

Michal Kolcun, Dušan Medveď

Budúcnosť udržateľnej elektroenergetiky na Slovensku

Budúcnosť udržateľnej elektroenergetiky na Slovensku je dôležitou témou v kontexte prebiehajúcej transformácie energetického sektora na udržateľné a nízkouhlíkové systémy. Tento článok analyzuje súčasný stav slovenského energetického mixu, pričom identifikuje hlavné limitujúce faktory a analyzuje nové príležitosti pre rozvoj obnoviteľných zdrojov energie, ako sú vodná energia, biomasa, slnečná a veterná energia. Zohľadňuje najnovšie technologické inovácie vrátane inteligentných sietí, vodíkových technológií a malých modulárnych reaktorov, ktoré zásadne ovplyvnia budúcnosť energetiky. Článok tiež pojednáva o legislatívnom a regulačnom prostredí, zdôrazňuje potrebu zosúladenia národných politík s európskymi klimatickými cieľmi. Okrem toho článok identifikuje bariéry v implementácii udržateľných riešení, ako sú technické a finančné prekážky či environmentálne a spoločenské obmedzenia.

Kľúčové slová: udržateľná elektroenergetika, obnoviteľné zdroje energie, energetická transformácia, energetická legislatíva

The future of sustainable electricity generation in Slovakia is a important topic in the context of the ongoing transformation of the energy sector into sustainable and low-carbon systems. This article analyzes the current state of Slovakia's energy mix, identifying the main limiting factors and exploring new opportunities for the development of renewable energy sources such as hydropower, biomass, solar, and wind energy. It considers the latest technological innovations, including smart grids, hydrogen technologies, and small modular reactors, which are expected to significantly influence the future of energy production. The article also discusses the legislative and regulatory framework, emphasizing the need to align national policies with European climate goals. Furthermore, it identifies barriers to the implementation of sustainable solutions, such as technical and financial challenges, as well as environmental and societal constraints. **(The future of sustainable electricity generation in Slovakia)**

Keywords: sustainable electricity generation, renewable energy sources, energy transformation, energy legislation

I. ÚVOD

V súčasnosti Slovensko čelí významným výzvam v oblasti elektroenergetiky, ktoré súvisia s prechodom na udržateľné a nízkouhlíkové zdroje energie. Napriek postupnému zvyšovaniu podielu obnoviteľných zdrojov energie (OZE) v energetickom mixe krajiny, ich využívanie stále zaostáva za svojim využiteľným potenciálom. Podľa Slovenskej organizácie pre obnoviteľné zdroje energie, OZE tvoria čoraz vyšší podiel na celkovej výrobe energie na Slovensku, avšak stále existuje značný priestor na ich ďalší rozvoj.

V rámci Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky sú naplánované investície do modernizácie a digitalizácie prenosovej sústavy a regionálnych distribučných sústav, čo je dôležité pre integráciu ďalších OZE do elektrizačnej sústavy.

Napriek týmto iniciatívam však Slovensko stále čelí byrokratickým prekážkam, ktoré spomaľujú rozvoj energetiky. Odborníci sa zhodujú, že byrokracia je hlavnou brzdou slovenskej energetiky, ktorá komplikuje implementáciu nových projektov a investícií.

Okrem toho, napriek spusteniu nových jadrových elektrární, štát počíta s tým, že po roku 2030 bude potrebné elektrinu dovážať, teda poukazuje na potrebu ďalšieho rozvoja domácich obnoviteľných zdrojov.

V tomto kontexte je nevyhnutné analyzovať súčasný stav slovenského energetického mixu, identifikovať hlavné limitujúce faktory a preskúmať nové príležitosti pre rozvoj OZE, ako sú vodná energia, biomasa, slnečná a veterná energia. Zároveň je potrebné zohľadniť najnovšie technologické inovácie vrátane inteligentných sietí, vodíkových technológií a malých modulárnych reaktorov, ktoré zásadne ovplyvnia budúcnosť energetiky.

Tento článok sa preto zameriava na komplexnú analýzu uvedených aspektov s cieľom poskytnúť prehľad o súčasnom stave a perspektívach udržateľnej elektroenergetiky na Slovensku.

II. SÚČASNÝ ENERGETICKÝ MIX SLOVENSKA

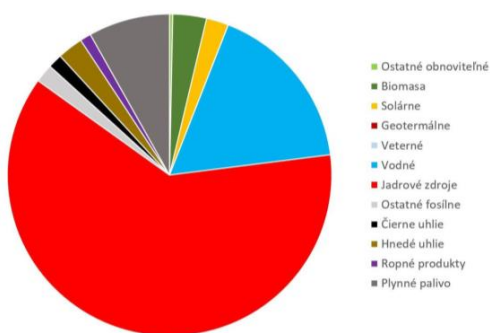
Slovenská republika sa vyznačuje špecifickým energetickým mixom, v ktorom dominujú jadrové zdroje. Podľa údajov spoločnosti OKTE, a.s., v roku 2023 dosiahla celková výroba elektriny na Slovensku 27,49 TWh. Z tohto objemu pochádzalo až 61,98 % z jadrových elektrární, čo predstavuje približne 17 TWh. Tento vysoký podiel radí Slovensko na druhé miesto v rámci Európskej únie vo využívaní jadrovej energie, hneď po Francúzsku.

Obnoviteľné zdroje energie sa na výrobe elektriny podieľali 22,99 %, teda približne 6,32 TWh. Medzi OZE dominujú vodné elektrárne s podielom 17,09 % (4,7 TWh), nasledované biomasou (3,36 %) a fotovoltickou energiou (2,21 %). Veterné elektrárne prispievajú len minimálne, s podielom 0,01 %.

Fosílné zdroje energie, vrátane zemného plynu, uhlia a ropných produktov, sa na výrobe elektriny podieľali 16,04 %. Z toho najväčší podiel mal zemný plyn (8,12 %), nasledovaný hnedým uhlím (2,55 %) a čiernym uhlím (1,42 %).

V porovnaní s predchádzajúcimi rokmi došlo k miernemu nárastu podielu OZE, avšak celkový podiel fosílnych palív zostáva významný. Napriek tomu, že Slovensko v roku 2023 spustilo tretí blok jadrovej elektrárne Mochovce, ktorý prispel k zvýšeniu podielu jadrovej energie, podiel OZE v energetickom mixe stagnuje okolo úrovne 17 %.

Pre lepšiu ilustráciu súčasného energetického mixu Slovenska uvádzame nasledujúci graf.



Obr. 1. Národný energetický mix v roku 2023

Tento graf zobrazuje podiel jednotlivých zdrojov energie na celkovej výrobe elektriny v roku 2023, pričom jasne ukazuje dominanciu jadrových zdrojov a významný podiel vodných elektrární medzi obnoviteľnými zdrojmi.

III. POTENCIÁL OBNOVITELNÝCH ZDROJOV ENERGIE NA SLOVENSKU

Slovensko disponuje rôznorodými obnoviteľnými zdrojmi energie, ktorých potenciál je zatiaľ využívaný len čiastočne. Prechod na OZE je dôležitý pre dosiahnutie energetickej sebestačnosti a zníženie emisií skleníkových plynov.

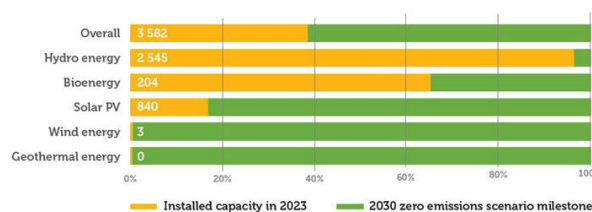
Vodná energia je najviac využívaným obnoviteľným zdrojom na Slovensku. Na konci roka 2023 predstavovala až 71 % z celkovej inštalovanej kapacity OZE v krajine. Napriek tomu existuje priestor pre ďalší rozvoj, najmä prostredníctvom modernizácie existujúcich vodných elektrární a výstavby malých vodných elektrární.

Fotovoltaika zaznamenala v posledných rokoch výrazný nárast. V roku 2023 tvorila 23 % z inštalovanej kapacity OZE na Slovensku. Pokles nákladov na fotovoltaické panely a batériové systémy o viac než polovicu za posledné roky prispel k zvýšenému záujmu zo strany domácností aj firiem.

Napriek vhodným podmienkam, najmä na západnom Slovensku, je využívanie **veternej energie** minimálne. Aktuálne je inštalovaných len 3 MW výkonu z veterných elektrární. Administratívne prekážky a legislatívne obmedzenia brzdia rozvoj tohto segmentu.

Biomasa a **bioplyn** prispievajú k inštalovanej kapacite OZE približne 6%. Využívanie týchto zdrojov má potenciál najmä v decentralizovanej výrobe energie a v kombinovanej výrobe tepla a elektriny.

Napriek tomu, že Slovensko má 25 perspektívnych oblastí s geotermálnymi zdrojmi, tieto sa zatiaľ nevyužívajú na výrobu elektriny. **Geotermálna energia** sa aktuálne využíva predovšetkým na vykurovanie kúpalísk a v rekreačných zariadeniach.



Obr. 2. Inštalovaná kapacita OZE na Slovensku v roku 2023 (MW). Zelená krivka je prognóza inštalovaného výkonu pre dosiahnutie nulových emisií

Tento graf zobrazuje podiel jednotlivých obnoviteľných zdrojov na celkovej inštalovanej kapacite OZE na Slovensku v roku 2023.

Pre efektívne využitie potenciálu OZE na Slovensku je nevyhnutné odstrániť administratívne bariéry, podporiť investície do moderných technológií a zabezpečiť stabilné legislatívne prostredie.

IV. IMPLEMENTÁCIA INOVATÝVYCH RIEŠENÍ V SLOVENSKEJ ENERGETIKE

Slovensko sa v posledných rokoch intenzívne zameriava na modernizáciu svojho energetického sektora prostredníctvom inovácií a implementácie pokročilých technológií. Cieľom je zvýšiť efektívnosť, spoľahlivosť a udržateľnosť dodávok energie, pričom sa kladie dôraz na integráciu obnoviteľných zdrojov a znižovanie emisií skleníkových plynov.

Jedným z dôležitých prvkov modernizácie energetickej infraštruktúry sú **inteligentné siete**, ktoré umožňujú efektívnejšie riadenie tokov elektriny medzi výrobcami a spotrebiteľmi. Implementácia týchto sietí na Slovensku zahŕňa nasadenie pokročilých meracích systémov, automatizáciu distribučných sietí a integráciu decentralizovaných zdrojov energie. Cieľom je zvýšiť flexibilitu a odolnosť energetického systému, ktoré je nevyhnutné pre integráciu vyššieho podielu obnoviteľných zdrojov energie.

Vodík sa čoraz viac považuje za perspektívne palivo budúcnosti, ktoré prispeje k dekarbonizácii rôznych sektorov vrátane energetiky, dopravy a priemyslu. Na Slovensku prebiehajú viaceré iniciatívy zamerané na výskum, vývoj a implementáciu vodíkových technológií, teda napríklad aj aktivity súvisiace s využitím vodíka v doprave a energetike.

Malé moduly reaktory (SMR) predstavujú inovatívny prístup k jadrovej energetike, ktorý ponúka výhody v podobe menších investičných nákladov, zvýšenej bezpečnosti a flexibility pri umiestňovaní. Na Slovensku sa diskutuje o možnostiach nasadenia SMR ako doplnku k existujúcim veľkým jadrovým elektrárnam, ktorý by prispel k stabilite dodávok elektriny a zníženiu emisií.

Trend smerujúci k **decentralizácii výroby energie** naberá na význame aj na Slovensku. Spoločnosti ako ČEZ ESCO plánujú rozvíjať projekty v oblasti decentralizovanej energetiky, ktoré podporia plnenie európskych cieľov a záujmov. Tieto iniciatívy zahŕňajú výstavbu lokálnych zdrojov energie, ako sú fotovoltaické elektrárne, malé vodné elektrárne či kogeneračné jednotky, ktoré zvyšujú energetickú sebestačnosť regiónov a znižujú straty pri prenose elektriny.

Ministerstvo hospodárstva SR aktívne podporuje **inovačné projekty v energetike** prostredníctvom rôznych programov a iniciatív. Organizujú sa workshopy a diskusie zamerané na obnoviteľné zdroje a inovácie v energetike, ktoré slúžia ako priestor pre výmenu skúseností a prezentáciu nových technológií.



Obr. 3. Princípová schéma inteligentnej siete

Tento obrázok znázorňuje koncept inteligentnej siete, ktorá integruje rôzne zdroje energie a umožňuje efektívne riadenie tokov elektriny medzi výrobcami a spotrebiteľmi.

V. LEGISLATÍVA A ENERGETIKA

Slovenská republika sa v oblasti energetiky riadi komplexným súborom legislatívnych a regulačných predpisov, ktoré sú v súlade s európskymi smernicami a nariadeniami. Cieľom týchto predpisov je zabezpečiť bezpečnú, udržateľnú a konkurencieschopnú energetiku, ktorá podporuje prechod na nízkouhlíkové hospodárstvo.

V súlade s požiadavkami Európskej únie Slovensko vypracovalo Integrovaný **národný energetický a klimatický plán** (NECP) na roky 2021 – 2030. Tento plán stanovuje ciele v oblasti znižovania emisií skleníkových plynov, zvyšovania podielu obnoviteľných zdrojov energie a zlepšovania energetickej efektívnosti. Konkrétne, Slovensko sa zaviazalo dosiahnuť 19,2 % podiel OZE na hrubej konečnej spotrebe energie do roku 2030.

V roku 2024 schválil slovenský parlament *novelu zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie* (EIA). Táto novela prináša zjednodušenie a zrýchlenie procesov environmentálneho posudzovania prostredníctvom zníženia procesnej náročnosti a zvýšenia požiadaviek na odbornosť. Cieľom je obmedziť byrokratické prieťahy a podporiť dynamický rozvoj Slovenska pri súčasnom rešpektovaní európskych záväzkov.

Úrad pre reguláciu sieťových odvetví (ÚRSO) zohráva významnú úlohu v nastavovaní **regulačného rámca pre elektroenergetiku** na Slovensku. Regulačná politika ÚRSO je zameraná na podporu rozvoja OZE, zvyšovanie energetickej efektívnosti a zabezpečenie spravodlivých podmienok pre všetkých účastníkov trhu. Jedným z cieľov je vytvorenie jednotného trhu s podpornými službami a umožnenie prístupu nových aktérov, ako sú agregátori flexibility.

V októbri 2022 bola do slovenskej energetickej legislatívy zavedená nová kategória subjektov – **energetické komunity a aktívni odberatelia**. Tieto subjekty umožňujú občanom, obciam a malým podnikom spoločne vyrábať, spotrebúvať, uchovávať a predávať energiu z OZE. Cieľom je podporiť decentralizáciu energetiky a zvýšiť podiel OZE na lokálnej úrovni.



Obr. 4. Schéma procesu posudzovania vplyvov na životné prostredie (EIA)

VI. UDRŽATEĽNÁ ENERGETIKA NA SLOVENSKU

Prechod na udržateľnú elektroenergetiku na Slovensku sprevádza množstvo limitujúcich faktorov, ktoré je potrebné prekonať na dosiahnutie stanovených cieľov v oblasti obnoviteľných zdrojov energie a znižovania emisií skleníkových plynov.

• Administratívne a legislatívne prekážky

Jednou z hlavných prekážok je zložitý administratívny proces pri schvaľovaní a povoľovaní nových projektov OZE. Investori často čelia zdĺhavým postupom, ktoré spomaľujú implementáciu projektov.

V rokoch 2012 až 2014 boli identifikované bariéry rozvoja energetických služieb na Slovensku, ako nízke povedomie o garantovaných energetických službách (GES) a nízka dôvera voči poskytovateľom GES. Niektoré z týchto bariér boli odstránené zákonom č. 321/2014 Z. z. o energetickej efektívnosti, avšak naďalej ostáva výzvou odstránenie prekážok najmä v oblasti pružnosti dopytu, regulácie a nastavenia vhodných podporných schém.

• Finančné bariéry

Financovanie projektov OZE predstavuje ďalšiu významnú výzvu. Napriek dostupnosti európskych a národných fondov sú často potrebné vysoké počiatočné investície, ktoré zvyknú odradiť potenciálnych investorov. Významným finančným mechanizmom pre podporu rozvoja elektroenergetiky na Slovensku je Plán obnovy a odolnosti – REPowerEU, ktorého ťažiskovou investíciou je (o.i.) modernizácia a digitalizácia prenosovej sústavy a regionálnych distribučných sústav.

• Technologické výzvy

Integrácia OZE do existujúcej energetickej sústavy prináša technologické výzvy, ako je potreba modernizácie infraštruktúry, zavádzanie inteligentných sietí a riešenie otázok súvisiacich s uskladňovaním energie. Nedostatočná flexibilita a odolnosť sústavy častokrát vedú k nestabilite dodávok elektriny.

• Spoločenské a environmentálne bariéry

Nedostatočné povedomie verejnosti o výhodách OZE a obavy z možných negatívnych vplyvov na životné prostredie spôsobujú odpor voči novým projektom. Je potrebné zvyšovať informovanosť a zapájať verejnosť do rozhodovacích procesov.

• Nedostatok kvalifikovanej pracovnej sily

Rozvoj OZE vyžaduje kvalifikovanú pracovnú silu v oblasti inštalácie, údržby a prevádzky nových technológií. Nedostatok odborníkov častokrát spomaľuje implementáciu projektov a znižuje ich efektívnosť.



Obr. 5. Bariéry rozvoja OZE na Slovensku

VII. ZÁVER

Slovensko sa nachádza na križovatke významných zmien vo svojom energetickom sektore, pričom rozhodnutia prijaté v nadchádzajúcich rokoch budú mať zásadný vplyv na jeho budúcnosť. Transformácia smerom k udržateľnej elektroenergetike nie je len povinnosťou vyplývajúcou z medzinárodných záväzkov, ako je Parížska dohoda či klimatické ciele Európskej únie, ale aj príležitosťou na posilnenie energetickej nezávislosti krajiny, zvýšenie kvality života jej obyvateľov a zabezpečenie udržateľného hospodárskeho rozvoja.

Analýza súčasného stavu poukazuje na to, že Slovensko má potenciál výrazne zlepšiť podiel obnoviteľných zdrojov energie, a to

predovšetkým vo využití vodnej, slnečnej, veternej energie či biomasy. Inovácie, ako inteligentné siete, vodíkové technológie či malé modulárne reaktory, budú pravdepodobne v budúcnosti zohrávať dôležitú úlohu pri riešení technologických výziev, ako je integrácia obnoviteľných zdrojov do siete alebo zabezpečenie stability energetického systému.

Významnú úlohu v tomto procese zohráva legislatívne a regulačné prostredie. Nové opatrenia, ako zavedenie energetických komunít a zjednodušenie administratívnych procesov pri povoľovaní projektov, naznačujú, že Slovensko začína reagovať na výzvy v oblasti udržateľnej energetiky. Napriek tomu je potrebné pokračovať v odstraňovaní systémových bariér, zefektívňovaní procesov a poskytovaní jasnej a stabilnej legislatívy.

Zároveň je dôležité zapojenie spoločnosti do transformačného procesu. Zvýšenie povedomia verejnosti o výhodách obnoviteľných zdrojov energie a o pozitívnom vplyve na životné prostredie zmierni odpor voči novým projektom a zvýši ich akceptáciu. Vzdelávanie v tejto oblasti, podpora verejno-súkromných partnerstiev a transparentná komunikácia zohrávajú dôležitú úlohu v budovaní dôvery a podpore transformácie.

Slovensko by preto malo využiť svoje geografické, technické a ekonomické výhody na rozvoj udržateľného energetického systému, ktorý nielenže prispeje k znižovaniu emisií skleníkových plynov, ale aj k posilneniu jeho energetickej bezpečnosti.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576.

LITERATÚRA

- [1] Hulshorst, W., et al.: *The Role of Small Modular Reactors in a Decarbonized Future: A Systemic Analysis*. Journal of Energy Engineering, 2023, 149(2), ISSN 0402-3002. doi: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000793.
- [2] Kolcun, M., Beňa, L., Mészáros, A.: *Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy*. 1. vyd., Košice: TU, 2009, 265 s, ISBN 978-80-553-0323-9.
- [3] *Národný energetický mix 2023*. Energetický portál Slovenskej republiky [online]. Bratislava: OKTE, 2023. Dostupné z: <https://www.okte.sk/sk/zaruky-povodu/narodny-energeticky-mix/2023>.
- [4] *Inovácie hýbu svetom: Dôležité sú aj v energetike*. Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky [online]. Bratislava: MHSR, 2024. Dostupné z: <https://www.mhsr.sk/press/inovacie-hybu-svetom-dolezite-su-aj-v-energetike>.
- [5] *Návrh aktualizovaného Národného energetického a klimatického plánu Slovenska na roky 2021–2030*. Európska komisia [online]. Brusel: Európska komisia, 2024. Dostupné z: <https://commission.europa.eu/system/files/2023-09/SLOVAKIA%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021-2030.pdf>.
- [6] Martinko, D., Kolcun, M.: *Vplyv rôznych penetrácií domácich FVE na nízkonapäťovú distribučnú sieť*. In: Electrical Engineering and Informatics 13. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2022. s. 45–50. ISBN 978-80-553-3935-3.
- [7] Kolcun, M., Beňa, L., Mészáros, A.: *Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy*. 1. vyd., Košice: TU, 2009, 265 s, ISBN 978-80-553-0323-9.

ADRESY AUTOROV

Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., doc. Ing. Dušan Medved', PhD.,
Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74,
Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Michal.Kolcun@tuke.sk,
Dusan.Medved@tuke.sk