupov do inštalácie). V tomto prípade by čistá súčasná hodnota bola na úrovni 7 330 € a diskontovaná doba návratnosti by bola 6 rokov.

## Záver

Energetika sa stáva v súčasnosti jednou z najdôležitejších oblastí politiky Európskej únie (EÚ). Klimatické zmeny, zvýšená závislosť od dovozu fosílnych palív a vyššie ceny energie sú problémami každej členskej krajiny EÚ. Bezpečné dodávky energie si vyžadujú vhodnú kombináciu vnútorných a vonkajších politík [9]. Slovenská republika (SR) ako právoplatný člen Európskej únie sa v oblasti energetiky riadi nielen národnou legislatívou, ale aj legislatívou európskou. V dôsledku toho sa účastníci trhu s elektrinou stále viac stretávajú s právnymi predpismi EÚ v oblasti energetiky, ktoré v posledných rokoch významne ovplyvňujú národnú legislatívu SR [10].

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, Kód ITMS: 313021W404 a Národná infraštruktúra pre podporu transferu technológií na Slovensku II, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



## Literatúra

- [1] A.S, Petit Press. Diskusia naživo: Úspory energií a obnoviteľné zdroje energie v čase krízy. *domov.sme.sk* [online]. [vid. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://domov.sme.sk/c/23019434/uspory-energiei-a-obnovitelne-zdroje-energie-v-case-krizy.html>.
- [2] *Home - System Advisor Model (SAM)* [online]. [vid. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://sam.nrel.gov/>.
- [3] KATTNIG, Thomas a Lutz RIBBE. TEN/771 – EESC-2022-00827-00-00-AS-TRA (EN) 12/12: Public investment in energy infrastructure as part of the solution to climate issues. In: . 7.9.2022.
- [4] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [vid. 2022-02-25]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).
- [5] *Inflation, consumer prices (annual %) - Slovak Republic | Data* [online]. [vid. 2022-10-05]. Dostupné z: <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG?end=2021&locations=SK&start=1992&view=chart>.
- [6] ROTH, Augustin, Robert BRÜCKMANN, Moira JIMENO, Mak DUKAN, Lena KITZING, Barbara BREITSCHOPF, Abigail ALEXANDER-HAW a Ana BLANCO. *Renewable energy financing conditions in Europe: survey and impact analysis*. [online]. B.m.: Technical University of Denmark. 2021. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5daaba9f4&appId=PPGMS>
- [7] *Virtuálna batéria - ZSE* [online]. [vid. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.zse.sk/fotovoltika-virtualna-bateria>.
- [8] *Analýza ÚRSO: Extrémne vysoké trhové ceny elektriny a zemného plynu môžu zásadne ovplyvniť regulované ceny energií v roku 2023 | Úrad pre reguláciu sieťových odvetví* [online]. [vid. 2022-09-30]. Dostupné z: <https://www.urso.gov.sk/analiza-urso-extremne-vysoke-trhove-ceny-elektriny-a-zemneho-plynu-mozu-zasadne-ovplyvnit-regulovane-ceny-energiei-v-roku-2023/>.
- [9] PITORÁK, M. Klimaticko- energetický balíček. *Pro-energy*. 2008, (č.2), 36–39. ISSN 1802-4599.
- [10] JANÍČEK, František a kol. *Model trhu s elektrinou, Technické aspekty výroby, prenosu a distribúcie elektriny v Slovenskej republike*. Bratislava: Renesans, 2009. ISBN 978-80-89402-11-3.



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ  
UNIVERZITA V BRATISLAVE



**Zborník:**  
**INTELIGENTNÉ A BEZPEČNÉ INFORMAČNO KOMUNIKAČNÉ  
TECHNOLÓGIE A SYSTÉMY**

**Editor:** Miriam Szabová, Milan Perný, Zoltán Kováč

**Recenzenti:** Vladimír Šály, Vladimír Nečas, Gregor Rozinaj, Attila Kment, František Janíček, Michal Riess, Peter Chochol, Roman Behul, Miroslav Pánik

Všetky uverejnené príspevky boli recenzované.

Zborník sa vydáva aj v elektronickej forme s prideleným osobitným ISBN.

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave 2022.

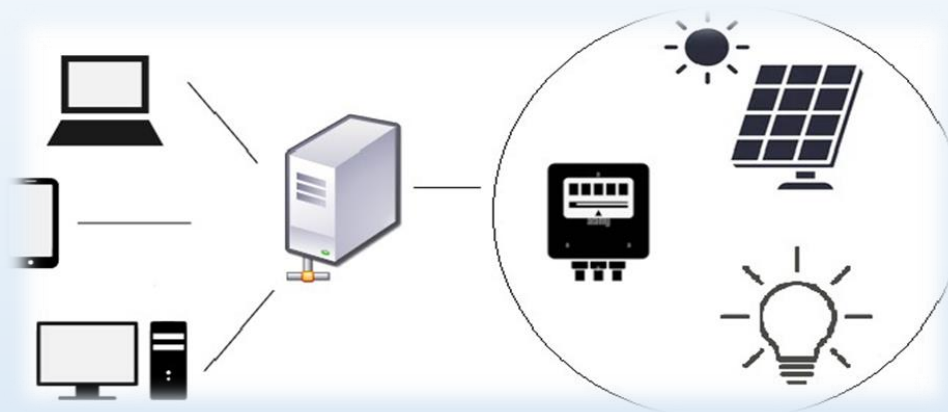
Grafická úprava: Ing. Milan Perný, PhD.

Prvé vydanie

Náklad: 50 ks

**ISBN 978-80-227-5230-5**





Tento zborník príspevkov a konferencia boli podporené Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0157 pre projekt „Efektívne prepojenie energetických systémov miest pomocou pokročilých otvorených technológií“.



Konferencia bola organizovaná s podporou v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.