

Július Šimčák, Kristián Eliáš, František Kurimský, Dušan Medved'

Mikrogrid ako nástroj na riešenie elektromobility

Mikrogridy predstavujú udržateľné a flexibilné riešenie pre výzvy spojené s rastúcou elektromobilitou. Počet elektromobilov neustále narastá, čo vedie k zvýšeným nárokom na infraštruktúru, najmä pokiaľ ide o kvalitu a stabilitu dodávanej elektrickej energie. Nabíjanie elektromobilov, predovšetkým prostredníctvom rýchlonabíjačiek s vysokým výkonom, predstavuje pre distribučnú sieť výraznú záťaž z hľadiska optimalizácie záťaže a riadenia špičiek. Navyše, ich nepravidelné a náhodné pripojenie do siete zvyšuje zložitosť celého systému. Súčasne s rozvojom elektromobility zaznamenávame rastúci trend integrácie obnoviteľných zdrojov energie, ako sú solárne a veterné elektrárne. Práve mikrogridy umožňujú efektívne prepájať tieto zdroje s nabíjacími infraštruktúrami a zmierniť ich dopad na kvalitu elektrickej energie. Pomocou lokálnej výroby a uskladnenia energie umožňujú mikrogridy inteligentné riadenie spotreby, optimalizáciu nabíjania a stabilizáciu siete, čím významne prispievajú k udržateľnému rozvoju elektromobility.

Kľúčové slová: elektromobilita, mikrosieť, obnoviteľné zdroje,

Microgrids are a sustainable and flexible solution to the challenges of growing electromobility. The number of electric vehicles is continuously increasing, leading to increased demands on infrastructure, especially in terms of the quality and stability of the electricity supply. Charging EVs, particularly through high-power fast chargers, places a significant burden on the distribution network in terms of load optimisation and peak management. Moreover, their irregular and random connection to the grid increases the complexity of the whole system. In parallel with the development of electromobility, we are seeing a growing trend towards the integration of renewable energy sources such as solar and wind. It is microgrids that allow these sources to be efficiently interconnected with charging infrastructures and mitigate their impact on power quality. Through local energy generation and storage, microgrids enable smart consumption management, charging optimization, and grid stabilisation, thus making an important contribution to the sustainable development of electromobility.

(Microgrid as a solution for electromobility)

Keywords: electromobility, microgrid, renewable sources

I. ÚVOD

Elektromobilita v posledných rokoch zaznamenáva dynamický rast, čo so sebou prináša množstvo výziev, najmä v oblasti energetickej infraštruktúry. Kľúčovým predpokladom ďalšieho rozvoja elektrických vozidiel je dostupnosť spoľahlivých a efektívne rozmiestnených nabíjacích staníc. Ich umiestnenie a prevádzka si však vyžadujú dôkladnú analýzu existujúcej distribučnej elektrickej siete s cieľom zabezpečiť dostatočnú kapacitu, stabilitu a kvalitu dodávanej energie. Tento článok sa zameriava na technické postupy, analytické prístupy a strategické úvahy spojené s hodnotením elektrickej siete, ktoré sú nevyhnutné pre úspešnú a udržateľnú implementáciu nabíjacích bodov v rámci rozvoja elektromobility.

II. MIKROSIEŤ

Pripojenie menších, miestnych zdrojov energie do energetickej siete sa stáva základom nového spôsobu výroby a distribúcie elektriny. Tento trend vzniká najmä s cieľom intenzívnejšie využívať obnoviteľné a miestne zdroje, očakávaným nedostatkom fosílnych palív v budúcnosti, rastúcou liberalizáciou trhu s elektrinou a rastúcimi obavami z vplyvu tradičnej výroby energie na životné prostredie. Tieto faktory menia spôsob výroby a distribúcie elektriny a prinášajú nové technické výzvy. Práve preto vznikol pojem mikrosieť — prepojená skupina malých zdrojov energie, batérií a spotrebičov. Ich využívanie však nie je bez problémov. Jedným z najväčších je zabezpečenie spoľahlivej ochrany siete pred poruchami. Zložitosť systému zvyšujú premenlivé prúdy pri poruchách, tok energie v oboch smeroch, vyššie odporové straty a kvalita komunikácie medzi zariadeniami. Ochranný systém musí fungovať presne, rýchlo a spoľahlivo v každom režime prevádzky.

Tento článok sa venuje fungovaniu triedavých, jednosmerných a hybridných mikrosietí, problémom, ktoré pri nich vznikajú, a dostupným riešeniam ochrany. Prináša tiež prehľad súčasných výziev a možných stratégií ochrany v režime pripojenia k sieti aj v prípade samostatnej prevádzky mikrosiete. [1]

Mikrosieť rozšírená o moderné technológie založená na výkonovej elektronike môže ponúknuť lepšiu kvalitu dodávky energie, vyššiu energetickú účinnosť a vyššiu spoľahlivosť služieb. [2] Zapojenie rôznych malých zdrojov energie a nový spôsob ich riadenia narúšajú tradičné modely správy toku elektrickej energie. Výskum zameraný na mikrosiete si získal veľkú popularitu, keďže zahŕňa viaceré oblasti výkonovej elektroniky a energetických systémov. [3] Myšlienka mikrosietí vznikla najmä z dvoch hlavných dôvodov: uľahčiť modernizáciu klasických elektrických sietí pre široké využitie malých zdrojov energie a efektívnejšie riadiť ich vplyv na sieť.

Mikrosiete nielenže udržiavajú kvalitu služieb, ale pomáhajú aj pri poskytovaní neprerušovaných služieb. Mikrosiete majú rôzne distribuované zdroje energie a môžu pracovať pri nízkom distribučnom napätí. Majú schopnosť pracovať v režime on-grid alebo off-grid. [4] Mikrosieť môže zjednodušiť realizáciu rôznych funkcií inteligentnej siete, ako je digitálna a obojsmerná komunikácia, distribuovaná výroba, samomonitorovanie, samoregenerácia, adaptívny a ostrovný režim, diaľková kontrola a pokročilé riadenie. Mikrosieť je vhodným riešením na zmiernenie problémov súvisiacich s obmedzenými fosílnymi palivami a môže účinne riešiť viaceré otázky v oblasti výroby energie. Medzi najdôležitejšie z týchto otázok patrí prevádzka v normálnom aj ostrovnom režime, ochrana, kvalita energie, bezpečnosť, regulácia napätia a frekvencie, stabilita systému a riadenie energie. Mikrosiete ponúkajú mnoho technických výziev, napriek početným výhodám.

Ochrana je jednou z nich a vyžaduje si osobitnú pozornosť. Ochrana mikrosiete je nevyhnutná pre spoľahlivú a hospodárnu prevádzku. Ochranný systém musí byť schopný zvládnuť akýkoľvek typ poruchy bez narušenia celého systému. Musí fungovať v čo najkratšom čase a spĺňať požiadavky oboch režimov — sieťového aj ostrovného. Proces ochrannej schémy zahŕňa identifikáciu poruchy, odpojenie chybných oblastí od zvyšku systému a odstránenie poruchy v minimálnom čase. Preto je návrh ochrannej schémy kľúčový. [5], [6], [7]

1. AC microgrid

V striedavých mikrosieťach je potrebné zabezpečiť synchronizáciu viacerých zložiek, medzi ktoré patria činný výkon, jalový výkon, nesymetrické zložky a harmonické. Naopak, v jednosmerných mikrosieťach sa riadi predovšetkým jednosmerný výkon, čo spôsobuje, že ich riadiace systémy sú v porovnaní so striedavými mikrosieťami menej zložité. Pri premene energie z fotovoltického (PV) systému na striedavý prúd sa využívajú DC-AC meniče. Keď je potrebné premeniť striedavý prúd na jednosmerný na napájanie jednosmerných záťaží, používajú sa usmerňovače. Striedavé záťaže sú napájané priamo zo striedavej zbernice bez nutnosti ďalšej konverzie. Veterné energetické zdroje sú na striedavú zbernicu napojené prostredníctvom meničov, ktoré umožňujú reguláciu činného aj jalového výkonu. Prepojenie so sieťou je pomerne jednoduché, keďže stačí zabezpečiť súlad fázy medzi hlavnou sieťou a mikrosieťou. [8]

2. DC microgrid

Jednosmerná sieť umožňuje priame pripojenie rôznych jednosmerných záťaží bez potreby konverzie, čo prispieva k zníženiu nákladov na výkonové meniče a zároveň zvyšuje celkovú energetickú účinnosť systému. Pre napájanie striedavých záťaží je však nevyhnutné použiť DC-AC meniče. Vzhľadom na rastúci význam jednosmerných obnoviteľných zdrojov energie sa výskum v oblasti jednosmerných mikrosietí dynamicky rozvíja. [8]

3. Hybrid AC-DC microgrid

Jednotlivé architektúry jednosmerných aj striedavých mikrosietí sa kombinujú do hybridných mikrosietí. Hybridná AC-DC mikrosieť preto zahŕňa výhody DC mikrosiete aj AC mikrosiete. [8]

III. ELEKTROMOBILITA

Vývoj elektromobilov za posledné roky výrazne pokročil. Z kedysi nedostupných a drahých vozidiel sa stali verejne dostupnou alternatívou ku konvenčným spaľovacím automobily. Moderné elektromobily dnes ponúkajú dojazd, ktorý je porovnateľný s bežnými vozidlami na fosílnu palivú, čo ich robí čoraz atraktívnejšími pre širokú verejnosť. Najväčší rozdiel však stále predstavuje spôsob a trvanie dopĺňania energie. Zatiaľ čo tankovanie klasického auta trvá len niekoľko minút, nabíjanie elektromobilu, najmä mimo rýchlonabíjajúcich staníc, je stále časovo náročnejšie. Práve táto skutočnosť ostáva jednou z hlavných výziev, ktorú musí elektromobilita prekonať, ak má plnohodnotne konkurovať tradičným pohonom. Jedným z najdôležitejších technických parametrov elektromobilu je dojazd — teda vzdialenosť, ktorú vozidlo dokáže prejsť na jedno nabitie. Tento údaj závisí predovšetkým od kapacity trakčnej batérie, ale aj od štýlu jazdy, klimatických podmienok, profilu trasy a celkovej efektivity vozidla. [9]

Moderné elektromobily ponúkajú batérie s kapacitou bežne v rozsahu od 35 kWh do 100 kWh, čo v praxi znamená dojazd približne od 200 km až po viac než 500 km na jedno nabitie. Prémiové modely môžu dokonca prekročiť hranicu 600 km, čím sa do značnej miery vyrovnávajú spaľovacím motorom, najmä pri jazde v mestskom alebo zmiešanom režime. Dojazd elektromobilu ovplyvňuje viacero faktorov, pričom najzásadnejšou premennou je kapacita batérie (kWh) — čím vyššia kapacita, tým väčší potenciálny dojazd. Významnú úlohu zohráva aj hmotnosť vozidla, keďže ťažšie automobily spotrebujú viac

energie. Rýchlosť jazdy a štýl šoférovania — najmä prudká akcelerácia alebo dlhodobá jazda vysokou rýchlosťou — znižujú energetickú efektivitu. Dojazd ovplyvňujú aj klimatické podmienky; pri nízkych teplotách môže účinnosť batérie klesnúť o 20–40 %, pričom využívanie klimatizácie či kúrenia odoberá energiu priamo z batérie. Na druhej strane, elektromobily dokážu časť spotrebovanej energie získať späť pomocou rekuperačného brzdenia, čo výrazne zvyšuje ich efektivitu — najmä v mestskej premávke so zvýšeným počtom zastavení. [9]

TABUĽKA I
Porovnanie dostupnosti EV [14]

Model EV	Cena (EUR)	Kapacita batérie (kWh)
Tesla Model 3	55,000 – 60,000	75
Volkswagen ID.4 Pro	45,000 – 50,000	77
Polestar 2 Long Range	50,000 – 55,000	79
BMW i4 eDrive40	65,000 – 70,000	81.3
Audi Q4 e-tron 45	50,000 – 55,000	81.6
Hyundai Ioniq 5	40,000 – 50,000	60
Kia EV6 Long Range	50,000 – 55,000	80
Ford Mustang Mach-E SR	60,000 – 70,000	72.6
Mercedes-Benz EQB 300	65,000 – 70,000	66.5
Skoda Enyaq 85	50,000 – 60,000	77
Nissan Ariya	44,000 – 50,000	63
Peugeot e-208	38,000 – 42,000	48.1
Renault Megane E-Tech	38,000 – 42,000	60
BMW iX1 xDrive30	60,000 – 65,000	64.7
Cupra Born 170 kW - 59 kWh	35,000 – 40,000	59

Popri plne elektrických vozidlách zohrávajú významnú úlohu aj plug-in hybridné elektromobily (PHEV), ktoré kombinujú spaľovací motor a elektromotor s dobíjateľnou batériou. Na rozdiel od bežných hybridov je možné plug-in hybridy nabíjať zo siete, vďaka čomu dokážu prejsť určitú vzdialenosť čisto na elektrický pohon — spravidla od 30 do 80 km — čo v mnohých prípadoch postačuje na každodenné mestské dochádzanie bez spotreby paliva.

Ich výhodou je flexibilita — pri krátkych jazdách využívajú výlučne elektrickú energiu, no na dlhších trasách sa môžu spaľovať na spaľovací motor, čím odpadá problém s dojazdom a dostupnosťou nabíjania. Plug-in hybridy tak predstavujú prechodové riešenie medzi tradičnými spaľovacími vozidlami a plne elektrickými autami a môžu prispieť k zníženiu emisií najmä v mestskom prostredí. [9]

TABUĽKA II
Porovnanie dostupnosti PHEV [15]

Model PHEV	Cena (EUR)	Kapacita batérie (kWh)
Alfa Romeo Tonale PHEV	43,000 – 50,000	15.5
Jeep Wrangler 4dr 4xe	40,000 – 50,000	17
Mitsubishi Outlander PHEV	40,000 – 50,000	19.6
Toyota RAV4 Prime	44,000 – 50,000	18
Kia Niro PHEV	36,000 – 42,000	11.1
Hyundai Tucson PHEV	38,000 – 45,000	13
BMW 330e Sedan	44,000 – 50,000	12
Audi Q5 TFSI e	55,000 – 60,000	17
Ford Escape FWD PHEV	40,000 – 45,000	14.5
Mercedes-Benz S 580 e	124,000 – 150,000	22
Subaru Crosstrek Hybrid	36,000 – 42,000	8
Mini Cooper SE Countryman	38,000 – 42,000	10
Volvo S60 T8 AWD	52,000 – 60,000	18.8

IV. NABÍJANIE

Neoddeliteľnou súčasťou elektromobilov je nabíjanie, ktoré je z mnohých príčin stále témou výskumu, hlavne z dôvodu náhodného charakteru pripájania elektromobilov na nabíjacie stanice. Určitá predikcia je možná, v prípade, že sa auto nabíja len na jednom mieste, jednej nabíjacej stanici. Problém ale nastáva pri nabíjaní elektromobilu na dlhý trati, kedy sa elektromobil nabíja po určitej vzdialenosti a vždy na inom mieste. Takto náhodný vzor nabíjania môže predstavovať riziko pre distribučnú sieť kedy pre jeden distribučný transformátor bude inštalované veľké množstvo rýchlonabíjačiek alebo vysokovýkonných nabíjačiek. [10]

V súvislosti s touto problematikou je potrebné zdefinovať pojem nabíjacia charakteristika, ktorá sa môže líšiť medzi nabíjačkami tak pri rôznych elektromobiloch. Táto charakteristika opisuje závislosť napätia a prúdu v čase nabíjania. Prúd a napätie sa v priebehu nabíjania mení počas jednotlivých fáz nabíjania, zároveň sa pri týchto fázach batériové systémy nabíjajú inou rýchlosťou. Pri bežne používaných lithium ionových batériách sa používajú CC-CV nabíjacie charakteristiky. CC (Constant Current) – konštantný prúd pri ktorom postupne stúpa napätie, je to rýchla fáza nabíjania. Ďalej CV (Constant Voltage) – konštantné napätie pri maximálnej hodnote napätia nabíjačka udržiava konštantné napätie a začína znižovať prúd aby sa nepoškodili batériové systémy, táto fáza je pomalšia. [11]

Nabíjanie elektromobilov sa delí podľa typu elektrického prúdu na AC (striedavý prúd) a DC (jednosmerný prúd). AC nabíjanie je najbežnejšie pri domácom alebo firemnom použití. Výkon sa pohybuje od 2,3 kW pri bežnej zásuvke až po 11–22 kW pri tzv. wallboxoch. Plné nabitie vozidla v tomto režime môže trvať niekoľko hodín – typicky 4 až 12 hodín v závislosti od kapacity batérie.

Naopak, DC nabíjanie, označované aj ako rýchlonabíjanie, sa využíva predovšetkým na verejných staniciach. Umožňuje výrazne kratší čas nabíjania – v rozsahu od 50 do 350 kW. Nabitie batérie z 20 % na 80 % kapacity môže trvať iba 15 až 40 minút, v závislosti od technológie vozidla a výkonu stanice. [12]

Ešte rýchlejšim riešením je ultrarýchle a vysokovýkonné nabíjanie (HPC – High Power Charging), ktoré poskytuje výkony nad 150 kW. Tieto systémy výrazne skrátia čas nabíjania, no vyžadujú kompatibilitu zo strany elektromobilu a špeciálne chladiace technológie kvôli vysokým prúdovým zaťaženiam.

TABUĽKA III
Výstupné parametre nabíjacích staníc [12]

Typ	Fáza	Výstup	Hodnota
DC	n/a	Max. výstupný prúd	500A
		Max. výstupný výkon	350kW
		Rozsah výstupného napätia	50-920V DC
AC	3	Max. výstupný prúd	63A
		Max. výstupný výkon	43kW
		Rozsah výstupného napätia	400V DC
AC	1	Max. výstupný prúd	32A
		Max. výstupný výkon	7.2kW
		Rozsah výstupného napätia	230V AC

Aj napriek technologickému pokroku prináša nabíjanie elektromobilov viacero výziev. K nim patrí napríklad nerovnomerné rozmiestnenie nabíjacej infraštruktúry, ktoré môže komplikovať každodenné využívanie elektromobilov, najmä mimo veľkých miest. Dlhší čas nabíjania v porovnaní s tankovaním paliva je ďalším

limitujúcim faktorom. Rovnako je potrebné zosúladiť nové nabíjacie body s kapacitou a stabilitou distribučnej siete, čo je obzvlášť dôležité pri zavádzaní rýchlonabíjacích staníc s vysokým odberom energie.

V. INFRAŠTRUKTÚRA NABÍJANIA

Vzhľadom na prehľbujúcu sa energetickú krízu, rastúce environmentálne povedomie a negatívne dôsledky klimatických zmien prijímajú vlády opatrenia na zníženie uhlíkovej stopy. Jedným z kľúčových prístupov je využívanie zelených energetických technológií na nabíjanie elektromobilov. Hoci sú elektromobily vysoko efektívne, dokážu využiť až 60 % vstupnej energie počas jazdy, čo je dvojnásobok v porovnaní s tradičnými vozidlami na fosílnu palivá miera zníženia emisií skleníkových plynov závisí od zdroja elektriny použitého na ich nabíjanie. V tejto súvislosti je potrebné sa zamerať na štyri kľúčové prvky infraštruktúry nabíjania elektromobilov a integrácie obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Diskutujú sa existujúce OZE využívané pri nabíjaní elektromobilov, ich globálne rozšírenie, výhody, nevýhody. Ďalej sa analyzujú technológie akumulácie energie, nabíjacie systémy, výkonová elektronika a integrácia do inteligentných sietí s cieľom podporiť využívanie OZE v elektromobiloch. Pozornosť je venovaná aj najnovším prístupom k inteligentnému nabíjaniu, ktoré implementuje priemysel v kontexte globálnych trendov vo využívaní energie elektromobilov. Napokon sú diskutované technologické výzvy a príležitosti týkajúce sa integrácie do siete, modernizácie infraštruktúry, štandardizácie, údržby, bezpečnosti a optimalizácie zdrojov. [13]

Napriek neustálemu pokroku v zavádzaní elektrických vozidiel na celom svete zostáva ich širšie rozšírenie náročné najmä pre nedostatok nabíjacích infraštruktúr. Na zmiernenie tohto nedostatku je potrebné inštalovať viac verejných nabíjacích staníc a zároveň zvyšovať povedomie verejnosti o výhodách udržateľnej mobility. Efektívna inštalácia týchto staníc si vyžaduje dôkladné plánovanie podporené geografickým prieskumom a optimalizáciou umiestnenia. S rozmachom používania elektrických vozidiel sa zároveň objavujú nové príležitosti v rôznych oblastiach. V oblasti trhu s elektrickou energiou predstavuje rastúce zaťaženie nabíjacích sietí významnú výzvu pre energetickú infraštruktúru; zároveň však elektromobily vďaka svojim akumulátorom ponúkajú možnosť poskytovania pomocných služieb, ako napríklad technológia Vehicle-to-Grid (V2G). V dopravných systémoch prepojenie medzi distribučnou sieťou a dopravnou infraštruktúrou otvára priestor na výskum, vývoj a integráciu zo strany energetickej aj dopravnej komunity. Plánovanie distribučnej sústavy je ďalším kľúčovým aspektom, keďže nesprávne umiestnenie nabíjacích staníc môže spôsobiť vyššie straty energie a zhoršenie napäťových profilov. Jednou z hlavných výziev preto zostáva optimálna organizácia nabíjacej infraštruktúry tak, aby distribučná sieť zostala stabilná, bezpečná a efektívne fungovala. [13]

Dopyt po elektrickej energii čoskoro presiahne súčasné kapacity elektrickej siete. Využívanie alternatívnych zdrojov, ako sú slnečná energia, vektor či biomasa, predstavuje sľubnú a ekologicky priaznivú cestu k udržateľnému rozvoju. Ich produkcia energie je však nestála a menej predvídateľná, čo obmedzuje ich praktické využitie. Na prekonanie tejto výzvy je možné využiť rôzne technológie na uskladnenie energie alebo flexibilné riadenie zaťaženia, ktoré pomáhajú vyrovnávať výkyvy výroby. Medzi tieto technológie patria napríklad zotrvačnickové systémy, superkondenzátory či koncentrované solárne systémy, ktoré si v posledných rokoch získavajú čoraz väčšiu popularitu. Súčasne sa intenzívne rozvíjajú inteligentné technológie, ako sú inteligentné siete, smart metering, bezdrôtové senzory,

komunikačné platformy a výkonové meniče, ktoré urýchľujú rozvoj možností inteligentného nabíjania. Typická infraštruktúra nabíjania elektromobilov dnes zahŕňa rôzne typy nabíjacích staníc, od domácich zásuviek až po komerčné nabíjacie zariadenia, ktoré sú prepojené s distribučnými sieťami. Riadiace centrá prenosu a distribúcie pritom zohrávajú kľúčovú úlohu ako komunikačné uzly medzi sieťou a energetickými podnikmi zabezpečujúcimi distribúciu elektrickej energie. [13]

VI. ODPORÚČANIA

Pri návrhu a prevádzke mikrosietí je nevyhnutné zabezpečiť ich flexibilitu, aby mohli spoľahlivo pracovať. Ochranné systémy musia byť navrhnuté tak, aby zvládli dynamicky sa meniace prevádzkové podmienky, vrátane obojsmerných tokov energie a premenlivých poruchových prúdov. Vhodné je uvažovať o hybridných AC-DC mikrosieťach, ktoré môžu ponúknuť vyššiu efektívnosť a flexibilitu pri súčasnom využívaní rôznych zdrojov energie.

Systémy ochrany by mali byť schopné automatickej detekcie a rýchlej izolácie porúch bez zásahu do činnosti celej mikrosiete. Je odporúčané nasadzovať inteligentné ochranné relé, ktoré sa vedú adaptovať na rôzne režimy prevádzky a podporujú kvalitnú digitálnu komunikáciu medzi jednotlivými zariadeniami.

V oblasti elektromobility je potrebné systematicky rozširovať nabíjajúcu infraštruktúru, pričom osobitný dôraz treba klásť na rozvoj rýchlonabíjacích staníc aj mimo veľkých miest. Rozvoj infraštruktúry musí byť koordinovaný s kapacitnými možnosťami distribučnej sústavy, aby sa predišlo lokálnym preťaženiam. Odporúča sa implementovať inteligentné nabíjacie systémy, ktoré dokážu riadiť záťaž siete, vrátane technológií ako smart charging a Vehicle-to-Grid (V2G). Pri návrhu nabíjacích bodov je dôležité zohľadniť typické správanie užívateľov a zabezpečiť kompatibilitu výkonu nabíjačiek s elektromobilmi.

Preferovaným nabíjacím profilom pre lithium-ion batérie je CC-CV (konštantný prúd – konštantné napätie), ktorý umožňuje efektívne a bezpečné nabíjanie. Mikrosietí a nabíjacích staníc s obnoviteľnými zdrojmi energie a akumulárnymi systémami. Inteligentné systémy riadenia by mali optimalizovať výrobu, spotrebu a procesy nabíjania tak, aby sa zabezpečila stabilná a ekologická prevádzka.

POĎAKOVANIE

Tento článok vznikol s podporou Slovenskej akadémie vied na základe zmluvy VEGA 1/0532/25.

LITERATÚRA

- [1] A. Dagar, P. Gupta, and V. Niranjana, "Microgrid protection: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 149, p. 111401, Oct. 2021. doi: [10.1016/j.rser.2021.111401](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111401).
- [2] A. P. S. Meliopoulos, "Challenges in simulation and design of /spl mu/Grds," *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309)*, New York, NY, USA, 2002, pp. 309-314 vol.1, doi: [10.1109/PESW.2002.985004](https://doi.org/10.1109/PESW.2002.985004).
- [3] R. A. F. Currie, G. W. Ault, C. E. T. Foote, G. M. Burt, and J. R. McDonald, "Fundamental research challenges for active management of distribution networks with high levels of renewable generation," in *Proc. 39th Int. Universities Power Engineering Conf. (UPEC)*, vol. 3, 2004, pp. 1024-1028.
- [4] B. S. Hartono and R. Setiabudy, "Review of microgrid technology," in *Proc. 2013 Int. Conf. Quality in Research (QiR), in conjunction with ICCS 2013: The 2nd Int. Conf. on Civic Space*, 2013, pp. 127-132. doi: [10.1109/QiR.2013.6632550](https://doi.org/10.1109/QiR.2013.6632550).
- [5] M. D. Govardhan and R. Roy, "Notice of Removal: A review on key issues of microgrid," in *Proc. 2011 IEEE PES Int. Conf. Innovative Smart Grid Technologies-India (ISGT India)*, 2011, pp. 322-327. doi: [10.1109/ISGT-India.2011.6145399](https://doi.org/10.1109/ISGT-India.2011.6145399).
- [6] M. N. Ambia, A. Al-Durra, and S. M. Mueen, "Centralized power control strategy for AC-DC hybrid micro-grid system using multi-converter scheme," in *Proc. IECON - 37th Annual Conf. IEEE Industrial Electronics Society*, 2011, pp. 843-848. doi: [10.1109/IECON.2011.6119420](https://doi.org/10.1109/IECON.2011.6119420).
- [7] J. J. Justo, F. Mwasilu, J. Lee, and J.-W. Jung, "AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 387-405, Aug. 2013. doi: [10.1016/j.rser.2013.03.067](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.067).
- [8] N. R. Rahmanov and O. Z. O. Karimov, "AC and DC Combined Microgrid, Modeling and Operation," in *Microgrid Architectures, Control and Protection Methods*, N. M. Tabatabaei, E. Kabalci, and N. Bizon, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2020, pp. 47-68, doi: [10.1007/978-3-030-23723-3_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23723-3_3).
- [9] G. A. Putrus, P. Suwanapongkarl, D. Johnston, E. C. Bentley and M. Narayana, "Impact of electric vehicles on power distribution networks," *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Dearborn, MI, USA, 2009, pp. 827-831, doi: [10.1109/VPPC.2009.5289760](https://doi.org/10.1109/VPPC.2009.5289760).
- [10] P. Roy *et al.*, "Impact of Electric Vehicle Charging on Power Distribution Systems: A Case Study of the Grid in Western Kentucky," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 49002-49023, 2023, doi: [10.1109/ACCESS.2023.3276928](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3276928).
- [11] H. Liu, I. H. Naqvi, F. Li, C. Liu, N. Shafiei, Y. Li, and M. Pecht, "An analytical model for the CC-CV charge of Li-ion batteries with application to degradation analysis," *Journal of Energy Storage*, vol. 29, p. 101342, Jun. 2020. doi: [10.1016/j.est.2020.101342](https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101342).
- [12] K. L. Lim, S. Speidel, and T. Bräunl, "A comparative study of AC and DC public electric vehicle charging station usage in Western Australia," *Renewable and Sustainable Energy Transition*, vol. 2, p. 100021, Aug. 2022. doi: [10.1016/j.rset.2022.100021](https://doi.org/10.1016/j.rset.2022.100021).
- [13] P. Barman, L. Dutta, S. Bordoloi, A. Kalita, P. Buragohain, S. Bharali, and B. Azzopardi, "Renewable energy integration with electric vehicle technology: A review of the existing smart charging approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 183, p. 113518, Sep. 2023. doi: [10.1016/j.rser.2023.113518](https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113518).
- [14] „All electric vehicles in Europe“, Electric Vehicle Database, 13.5.2025. [Online]. Dostupné na: <https://ev-database.org/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>
- [15] „Energy Efficiency & Renewable energy“, U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 13.5.2025. [Online]. Dostupné na: <https://afdc.energy.gov/vehicles/search/results>

ADRESY AUTOROV

Július Šimčák, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, julius.simcak@tuke.sk
 Kristián Eliáš, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, kristian.elias@tuke.sk
 František Kurimský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, frantisek.kurimsky@tuke.sk
 Dušan Medveď, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dušan.medved@tuke.sk