

Centrum kompetence drážních vozidel

Martin Janda, Jakub Ševčík

Sofistikovaný simulátor vozidla - ověření jízdních cyklů parciálního trolejbusu

Výzkumná zpráva

Pracovní balíček:

WP8 – Elektrické části pohonů

Rok řešení:

2017

Pracoviště: KEV/RICE
Výzkumná zpráva č.: 22190 - 054 - 2017

Sofistikovaný simulátor vozidla - ověření jízdních cyklů parciálního trolejbusu

Druh úkolu: Vědecko - výzkumný
Řešitelé: Martin Janda, Jakub Ševčík
Vedoucí úkolu: Pavel Drábek
Počet stran: 19
Datum vydání: prosinec 2017
Revize: 1

Projekt č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“ je
řešen s finanční podporou TA ČR

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá zpracováním přehledu a základním vyhodnocením dat naměřených na parciálním trolejbusu 26Tr při pohybu zejména na linkách 12 a 13 MHD v Plzni pro účely zefektivnění získávání dalších dat nutných pro vývoj SW nástrojů pro optimalizaci MHD.

Seznam symbolů a zkratek

APC	Automatické počítání cestujících
EBS	Enhanced Braking System
GIS	Geografické Informační Systémy
GPS	Global Position Systém
MHD	Městská Hromadná Doprava
PMDP	Plzeňské městské dopravní podniky, a.s.
POVED	Plzeňský organizátor veřejné dopravy

Obsah

1	ÚVOD.....	4
2	IMPORT DAT.....	5
2.1	Tachograf 1.....	5
2.2	Tachograf 2.....	6
2.3	GPS.....	6
2.4	Automatické počítání cestujících	6
2.5	Trasování linek	7
2.6	Seznam zastávek s GPS informacemi	7
3	IMPORTOVANÁ DATA.....	7
4	ZPRACOVÁNÍ DAT	9
4.1	Vyhodnocení energetické spotřeby vozidla a její predikce na základě stochastického modelu.....	9
4.2	Vyhodnocení spotřeby energie na lince č. 12.....	10
4.3	Vyhodnocení spotřeby energie na lince č. 13.....	12
5	ROZPTYLY V REÁLNÝCH PRŮJEZDECH.....	14
6	ZÁVĚR.....	16

1 Úvod

Vývoj pokročilých simulačních nástrojů sloužících k optimalizaci nasazení vozidel MHD, v současné době zejména parciálních trolejbusů, umožní zejména tyto úkoly:

-  Zatrolejování jednotlivých obsluhovaných úseků včetně dimenzování troleje
-  Dimenzování měníren
-  Dimenzování zásobníků energie na vozidle
-  Hospodaření s energií na vozidle (power management vozidla)

Pro vývoj SW jsou nezbytná naměřená data z reálného provozu, data jsou poskytována PMDP od prosince 2017 a týkají se zejména linek 12 a 13, které obsluhují parciálními trolejbusy i úseky mimo trolej.

Cílem této zprávy je zhodnotit použitelnost dostupných dat, zhodnotit nutnost hledání dalších zdrojů dat a minimalizovat požadavky na PMDP, protože některá je nutno získávat fyzickou návštěvou vozidla, tj. do budoucna požadovat pouze využívaná data.

2 Import dat

Naměřená data se týkají vozidla 26Tr (Skřín Solaris, 100% nízkopodlažní, 12 m, max 65 km/h, max 80 osob, celková hmotnost 19 t, 160 kW asynchronní trakční motor, koordinace EDB a mechanické brzdy je řízena EBS, možnost brždění do odporu 240 kW na 13 s, baterie Nano Lithium Titanate 44.3 kWh, maximální příkon topení 39 kW, salon pro cestující není klimatizován)

Data jsou sbírána různými zařízeními:

-  Tachograf 1 – palubní tachograf umístěný na každém vozidle
-  Tachograf 2 – měřicí tachograf umístěný na vozidle 2572
-  GPS – data odesílaná vozidly na dispečink (archivována POVED)
-  Automatické počítání cestujících provozované na vozidle 2572
-  Informace o vedení linek z jízdních řádů PMDP

2.1 Tachograf 1

Zařízení pro logování dat na vozidle firmy C.T.M. [1]. Zařízení je umístěno na všech vozidlech a loguje data v krátké (rychle vzorkované) smyčce (cca poslední 1,5 km jízdy) zejména pro vyšetřování příčin případných nehod a poruch a v dlouhé smyčce (cca týden běžného provozu). Využívána jsou data z dlouhé smyčky, vzorkovací perioda je minimálně 0,1 s, prakticky kolísá až do maximálně 1 s. V zaznamenaných vzorcích jsou další výpadky jednotlivých veličin, např. u rychlosti chybí hodnota u 4-5 procent vzorků.

Data jsou ukládána v proprietárním formátu .tgf, je možné je exportovat do textového souboru značné velikosti (týdenní záznam má cca 250 MB). Do textového souboru nejsou exportována všechna data, nepříjemná je zejména absence identifikace řidiče a linky.

Na jednotlivých vozidlech nejsou logována stejné veličiny, což znesnadňuje import do SW používaného pro další zpracování.

Využívané veličiny: Číslo (vzorku), Vzdálenost ([m] od začátku záznamu), Čas, Datum, Rychlost [km/h], PneuBrzda (logická veličina použití pneumatické brzdy), EDB (logická veličina použití elektrodynamické brzdy), 1.dvere (logická otevření dveří řidiče), ZadDvere, VentCest (logická, ventilátor salonu), Topeni I (logická, ohřev bojleru topení na 1. stupeň výkonu), Topeni II, JizdaBat (logická, jízda mimo trolej), Kompresor (logická), TrolNap ([V] napětí

troleje, TrolProud ([A] proud odebíraný z troleje, pouze v kladné polaritě, tj. rekuperovaný proud není měřen), Topeni ([A] proud odebíraný topením), TeplotaSal ([°C] teplota v salonu), TrakBatNab ([%] SOC trakční baterie), TeplTrBat ([°C] teplota trakční baterie), TeplotaExt ([°C] venkovní teplota), Posled.zastav. (identifikační kód poslední hlášené zastávky).

2.2 Tachograf 2

Zařízení s obdobnými vlastnostmi jako tachograf 1, ale instalován pouze na vozidle 2572 pro měření dalších veličin, vzorkování s obdobnými vlastnostmi, není synchronizováno s tachografem 1. Protože se jedná o jediné vozidlo, skript pro import dat konvertovaných do textové podoby může využívat konstantní pořadí veličin.

Využívané veličiny: Číslo (vzorku), Vzdálenost ([m] od začátku záznamu), Čas, Datum, Rychlost [km/h], CelkProud ([A] proud odebíraný z troleje v kladné polaritě), CelkRekup ([A] proud rekuperovaný do troleje), TrakProud ([A] proud odebíraný trakčním střídačem), TrakRekup ([A] proud rekuperovaný trakčním střídačem do stejnosměrného obvodu vozidla), PomPohony ([A] proud odebíraný měničem pomocných pohonů), Topeni ([A] proud odebíraný topením).

Dle průběhů jsou TrakProud a TrakRekup ve skutečnosti proudy odebírané/dodávané ze stejnosměrného obvodu měničem trakční baterie.

2.3 GPS

Data jsou exportována manuálně z archivu POVED ve formátu MS Excel. Minimální vzorkovací perioda 10s s výpadky do 2 minut. Pro každé vozidlo je nutno data exportovat zvlášť, export je omezen na 30 000 vzorků.

Data obsahují tyto veličiny: kurz vozidla, číslo vozidla, identifikace řidiče a linky, poslední zastávku, cílovou zastávku, pravidelný a skutečný příjezd do poslední zastávky, délku pobytu, rychlost, GPS souřadnice přijímače na vozidle a čas přijetí zprávy.

Vytvořený skript data importuje do prostředí Matlab a uloží ve struktuře .mat

2.4 Automatické počítání cestujících

Systémem automatického počítání cestujících je obsazeno pouze vozidlo 2572, informace má sloužit zejména pro odhad hmotnosti vozidla. Data ze systému je nutné získávat manuálně

po jednotlivých průjezdech trasy, dodávána jsou ve formátu MS Excel. Vytvořený skript provede jejich konverzi do struktury .mat.

2.5 Trasování linek

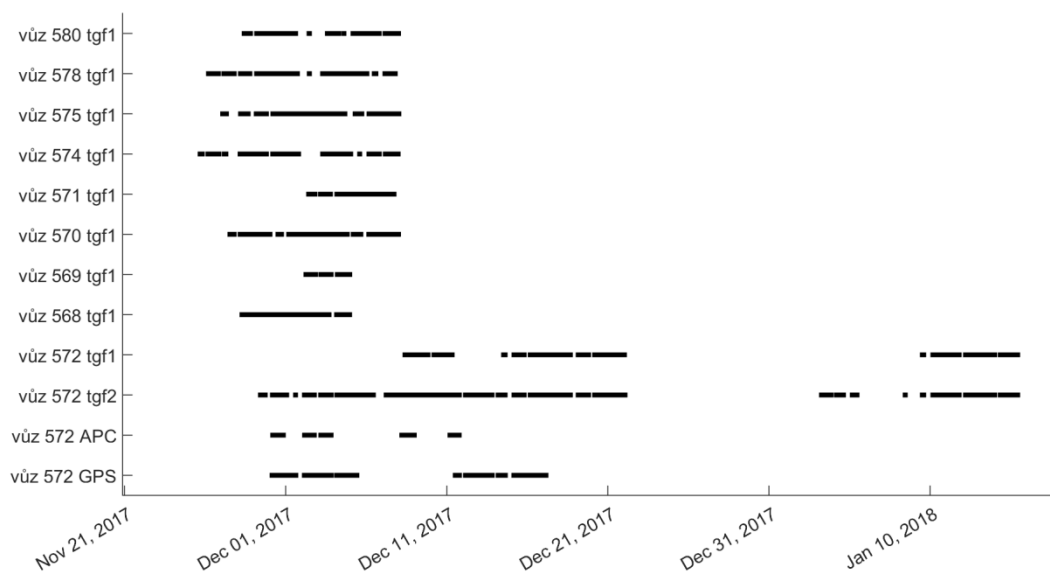
Společně s odometrem a identifikací poslední zastávky v tachografech slouží pro přiřazení naměřených fyzikálních veličin ke konkrétnímu místu trasy. Data jsou importována skriptem z jízdních řádů umístěných na webových stránkách PMDP metodou kanibalizace html kódu stránky. Následně jsou s datem získání uložena ve struktuře .mat, aby bylo možné jejich využití pro starší data po změně trasování linek.

2.6 Seznam zastávek s GPS informacemi

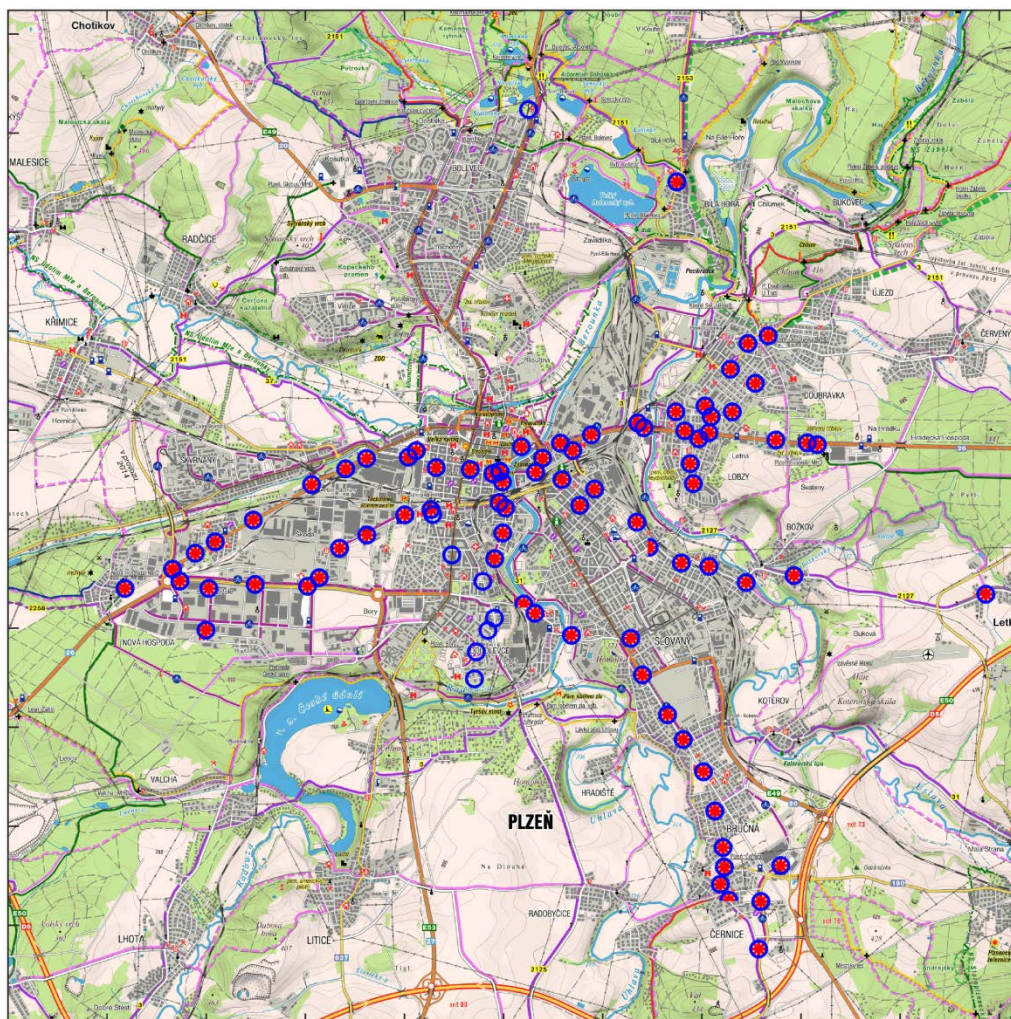
K vyhodnocení dat je za potřebí seznam veškerých zastávek linek MHD. Databáze všech těchto zastávek byla vytvořena pomocí automatického skriptu z volně dostupných dat, které poskytuje Magistrát města Plzně [2][3]. Z mapové vrstvy GIS města Plzně pro webové aplikace Marushka a GeoStore „Zastávky MHD“ byla vyexportována pro každou zastávku tato data: identifikátor zastávky, zeměpisná šířka polohy zastávky, zeměpisná délka polohy zastávky, název zastávky. Tato data jsou pomocí zmíněného skriptu uložena v přehledné datové struktuře „.mat“.

3 Importovaná data

Pro základní přehled o dostupných datech byly sestaveny dva skripty, první zobrazuje data na časové ose a dává informaci o časovém překryvu dat z různých zdrojů, viz Obr. 3.1. Pro představu o pokrytí linek naměřenými daty byl sestaven další skript vykreslující projeté trasy, resp. obsloužené zastávky, viz Obr. 3.2. Červeně jsou znázorněny průjezdy zaznamenané měřicím tachografem, modře pak standardním palubním.



Obr. 3.1 časové znázornění dat získaných z jednotlivých zdrojů



Obr. 3.2 obslužené zastávky, červeně záznamy měřicího tachografu, modře palubního

4 Zpracování dat

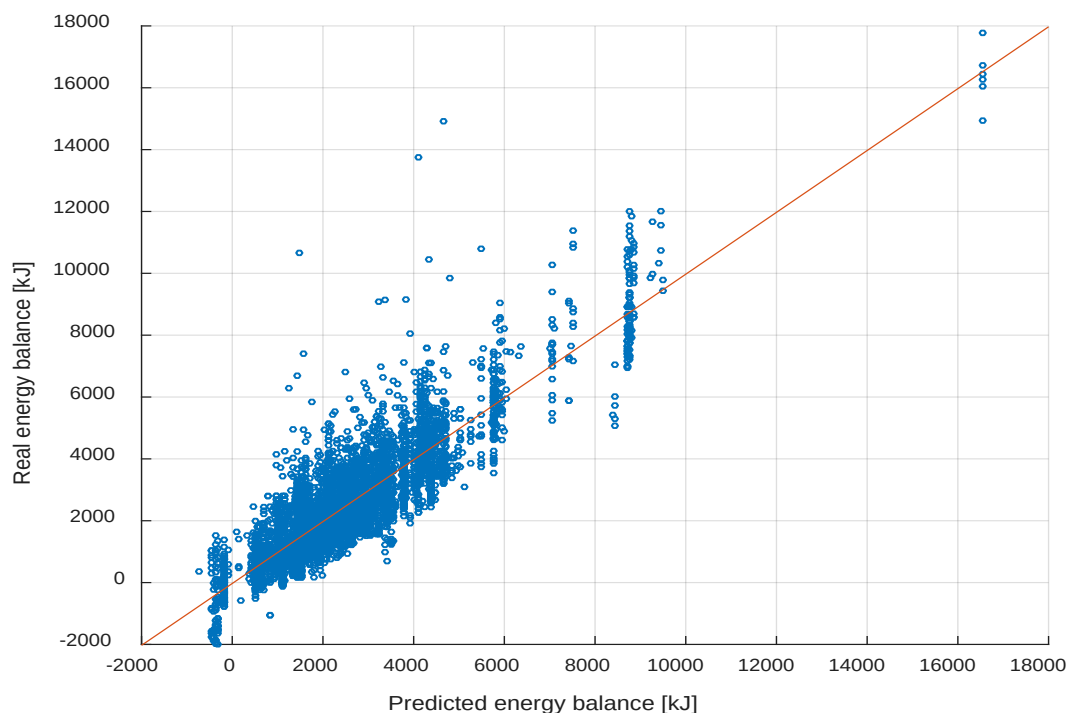
Pro účely modelování energetické bilance jízdy parciálního trolejbusu pomocí stochastického modelu bylo nutné získaná data z tachografů zpracovat tak, aby byla zajištěna dostupnost hodnot vozidlem spotřebované a vozidlem rekuperované energie na jednotlivých mezi-zastávkových úsecích vzhledem k dané lince a dané jízdě vozidla. Pro tento účel byly vytvořeny dva automatické skripty v závislosti na informacích obsažených v datech z tachografů. Tyto skripty mj. automaticky vyčíslují množství přijaté energie z trolejového vedení, množství energie trolejbusem rekuperované zpět do trolejového vedení, množství energie nabíjející bateriovou soustavu parciálního trolejbusu a množství energie touto soustavou vydané při jízdě mimo trolejové vedení, vždy na jednotlivých mezi-zastávkových úsecích.

4.1 Vyhodnocení energetické spotřeby vozidla a její predikce na základě stochastického modelu

Takto zpracovanými daty byla provedena kalibrace lineárního modelu spotřeby vozidla, který bere v úvahu délku mezi-zastávkového úseku, celkové stoupání na úseku a celkové klesání na úseku:

$$\langle E \rangle = \beta_0 + \beta_1 * L + \beta_2 * asc + \beta_3 dsc.$$

Ačkoliv při použití jiných vstupních dat v minulosti tento model dosahoval relativně vysoké míry přesnosti (při použití dat z hybridního autobusu vysvětloval 96 % rozptylu v datech), při této kalibraci bylo vysvětleno pouze 75,4 % dat ($R^2 = 0,754$). Tato nízká míra správné predikce je způsobena zřejmě chybnými daty v záznamech. Toto je diskutováno dále v závěru této zprávy. Srovnání predikované spotřeby vozidla a spotřeby vozidla získané z reálných dat je provedeno na Obr.4.1.



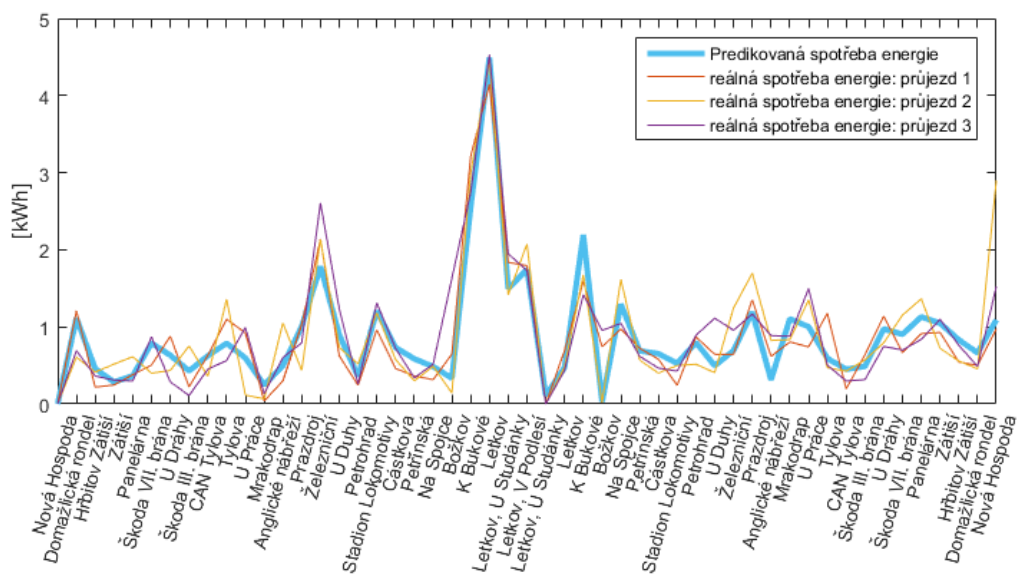
Obr. 4.1: Srovnání predikované a reálné spotřeby energie

Dále bylo provedeno srovnání predikované spotřeby a reálné spotřeby na konkrétních trolejbusových linkách PMDP. Vzhledem k dostupným datům se jednalo ve výčtu o trolejbusovou linku č. 12 a trolejbusovou linku č. 13.

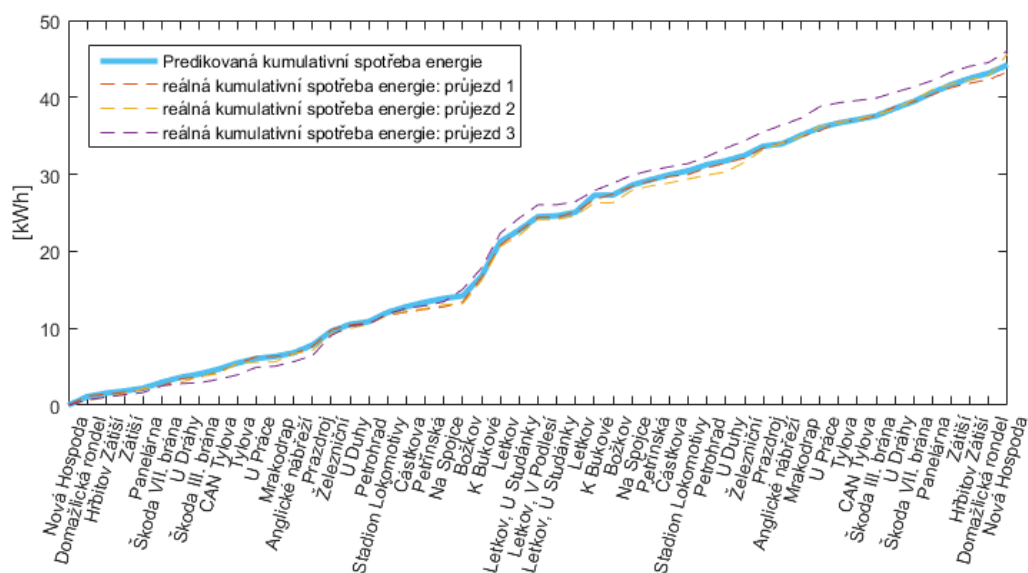
4.2 Vyhodnocení spotřeby energie na lince č. 12

Trolejbusová linka č. 12 operuje mezi koncovými zastávkami „Nová Hospoda“ a „Letkov, V Podlesí“. Vzhledem k tomu, že většina linky č. 12 je vybavena trolejovým vedením a jediný úsek bez trolejového vedení na trase linky č. 12 je mezi zastávkami „Božkov“ a „Letkov, V Podlesí“, vyhodnocení bylo prováděno vždy na trase „Nová Hospoda“ – „Letkov, V Podlesí“ – „Nová Hospoda“.

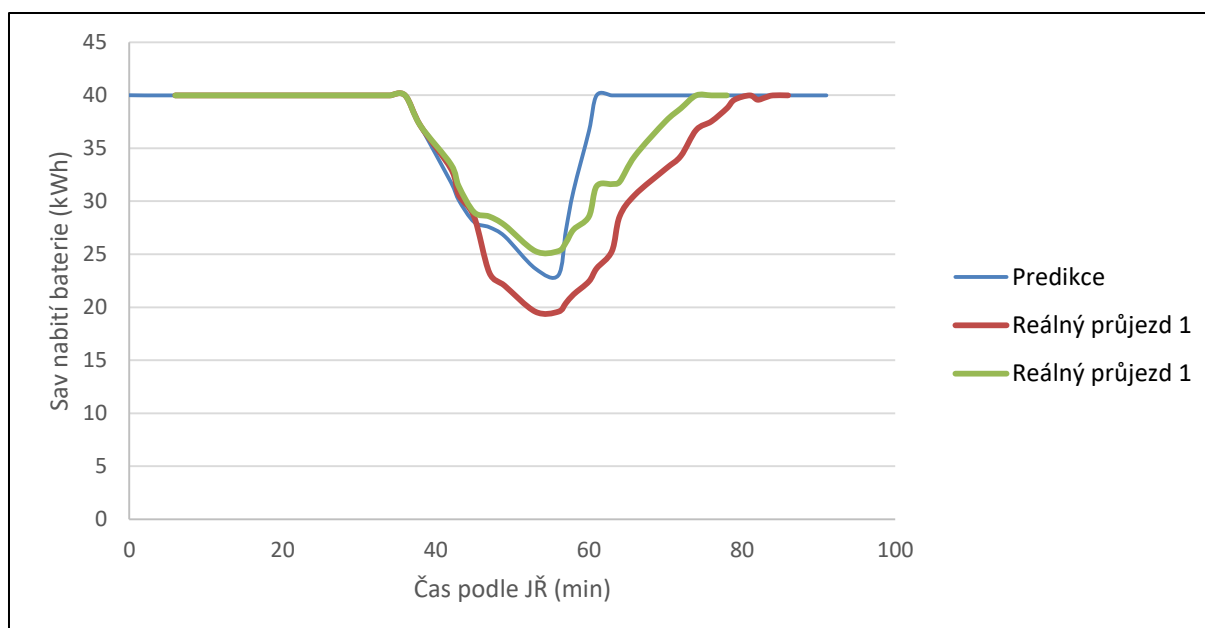
Srovnání predikované a reálné spotřeby energie na jednotlivých mezi-zastávkových úsecích výše uvedené trasy je provedeno na Obr.4.2. Srovnání celkové energetické spotřeby (tj. kumulované spotřeby energie z jednotlivých mezi-zastávkových úseků) je zobrazeno na Obr.4.3. Na Obr.4.4 je poté znázorněn odhad stavu nabití / vybití baterie ve srovnání s reálnými daty.



Obr. 4.2: Srovnání predikované a reálné spotřeby energie na mezi-zastávkových úsecích linky č. 12



Obr. 4.3: Srovnání predikované a reálné kumulované celkové spotřeby energie na lince č. 12

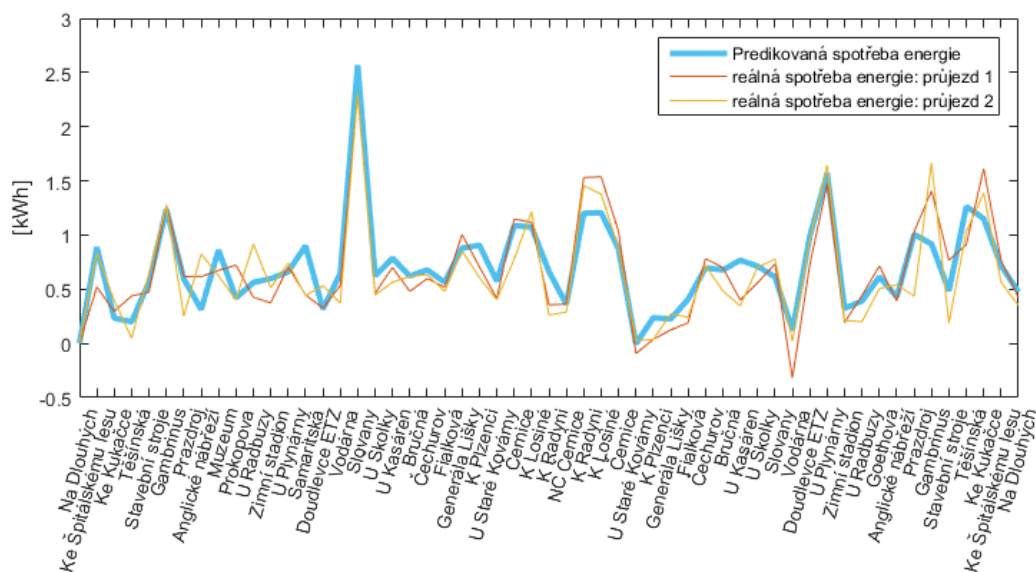


Obr. 4.4: Predikce stavu nabití baterie vs. Reálné stavy na lince č. 12

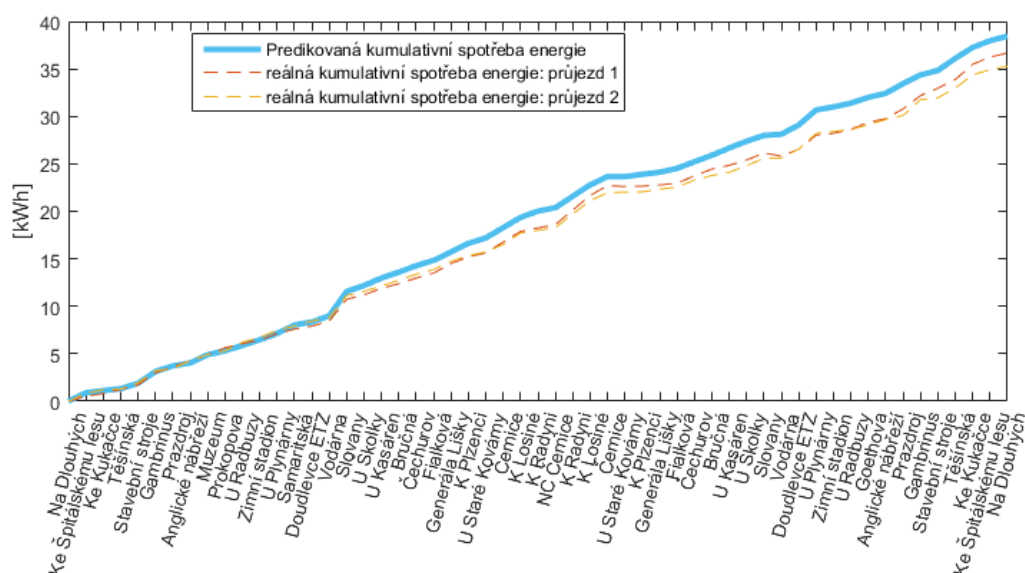
4.3 Vyhodnocení spotřeby energie na lince č. 13

Trolejbusová linka č. 13 operuje mezi koncovými zastávkami „Na Dlouhých“ a „NC Černice“. Vzhledem k tomu, že většina trasy linky č. 13 je vedena pod trolejovým vedením a jediný úsek bez trolejového vedení na trase linky č. 13 je mezi zastávkami „Černice“ a „NC Černice“, vyhodnocení bylo prováděno vždy na trase „Na Dlouhých“ – „NC Černice“ – „Na Dlouhých“.

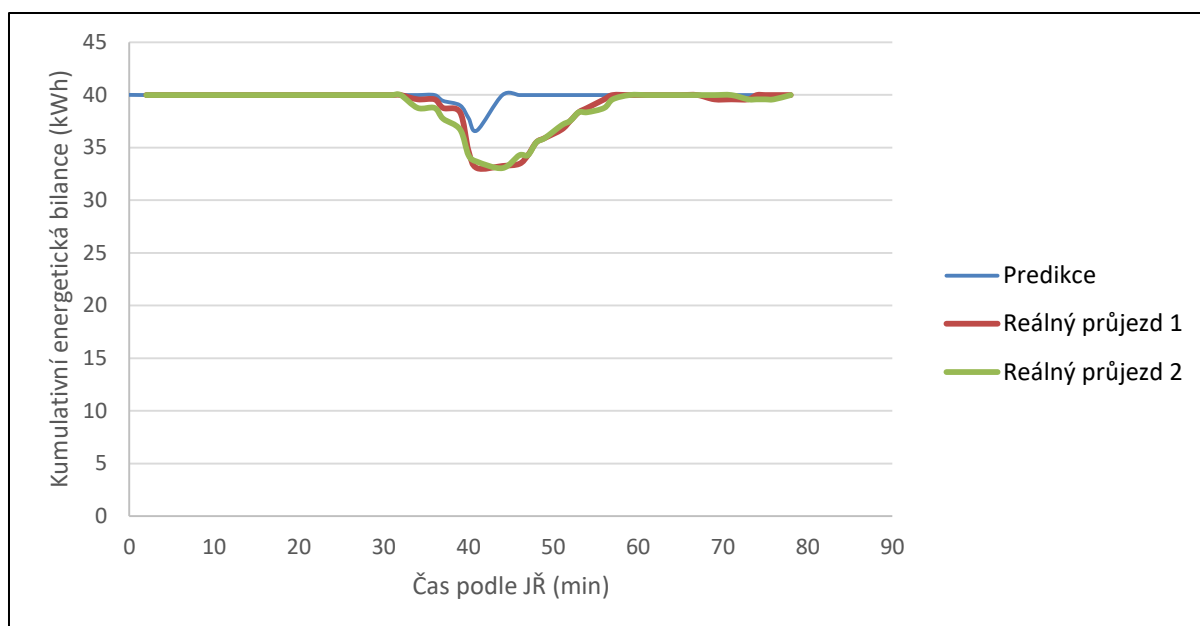
Srovnání predikované a reálné spotřeby energie na jednotlivých mezi-zastávkových úsecích výše uvedené trasy je provedeno na Obr.4.5. Srovnání celkové energetické spotřeby (tj. kumulované spotřeby energie z jednotlivých mezi-zastávkových úseků) je zobrazeno na Obr.4.6. Na Obr.4.7 je poté znázorněn odhad stavu nabití / vybití baterie ve srovnání s reálnými daty.



Obr. 4.5: Srovnání predikované a reálné spotřeby energie na mezi-zastávkových úsecích linky č. 13



Obr. 4.6: Srovnání predikované a reálné kumulované celkové spotřeby energie na lince č. 13



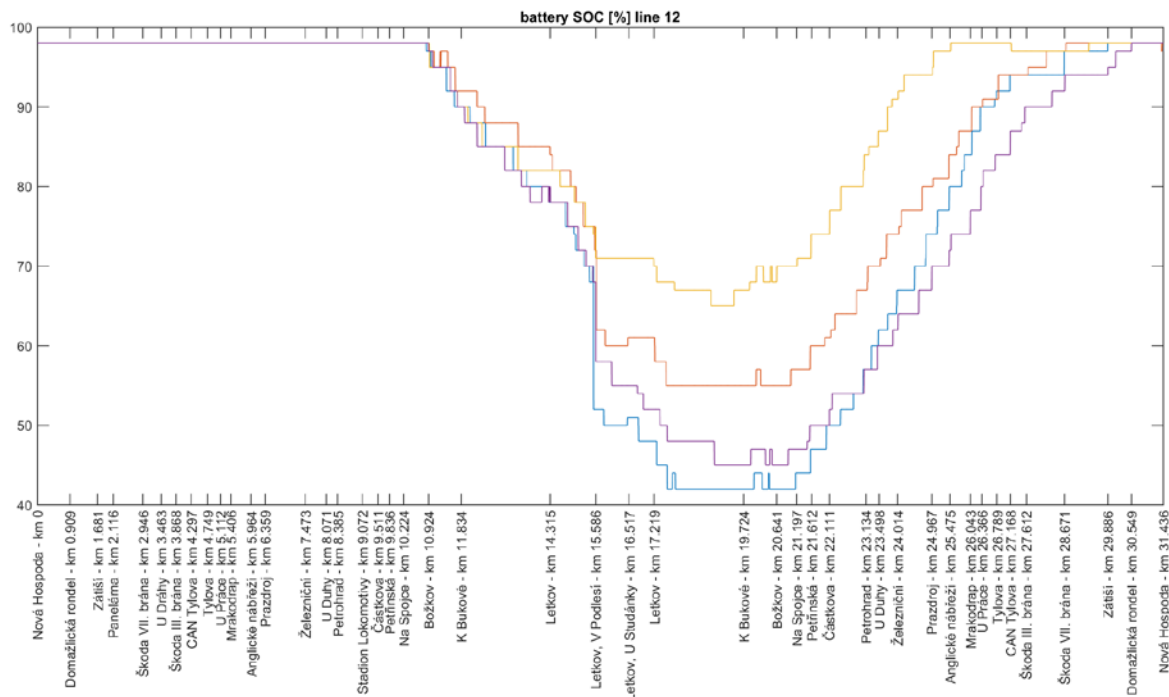
Obr. 4.7: Predikce stavu nabití baterie vs. Reálné stavy na lince č. 13

5 Rozptyly v reálných průjezdech

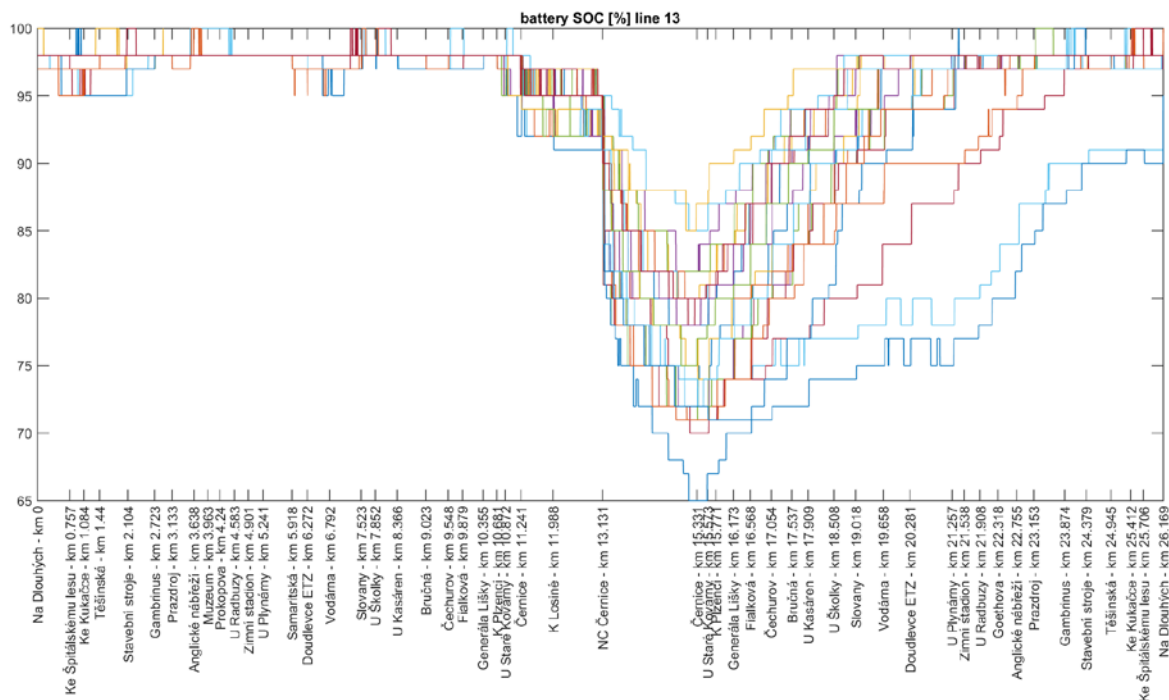
Model popsáný v předchozí kapitole nezahrnuje vliv délky stání na nezatrolejované konečné a obsazenost vozidla při konkrétním průjezdu trasy. Proto je na Obr. 5.1 zobrazen stav nabití trakční baterie při jednotlivých průjezdech trasou linky 12, resp. linky 13 na Obr. 5.2. Linka 12 bývá v nezatrolejovaném úseku minimálně obsazena, proto má hlavní vliv na spotřebu doba pobytu na konečné zastávce „Letkov, V Podlesí“, při příjezdu do této zastávky se stav nabití baterie neliší o více než 5 %, přičemž stav nabití je vzorkován s rozlišením 2 %. U linky 13 je situace obdobná, tj. hlavní rozdíly mezi jednotlivými průjezdy jsou dány délkou pobytu na konečné zastávce „NC Černice“.

Druhým největším spotřebičem energie na vozidle po trakci je vytápění salonu pro cestující, proto je na Obr. 5.3 zobrazena spotřeba energie na vytápění při jednotlivých průjezdech linky 13. Z naměřených hodnot je patrné, že největší vliv má délka pobytu na konečné zastávce. Naopak není zřejmý vliv přepnutí do režimu „topení I“ při jízdě na baterie, resp. odlišné (teoreticky úspornější) nastavení topení na vozidle 2572. Vzhledem k předpokladu, že spotřeba topení bude úměrná rozdílu teplot ve a vně vozidla, je na Obr. 5.4 zobrazena závislost průměrného výkonu topení za jeden průjezd linkou (cca 90 minut) na rozdílu teplot.

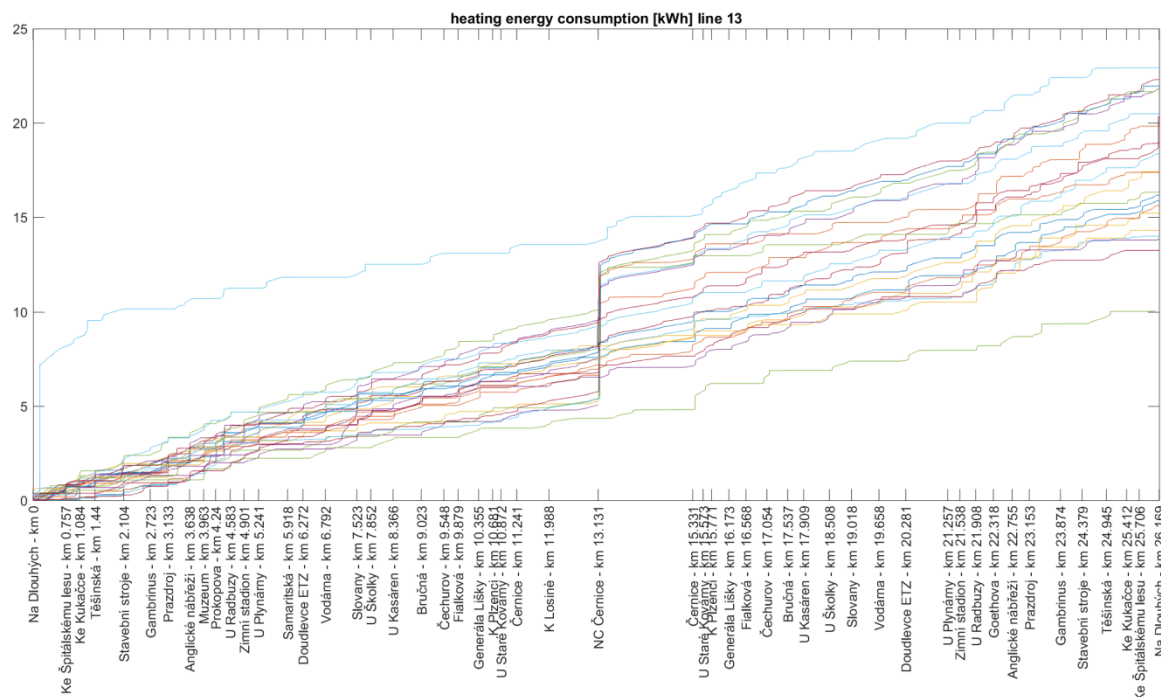
V další práci bude věnována pozornost podrobnějšímu rozboru vlivů na spotřebu topení, zejm. vliv délky pobytů v zastávkách způsobený větší obsazeností a absolutního vlivu venkovní teploty a rozdílů mezi jednotlivými vozidly



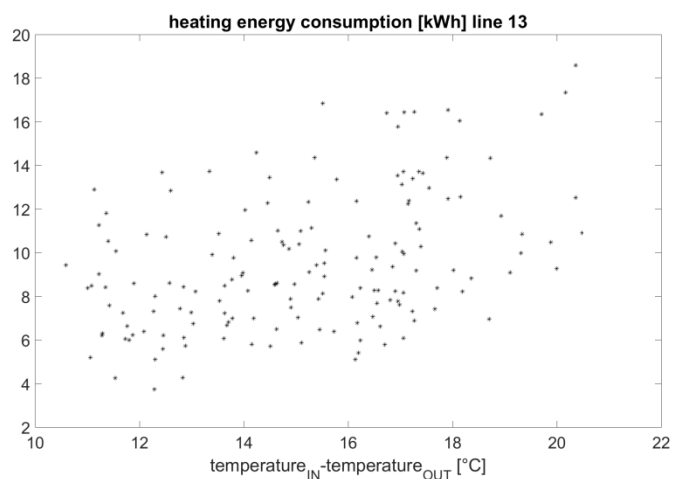
Obr. 5.1 stav nabití baterie při jednotlivých průjezdech linky 12



Obr. 5.2 stav nabití baterie při jednotlivých průjezdech linky 13



Obr. 5.3 spotřeba energie topením při jednotlivých průjezdech linky 13



Obr. 5.4 průměrný výkon topení v závislosti na rozdílu vnitřní a venkovní teploty

6 Závěr

V práci je proveden prvotní přehled a zpracování dat naměřených na parciálním trolejbusu 26Tr. Na jejich základě byly stanoveny priority v následujících pracích:

- vyčistit data získaná z tachografů od patologických datových záznamů (nelogické logování zastávek – např. “Bílá Hora” na lince č. 13, stání vozidla na konečné, velké časové kroky v záznamech).

- ✚ zlepšit sesazení jednotlivých průjezdů kombinací informace z GPS, odometru a hlášení zastávky (stav odometru se po projetí linky 13 (cca 26 km) pohybuje v toleranci 0,5 km, tj přibližně jeden mezizastávkový úsek)
- ✚ zlepšit odhad ostatních spotřeb (mimo trakce) na vozidle
- ✚ s očištěnými daty pokračovat ve vývoji SW nástrojů pro optimalizaci MHD

Literatura

- [1] <http://ctmpraha.cz/tachografy-pametove-jednotky.html>
- [2] <https://opendata.plzen.eu/>
- [3] <https://gis.plzen.eu/apps/data.asp>

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	19.1.2018 MJ / KEV JŠ / RICE