

Jozef Király, Dušan Medveď

## Vplyv pripojenia nabíjacích staníc elektromobilov v režime V2G na distribučnú sieť

Článok sa zaoberá simuláciou prevádzky distribučnej siete napájajúcej nanogridy reprezentujúce domáceho odberateľa s inštalovanými obnoviteľnými zdrojmi a nabíjajúcou stanicou s podporou režimu „vozidlo do siete“ a príspevkom týchto zdrojov do celkovej výkonovej bilancie na rozhraní distribučného transformátora a napät'ovej úrovni NN. Pre porovnanie sa simulácia venovala rovnako pripájaniu a odpájaniu vozidiel v priebehu dňa a teda porovnaniu vplyvu nabíjania resp. dodávky energie prostredníctvom týchto vozidiel do siete.

Kľúčové slová: elektromobily; vozidlo do siete, nanogrid, distribučná sieť

The article deals with the simulation of the operation of a distribution network feeding nanogrids representing a domestic customer with installed renewable sources and a charging station with the support of the "vehicle to the grid" mode and the contribution of these sources to the overall power balance at the interface of the distribution transformer and the LV voltage level. For comparison, the simulation was equally devoted to connecting and disconnecting vehicles during the day and therefore comparing the impact of charging or supply of energy through these vehicles to the network.

Keywords: electric vehicle; vehicle to grid; nanogrid; distribution network

### I. ÚVOD

Vysoká požiadavka na lokálnu energetickú sebestačnosť odberateľov vytvára priestor na pripájanie rôznych od distribučnej sústavy decentralizovaných zdrojov. Vo všeobecnosti ide najmä o fotovoltaické elektrárne. Režim prevádzky týchto zdrojov je závislý na type inštalovaného striedača, ale rovnako na lokálnych požiadavkách distribučnej siete. Jedným z režimov prevádzky je práve hybridný režim spolu s použitím batérie. Okrem tohto spôsobu je jednou z možností akumulácia energie z fotovoltaického zdroja, resp. distribučnej siete v cenovo výhodnom čase práve použitie batérie elektromobilu pripojeného k inštalácii domácnosti prostredníctvom nabíjajúcej stanice v tzv. režime Vehicle2Grid, resp. Vehicle2Load. Predpoklad využitia batérie elektromobilu ako úložiska energie je potvrdený práve veľkosťou batérií používaných v elektromobiloch. Štandardne môžeme hovoriť o kapacitách nasledovne:

Typ elektromobilu	Využiteľná kapacita batérie [kWh]
Vyššia trieda	90 – 110
Stredná trieda	40 – 80
Nižšia trieda	Do - 40

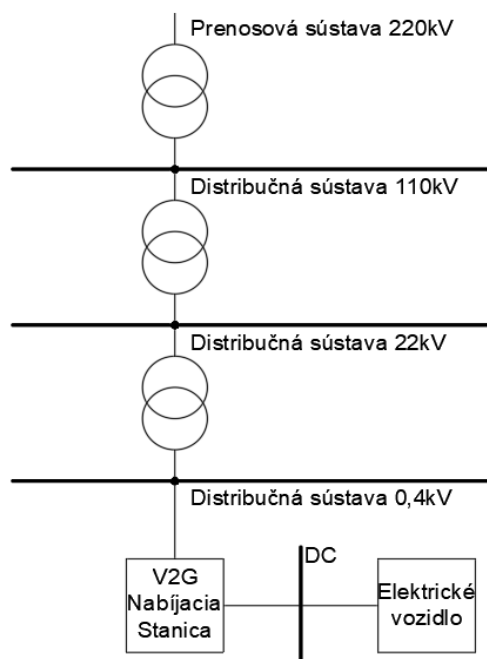
Tab. 1. Štandardné kapacity elektromobilov.

Použitie režimu V2G/V2L je podmienené podporou konkrétneho elektromobilu. Rovnako je dôležitá podpora tohoto režimu zo strany inštalovanej nabíjajúcej stanice a možnosť konfigurácie správania sa pripojeného vozidla z pohľadu maximálnej miery vybitia jeho akumulátora. Za predpokladu štandardnej spotreby domácnosti na úrovni 3 – 5 MWh ročne a predpokladanej ročnej výroby FV elektrárne na úrovni 5MWh ročne, sú uvedené režimy prevádzky a kapacity batérií vozidiel vhodným doplnkom decentralizovaných zdrojov elektrickej energie.[1]

### II. REŽIMY DODÁVKY ELEKTRICKEJ ENERGIE Z VOZIDLA VŠEOBECNE

#### REŽIM VOZIDLO DO SIEŤE (VEHICLE 2 GRID, V2G)

Z pohľadu rastúceho počtu elektrických vozidiel nabíjaných a teda pripojených do distribučnej siete je režim V2G jedným zo spôsobov ako v budúcnosti poskytovať do distribučnej siete dostatočný výkon pre reguláciu. Štandardná schéma zapojenia je uvedená na obr. 1:



Obr. 1. Bloková schéma zapojenia vozidla v režime V2G.

Z pohľadu využitia elektrického vozidla ako decentralizovaného zdroja je dôležité popísať cyklus správania sa tohto vozidla po pripojení do siete. Toto správanie sa vozidla je dané počiatocnými parametrami pripojeného vozidla. Vzhľadom na uvedené je najdôležitejšou podmienkou prevádzky týchto vozidiel komunikácia medzi nadradeným riadiacim systémom distribučnej sústavy, resp. microgridom a samotným vozidlom. Medzi dáta poskytované vozidlom patria:

- Počiatocný stav nabitia akumulátora vozidla  $SOC_1$
- Limitné stavy akumulátora (minimálny stav, maximálny stav nabitia)  $SOC_{min}$ ,  $SOC_{max}$
- Nominálny výkon ktorý môže byť dodaný do siete PEV

Z pohľadu riadenia siete je dôležité komunikovať:

- Počet vozidiel  $n_{ev}$
- Predikovaná doba pripojenia vozidla  $t_{evch}$

Na základe vyššie uvedených dát je možné zostaviť model siete s prihliadnutím na príspevok týchto vozidiel do siete ako decentralizovaného zdroja. Predpokladom pre spoľahlivú a bezpečnú prevádzku takejto siete môže byť okrem vyššie uvedeného koordinácia nielen dodávky elektrickej energie týchto vozidiel do siete, ale rovnako udržiavanie pripojených vozidiel na požadovanú hodnotu nabitia  $SOC_D$ . Čiastočne môžeme hovoriť v takomto prípade o tzv. prevádzke Vehicle 2 Vehicle.[2]

Samotnou kategóriou je teoretické využitie pripojenia týchto nabíjačiek vozidiel, resp. meničov DC/DC do špecifických DC trakčných sietí – napr. železničnej, trolejbusovej a pod. [3]

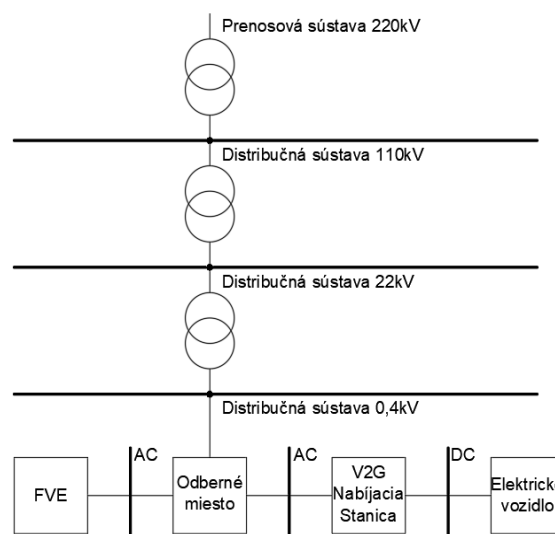
### REŽIM VOZIDLO DO ZÁŤAŽE (V2L, V2V)

Prevádzka v tzv. režime vozidlo do záťaže, resp. do vozidla (Vehicle 2 Load, Vehicle 2 Vehicle) reprezentuje príklad použitia vstavaných batérií vozidla ako súčasť tzv. nano siete (nanogrid). Tieto siete sú najčastejšie siete tvorené jednou domácnosťou pripojenou na štandardnú distribučnú sieť, ale rovnako napr. napájanú z hybridného fotovoltického systému s batériou a nabíjacou stanicou s podporou režimu V2L, resp. v prípade viacerých vozidiel v režime V2V. Hlavnou výhodou je využitie batérie elektromobilu ako doplnkového zdroja el. energie. Topológia takejto siete je uvedená nižšie na obr. č.2.

Rovnako ako v prípade prevádzky smartgrid sietí s nabíjacími stanicami v režime vozidlo do siete, je aj v tomto prípade nevyhnutná komunikácia medzi jednotlivými zariadeniami tak, aby nadradený riadiaci systém nanogridu efektívne riadil tok energie medzi distribučnou sieťou, batériou hybridného fotovoltického systému a nabíjacou stanicou s pripojeným elektromobilom, tak aby bolo dosiahnuté efektívne využitie dostupných zdrojov vzhľadom na cenu výroby energie a predikciu jej spotreby (dobitie vozidla, dobitie batérie hybridného FV systému, výroba TUV, kúrenie/chladenie a pod.).

### III. EXPERIMENT A MODEL SIMULOVANEJ SIETE

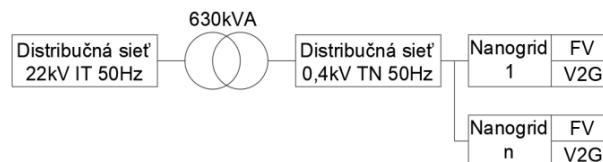
Experiment pre overenie dopadu vozidiel pripojených v režime V2G bol modelovaný za predpokladu pripojenia týchto vozidiel v rámci topológie nanogridov, tak ako je popísané v predošlej kapitole. Distribučná sieť je tvorená distribučným transformátorom 22/0,42kV s výkonom 630kVA. Parametre komponentov nanogridu sú popísané v tabuľke č.2 na Model simulovanej siete pre popisanie zmien, resp. časových priebehov výkonu v sieti ovplyvnený nabíjaním elektrických vozidiel, je znázornený na obrázkoch nižšie. Na obr. č.2



Obr. 2. Bloková schéma zapojenia vozidla v režime V2L, V2V.

Tab. 2. Inštalované komponenty v nanogride.

Komponent nanogridu	$A_{rok}$ [kWh]	$S_{avg}$ [kVA]
Záťaž (domácnosť)	6000	0,68
Záťaž (Vozidlá G2V)	2000	-
Zdroj (Fotovoltická elektrárňa)	5000	0,57
Zdroj (Vozidlá V2L)	2000	-



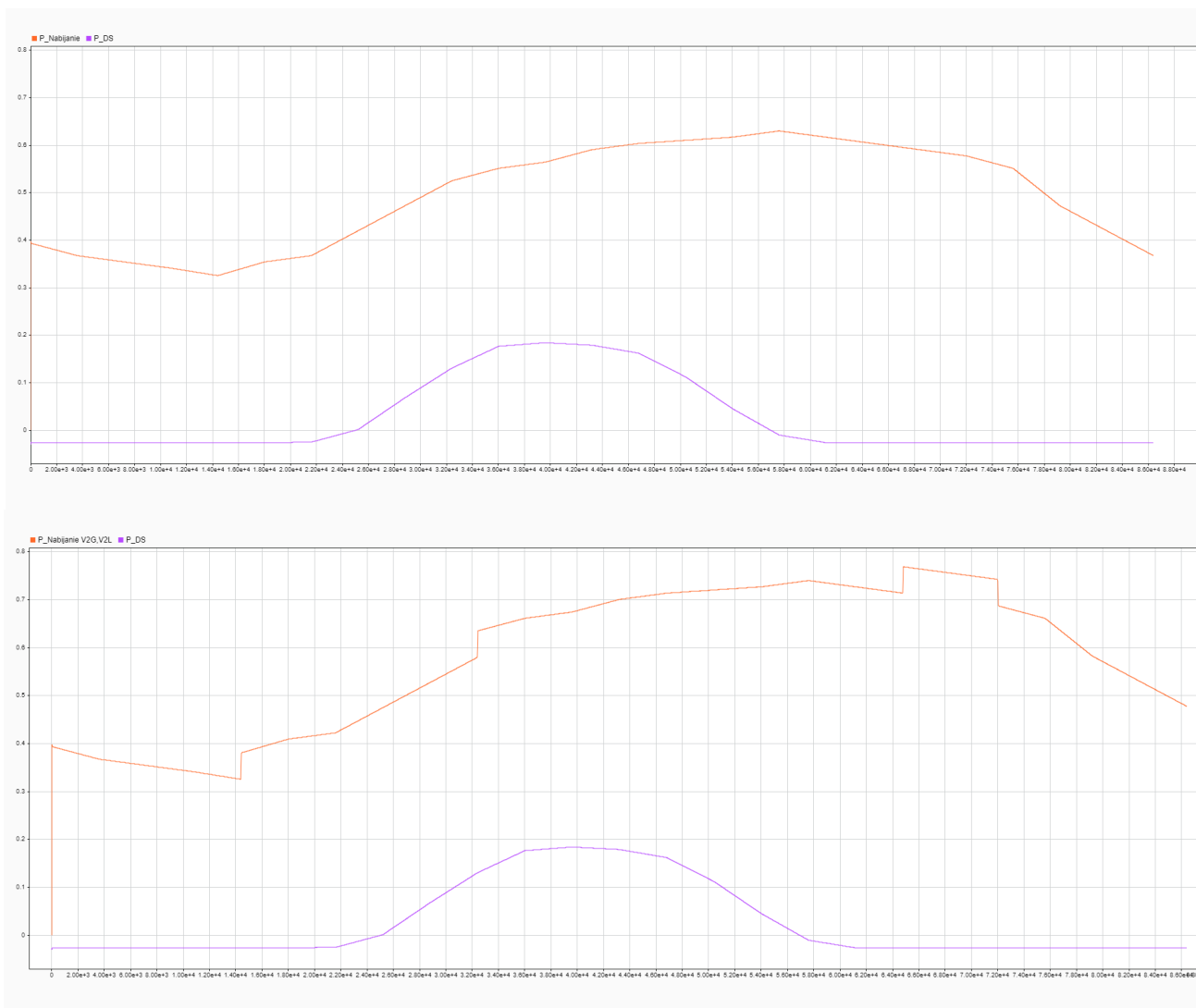
Obr. 3. Simulovaná topológia pre EVCH nabíjanie v nanogride

je znázornená topológia pre simuláciu AC nabíjania v rezidenčnej oblasti, pričom veľkosť a rovnako počet nabíjaných vozidiel resp. vozidiel nabíjaných ale aj dodávajúcich elektrickú energiu do siete by mal byť definovaný na základe reálnych požiadaviek. Môžeme teda predpokladať nasledujúce počty pripojených vozidiel:

- 25ks vozidiel s inštalovanou batériou s využiteľnou kapacitou 77kWh

Pripojenie týchto vozidiel bolo uvažované prostredníctvom nabíjacích staníc s výkonom 11kW. Režim pripojenia týchto vozidiel bol v nasledujúcom režime:





Obr. 4. Priebeh počtu pripojených vozidiel v nanogride

Obr. 5. Priebeh spotreby/výroby EE vzhľadom na režim vozidiel

#### IV. VÝSLEDKY SIMULÁCIE

Simulácia priebehu výkonu bola vykonaná za sledované obdobie 24 hodín. Celkový počet nanogridov definovaných v kapitole III. bol 25. V prvej časti grafickej závislosti je uvedená závislosť výkonu odoberaného z distribučnej siete za predpokladu neprevádzkovania vozidiel pripojených k nabíjacím staniciam. Ako je z grafu viditeľné, v oboch prípadoch nemá uvedené vplyv na výrobu a dodávku fotovoltaického zdroju.

Keďže počiatočný stav nabitia akumulátorov  $SOC_i$  vozidiel bol definovaný na hodnotu 60% z kapacity akumulátorov a teda 46,2kWh, počiatočná hodnota zaťaženia na úrovni do cca 400kW korešponduje so zníženým zaťažením zo strany domácností vzhľadom na čas ale z pohľadu počiatočného stavu nabitia vozidiel ide práve o nabíjanie batérií definovaným výkonom 11kW.

V cca 6. hodine simulácie dochádza k nárastu spotreby zo strany domácností a rovnako k zvýšeniu počtu pripojených vozidiel na 25, s čím je spojené práve nabíjanie týchto vozidiel, pričom v tomto čase ešte nie je badateľný príspevok zo strany fotovoltaickej elektrárne.

Ostatná časť charakteristiky je ovplyvnená práve odpojením týchto vozidiel a ich opätovným pripojením k nabíjacím staniciam a tým

vyvolaným nabíjaním, keďže uvedené vozidlá stratili počas uvedeného času jazdou časť kapacity batérie. Ďalší pokles zaťaženia siete bol daný poklesom záťaže vzhľadom na štandardný denný diagram zaťaženia.

V prípade aktivovania režimu V2G na vozidlách pripojených do siete dochádza v prvotnej časti časovej charakteristiky k rovnakému správaniu sa ako pri štandardnom nabíjaní, avšak po nabití týchto vozidiel dochádza k dodávke energie do siete. Keďže každé vozidlo je teoreticky schopné dodávky výkonu na úrovni 11kW, je uvedený príspevok nezanedbateľný z pohľadu celkovej výkonovej bilancie.

Uvedené nárasty výkonov sú teda dané práve dodávkou do siete, resp. dobíjaním vozidiel ktoré boli pripojené/odpojené podľa zadefinovaného harmonogramu.

Zo simulácie vyplýva, že samotný režim pripojenia, resp. odpojenia vozidiel a rovnako počiatočný stav nabitia  $SOC_i$  a miera požadovanej úrovne nabitia  $SOC_{min}$  a  $SOC_{max}$  do značnej miery ovplyvňujú priebeh zaťaženia v sieti. Rovnako dôležitým údajom je výkon nabíjacej stanice, kde údaj 11kW skôr reprezentuje klasické AC nabíjanie vozidiel. V režime V2G môžeme predpokladať výkonové úrovne od cca 25kW, avšak pri uvedenom musíme predpokladať buď inštalovanie fotovoltaiky alebo prispôbenie odberného miesta na minimálne istenie zo strany distribučnej siete na úrovni 40A. Pre potreby simulácie však uvedený výkon postačuje a dostatočným spôsobom reprezentuje odchýlky spôsobené práve spotrebou

a dodávkou energie do siete práve prostredníctvom batérií elektromobilov.

Príspevky zo strany hybridného fotovoltického systému sú relatívne ľahko predikovateľné vzhľadom na prítomnosť batérií, avšak práve inštalovanie technológie V2G predstavuje možnosť substitúcie batérií fotovoltiky batériami elektrických vozidiel.

#### V. ZÁVER A ODPORÚČANIA PRE ĎALŠÍ VÝSKUM

Vplyv prevádzky elektrických vozidiel pripojených do nanogridov v režime vozidlo do siete, resp. záťaž je nezanedbateľný a vo väčšom meradle môže byť považovaný za decentralizovaný zdroj elektrickej energie. Vzhľadom na ťažko predikovateľný charakter tejto výroby resp. spotreby je potrebné vykonať ďalší výskum v oblasti strojového učenia ktorým by bolo možné aplikovať na predvídanie tejto výroby a spotreby, resp. navrhnúť spôsob štandardizovanej komunikácie na úrovni distribučnej siete resp. iného dispečerského riadenia.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-21-0312.

#### LITERATÚRA

- [1] Daniel Burmester, Ramesh Rayudu, Winston Seah, Daniel Akinyele, A review of nanogrid topologies and technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 67, 2017, Pages 760-775, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.073>.
- [2] Zhao Huang, Zhiwei Guo, Pengbo Ma, Mengmeng Wang, Yonghong Long, Ming Zhang, Economic-environmental scheduling of microgrid considering V2G-enabled electric vehicles integration, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 32, 2022, 100872, ISSN 2352-4677, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100872>.
- [3] Hannes Krueger, David Fletcher, Andrew Cruden, Vehicle-to-Grid (V2G) as line-side energy storage for support of DC-powered electric railway systems, *Journal of Rail Transport Planning & anagement*, Volume 19, 2021, 100263, ISSN 2210-9706, <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2021.100263>.

#### ADRESY AUTOROV

Jozef Király, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [jozef.kiraly@tuke.sk](mailto:jozef.kiraly@tuke.sk)

Dušan Medved', Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, [dusan.medved@tuke.sk](mailto:dusan.medved@tuke.sk)