

Samuel Bucko, Jozef Király, Michal Kolcun, Dušan Medved', Marek Pavlík

Vplyv nabíjajúcich staníc na prevádzku NN sietí

Vzhľadom na zvyšujúci sa trend obmedzovania skleníkových plynov, zníženia zásob fosílnych palív a zavádzania technológií s nulovou produkciou emisií tvoria elektrické vozidlá (EV) v osobnej doprave percentuálne zastúpenie, ktoré má z roka na rok rastúci charakter. Nakoľko elektrizačná sieť na úrovni distribučných sústav (DS) nebola pripravená na takýto trend je potrebné aby sa kládol významný dôraz na reguláciu nabíjajúcich procesov EV. Tento článok má za úlohu predstaviť niektoré z faktorov DS, ktoré môže zvyšujúci sa počet EV negatívne ovplyvniť. Z toho dôvodu je potrebné sa v budúcnosti sústrediť na reguláciu a riadenie nabíjania EV. V tomto príspevku je uvedených niekoľko možných spôsobov ako zvládnuť začlenenie EV do bežnej prevádzky DS.

Kľúčové slová: nabíjacia stanica, elektromobilita, regulácia zátáže, distribučná sústava

The higher percentage ratio of electric vehicles (EV) in transportation is caused by motivation to decrease production of greenhouse gases, implementing the zero-emission technology and lower usage of fossil fuels. The trend of everyday use and buying EV has increasing behaviour year by year. It is necessary to regulate charging processes for EV because the distribution network (DN) has not been ready for such a trend in electric mobility. The idea of this work is to introduce some of the factors of DN, that the rising number of EV can be affected negatively. Because of that, it is necessary to focus on regulation and management of charging processes of EV in the future. This work introduces some of the possible options how to implement EV in to the common DN work. (**Impact of EV charging stations on operation of low voltage networks**)

Keywords: charging station, electromobility, load management, distribution network

I. ÚVOD

Znižovanie zásob fosílnych palív a dlhodobý klesajúci trend v počte vyprodukovaných ton CO₂, ktorý si stanovili európske krajiny sú motiváciou pre implementáciu vozidiel s emisími hodnotami blížiacimi sa nule. V tomto sektore dopravy momentálne prevládajú osobné automobily výlučne iba s elektrickým pohonom alebo v kombinácii so spaľovacím – Plug-in Hybrid. Vďaka štátnej podpore a cenovej dostupnosti sa počet elektrických vozidiel (EV) za posledných 5 rokov rapídne zvýšil. Nabíjanie batérií EV predstavuje z pohľadu distribučnej sústavy (DS) ďalší typ zátáže. Na úrovni domácností, komerčných zariadení akými sú napríklad obchodné centrá či pri infraštruktúre vybudovanej popri cestách a diaľniciach sa navyšuje spotreba elektrickej energie v primárnom dôsledku zvýšenia počtu EV.

Ďalším dôsledkom je navýšenie výkonovej kapacity tak, aby popri bežnej spotrebe boli nabíjacie stanice (NS) funkčné a na strane distribučnej časti nedochádzalo k preťažovaniu zariadení. Niektoré vetvy distribučných sietí sú dnes už pri maximálnej možnej zaťažiteľnosti a tak dodatočnou inštaláciou NS a ich neregulovaným používaním vzniká riziko preťaženia daného úseku.

Medzi najčastejšie nežiadúce vplyvy neregulovaného nabíjania EV na distribučnú sieť patria:

- zníženie kvality elektrickej energie
- zmeny napätových profilov vo vetvách DS
- zmena charakteru denného diagramu zaťaženia
- preťaženie distribučných transformátorov
- preťaženie vedení

Z uvedeného vyplýva, že systém v ktorom je implementovaná nabíjacia stanica je nutné regulovať podobným spôsobom ako to je napríklad u malých zdrojov elektrickej energie na úrovni domácností a menších priemyselných a komerčných odberateľov. V tomto prípade

je potrebný súhlas o pripojení, v ktorom distribučná spoločnosť rozhodne o pripojení či nepripojení daného zdroja. Obdobný scenár je možné v budúcnosti očakávať aj pri masívnom zavádzaní EV a s nimi spojenými NS.[1]

VPLYV NS NA ZNÍŽENIE KVALITY ELEKTRICKEJ ENERGIE

Z jednotlivých štúdií vyplýva, že funkcia NS v distribučnej sústave výrazne ovplyvňuje kvalitatívne ukazovatele elektrickej energie v sieti. Pri NS vznikajú vyššie harmonické priebehy vďaka zmene striedavého napätia na jednosmerné, na ktoré NS využíva polovodičové usmerňovače. Pokiaľ v obvode usmerňovacieho mostíka absentujú VF filtre či iné prvky, ktoré zabezpečujú korekciu z pohľadu kvality (prevažne u necertifikovaných výrobcov NS), potom sa do distribučnej siete dostávajú zložky prevažne 5., 7., 11. a 13. vyššej harmonickej [1]. Pokiaľ do takejto sústavy sú pripojené ďalšie spotrebiče, ktoré citlivo reagujú na takéto deformácie priebehov môže dôjsť k ich poškodeniu alebo zníženiu ich efektívnosti ako napr. pri indukčných motoroch či transformátoroch. Tento nedostatok je možné obmedziť pripájaním aktívnych filtrov, ktorých úloha je zachytávať vyššie harmonické.

VPLYV NS NA ZMENY NAPÄŤOVÝCH PROFILOV VO VETVÁCH DS

Prevládajúca topológia DS na úrovni NN má stromový charakter, kde jednotlivé vetvy stromu vychádzajú z distribučnej transformátorovej stanice (DTS). Jednotlivé vetvy predstavujú vedenia zväčša na hladine 0,4 kV, na ktorú sa pripájajú odberatelia. Nasadzovaním obnoviteľných zdrojov energie na strane užívateľov dochádza k zmenám napätového profilu siete, ktorý je výrazne závislý od počasia, nakoľko malé zdroje sú v týchto prípadoch zväčša fotovoltaické elektrárne (FVE). Na konci vetvy je následne možné namerať oveľa nižšie napätie ako v blízkosti DTS. Zvýšením napätia na sekundárnej strane transformátora a zmenou poveternostných podmienok však nastane opačný jav, kde v blízkosti transformátora

môže byť oveľa vyššie napätie. Vyššie opísaný jav nastáva taktiež pri pripojení vozidiel k NS, kde v dôsledku vyššej spotreby elektrickej energie vznikajú napäťové zmeny vo vetvách. Rozdiely v takýchto prípadoch môžu dosahovať až kritické hodnoty, pri ktorých je potrebné užívateľov odpájať, kvôli zamedzeniu škôd na strane odberateľa ako aj na strane prevádzkovateľa DS. Budúcim smerovaním výskumu v tejto oblasti je súčinnosť NS spolu s FVE v rezidenčných oblastiach.[2]

VPLYV NS NA ZMENY PROFILU DENNÉHO DIAGRAMU SPOTREBY

Profil denného diagramu je závislý od lokality, ročného obdobia či ďalších elementov, ktoré ovplyvňujú charakter správania sa spotrebiteľov el. energie. Pripájaním EV v čase špičky, napr. od 14:00 do 17:00, sa navyšuje špičková hodnota odoberaného výkonu, kde v závislosti od počtu vozidiel môže dosiahnuť kritickú hodnotu maximálnej spotreby a zaťaženia vetvy DS alebo celého bodu. V takom prípade sú preťažované zariadenia DS ako sú transformátory a vedenia, čo znižuje ich životnosť a následne i efektívnosť prevádzky DS.

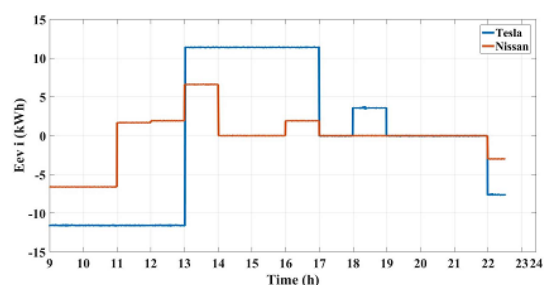
Zo štúdie [3] vyplýva, že pri nabíjaní EV počas špičky má preťažovaný transformátor pokles na životnosti 29,7 %, čo pri priemernej životnosti transformátora 20,5 rokov, znižuje jeho životnosť o 6,1 roka.

Systémom vhodnej regulácie nabíjania je možné využívať minimálny denný záťažový diagramu pre nabíjanie EV, čo však spôsobuje zmenu v charaktere diagramu a z dlhodobého hľadiska i možné zníženie životnosti zariadení na strane DS. Ďalším faktorom vstupujúcim do tejto regulácie je, tak ako v predošlom prípade, začlenenie malých FVE do DS. Systém riadenia si potom vyžaduje oveľa väčšiu náročnosť a mohutnosť.

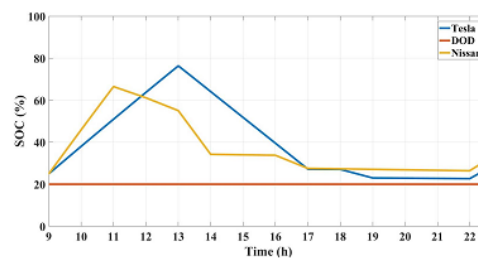
II. REGULÁCIA POMOCOU VYUŽÍVANIA TECHNOLOGIE VEHICLE-TO-GRID

Nástrojom ako zabrániť vyššie spomenutým negatívnym vplyvom prevádzky NS na DS je voľba vhodného typu regulácie. V štúdiu [4] kolektív autorov skúma prípad, kedy sú použité batérie EV aj ako zdroj elektrickej energie, ktorý v určitom prípade môže dodávať energiu do siete. Takúto metódu nazývame Vehicle-to-Grid (V2G), kde je systém používania EV obojsmerný z pohľadu zdroj-spotrebič. Samozrejmosťou takejto prevádzky sú nutné zmeny v komponentoch, ktoré zabezpečujú prevádzku NS ako aj v riadiacej logike EV, ktorá musí umožniť obojsmerný tok el. energie.

V štúdiu boli použité dva typy vozidiel: Nissan Leaf, ktorého NS pracuje len na jednej fáze a Tesla model S, ktorá využíva pri nabíjaní všetky 3 fázy. EV od spoločnosti Tesla disponuje aj väčšou kapacitou batérie než Nissan. Automobily sa pripájali pomocou NS do DS v rôznych časoch dňa a v prípade vysokej spotreby el. energie slúžili ako malý zdroj el. energie. Týmto procesom by operátor mohol znížiť špičku výkonu denného diagramu spotreby a využiť čas, kedy je dostatok výkonu v sieti pre nabíjanie batérií, v čase minima diagramu. Prepínanie z režimu G2V a V2G v tomto prípade riadi autonómny systém, ktorý pracuje v reálnom čase a bol testovaný na niekoľko možných scenárov.



a)



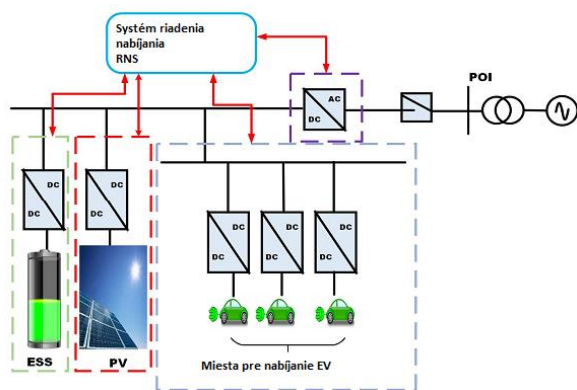
b)

Obr. 1. 24 h charakteristiky dodávky a spotreby elektrickej energie pomocou EV a) a stav nabitia batérie EV b).

Výhodou tohto systému je využitie batérie EV ako zdroja, čo má pozitívny vplyv na potlačenie výkonovej špičky počas dňa. V prípade zavedenia takejto služby môže majiteľ vozidla figurovať ako dodávateľ el. energie do siete. Nevýhodami môže byť zníženie životnosti batérie vozidla, nakoľko v niektorých prípadoch batéria nedosiahla 100% nabitia v režime G2V v rámci celého dňa. Ako je možné vidieť na obr. 1-a priebeh nabitia batérie, State Of Charge (SOC), nedosahuje úplné nabitie v prípade oboch automobilov. Avšak riadiaci systém ju i pri neúplnom nabití využíval pre režim V2G. Priebehy využitia jednotlivých režimov v rámci 24-hodinového cyklu sú na obr. 1-b. Ďalšou z nevýhod je nutná rekonfigurácia nabíjajúcich staníc, ktoré by museli obsahovať prvky pre meranie spotreby a dodávky elektrickej energie a zásahy do battery managementu vozidla, ktorý by umožňoval obojsmerný tok el. energie.

III. REGULÁCIA POMOCOU VYUŽÍVANIA DODATOČNÉHO BATÉRIOVÉHO ÚLOŽISKA

Ďalšou z metód ako zabrániť negatívnym vplyvom nabíjania EV z pohľadu DS je vytvorenie DC mikrogridu v mieste NS. Toto riešenie uvedené v [5] je uplatniteľné pri väčších nabíjajúcich staniciach, napríklad pri dopravných uzloch alebo pozdĺž rýchlostných ciest s veľkou fluktuáciou EV. Ako je zobrazené na obr. 2, do DC mikrogridu je pripojená FVE, ktorá v prípade priaznivého počasia dokáže priamo napájať jednotlivé podružné NS alebo dodávať el. energiu pre veľkokapacitné úložisko (ESS) pripojené tiež na DC stranu. V prípade zvýšenia pripojení EV na nabíjajúcu stanicu sa využíva ako ďalší zdroj energie okrem FVE aj ESS, čím je výkonovo regulovaná DC strana NS. Pre prípad nedostatočnej dodávky na DC strane je NS pripojená na DS, z ktorej odoberá výkon pomocou AC/DC meniča.



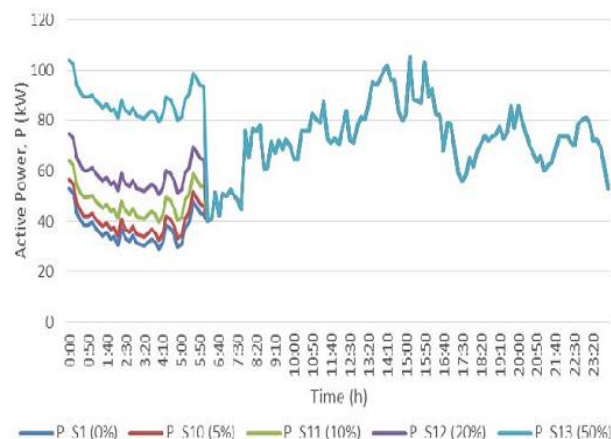
Obr. 2. Bloková schéma mikrogrid riešenia pre nabíjajúcu stanicu.

Mikrogrid je navrhnutý v tejto štúdii s výkonom 150 kW v prípade 50 kW dodávky el. energie z PVE, 50 kW z ESS a 50 kW z DS. Podmienky prevádzky sú limitované maximálnym odberom zo siete pri dodržaní kritických hodnôt napätia, 0,95 p.u.. V prípade neriadeného nabíjania EV nastalo prekročenie limitných hodnôt v dvoch prípadoch počas 24 h cyklu. Pokiaľ bol do systému mikrogrid implementovaný riadiaci člen, ktorý optimalizoval proces nabíjania EV a ESS, tak počas 24 h cyklu nebola prekročená spodná limitná hodnota napätia.

V závere štúdie je navrhnutý systém, ktorý uvažuje s ESS umiestneným blízko DTS a tak je možné použitie takéhoto mikrogridu v rezidenčných zónach. Nevýhodou tejto štruktúry je, že i keď FVE by mohla byť umiestnená na strechách domov, tak pre ESS je potrebná kapacita aspoň 800 kWh, čo predstavuje štandardizovaný lodný kontajner. V husto zastavaných, prevažne mestských častiach je umiestnenie takéhoto úložiska značne komplikované, resp. nemožné. Navyše sa použitím ESS výrazne zvyšuje cena celého systému.

IV. REGULÁCIA NA ZÁKLADE ČASU NABÍJANIA

Najjednoduchším systémom vzhľadom na použitie technológií je regulácia odberového výkonu NS pomocou ich riadenia vzhľadom na čas nabíjania, kedy je sústredený proces nabíjania na neskoré nočné hodiny, resp. skoré ráno, kedy sa záťažový diagram nachádza vo svojom minime. Autori v článku [6] vychádzajú z reálnych dát skutočného úseku DS, do ktorého pripájajú rôzny počet EV v oblasti. Okrem rezidenčných NS bola uvažovaná i jedna verejná NS. Zároveň boli simulované scenáre, v ktorých je pripájanie neregulované, v čase špičky denného diagramu spotreby a regulované, kedy NS čakajú na pokles spotreby za DTS do oblastí minima. Z porovnania výsledkov vyplýva, že pri neregulovateľnom výkone a flotile EV s objemom 50% z celkového počtu vozidiel v oblasti bude 250 kVA transformátor v čase špičky preťažovaný v niektorých prípadoch o viac ako 1/5 výkonu. V prípade, ktorý je zobrazený na obr. 3, kde sú EV nabíjané v nočných hodinách aj pri 50% zastúpení EV v oblasti neprekročí hodnota spotreby výrazne úroveň denného maxima a transformátor pracuje na cca polovičnom výkone.



Obr. 3. Denný diagram zaťaženia pri regulovanom pripájaní rôzneho zastúpenia EV vo flotile

Z výsledkov vyplýva, že najväčší negatívny vplyv na daný úsek DS spôsobovala verejná NS, ktorá však pracovala s nabíjajúcim výkonom 22 kW a priemerný nabíjací proces trval hodinu. V prípadoch neregulovaného scenára s verejnou NS vznikli v oblasti poklesy napätia až o 20% z nominálnej hodnoty, pre scenár s regulovaným nabíjajúcim výkonom a verejnou NS to bol pokles o 14% a pri regulovanom nabíjacom procese, bez verejnej NS pokles napätia neprekročil ani 10%. Obdobný prípad platil aj pre prúdové preťaženie vedenia, kde oba prípady s implementovanou verejnou NS vykazovali preťaženie daného úseku vedenia. Z daného vyplýva, že je dôležitým faktorom pri plánovaní verejných NS vziať na vedomie parametre prvkov DS ako sú transformátory a vedenia, ako aj rozloženie nabíjacieho procesu v časoch s nižším odberom ostatných spotrebičov v sieti. Pri použití jednofázových NS je dôležité, aby boli výkony rozdelené do všetkých 3 fáz rovnomerne z dôvodu obmedzenia asymetrie záťaže v sieti.

V. ZÁVER

Téma regulácie zaťaženia v podobe riadenia procesu nabíjania EV a následne jej vplyv na DS je v súčasnej dobe veľmi aktuálna. V tomto článku sú popísané negatívne vplyvy nabíjacieho procesu na prvky DS akými sú preťaženie transformátorov a vedení v DS, zmeny v kvalitatívnych ukazovateľoch distribúcie elektrickej energie či ekonomická efektívnosť používania EV. Z popísaných rizík vyplýva, že je potrebné proces nabíjania EV monitorovať a riadiť tak, aby nedochádzalo k nežiadúcim účinkom v DS. V práci je poukázané na niektoré typy inovatívnych prístupov v oblasti regulácii záťaže, ktoré využívajú externé batériové úložiská, malé zdroje ako napríklad FVE či obojsmerný tok energie cez nabíjacie stanice. Z jednotlivých prípadov je možné danú reguláciu nasadiť v mieste, kde bude jej prevádzka najefektívnejšia z pohľadu prevádzky DS, ale aj z pohľadu ekonomickej efektivity pri optimalizácii nákladov.

POĎAKOVANIE

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

LITERATÚRA

- [1] S. Rahman, I. A. Khan and M. H. Amini, "A Review on Impact Analysis of Electric Vehicle Charging on Power Distribution Systems," 2020 2nd International Conference on Smart Power & Internet Energy Systems (SPIES), 2020, pp. 420-425, doi: 10.1109/SPIES48661.2020.9243118.
- [2] A. Teawnarong, P. Angaphiwatchawal, C. Sompoh and S. Chaitusaney, "Optimal Size of Electric Vehicle Charging Stations in Distribution System with Consideration of Bus Voltage and Line Capacity Limits," 2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ECTI-CON54298.2022.9795541.
- [3] M. Utakrue and K. Hongesombut, "Impact Analysis of Electric Vehicle Quick Charging to Power Transformer Life Time in Distribution System," 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ITEC-AP.2018.8433281.
- [4] V. Lakshminarayanan, V. G. S. Chemudupati, S. K. Pramanick and K. Rajashekara, "Real-Time Optimal Energy Management Controller for Electric Vehicle Integration in Workplace Microgrid," in IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 5, no. 1, pp. 174-185, March 2019, doi: 10.1109/TTE.2018.2869469.
- [5] S. S. Varghese, G. Joos and S. Q. Ali, "Load Management Strategy for DC Fast Charging Stations," 2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2021, pp. 1620-1626, doi: 10.1109/ECCE47101.2021.9595829.
- [6] A. Bosovic, M. Music and S. Sadovic, "Analysis of the impacts of plug-in electric vehicle charging on the part of a real low voltage distribution network," 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/PTC.2015.7232401.

ADRESY AUTOROV

Ing. Samuel Bucko, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, samuel.bucko@tuke.sk

Ing. Jozef Király, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jozef.kiraly@tuke.sk

Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, michal.kolcun@tuke.sk

doc Ing. Dušan Medved', PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dusan.medved@tuke.sk

Ing. Marek Pavlík, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, marek.pavlik@tuke.sk