

VÝSLEDKY MĚŘENÍ A SIMULACÍ FOTOVOLTAICKÉHO NAPÁJENÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL V PODMÍNKÁCH ČR

RESULTS OF MEASUREMENTS AND SIMULATIONS OF PHOTOVOLTAIC FEEDING OF RAILWAY VEHICLES IN CONDITIONS OF CZECH REPUBLIC

Petr SÝKORA¹, Zdeněk MAŠEK²

Abstrakt

První část příspěvku popisuje měření provedená na experimentálním kolejovém vozidle Dopravní fakulty Jana Pernera, na jejichž základě byla určena účinnost přeměny dopadajícího slunečního záření na elektrickou energii prostřednictvím fotovoltaických panelů umístěných přímo na střeše vozidla. Druhá část se zabývá zpracováním statistických dat o dopadajícím slunečním záření změřených na čtyřech meteorologických stanicích na území České republiky. V poslední části je pak na základě určené účinnosti přeměny energie a statistických dat provedena simulace jízdy dvouzdrojové elektrické jednotky na čtyřech tratích v České republice, přičemž je sledován energetický přínos fotovoltaických panelů umístěných na střeše zamýšlené jednotky vzhledem k celkové spotřebě energie.

Klíčová slova

experimentální vozidlo, měření, fotovoltaické panely, účinnost, simulace

Abstract

The first part of this paper describes measurements done on experimental vehicle of Faculty of Transport Engineering – these measurements were used for determination of conversion efficiency of sunshine into electric energy through photovoltaic panels mounted directly on the roof of the vehicle. Next part is focused on statistical processing of data about sunshine from four meteorological stations in Czech Republic. In the last part of this paper are presented simulations results of the drive of the two-source electric motor unit done according to counted efficiency of energy change and statistical data of sunshine. These simulations were done for railway tracks in Czech Republic, real energy impact of photovoltaic panels on the roof of unit was assessed.

Keywords

experimental vehicle, measurement, photovoltaic panels, efficiency, simulation

1 ÚVOD

Snaha o snižování dopadu lidské činnosti na životní prostředí je jedním z nejvýraznějších cílů současné společnosti nejen v Evropě. Kolejová doprava je ze své podstaty vůči přírodě šetrnější, i

¹ Ing. Petr Sýkora, University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice. Tel.: +420 466 036 669, e-mail: petr.sykora@upce.cz

² Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering. Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice. Tel.: +420 466 036 403, e-mail: zdenek.masek@upce.cz

u ní ale existuje prostor pro snižování dopadů na životní prostředí, a to zvláště u vozidel nezávislé trakce, kde dodnes vládne jako primární zdroj energie motorová nafta užívaná jako palivo do spalovacích motorů.

Jako jednou z perspektivních náhrad spalovacích motorů se dnes jeví elektrické pohony, a to zvláště u vozidel dvouzdrojových schopných jízdy jak pod trolejí s trolejovým napájením a zároveň dobíjením akumulátorů, tak i jízdy s čistě akumulátorovým napájením na nezatrolejovaných úsecích. Jelikož je žádoucí užívat akumulátory co nejmenších rozměrů a hmotností, je vítána každá možnost, jak u vozidla snížit spotřebovanou energii. Jednou z možností je osazení fotovoltaických panelů přímo na vozidlo, přičemž budou tyto panely průběžně akumulátor dobíjet.

Určením předpokládaného energetického přínosu takto namontovaných fotovoltaických panelů v podmínkách České republiky se zabývá tento příspěvek.

2 EXPERIMENTÁLNÍ KOLEJOVÉ VOZIDLO A PROVEDENÁ MĚŘENÍ

Dopravní fakulta Jana Pernera vlastní a provozuje experimentální kolejové vozidlo rozchodu 600 mm. Jeho technický popis a využití blíže popisuje [1], provedení vozidla ukazuje obr. 1.



Obr 1. Experimentální kolejové vozidlo DfJP s vlečným vozem

Na střeše experimentálního vozidla jsou osazeny čtyři hybridní fotovoltaické panely Panasonic, na střeše vlečného vozu pak čtyři amorfní panely SolarFrontier, obojí s parametry dle tab. 1.

Tab 1. Parametry fotovoltaických panelů

Typ	[-]	VBHN240SJ25	SF160F
Výrobce	[-]	Panasonic	SolarFrontier
Maximální výkon P_{max}	[W]	240	160
Napětí naprázdno V_{oc}	[V]	52,4	110
Proud nakrátko I_{sc}	[A]	5,85	2,2
Napětí U_{mpp}	[V]	43,6	84
Proud I_{mpp}	[A]	5.51	1,91

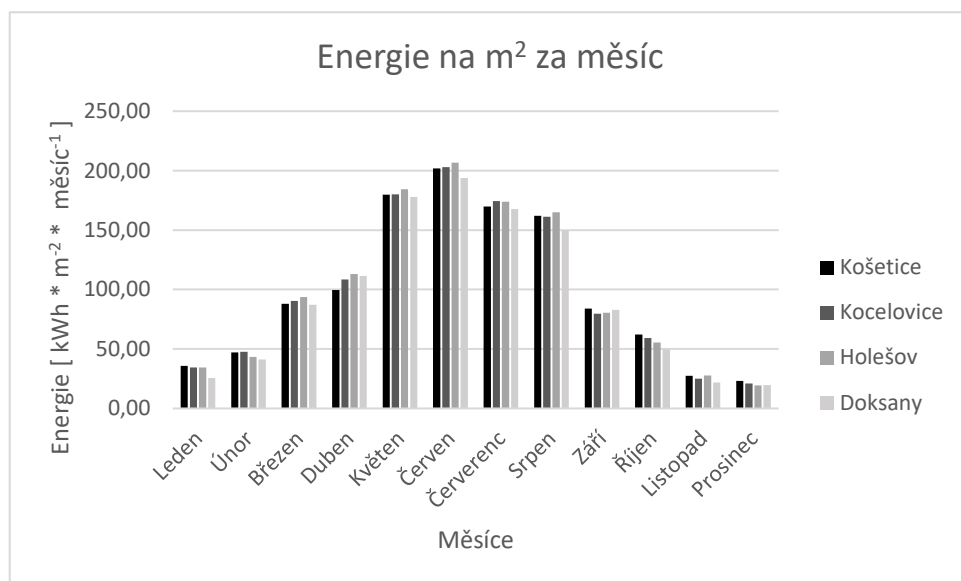
Elektrická energie vyrobená fotovoltaickými panely je dodávána do meziobvodu vozidla, přičemž je měřeno 2x elektrické napětí a 2x elektrický proud pomocí čidel LEM, instalace tedy umožňuje určit okamžitý výkon fotovoltaického zdroje ve dvou nezávislých kanálech a následně tyto výkony porovnávat. Dále jsou měřeny okamžitý relativní výkon slunečního záření pomocí termoelektrického čidla zvaného pyranometr a teplota hybridních panelů.

Cílem měření bylo určit účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii v podmínkách blížících se reálnému drážnímu provozu. Proto bylo v letech 2017 až 2019 zrealizováno 32 měřicích dnů převážně v létě a na podzim, kdy byly měřeny různé konfigurace připojení panelů za různých atmosférických a provozních podmínek.

Výsledná účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii byla v závislosti na podmínkách určena v rozsahu $2 \pm 18 \%$.

3 VÝKON A ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Pro další výpočty bylo nutné určit reálnou energii, která dopadne díky slunečnímu záření na povrch Země v České republice. Za tímto účelem byla od Českého hydrometeorologického ústavu zakoupena data z roku 2017 z meteorologických stanic Košetice, Kocelovice, Holešov a Doksany. Data obsahují globální relativní výkon slunečního záření s krokem 10 minut. Měsíční úhrny relativní energie ukazuje obr. 2, z něhož je vidět, že se tyto úhrny v podmínkách České republiky příliš neliší, dlouhodobě se tyto úhrny neliší ani meziročně.



Obr. 2 Měsíční úhrny relativní energie za rok 2017

4 SIMULACE JÍZD DVOUZDROJOVÉ ELEKTRICKÉ JEDNOTKY

Pro simulaci byla zvolena normálněrozchodná elektrická dvouzdvořová dvouvozová jednotka obvyklých tuzemských rozměrů s možností napájení z troleje, nebo z akumulátoru, přičemž je při jízdě pod trolejí dobíjen i akumulátor.

Vzhledem ke konstrukci současných jednotek byl započítán činitel zaplnění střechy jednotky 0,5 a činitel zastínění panelů 0,7, výsledná aktivní plocha fotovoltaických panelů byla tedy $67,5 \text{ m}^2$.

Pro simulace byly zvoleny vzhledem k dostupnosti podkladů, příležitosti dostupných meteorologických stanic a možnosti provozu dvouzdvořové jednotky tyto železniční tratě:

- Ústí nad Orlicí – Lichkov – Králupy,
- Brno – Blažovice – Kyjov,
- Plzeň – Přovany – Bezručice,
- Havlíčkův Brod – Kostelec u Jihlavy – Slavonice.

Na těchto tratích byla simulována jízda uvažované jednotky pomocí simulačního software užívaného na Katedře elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě s cílem určit spotřebu energie dané jednotky.

Vzhledem k datům měření účinnosti byly pro další výpočty uvažované termíny letního slunovratu čili 21. června a podzimní rovnodennosti čili 23. září. Pro tyto dny byla určena nejlepší a nejhorší účinnost hybridních i amorfních panelů, dále byly z dat ČHMÚ coby průměry ± 10 dnů okolo daného dne určeny relativní výkony slunečního záření pro časy 9:00, 13:00 a 17:00. Z těchto údajů a ze znalosti aktivní plochy panelů na střeše jednotky byl určen okamžitý výkon fotovoltaických panelů, který byl uvažován po dobu jízdy jednotky konstantní.

Na základě těchto údajů byl určen absolutní výkon fotovoltaických panelů na střeše jednotky, jimi vyrobená energie za jízdy vozidla, a tedy energie ušetřená z celkové energetické spotřeby vozidla. Výsledky jsou tyto:

- okamžitý výkon fotovoltaických panelů na střeše jednotky: $0 \div 6$ kW,
- absolutní energie vyrobená fotovoltaickými panely za jízdy vozidla: $0 \div 50$ kWh,
- relativní pokrytí energetické spotřeby vozidla $0 \div 6$ %.

5 ZÁVĚR

Na základě měření a simulací byl určen předpokládaný energetický přínos fotovoltaických panelů umístěných přímo na střeše dvouzdrojové dvouvozové elektrické jednotky v podmínkách železničního provozu České republiky. Určený energetický přínos se pohybuje v rozsahu $0 \div 6$ % celkové energetické spotřeby vozidla. To není hodnota nikterak závratná – nepokryje zpravidla ani spotřebu pomocných pohonů a zařízení jednotky, na druhou stranu ji nelze považovat za hodnotu zanedbatelnou.

Sice by montáž panelů na střechu vozidel přinesla doposud neřešené problémy, je to však cesta, jak tuto plochu efektivně využít, o čemž svědčí i fakt, že se touto problematikou zabývají i na jiných místech světa.

Výzkum je podporován Technologickou agenturou České republiky v rámci projektu TK02010009 Zvyšování efektivity železniční dopravy v rámci energetické optimalizace systému multimodální mobility.



Literatura

- [1] SÝKORA, P., LELEK, T., SADÍLEK, O. Experimentální kolejové vozidlo Dopravní fakulty Jana Pernera. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech: XXIII. konference s mezinárodní účastí, sborník příspěvků*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2017, 379–382. ISBN 978-80-7560-085-1.