

ENERGY FLOW ANALYSIS IN LV GRID WITH HIGH LEVEL PENETRATION OF PV INSTALATIONS

Robin Kolarik

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkolar69@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Martin Paar

E-mail: paar@feec.vutbr.cz

Abstract: The article is focused on the analysis of daily energy flow in LV grid with PV installations, electric vehicles and the character of the building consumption. PV systems are situated on the roofs of the houses and use maximum roofs technical potential. Electric vehicles are divided to three categories and by each house are situated one electric car. Load profile of each houses are based on the standardized load profile, which is allocated according to distribution tariff. The aim of this article is to determine daily power flow analysis in municipality LV grid.

Keywords: distribution network, electric vehicle, load diagram, PV system

1 ÚVOD

Článek pojednává o časové simulaci průběhu toku výkonu v části obce, vybraná část pokrývá 41 rodinných domů. Jedná se o standardní obecní zástavbu řadových rodinných domů. Střecha objektů je pokryta ve své maximální využitelné ploše fotovoltaickými (FV) panely a u každého objektu je uvažováno dobíjení rodinného elektromobilu (EV).

2 ASPEKTY SIMULACE

Jednotlivé objekty jsou charakterizovány průběhem spotřeby, průběhem výroby ze střešní instalace fotovoltaické elektrárny (FVE) a dobíjením elektromobilu. Časové okno simulace bylo zvoleno 24 hodin, které je rozděleno na 5minutové intervaly. Vzhledem k hodinovým průměrným výkonům z dostupných dat, byla provedena interpolace průběhů v programu MATLAB metodou „pchip“, která zachovává původní hodnoty průběhu a dopočítává zbylé hodnoty pomocí kubické interpolace.

2.1 TYPOVÉ DIAGRAMY DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE

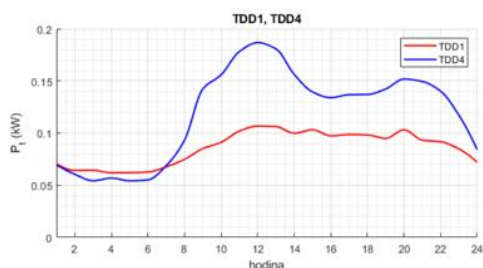
Ve stávajícím způsobu měření odběru elektrické energie tvoří velkou část odběratelé, u kterých není využíváno průběhové měření. Na základě dlouhodobého sledování průběhů u velkého počtu těchto zákazníků byly sestaveny modelové průběhy spotřeby těchto odběratelů. Typové diagramy dodávky (TDD) tak vyjadřují odhadovanou bilanci elektrické energie v čase, a jejich úkolem je modelovat předpokládaný průběh.

Společnost OTE a.s. na svých stránkách poskytuje osm typů ročních TDD s hodinovým intervalem průměrných výkonů [1]. Jednotlivé typy TDD zohledňují různorodé chování spotřebitelů elektrické energie. Například spotřebitel, který využívá elektrickou energii na vytápění i ohřev teplé vody (TV) bude mít jiný charakter odběru než spotřebitel, který využívá pro vytápění a ohřev TV jinou formu než elektrickou. Chování spotřebitelů též zohledňuje provozovatel distribuční soustavy, který na základě předpokládaného využití elektrické energie a velikosti spotřeby v objektu stanoví spotřebiteli distribuční sazbu. Jednotlivé distribuční sazby jsou zařazeny do příslušné třídy TDD.

Přehled vybraných příkladů tříd TDD [1]

- TDD1 Podnikatel odběr bez tepelného využití elektrické energie C01d, C02d
- TDD4 Domácnost odběr bez tepelného využití elektrické energie D01d, D02d
- TDD5 Domácnost odběr s akumulacím spotřebičem D25d, D26d
- TDD7 Domácnost odběr s přímotopným vytápěním/ tepelným čerpadlem D45d, D55d

Z důvodu přehlednosti nejsou v přehledu distribučních sazeb uvedeny všechny distribuční sazby. Pro vybrané kategorie TDD jsou na obrázcích níže (**Obrázek 1** a **Obrázek 2**) vyneseny interpolované křivky denního zatížení pro den 31.5.2021 a roční spotřebou objektu 1 MWh



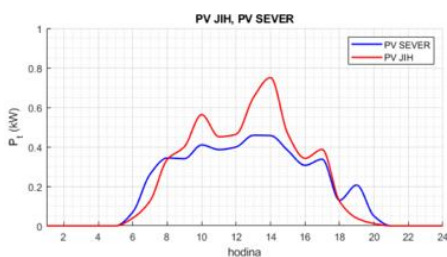
Obrázek 1: průběh spotřeby TDD1 a TDD4



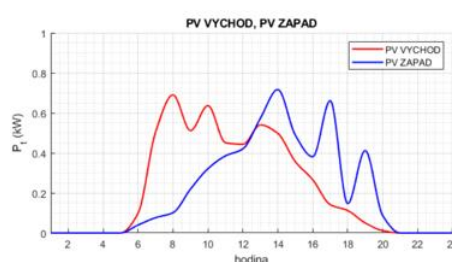
Obrázek 2: průběh spotřeby TDD5 a TDD7

DODÁVANÝ VÝKON Z FVE

Pro zjištění předpokládaného průběhu výroby elektrické energie ze střešních FVE je využit výpočetní program PVGIS[2]. Poskytuje průběh předpokládané roční výroby FVE v hodinových intervalech. Vstupními hodnotami do programu je místo instalace, sklon, natočení a instalovaný výkon FV panelů, případně ztráty systému. Vzhledem k rozdílnému natočení střech objektů ve vybrané síti, byly zjištěny průběhy předpokládané výroby z FV panelů pro 8 různých směrů natočení panelů od 0° do 360° po kroku 45°. Jednotlivé průběhy byly zjištěny pro instalovaný výkon FV panelů $P_{inst} = 1$ kWp. Tyto průběhy jsou brány jako výchozí a následně pro konkrétní objekt bude stanovena předpokládaná výroba FVE v závislosti na maximálním možném instalovaném výkonu střešní instalace objektu. Průběh dodávky výkonu z FVE pro vybrané směry natočení, jsou vyneseny na obrázcích níže. (**Obrázek 3**, **Obrázek 4**)



Obrázek 3: výroba FVE pro sever a jih, 1 kWp



Obrázek 4: výroba FVE po východ a západ, 1 kWp

ELEKTROMOBIL

V obci bude uvažováno s využitím tří typů EV. Kategorie A počítá s malým EV s průměrným denním nájzdem 30 km/den a spotřebou 131 Wh/km, zastoupení 20 %. Kategorie B odpovídá rodinnému EV s denním nájzdem 45 km/den a spotřebou 150 Wh/km, zastoupení 65 %. Poslední kategorie C odpovídá firemnímu použití EV s denním nájzdem 90 km/den a spotřebou 190 Wh/km, zastoupení 15 %. Dobíjení EV je uvažováno tak, aby vykompenzovalo denní nájzd ujetých kilometrů a křivka dobíjení EV zohledňuje skutečnost různého času připojování EV do DS. Nejvíce připojení EV do sítě je uvažováno mezi 15 až 18 hodinou.[3] [4] V současné verzi výpočtu není uvažováno řízené dobíjení EV.

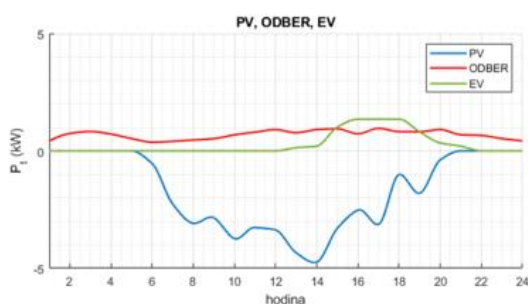
3 UKÁZKOVÝ OBJEKT

Jedná se o typ rodinného domu, který je nejvíce zastoupen v simulované oblasti. Objekt má sedlovou střechu orientovanou na východ – západ. Celková plocha střechy je rovna 100 m². Roční spotřeba elektrické energie objektu činí 6410 kWh se sazbou D25d (TDD5). Průběh spotřeby objektu pro daný den je zobrazen červenou křivkou (**Obrázek 5**). Je získán vynásobením jednotlivých průměrných odběrů v čase přepočteného TDD5 a celkovou roční spotřebou.

$$P_{(t)obj} = P_{(t)TDD5} \cdot P_{spotřeba} \quad (1)$$

Průběh dodávaného výkonu z FVE umístěné na objektu je rozdělen na dva průběhy, jeden průběh zahrnuje dodávku z východní strany instalace a druhý průběh ze západní strany instalace. Předpokládáme symetrickou sedlovou střechu, stejný podíl střechy je orientován na východ i západ, dále je zahrnut koeficient využití střechy $K_p = 0,5$. [1][5][6].

Uvažujeme panel o výkonu 300 Wp a plochou 1,8 m². Instalační plocha FV panelu je vypočtena z rozměrů panelu uvedené výrobcem a zahrnutí nutné instalační mezery mezi panely. Na jednu stranu střechy je instalován výkon $P_{inst} = 3,9$ kWp. Průběh dodávky výkonu z FVE je znázorněn modrou křivkou (**Obrázek 5**) a celková výkonová bilance ukázkového objektu je zobrazena na obrázku 6.



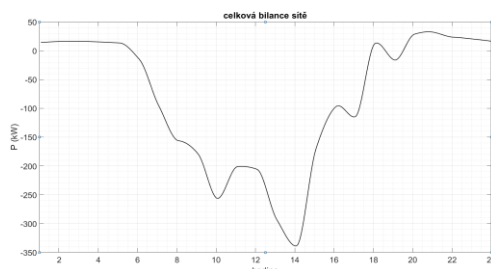
Obrázek 5: průběh výroby FVE a spotřeby objektu, průběh nabíjení EV



Obrázek 6: celková výkonová bilance objektu (P <0 dodávka, P >0 odběr)

4 SIMULACE OBLASTI

Na obrázku níže (**Obrázek 7**) je zobrazena výsledná výkonová bilance modelované sítě Celkem se v dané lokalitě nachází 41 fotovoltaických střešních instalací. Na severní stranu střech je instalovaný výkon všech FV panelů roven 24,9 kWp, na jižní stranu 85,8 kWp, na západní stranu 171,6 kWp a na východní stranu je orientován výkon 203,1 kWp.



Obrázek 7: výkonová bilance modelované sítě 31.5.2021, pondělí. (P <0 dodávka, P >0 odběr)

Dominantní vliv na průběh budou mít instalace orientované na východ a západ. Tato skutečnost je důsledkem dvou velmi výrazných špičkových dodávek do sítě v 10 hodin a následně ve 14 hodin. Tyto časy výkonových špiček odpovídají také průběhům předpokládané dodávky z FV panelů na obrázku v kapitole 0. Od 15 té hodiny se zvyšuje spotřeba vlivem připojování EV do sítě. V simulovaný den 31.5.2021 je z FV instalací pokryta téměř veškerá spotřeba EV.

5 ZÁVĚR

Z výsledných průběhů vyplývá potenciál soběstačnosti zvoleného objektu v daném dni, pokud by byla správně zvolená a navržena akumulace, která není u daného objektu v současném návrhu uvažována. Modelová síť je napájena z distribučního transformátoru VN/NN (22/04 kV) o výkonu 400 kVA. Dle výsledků simulace by v daném dni by tak nedošlo k nežádoucímu přetížení napájecího transformátoru. Vedení je uvažováno v celé své délce jako AYKY 3x185+70 a vzhledem k topologii sítě nedošlo k jeho přetížení nadměrným průchodem proudu. Napětí v jednotlivých vybraných uzlech sítě zůstalo po celou dobu simulace v mezích stanovených v PPDS. [8]

Jako pokračování tohoto projektu je snaha o automatizaci procesu. Schopnost načíst již existující síť, přiřadit TDD jednotlivým objektům podle distribuční sazby, přiřadit střešní FV instalaci a následně vyhodnotit předpokládanou výkonovou bilanci v kterýkoli den v roce pro vybranou oblast.

REFERENCE

- [1] STATISTIKA: Normalizovaný TDD. *OTE* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-elekriny/normalizovane-tdd?date=2021-03-10>
- [2] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. *EU SCIENCE HUB* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP
- [3] FILIP, Robin. *Bateriové systémy pro distribuční sítě*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119142>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.
- [4] FIGENBAUM, Erik a Marika KOLBENSTVEDT. *Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users: Results from a survey of vehicle owners* [online]. Oslo: Institute of Transport Economics (TØI), 2016 [cit. 2021-03-09]. ISBN 978-82-480-1718-9. <https://www.toi.no/publications/learning-from-norwegian-battery-electric-and-plug-in-hybrid-vehicle-users-results-from-a-survey-of-vehicle-owners-article33869-29.html>
- [5] Jakubes J., Járka V.: Studie „Potenciál solární energetiky v České republice“. ENACO. Praha 2015, 58 s.
- [6] Čambala P., Hrubý M., Muselík O., Špaček T., Procházka J.: Oponentní posudek k vybraným tématům z návrhu Národního Klimaticko-Energetického Plánu (NKEP) pro oblast FVE. EGÚ Brno a. s. 2018, 36 s.
- [7] ŠTEFEK, Martin. *Potencionální produkce elektrické energie ze střešních fotovoltaických elektráren v obci do 3000 obyvatel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Paar, Ph.D.
- [8] Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha č.4 - Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy. 2021. Dostupné také z: <https://www.egd.cz/predpisy-smlouvy-pro-elekrinu>