

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: Průmyslový management

**Analýza jízdních cyklů na světových trzích a
reálný dojezd elektromobilů**

Bakalářská práce

Marian FÁRA

Vedoucí práce: **prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D**



Škoda Auto Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Marian Fára**

Studijní program: Průmyslový management

Název tématu: **Analýza jízdních cyklů na světových trzích a reálný dojezd elektromobilů**

Cíl: Cílem práce je přiblížit a porovnat normalizované jízdní cykly, používané ke stanovení celkového dojezdu elektromobilu, využívané na různých světových trzích. Dále se práce zaměřuje na problematiku přepočtu celkového dojezdu mezi jednotlivými měřicími metodikami jízdních cyklů. Závěrem práce jsou diskutovány metody dosažení normou udávaného dojezdu vozidla s elektrickým pohonem v reálných podmínkách.

Rámcový obsah:

1. Normalizované jízdní cykly a jejich význam
2. Přehled normalizovaných jízdních cyklů ve světě a jejich charakteristika
3. Specifikace modelů určených k porovnání
4. Porovnání hodnot vyplývajících z normovaných jízdních cyklů každého modelu
5. Vyhodnocení a shrnutí nalezených poznatků
6. Dosažení udávaného celkového dojezdu v reálných podmínkách

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. GALINDO, Eduardo; BLANCO, David; BRACE, Chris. *Chassis Dynamometer Testing*. United States of America: SAE International, 2017. 232 s. ISBN 978-0-7680-8278-4.
2. GIAKOUMIS, Evangelos. *Driving and Engine Cycles*. Greece: Springer International Publishing, 2016. 408 s. ISBN 978-3-319-49033-5.
3. HORNÍČEK, Jan. *Jezdíme ekonomicky.: Jak jezdit s nižší spotřebou paliva*. 1st vyd. Brno: Computer Press, 2007. 147 s. ISBN 978-80-251-1624-1.

Da tum zadání bakalářské práce: prosinec 2022

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2023

L. S.

Elektronicky schváleno dne 19. 5. 2023

Marian Fára

Autor práce

Elektronicky schváleno dne 30. 6. 2023

prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 30. 6. 2023

prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.

Garant studijního programu

Elektronicky schváleno dne 10. 7. 2023

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Obsah

Úvod.....	6
1 Normalizované jízdní cykly a jejich význam.....	7
2 Přehled normalizovaných jízdních cyklů ve světě a jejich charakteristika.....	8
2.1 Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedures (WLTP)	8
2.2 Jízdní cykly EPA	13
2.3 Jízdní cyklus WLTC.....	17
2.4 Jízdní cyklus CLTC	18
3 Specifikace modelů určených k porovnání.....	19
3.1 Model č. 1.....	19
3.2 Model č. 2.....	20
3.3 Model č. 3.....	21
3.4 Model č. 4.....	22
4 Porovnání hodnot vyplývajících z normovaných jízdních cyklů každého modelu	23
4.1 Stanovení základny pro porovnání modelů	23
4.2 Modifikované převodové koeficienty pro odhad celkového dojezdu.....	24
4.3 Použití převodových koeficientů pro odhad celkového EPA dojezdu vozu Tesla Model 3 Standard Range	25
5 Vyhodnocení a shrnutí nalezených poznatků	27
6 Dosažení udávaného celkového dojezdu v reálných podmínkách.....	29
Závěr	31
Seznam literatury	32
Seznam obrázků a tabulek.....	34

Seznam použitých zkratk a symbolů

WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedures
NEDC	New European Driving Cycle
PEMS	Portable Emissions Measurement Systems
EPA	Environmental Protection Agency
WLTC	Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Cycle
CLTC	China Light-Duty Vehicle Test Cycle
TEL	konfigurace modelu s nejnižšími nároky na spotřebu energie
SR	Standard Range
LR	Long Range
EU	Evropská unie
kWh	kilowatthodina

Úvod

S rostoucím politickým tlakem na snižování emisí, produkování skleníkových plynů a rostoucími obavami o stav životního prostředí je nutné v sektoru automotive hledat nové způsoby, jak snížit ekologický dopad výroby automobilů, jejich provozu a likvidace. Velkým průlomem v EU byla modernizace testování vozidel z hlediska reálných provozních podmínek. Nepřesná testovací procedura NEDC byla nahrazena v roce 2017 přesnější a s realitou více shodnou procedurou WLTP. Testování dle WLTP bylo díky vyšší přesnosti adoptováno i v jiných částech světa a dnes je výchozím termínem, když se hovoří o tématu jízdních cyklů.

Vedlejším efektem těchto změn je navýšení přidané hodnoty pro zákazníky, kteří zvažují koupi nového či ojetého vozu a kteří nyní mají pevnější základnu pro výběr nového vozu dle spotřeby paliva.

Cílem práce je přiblížit a porovnat normalizované jízdní cykly, používané ke stanovení celkového dojezdu elektromobilu, využívané na různých světových trzích. Dále se práce zaměřuje na problematiku přepočtu celkového dojezdu mezi jednotlivými měřícími metodikami jízdních cyklů.

Teoretická část této práce se zabývá rozborem a porovnáním normalizovaných jízdních cyklů, používaných ke stanovení efektivity a celkového dojezdu elektromobilu, využívaných na světových trzích. Je rozebírána problematika přepočtu odhadovaného dojezdu mezi jednotlivými měřícími metodikami jízdních cyklů pomocí zkoumaného vzorku vozidel s elektrickým pohonem.

Praktická část práce se zabývá problematikou přepočtu hodnot celkového dojezdu mezi jednotlivými jízdními cykly, faktory hrajícími roli v přepočtu a přesností přepočtu.

Závěrem práce jsou diskutovány metody dosažení normou udávaného dojezdu vozidla s elektrickým pohonem v reálných podmínkách a reálném provozu.

1 Normalizované jízdní cykly a jejich význam

Normalizované jízdní cykly slouží k monitorování vlastností vozidel v oblastech emitování škodlivin, spotřeby paliva/energie a celkového dojezdu.

Monitorování vlastností vozidel znamená monitorování nejen osobních vozidel, ale i motocyklů a užitkových vozidel.

Jízdní cyklus je sestaven tak, aby co nejlépe reprezentoval každodenní provoz vozidel v dané zemi. Geografické rozdíly vyjdou najevo při porovnání jízdních cyklů v další kapitole. Pro úspěšné zavedení vozidla do prodeje je nutné, aby byl vůz typově schválen a plnil požadavky dané normou standardního jízdního cyklu pro daný trh.

Obecnou charakteristikou testování dle stanov jízdního cyklu je:

- Testování probíhá na válcové zkušebně při kontrolovaných laboratorních podmínkách
- Testování má více dílčích částí, ve kterých se liší celkový čas, ujetá vzdálenost, rychlost vozidla, počet rozjezdů, okamžiky řazení převodových stupňů atd.
- Laboratorní testování musí být opakovatelné, je sledována okolní teplota až po kvalitu paliva.

2 Přehled normalizovaných jízdních cyklů ve světě a jejich charakteristika

V této kapitole jsou do detailu popsány testovací procedury, kterými se zabývá tato bakalářská práce. Tato kapitola ani bakalářská práce neobsahuje kompletní popis všech vzniklých a historických testovacích procedur, obsahuje pouze popis relevantních procedur v měřítku aktuálnosti, rozšířenosti a vztahu k praktické části této práce.

2.1 Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedures (WLTP)

Testovací procedura WLTP je evropským standardem pro testování konformity vozidel s limity vyprodukovaných škodlivin při provozu.

Testovací procedura WLTP je používána i mimo EU (eurococ.eu, 2020):

- Švýcarsko
- Norsko
- Island
- Indie
- Lichtenštejnsko
- Turecko
- Izrael
- Spojené království

Plnotučná testovací procedura WLTP se skládá z laboratorní části prováděné na válcové zkušebně za opakovatelných podmínek a části prováděné v reálném provozu nazývanou zkráceně RDE.

Klíčové parametry sledované při laboratorní části testování (Marotta, Pavlovic, Serra, 2015):

- Čas (s)
- Vzdálenost (km)
- Průměrná rychlost (km/h)
- Maximální rychlost (km/h)
- Čas v klidu (%)
- Jízda při konstantní rychlosti (%)
- Zrychlování (%)
- Zpomalování (%)
- Průměrné kladné zrychlení (m/s^2)
- Maximální kladné zrychlení (m/s^2)
- Průměrný kladný součin rychlosti a zrychlení (m^2/s^3)
- Maximální kladný součin rychlosti a zrychlení (m^2/s^3)
- Průměrné zpomalení (m/s^2)
- Minimální zpomalení (m/s^2)

Klíčové parametry sledované při testování v reálném provozu – RDE (Ziolkowsky, Fuc, Jagielski, 2023):

- Celková vzdálenost (km)
- Celkový čas (min)
- Trvání studeného startu (min)
- Městská vzdálenost (km)
- Mimoměstská vzdálenost (km)
- Dálniční vzdálenost (km)
- Podíl městské vzdálenosti (%)

- Podíl mimoměstské vzdálenosti (%)
- Podíl dálniční vzdálenosti (%)
- Průměrná rychlost ve městském cyklu (km/h)
- Rychlost v dálničním cyklu překračující rychlost 145 km/h (km/h)
- Rychlost v dálničním cyklu překračující rychlost 100 km/h (km/h)
- Čas v klidu ve městském cyklu (%)
- Počáteční a konečný bod, absolutní rozdíl elevace (m)
- Akumulovaný kladný elevační inkrement (m/100 km)



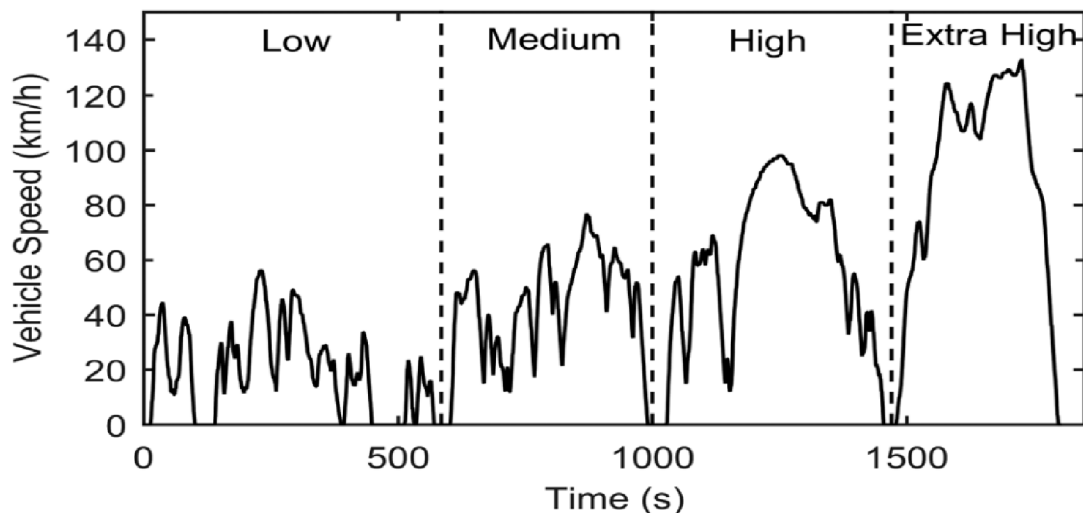
Zdroj: autocar.co.uk, 2022

Obr. 1 Test vozidla na válcové zkušebně



Zdroj: autocar.co.uk, 2022

Obr. 2 RDE - test vozidla v reálném prostředí pomocí zařízení PEMS



Zdroj: Galindo, 2017

Obr. 3 Průběh cyklu WLTP

Obrázek č. 3 znázorňuje průběh laboratorního cyklu WLTP. Test je dlouhý celkem 1800 sekund a je rozdělen do čtyřech fází. Maximální dosažená rychlost v průběhu testu je 131,3 km/h. Zhruba 3/4 cyklu se odehrává pod hranicí rychlosti 90 km/h, WLTP cyklus je tedy méně relevantní pro dálniční používání vozidel.

WLTP testování je z hlediska nároků na řidiče náročná disciplína. Zejména při laboratorním testování je kladen důraz na přesné kopírování linie dané cyklem. Řidič má při testování před čelním oknem obrazovku, na které může sledovat živý přenos toho, na které části cyklu se aktuálně nachází. Rovněž vidí nadcházející změny v tempu a to umožňuje plynule následovat předepsaný způsob jízdy pomocí plynu a brzdy.

RDE část testování se odehrává v každodenním provozu za použití tzv. PEMS zařízení, které monitoruje a zaznamenává emitované škodliviny (hlavně CO₂ a NO_x) a mnoho dalších parametrů do systému, který je kompletně izolován od systémů vozidla pro zaručení přesných výsledků, které nejsou např. ovlivněné přetíženým palubním systémem vozu.

Skutečnost, že RDE testování probíhá v reálném provozu neznamená, že nejsou nastaveny požadavky, které musí test obsáhnout.

RDE test mimo jiné obsahuje (Giakoumis, 2016):

- 90–120 minut jízdy
- Přibližně 34 % městské jízdy do rychlosti 60 km/h
- Přibližně 33 % mimoměstské jízdy rychlostí 60–90 km/h
- Přibližně 33 % dálniční jízdy nad rychlostí 90 km/h
- Během každé části musí vůz najet alespoň 16 kilometrů
- Alespoň 10 % městské jízdy musí vůz strávit v klidu
- Data při studeném startu vozidla jsou monitorována, ale nejsou rozhodující

2.2 Jízdní cykly EPA

Environmentální organizace EPA provádí testování vozidel v celkem pěti cyklech, ve kterých jsou testovány odlišné vlastnosti vozu.

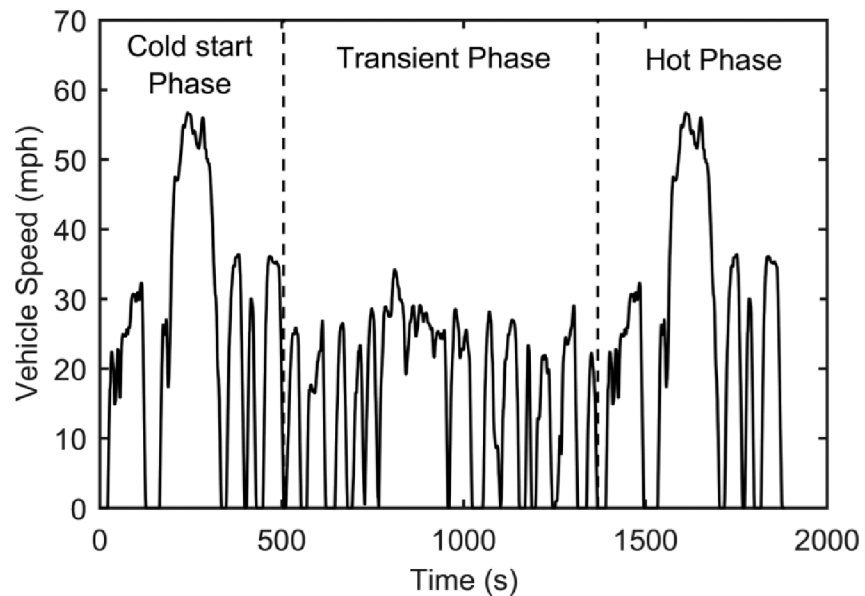
Tab. 1 Přehled EPA cyklů používaných pro evaluaci vozidel

Driving schedule attributes	Test Schedule				
	City	Highway	High speed	AC	Cold
	EPA FTP	EPA Highway fuel economy	US06	SC03	EPA FTP
Trip type	Low speeds in stop-and-go urban traffic	Free-flow traffic at highway speeds	Higher speeds; harder acceleration and braking	AC use under hot ambient conditions	City test with colder outside temperature
Top speed	56 mi/h	60 mi/h	80 mi/h	54.8 mi/h	56 mi/h
Average speed	21.2 mi/h	48.3 mi/h	48.4 mi/h	21.2 mi/h	21.2 mi/h
Maximum acceleration	3.3 mi/h/s	3.2 mi/h/s	8.46 mi/h/s	5.1 mi/h/s	3.3 mi/h/s
Simulated distance	11 mi	10.3 mi	8 mi	3.6 mi	11 mi
Time	31.2 min	12.75 min	9.9 min	9.9 min	31.2 min
Stops	23	None	4	5	23
Idling time	18% of time	None	7% of time	19% of time	18% of time
Engine Startup*	Cold	Warm	Warm	Warm	Cold
Laboratory conditioned ambient temperature	68–86°F			95°F	20°F
Vehicle air conditioning	Off	Off	Off	On	Off

Zdroj: Galindo, 2017

2.2.1 EPA FTP test

Simulovaný test je zaměřen na městskou jízdu s průměrnou rychlostí přibližně 34 km/h na vzdálenosti 18 kilometrů po dobu 31 minut.

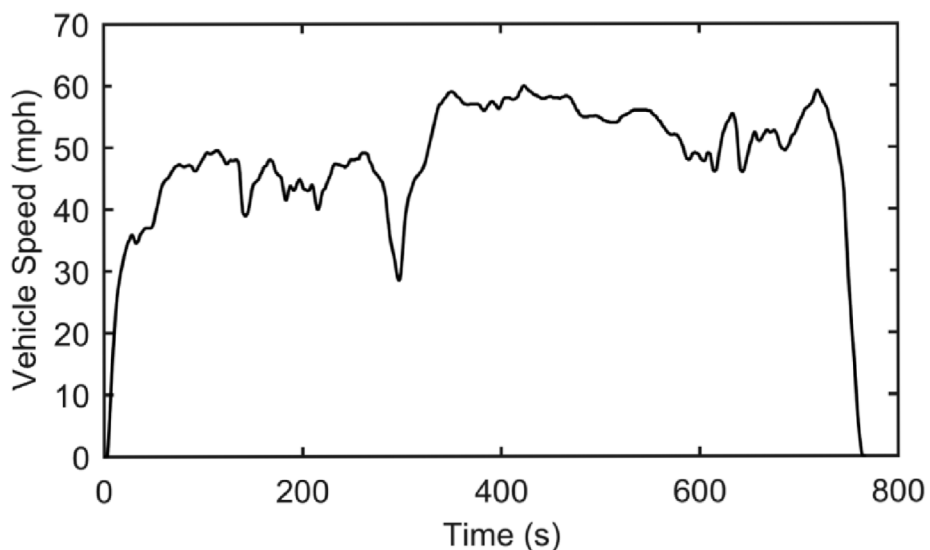


Zdroj: Galindo, 2017

Obr. 4 Průběh EPA FTP cyklu

2.2.2 EPA HWFET dálniční test

Simulovaný test zaměřen na jízdu na dálnici s průměrnou rychlostí přibližně 77 km/h na vzdálenosti 16 kilometrů po dobu 13 minut.

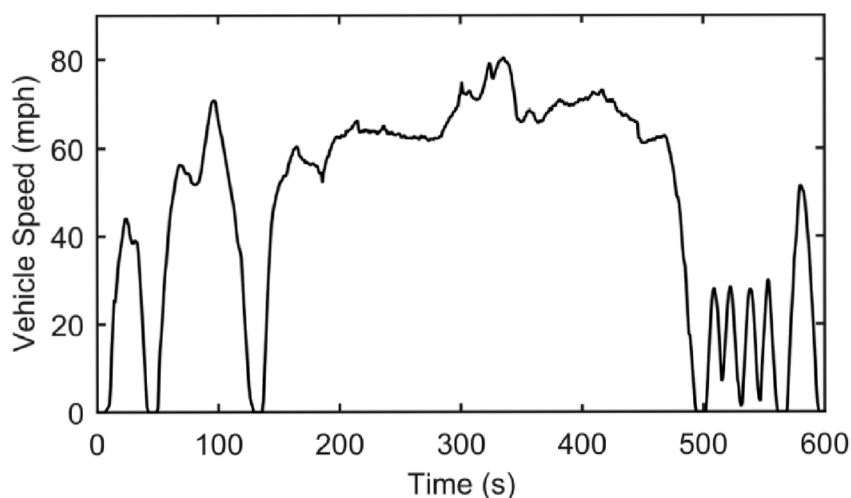


Zdroj: Galindo, 2017

Obr. 5 Průběh EPA HWFET cyklu

2.2.3 EPA vysokorychlostní test

Simulovaný test zaměřen na jízdu vysokou rychlostí s maximální rychlostí 130 km/h na vzdálenosti 13 kilometrů po dobu 10 minut.

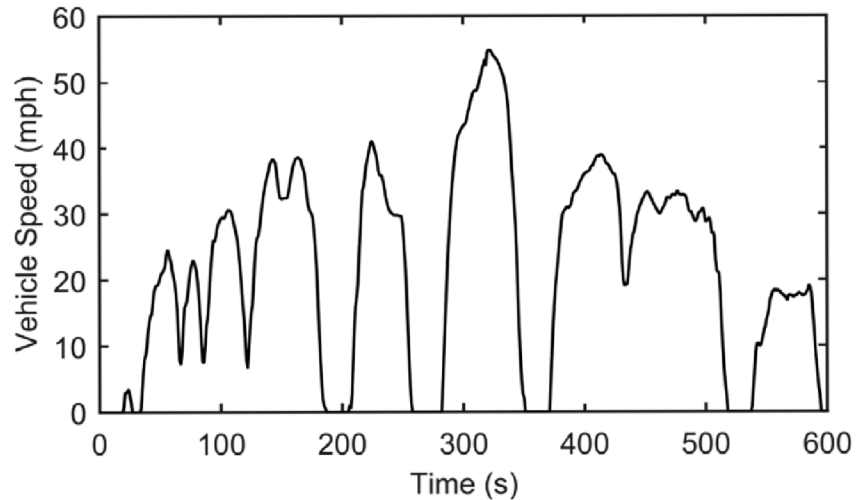


Zdroj: Galindo, 2017

Obr. 6 Průběh EPA vysokorychlostního cyklu

2.2.4 EPA test vlivu klimatizace

Test efektivity systému klimatizace, test s průměrnou rychlostí přibližně 77 km/h na vzdálenosti 6 kilometrů po dobu 10 minut.



Zdroj: Galindo, 2017

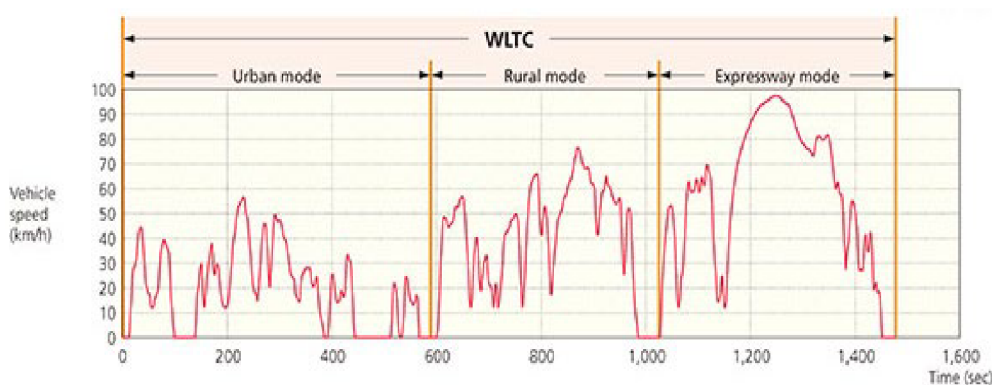
Obr. 7 Průběh EPA testu vlivu klimatizace

2.2.5 EPA FTP test při nižších teplotách

Oproti ostatním testům prováděným při 20-35 °C se tento test provádí při -6°C. Ve všech ostatních aspektech je test totožný s EPA FTP testem při 20-30 °C.

2.3 Jízdní cyklus WLTC

První věc, kterou je nutné uvést na správnou míru je rozdíl mezi dříve zmiňovaným WLTP a nyní probíraným WLTC. Obě zkratky se často používají proměnně. U WLTP se mluví o komplexním procesu certifikace vozu a hlavně laboratorním + reálném testování. Cyklus WLTC obsahuje pouze laboratorní část testování vyjmutou přímo z WLTP nebo mírně modifikovanou verzi tohoto laboratorního testování.



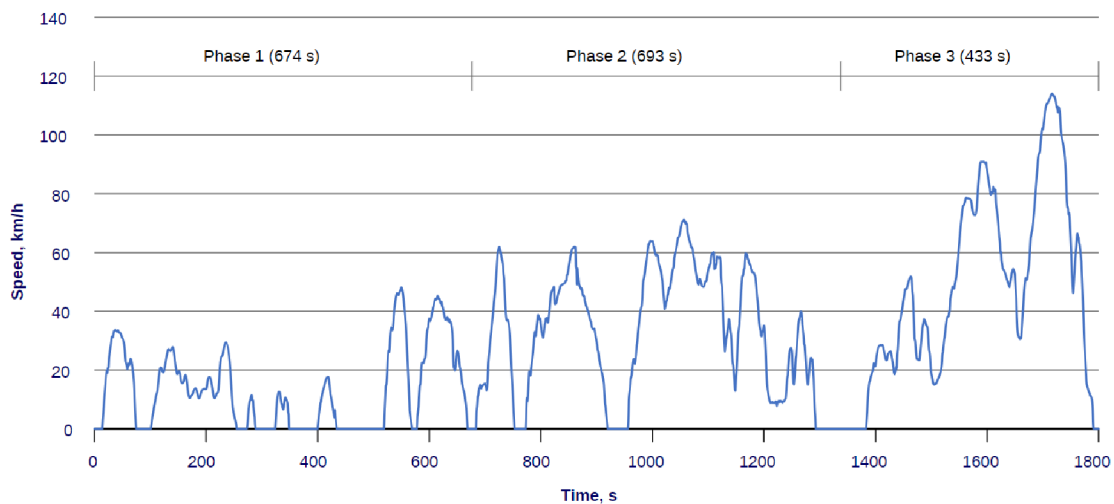
Zdroj: toyota-club.net, 2022

Obr. 8 Japonská modifikace WLTC cyklu

Důvodem pro adoptaci modifikovaného WLTC cyklu v Japonsku byly obecně nižší rychlosti dané odlišnou infrastrukturou japonských měst a nastavení omezení maximálních rychlostí na japonských silnicích. V dálniční části cyklu tedy vůz dosahuje maximální rychlosti necelých 100 km/h.

2.4 Jízdní cyklus CLTC

Jízdní cyklus používaný v Číně, přizpůsobený pro Čínu. Tento cyklus je proslaven za svoji přehnanou optimističnost, jelikož je přizpůsoben hlavně pro městskou jízdu.



Zdroj: dieselnet.com, 2023

Obr. 9 Průběh CLTC cyklu

Parametry sledované při testování (dieselnet.com, 2023):

- Vzdálenost (km)
- Celkový čas (s)
- Průměrná rychlost (se stáním) (km/h)
- Průměrná rychlost (bez stání) (km/h)
- Maximální rychlost (km/h)
- Průměrné zrychlení (m/s^2)
- Maximální zrychlení (m/s^2)
- Průměrné zpomalení (m/s^2)
- Maximální zpomalení (m/s^2)

3 Specifikace modelů určených k porovnání

Tato kapitola slouží jako přehled modelů vybraných za účelem sestavení rovnice pro přepočet mezi jízdními cykly. Modely byly vybrány s ohledem na jejich dostupnost na jednotlivých trzích a reprezentativnosti nabídky vozidel s elektrickým pohonem.

3.1 Model č. 1



Zdroj: volkswagen.cz, 2023

Obr. 10 Volkswagen ID.4

Tab. 2 Udávané celkové dojezdy vozu Volkswagen ID.4 ve zkoumaných jízdních cyklech

Volkswagen ID.4 Pro 77 kWh	
Jízdní cyklus	Kombinovaný celkový dojezd
WLTP	544 km
WLTC	618 km
EPA	443 km
CLTC	600 km

3.2 Model č. 2



Zdroj: bmw.cz, 2023

Obr. 11 BMW i4

Tab. 3 Udávané celkové dojezdy vozu BMW i4 ve zkoumaných jízdních cyklech

BMW i4 eDrive35	
Jízdní cyklus	Kombinovaný celkový dojezd
WLTP	473 km
WLTC	532 km
EPA	412 km
CLTC	511 km

3.3 Model č. 3



Zdroj: tesla.com, 2023

Obr. 12 Tesla Model 3

Tab. 4 Udávané celkové dojezdy vozu Tesla Model 3 ve zkoumaných jízdních cyklech

Tesla Model 3 SR	
Jízdní cyklus	Kombinovaný celkový dojezd
WLTP	513 km
WLTC	573 km
EPA	? km
CLTC	606 km

3.4 Model č. 4



Zdroj: mercedes-benz.cz, 2023

Obr. 13 Mercedes Benz EQS

Tab. 5 Udávané celkové dojezdy vozu Mercedes Benz EQS ve zkoumaných jízdních cyklech

Mercedes Benz EQS 450+	
Jízdní cyklus	Kombinovaný celkový dojezd
WLTP (TEL)	784 km
WLTC	700 km
EPA	563 km
CLTC	849 km

4 Porovnání hodnot vyplývajících z normovaných jízdních cyklů každého modelu

Tato kapitola je průvodcem praktickou částí této práce. Zde je uveden kompletní postup a výpočty, které byly provedeny za účelem určení konstant pro převod dojezdu mezi jednotlivými jízdními cykly.

4.1 Stanovení základny pro porovnání modelů

Tab. 6 Převodové koeficienty vyplývající z hodnot dojezdu modelů k porovnání

Typ převodu	VW ID.4	BMW i4	Model 3	EQS	Ø
WLTP>WLTC	1,136	1,125	1,117	0,893	1,126
WLTC>WLTP	0,880	0,889	0,895	1,120	0,888
WLTP>EPA	0,814	0,871	?	0,718	0,801
EPA>WLTP	1,228	1,148	?	1,393	1,256
WLTP>CLTC	1,103	1,080	1,181	1,083	1,112
CLTC>WLTP	0,907	0,926	0,847	0,923	0,901
WLTC>EPA	0,717	0,774	?	0,804	0,765
EPA>WLTC	1,395	1,291	?	1,243	1,310
EPA>CLTC	1,354	1,240	?	1,508	1,367
CLTC>EPA	0,738	0,806	?	0,663	0,736
WLTC>CLTC	0,971	0,961	1,058	1,213	1,051
CLTC>WLTC	1,030	1,041	0,946	0,824	0,960

Uvedené hodnoty byly vypočteny podílem mezi dojezdy v obou relevantních cyklech. Z těchto hodnot byl poté vypočten aritmetický průměr, který je základnou pro stanovení reálného převodového koeficientu. Pole s neznámým koeficientem budou dopočtena po úspěšném odhadu EPA dojezdu vozu Model 3. Červeně vyznačené odlehle hodnoty byly z výpočtu průměru vyřazeny z důvodu zkreslení výsledného průměru.

4.2 Modifikované převodové koeficienty pro odhad celkového dojezdu

Přehled převodových koeficientů níže byl sestaven na základě vypočtených aritmetických průměrů viz. tabulka č. 5 a dále poupraven zkušebními přepočty, tak aby pokrýval širokou škálu modelů s přesností v řádu desítek kilometrů.

Tab. 7 Tabulka převodových koeficientů pro odhad celkového dojezdu

Typ převodu	Koeficient – nízká efektivita	Koeficient – střední efektivita	Koeficient – vysoká efektivita	Základna pro odvození
WLTP>WLTC	1,05	1,1	1,2	1,126
WLTC>WLTP	0,85	0,9	0,95	0,888
WLTP>EPA	0,8	0,9	1,05	0,801
EPA>WLTP	1,25	1,15	1	1,256
WLTP>CLTC	1,05	1,1	1,15	1,112
CLTC>WLTP	0,85	0,9	0,93	0,901
WLTC>EPA	0,7	0,8	0,9	0,765
EPA>WLTC	1,3	1,35	1,4	1,310
EPA>CLTC	1,25	1,3	1,5	1,367
CLTC>EPA	0,7	0,8	0,9	0,736
WLTC>CLTC	0,95	0,98	1,1	1,051
CLTC>WLTC	0,99	1	1,1	0,960

Tabulka č. 6 shrnuje převodové koeficienty mezi jízdními cykly pro odhad celkového dojezdu vozidla na elektrický pohon. Koeficienty byly rozděleny na tři kategorie dle efektivity modelu tzn. hlavně aerodynamického odporu a účinnosti pohonného ústrojí. Převodové koeficienty nejsou striktně určeny mezi těmito třemi kategoriemi. Pokud je např. prováděn převod u modelu se střední až vysokou efektivitou mezi cykly EPA a WLTP, je možné použít koeficient 0,95 resp. 1,05. Následuje krátké rozdělení případných elektrických modelů pro ukázkou zástupců jednotlivých kategorií.

Kategorie nízká efektivita: Volkswagen ID.4, Audi Q8 e-tron

Kategorie střední efektivita: BMW i4, Hyundai Ioniq 6

Kategorie vysoká efektivita: Tesla Model S LR, Mercedes Benz EQS 450+

4.3 Použití převodových koeficientů pro odhad celkového EPA dojezdu vozu Tesla Model 3 Standard Range

Přesnost určených koeficientů bude otestována odhadem celkového EPA dojezdu vozu Tesla Model 3 Standard Range.

Tab. 4 Udávané celkové dojezdy vozu Tesla Model 3 ve zkoumaných jízdních cyklech

Tesla Model 3 SR	
Jízdní cyklus	Kombinovaný celkový dojezd
WLTP	513 km
WLTC	573 km
EPA	? km
CLTC	606 km

WLTP>EPA	0,8	0,9	1,05	0,801
----------	-----	-----	------	-------

Převod bude proveden pomocí koeficientu z tabulky č. 6, konkrétně pomocí řádku 3. Vůz Tesla Model 3 v provedení Standard Range budeme považovat za středně až vysoce efektivní vůz, a proto stanovíme koeficient pro převod 0,95.

$$\text{Dojezd EPA} = \text{Dojezd WLTP} \times 0,95$$

$$\text{Dojezd EPA} = 513 \times 0,95$$

$$\text{Dojezd EPA} = 513 \times 0,95$$

$$\text{Dojezd EPA} = 487 \text{ km} = 304 \text{ mi}$$

Vzhledem k EPA dojezdu vozu Tesla Model 3 Standard Range, který byl před faceliftem modelu stanoven na 272 mil je zřejmé, že aerodynamická vylepšení vylepší celkový dojezd na hranici 300 mil tj. 480 km. Oficiální hodnoty EPA dojezdu budou představeny při zahájení prodeje faceliftovaného modelu v USA.

5 Vyhodnocení a shrnutí nalezených poznatků

Byla úspěšně sestavena tabulka s převodovými koeficienty, které co nejlépe odrážejí různé typy vozidel s elektrickým pohonem napříč sledovanými jízdními cykly. Pro odzkoušení celého konceptu byl odhadnut EPA dojezd vozu Tesla Model 3 Standard Range.

Tab. 8 Kompletní tabulka celkových dojezdů vozu Tesla Model 3

Tesla Model 3 SR	
Jízdní cyklus	Kombinovaný celkový dojezd
WLTP	513 km
WLTC	573 km
EPA	487 km
CLTC	606 km

Tab. 9 Aktualizované převodové koeficienty vyplývající z hodnot dojezdu modelů k porovnání

Typ převodu	VW ID.4	BMW i4	Model 3	EQS	Ø
WLTP>WLTC	1,136	1,125	1,117	0,893	1,126
WLTC>WLTP	0,880	0,889	0,895	1,120	0,888
WLTP>EPA	0,814	0,871	0,949	0,718	0,838
EPA>WLTP	1,228	1,148	1,053	1,393	1,206
WLTP>CLTC	1,103	1,080	1,181	1,083	1,112
CLTC>WLTP	0,907	0,926	0,847	0,923	0,901
WLTC>EPA	0,717	0,774	0,850	0,804	0,786
EPA>WLTC	1,395	1,291	1,177	1,243	1,277
EPA>CLTC	1,354	1,240	1,244	1,508	1,337
CLTC>EPA	0,738	0,806	0,804	0,663	0,753
WLTC>CLTC	0,971	0,961	1,058	1,213	1,051
CLTC>WLTC	1,030	1,041	0,946	0,824	0,960

Tabulka č. 6 byla aktualizována po odhadu EPA dojezdu vozu Tesla Model 3. Hodnoty v tučném fontu byly nově vypočteny a hodnoty označené zeleně jsou nově vypočtené průměry z důvodu nově přidanych hodnot.

Tab. 10 Finální verze tabulky převodových koeficientů pro odhad celkového dojezdu

Typ převodu	Koeficient – nízká efektivita	Koeficient – střední efektivita	Koeficient – vysoká efektivita	Základna pro odvození
WLTP>WLTC	1,05	1,1	1,2	1,126
WLTC>WLTP	0,85	0,9	0,95	0,888
WLTP>EPA	0,8	0,9	1,05	0,838
EPA>WLTP	1,25	1,15	1	1,206
WLTP>CLTC	1,05	1,1	1,15	1,112
CLTC>WLTP	0,85	0,9	0,93	0,901
WLTC>EPA	0,7	0,8	0,9	0,786
EPA>WLTC	1,3	1,35	1,4	1,277
EPA>CLTC	1,25	1,3	1,5	1,337
CLTC>EPA	0,7	0,8	0,9	0,753
WLTC>CLTC	0,95	0,98	1,1	1,051
CLTC>WLTC	0,99	1	1,1	0,960

Tabulka č. 10 je uvedena v tomto shrnutí jako definitivní a jediná směrodatná pomůcka v této práci pro co nejpřesnější odhad/převod celkového dojezdu elektromobilu.

6 Dosažení udávaného celkového dojezdu v reálných podmínkách

Když se hovoří o tématu předepsaných údajů o spotřebě energie a celkového dojezdu, málokdy se diskuse nezvrhne směrem k dosažitelnosti zmiňovaných hodnot v reálném provozu. Proto byla do této práce zahrnuta i tato kapitola pro objasnění klíčových faktů.

Hodnoty spotřeby a dojezdu jsou určovány z velké části při letních ambientních teplotách, což znamená pokles efektivity při nižších okolních teplotách, zejména kvůli zvýšení hustoty vzduchu, který musí vůz za jízdy prorážet. Podobný efekt má také protivítr či průjezd větších vozidel v protisměru.

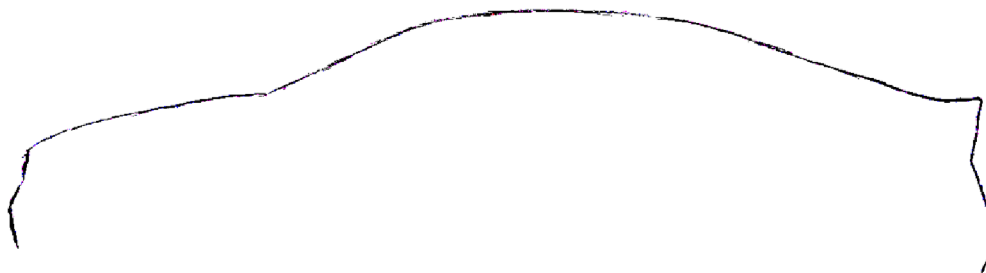
Při deštivém nebo zimním počasí se zvyšuje valivý odpor pneumatik kvůli přítomnosti vodního klínu před každou pneumatikou. Podobné platí i o nánosu sněhu.

Technický stav vozu je dalším faktorem, který dokáže zásadně ovlivnit hospodárnost provozu. U vozů s elektrickým pohonem se může zejména jednat o váznoucí brzdiče z důvodu nízkého používání provozní brzdy při jízdě.

Avšak největší dopad na hospodárnost vozidla má jeho řidič, který při i průměrné znalosti úsporné jízdy dokáže zásadně zkrotit výslednou spotřebu a náklady na provoz jakéhokoliv vozidla.

Často lze také narazit na stigma v podobě: Úsporná jízda = pomalá jízda. Existuje tzv. hospodárná rychlost, která je nejlépe popsána takto. „U dnešních moderních osobních vozidel se tedy celkem hodí rychlostní limity, obdobné v celé Evropě. Mimo obec bývá ideální rychlostí právě oněch 80–90 km/h, k ní také většinou směřují výrobci při navrhování nejvyššího převodového stupně. Snaží se, aby při této rychlosti byl motor v režimu tzv. minimální měrné spotřeby.“ (Horníček, 2007)

Uvedená informace se samozřejmě vztahuje na vozy se spalovacím motorem, ale i u vozidel s elektrickým pohonem má svoji podstatu, jelikož nabitá setrvačnost pomáhá při překonávání kopců i umožňuje efektivní využití rekuperace elektromotorem. V neposlední řadě jsme na silnici také z důvodu, že musíme na místo určení dorazit včas a nebyt přitom osinou pro ostatní.



Obr. 14 Skica ideálního aerodynamického tvaru karoserie – sedan/liftback; Škoda Octavia 4 RS

Zvláště u vozidel s elektrickým pohonem je důležité dbát na aerodynamický tvar karoserie, který je alfou a omegou vývoje efektivního elektromobilu. Není tedy ideální, pokud je při cestování pokažena náročná práce inženýrů nainstalovanými střešními nosiči nebo estetickými doplňky, kterou mohou narušovat proudění vzduchu okolo vozu. Vždy se vyplatí pokusit se vměstnat jakýkoliv náklad do vozidla.

Závěr

Téma jízdních cyklů a dojezdu vozidel na elektrický pohon se stává s vývojem bateriových technologií častěji diskutovaným tématem. S eventuálním přechodem každodenní dopravy na elektřinu je důležité sdílet pokrok v technologiích se širokou veřejností a poskytovat možnosti, jak může průměrný občan ČR vyzkoušet, přesvědčit se o nových způsobech dopravy a integrovat je do svého každodenního života.

Výsledky této práce mohou pomoci v odhadování dojezdu vozidel nově uvedených do prodeje v jiných částech světa před uvolněním oficiálních hodnot relevantního jízdního cyklu pro zájmový trh. S vývojem umělé inteligence se přesnost tohoto odhadování zcela určitě zvýší.

Seznam literatury

GALINDO, Eduardo; BLANCO, David; BRACE, Chris. Chassis Dynamometer Testing. United States of America: SAE International, 2017. 232 s. ISBN 978-0-7680-8278-4.

GIAKOUMIS, Evangelos. Driving and Engine Cycles. Greece: Springer International Publishing, 2016. 408 s. ISBN 978-3-319-49033-5.

HORNÍČEK, Jan. Jezdíme ekonomicky.: Jak jezdit s nižší spotřebou paliva. 1st vyd. Brno: Computer Press, 2007. 147 s. ISBN 978-80-251-1624-1.

AUTOCAR [online]. Spojené království: AUTOCAR, 2022 [2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-news/features/autocar-guide-wltp-emissions-testing>.

EUROCOCC [online]. Evropská unie: EUROCOCC, 2020 [2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.eurococ.eu/en/blog/wltp-cycle-replaces-nedc/#:~:text=The%20WLTP%20test%20procedure,passenger%20and%20light%20commercial%20vehicles>.

MAROTTA, Alessandro; PAVLOVIC, Jelica; CIUFFO, Biagio; SERRA, Simone a FONTARAS, Georgios. Gaseous Emissions from Light-Duty Vehicles: Moving from NEDC to the New WLTP Test Procedure. [online]. Environmental Science & Technology. 2015, roč. 49, č. 14, s. 8315-8322. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01364>. [cit. 2023-12-05].

ZIÓŁKOWSKI, Andrzej; FUĆ, Paweł; JAGIELSKI, Aleks; BEDNAREK, Maciej a KONIECZKA, Szymon. Comparison of the Energy Consumption and Exhaust Emissions between Hybrid and Conventional Vehicles, as Well as Electric Vehicles Fitted with a Range Extender. Online. Energies. 2023, roč. 16, č. 12. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16124669>. [cit. 2023-12-05].

TOYOTA-CLUB.NET [online]. Spojené státy americké: TOYOTA-CLUB.NET, 2022 [2023-12-05]. Dostupné z: https://toyota-club.net/files/faq/10-10-15_faq_eco-class_eng.htm.

DIESELNET.COM [online]. Kanada: DIESELNET.COM, 2023 [2023-12-05]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/cltc.php>.

VOLKSWAGEN.CZ [online]. Česká republika: VOLKSWAGEN Česká republika, 2023 [2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz>.

BMW.CZ [online]. Česká republika: BMW Česká republika, 2023 [2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/index.html>.

TESLA.COM [online]. Česká republika: TESLA Česká republika, 2023 [2023-12-05]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz.

MERCEDES-BENZ.CZ [online]. Česká republika: MERCEDES BENZ Česká republika, 2023 [2023-12-05]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars.html?group=all&subgroup=see-all&view=BODYTYPE>.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 – Test vozidla na válcové zkušebně	10
Obr. 2 – RDE – test vozidla v reálném prostředí pomocí zařízení PEMS	10
Obr. 3 – Průběh cyklu WLTP	11
Obr. 4 – Průběh EPA FTP cyklu	14
Obr. 5 – Průběh EPA HWFET cyklu	15
Obr. 6 – Průběh EPA vysokorychlostního cyklu	15
Obr. 7 – Průběh EPA testu vlivu klimatizace	16
Obr. 8 – Japonská modifikace WLTC cyklu	17
Obr. 9 – Průběh CLTC cyklu	18
Obr. 10 – Volkswagen ID.4	19
Obr. 11 – BMW i4	20
Obr. 12 – Tesla Model 3	21
Obr. 13 – Mercedes Benz EQS	22
Obr. 14 – Skica ideálního aerodynamického tvaru karoserie – sedan/liftback; Škoda Octavia 4 RS	30

Seznam tabulek

Tab. 1 - Přehled EPA cyklů používaných pro evaluaci vozidel	13
Tab. 2 - Udávané celkové dojezdy vozu Volkswagen ID.4 ve zkoumaných jízdních cyklech	19
Tab. 3 - Udávané celkové dojezdy vozu BMW i4 ve zkoumaných jízdních cyklech	20
Tab. 4 - Udávané celkové dojezdy vozu Tesla Model 3 ve zkoumaných jízdních cyklech	21
Tab. 5 - Udávané celkové dojezdy vozu Mercedes Benz EQS ve zkoumaných jízdních cyklech	22
Tab. 6 - Převodové koeficienty vyplývající z hodnot dojezdu modelů k porovnání	23
Tab. 7 - Tabulka převodových koeficientů pro odhad celkového dojezdu	24
Tab. 8 - Kompletní tabulka celkových dojezdů vozu Tesla Model 3	27
Tab. 9 - Aktualizované převodové koeficienty vyplývající z hodnot dojezdu modelů k porovnání	27
Tab. 10 - Finální verze tabulky převodových koeficientů pro odhad celkového dojezdu	28

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Marian Fára		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Průmyslový management		
NÁZEV PRÁCE	Analýza jízdnicích cyklů na světových trzích a reálný dojezd elektromobilů		
VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2023
POČET STRAN	26		
POČET OBRÁZKŮ	14		
POČET TABULEK	10		
POČET PŘÍLOH	0		
STRUČNÝ POPIS	<p>Jízdní cykly ve světě, ekologie, odhad dojezdu elektromobilu. Metodické řešení pomocí základních matematických dovedností.</p> <p>Bylo dosaženo řešení, které s přesností na desítky kilometrů odhadne celkový dojezd elektromobilu při přepočtu mezi jízdnicími cykly používanými ve světě.</p> <p>Práce je založena na aktuálním dění ve světě elektromobility a v práci je předvedena aktuální ukázka odhadu celkového EPA dojezdu vozu Tesla Model 3, který dosud neobdržel oficiální hodnocení za použití tohoto cyklu.</p> <p>Ke konci práce jsou probrány způsoby jak dosáhnout nebo překonat předepsaný dojezd pomocí základních zásad efektivní jízdy.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	WLTP, NEDC, EPA, WLTC, CLTC, PEMS, RDE, jízdní cyklus, elektromobilita, celkový dojezd, reálný provoz		

ANNOTATION

AUTHOR	Marian Fára		
FIELD	Industrial management		
THESIS TITLE	Drive cycle analysis throughout world markets and real world driving range of electric vehicles		
SUPERVISOR	prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2023
NUMBER OF PAGES	26		
NUMBER OF PICTURES	14		
NUMBER OF TABLES	10		
NUMBER OF APPENDICES	0		
SUMMARY	<p>Drive cycles throughout the world, ecology, EV range estimation. Methodical solving using basic mathematical skills.</p> <p>A solution was reached, which can estimate total EV range with an accuracy in the tenths of kilometers in between drive cycles used worldwide.</p> <p>Thesis is based on current events happening in the electric vehicle industry. The thesis includes a current example of EV range estimation performed on the new Tesla Model 3 model, which has not yet been rated in the EPA drive cycle for US.</p> <p>Last part of the thesis discusses ways how to achieve or exceed rated EV range in real world driving conditions using basic eco driving techniques.</p>		
KEY WORDS	WLTP, NEDC, EPA, WLTC, CLTC, PEMS, RDE, drive cycle, electromobility, total range, real world use		