

Stochastický simulátor spotřeby parciálního trolejbusu – srovnání kalibrace

Jakub Ševčík

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

jsevcik@rice.zcu.cz

A Stochastic Simulator of the Hybrid Trolleybus Consumption – A Comparison of Calibration

Abstract – In this paper, a mathematical model for a prediction of energy consumption of electric buses or hybrid trolleybuses is briefly presented and two different approaches for a calibration of the model are discussed. A comparison of differently calibrated simulators is performed on the evaluation of the predicted energy balance and the predicted cumulative energy consumption.

Keywords – Electric Energy Consumption; Energy Balance; Hybrid Bus; Hybrid Trolleybus; Linear Model

I. ÚVOD

V současné době je patrný celosvětový trend navyšování podílu elektricky poháněných vozidel. Tento trend se nevyhýbá ani hromadné dopravě osob [1], kde jeho význam může být doložen např. výsledky projektu [2], které uvádějí, že vzhledem k době provozu a výkonu je stejně účinné elektrifikovat jedno vozidlo městské hromadné dopravy jako 100 osobních automobilů.

Kvůli vyšším nákladům na stavbu trolejového vedení se předpokládá nahrazování autobusů městské hromadné dopravy (MHD) se spalovacími motory především nově pořizovanými elektrickými autobusy či parciálními trolejbusy (vozidly kombinující napájení ze stávajících trolejí a z baterie). Druhé jmenované řešení je vhodné zejména ve městech s vysokou hustotou zatrolejování, jako je např. město Plzeň.

Pro úspěšné nasazení elektrických autobusů a parciálních trolejbusů do flotily vozidel MHD je potřeba umět predikovat spotřebu energie těchto vozidel na jednotlivých úsecích předem definované trasy. Tato znalost je stěžejní pro správné dimenzování akumulčních prvků (baterií) výzbroje vozidla či navrhnutí správného dimenzování infrastruktury (trolejového vedení, napájecích stanic).

Tento příspěvek stručně představuje stochastický simulátor vyvíjený na Západočeské univerzitě v Plzni [3],[6], porovnává výsledky simulací v závislosti na rozdílné kalibraci matematického modelu a věcně sumarizuje vybrané výsledky prací [4],[5].

II. MATEMATICKÝ MODEL

Pro popis energetické spotřeby trakčních potřeb vozidla na daném úseku linky se ukazuje jako dostačující [4],[5] použít jednoduchý lineární model

$$\langle E_t \rangle = \beta_0 + \beta_1 \cdot L + \beta_2 \cdot asc + \beta_3 \cdot dsc, \quad (1)$$

kde β_* jsou koeficienty lineárního modelu, L je délka daného úseku linky a asc a dsc jsou celkové stoupání a celkové klesání na daném úseku linky. Daným úsekem linky budeme dále rozumět vždy jeden konkrétní mezizastávkový úsek.

III. SROVNÁNÍ KALIBRACE MODELU

Základním předpokladem využití modelu (1) je jeho správná kalibrace, tj. nalezení konstant β_* . Kvalita naměřených dat, pomocí nichž je model kalibrován, je tak zcela zásadní pro správné fungování modelu. V tomto příspěvku porovnáváme kalibraci modelu (1) pomocí dvou rozdílných vstupních datových sad.

Lineární model (1) byl s předpokladem normálních residuí (více v [4]) kalibrován

1. z naměřených dat získaných při reálných průjezdech hybridního autobusu Škoda H12 Solaris ve městě Plzeň,
2. z naměřených dat získaných při reálných průjezdech parciálních trolejbusů Škoda 26Tr Solaris ve městě Plzeň.



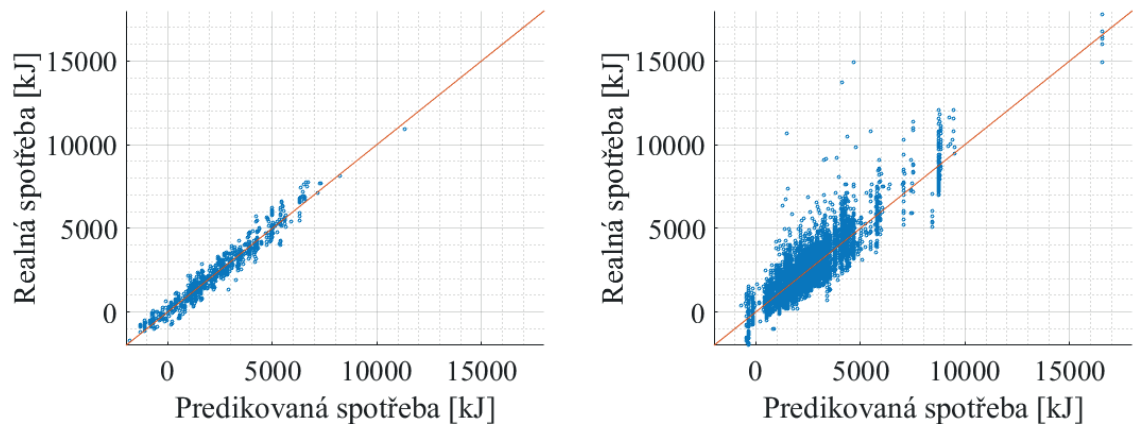
Obrázek I. Hybridní autobus Škoda H12 Solaris vlevo a parciální trolejbus Škoda 26Tr Solaris vpravo

Na tomto místě je nutné zdůraznit, že zatímco data získaná při průjezdech hybridního autobusu Škoda H12 Solaris jsou data spotřebované respektive rekuperované trakční energie, data získaná při průjezdech parciálních autobusů Škoda 26Tr Solaris jsou data spotřebované energie pro trakční i netrakční potřeby dohromady (vyjma energie spotřebované pro nabíjení trakční baterie).

Při kalibraci modelu (1) byl pro odhad hodnot koeficientů β_* využit maximálně věrohodný odhad, konkrétně metoda nejmenších čtverců. Geografické informace (celkové stoupání, celkové klesání) na jednotlivých mezizastávkových úsecích byly získány automatickými skripty z mapového serveru mapy.cz.

Porovnání predikované a reálné spotřeby energie je znázorněno na Obrázku II. Zatímco rozptyl reálných dat trakční spotřeby naměřených během průjezdů autobusu Škoda H12 Solaris je modelem (1) vysvětlen ve více než 94 % případů, $R^2 = 0,946$, model kalibrováný daty získanými při průjezdech parciálních trolejbusů Škoda 26Tr Solaris vysvětluje pouze 75 % rozptylu těchto dat, $R^2 = 0,754$.

Lze se domnívat, že tato nižší úspěšnost predikce u druhého způsobu kalibrace je způsobena zahrnutím požadavků netrakčních potřeb do zaznamenávané spotřeby energie, především pak spotřeby energie pro vytápění sálu vozidla, které je po trakci největším konzumentem energie [5].

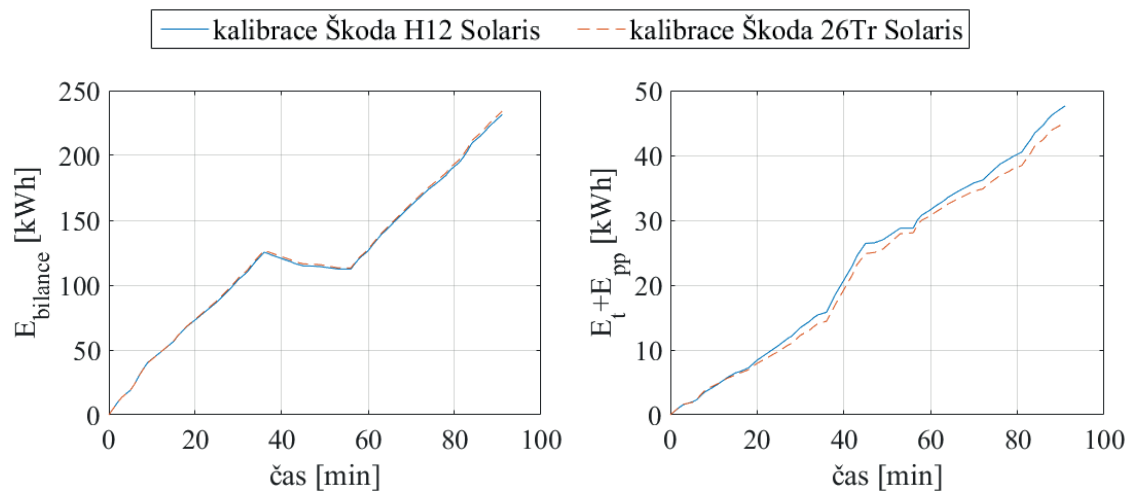


Obrázek II. Predikovaná vs. reálná spotřeba energie. Data získaná z vozidla H12 a predikovaná modelem kalibrovaným těmito daty vlevo. Data získaná z vozidel 26Tr a predikovaná modelem kalibrovaným těmito daty vpravo

IV. PREDIKOVANÁ ENERGETICKÁ BILANCE A SPOTŘEBA

V této kapitole je porovnána predikovaná energetická bilance a kumulativní energetická spotřeba vozidla parciálního trolejbusu na lince č. 12 MHD v Plzni. Porovnány jsou výsledky dvou simulací získaných stochastickým simulátorem spotřeby vozidla [6] v závislosti na kalibraci modelu (1) blíže popsané v kapitole III.

Simulace je prováděna konkrétně pro trasu „Nová Hospoda“ – „Letkov, v Podlesí“ – „Nová Hospoda“. Zatímco při použití kalibrace z dat průjezdů autobusu Škoda H12 Solaris je spotřeba pomocných potřeb dopočítávána z časů jízdního řádu a průměrné konstantní spotřeby pomocných pohonů (více v [4]), při použití kalibrace z dat průjezdů parciálních trolejbusů Škoda Tr26 Solaris je celková spotřeba trakčních i netrakčních spotřeb získána přímo z modelu (1).



Obrázek III. Predikovaná energetická bilance vlevo a predikovaná kumulativní suma trakčních i netrakčních spotřeb vpravo parciálního trolejbusu na lince č. 12 v Plzni

Na Obrázku III vlevo jsou znázorněny simulované energetické bilance přijaté vs. spotřebované energie. V případě, že přijaté množství energie z trolejového vedení převyšuje spotřebovanou energii na mezizastávkovém úseku, trend křivky je rostoucí. V opačném případě, tj. např. typicky na nezastávkovaném úseku, kdy spotřeba energie převyšuje energii získanou, je bilanční křivka klesající. Je patrné, že získané křivky

energetické bilance jsou téměř totožné. Rozdíl po projetí celé trasy linky č. 12 tam a zpět je 1,1 %.

Na Obrázku III vpravo jsou znázorněny kumulativní součty spotřebované energie. Jedná se o spotřebu energie jak na trakční tak netrakční potřeby. Způsob výpočtu spotřeby pomocných pohonů je popsán výše v textu. Rozdíl predikované výsledné spotřeby získané s využitím diskutovaných nastavení simulátoru je na lince č. 12 tam a zpět 2,6 kWh, tedy rozdíl 5,4 %.

V. ZÁVĚR

V příspěvku byly porovnány dvě rozdílné kalibrace stochastického simulátoru spotřeby parciálního trolejbusu. Ačkoliv z naměřených dat vyplývá, že schopnost modelu predikovat správně spotřebu energie je v závislosti na způsobu kalibrace rozdílná (94% vs. 75% úspěšnost vysvětlení rozptylu v datech), v kapitole IV bylo ukázáno, že predikovaná kumulativní energetická bilance se na lince č. 12 v Plzni liší pouze o 1 % v závislosti na kalibraci modelu.

Rozdíl simulovaných kumulativních trakčních a netrakčních spotřeb dosahuje rozdílu více než 5 % v závislosti na způsobu kalibrace. Lze předpokládat, že výsledný rozdíl je způsoben především metodou výpočtu spotřeb pomocných pohonů. Vzhledem k tomu, že po trakci je největší množství energie upotřebeno pro vytápění sálu, dalším pokračováním této práce by mohl být návrh matematického modelu spotřeby vytápění vozidla a jeho zařazení do simulátoru.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-009: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích III.

LITERATURA

- [1] ZeEUS eBus Report #2. *ZeEUS* [online]. 2018 [cit. 2018-09-18]. Dostupné z: <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-report2017-2018-final.pdf>
- [2] Factor 100: Why it is so important to focus more on the electrification of public transport. *EU Project ELIPTIC* [online]. [cit. 2018-09-18]. Dostupné z: www.elliptic-project.eu/sites/default/files/Faktor100_Folder_EN_RZ_web_0.pdf
- [3] PŘÍKRYL, J., DUDEK, R., DRÁBEK, P. *Model energetické bilance hybridního (parciálního) trolejbusu*. Západočeská univerzita v Plzni, 2016.
- [4] DUDEK, R. *Stochastic model of power consumption of a public transport vehicle*. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, 2017.
- [5] JANDA, M., ŠEVČÍK, J. *Sofistikovaný simulátor vozidla - ověření jízdních cyklů parciálního trolejbusu*. Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
- [6] ŠEVČÍK, J., DUDEK, R., JANDA, M., PŘÍKRYL, J. *Simulátor pohonné jednotky drážního vozidla – expertní systém*. Západočeská univerzita v Plzni, 2017.