



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Jolana Heřmanová

**POROVNÁNÍ SIMULACÍ JÍZDNÍCH CYKLŮ ELEKTRO
HYBRIDNÍHO VOZIDLA**

Bakalářská práce

2017



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jolana Heřmanová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Porovnání simulací jízdních cyklů elektro hybridního vozidla**

Název tématu (anglicky): Comparison of EHV driving cycles simulations

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Vysvětlte jízdní výkony a spotřeby paliva v souvislosti s emisemi vozidel EHV.
- Popište různé typy elektro hybridních pohonů osobních vozidel ve vztahu k emisím.
- Popište a analyzujte jízdní cyklus NEFZ a WLTP ve vztahu k různým EHV.
- Za pomoci simulátoru EASSY realizujte simulaci různých typů EHV a odpovídajících vozidel s konvenčním pohonem na cyklech NEFZ, WLTP a vlastním cyklu, který bude odvozen od měření na reálných jízdách.
- Výsledky zhodnoťte vzhledem k výhledu optimalizace spotřeby a možného snižování emisí.





- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: JOHANNES, LIEBL, et al. Energiemanagement im Kraftfahrzeug. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
DIMITROV, Ivan. EAMG Fahrzeuglängsdynamik Simulations Programm Dokumentation. Technische Entwicklung EAMG/2, 2015.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.**
Ing. Tomáš Heger

Datum zadání bakalářské práce: **1. října 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **28. srpna 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků


.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty



Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Jolana Heřmanová
jméno a podpis studenta

V Praze dne 1. října 2016

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mě během mého studia a psaní bakalářské práce podporovali. Na prvním místě vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Petru Bouchnerovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Dále společnosti ŠKODA Auto a.s. oddělení EPO/5, které mi umožnilo přístup k důležitým informacím, materiálům a vhodným simulačním nástrojům. Za konzultace a za rady, které mi poskytovali, bych chtěla poděkovat druhému vedoucímu mé práce Ing. Tomáši Hegerovi a ostatním kolegům z oddělení EPO/5.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a všem blízkým za veškerou podporu, kterou mi poskytovali.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou za závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Jolana Heřmanová

V Praze dne

.....

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

POROVNÁNÍ SIMULACÍ JÍZDNÍCH CYKLŮ ELEKTRO HYBRIDNÍHO VOZIDLA

Bakalářská práce

srpen 2017

Jolana Heřmanová

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Porovnání simulací jízdních cyklů elektro hybridního vozidla“ bylo provést simulace několika elektro hybridních vozidel v jízdních cyklech NEFZ a WLTP a vlastním cyklu a porovnat výsledky s ohledem na spotřebu a emise CO₂. První část práce obsahuje teorii k problematice jízdní dynamiky a spotřeby paliva, jízdních cyklů a elektro hybridních vozidel. Druhá část práce popisuje měření vlastního cyklu a postup při simulacích elektro hybridních vozidel za účelem porovnání spotřeb v jednotlivých jízdních cyklech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jízdní odpory, simulace jízdních cyklů, NEFZ, WLTP, elektro hybridní vozidla, spotřeba paliva

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

COMPARISON OF EHV DRIVING CYCLES SIMULATIONS

Bachelor thesis

August 2017

Jolana Heřmanová

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis "Comparison of Electro Hybrid Vehicle Driving Cycles Simulations" was to simulate several electric hybrid vehicles in the NEFZ and WLTP cycles and in a new cycle and to compare the results with respect to consumption and CO₂ emissions. The second part of the thesis describes the measurement of the new cycle and the procedure for simulation of electric hybrid vehicles in order to compare the consumption in individual driving cycles.

KEYWORDS

Driving resistances, Simulation of driving cycles, NEFZ, WLTP, Electric hybrid vehicle, Fuel consumption

Obsah

Úvod	8
1 Jízdní výkony a spotřeby paliva v souvislosti s emisemi vozidel EHV	9
1.1 Podélná dynamika jízdy – pohon vozidla	9
1.1.1 Jízdní odpory vozidla	9
1.1.2 Hnací výkon.....	10
1.1.3 Parametry spalovacího motoru	11
1.1.4 Převodové ústrojí.....	12
1.1.5 Parametry elektromotoru	13
1.2 Jízdní výkony.....	13
1.2.1 Maximální rychlost.....	13
1.2.2 Stoupavost.....	14
1.2.3 Rozjezd a zrychlení	14
1.2.4 Jízdní výkony EHV.....	15
1.3 Spotřeba paliva.....	15
1.3.1 Dosažení úspor technickými prostředky.....	16
1.3.2 Dosažení úspor stylem jízdy	16
1.4 Emise škodlivin a zvláštnosti u EHV	17
2 Typy elektro hybridních pohonů osobních vozidel ve vztahu k emisím.....	19
2.1 Jízdní režimy	19
2.2 Typy EHV	20
2.2.1 MHEV	20
2.2.2 Paralelní hybrid.....	20
2.2.3 Sériový hybrid.....	22
2.2.4 Sériově-paralelní hybrid.....	23
2.2.5 Hybrid s rozdílným pohonem náprav.....	24
2.3 Úspora paliva a snížení emisí CO ₂ hybridních vozů	24
3 Jízdní cyklus NEFZ a WLTP ve vztahu k různým EHV.....	26
3.1 NEFZ.....	26

3.2	WLTP	27
3.2.1	Hlavní změny ve WLTP oproti NEFZ	27
3.2.2	Výpočet spotřeby ve WLTP	28
3.3	Cykly pro EHV	28
4	Odvození vlastního cyklu z měření na reálných jízdách a simulace konvenčního vozu a EHV	30
4.1	Odvození vlastního cyklu z měření na reálných jízdách	30
4.1.1	Město 1.....	32
4.1.2	Město 2.....	34
4.1.3	Mimo město.....	35
4.1.4	Dálnice	36
4.1.5	Souhrn.....	38
4.2	Simulace konvenčního vozu	40
4.2.1	Tvorba modelu pro simulaci.....	40
4.2.2	Porovnání výsledků simulace s reálným měřením	41
4.3	Modely EHV.....	42
4.3.1	ICEV – Konvenční vůz.....	42
4.3.2	MHEV – Mild Hybrid	43
4.3.3	FHEV – Full Hybrid	43
4.3.4	PHEV – Plug-in Hybrid	44
4.4	Simulace EHV v cyklech	45
4.4.1	Simulace EHV – NEFZ	45
4.4.2	Simulace EHV – WLTP.....	45
4.4.3	Simulace EHV – vlastní cykly.....	46
4.5	Simulace EHV – jízdní výkony	47
5	Zhodnocení vzhledem k výhledu optimalizace spotřeby a možného snížení emisí	48
5.1	Úspory na palivu dosažené stylem jízdy	48
5.2	Rozdíly v řízení toku energií ve vozidle	50
	Závěr	54

Citovaná literatura.....	55
Seznam obrázků.....	56
Seznam tabulek.....	58
Seznam příloh.....	59

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EHV	Elektro hybridní vozidlo	
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus	Nový evropský jízdní cyklus
NEDC	New European Driving Cycle	
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure	Světově harmonizovaná testovací procedura lehkých vozidel
ICCT	International Council on Clean Transportation	Mezinárodní rada pro čistou dopravu
ECE (UNECE)	Economic Commission for Europe	Evropská hospodářská komise OSN
UDC	Urban driving cycle	Městský jízdní cyklus
EUDC	Extra urban driving cycle	Mimoměstský jízdní cyklus
SMK	Setrvačnickové třídy	
CO ₂	Oxid uhličitý	
SOC	State of Charge	Stav baterie
ICEV	Konvenční vůz	
MHEV	Mild hybrid	
FHEV	Full hybrid	
PHEV	Plug-in hybrid	
REEV	Range extender	
CD mode	Charge depleting	
CS mode	Charge sustaining	
SOCinit	Počáteční stav baterie	
SOCmin	Minimální stav baterie	

Úvod

V posledních několika letech došlo k velkému rozmachu elektrických nebo elektro hybridních vozidel. Je to spojeno s pokrokem ve vývoji baterií, se snížením jejich cen, ale také s rostoucím politickým tlakem na výrobce automobilů na snižování emisí CO₂ a spotřeb. Evropská unie stanovila limity emisí CO₂ na 130 g/km do roku 2015 a 95 g/km do roku 2021 [1]. Za překročení těchto limitů jsou výrobci nuceni platit vysoké pokuty a z tohoto důvodu se snaží hledat a používat vhodná opatření pro snížení hodnot CO₂.

Účinným způsobem je například kombinace spalovacího motoru s elektromotorem, jejichž společná spolupráce umožňuje rekuperaci v generátorickém režimu včetně vhodného naladění pracovního bodu spalovacího motoru do oblasti s lepší účinností.

Tato práce se zabývá simulacemi jízdní dynamiky konvenčních a elektro hybridních vozů s důrazem na spotřebu paliva a emise CO₂. Jejím cílem je porovnání různých EHV v několika jízdních cyklech se zaměřením na jízdní výkony, spotřebu paliva a emise CO₂ za účelem identifikace oblastí pro snížení spotřeby. Toho bude dosaženo sestavením modelu vozu v simulačním programu, následným ověřením jeho správnosti reálným měřením a odvozením vlastního cyklu z měření reálných jízd. Tento model bude následně použit pro vytvoření modelů EHV a jejich porovnání. Na závěr budou vybrány části cyklů, ve kterých EHV dosáhly úspory.

První kapitola se věnuje problematice jízdní dynamiky vozidel a spolupráce spalovacího motoru s převodovým ústrojím. Jako zdroj byly použity vysokoškolské učebnice například publikace prof. Vlka. Následující kapitola se zabývá hybridními vozidly a snižováním jejich spotřeb a emisí CO₂. Třetí kapitola vychází zejména z legislativních dokumentů Evropské Unie upravujících homologace vozidel a testovací procedury jako je NEFZ a WLTP. Jako zdroj informací pro čtvrtou kapitolu zabývající se simulacemi bude sloužit manuál k simulačnímu programu.

1 Jízdní výkony a spotřeby paliva v souvislosti s emisemi vozidel EHV

1.1 Podélná dynamika jízdy – pohon vozidla

Pro výpočty jízdních výkonů a spotřeb vozidla je nejdříve nutné znát jeho jízdní odpory, výkonovou charakteristiku motoru, vlastnosti převodového ústrojí a úplnou charakteristiku motoru.

1.1.1 Jízdní odpory vozidla

Vozidlo při svém pohybu musí překonat několik jízdních odporů. Jsou to: odpor valení, odpor vzduchu, odpor stoupání a odpor zrychlení. Někdy se k odporům řadí také odpor ložisek. [2]

Odpor valení je parametrem pneumatik a vzniká jejich deformací při jízdě. Je možné jej určit ze vzorce:

$$R_R = m \cdot g \cdot f, \quad (1)$$

kde m je hmotnost vozidla, g je gravitační zrychlení a f je součinitel odporu valení. Tento součinitel je v nízkých rychlostech možné považovat za konstantní, ale ve vyšších rychlostech je jeho závislost na rychlosti již významná. Jeho velikost je také různá pro různé druhy povrchů vozovky. Dosahuje malých hodnot pro asfalt a vysokých například pro půdu, nebo sněh. Součinitel valivého odporu je také závislý na nahuštění pneumatik.

Další odpory působící na vozidlo, které jsou při výpočtech zanedbávány, jsou odpor sbíhavosti předních kol, odpor nerovnosti vozovky a odpor při zatáčení vozidla.

Jedním z nejvýznamnějších jízdních odporů je **odpor vzduchu**. Vzniká pohybem vozidla okolním prostředím – vzduchem a ve vysokých rychlostech má na jízdních odporech největší podíl. Je způsoben obtékáním vzduchem okolo karoserie ale i prostorem kolem kol, mezi vozovkou a spodní částí vozidla a motorovým prostorem.

Výpočtem lze určit ze vztahu:

$$R_{AERO} = \frac{1}{2} A \cdot c_w \cdot \rho \cdot v^2, \quad (2)$$

kde A je čelní plocha vozidla, c_w je součinitel odporu vzduchu, ρ je hustota vzduchu a v je náporová rychlost skládající se z rychlosti vozidla a rychlosti větru. Součinitel odporu vzduchu se určuje experimentálně v aerodynamických tunelech a je závislý na tvaru karoserie. U osobních automobilů je hodnota c_w běžně v rozmezí 0,3 – 0,4.

Odpor stoupání působí při jízdě do svahu a je tvořen složkou tíhy vozidla rovnoběžnou s povrchem vozovky. Jeho hodnota se určí ze vzorce:

$$R_G = G \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

kde G je tíhová síla působící na vozidlo a α je úhel stoupání. Při jízdě ze svahu je odpor záporný.

Poslední z odporů je **odpor zrychlení**. Je tvořen odporem od zrychlení posuvných a rotačních částí vozidla. Odpor zrychlení lze vypočítat ze vztahu:

$$R_A = \left(m + \frac{\sum J}{r^2}\right) \cdot a, \quad (4)$$

kde m je hmotnost vozidla, a je zrychlení, J je moment setrvačnosti rotujících částí a r je poloměr rotujících částí.

Celkový jízdní odpor je součet jednotlivých odporů:

$$R = R_R + R_{AERO} + R_G + R_A \quad (5)$$

Mezi jízdní odpory lze také zahrnout vnitřní tření a v takovém případě by celkový jízdní odpor měl velikost:

$$R_C = \frac{R_R + R_{AERO} + R_G + R_A}{\eta}, \quad (6)$$

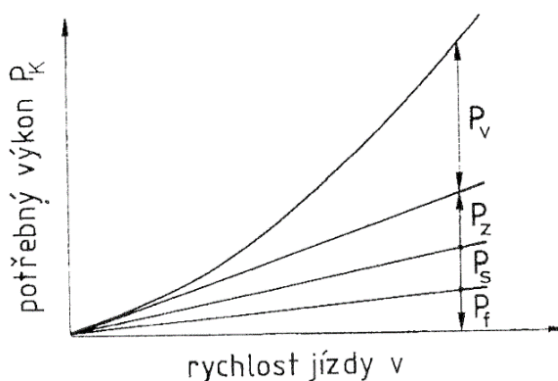
kde η je účinnosti převodových mechanismů (spojka, převodovka, hřídele, diferenciál a ložiska kol). Nejčastěji se pohybuje mezi hodnotami 0,8-0,98. [3]

1.1.2 Hnací výkon

Hnací výkon, který musí být dodán na kola, má velikost:

$$P_K = F_K \cdot v = \frac{M_K}{r_d} \cdot v, \quad (7)$$

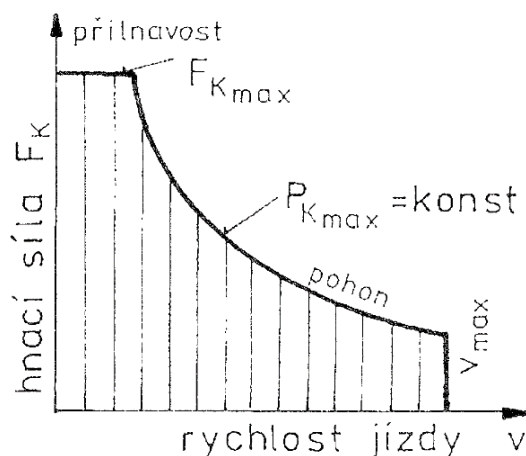
kde F_K je hnací síla pro překonání jízdních odporů a je rovna R , M_K je potřebný moment na kolech a r_d je dynamický poloměr kola.



Obrázek 1: Hnací výkon potřebný na překonání jízdních odporů [4]

Výkon potřebný k překonání jízdních odporů (Obrázek 1) se skládá ze složek lineárně závislých na rychlosti vozidla, tj. odpor valení, stoupání a zrychlení. Složka potřebná k překonání odporu vzduchu roste se třetí mocninou rychlosti. [2]

Pro popis motoru a jeho spolupráce s převodovým ústrojím se používá ideální charakteristika hnacího motoru (Obrázek 2). Vychází z toho, že výkon by měl být konstantní pro celý rozsah otáček a pro ten případ má moment hyperbolickou závislost na otáčkách. V oblasti nízkých otáček by pro konstantní výkon moment musel být nekonečný, a proto je nahrazen konstantním momentem a výkon tedy roste lineárně. Výše maximálního momentu je omezena mezí přilnavosti. [2]

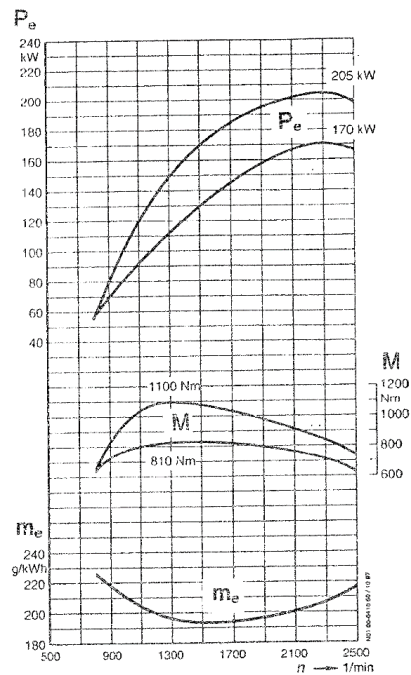


Obrázek 2: Ideální rychlostní charakteristika pohonu vozidla omezená přilnavostí [4]

Pokud známe hnací výkon, je nutné ho upravit na hodnotu, kterou bude vozidlo schopno převést na vozovku. K této úpravě slouží součinitel adheze ležící v intervalu od 0 do 1 dle povrchu a stavu vozovky. Největší součinitel adheze (0,9-1,0) má suchý beton a asfalt a nejnižší najdeme na mokré trávě, náledí, v hlubokém písku, nebo sněhu (0,1-0,2). Na kola by měl být přiveden právě takový moment, aby nedošlo k prokluzu. [2]

1.1.3 Parametry spalovacího motoru

Pro výpočty parametrů vozidla je potřeba znát parametry použitého motoru. Nejdůležitější z nich jsou: otáčky klikového hřídele, točivý moment, měrná spotřeba paliva a výkon. Tyto údaje se zjišťují měřením na motorových brzdách a výstupem je závislost točivého momentu na otáčkách – tj. vnější charakteristika motoru (Obrázek 3), z níž je možné dopočítat maximální výkon. [3]



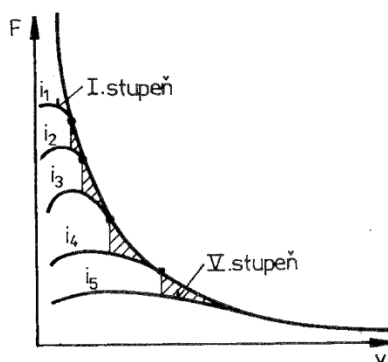
Obrázek 3: Otáčková charakteristika spalovacího motoru [5]

Body, v nichž dosahují točivý moment a výkon motoru maxima, se používají pro popis vlastností motoru. [2]

1.1.4 Převodové ústrojí

Převodové ústrojí slouží k tomu, aby bylo možné převést otáčky motoru na kola a aby se překonala otáčková mezera spalovacího motoru. Na rozjezdy z nulové rychlosti se proto používá spojka a její skluz – jako měnič otáček. K vyrovnání otáček motoru a otáček hřídele převodového ústrojí dojde pomocí postupného sepnutí spojky. [2]

Druhá část převodového ústrojí je převodovka s rozvodovkou fungující jako měnič momentů. Nejčastěji se používá stupňová se stálým převodovým poměrem. Jinou možností je momentový měnič s plynulým převodovým poměrem, například hydrodynamický měnič, který dokáže také překonávat otáčkovou mezera a fungovat jako rozjezdová spojka. [2]

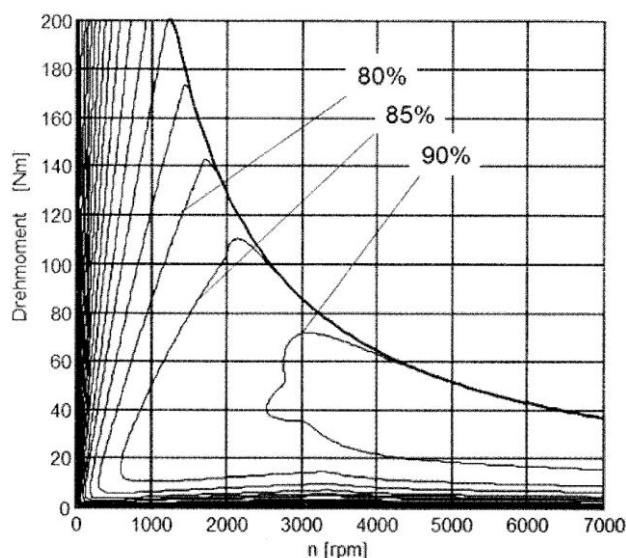


Obrázek 4: Diagram F-v pro pětistupňovou převodovku [4]

Převodové stupně umožňují lepší využití výkonu motoru tak, že se využitelný výkon díky převodům přiblíží ideální charakteristice (Obrázek 4). Také tvar maximálního momentu ovlivňuje využití výkonu motoru. Více vypouklá křivka maximálního momentu (tj. převýšení maximálního krouticího momentu nad momentem při maximálních otáčkách) vede k menšímu odchýlení od hyperboly maximálního výkonu. [2]

1.1.5 Parametry elektromotoru

U elektromotorů se sledují podobné parametry a to točivý moment, výkon, otáčky motoru a jeho účinnost. Podobně jako u spalovacího motoru lze tyto údaje vynést do mapy (Obrázek 5).



Obrázek 5: Mapa účinností elektromotoru [6]

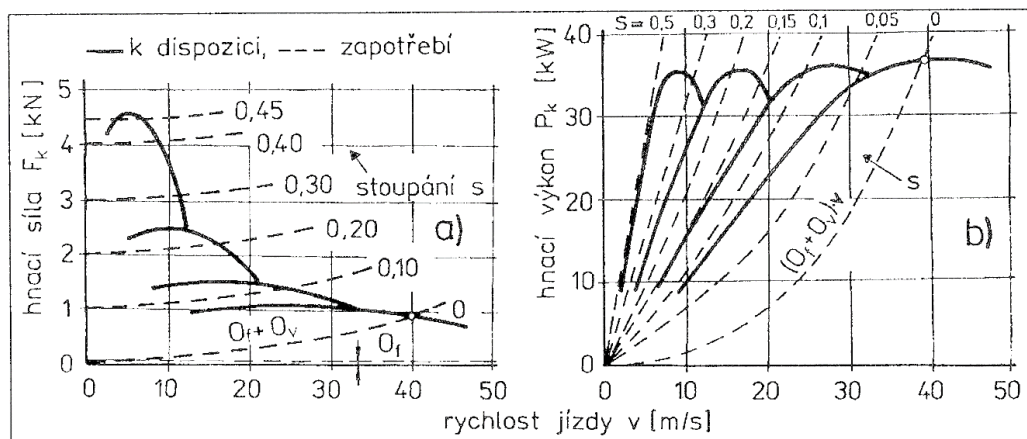
Elektromotory se nejčastěji vyznačují v nízkých otáčkách konstantním momentem a ve vyšších konstantním výkonem (podobně jako v ideální charakteristice hnacího motoru). Na rozdíl od spalovacích motorů mají tu výhodu, že dokáží pracovat již v nízkých otáčkách. Dokáží též pracovat i v generátorickém režimu, kdy část energie, která by se jinak při brždění přeměnila v teplo, se transformuje na energii elektrickou.

1.2 Jízdní výkony

Mezi běžně zjišťované výkonové parametry vozidel patří: maximální rychlost, stoupavost a zrychlení.

1.2.1 Maximální rychlost

Pokud známe maximální hnací sílu vozidla a celkové jízdní odpory, vnesením výkonu při zařazeném rychlostním stupni a výkonu potřebného k překonání jízdních odporů zjistíme maximální rychlost vozidla, při níž se výkony rovnají (Obrázek 6).



Obrázek 6: Hnací charakteristika vozidla [4]

1.2.2 Stoupavost

Určuje se pro konstantní rychlost a pro každý převodový stupeň. Pro první převodový stupeň (největší převod) je stoupavost maximální. Největší převod také můžeme zvolit podle požadované stoupavosti.

Vzorec pro výpočet je:

$$s_{max} = \frac{M_{m \max} \cdot i_{cmax} \cdot \eta}{G \cdot r_d} - f, \quad (8)$$

kde $M_{m \max}$ je maximální moment, i_{cmax} je maximální převodový poměr, η je účinnost převodu, G je tíhová síla, r_d je dynamický poloměr kola a f je součinitel odporu valení. [2]

Odvození maximální stoupavost je také možné z grafu (Obrázek 6) vykreslením křivek výkonu pro každý převodový stupeň a porovnáním s potřebným výkonem pro různé stoupání. [2]

1.2.3 Rozjezd a zrychlení

Běžně sledované je maximální zrychlení ve tvaru času, po který vozidlo maximálně zrychluje, než dosáhne dané rychlosti. Nejčastěji je to dosáhnutí rychlosti 100 km/h, ale sleduje se i zrychlení na 60 km/h a 80 km/h. Další hodnoty zrychlení, které se často udávají, jsou tzv. elasticity tj. zrychlení z 80 na 120 km/h na posledním a předposledním převodovém stupni.

Zrychlení lze vypočítat několika způsoby, jedním z nich je řešení diferenciálních rovnic, jiný častější způsob je výpočet pomocí graficko-analytické metody. Řešený úsek se rozdělí na několik částí, ve kterých má vozidlo dané střední zrychlení, sestrojí se rychlostní charakteristika v závislosti na čase a ze středních rychlostí v jednotlivých úsecích se dopočítá dráha. Reálná charakteristika není plynulá, neboť je přerušovaná řazením. Dalším v tomto výpočtu zanedbaným vlivem je vliv součinitele rotačních částí. [2]

1.2.4 Jízdní výkony EHV

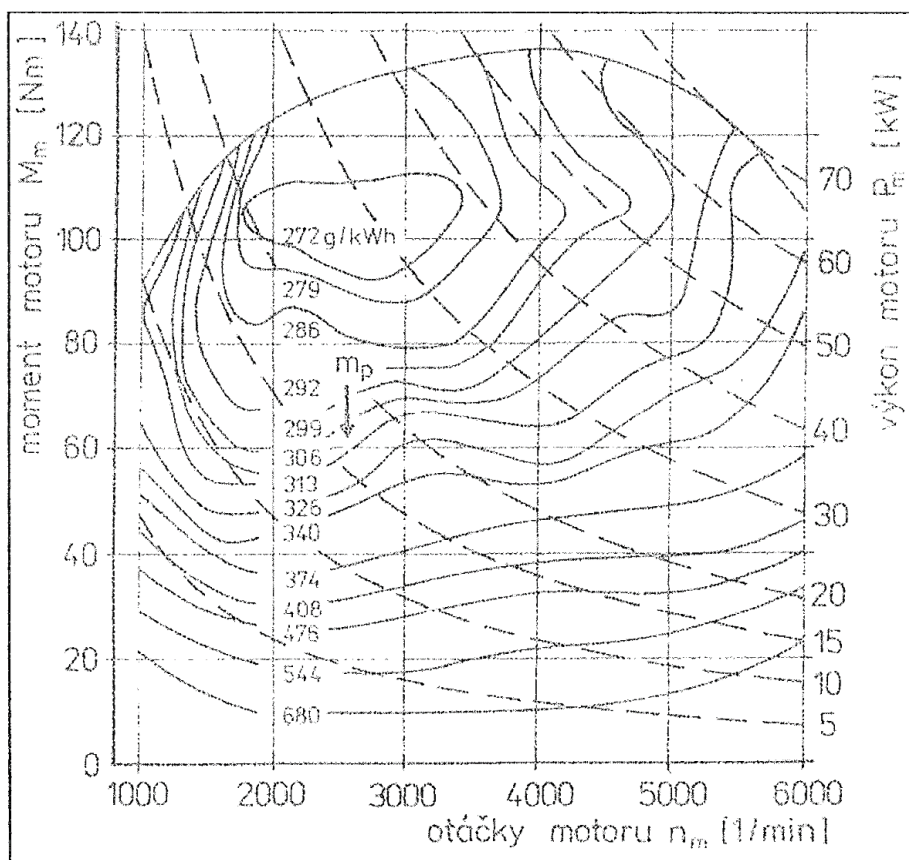
Jízdní výkony se u hybridních vozidel udávají stejně jako u konvenčních vozidel, s tím rozdílem, že jsou rozlišeny různé jízdní režimy EHV:

- Jízda pouze s elektromotorem
- Jízda pouze se spalovacím motorem
- Jízda v kombinaci se spalovacím motorem – boost

Čistě elektrická jízda využívá výhodné momentové charakteristiky elektromobilu. Elektromotor je možné používat již od nulových otáček a dokonce v této oblasti mívá maximální moment, zatímco moment spalovacího motoru roste až od volnoběžných otáček a maximálních hodnot dosahuje až například kolem 1500 nebo 3000 otáček/min.

1.3 Spotřeba paliva

Dalším důležitým údajem o spalovacím motoru je spotřeba paliva, běžně udávaná v litrech na 100 km jízdy. Pro výpočty se používají hodnoty měrné spotřeby (nejčastěji v g/kWh) zakreslené do tzv. úplné charakteristiky motoru pro dané zatížení a otáčky (Obrázek 7). Stejně jako vnější charakteristika se úplná charakteristika měří na motorových brzdách.



Obrázek 7: Úplná charakteristika spalovacího motoru [4]

Na spotřebu během jízdy má velký vliv zařazený rychlostní stupeň. Čím vyšší stupeň tím je spotřeba nižší. Možnosti úspory paliva a zvýšení účinnosti

1.3.1 Dosažení úspor technickými prostředky

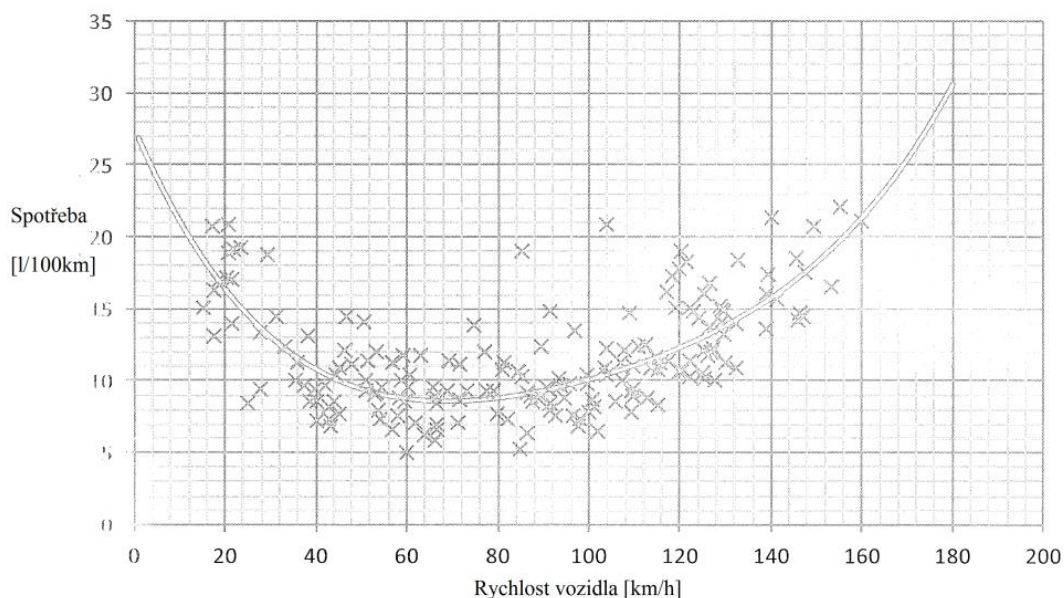
Vývoj motorů se za účelem zvýšení účinnosti nebo snižování nákladů zaměřuje především na tyto oblasti: tření, úprava zatížení, teplotní management, vypínání válců, zapalování, snižování vibrací, spolupráce s elektromotorem, spalovací proces, kompresní poměr, velikost motoru, paliva, rozvody vedlejších agregátů motoru, optimalizace nákladů, využití modulů, hmotnost a míchání směsi. [6]

Podobné oblasti se zaměřuje také vývoj převodovek. Ke zvýšení účinnosti přispívá: elektrifikace, velikost, hmotnost, mazání, teplotní management, tření, počet převodů a další. [6]

Další energii je možné ušetřit pomocí elektrifikace.

1.3.2 Dosažení úspor stylem jízdy

Významné úspory paliva při jízdě lze dosáhnout vhodným stylem jízdy. Základním pravidlem ekonomické jízdy je jízda se zařazeným nejvyšším možným rychlostním stupněm, který bývá konstruován za účelem jízdy s nižší spotřebou a zároveň udržování otáček motoru v určitém optimálním rozmezí. Při jízdě ve vysoké rychlosti obecně platí, že čím vyšší rychlost, tím vyšší spotřeba (Obrázek 8). [6]



Obrázek 8: Závislost spotřeby paliva na rychlosti vozidla [6]

Mezi dalšími možnostmi pro snížení spotřeby jsou: vyhnout se brždění, plynule zrychlovat, zbytečně nejezdit se střešním nosičem, mít správně nahuštěné pneumatiky a nemít zbytečně zapnutou klimatizaci a ostatní zařízení. [6]

Úspory paliva při jízdě je možné dosáhnout také využitím rekuperace, tj. využitím kinetické energie jedoucího vozu. Rekuperace brzděné energie jsou schopna elektrifikovaná vozidla, která přemění energii jinak mařenou bržděním na elektrickou. Množství takto získané energie závisí na parametrech elektromotoru a baterie. Další energie, která by mohla být využita, je v chladicím systému a ve výfukových plynech. [6]

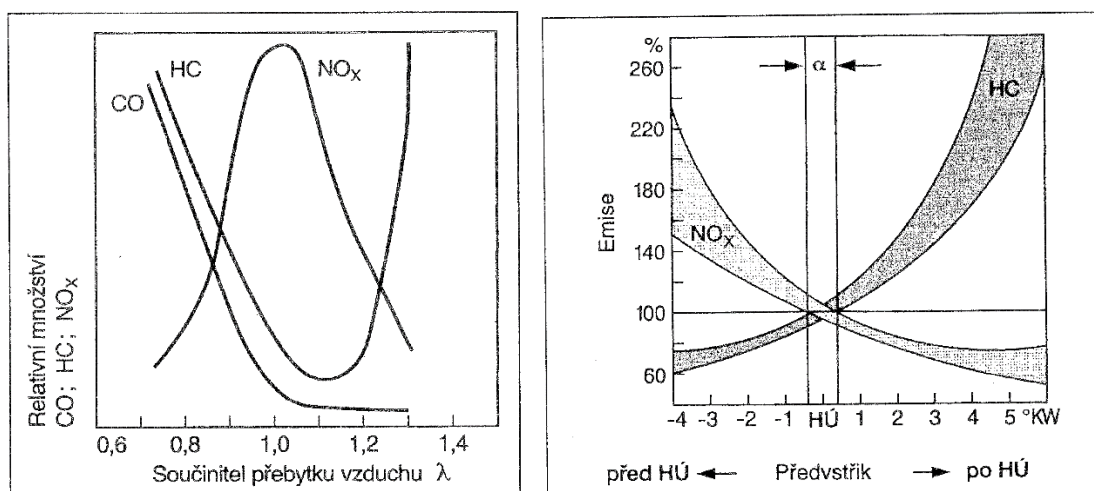
Konvenční vozy při předvídatelném stylu jízdy mohou využít přirozené rekuperace. K jejímu využití je nutné přerušit přenos hnací síly od motoru na kola vyřazením na neutrální. Vozidlo pak dokáže určitou vzdálenost ujet s volnoběžnou spotřebou, aniž by na vozidlo působily ztráty ze tření v motoru. Tento způsob přeměny kinetické energie je nejefektivnější způsob rekuperace. Využitou energii již není možné rekuperovat jinými technickými prostředky.

Optimální spotřeby může být např. dosaženo při pomalé akceleraci s vysokým zatížením v rozsahu optimálních otáček motoru. [6]

1.4 Emise škodlivin a zvláštnosti u EHV

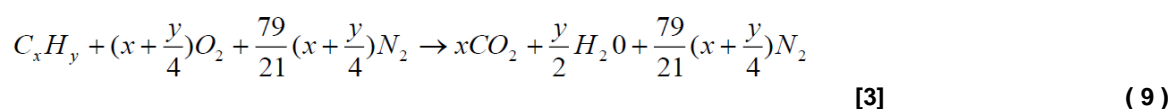
Běh spalovacího motoru má mnoho nežádoucích vlivů na své okolí. Při spalovacím procesu jako chemické reakci dochází k přeměně výchozích látek na energii a výstupní látky. Mezi těmito látkami najdeme produkt dokonalého hoření tj. oxid uhličitý, ale i mnoho produktů nedokonalého hoření. To jsou například oxid uhelnatý, oxidy dusíku, uhlovodíky a pevné částice, jejichž limity jsou upraveny legislativou. Mezi další nežádoucí emise patří hluk, vibrace a elektromagnetické záření. [3]

Množství nežádoucích exhalací ve výfukových plynech je nutné určit měřením. Hodnoty je také možné vypočítat v některých simulačních programech, ale jako podklad slouží naměřené emisní mapy. Další možností je odhad ze známých závislostí, tj. ze závislosti na součiniteli přebytku vzduchu nebo na okamžiku vstřiku paliva (Obrázek 9) a dalších údajů zaznamenaných řídicí jednotkou.



Obrázek 9: Vliv součinitele přebytku vzduchu a okamžiku vstřiku na množství exhalací [4]

Množství CO₂ ve výfukových plynech je možné snížit pouze nižší spotřebou paliva a lze vypočítat dle vztahu (9).



Vývoj limitů exhalací ve výfukových plynech pro vozidla s vznětovým motorem je vidět z následující tabulky (Tabulka 1) :

Tabulka 1: Vývoj limitů exhalací [3]

Rok	Norma EURO	CO [g/km]	NO _x [g/km]	HC + NO _x [g/km]	PM [g/km]
1992	I	3,16	-	1,13	0,18
1996	II	1,00	-	0,70	0,08
2000	III	0,64	0,50	0,56	0,05
2005	IV	0,50	0,25	0,30	0,025
2009	V	0,50	0,18	0,23	0,005
2014	VI	0,50	0,08	0,17	0,005

Hybridní vozidla dokáží hodnoty lokálních exhalací snížit díky částečné jízdě v motorickém režimu bez zapnutého spalovacího motoru. Daný přínos závisí na elektrickém dojezdu, tedy kapacitě baterie.

2 Typy elektro hybridních pohonů osobních vozidel ve vztahu k emisím

V evropské legislativě v předpisu EHK 101 je hybridní pohod definován následovně:

„Hybridním hnacím ústrojím hnací ústrojí s nejméně dvěma různými měniči energie a dvěma různými systémy zásobníků energie (na vozidle) k pohonu vozidla.“

„Hybridním hnacím elektrickým ústrojím hnací ústrojí, které pro mechanický pohon odebírá energii z následujících dvou zdrojů uskladněné energie/výkonu umístěných na vozidle: použitelné palivo, zásobník elektrické energie/výkonu (např. baterie, kondenzátor, setrvačnickový generátor...).“ [7]

V tomto dokumentu (EHK 101) jsou dále definovány termíny jako: hybridní vozidlo, hybridní elektrické vozidlo, elektrický dojezd a čistě elektrické vozidlo.

Obecně jsou hybridní vozidla taková vozidla, která ke svému pohonu využívají dva nebo více systémů přeměny energie a jsou vybaveny několika zásobníky.

Elektro hybridní vozidla (EHV) se obvykle skládají především z těchto částí:

- Spalovací motor
- Převodovka
- Vedlejší agregáty
- Elektromotor
- Zásobník energie
- Výkonová elektronika [6]

Pro pohon elektrických vozidel se používají synchronní nebo asynchronní elektromotory. Z asynchronních se dnes používá motor s klecí nakrátko. Ze synchronních se do vozidel nejčastěji používají: motor s permanentními magnety, reluktanční motor nebo motor s cizím buzením. [6]

Platí, že čím vyšší napětí, tím menší ztráty.

2.1 Jízdní režimy

Hybridní vozidla se pohybují v těchto režimech: [6]

- Elektrická jízda – motorický režim
- Jízda se spalovacím motorem – dobíjení
- Jízda v kombinaci se spalovacím motorem
- Boost
- Rekuperace = regenerativní brzdění

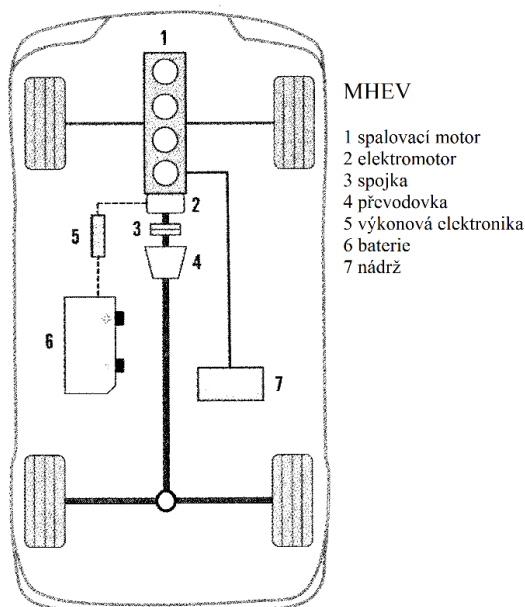
- Plachtění
- Funkce start stop
- Dobíjení baterie spalovacím motorem

2.2 Typy EHV

Hybridní vozidla se dělí například podle míry hybridizace, nebo podle způsobu zapojení. Podle míry hybridizace lze rozlišit: Mikrohybrid, Mildhybrid (MHEV), Fullhybrid (FHEV) a Plug-in-Hybrid (PHEV). Přičemž Mikrohybrid je vlastně konvenční vůz vybavený funkcí Start stop, a jako první krok směrem k hybridům dokáže rozlišit, ve kterých chvílích by měl více dobíjet baterii – více zatížit motor (stání, decelerace...), a kdy je všechn výkon motoru potřebný k pohonu vozidla například při požadavku na zrychlení. [8]

2.2.1 MHEV

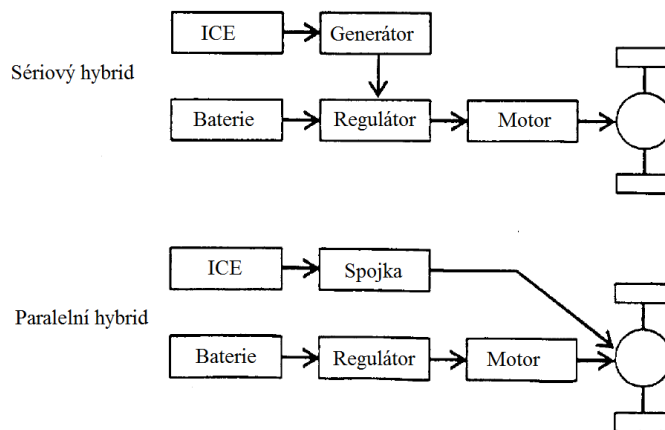
MHEV je zkratka pro Mild Hybrid (Obrázek 10). Většinou je vybaven malým elektromotorem a pracuje pod nízkým napětím (např. 48V). Bývá vybaven funkcí Start stop, dokáže rekuperovat brzdovou energii a ve velmi omezené míře asistovat spalovacímu motoru při vyšším požadavku na zrychlení. MHEV je podobný paralelnímu hybridu, ale elektromotor většinou nemá dostatečný výkon a baterie nemá dostatečnou kapacitu pro samostatný pohon. Hlavní rozdíl je v pořadí zapojení elektromotoru a spojky. [8]



Obrázek 10: MHEV [8]

2.2.2 Paralelní hybrid

Základním rozdělením podle způsobu zapojení elektromotoru ke spalovacímu motoru je dělení na paralelní a sériové (Obrázek 11).



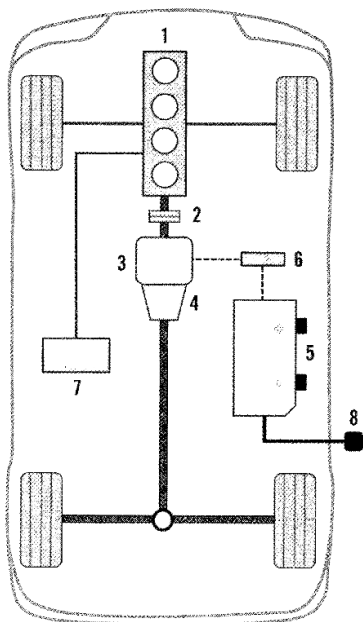
Obrázek 11: Rozdíly mezi paralelním a sériovým hybridem [9]

V paralelním zapojení může být vozidlo poháněno zvlášť spalovacím motorem nebo zvlášť elektromotorem. Při vyšší požadavku na výkon může elektromotor svým výkonem podpořit spalovací motor při požadavku na vyšší zrychlení, nebo při jízdě ve stoupání. Na rozdíl od sériového zapojení stačí jeden elektromotor, který pracuje podle potřeby v motorickém nebo generátorickém režimu. Mezi elektromotorem a spalovacím motorem je spojka, aby bylo možné kdykoli, kterýkoli motor odpojit. Paralelní hybrid je náročnější na řízení než sériový hybrid. [9]

Paralelní hybrid (Obrázek 12) může mít zástrčku k nabíjení ze sítě, ale nemusí. To je hlavní rozdíl mezi vozy zastoupenými v této práci – FHEV (Full hybrid) a PHEV (Plug-in hybrid).

Paralelní hybrid

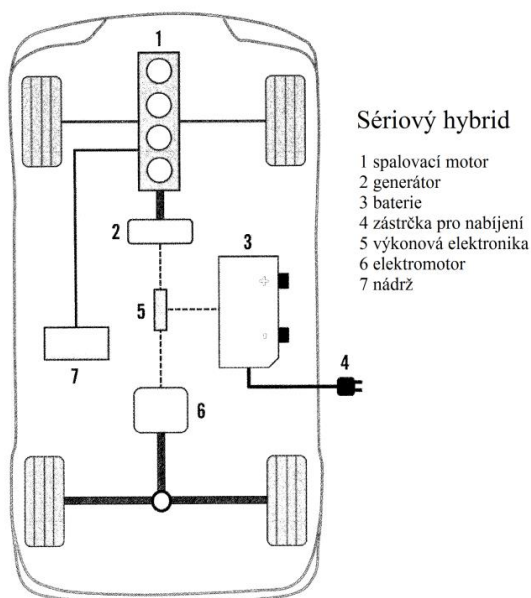
- 1 spalovací motor
- 2 spojka
- 3 elektromotor
- 4 převodovka
- 5 baterie
- 6 výkonová elektronika
- 7 nádrž
- 8 zástrčka pro nabíjení



Obrázek 12: Paralelní hybrid [8]

2.2.3 Sériový hybrid

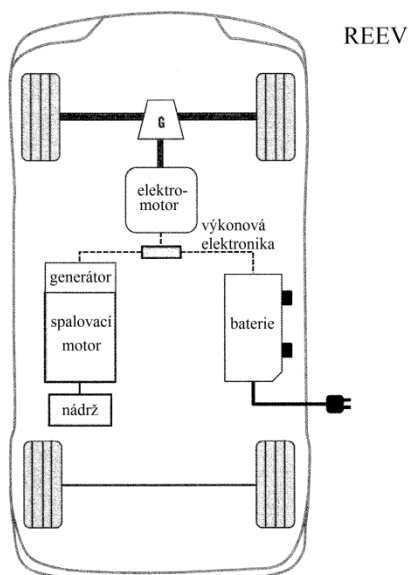
V sériovém hybridu (Obrázek 13) jsou kola spojena přímo s elektromotorem tak, že i výkon ze spalovacího motoru je nejdříve přeměněn na elektrickou energii a následně použit k pohonu, nebo pokud zrovna není potřeba, je přebytečný výkon uložen do baterie.



Obrázek 13: Sériový hybrid [8]

Nevýhodou tohoto zapojení je kombinace dvou elektromotorů, výkonové elektroniky a náročnosti řízení.

Vůz při jízdě využívá výkonu elektromotoru, přitom spotřebovává výkon podávaný spalovacím motorem a všechny výkyvy vykrývá spotřebou energie z baterie, nebo jejím dobitím. Spalovací motor se proto může pohybovat po většinu času v oblasti svého optima a v okamžiku, kdy je baterie nabitá na maximum SOC, je vypnut. Toto je princip systému REEV (Range extender - Obrázek 14). [9]

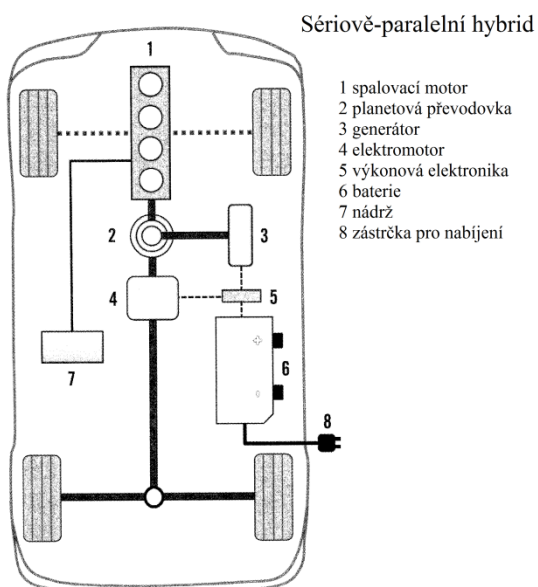


Obrázek 14: REEV [8]

Sériový hybrid není v této práci zastoupen.

2.2.4 Sériově-paralelní hybrid

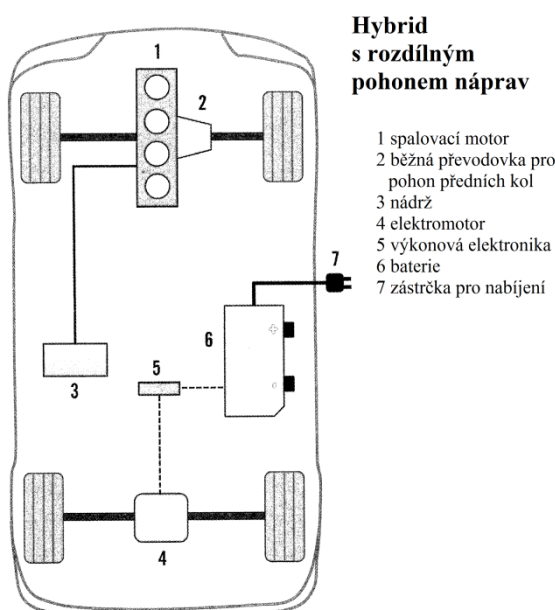
Toto zapojení (Obrázek 15) spojuje výhody sériového i paralelního zapojení. Důležitou součástí je rozdělovač výkonu, který výkon spalovacího motoru rozděljuje na generátor k dobíjení baterie, nebo do elektromotoru (motoru) pro pohon.



Obrázek 15: Sériově-paralelní hybrid [8]

2.2.5 Hybrid s rozdílným pohonem náprav

Trochu jiným způsobem elektrifikace je připojení elektromotoru k zadní, původně nepoháněné nápravě (Obrázek 16). Z vozu s konvenčním pohonem s poháněnou přední nápravou se tak může v případě požadavku stát vůz s pohonem na všech čtyřech kolech. V závislosti na výkonu elektromotoru a kapacitě baterie, může takový vůz jezdit na čistě elektrický pohon, ve spolupráci se spalovacím motorem, boostovat a nebo rekuperovat brzdovou energii. Zároveň dosahuje lepších parametrů při jízdě ve stoupání než vůz s pohonem pouze na předních kolech. Vozidlo může, ale nemusí být vybaveno přípojkou do elektrické sítě, nebo mít zakomponované dobíjení spalovacím motorem.



Obrázek 16: Hybrid s rozdílným pohonem náprav [8]

2.3 Úspora paliva a snížení emisí CO₂ hybridních vozů

Hybridní vozidla dosahují úspor ve spotřebě paliva především častým vypínáním spalovacího motoru. Již nejméně elektrifikované vozy jsou vybaveny funkcí Start stop pro vypnutí motoru při zastavení a opětovným startem pro rozjezd a například funkcí fuel cut off – pro přerušení dodávky paliva při zpomalení. Vozidla vybavena silnějším elektromotorem, jsou schopna ujet určitou vzdálenost na čistě elektrický pohon bez zapnutí spalovacího motoru. Vozidla s výkonným elektromotorem a baterií jsou schopna ujet i delší vzdálenosti a při použití dobíjení ze sítě tak zapínají spalovací motor, jen při vybití baterie. To je případ vozů PHEV a REEV. V optimálním případě nespotřebují žádné palivo a lokální emise CO₂ a jiných spalin jsou nulové.

Další výhodou je možnost rekuperace brzděné energie, která je jinak přeměněna na teplo ve třecích brzdách. Je to umožněno schopností elektromotoru pracovat v motorickém i generátorickém režimu.

Vliv na celkovou úsporu paliva má také posunutí pracovního bodu do oblastí s větší účinností. Spalovací motor se více zatíží a přebytečná energie se uloží do baterie a následně využije elektromotorem, který má vyšší účinnost.

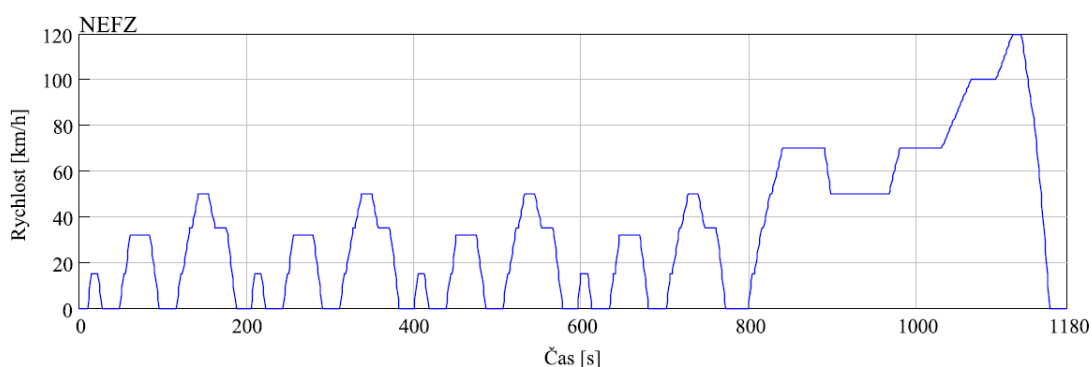
3 Jízdní cyklus NEFZ a WLTP ve vztahu k různým EHV

První regulace emisí se spolu s prvním jízdním cyklem objevil v Evropě v šedesátých a sedmdesátých letech. V této době se sledovaly především znečišťující látky. Základ cyklu – městská část s maximální rychlostí 50 km/h se začala používat v sedmdesátých letech minulého století a v roce 1990 byla do jízdního cyklu přidána mimoměstská část s maximální rychlostí 120 km/h. Tento cyklus byl nazván Nový evropský jízdní cyklus, v jiných jazycích Neuer Europäischer Fahrzyklus – NEFZ nebo častěji New European Driving Cycle NEDC.

3.1 NEFZ

Jízdní cyklus se používá v průběhu schvalování vozidel k měření emisí a spotřeby paliva u osobních vozů. Skládá se ze dvou částí – městská část (ECE cyklus nebo UDC) a mimoměstská část (EUDC).

Cyklus (Obrázek 17) je tvořen pouze úseky s konstantním zrychlením, konstantní rychlostí a konstantním zpomalením. V první části je dosažena maximální rychlost 50 km/h, v druhé v krátkém úseku 120 km/h. Cyklus trvá 1180 vteřin a je dlouhý přibližně 11,013 km. Pro vozy s manuální převodovkou jsou také pevně dány řadící body. Pro mimoměstskou část je pevně určen pátý rychlostní stupeň a vyšší může být zařazen jen na krátký okamžik na konci cyklu. Toto omezení znevýhodňuje vozy s víceúrovňovými převodovkami.



Obrázek 17: Rychlostní profil NEFZ

Z dané modelové řady pro testování v NEFZ stačí použít pouze vozidlo s nejnižší hmotností, tj. bez nadstandardní výbavy. K této hmotnosti se přičítá hmotnost řidiče (75 kg) a zavazadla (25 kg). [10]

Pro výpočty se používá několik různých hmotností vozu. Vozidlo je zařazeno do určité setrvačnickové třídy (SMK), pro určení jízdních odporů se používá minimální pohotovostní hmotnost zvýšená o 100 kg, pro jízdní výkony se zvyšuje o 100 kg a pro výpočet spotřeby o 200 kg.

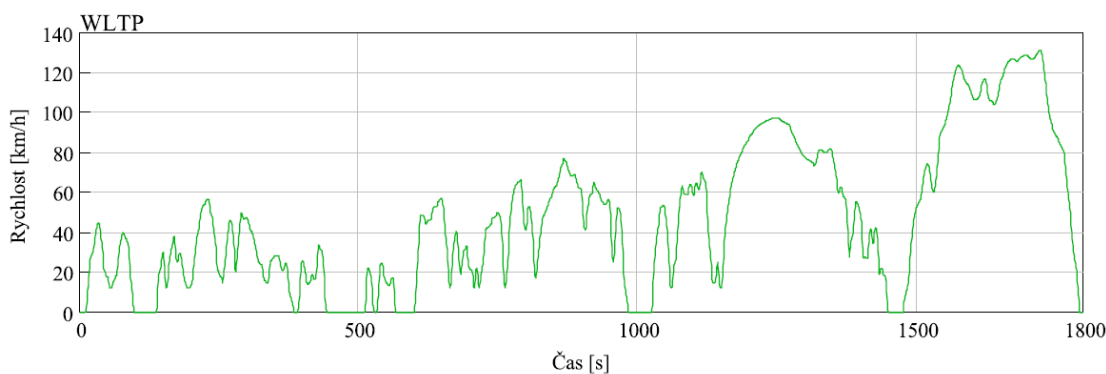
NEDC je kritizován za to, že málo odpovídá realitě. Je to způsobeno také tím, že NEDC povoluje rozdíly od rychlostního profilu až 2 km/h a rozdíl 1 vteřiny a tím, že další podmínky testu nejsou dostatečně přesně určeny a umožňují poměrně volný výklad.

3.2 WLTP

O nové testovací proceduře se začalo mluvit v souvislosti s prohlubujícím rozdílem mezi výrobcí udávanými spotřebami a spotřebami z reálného provozu. Například v roce 2001 byl podle ICCT¹ rozdíl mezi hodnotou z laboratorního měření a reálnou spotřebou v provozu kolem 7%, v roce 2013 byl tento rozdíl již 30%. [10]

Význam těchto testů vzrostl také se závazkem EU k regulaci emisí CO₂ a k zavedení poplatků za překročení limitu emisí CO₂. [10]

Hlavním cílem při tvorbě nového testovacího cyklu WLTP² (Obrázek 18) bylo, aby odpovídal reálným podmínkám při běžné jízdě. Dalším cílem bylo sjednotit testovací procedury po celém světě a snížit tak náklady výrobců. Na začátku jednání na půdě UNECE³, které začalo v roce 2006, byly zastoupeny všechny světové regiony. Severní Amerika byla zastoupena poměrně málo a v roce 2010 USA od jednání odstoupily. V Evropské Unii začíná WLTP platit od září 2017. S různými úpravami se počítá s implementací také v Japonsku, Indii, Jižní Koreji a pravděpodobně i v Číně. [10]



Obrázek 18: Rychlostní profil WLTP

3.2.1 Hlavní změny ve WLTP oproti NEFZ

WLTP má jiný rychlostní profil a řazení je na rozdíl od pevně daného řazení v NEFZ přesně vypočteno pro konkrétní vozidlo. Některé parametry jsou podobné jako v NEFZ ale ve WLTP jsou konkrétněji popsány. Například: velikost a typ, vzorek a přesně daný tlak pneumatik, zakázané předeřívání pneumatik, geometrie kol, použití pohyblivých částí pro zlepšení

¹ International Council on Clean Transportation

² Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure

³ United Nations Economic Commission for Europe

aerodynamiky vozidla, okolní teplota při testu, výpočet hmotnosti a určení momentu setrvačnosti. WLTP již neumožňuje pohybovat se v některých tolerančních polích, které umožňoval NEFZ (odchylka od požadované rychlosti 2km/h, teploty, tolerance měřících přístrojů atd. Parametry, které mají na rozdílný výsledek v cyklech největší vliv, jsou: větší délka cyklu a jiný způsob řazení u manuálních převodovek, vyšší hmotnost a nižší teplota motoru při startu. WLTP obsahuje části s vyšší maximální rychlostí a s vyšším zrychlením než NEFZ a proto je také vyšší i průměrné zatížení. Liší se také průměrné otáčky motoru, které jsou způsobeny řazením v nižších otáčkách. [10]

Při porovnání výsledků ve WLTP s výsledky v NEFZ jsou na tom vozy bez start stopu o něco lépe (WLTP obsahuje méně úseků stání). Lepších hodnot dosahují také vozy s manuální převodovkou (jiný způsob určení řadicích bodů). Naopak horších výsledků by měly dosahovat například hybridní vozy. [10]

Princip výpočtu hodnot CO_2 z potřebné energie pro projetí cyklu pomocí regresní křivky je podobný pro NEFZ i WLTP.

Ve WLTP má studený start na výslednou spotřebu menší vliv než v cyklu NEFZ. Je to způsobeno tím, že cyklus WLTP je delší. NEFZ se měřil s počáteční teplotou mezi 20°C a 30°C. Pro WLTP je teplota 23°C., ale v EU se uvažuje o snížení na 14°C, které více odpovídá průměrným evropským teplotám. WLTP také umožňuje použití „zásobníků“ tepla a jiných izolací, které zpomalí vychládání motoru a v provozu umožní, že při následující jízdě se vůz ohřeje rychleji a bude mít nižší emise CO_2 . Těmto vozům může být dovoleno absolvovat test při vyšší teplotě. Cíl EU pro rok 2020 (95g/km – pro NEFZ) je nutné přepočítat na hodnotu ve WLTP (100 g/km, nebo 102 g/km při snížení teploty na 14°C). [10]

3.2.2 Výpočet spotřeby ve WLTP

WLTP při určení emisí CO_2 pracuje se dvěma vozy. První z vozů je nejlepší případ, s nejnižší hmotností a nejnižšími jízdními odpory a druhé vozidlo je nejhorší případ – nejvyšší hmotnost (plná výbava) a nejvyšší jízdní odpory. Oba tyto vozy jsou změřeny podle WLTP a z nich je vytvořena regresní křivka, podle které se určí všechny ostatní vozy z modelové řady. K samotné hmotnosti vozu se přičítá 100 kg a 15% maximálního naložení. [10]

3.3 Cykly pro EHV

PHEV – dva módy – CS a CD – Pokud je nabitá baterie a není požadavek na větší zrychlení nebo vyšší rychlost pak dokáže jet pouze na elektrickou energii, bez pomoci spalovacího motoru, tj. v Charge depleting módu. Od okamžiku, kdy baterie dosáhne minima, vůz přejde do Charge sustaining módu a snaží se daný stav baterie udržet. [11]

Testování do srpna 2017 probíhalo dvěma způsoby a první z nich je následující: Nejdříve se baterie vybijí na minimum, následně je baterie udržována v teplotě mezi 20°C a 30°C a plně nabita. Následující den je proveden test v cyklu NEDC v CD modu a vůz je znovu dobit a energie, která byla potřeba k dobití, se přepočte na Wh/km. Testování v CD modu může probíhat také tak, že se od úplného nabití opakuje cyklus, dokud SOC nedosáhne minima. Druhý způsob testování probíhá v CS modu a začíná vybitím baterie na minimum SOC, provedením testu, dobitím na maximum. Pro zjištění rozdílu mezi minimální a maximální hodnotu SOC se vybití a dobití ještě jednou opakuje. Elektrický dojezd vozidla se testuje opakováním cyklu NEDC dokud je vozidlo schopno udržet rychlost 50 km/h. [11]

Ve WLTP platném od září 2017 je už pouze jeden způsob testování. Vozidlo projíždí cyklus opakovaně (v CD modu) dokud nedosáhne minima SOC a dále pokračuje v CS modu. Z tohoto testu se určí elektrická spotřeba, spotřeba paliva i elektrický dojezd. Rozdílem oproti cyklu NEDC je úprava výsledné spotřeby z jízdy v CS modu o rozdíl ve stavu baterie. Na test se vozidlo připravuje podobně jako dříve. Nejdříve projede alespoň jeden cyklus, baterie se dobije na maximum a vozidlo se nechá vychladnout na 23°C. Po skončení testu je baterie dobita na maximum. [11]

4 Odvození vlastního cyklu z měření na reálných jízdách a simulace konvenčního vozu a EHV

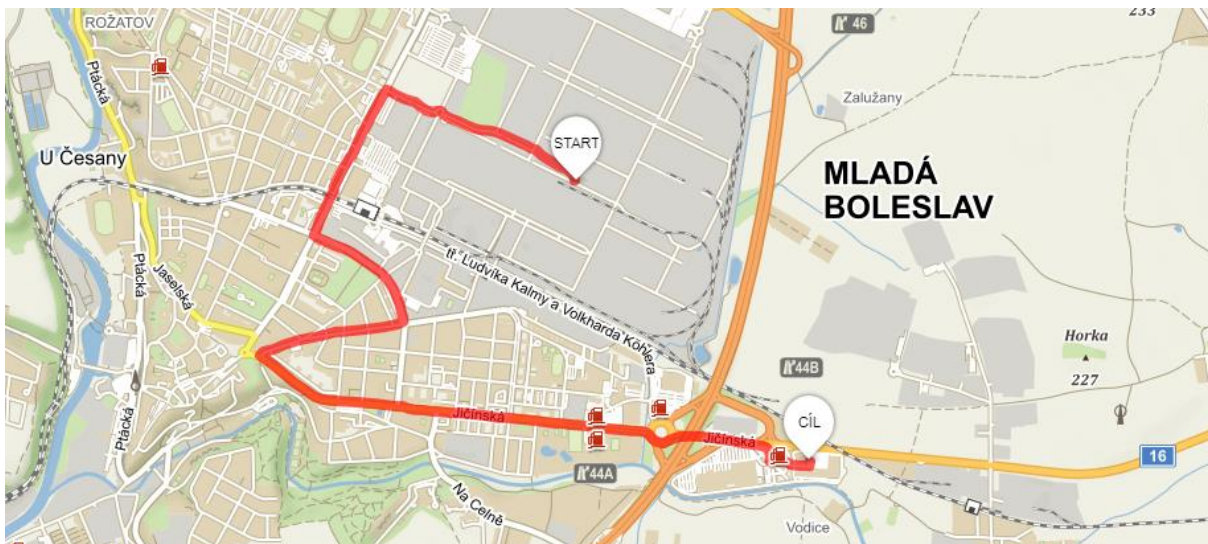
4.1 Odvození vlastního cyklu z měření na reálných jízdách

Pro měření byl použit běžný sériový vůz nižší střední třídy se zážehovým atmosférickým motorem MPI s pětistupňovou manuální převodovkou. Vůz vážil i s posádkou přibližně 1500 kg, před měřením byla natankována plná nádrž a byla provedena kontrola tlaku v pneumatikách, aby tlak odpovídal doporučení výrobce pro plné zatížení vozu. Měření začalo až po zahřátí motoru na pracovní teplotu. Atmosférické podmínky byly mírné, teplota okolního vzduchu byla přibližně 20°C, mírný vítr, bez deště. Případný vítr byl vykompenzován jízdou trasy v obou směrech.

Měření bylo provedeno se dvěma různými řidiči za účelem porovnání standardní a ekonomické jízdy. Řidiči byli vybráni podle výše spotřeb, které obvykle vykazují, a stylu jízdy, který preferují. Standardní řidič v běžném provozu jezdí dynamickým stylem. Zvyšuje rychlost s co největším zrychlením, brzdí spíše později a intenzivněji a pokud vozidlo před ním jede pomaleji, než je maximální povolená rychlost, snaží se o předjíždění. Ekonomický řidič se naopak snaží předvídat a k místu s nižší maximální povolenou rychlostí se snaží dojet s využitím brzdění motorem. Zrychluje standardně, ale dává pozor, aby se držel v nízkých otáčkách. Vyšší rychlostní stupeň řadí co nejdříve. V některých úsecích se snaží využívat přirozené rekuperace, a proto občas řadí neutrální, za účelem snížení odporů a využívá plachtění.

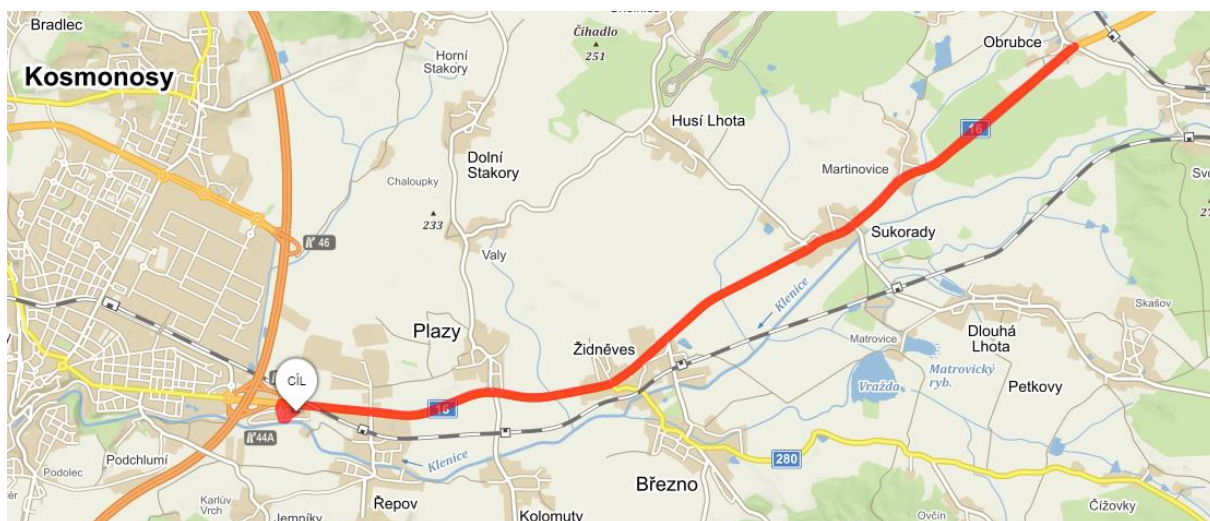
Při přípravě cyklu se vycházelo z tradiční struktury jízdých cyklů, tj. cyklus se skládal z jízdy ve městě, mimo město a po dálnici. Vzhledem k omezením simulačního programu, nebylo možné do simulace zahrnout gradient trati. Při návrhu trati se proto bral ohled na to, aby trasa byla co nejvíce vyrovnaná (s vyrovnanou bilancí klesání a stoupání).

Městský cyklus (Obrázek 19) vedl Mladou Boleslaví ze středu závodu ŠKODA AUTO a.s., po třídě Václava Klementa, a ulicemi Laurinova, Dukelská, T. G. Masaryka a Jičínská. Cyklus končil na parkovišti u výjezdu z města směrem na Jičín. Tato část se měřila dvakrát – tj. úsek „Město 1“ a „Město 2“. Klesání i stoupání bylo 37 m.



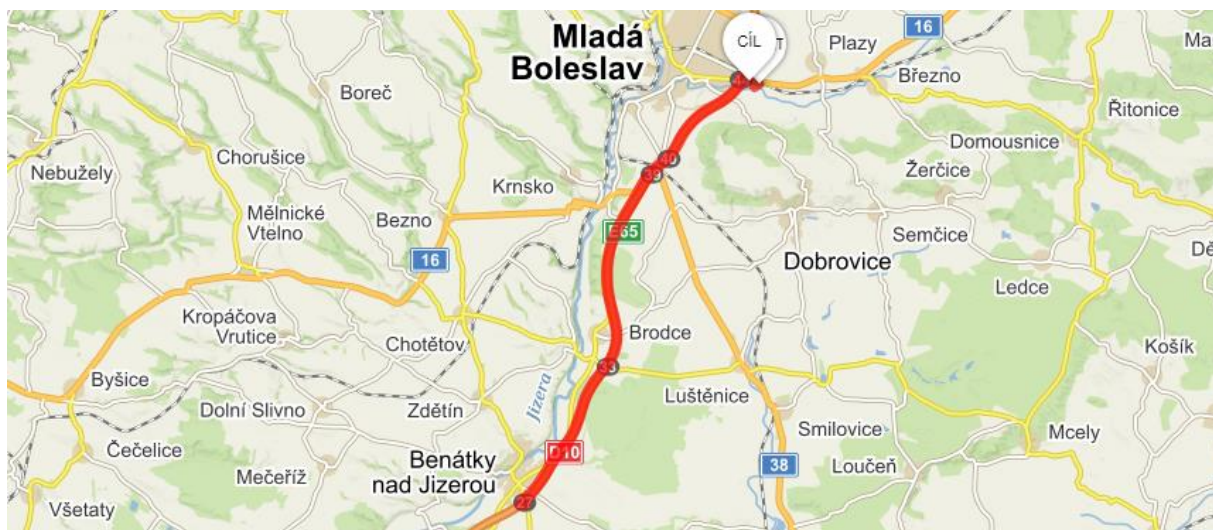
Obrázek 19: Část cyklu - město

Mimoměstský cyklus (Obrázek 20) navazoval na městský v ulici Jičínská a vedl po silnici I. třídy směrem na Jičín. V obci Obrubce se měřící vůz otočil a jel stejnou cestou zpět. Klesání i stoupání během jízdy bylo 99 m.



Obrázek 20: Část cyklu – mimo město

Dálniční cyklus (Obrázek 21) začínal na stejném místě jako mimoměstský. Z ulice Jičínská měření pokračovalo po dálnici D10 směrem na Prahu. Vůz se otočil u obce Benátky nad Jizerou a jel stejnou cestou zpět. Klesání i stoupání během jízdy bylo 348 m.



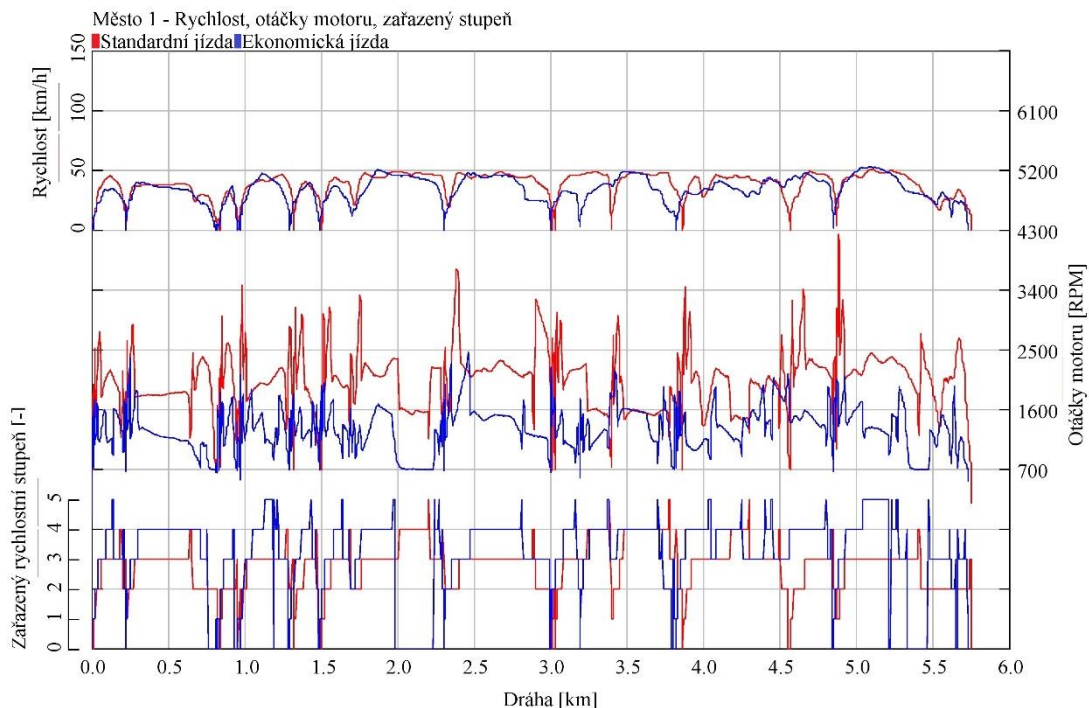
Obrázek 21: Část cyklu - dálnice

Během jízdy bylo možné zaznamenávat celý průběh z řídicí jednotky vozu a zapsat požadované údaje. Výsledné soubory obsahují vedle rychlostního profilu následující údaje: teplotu oleje, polohu plynového pedálu, otáčky motoru, zařazený rychlostní stupeň, zatížení motoru, sešlápnutí brzdového pedálu a okamžitou spotřebu paliva. Zároveň s těmito záznamy byl pořízen záznam o poloze s pomocí serveru mapy.cz. Ze zaznamenaných hodnot spotřeb v každém časovém okamžiku byly vypočítány průměrné spotřeby (Tabulka 6). Ihned po skončení měření bylo možné odečíst hodnotu spotřeby v celém cyklu z palubního počítače a tato hodnota byla ověřena přesným dotankováním.

Následující odstavce se věnují jednotlivým částem cyklu a obsahují zpracování záznamů z řídicí jednotky. Městská část byla rozdělena na úsek město 1 a město 2. Ke každé části cyklu je přiložen graf (Obrázek 22 - Obrázek 29) rychlosti, otáček motoru a zařazeného stupně v závislosti na dráze a tabulka (Tabulka 2 - Tabulka 5) s několika statistikami (spotřeba paliva, Avg speed – průměrná rychlost, Max speed – maximální rychlost, Avg RPM – průměrné otáčky motoru [otáčky/min], Max RPM – maximální otáčky motoru, Avg grs – průměrný zařazený stupeň), která vedle spotřeb obsahuje také maximální a průměrné hodnoty vykreslených údajů. V této části jsou hodnoceny pouze rychlost, otáčky motoru a zařazený stupeň. Největší rozdíl mezi řidiči je vidět právě v zařazených rychlostních stupních a otáčkách motoru. Proto je ke každé části přiložen také histogram zařazených rychlostních stupňů.

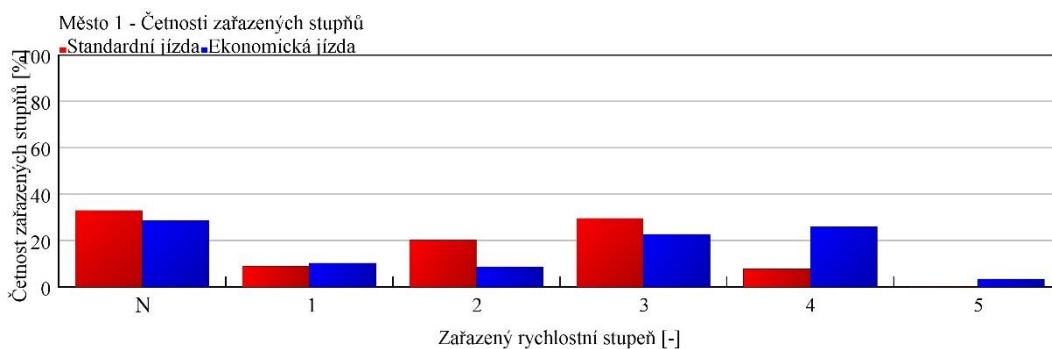
4.1.1 Město 1

- Průměrná rychlost je pro obě jízdy přibližně stejná. V některých částech je u standardního řidiče vidět větší zrychlení při rozjezdech.



Obrázek 22: Město 1 - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň

- Standardní řidič udržoval znatelně vyšší otáčky motoru než ekonomický řidič. Průměrně o 400 otáček/min. Ekonomický řidič se během jízdy snažil několikrát využít přirozené rekuperace.



Obrázek 23: Město 1 - četnosti zařazených stupňů

- Standardní řidič má nejčastěji zařazený třetí a druhý rychlostní stupeň.
- Ekonomický řidič radí v městském cyklu nejčastěji čtvrtý a třetí rychlostní stupeň.

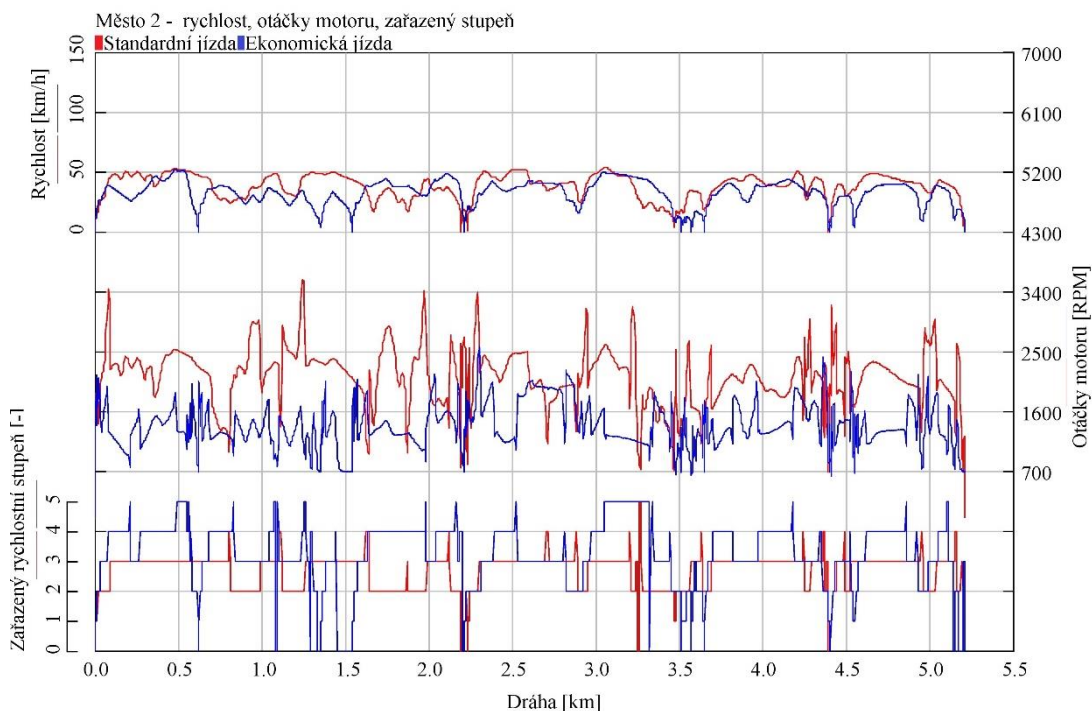
Tabulka 2: Město 1 - Základní údaje o měření

Město 1	Spotřeba [l/100km]	Avg speed	Max speed	Avg RPM	Max RPM	Avg grs
Ekonomický	7,23	22,4	53,0	1133,1	2471,0	2,2
Standardní	8,81	22,6	51,0	1548,1	4243,0	1,7

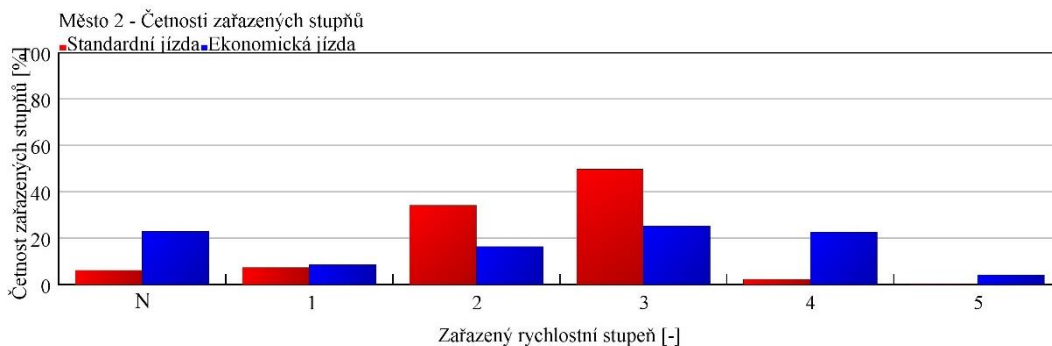
Spotřeba v této části cyklu se liší o 1,58 l/100 km.

4.1.2 Město 2

- Rozdíl v průměrné rychlosti je přibližně 9,1 km/h a je způsoben hustým městským provozem. Ekonomický řidič během jízdy často zastavoval, zatímco standardní řidič zastavoval minimálně.



Obrázek 24: Město 2 - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň



Obrázek 25: Město 2 - četnosti zařazených stupňů

- Rozdíl v zařazeném rychlostním stupni je výraznější než v předchozí části cyklu. Standardní řidič skoro nezařadil 4. rychlostní stupeň, nejčastěji používal 2 a 3. stupeň.
- Ekonomický řidič využil rovnoměrně skoro všechny rychlostní stupně. Z toho nejčastěji 3. a 4. stupeň.

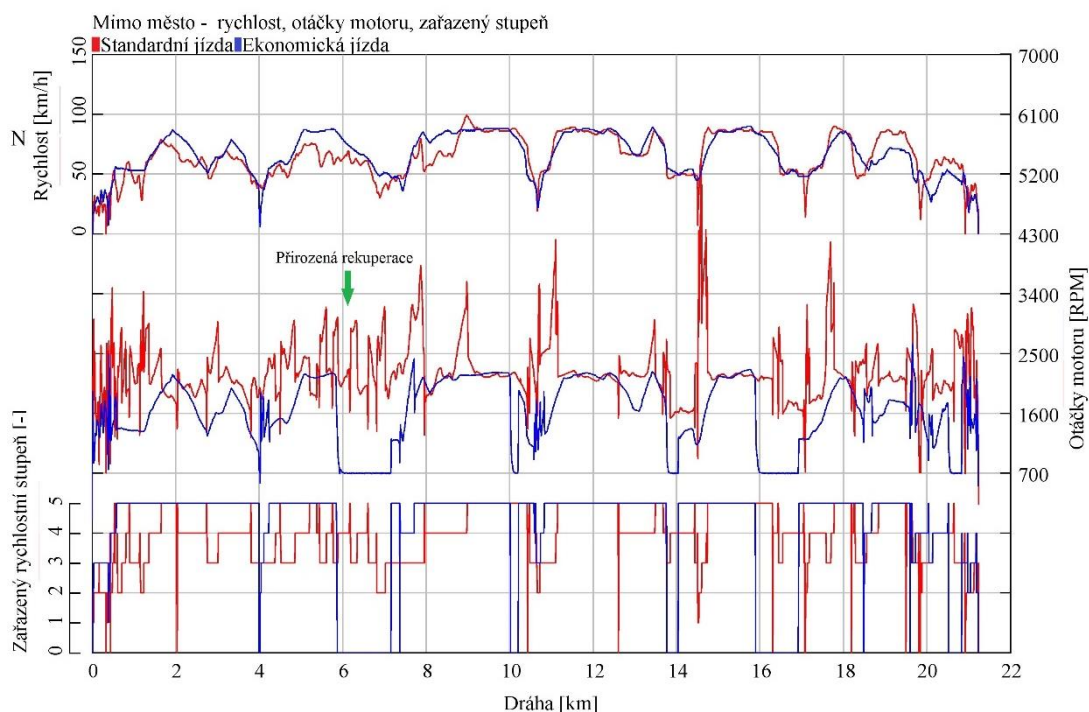
Tabulka 3: Město 2 - Základní údaje o měření

Město 2	Spotřeba [l/100km]	Avg speed	Max speed	Avg RPM	Max RPM	Avg grs
Ekonomický	7,09	22,81	52,00	1214,21	2585,00	2,29
Standardní	7,71	31,93	54,00	1928,72	3579,00	2,35

Spotřeba v této části cyklu se liší o 0,62 l/100 km.

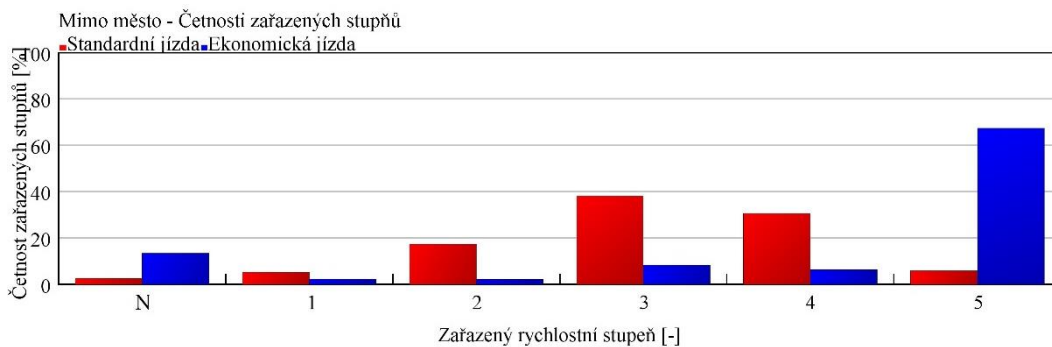
4.1.3 Mimo město

- První čtvrtina této části byla ovlivněna pomalým provozem. Standardní řidič se snažil o předjíždění, proto řadil nižší rychlostní stupně a udržoval vyšší otáčky motoru
- Ekonomický řidič se snažil zrychlovat a zpomalovat plynule a v delších úsecích udržoval konstantní rychlost – to je vidět i na otáčkách motoru.



Obrázek 26: Mimo město - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň

- Ekonomický řidič několikrát během jízdy ve vyšší rychlosti vyřadil na neutrál a snažil se snížit spotřebu – spotřeba v těchto úsecích klesá na volnoběžnou a vozidlo plynule zpomaluje. Využívá tak přirozené rekuperace (využití získané kinetické energie).



Obrázek 27: Mimo město - četnosti zařazených stupňů

- Nejčastěji zařazený stupeň u standardního řidiče je 3. a 4. stupeň.
- U ekonomického je nejčastější 5. rychlostní stupeň.

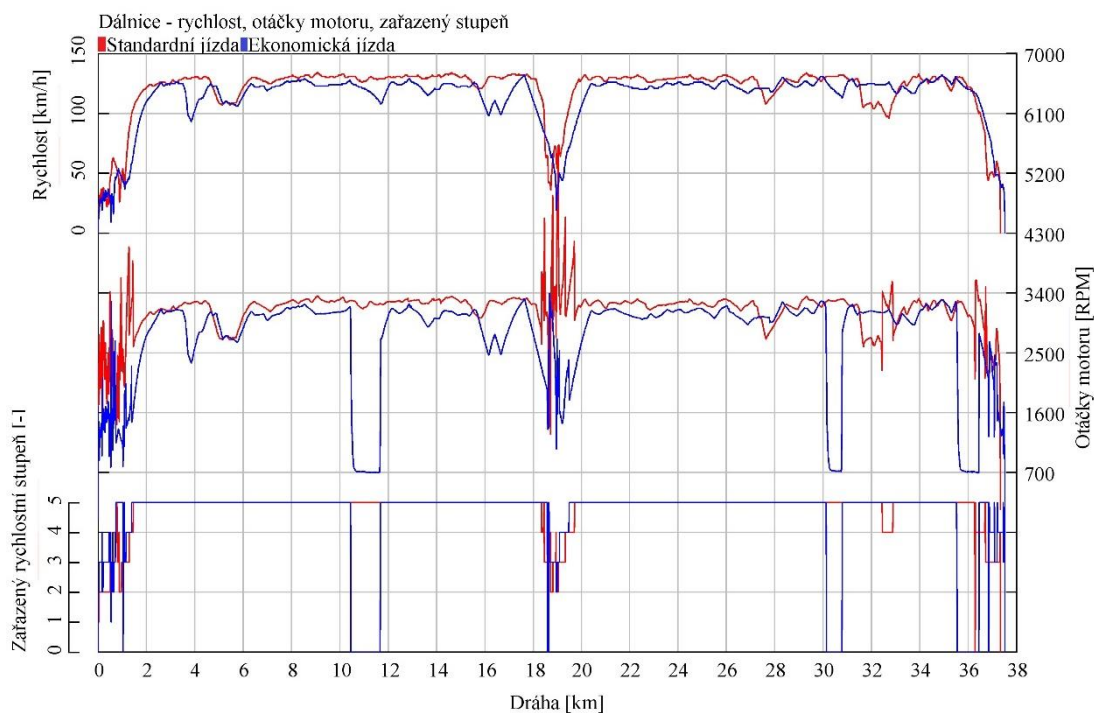
Tabulka 4: Mimo město - Základní údaje o měření

Mimo město	Spotřeba [l/100km]	Avrg speed	Max speed	Avrg RPM	Max RPM	Avrg grs
Ekonomický	4,75	59,40	90,00	1522,98	2648,00	3,80
Standardní	6,12	54,86	99,00	2098,50	5414,00	3,41

Spotřeba v této části cyklu se liší o 1,37 l/100 km.

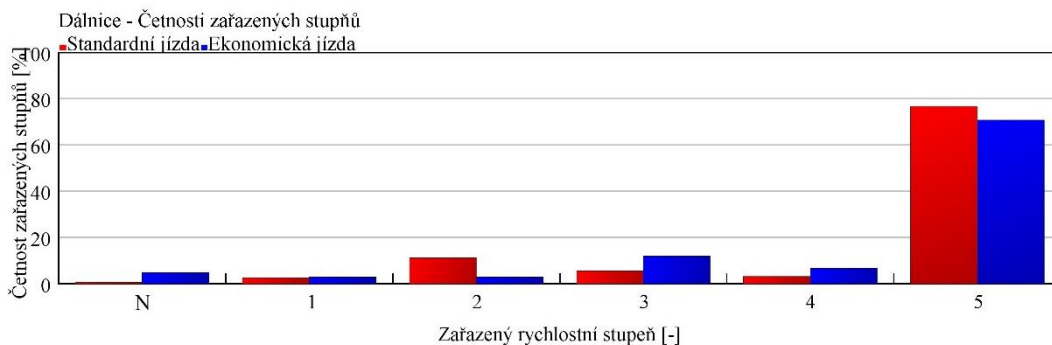
4.1.4 Dálnice

- Standardní řidič mění rychlosti s větším zrychlením než ekonomický řidič.
- Ekonomický řidič udržuje přibližně o 8 km/h nižší průměrnou rychlost.



Obrázek 28: Dálnice - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň

- Ekonomický řidič se opět snažil využívat přirozené rekuperace.
- Standardní řidič se při rozjezdu dostal až k otáčkám kolem 5500 otáček/min



Obrázek 29: Dálnice - četnosti zařazených stupňů

- U obou řidičů převažuje pátý rychlostní stupeň. Ekonomický řidič opět několikrát zařadil neutrál.

Tabulka 5: Dálnice - Základní údaje o měření

Dálnice	Spotřeba [l/100km]	Avg speed	Max speed	Avg RPM	Max RPM	Avg grs
Ekonomický	6,41	101,76	132,00	2544,53	3395,00	4,31
Standardní	7,22	109,71	134,00	3047,24	5618,00	4,49

Spotřeba v této části cyklu se liší o 0,81 l/100 km.

4.1.5 Souhrn

Celý měřený cyklus byl dlouhý necelých 70 km. Z toho městská část byla dlouhá 11 km, mimoměstská něco přes 21 km a po dálnici 37,5 km. Záznam o ujeté vzdálenosti byl zaznamenán dvěma způsoby – měřením pomocí aplikace mapy.cz a záznamem z řídicí jednotky. Bohužel řídicí jednotka tuto hodnotu zaznamenala pouze jako počáteční a koncový stav najetých kilometrů vozidla. Čas je zaznamenán s přesností na milisekundy. Nejdůležitějším údajem je spotřeba v litrech za hodinu v každém časovém okamžiku. Pro další zpracování tyto hodnoty byly převedeny na okamžitou spotřebu v litrech, sečteny a následně vztaženy na 100 km. Údaje byly zapisovány přibližně po časových úsecích 0,5 s.

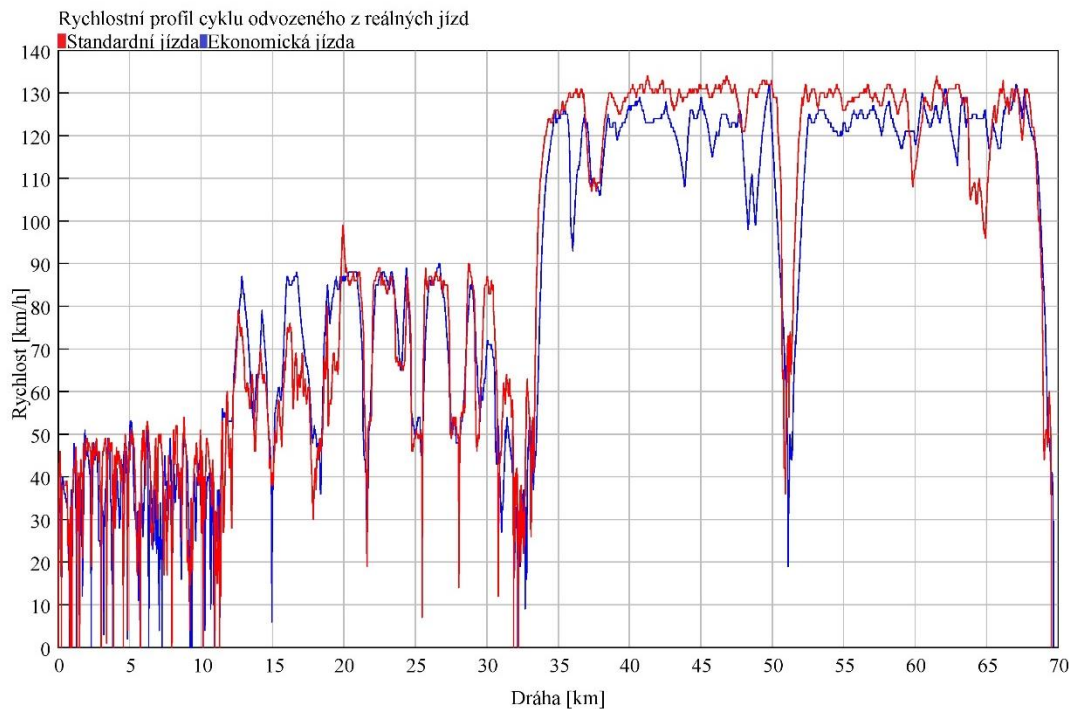
Tabulka 6: Souhrn - zpracování dat z měření

Ekonomický úseky	mapy.cz		záznam z ŘJ						
	délka [km]	čas	poč.stav [km]	konc.stav [km]	délka [km]	čas [s]	čas [min]	C [l]	C [l/100km]
Město 1	5,8	0:15:19	1821,00	1827,00	6	920	15,33	0,42	7,23
Město 2	5,2	0:13:42	1886,00	1891,00	5	823	13,71	0,37	7,09
Mimo město	21,1	0:21:25	1827,00	1848,00	21	1287	21,45	1,00	4,75
Dálnice	37,4	0:21:56	1848,00	1886,00	38	1327	22,11	2,40	6,41
Celkem	69,5	1:12:22						Komb. C	6,03

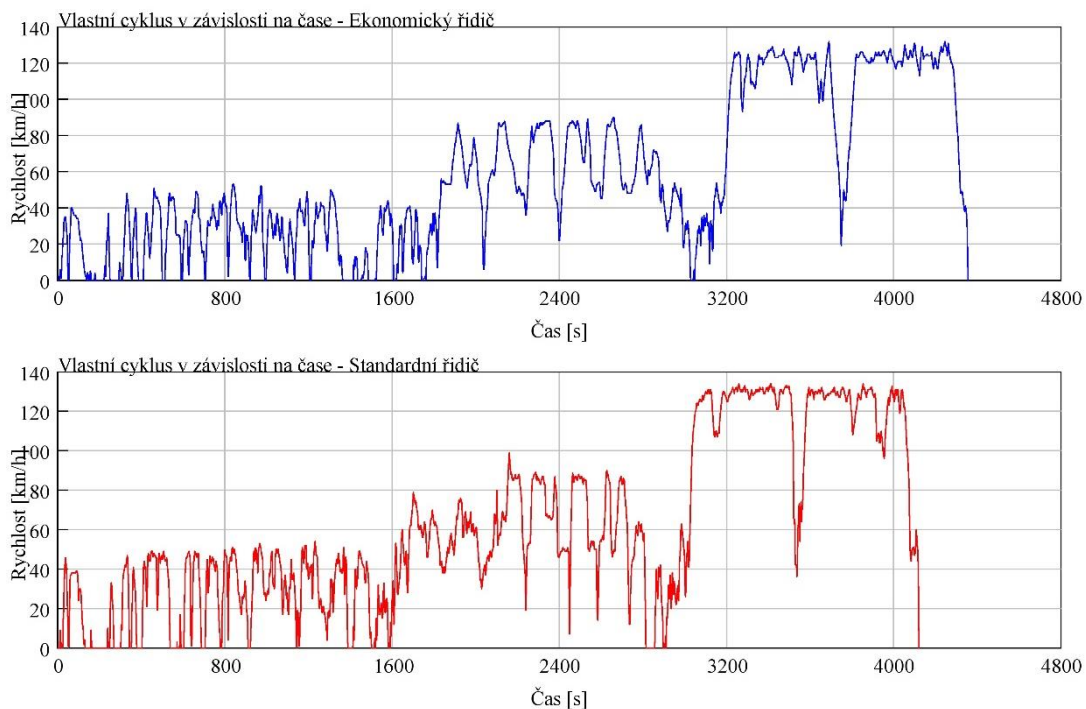
Standardní úseky	mapy.cz		záznam z ŘJ						
	délka [km]	čas	poč.stav [km]	konc.stav [km]	délka [km]	čas [s]	čas [min]	C [l]	C [l/100km]
Město 1	5,8	0:19:35	1749	1755	6	916	15,27	0,51	8,81
Město 2	5,2	0:09:43	1813	1819	6	587	9,79	0,40	7,71
Mimo město	21,2	0:23:07	1755	1776	21	1396	23,27	1,30	6,12
Dálnice	37,4	0:20:15	1776	1813	37	1225	20,42	2,70	7,22
Celkem	69,6	1:12:40						Komb. C	7,05

V tabulce (Tabulka 6) je uveden přehled o měření – ujetá vzdálenost, čas a přepočítaná spotřeba za daný úsek.

Následující grafy (Obrázek 30 a Obrázek 31) znázorňují oba cykly změřené v reálném provozu nejdříve jako rychlost v závislosti na dráze a následně v závislosti na čase. Tyto naměřené cykly jsou v následující části práce použity při simulacích EHV.



Obrázek 30: Rychlostní profil cyklu odvozeného z reálných jízd v závislosti na dráze



Obrázek 31: Rychlostní profil cyklu odvozeného z reálných jízd v závislosti na čase

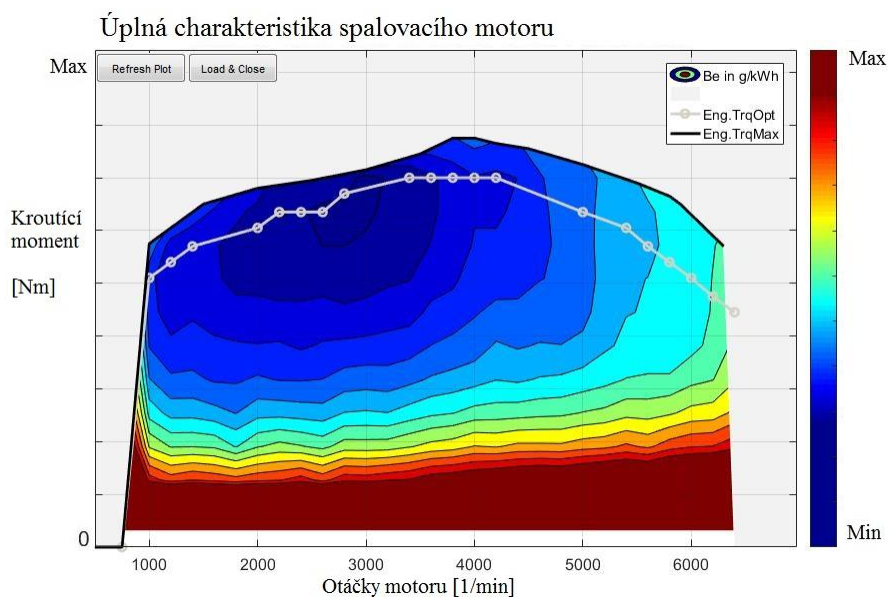
Statistické zpracování výsledků měření není možné pro malý počet opakování měření.

4.2 Simulace konvenčního vozu

Simulace jízdních cyklů jsou prováděny pomocí simulačního systému pro elektrifikované pohony. Tento systém se zabývá simulacemi jízdní dynamiky a byl vyvíjen v rámci koncernu od roku 2012 a pravidelně aktualizován. Jedny z posledních aktualizací se týkají procesu WLTP a procesu pro výpočet jízdních výkonů. Program pracuje v matematickém systému MATLAB a je určený pro výpočty spotřeb, emisí CO₂ a jízdních výkonů konvenčních, elektro hybridních a elektrických vozů. V tomto simulačním systému není možné vypočítat emise jiných látek než CO₂. Program je určen pouze pro interní použití. [12]

4.2.1 Tvorba modelu pro simulaci

Základní model byl sestaven na základě poskytnutých dat a konkrétní hodnoty není z důvodu utajení možné uvést. V první části byly vyplněny hmotnosti, aerodynamické vlastnosti, geometrie vozu a údaje o palubní spotřebě. V další části jsou vlastnosti kol: dynamický poloměr, moment setrvačnosti a křivka závislosti valivého odporu na rychlosti. Pro motor se kromě mapy spotřeb (Obrázek 32) vkládají údaje jako: volnoběžné otáčky, maximální otáčky, volnoběžná spotřeba, hustota paliva a moment setrvačnosti. Dále pak údaje o ohřevu motoru v závislosti na čase a křivka maximálního momentu. U nastavení motoru je také možné nastavit použití funkce Fuel Cutoff, která vypne přísun paliva při deceleraci a obnoví při poklesu na určité otáčky motoru nebo funkce Start Stop, která vypne motor při zastavení, nebo při poklesu rychlosti vozu pod zadanou hodnotu. Nejdůležitějším vstupem pro spalovací motor je úplná charakteristika a jeho vnější otáčková charakteristika. Další oddíl se věnuje údajům o převodovce. Je nutné zadat: převodový poměr pro každý stupeň, moment setrvačnosti nebo omezení maximálního vstupního momentu. Dále je možné zadat: účinnosti elektrického motoru, generátoru, spojky, anebo celkovou účinnost.



Obrázek 32: Úplná charakteristika spalovacího motoru použitého v simulaci

Správnost sestaveného modelu konvenčního vozu byla ověřena výpočtem v komerčním softwaru GT Suite.

4.2.2 Porovnání výsledků simulace s reálným měřením

Aby byly výsledky simulace porovnatelné s reálným měřením, byly jízdy provedeny s motorem zahřátým na provozní teplotu. Vyhnuli jsme se tak problémům s odhady průběhu ohřevu a čekáním na vychladnutí před začátkem druhého měření. Dalším důležitým parametrem pro porovnatelnost simulace s jízdou byla také okamžitá hmotnost zkušebního vozu. Proto bylo vozidlo po skončení měření zváženo a byla přičtena hmotnost posádky. V následující tabulce (Tabulka 7) jsou shrnuty výsledky simulace pro oba reálně naměřené cykly a simulované cykly.

Tabulka 7: Porovnání výsledku simulace a naměřených spotřeb

Ekonomický	C [l/100km] naměřené	Výpočet [l/100km]	Rozdíl
Město 1	7,23	7,02	-0,21
Město 2	7,09	7,13	0,04
Mimo město	4,75	4,65	-0,10
Dálnice	6,41	6,43	0,02
Celkem	6,03	5,99	-0,03

Standardní	C [l/100km] naměřené	Výpočet [l/100km]	Rozdíl
Město 1	8,81	8,73	-0,08
Město 2	7,71	7,40	-0,31
Mimo město	6,12	6,00	-0,12
Dálnice	7,22	7,25	0,03
Celkem	7,05	7,00	-0,05

Vypočtené hodnoty spotřeb se od naměřených hodnot ve většině částech cyklu příliš neliší. Větší rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou je v druhé městské části, který je způsoben nepřesnostmi při simulaci rozjezdu.

Toto porovnání sloužilo také jako potvrzení správnosti modelu.

Není možné porovnat množství emisí jiných exhalací, protože hodnoty nebyly během jízdy zaznamenány.

4.3 Modely EHV

Pro simulaci EHV jsou použity modely hybridních vozů sestavené na základě konvenčního vozu, který byl použit při měření. Ve vozidlech byla zachována hmotnost a byly použity odpovídající elektromotory a baterie vybrané z databáze příkladů. Jejich parametry jsou stručně uvedeny v tabulce (Tabulka 8). Pro všechny vozy byla použita stejná manuální převodovka, stejný spalovací motor, pneumatiky i karoserie. Hmotnost vozů je různá pro různé cykly z důvodu rozdílných legislativních požadavků. V simulaci cyklu NEFZ a WLTP je aktivní funkce Start stop – vypínání motoru při stání. Jako standardní test NEFZ (nebo WLTP) zohledňuje simulace také závislost ohřevu motoru na čase tzv. Kaltstartfaktor.

Simulace všech vozů jsou provedeny se stejnou manuální převodovkou pro zachování porovnatelnosti pohonných systémů. Z hlediska řízení spolupráce spalovacího motoru a elektromotoru by bylo lepší použít speciální automatickou převodovku pro každý vůz, což rozsah této práce nedovoluje.

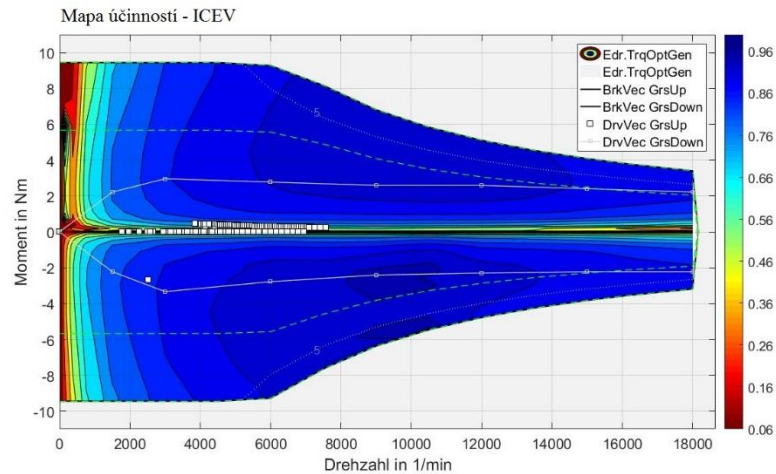
Tabulka 8: Základní parametry EHV [12]

	Parametry HEV – přehled	Max moment [Nm]	Max výkon generátorický [kW]	Max výkon motorický [kW]	Celková kapacita [Ah]	Jmenovité napětí [V]
ICEV	alternátor, 12V	10,0	3,0	3,0	408,0	12,7
MHEV	elektromotor, 48V	43,0	9,0	7,0	137,8	46,8
FHEV	paralelní hybrid	160,0	25,0	25,0	300,0	220,0
PHEV	Paralelní hybrid, CD, CS mode	300,0	80,0	80,0	4704,0	308,0

4.3.1 ICEV – Konvenční vůz

Model konvenčního vozu je identický s vozem, který byl použit při měření. Je také vybaven modelem alternátoru a 12 V baterií určenou k napájení palubní sítě a umožňující opakovaný start spalovacího motoru. [12]

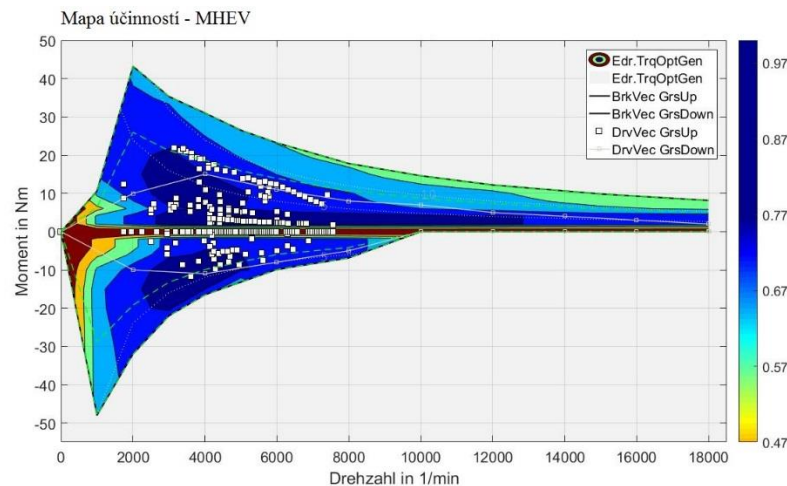
Charakteristiku použitého elektromotoru (alternátoru) znázorňuje Obrázek 33.



Obrázek 33: Mapa účinnosti - ICEV

4.3.2 MHEV – Mild Hybrid

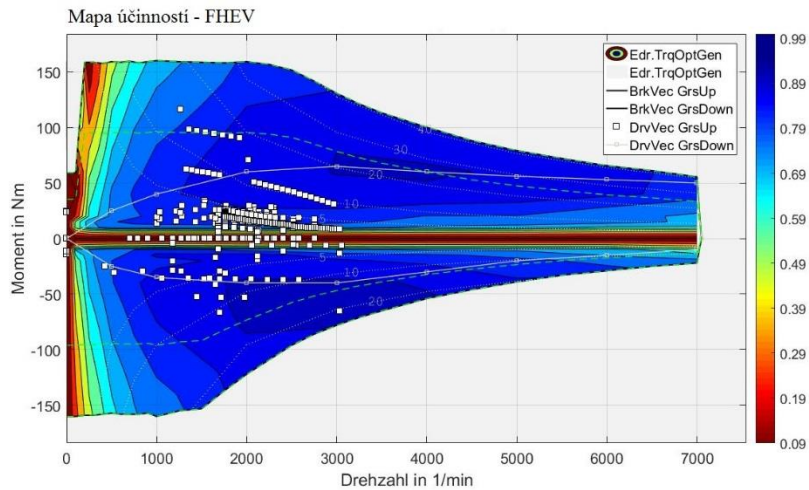
Tento vůz dokáže rekuperovat část brzděné energie, v omezené míře dokáže svým výkonem podpořit spalovací motor a během dobíjení baterie posouvá pracovní body. Ke spalovacímu motoru je připojen slabý elektromotor RSG (Obrázek 34) s 48 V baterií.



Obrázek 34: Mapa účinnosti – MHEV

4.3.3 FHEV – Full Hybrid

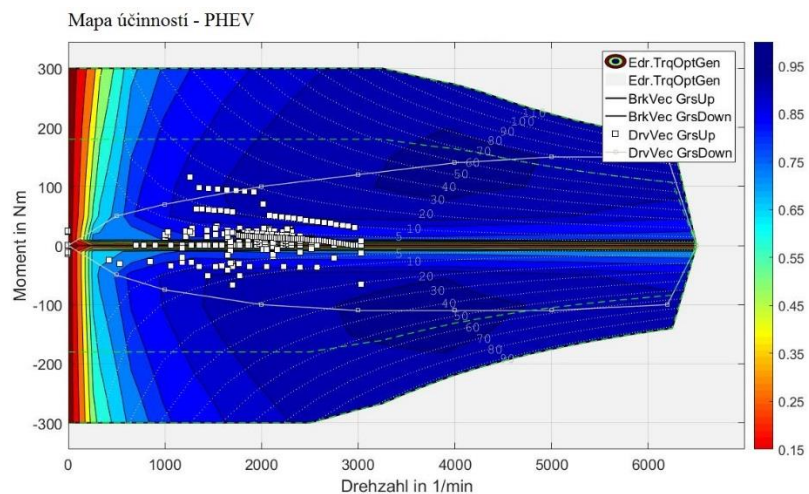
FHEV je paralelní hybrid bez možnosti dobít z externího zdroje - baterie je dobíjena pouze spalovacím motorem. Zároveň je vybaven již dostatečně silným elektromotorem (Obrázek 35), aby vůz byl krátkodobě schopný udržovat konstantní rychlost bez zapnutí spalovacího motoru. Spalovací motor je použit pouze pro některé úseky akcelerace a při nízkém stavu SOC baterie. Systém pracuje pod napětím 220 V.



Obrázek 35: Mapa účinnosti – FHEV

4.3.4 PHEV – Plug-in Hybrid

PHEV je paralelný hybrid s možnosťou dobíť batérie z externého zdroja. Díky kombinaci silného elektromotoru (Obrázek 36) a batérie je schopný čistě elektrické jízdy i na delší vzdálenosti (cca 100 km).



Obrázek 36: Mapa účinnosti – PHEV

U hybridních vozidel s externím dobíjením se rozlišují dva provozní režimy. Jsou to Charge depleting (CD) - režim, v němž vozidlo vybíjí batérii a nepoužívá spalovací motor a Charge sustaining (CS) - režim, ve kterém vozidlo používá oba pohony rovnoměrně tak, aby stav nabití batérie SOC neklesl pod danou úroveň. Ostatní hybridní vozy pracují pouze v režimu CS. Systém pracuje pod napětím 308 V.

4.4 Simulace EHV v cyklech

4.4.1 Simulace EHV – NEFZ

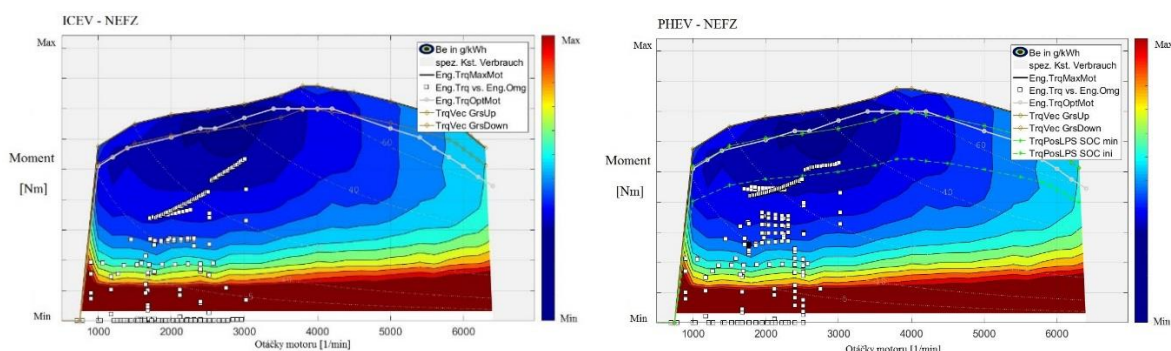
Při simulaci NEFZ se použije minimální hmotnost vozu zvýšená o 100 kg (řidič, který váží 75 kg a má zavazadlo o hmotnosti 25 kg). Funkce start stop se poprvé aktivuje až po 195 vteřinách cyklu, kdy už je motor zahřátý.

Tabulka 9: Výsledky simulace v cyklu NEFZ

NEFZ	C kombinovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]	C kompenzovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]
ICEV	6,08	141,6	6,29	146,5
MHEV	6,09	141,9	5,92	137,8
FHEV	4,73	110,2	4,65	108,4
PHEV	4,35	101,3	4,56	106,2

Sloupec kombinované spotřeby v tabulce (Tabulka 9) udává spotřebu paliva v cyklu přepočtenou na l/100 km. Rozdíl v kombinované spotřebě mezi ICEV a MHEV je takový, protože výsledky nejsou upraveny o spotřebovanou, nebo dobitou elektrickou energii. Upravené hodnoty jsou ve sloupci C kombinovaná.

Rozdíl ve spotřebě mezi konvenčním vozem a Plug-in hybridem je v cyklu NEFZ 1,73 l/100 km a 40,3 gCO₂/km.



4.4.2 Simulace EHV – WLTP

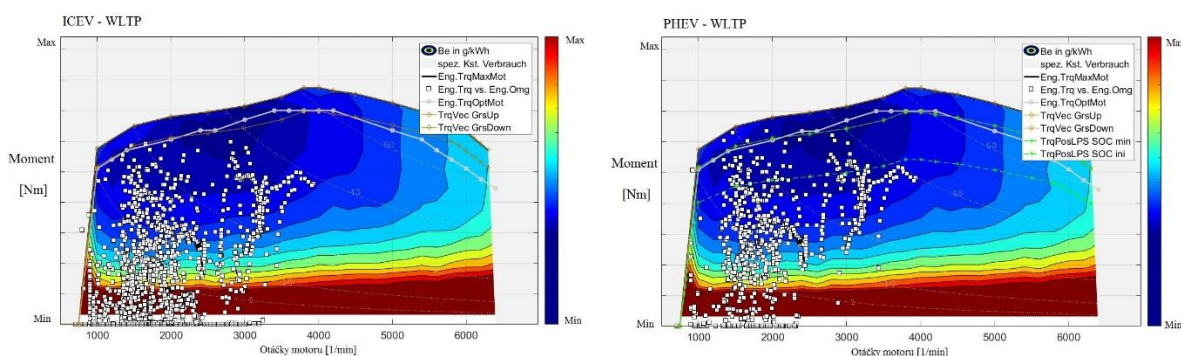
Pro výpočet spotřeby paliva ve WLTP se použije větší hmotnost než pro NEFZ, na druhou stranu je to vyváжено řazením v nižších otáčkách, proto se výsledná spotřeba tolik neliší. Pokud se použije systém Start stop (jako v tomto případě), je jeho vliv na úsporu paliva v cyklu WLTP menší, protože celková doba stání v cyklu je vzhledem k délce cyklu menší.

Start stop je podobně jako v cyklu NEFZ aktivní až po určitém časovém úseku. K prvnímu vypnutí motoru došlo kolem času $t = 380$ s.

Tabulka 10: Výsledky simulace v cyklu WLTP

WLTP	C kombinovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]	C kompenzovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]
ICEV	5,99	139,5	6,09	142
MHEV	5,81	135,4	5,73	133,5
FHEV	4,89	113,8	4,88	113,7
PHEV	4,73	110,3	4,84	112,8

Rozdíl ve spotřebě mezi konvenčním vozem a Plug-in hybridem je v cyklu WLTP 1,16 l/100 km a 29,2 gCO₂/km.



4.4.3 Simulace EHV – vlastní cykly

Pro simulaci vlastního cyklu bylo nutné nastavit u všech vozidel stejné omezení baterie tak, aby byly výsledky srovnatelné. Proto všechna vozidla mají SOCinit (počáteční stav baterie) = 0,31 a SOCmin (minimální stav baterie) = 0,3. Každé z vozidel je tak nuceno jet v CS modu.

Tabulka 11: Výsledky simulace v cyklu - Ekonomický cyklus

Vlastní cyklus Ekonomický	C kombinovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]	C kompenzovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]
ICEV	5,97	139,2	5,97	139,2
MHEV	5,65	131,6	5,63	131,2
FHEV	4,99	116,3	4,99	116,2
PHEV	4,85	112,9	4,89	114,1

Tabulka 12: Výsledky simulace v cyklu - Standardní cyklus

Vlastní cyklus Standardní	C kombinovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]	C kompenzovaná [l/100km]	CO ₂ [g/km]
ICEV	7,00	163,2	7,00	163,1
MHEV	6,64	154,8	6,62	154,3
FHEV	5,90	137,5	5,89	137,2
PHEV	5,64	131,4	5,67	132,2

Větší úspory zapojením elektromotoru bylo dosaženo při simulaci standardního cyklu (1,33 l/100km). Pro ekonomický cyklus byla úspora pouze 1,08 l/100km.

Při měření ekonomického cyklu již bylo dosaženo velké úspory samotným stylem jízdy – tj. nízké otáčky, vysoké zatížení a přirozená rekuperace. Řidič často akceleroval z příliš nízkých otáček.

4.5 Simulace EHV – jízdní výkony

Jízdní výkony se počítají pro minimální pohotovostní hmotnost zvýšenou o 200 kg. Výstupem ze simulací jsou tyto údaje: zrychlení z 0 na 60, 80, 100 km/h, elasticity (pružné zrychlení) z 80 na 120 km/h na poslední a předposlední rychlostní stupeň, maximální rychlost (pro dva poslední zařazené stupně) a maximální stoupání.

Tabulka 13: Výpočet jízdních výkonů

Jízdní výkony	Jednotka	ICEV	MHEV	FHEV		PHEV		
		VKM	VKM	VKM	boost	elek	VKM	boost
0 ... 60 km/h	s	5,1	5,1	5,1	4,8	4,5	5,1	4,5
0 ... 80 km/h	s	7,6	7,6	7,6	7	7	7,6	6,3
0 ... 100 km/h	s	11,5	11,5	11,5	10,3	10,2	11,5	9,1
80 ... 120 km/h při 4. zařazeném stupni	s	12	12	12	8,4	6,5	12	6,8
80 ... 120 km/h při 5. zařazeném stupni	s	19	19	19	11,8	7,2	19	8,9
Max. rychlost při 4. zařazeném stupni	km/h / min ⁻¹	181/6000	181/6000	181/6000		181/6000		
Max. rychlost při 5. zařazeném stupni	km/h / min ⁻¹	191/4815	191/4815	191/4815		191/4815		
Stoupání při max. přípustné hmotnosti	%	43,5	43,5	43,5		43,5		

Pro ICEV a MHEV jsou vypočítané hodnoty (Tabulka 13) pouze pro jízdu se spalovacím motorem (sloupec VKM) a ve zrychlení mezi nimi není rozdíl. Na druhou stranu FHEV a PHEV jsou schopny využít asistence elektromotoru (sloupec boost) a tím si čas potřebný pro zrychlení snížit. PHEV tento test dokáže projet i čistě elektricky (sloupec elek).

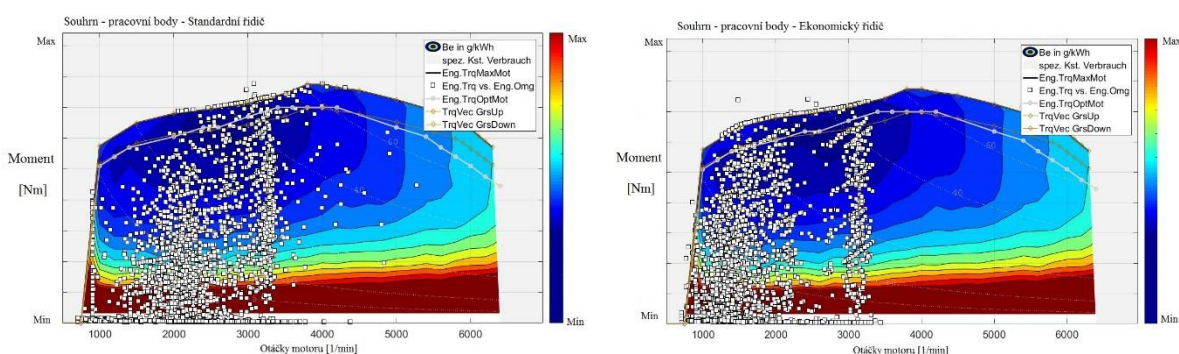
Elektromotor v režimu boostování hodnoty zlepšil až o 0,9 s (například pro zrychlení z 0 na 100 km/h). V pružném zrychlení je tento rozdíl znatelně větší. Při zrychlení z 80 na 120 km/h je rozdíl až 11,8 s.

Stoupání i maximální rychlosti se nemění.

5 Zhodnocení vzhledem k výhledu optimalizace spotřeby a možného snižování emisí

5.1 Úspory na palivu dosažené stylem jízdy

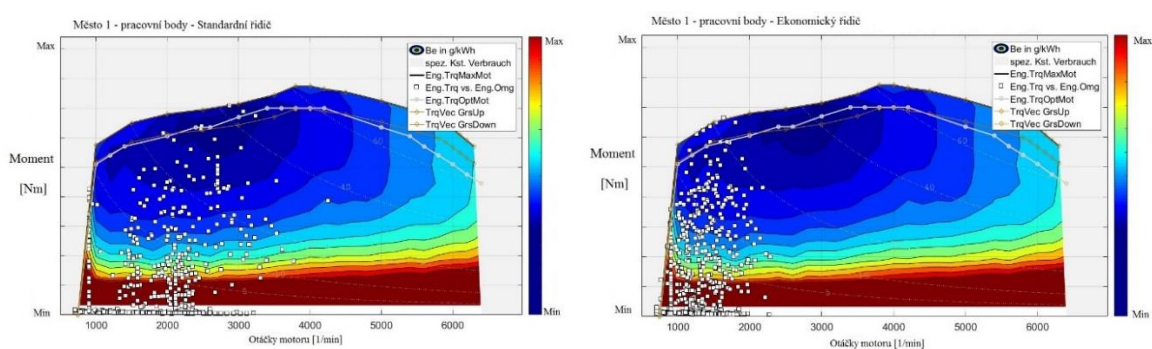
Po proběhnutí simulace bylo možné zobrazit pracovní body v mapě spotřeb motoru (Obrázek 37). Z tohoto zobrazení jsou rozdíly mezi styly jízdy vidět lépe než z porovnání samotných otáček motoru, nebo zařazeného rychlostního stupně. Z pracovních bodů z celého cyklu lze vyčíst, že ekonomický řidič se po celou dobu jízdy pohyboval v oblasti s nižšími otáčkami.



Obrázek 37: Pracovní body - souhrn

Rozdíly jsou zřetelnější při rozdělení cyklu na jednotlivé části (Obrázek 38). Ve městském cyklu se ekonomický řidič pohyboval v intervalu do 2000 otáček/min, zatímco standardní mezi 1500 a 3000 otáček/min. V dálniční části cyklu se oba pohybovali nejčastěji kolem 3000 otáček/min, tj. linie viditelná i v souhrnu (Obrázek 37).

Na druhou stranu se standardní řidič (například v části Město 1) na rozdíl od ekonomického řidiče pohybuje i v oblasti s nejmenší měrou spotřeby.



Obrázek 38: Pracovní body - město 1

Pracovní body bylo také možné zpracovat do tabulky četností (Tabulka 14). Tabulka je rozdělena do polí pro interval zatížení a pro interval otáček motoru. Uvnitř tabulky jsou uvedeny četnosti pracovních bodů v těchto oblastech v procentech.

Tabulka 14: Četnosti pracovních bodů

Standardní řidič							Ekonomický řidič							
Otáčky motoru [min ⁻¹] / Zatížení [%]	700	1000	2000	3000	4000	5000	Otáčky motoru [min ⁻¹] / Zatížení [%]	700	1000	2000	3000	4000	5000	5000
	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
0%							0%							
13%	3%	10%	8%	1%	0%	0%	13%	7%	11%	1%	0%	0%	0%	0%
25%	23%	6%	10%	0%	0%	0%	25%	19%	5%	1%	0%	0%	0%	0%
38%	0%	6%	7%	0%	0%	0%	38%	1%	11%	1%	0%	0%	0%	0%
50%	0%	3%	5%	1%	0%	0%	50%	0%	9%	6%	1%	0%	0%	0%
63%	0%	2%	4%	2%	0%	0%	63%	0%	5%	2%	1%	0%	0%	0%
75%	0%	1%	2%	1%	0%	0%	75%	0%	6%	1%	1%	0%	0%	0%
88%	0%	0%	1%	2%	0%	0%	88%	0%	7%	1%	0%	0%	0%	0%
100%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	100%	0%	1%	2%	0%	0%	0%	0%

Oblasti v úplné charakteristice motoru bylo možné rozdělit na několik základních intervalů, a to oblast s nízkou účinností a oblast s vysokou účinností. Hranice jsou odhadnuty z úplné charakteristiky motoru (Obrázek 32) na 25% a 63%. Četnosti pracovních bodů v těchto oblastech jsou uvedeny níže (Tabulka 15).

Tabulka 15: Četnost bodů v oblasti s nízkou a vysokou účinností

Četnost bodů v oblasti s nízkou účinností			
	počet bodů	celkový počet bodů	%
Ekonomický řidič	1780	4102	43,39
Standardní řidič	1932	3209	60,21

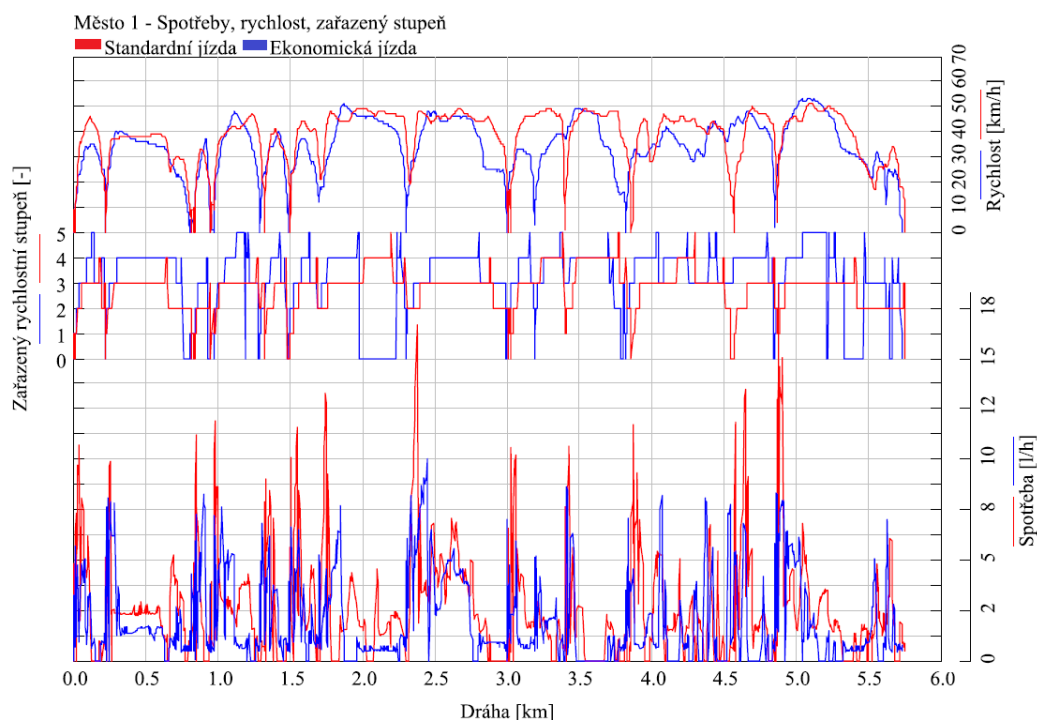
Četnost bodů v oblasti s vysokou účinností			
	počet bodů	celkový počet bodů	%
Ekonomický řidič	1098	4102	26,77
Standardní řidič	569	3209	17,73

Z porovnání spotřeb (Tabulka 16) v jednotlivých částech cyklu vyplývá, že největší úspory na kombinované spotřebě je dosaženo v cyklu Město 1 a to 1,57 l/100km.

Tabulka 16: Spotřeby v jednotlivých částech cyklu

Rozdíl mezi řidiči	Ekonomický [l/100km]	Standardní [l/100km]	Rozdíl [l/100km]
Město 1	7,23	8,81	1,57
Město 2	7,09	7,71	0,62
Mimo město	4,75	6,12	1,37
Dálnice	6,41	7,22	0,81
Celkem	6,03	7,05	1,02

V grafu (Obrázek 39) jsou znázorněny zařazené rychlostní stupně a okamžitá spotřeba v části cyklu Město 1. Hlavní rozdíly jsou v pozdějším řazení při rozjezdech, ale také při konstantní jízdě s nižším zařazeným stupněm. Výrazné je přerušení dodávky paliva při deceleraci a plachtění s vyřazeným rychlostním stupněm.



Obrázek 39: Město 1 - porovnání spotřeb

Podobný trend je vidět i v grafech s pracovními body v ostatních částech cyklu – město 2, mimo město a dálnice, které jsou součástí přílohy.

5.2 Rozdíly v řízení toku energií ve vozidle

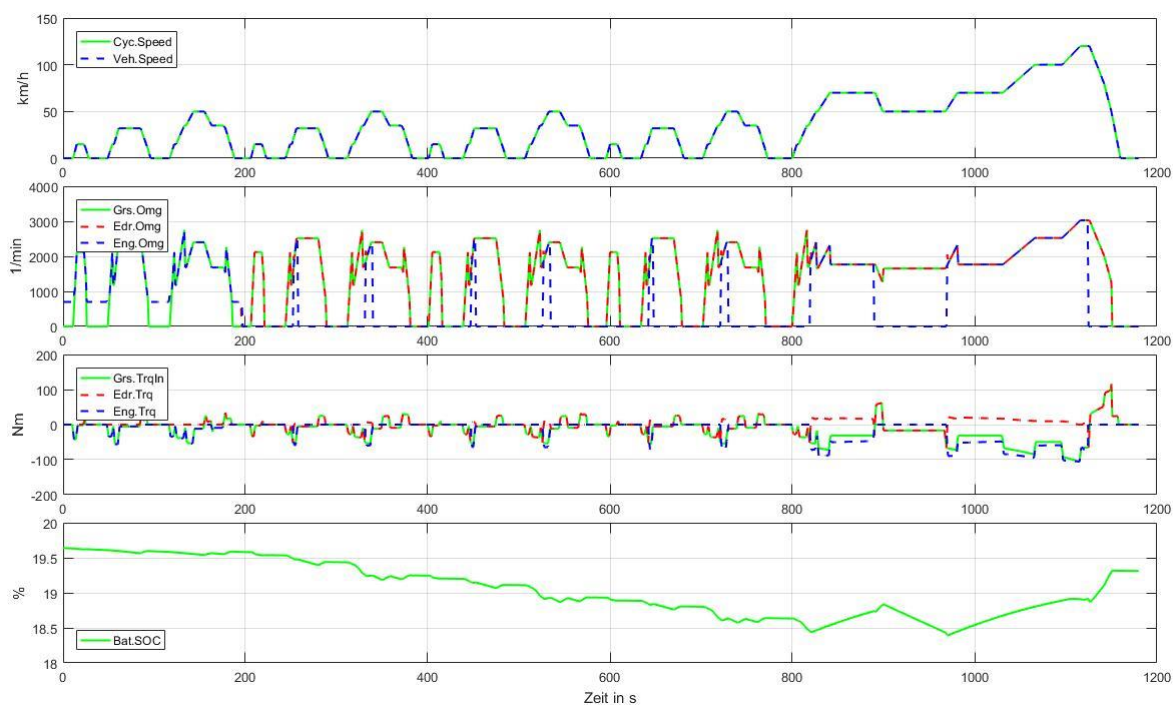
Jedním z výstupů simulace vedle hodnot spotřeb, emisí CO₂ a hodnot jízdních výkonů je záznam časového průběhu hodnot jako jsou otáčky motoru, moment, okamžitá spotřeba paliva, ale také elektrický proud, napětí, a výkon na baterii a výkon elektromotoru. Z těchto hodnot je možné vidět, jak se spalovací motor s elektromotorem podílí na pohonu vozidla.

Z výkonu na baterii, lze při vhodném vyfiltrování součtem získat celkový výkon, který byl do baterie dobit a tento výkon je možné dále rozdělit na výkon dobitý při brždění a dobitý spalovacím motorem. Přehled hodnot za jednotlivé EHV v cyklu NEFZ je v tabulce níže (Tabulka 17).

Tabulka 17: Energie rekuperovaná z brždění v cyklu NEFZ

Typ vozidla	Celkem vyrobená elektrická energie [W]	Z toho rekuperovaná při brždění [W]
ICEV	86 208	-
MHEV	704 930	459 632
FHEV	1 560 826	702 940
PHEV	1 337 875	716 742

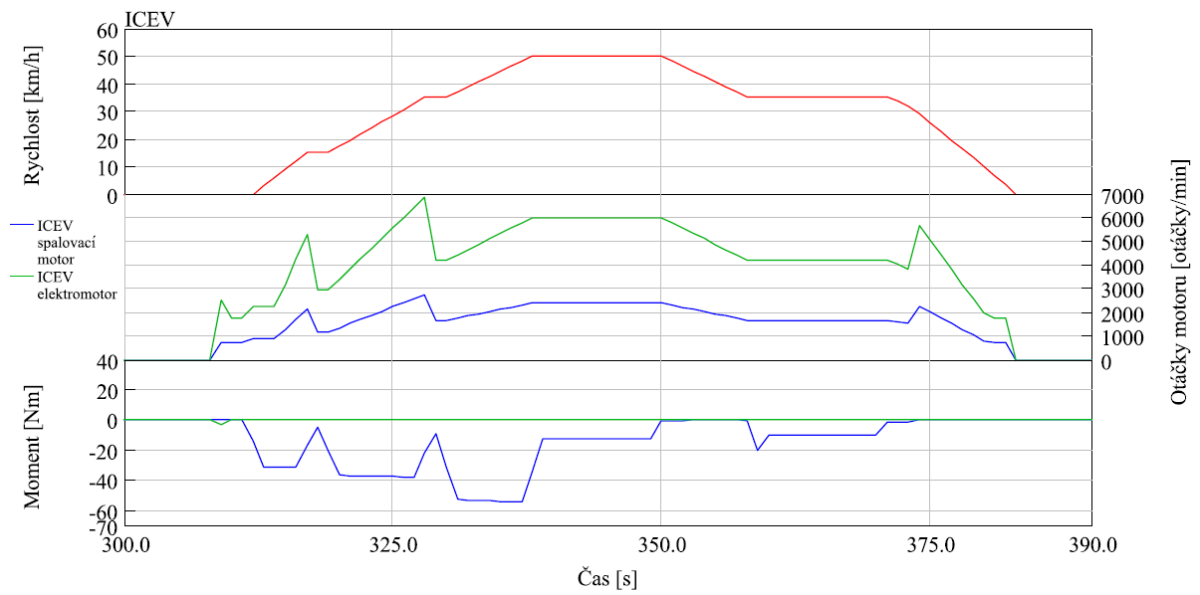
PHEV a FHEV dokázali z brždění získat nejvíce výkonu zpět, což odpovídá také podobnému výsledku úspory na palivu (Tabulka 9). Oproti konvenčnímu vozu PHEV ušetřil 1,73 l/100 km.



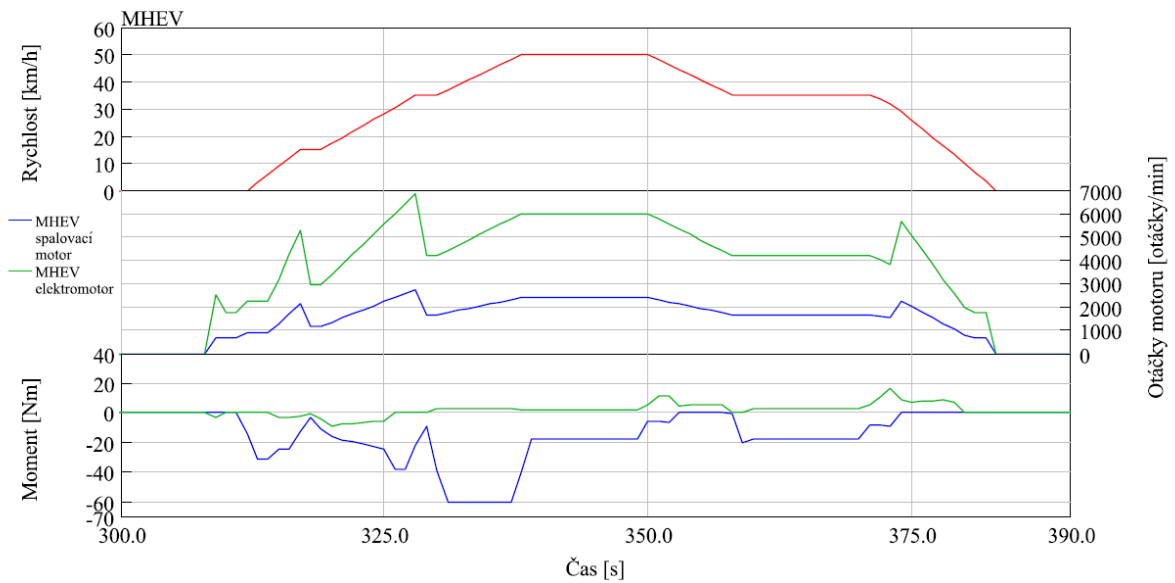
Obrázek 40: PHEV - cyklus NEFZ, průběhy rychlosti, otáček motoru, momentu, a SOC

Vozy PHEV a FHEV byly schopné jet poměrně velkou část cyklu bez spalovacího motoru. Jak je vidět z grafu (Obrázek 40), spalovací motor byl zapnut pouze v prvních 195 vteřinách kvůli ohřátí motoru, v dalších částech cyklu již jen při požadavku na zrychlení a na konci cyklu pro dobíjení baterie ve vysoké rychlosti. Z grafu je patrná rovnováha mezi hodnotami SOC před a po projetí cyklu. Úspory na palivu bylo dosaženo díky vhodné kombinaci silného elektromotoru a kapacitní baterie.

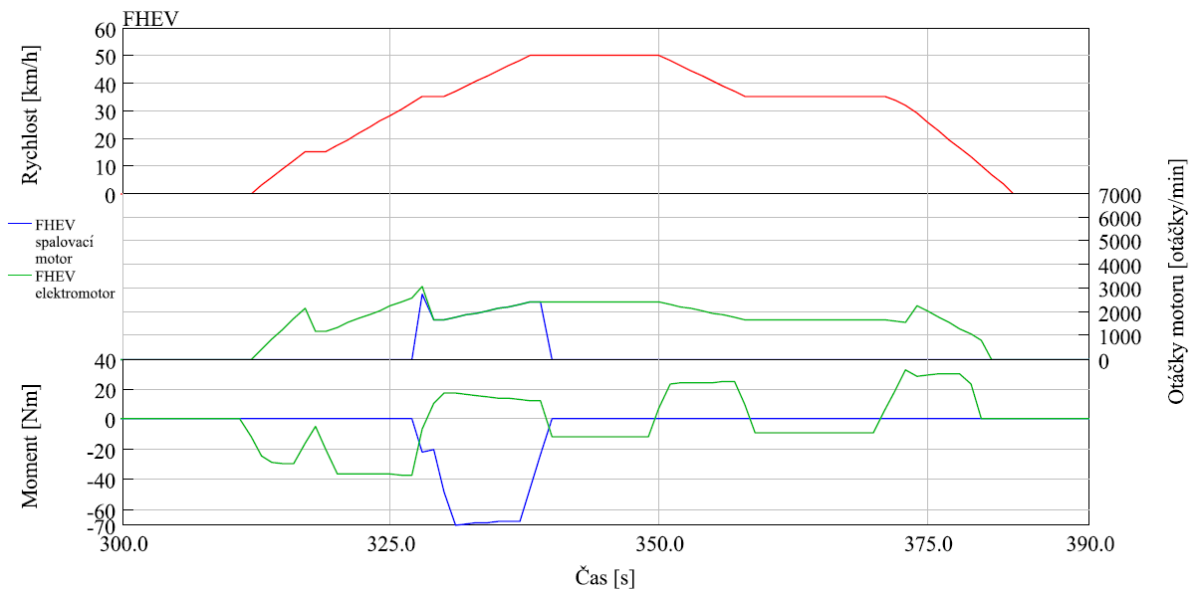
Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem je možné lépe vidět na kratším úseku, například v úseku cyklu NEFZ v čase mezi 300 - 390 vteřin. V první části grafu (Obrázek 41, Obrázek 42, Obrázek 43, Obrázek 44) je zobrazen rychlostní profil vybraného úseku NEFZ, v druhé části jsou otáčky spalovacího motoru a elektromotoru a ve třetí části je moment daného motoru, kde záporný moment znamená pohon vozidla a kladný moment dobíjení (rekuperací, nebo nabíjení spalovacím motorem).



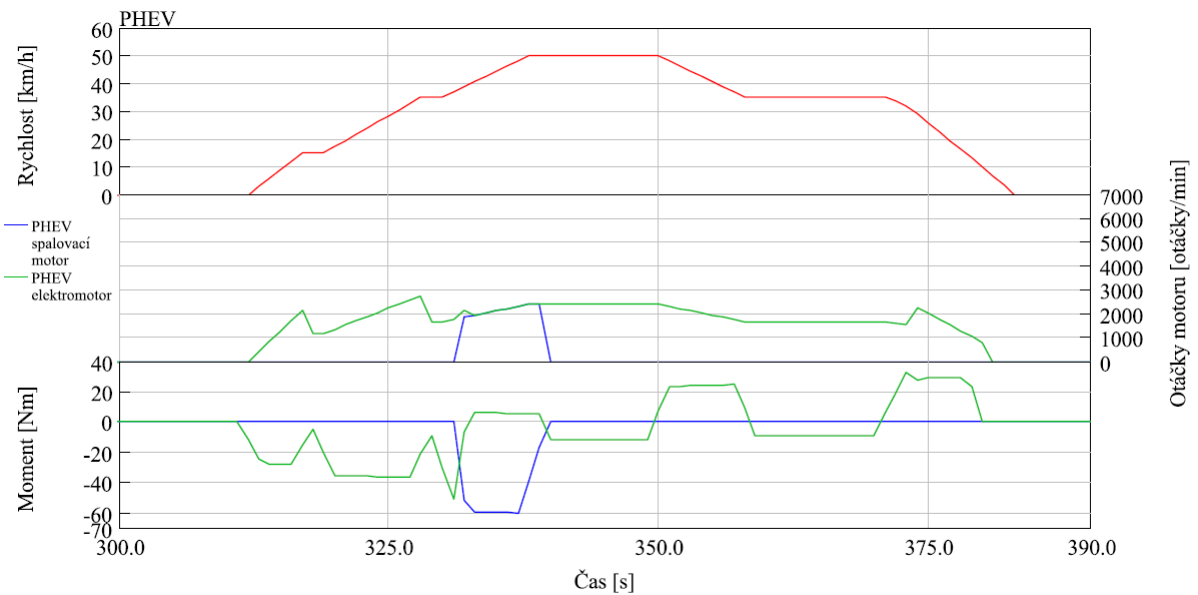
Obrázek 41: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem - ICEV



Obrázek 42: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem - MHEV



Obrázek 43: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem - FHEV



Obrázek 44: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem – PHEV

V grafu je vidět u vozidel PHEV a FHEV zapnutí spalovacího motoru až v poslední části akcelerace a po dosažení nejvyšší rychlosti je opět vypnut.

Závěr

První tři části této práce jsou věnované teorii potřebné k výpočtům jízdních výkonů, spotřeb a emisí CO₂ konvenčních a elektro hybridních vozidel v různých jízdních cyklech (NEFZ, WLTP).

V praktické části této práce bylo provedeno měření, jehož hlavním cílem bylo naměřit reálný jízdní cyklus pro následující simulace a určit vliv stylu jízdy na výslednou spotřebu paliva v cyklu. Naměřená data z jízd byla poté zpracována a byl potvrzen rozdíl ve spotřebě paliva přibližně 1 l/100 km, způsobený především rozdílnou strategií řazení, ale také rozdílným chováním řidičů při akceleraci a deceleraci. Z četností pracovních bodů vykreslených do úplné charakteristiky spalovacího motoru bylo možné potvrdit, že ekonomický řidič jel úsporněji, protože se častěji pohyboval v oblastech s vyšší účinností spalovacího motoru než standardní řidič.

Druhou část praktické části tvořila simulace jízdních cyklů několika vozidel – konvenčního vozidla a tří hybridních vozidel (MHEV, FHEV a PHEV). Bylo sestaveno několik modelů s různou mírou hybridizace, pro které byla následně vypočítána spotřeba paliva a emise CO₂ v několika cyklech (NEFZ, WLTP a dva naměřené cykly). Nejnižší spotřeby a emisí CO₂ dosáhl oproti konvenčnímu vozu Plug-in hybrid s úsporou dle NEFZ 1,73 l/100 km a 40,3 gCO₂/km. Tato úspora je dosažena díky schopnosti vozu rekuperovat brzdovou energii a závisí na parametrech elektromotoru a baterie.

V poslední části práce jsou zdůrazněny hlavní vlivy na spotřebu paliva.

V práci byly použity vysokoškolské učebnice, odborná literatura, odborné články, evropská legislativa a interní dokumenty. Konkrétní údaje o vozidlech nezbytné pro výpočty poskytla společnost ŠKODA Auto a.s.

Tato práce svým rozsahem nedovoluje se zabývat podrobným řízením rozdělení výkonu mezi spalovací motor a elektromotor. Přesto velký potenciál dalších úspor paliva leží právě v této oblasti. Těchto úspor je možné dosáhnout výhodnějším posunutím pracovních bodů spalovacího motoru.

Citovaná literatura

- [1] "Reducing CO2 emissions from passenger cars: Policy", *European Commission: Climate Action*. Brussels.
- [2] F. Vlk, *Dynamika motorových vozidel*, 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003.
- [3] J. First, *Energetická analýza pozemní dopravy*, Vydání 1. elektronické. V Praze: České vysoké učení technické, 2014.
- [4] F. Vlk, *Automobilová technická příručka*, 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003.
- [5] A. Grečenko, *Motory a vozidla*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2004.
- [6] J. LIEBL, *Energiemanagement im Kraftfahrzeug: Optimierung von CO2-Emissionen und Verbrauch konventioneller und elektrifizierter Automobile*, 1 ed. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [7] *Předpis Evropské hospodářské komise OSN (EHK OSN) č. 101 –: Jednotná ustanovení pro schvalování typu osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření emisí oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu, a dále vozidel kategorií M1 a N1 poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu.*, vol. 2012, no. 138. Úřední věstník Evropské unie.
- [8] H. Tschöke, *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs: Basiswissen*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [9] D. Sperling, M. Delucchi, P. Davis and A. Burke, *Future drive: electric vehicles and sustainable transportation*. Washington, D.C.: Island Press, 1995.
- [10] P. Mock, "The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU", p. 20, 2014.
- [11] I. Riemersma and P. Mock, "Too low to be true? How to measure fuel consumption and CO2 emissions of plug-in hybrid vehicles, today and in the future", p. 11, 2017.
- [12] "Fahrzeuglängsdynamik Simulations Programm Dokumentation". VW, Technische Entwicklung EAMG/2, 2015.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Hnací výkon potřebný na překonání jízdních odporů [4]	10
Obrázek 2: Ideální rychlostní charakteristika pohonu vozidla omezená přilnavostí [4]	11
Obrázek 3: Otáčková charakteristika spalovacího motoru [5]	12
Obrázek 4: Diagram F-v pro pětistupňovou převodovku [4]	12
Obrázek 5: Mapa účinností elektromotoru [6]	13
Obrázek 6: Hnací charakteristika vozidla [4]	14
Obrázek 7: Úplná charakteristika spalovacího motoru [4]	15
Obrázek 8: Závislost spotřeby paliva na rychlosti vozidla [6]	16
Obrázek 9: Vliv součinitele přebytku vzduchu a okamžiku vstříku na množství exhalací [4] ..	18
Obrázek 10: MHEV [8]	20
Obrázek 11: Rozdíly mezi paralelním a sériovým hybridem [9]	21
Obrázek 12: Paralelní hybrid [8]	21
Obrázek 13: Sériový hybrid [8]	22
Obrázek 14: REEV [8]	23
Obrázek 15: Sériově-paralelní hybrid [8]	23
Obrázek 16: Hybrid s rozdílným pohonem náprav [8]	24
Obrázek 17: Rychlostní profil NEFZ	26
Obrázek 18: Rychlostní profil WLTP	27
Obrázek 19: Část cyklu - město	31
Obrázek 20: Část cyklu – mimo město	31
Obrázek 21: Část cyklu - dálnice	32
Obrázek 22: Město 1 - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň	33
Obrázek 23: Město 1 - četnosti zařazených stupňů	33
Obrázek 24: Město 2 - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň	34
Obrázek 25: Město 2 - četnosti zařazených stupňů	34
Obrázek 26: Mimo město - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň	35
Obrázek 27: Mimo město - četnosti zařazených stupňů	36
Obrázek 28: Dálnice - rychlost, otáčky motoru, zařazený stupeň	36
Obrázek 29: Dálnice - četnosti zařazených stupňů	37
Obrázek 30: Rychlostní profil cyklu odvozeného z reálných jízd v závislosti na dráze	39
Obrázek 31: Rychlostní profil cyklu odvozeného z reálných jízd v závislosti na čase	39
Obrázek 32: Úplná charakteristika spalovacího motoru použitého v simulaci	41

Obrázek 33: Mapa účinnosti - ICEV	43
Obrázek 34: Mapa účinnosti – MHEV	43
Obrázek 35: Mapa účinnosti – FHEV	44
Obrázek 36: Mapa účinnosti – PHEV	44
Obrázek 37: Pracovní body - souhrn.....	48
Obrázek 38: Pracovní body - město 1	48
Obrázek 39: Město 1 - porovnání spotřeb	50
Obrázek 40: PHEV - cyklus NEFZ, průběhy rychlosti, otáček motoru, momentu, a SOC	51
Obrázek 41: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem - ICEV	52
Obrázek 42: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem - MHEV	52
Obrázek 43: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem - FHEV	53
Obrázek 44: Spolupráce spalovacího motoru s elektromotorem – PHEV	53

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vývoj limitů exhalací [3]	18
Tabulka 2: Město 1 - Základní údaje o měření	33
Tabulka 3: Město 2 - Základní údaje o měření	35
Tabulka 4: Mimo město - Základní údaje o měření.....	36
Tabulka 5: Dálnice - Základní údaje o měření	37
Tabulka 6: Souhrn - zpracování dat z měření.....	38
Tabulka 7: Porovnání výsledku simulace a naměřených spotřeb	41
Tabulka 8: Základní parametry EHV [12]	42
Tabulka 9: Výsledky simulace v cyklu NEFZ.....	45
Tabulka 10: Výsledky simulace v cyklu WLTP	46
Tabulka 11: Výsledky simulace v cyklu - Ekonomický cyklus	46
Tabulka 12: Výsledky simulace v cyklu - Standardní cyklus	46
Tabulka 13: Výpočet jízdních výkonů	47
Tabulka 14: Četnosti pracovních bodů	49
Tabulka 15: Četnost bodů v oblasti s nízkou a vysokou účinností	49
Tabulka 16: Spotřeby v jednotlivých částech cyklu.....	49
Tabulka 17: Energie rekuperovaná z brždění v cyklu NEFZ.....	50

Seznam příloh

Příloha 1 Porovnání pracovních bodů z jízd – standardní a ekonomický řidič