

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle disertační práce	2
3	Metodika disertační práce	2
4	Výsledky	5
4.1	Výběr příměstských satelitních sídel pro experiment.....	5
4.2	Experimentální jízdy z vybraných suburbí.....	5
4.3	Stanovení energetické náročnosti vozidel.....	6
4.4	Návrh hodnocení energetické náročnosti	8
4.5	Statistická analýza naměřených dat	10
5	Závěr.....	12
6	Seznam použité literatury	12
7	Seznam publikací a konferencí	13
8	Summary	14

1 Úvod

Proces suburbanizace se na rozdíl od západní Evropy začal v České republice projevovat se zpožděním téměř půl století. Odstartoval změny ve způsobu využívání krajiny i v chování jednotlivců a vytvořil požadavky na technickou a dopravní infrastrukturu. Proměnné veličiny charakterizující využití území např. hustota obyvatelstva, občanská vybavenost, dostupnost dopravních módů atd., jsou významně spojeny se spotřebou energie v dopravě. Zásadní rozhodnutí o alokaci nového osídlení jsou vesměs přijímána s malým ohledem na budoucí generování dopravy, což v mnohých případech vede k neúměrnému nárůstu spotřeby energie a potažmo environmentální zátěže prostředí a externalit z dopravy.

V poslední době se plánování územního rozvoje měst stává součástí politik, které se snaží o řešení kvalitnější dopravní dostupnosti oproti dříve preferované mobilitě (Cervero, 1997). Vlivy intenzivního využívání individuální automobilové dopravy se staly všeobecně známými a představují kromě jiného především negativní dopady na životní prostředí a zdraví lidí.

Přístup k plánování územního rozvoje na základě dopravní dostupnosti představuje proces, který v sobě zahrnuje i potřebu zvažování blízkosti (vzdálenosti) aktivit v území a současně i možností dopravní sítě (dopravních prostředků a infrastruktury). Tento nový přístup vyžaduje jiný způsob uvažování o integraci využití území a dopravy v rámci územního plánování měst (Curtis a Scheurer, 2010). Ideje o plánování dopravní dostupnosti jsou uskutečňovány v rámci kontextu zlepšení udržitelnosti rozvoje měst a dosažení lepší udržitelnosti dopravních výstupů. Jádrem řešení rozvoje území na základě konceptu dopravní dostupnosti je omezení nekoordinovaného suburbánního rozvoje, jak v plošně rozšiřovaném využití území, tak i ve formě rozptýleného rozšiřování aktivit v území, a poskytování široké nabídky ve veřejné dopravě, jako alternativy k individuální automobilové dopravě.

Je zřejmé, že problematika vztahu využití území a spotřeby energie na dopravu je velice komplikovaný proces, na který může být nahlíženo z různých pohledů. Za klíčové atributy pro charakterizování využití suburbánního území, jím generovanou dopravou a spotřebovanou energií lze považovat zejména hustota osídlení, vyváženost bydlení a zaměstnání, občanská vybavenost, parametry dostupnosti a spotřeba energie různými dopravními módy vztažené na osobu nebo vzdálenost.

2 Cíle disertační práce

Obecným cílem předložené disertační práce je podrobněji specifikovat a kvantifikovat spotřebu energie (paliva), respektive energetickou náročnost různých módů dopravy, při každodenní dojížděce do jádrového města ze suburbánních oblastí a navržení metodického postupu hodnocení kvality dopravní dostupnosti pomocí energetické náročnosti. Smyslem je s pomocí navrženého hodnocení poukázat na problémy spotřeby energie individuální automobilovou dopravou, která je generována residenční výstavbou v suburbánních územích. Zprostředkovaně tak i poukázat na negativní dopady dopravy na životní prostředí, které jsou způsobeny jednak spotřebou neobnovitelných zdrojů energie (fosilních paliv), ale i produkcí škodlivých emisí a dalšími vlivy dopravy.

Obecného cíle práce bude dosaženo prostřednictvím dílčích cílů:

- Výběr příměstských satelitních sídel pro experiment
- Provedení experimentálních jízd z vybraných suburbíí
- Stanovení energetické náročnosti vozidel z naměřených dat
- Návrh hodnocení energetické náročnosti
- Statistická analýza naměřených dat

3 Metodika disertační práce

Metodiku disertační práce tvoří dílčí kroky k dosažení výše uvedených cílů, které popisují obecný postup pro jejich dosažení. Dále je v kapitole metodiky disertační práce popsáno měřící zařízení, která bylo při experimentech použito.

Předložená disertační práce se zabývá dopravní dostupností hlavního města Prahy ze suburbánních oblastí při každodenní dojížděce do zaměstnání. Z tohoto důvodu bylo pro experiment vybráno několik příměstských satelitních sídel, ze kterých se uskutečňovaly experimentální jízdy pro vyšetření energetické náročnosti na základě spotřeby paliva. Tato sídla musela splňovat určené podmínky, které byly stanoveny z důvodu souměřitelnosti experimentů. Jednotlivé podmínky jsou detailně popsány v disertační práci.

Pro zjištění skutečné spotřeby paliva při dojíždění na trasách mezi vybranými suburbii a hlavním městem Prahou, byly provedeny experimentální jízdy. Jízdy byly provedeny vozidly, které byly vybaveny měřicím zařízením, které umožňovalo zjištění a záznam požadovaných dat. Zpracováním zaznamenaných dat bylo možné stanovit skutečnou spotřebu na jednotlivých trasách. Měřicí jízdy byly provedeny osobním automobilem a městským autobusem, aby bylo možné jejich vzájemné porovnání a následně i porovnání jednotlivých suburbií.

Trasy experimentálních jízdy obou měřicích vozidel byly totožné a počátek trasy byl vždy z nejdostupnější zastávky veřejné dopravy vybraného suburbia a cílem byl nejbližší terminál pražské hromadné dopravy, který umožňoval přestup na metro a nabízel možnost využití záchytného parkoviště typu P+R. Jízdy byly uskutečňovány v souladu se standardy pro provádění dopravních průzkumů, tedy v době jarních měsíců a v běžné pracovní dny.

Pro přiblížení experimentálních jízdy reálným podmínkám, byla vozidla zatížena závažím, které simulovalo průměrnou obsazenost, která byla zjištěna na základě proběhlých dopravních průzkumů, které se zaměřovaly na vyhodnocení dělby přepravní práce. Dále pro získání reálných dat se vozidla plně přizpůsobovala okolnímu provozu.

Pro vybraná příměstská sídla byly z experimentálních jízdy získány průměrné spotřeby paliva na jednotlivých trasách. Z těchto získaných průměrných spotřeba byla vypočtena energetická náročnost na základě známých vlastností motorové nafty. Energetická náročnost vozidel byla spočtena s ohledem na průměrnou obsazenost vozidel.

Pro možné vzájemné porovnání energetické náročnosti suburbií a jejich jednotlivých tras byly pro vozidla navrženy hodnotící stupnice. Každá stupnice se skládá ze sedmi tříd energetické náročnosti, kde energeticky nejúspornější třída je označena písmenem A a nejméně úsporná třída písmenem G. Pro hodnocení energetické náročnosti suburbií byl navržen informační energetický štítek, který prezentuje energetickou náročnost vozidel na jednotlivých trasách a dále obsahuje informace o dané lokalitě.

Naměřená data byla podrobena statistické analýze rozptylu (ANOVA), která umožnila ověření, zda na naměřené hodnoty energetické náročnosti má statisticky významný vliv hodnota některého znaku, jako například druh vozidla, časové období, směr trasy atd.

Technické vybavení a měřicí zařízení

Pro experimentální měřicí jízdy byl použit osobní automobil Škoda Octavia II. generace (obrázek 1), který patří mezi nejrozšířenější vozidla v České republice. Automobil byl vybaven vznětovým přeplňovaným motorem a šestistupňovou manuální převodovkou a splňoval emisní normu EURO 4. Pro sledování a zaznamenání zvolených parametrů byla využita palubní diagnostika společně s diagnostickým systémem VAG-COM.



Obrázek 1 - Škoda Octavia II. generace

Druhým vozidlem byl městský autobus Karosa B951E (obrázek 2), který byl vybavený přeplňovaným vznětovým motorem IVECO, který splňoval emisní normu EURO III. Pro měření spotřeby paliva byl do palivové soustavy autobusu namontován diferenční dvoukomorový průtokoměr řady DWF od společnosti LT Measurements. Dále bylo vozidlo vybaveno průmyslovým počítačovým systémem DataLab IO², který zaznamenával a ukládal impulsy z průtokoměru do počítače. Pro sledování okamžité rychlosti a polohy autobusu byla použita externí anténa GARMIN GPS 18x USB.



Obrázek 2 - Karosa B951E

4 Výsledky

4.1 Výběr příměstských satelitních sídel pro experiment

Pro experiment bylo dle metodiky vybráno šest příměstských satelitních sídel. Byla vybrána dvě města – Říčany a Hostivice, a čtyři obce – Psáry, Bášť, Holubice, Jenštejn. Tři suburbia se nacházejí v okrese Praha-západ a další tři v okrese Praha-východ. Všechna sledovaná suburbia se nacházejí ve vzdálenosti do 20 km od centra města a jsou převážně obsluhována příměstskou autobusovou dopravou.

Všechny tyto lokality mají velmi podobné procento vyjíždějících obyvatel, do Prahy z celkového počtu vyjíždějících, které se pohybuje okolo 80 %. Ze všech lokalit více jak 60 % vyjíždějících obyvatel volí dopravní prostředek individuální automobilovou dopravu, autobus anebo jejich kombinaci.

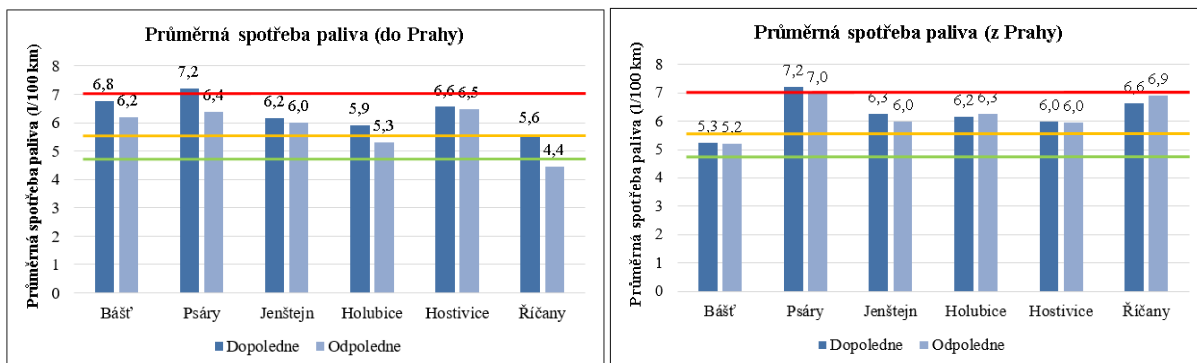
4.2 Experimentální jízdy z vybraných suburbií

V disertační práci je každému suburbium věnována samostatná podkapitola, ve které se nachází stručný popis měřených tras a naměřené hodnoty průměrných spotřeba paliva a dosahovaných průměrných rychlostí.

Zpracováním dat z experimentálních jízd bylo získáno široké spektrum informací majících souvislost s dopravní dostupností vybraných lokalit. Kvantifikace dopravní dostupnosti byla provedena zvoleným kritériem tj. průměrnou spotřebou paliva a průměrnou rychlostí. Jednotlivé sledované oblasti lze porovnat dle naměřených hodnot.

Škoda Octavia II. generace

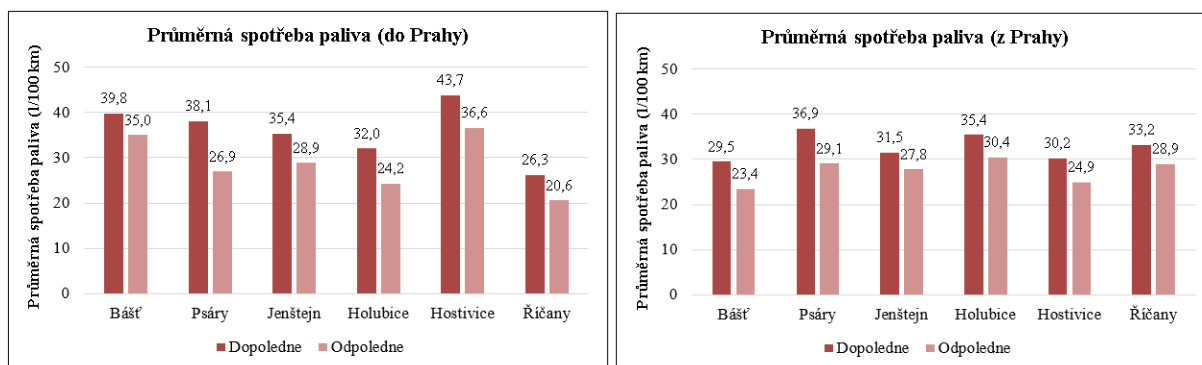
Grafy (viz obrázek 3) zobrazuje naměřené průměrné spotřeby paliva osobního automobilu Škoda Octavia II. generace z jednotlivých lokalit. První sloupec znázorňuje naměřenou spotřebu v ranních hodinách a druhý sloupec v odpoledních. Dále je v grafu pro možné srovnání znázorněna průměrná spotřeba paliva udávaná výrobcem vozidla. Je zde pro přehlednost vyznačena udávaná spotřeba ve městě 7,0 l/100km (červená), kombinovaná 5,5 l/100km (žlutá) a mimo město 4,7 l/100km (zelená). Graf prokazuje, že skutečná spotřeba paliva při dojíždění do Prahy ze sledovaných lokalit je téměř ve všech případech vyšší než mimoměstská či kombinovaná spotřeba udávaná výrobcem.



Obrázek 3 - Porovnání naměřených průměrných spotřeb paliva – Škoda Octavia II. generace

Karosa B951E

Stejně jako v případě osobního automobilu, byla data získaná z měřících jízd autobusem vzájemně porovnávána. Níže je graficky znázorněná dosažená průměrná spotřeba paliva z jednotlivých lokalit ve směru do Prahy a z Prahy (viz obrázek 4). Z grafů jsou patrné velké rozdíly ve spotřebě mezi ranní a odpolední špičkou a to jak směrem do Prahy, tak i z Prahy.



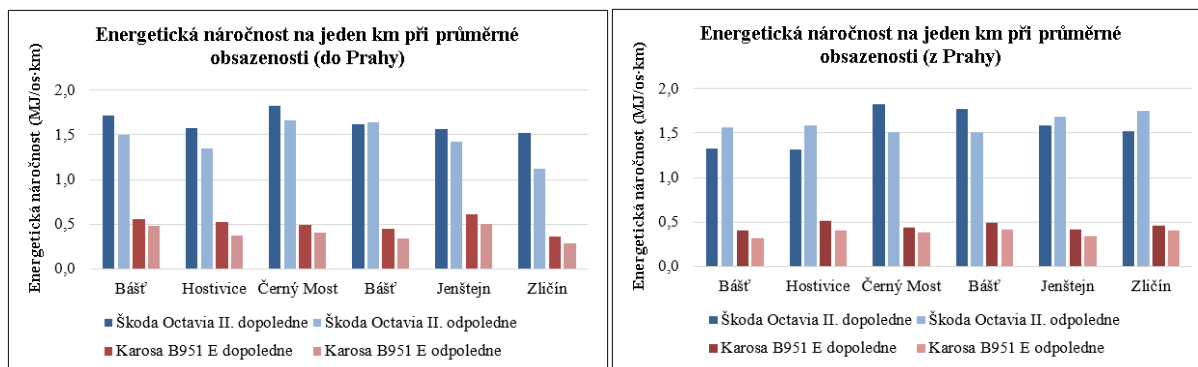
Obrázek 4 - Porovnání naměřených průměrných spotřeb paliva - Karosa B951E

4.3 Stanovení energetické náročnosti vozidel

Dle metodiky uvedené v disertační práci, byla ze získaných průměrných spotřeb paliva z experimentálních jízd vozidel vypočtena energetická náročnost vozidla vztažena na jeden kilometr. Energetická náročnost vztažená na 1 km je nejvhodnějším měřítkem pro možné vzájemné porovnání jednotlivých suburbií.

V níže uvedených grafech (obrázek 5) je zobrazeno vzájemné porovnání energetické náročnosti jednotlivých vozidel při jízdách ze suburbií, respektive do suburbií. Z grafů je patrné, že osobní automobil má vyšší energetickou náročnost, než městský autobus. Energetická

náročnost je porovnávána s ohledem na průměrnou obsazenost, která je u osobního automobilu 1,37 osob/vozidlo a u autobusu 25 cestujících.



Obrázek 5 - Porovnání energetické náročnosti – trasy směrem ze suburbii do Prahy (vlevo) a trasy z Prahy do suburbii (vpravo)

U osobního automobilu měla zjištěná nejvyšší energetická náročnost hodnotu 2,502 MJ/km (obsazeno pouze řidičem) respektive 1,826 MJ/os·km v případě průměrné obsazenosti 1,37 osob. Nejnižší energetická náročnost byla rovna 1,541 MJ/km respektive 1,125 MJ/os·km. Vypočtený aritmetický průměr pro směr ze suburbii do Prahy je rovný hodnotě 1,541 MJ/os·km a vážený průměr 1,518 MJ/os·km (váha = vzdálenost). Aritmetický průměr naměřených hodnot pro opačný směr (z Prahy do suburbii) je 1,578 MJ/os·km a vážený průměr 1,606 MJ/os·km. Aritmetický průměr vypočtený ze všech tras má hodnotu 1,56 MJ/os·km a vážený průměr ze všech tras hodnotu 1,563 MJ/os·km.

Hodnoty energetické náročnosti odpovídající udávané spotřebě paliva výrobcem mají hodnotu (při průměrné obsazenosti 1,37 osob) 1,19 MJ/os·km (mimoměstská spotřeba), 1,39 MJ/os·km (kombinovaná spotřeba) a 1,77 MJ/os·km (městská spotřeba).

Z porovnání naměřených hodnot a udávaných výrobcem je zřejmé, že průměrné naměřené hodnoty jsou vyšší než hodnota kombinované spotřeby. V některých případech byla dokonce překročena i hodnota energetické náročnosti, která odpovídá udávané městské spotřebě.

Hodnota nejvyšší energetické náročnosti u městského autobusu měla hodnotu 15,172 MJ/km respektive 0,607 MJ/os·km pro obsazenost vozidla 25 cestujícími. Naopak nejnižší hodnota byla 8,101 MJ/km respektive 0,324 MJ/os·km. Aritmetický průměr vypočtený pro trasy směrem do Prahy má hodnotu 0,448 MJ/os·km a vážený průměr 0,434 MJ/os·km. Pro opačný směr je aritmetický průměr 0,418 MJ/os·km a vážený 0,408 MJ/os·km. Celkový aritmetický průměr ze všech tras má hodnotu 0,433 MJ/os·km a vážený průměr 0,420 MJ/os·km.

4.4 Návrh hodnocení energetické náročnosti

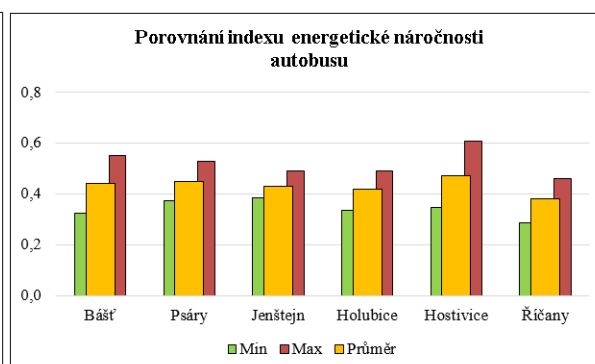
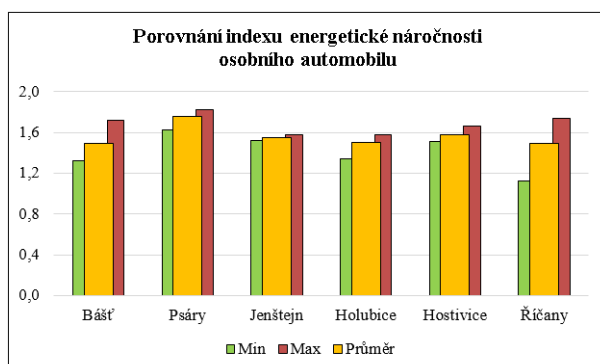
Jak již bylo zmíněno v metodice, cílem práce je navrhnout dvě stupnice tříd energetické náročnosti pro ohodnocení jednotlivých tras. Třídy energetických náročností jednotlivých stupnic jsou rozděleny podle hodnoty indexu energetické náročnosti, který je identický s vypočtenou energetickou náročností (MJ/os·km) při průměrné obsazenosti vozidla. Jedno rozdělení stupnice slouží pro hodnocení energetické náročnosti osobního automobilu za pomoci indexu energetické náročnosti automobilu (ENA) a druhé rozdělení pro městský autobus (energetická náročnost autobusu – ENB). Třídy energetické náročnosti jsou navrženy s ohledem na naměřené a vypočtené hodnoty z jednotlivých tras. Navržené stupnice jsou uvedeny níže, viz tabulka 1 a tabulka 2. Obrázek 6 graficky znázorňuje porovnání indexu energetické náročnosti vozidel. V grafech je znázorněná minimální, maximální a průměrná hodnota indexu pro jednotlivá suburbia.

Tabulka 1 - Navržené třídy energetické náročnosti pro osobní automobil

Třída energetické náročnosti	Index energetické náročnosti $ENA = E_{N\emptyset}$ (MJ/os·km)
A	$ENA < 1,16$
B	$1,16 \leq ENA < 1,32$
C	$1,32 \leq ENA < 1,48$
D	$1,48 \leq ENA < 1,64$
E	$1,64 \leq ENA < 1,80$
F	$1,80 \leq ENA < 1,96$
G	$1,96 \leq ENA$

Tabulka 2 - Navržené třídy energetické náročnosti pro městský autobus

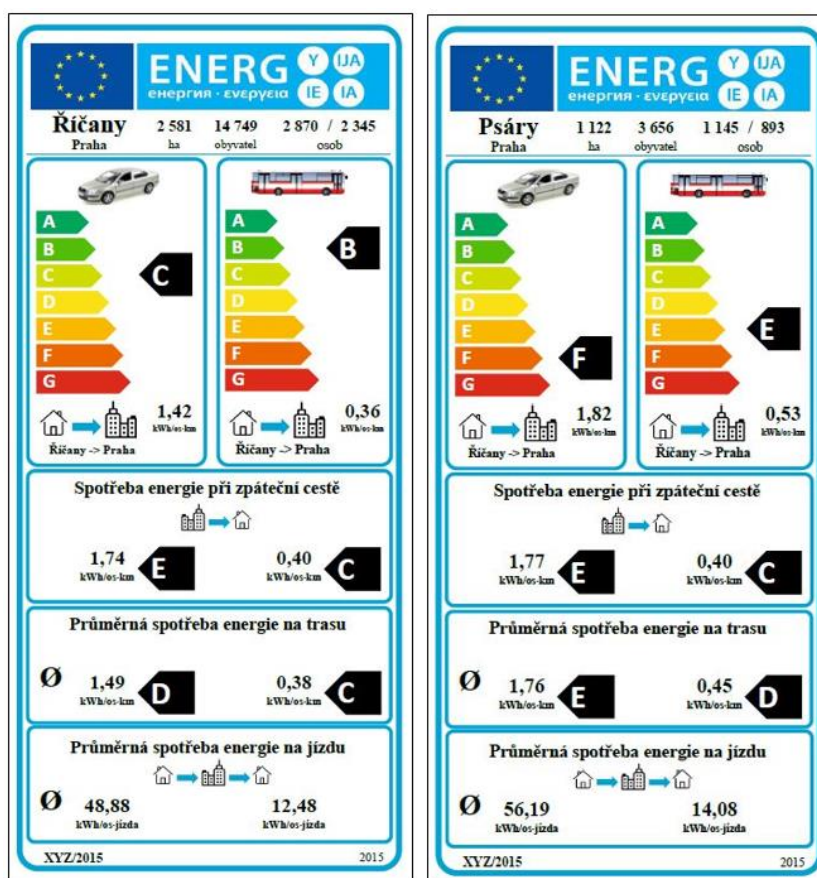
Třída energetické náročnosti	Index energetické náročnosti $ENB = E_{N\emptyset}$ (MJ/os·km)
A	$ENB < 0,31$
B	$0,31 \leq ENB < 0,38$
C	$0,38 \leq ENB < 0,45$
D	$0,45 \leq ENB < 0,52$
E	$0,52 \leq ENB < 0,59$
F	$0,59 \leq ENB < 0,66$
G	$0,66 \leq ENB$



Obrázek 6 - Porovnání indexu energetické náročnosti vybraných suburbii osobní automobil (vlevo) a autobus (vpravo)

Pro grafické znázornění naměřených hodnot energetické náročnosti jednotlivých druhů dopravy daného suburbia, byl navržen informační energetický štítek. Navržený informační štítek energetické náročnosti suburbia obsahuje stručné informace a hodnoty, které mohou být jednoduše porovnány s ostatními suburbii. Informační štítek má za cíl podat obyvatelům základní informace ohledně energetické náročnosti, při každodenní dojížděce do jádrového města, jednotlivých druhů dopravy. Obsahuje jednak informaci o energetické náročnosti při vyjížděce v době ranní dopravní špičky, ale i informaci o průměrné spotřebě paliva při dojížděce do suburbia během odpolední dopravní špičky. Dále informuje o průměrné hodnotě energetické náročnosti na jednu jízdu (cesta tam a zpět). Číselná hodnota je na štítku uváděna v jednotkách kWh/os·km z důvodu snadnějšího porovnání hodnoty energetické náročnosti každodenní dojížděky například s energetickou náročností uváděnou na energetických štítcích elektrospotřebičů.

Mezi další údaje, kterými štítek prezentuje zvolené suburbium, patří informace ohledně rozlohy, počtu obyvatel, počtu vyjíždějících obyvatel atd., aby bylo možné si udělat představu o daném suburbii.



Obrázek 7 - Grafický návrh informačního energetického štítku pro Říčany a Psáry

4.5 Statistická analýza naměřených dat

Naměřená data byla podrobena statistické analýze rozptylu (ANOVA), která umožnila ověření, zda na naměřené hodnoty energetické náročnosti má statisticky významný vliv hodnota některého znaku, jako například druh vozidla, časové období, směr trasy atd. Za nulovou hypotézu H_0 , byl vždy označen stav, kdy mezi porovnávanými soubory není z hlediska jejich středních hodnot statisticky významný rozdíl. Alternativní hypotéza H_1 popírá platnost nulové hypotézy H_0 a tvrdí, že existuje jakýkoliv rozdíl mezi porovnávanými soubory dat. Pro rozhodnutí o přijmutí nebo zamítnutí nulové hypotézy H_0 byla určena hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

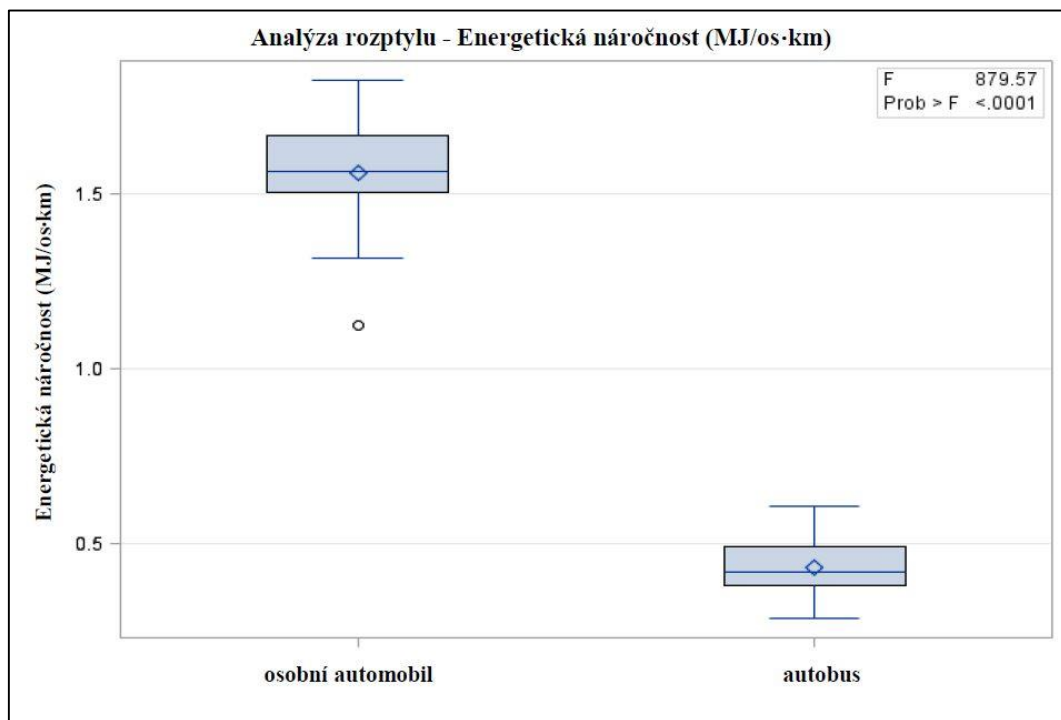
Nulové hypotézy k potvrzení, či zamítnutí:

- 1) H_0 : Trasa ze suburbia do Prahy je stejně energeticky náročná jako trasa zpět.
- 2) H_0 : Cesta v dopoledních hodinách je stejně energeticky náročná jako cesta v odpoledních hodinách.
- 3) H_0 : Cesta osobním automobilem je časově stejně náročná jako cesta autobusem.
- 4) H_0 : Osobní automobil má stejnou energetickou náročnost jako autobus.

Na základě zjištěných výsledků je možno stanovit k jednotlivým hypotézám následující závěry:

- 1) Ani u jednoho vozidla nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi energetickou náročností naměřenou na trasách ze suburbii do Prahy a na opačné trase. Lze tedy říct, že obě tyto trasy jsou z hlediska energetické náročnosti srovnatelné.
- 2) U osobního automobilu byla potvrzena nulová hypotéza a lze konstatovat, že denní doba nemá vliv na energetickou náročnost osobního automobilu. V případě šetření městského autobusu byla nulová hypotéza zamítnuta a byla přijatá alternativní hypotéza. Cesta autobusem je v dopoledních hodinách energeticky náročnější, než cesta v odpoledních hodinách.
- 3) Z výsledků analýzy byla potvrzena nulová hypotéza, tedy mezi dosahovanými průměrnými rychlostmi vozidel nebyl nalezen statisticky významný rozdíl a je možno konstatovat, že jízdy jsou z hlediska časové náročnosti srovnatelné.

- 4) Za předpokladu průměrné obsazenosti vozidel, byl při analýze nalezen významný statistický rozdíl a je možné prohlásit, že energetická náročnost osobního automobilu je značně vyšší než energetická náročnost autobusu (obrázek 8).



Obrázek 8 - Box-plot ANOVA energetické náročnosti vozidel při průměrné obsazenosti

5 Závěr

Disertační práce se zabývá velmi aktuální problematikou týkající se denní dojížděky hlavního města Prahy ze suburbánních a energetické náročnosti individuální automobilové dopravy a příměstské autobusové dopravy.

Za přínos předložené disertační práce lze považovat navržení metodického postupu pro kvantifikování energetické náročnosti při každodenní dojížděce z příměstských satelitních sídel do jádrového města.

Dalším přínosem práce je návrh hodnocení dopravní dostupnosti s použitím energetické náročnosti jako měřítka a s tím spojený navržený informační energetický štítek, který má za cíl jednak informovat obyvatele o rozdílné energetické náročnosti jednotlivých druhů dopravy, ale i motivovat k využívání méně energeticky náročných druhů dopravy, jako je zejména veřejná doprava, cyklistika nebo chůze.

6 Seznam použité literatury

CERVERO, R. (1997): *Paradigm shift: from automobility to accessibility planning*. Urban Futures (Canberra), Volume 22, s. 9–22

CURTIS, C., SCHEURER, J. (2010): *Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid*. Progress in Planning 74. 2010, s. 53–106.

7 Seznam publikací a konferencí

Marčev, D., Růžička, M. Lukeš, M., Kotek, M., 2015: Energy consumption of commuting from suburban areas. *Agronomy Research*, roč. 13, č. 2, Estonian University of Life sciences, Estonian Research Institute of Agriculture, Latvia university of Agriculture, Tartu, Estonia, ISSN: 1406-894X, 2015, s. 596-603.

Marčev, D., Váchová, Z., Růžička, M., Kotek, M., Lukeš, M., 2014: Energetická náročnost dojíždění ze suburbánních oblastí. 16th International Conference of Young Scientist 2014, Praha, ISBN - 978-80-213-2476-3.

Lukeš, M., Kotek, M., Růžička, M., **Marčev, D.**, 2014: Pozice hromadné dopravy v podmínkách denní vyjížděky z příměstských oblastí. 16th International Conference of Young Scientist 2014, Praha, ISBN - 978-80-213-2476-3.

Váchová, Z., **Marčev, D.**, Růžička, M., Kadleček, B., Kotek, M., 2013: Aspekty ovlivňující životní prostředí a doprava v suburbánních oblastech. 2013, 15th International Conference of Young Scientist 2013, Nitra, ISBN 978-80-552-1070-4.

8 Summary

This doctoral thesis seeks to evaluate the accessibility of the centre of the capital city Prague by people commuting from the suburbs on a daily basis using different types of transport and the related energy performance of these differing types of vehicle. The goal of this academic work is to propose a methodology for measuring transport accessibility by utilising energy efficiency as benchmark. On the basis of energy requirements, obtained by measurements taken during journeys both by car and bus, a method of calculating the energy demands of the two modes of transport was derived. This proposed method of measurement was then applied to journeys from selected suburbs and the results were compared. A part of this work was to propose an "energy information label" whose goal is to inform residents about the energy requirements of the various types of transport when used for their daily commute from the suburbs to the city core. It was verified that the performance of the measured units of energy required are significantly affected by another factor. The main benefit of this work is the proposal of a methodology for the acquisition and measurement of the energy performance during the populations daily commute. Another benefit is the proposal to implement an "energy information label" which serves to inform the population about the energy performance when commuting to their place of work in the city core.

Key words: fuel consumption, energy performance, suburbs, core city, passenger car, city bus