

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Pavel Herman

Návrh přídatného elektrického pohonu pro vozidlo  
s konvenčním pohonem

Bakalářská práce

**2018**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Pavel Herman**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Návrh přídavného elektrického pohonu pro vozidlo s konvenčním pohonem**

Název tématu (anglicky): Proposal of adding an electric drive to a vehicle with a combustion engine

**Zásady pro vypracování**

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

- Vysvětlit pojem hybridní vozidlo a popsat typy hybridních pohonů.
- Popsat a porovnat jízdní cykly NEDC a WLTP.
- Navrhnout přídavný elektrický pohon ke spalovacímu motoru.
- Porovnat vliv navrženého pohonu na spotřebu paliva dle cyklu WLTP a NEDC.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: First, J., Energetická analýza pozemní dopravy, ČVUT v Praze, Praha, 2014, ISBN: 978-80-01-05664-6  
Technická dokumentace vozidla

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Plomer, Ph.D.**  
**Ing. Josef Mík, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **22. června 2017**  
(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: **13. června 2018**  
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.

Pavel Herman  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 22. června 2017

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali nejen při psaní bakalářské práce, ale i během studia. Chtěl bych poděkovat Ing. Janu Plomerovi, Ph.D. za ochotu a velmi cenné rady, které mi velice pomohly během psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mému druhému vedoucímu Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. a Ing. Dmitry Rozhdestvenskiyovi, který mi pomohl zejména s praktickou částí bakalářské práce.

Velké poděkování patří mé rodině a přítelkyni, kteří mi pomohli v těžkých chvílích a podporovali mě při studiu. Dále všem spolužákům z kruhu a oboru, zejména Tomáši Kohoutovi.

## **Prohlášení**

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl 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).

Pavel Herman

V Praze dne .....

.....

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

NÁVRH PŘÍDAVNÉHO ELEKTRICKÉHO POHONU PRO VOZIDLO S KONVENČNÍM  
POHONEM

Bakalářská práce

Květen 2018

Pavel Herman

**Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce „Návrh přídatného elektrického pohonu pro vozidlo s konvenčním pohonem“ je koncepční návrh na úpravu vozidla se spalovacím motorem na vozidlo hybridní a dále porovnání spotřeby paliva před a po úpravě na základě jízdních cyklů NEDC a WLTP. První část práce definuje hybridní vozidla a jejich typy a dále popisuje jednotlivé cykly, NEDC a WLTP. V druhé části práce je samotný návrh přídatného systému a následné porovnání spotřeby paliva dle cyklů.

**Klíčová slova**

HEV, MHEV, NEDC, WLTP, spotřeba paliva, hybridní

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Proposal of an additional electric drive for a conventional vehicle with a combustion engine

Bachelor thesis

May 2018

Pavel Herman

### **Abstract**

The subject of the bachelor thesis „Proposal of an additional electric drive for a conventional vehicle with a combustion engine “is a conceptual proposal for an adjustment of a vehicle with combustion engine to mild hybrid vehicle and a comparison of fuel consumption before and after the adjustment based on drive cycles NEDC and WLTP. The first part of the thesis defines hybrid electric vehicle, types of hybrid vehicles and describes the NEDC and WLTP cycles. The second part of the thesis contains the proposal of an additional system and the comparison of fuel consumption according to the cycles.

### **Keywords**

HEV, MHEV, NEDC, WLTP, fuel consumption, hybrid

## Obsah

Seznam použitých zkratek .....	7
Úvod .....	8
1. Hybridní vozidla .....	10
1.1 Historie hybridních vozidel .....	10
2. Typy hybridních vozidel dle uspořádání motorů .....	11
2.1 Sériový hybrid .....	11
2.2 Paralelní hybrid .....	12
2.3 Kombinovaný hybrid .....	12
3. Typy hybridních vozidel dle funkce elektromotoru .....	14
3.1 Micro Hybrid .....	14
3.2 Mild Hybrid .....	14
3.3 Full Hybrid .....	15
3.4 Plug – in Hybrid .....	15
4. Jízdní cykly NEDC a WLTP .....	16
4.1 NEDC cyklus .....	16
4.1.1 Městská část .....	17
4.1.2 Mimoměstská část .....	19
4.2 WLTP cyklus .....	21
4.2.1 WLTC část .....	21
4.2.2 RDE část .....	25
4.3 Hlavní rozdíly mezi NEDC a WLTP cyklem .....	25
5. Návrh přídavného elektrického pohonu .....	27
5.1 Jízdní režimy MHEV .....	28

6. Porovnání spotřeby paliva .....	30
6.1 Popis vozidel použitých k měření.....	30
6.2 Porovnání NEDC a WLTC cyklů na konvenčním vozidle .....	32
6.3 Porovnání NEDC a WLTC cyklů na MHEV .....	33
6.4 Porovnání spotřeby paliva u konvenčního vozidla a MHEV pomocí NEDC cyklu ...	33
6.5 Porovnání spotřeby paliva u konvenčního vozidla a MHEV pomocí WLTC cyklu ...	35
Závěr .....	38
Použitá literatura.....	40
Seznam obrázků.....	42
Seznam tabulek.....	43



## Seznam použitých zkratek

HEV – Hybrid Electric Vehicle	Hybridní elektrické vozidlo
MHEV – Mild Hybrid Electric Vehicle	Mild hybrid
NEDC – New European Driving Cycle	Nový evropský jízdní cyklus
WLTP – World Harmonized Light Vehicles Test Procedures	Světově harmonizovaná testovací procedura lehkých vozidel
WLTC – World Harmonized Light Vehicle duty Test Cycle	Světově harmonizovaný testovací cyklus lehkých vozidel
RDE – Real Driving Emission	Emise v reálném provozu
LPG – Liquefied Petroleum Gas	Zkapalněný ropný plyn
CNG – Compressed Natural Gas	Stlačený zemní plyn
EU – European Union	Evropská unie
EPA – Environmental Protection Agency	Organizace pro životní prostředí
VW – Volkswagen	

## Úvod

V poslední době dochází ke zpřísnování emisních limitů. EU chce zpřísnit emisní podmínky pro vozidla hned z několika důvodů. Jedním z hlavních důvodů je kvalita ovzduší. Automobily díky výfukovým plynům výrazně přispívají k zhoršení klimatických podmínek a k znečišťování ovzduší. Automobilky musí splňovat tzv. Euro normy, které definují emisní hodnoty. Snaha o snížení emisních hodnot úzce souvisí i se spotřebou paliva automobilu. Automobilky měřily emise a spotřebu paliva pomocí NEDC cyklu a vzhledem k velkým rozdílům mezi naměřenými hodnotami v laboratořích a skutečnými hodnotami v běžném provozu vznikl WLTP cyklus. Dalším důvodem zpřísnování podmínek homologace vozidel je rapidní úbytek ropy. Jedná se o vyčerpateľnou surovinu, a proto by se s ní mělo nakládat mnohem více obezřetněji, což si výrobci vozidel už také uvědomují.

Automobilky za účelem splnění Euro norem vyvíjejí nové typy pohonů. Vozidla se spalovacím motorem mají čím dál větší potíže vyhovět těmto přísnějším podmínkám, a to má za důsledek vývoj alternativních pohonů. Alternativní náhradou za běžný benzín nebo naftu, které budou pohánět naše vozidla, by mohl být vodík, LPG plyn, biopaliva nebo elektřina. Pohon na vodík má velikou perspektivu, nabízí velkou energetickou účinnost a zároveň je velice šetrný k přírodě. Ovšem potřebuje speciální vodíkové čerpací stanice a ty zatím naše infrastruktura nenabízí v potřebné míře.

Automobilky se snaží za účelem snížení emisí a spotřeby paliva najít rozumné a cenově dostupné řešení. I přes neustálý vývoj zůstává právě spalovací motor nejčastější pohonné ústrojí vozidel, a tak vznikají automobily, ke kterým se přidá druhý alternativní pohon nejčastěji elektromotor. Tato vozidla se nazývají hybridní. Hybridní vozidla se přitom snaží kombinovat přednosti jednotlivých pohonů.

Cílem této práce je najít řešení, které bude výhodné jak pro výrobce, tak pro uživatele. Pro výrobce ve smyslu zachování výkonnosti vozidla, cenových nákladů na výrobu a zároveň splnění emisních limitů. Z pohledu uživatele tedy řidiče, by měla být zachována cenová dostupnost vozu a jízdní komfort. Jedním z mnoha řešení je přidání elektromotoru do konvenčního vozidla a tím vznikne hybridní elektrické vozidlo (HEV). Elektromotor bude vypomáhat spalovacímu motoru pouze v určitých situacích. Nebude se tak jednat o tzv. Plug-in hybrid s velkým dojezdem v čistě elektrickém režimu, ale o tzv. Mild Hybrid (MHEV). Návrhem přídatného elektrického systému pro konkrétní vozidlo se zabývá tato bakalářská práce. Výstupem bakalářské práce bude porovnání spotřeby paliva konvenčního vozidla a MHEV v již nepoužívaném cyklu NEDC a novém cyklu WLTC.

První kapitola definuje pojem HEV a ve stručnosti popisuje jejich vývoj. Následující kapitola se zabývá jednotlivým typům HEV a jejím rozdělením. Další kapitola se věnuje testovacím procedurám NEDC a WLTP, na základě kterých musí vozidla splňovat předepsané hodnoty, aby mohla být schválena do provozu. Pátá část práce popisuje samotný návrh přestavby konvenčního vozidla na MHEV a v poslední kapitole se porovnává spotřeba paliva před a po úpravě dle NEDC a WLTP cyklu.

# 1. Hybridní vozidla

Hybridní pohon u dopravních prostředků představuje kombinaci více zdrojů energie pro pohon. Jednotlivé pohony využívají výhody, které daný zdroj energie nabízí. Nejznámějším a zároveň nejpoužívanějším spojením dvou pohonů je kombinace elektromotoru a spalovacího motoru. Tento typ pohonu se objevuje nejen u automobilů, ale i u trolejbusů či diesel-elektrických lokomotiv. Mohou se kombinovat i jiné zdroje energie, např. lidská energie s elektrickou a na základě spojení těchto dvou zdrojů energií fungují elektrokola.

## 1.1 Historie hybridních vozidel

První hybrid, který byl vynalezen na konci 19. stol. se nazýval Mixte. Byl poháněn elektromotory a spalovací motor nabíjel baterie přes dynamo. Toto vozidlo dosahovalo účinnosti neuvěřitelných 83 % (pouze účinnost elektromotoru). Později se díky cenové dostupnosti ropy stal dominantou spalovací motor a hybridní systémy přestaly být tolik atraktivní. [1]

Postupem času, ve druhé polovině 60. let, docházelo čím dál více k znečišťování přírody způsobené spalovacími motory a v roce 1973 přispěla k rozvoji hybridních automobilů také ropná krize. Největším problémem byly těžké baterie a prvním, kdo se začal tímto problémem zabývat, byl Viktor Wouk. Viktor Wouk, nazýván „kmotrem hybridů“, je považován za průkopníka HEV.[1]

I přes přísné podmínky na splnění emisí se mu podařilo vyrobit hybridní automobil, ale ten se nakonec neujal. Díky EPA (Organizace pro životní prostředí) došlo k pozastavení vývoje HEV až do roku 1997, kdy vyšla první sériově vyráběná verze Toyoty Prius. V konkurenci dalších automobilek, které se snažily uchytit v oblasti hybridních automobilů, to byla právě japonská Toyota, která se stala průkopníkem HEV. [3]

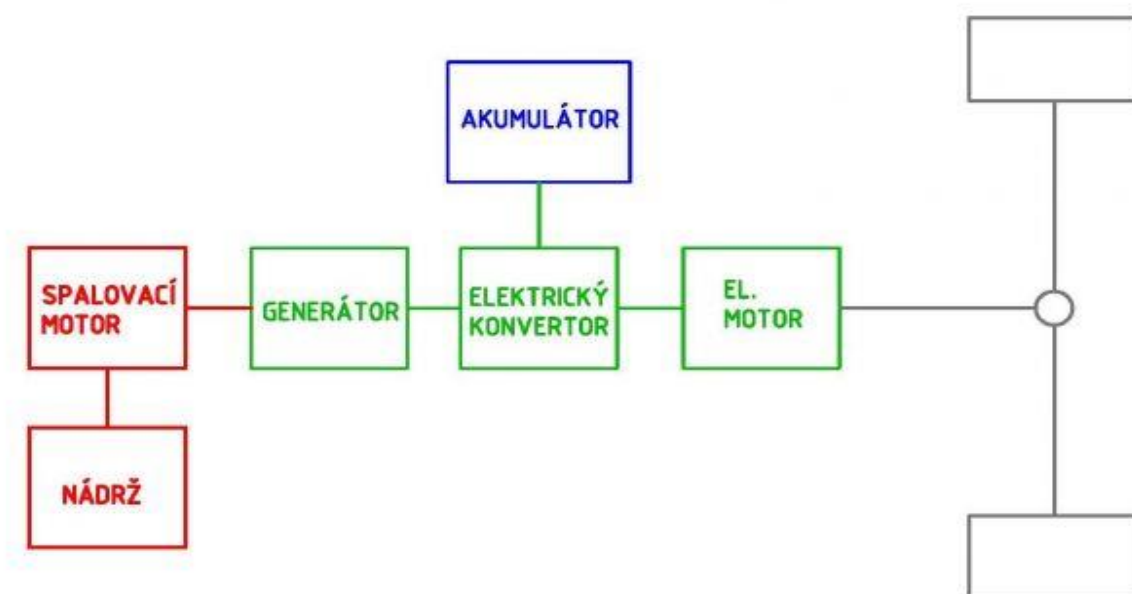
## 2. Typy hybridních vozidel dle uspořádání motorů

Za dobu vývoje hybridních automobilů vzniklo několik druhů pohonu. Základní rozdělení HEV je podle uspořádání spalovacího motoru a elektromotoru. Podle tohoto uspořádání dělíme HEV na sériový, paralelní nebo kombinovaný hybrid.

### 2.1 Sériový hybrid

U sériových HEV je zapojení spalovacího motoru a elektromotoru sériové, tudíž za sebou. Spalovací motor pohání generátor střídavého proudu a proud se dodává přes inverter do akumulátoru. Zapojení tohoto typu je zobrazeno na obrázku 1. Sériové zapojení se vedle automobilů používá také u diesel – elektrických lokomotiv. [4]

Spalovací motor se nastaví do optimálních otáček, při kterých má největší účinnost a funguje pouze jako generátor elektrické energie. O pohon celého vozidla se stará pouze elektromotor. Při vyšší potřebě výkonu si elektromotor může odebrat energii přímo z generátoru.

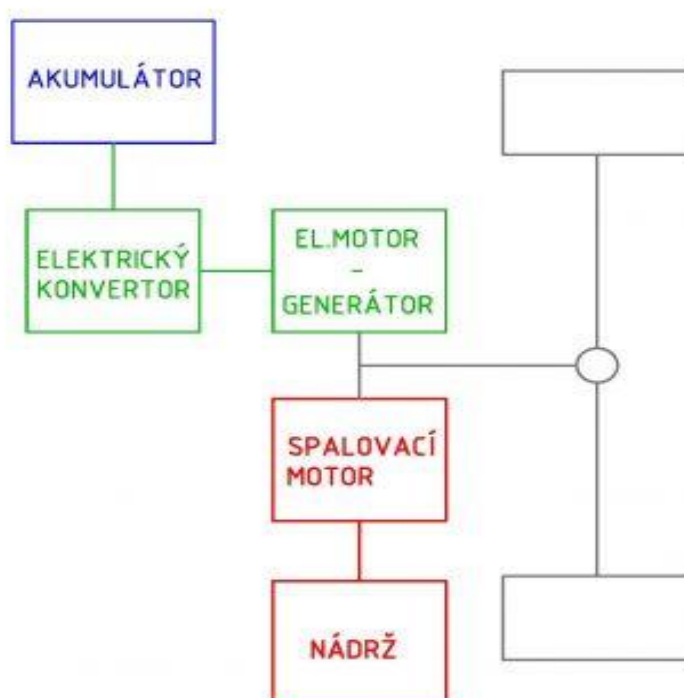


Obrázek 1: Sériové zapojení [18]

Výhodou sériového hybridu je absence klasické převodovky. Další kladná stránka tohoto zapojení je vysoká účinnost pohonu v městských podmínkách nebo nízká spotřeba paliva díky nastavení jednotných optimálních otáček spalovacího motoru. Naopak nevýhoda je vyšší hmotnost a zároveň i cena automobilů. Toto zapojení není vhodné na dálniční a dálkový provoz, protože má horší celkovou účinnost při konstantních rychlostech. [4]

## 2.2 Paralelní hybrid

Paralelní hybridní vozidla mají zapojený spalovací motor a elektromotor vedle sebe. Hlavní pohon tvoří spalovací motor s klasickou převodovkou, který je mechanicky připojen na nápravu. Je také možné využít k pohonu vozidla oba motory současně. U paralelního hybridu vytváří elektromotor a generátor samostatnou jednotku. Spalovací motor může být použit na pohon vozidla nebo na generování elektřiny skrze generátor. Toto zapojení, které je vyobrazeno na obrázku 2, dominuje na trhu HEV. [4]

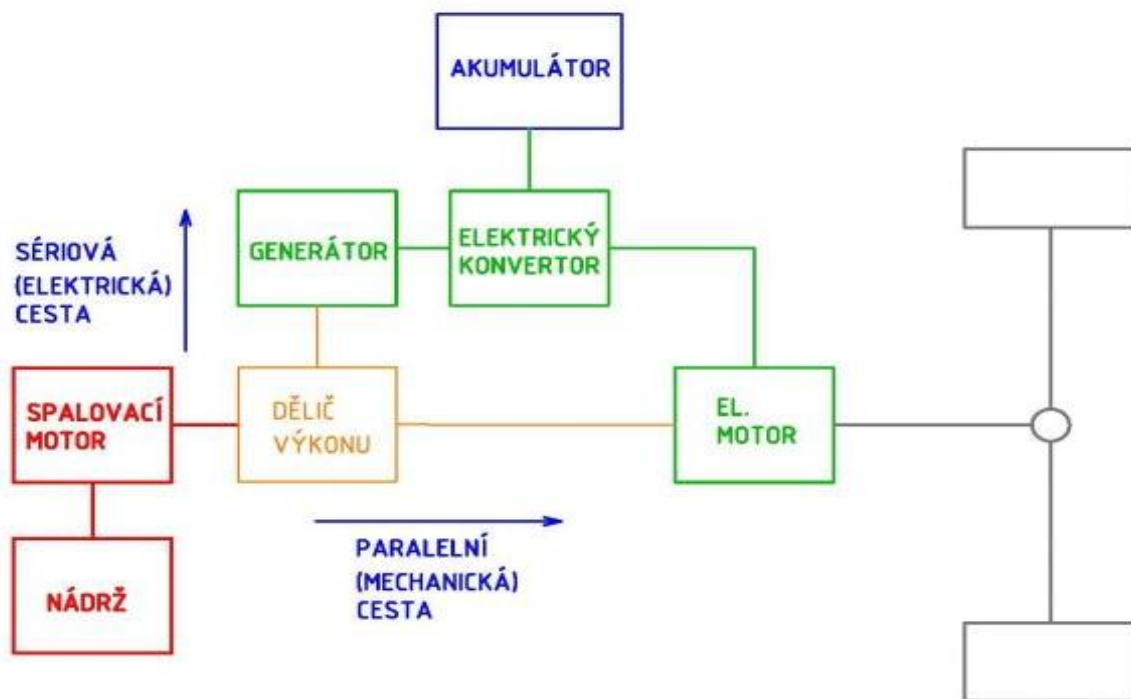


Obrázek 2: Paralelní zapojení [18]

Výhodou paralelního zapojení je vysoká účinnost na dlouhých vzdálenostech a při vyšších rychlostech. [4]

## 2.3 Kombinovaný hybrid

Technicky nejkomplikovanější je zapojení kombinované, které vzniklo spojením sériového a paralelního zapojení. V tomto případě se o pohon může starat pouze spalovací motor, elektromotor nebo oba motory současně. Elektromotor je schopen běžet samostatně i při vyšších rychlostech. Je vybaven děličem výkonu, který zajišťuje tok energie mechanickou (paralelní hybrid) nebo elektrickou (sériový hybrid) cestou. Kombinované zapojení u vozidla se nachází na obrázku 3. [4]



Obrázek 3: Kombinované zapojení [18]

Výhodou jsou různé jízdní režimy, kdy vozidlo pohání jenom elektromotor. Kromě toho nemusí být spalovací motor tak výkonný, protože ho doplňuje elektromotor. Nevýhodou je složitost celé konstrukce a vysoká pořizovací cena. [4]

### **3. Typy hybridních vozidel dle funkce elektromotoru**

Dle úlohy elektromotoru rozlišujeme další typy HEV, a to Micro Hybrid, Mild Hybrid, Full Hybrid nebo Plug-in Hybrid. Tyto označení v různých podobách používají zejména automobilky.

#### **3.1 Micro Hybrid**

Micro Hybrid je technicky nejjednodušší druh pohonu HEV. Jedná se o automobil, který je vybaven systémem Start – Stop a v dnešní době je doplněn i o rekuperaci brzděné energie. Automobil je poháněn pouze pomocí spalovacího motoru. Systém Start – Stop umožňuje častější startování a zhasínání motoru bez zásahu řidiče. Díky tomuto systému je potřeba vybavit automobil větším akumulátorem a silnějším startérem. [6]

Systém Start – Stop má své využití zejména v městském provozu, protože se v něm často stojí na křižovatkách. Jedním z hlavních důvodů, proč automobilky začaly implementovat tento systém, je i zkoušení emisí a spotřeby paliva pomocí cyklu NEDC, ve kterém vozidlo spoustu času stálo. Díky tomuto systému došlo ke snížení naměřených hodnot. Téměř každé vozidlo, které opustí výrobní linku automobilek obsahuje systém Start – Stop i přesto, že to má negativní vliv na samotný spalovací motor, akumulátor nebo startér.

Rekuperace brzděné energie slouží při deceleraci k ukládání energie do akumulátoru. Novější modely vozidel s tímto systémem dokáží vypnout motor během jízdy vyšší rychlostí, a i přesto zůstanou všechny posilovače v provozu. [6]

#### **3.2 Mild Hybrid**

U MHEV k pohonu slouží výhradně spalovací motor, vozidlo není schopno se pohybovat pouze pomocí elektromotoru. Elektromotor se využívá v situacích, kdy je chod spalovacího motoru nevýhodný, což je například při rozjezdech. Elektromotor může být také zapínám při jízdě konstantní rychlostí, neboť jeho výkon je dostatečný. MHEV bývají většinou vybaveny systémem rekuperace brzděné energie. Hlavním přínosem MHEV je to, že spalovací motor nemusí být tak výkonný, protože při náhlé potřebě vyššího výkonu se aktivuje elektromotor a dodá výkon spalovacímu motoru. Hlavním důvodem implementace MHEV je snížení spotřeby zejména v městském provozu. V budoucnu se budou MHEV využívat hlavně s 48 V elektrickou soustavou. [6]



### **3.3 Full Hybrid**

Full Hybrid je vozidlo, které obsahuje spalovací motor a samostatný elektromotor. Elektromotor má dostatečně velký výkon na to, aby se vozidlo mohlo pohybovat pouze na elektrický pohon. Díky tomuto druhu pohonu je potřeba vybavit vozidlo akumulátorem s dostatečnou kapacitou, což může být nákladné. Vozidlo má několik režimů, při kterých si řidič vybírá, zda se chce pohybovat pomocí spalovacího nebo elektrického pohonu. V městském provozu má automobil na elektrický pohon lokálně nulové emise. Na druhou stranu, díky náročnosti konstrukce těchto vozidel, je pořizovací cena podstatně vyšší a díky akumulátorům naroste i celková hmotnost vozidla. [7]

### **3.4 Plug-in Hybrid**

Automobil s označením Plug-in je schopen dobít akumulátor ze sítě pomocí elektrického kabelu. Díky dobíjení akumulátoru se zvyšuje dojezdová dráha na elektrický pohon. Postupem času, díky odlišným zásuvkám dobíjecích stanic, došlo ke sjednocení těchto zásuvek. [8]

Nabíjení akumulátorů je do jisté míry velký problém. I přes velký vývojový posun nejsou vozidla schopna dobít akumulátor za přibližně stejný čas, jako je doba potřebná při natankování pohonných hmot do vozidla. Vznikají rychlo-nabíjecí stanice, které dokážou nabít akumulátor za necelou hodinu, ovšem stále je tato doba příliš dlouhá pro daleké cesty. Velkou perspektivou jsou bezkontaktní nabíjecí stanice. Jedná se o podložku s cívkou, na kterou vozidlo přesně najede. Elektrický proud je přenášen přes adaptér, umístěný na vozidle, do akumulátorů. Tento proces zvýší komfort dobíjení automobilů.

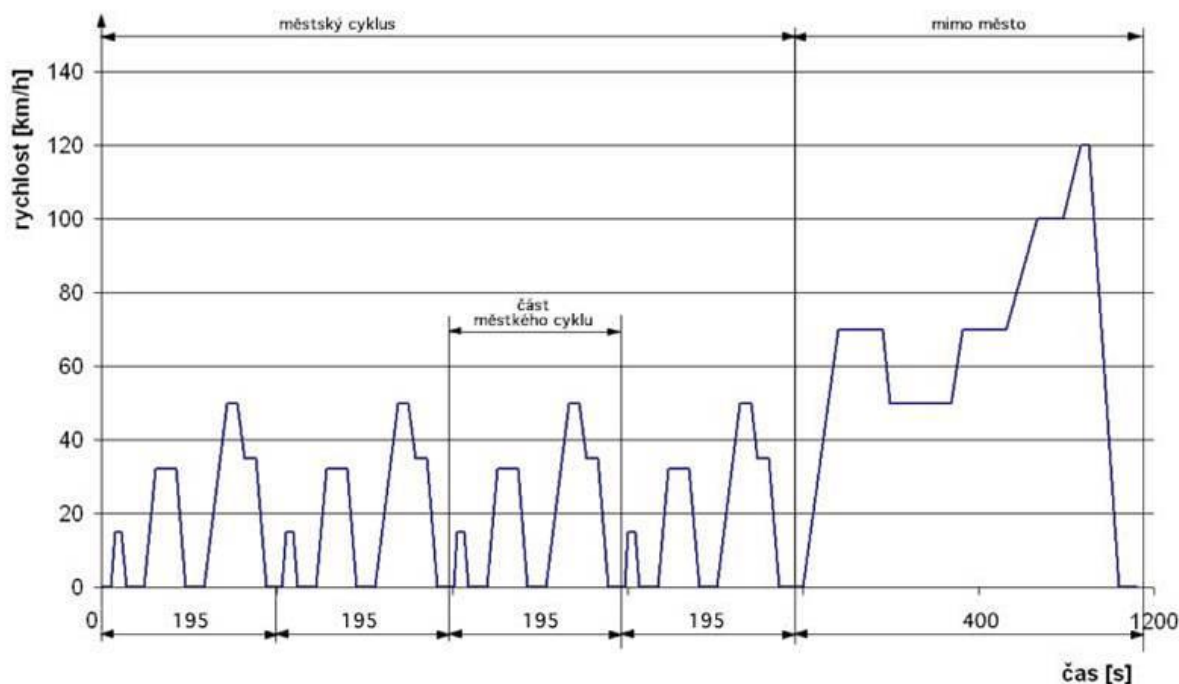
## 4. Jízdní cykly NEDC a WLTP

Každý nový automobil, než se dostane na trh, má naměřené emisní hodnoty, tak aby splnil předepsané Euro normy a zároveň má určitou spotřebu paliva. K zjištění těchto údajů sloužilo laboratorní testování NEDC (New European Driving Cycle) a dnes se vozidla homologují podle WLTP (World Harmonized Light Vehicles Test Procedures) procedury. Důvodů přechodu z jednoho cyklu na druhý je hned několik. Jednou z hlavních příčin změny cyklu je velký rozdíl mezi naměřenou hodnotou v laboratoři a skutečnou hodnotou v reálném provozu. Dalším problémem je neschopnost reagovat na vývoj automobilů a původní cyklus NEDC se tak stal poněkud zastaralý, protože nedocházelo k jeho inovaci.

První měření emisí bylo zaváděno na přelomu šedesátých a sedmdesátých let dvacátého století. Testování vozidel bylo simulováno v městském provozu a měřily se pouze znečišťující látky. Teprve v roce 1997 se k městské části přidala mimoměstská část a toto testování se nazvalo NEDC. V roce 2007 se přišlo s nápadem, udělat světově harmonizovaný cyklus pro testování lehkých vozidel. Hlavním aspektem bylo sjednocení homologace vozidel na světovém trhu. O rok později skupina WLTP uspořádala na toto téma první schůzi, které se zúčastnili členové z Asie, Evropy i Severní Ameriky. Roku 2010 odstoupila USA z projektu WLTP a tím pádem se WLTP nemohl stát celosvětovým harmonizovaným testováním vozidel. V roce 2015 EU přijala WLTP cyklus a od září roku 2017 se testují vozidla právě podle WLTP cyklu. [9]

### 4.1 NEDC cyklus

Již zastaralý NEDC cyklus slouží k zjišťování emisí a spotřeby paliva. Testování vozidel probíhá v laboratořích na válcích. Zkušební řidič akceleruje a deceleruje podle přesně stanovených předpisů. Jelikož jízdu provádí člověk, není teoreticky možné naměřit dvakrát po sobě stejné hodnoty, což je velice subjektivní testování. Řazení na jiný rychlostní stupeň je u NEDC procedury přesně dané. Tato metoda simuluje dva typy provozu, městský a mimoměstský, které jsou zobrazeny na obrázku 4. Doba cyklu je 1180 sekund a vozidlo najede během měření přibližně 11,03 km. [10]

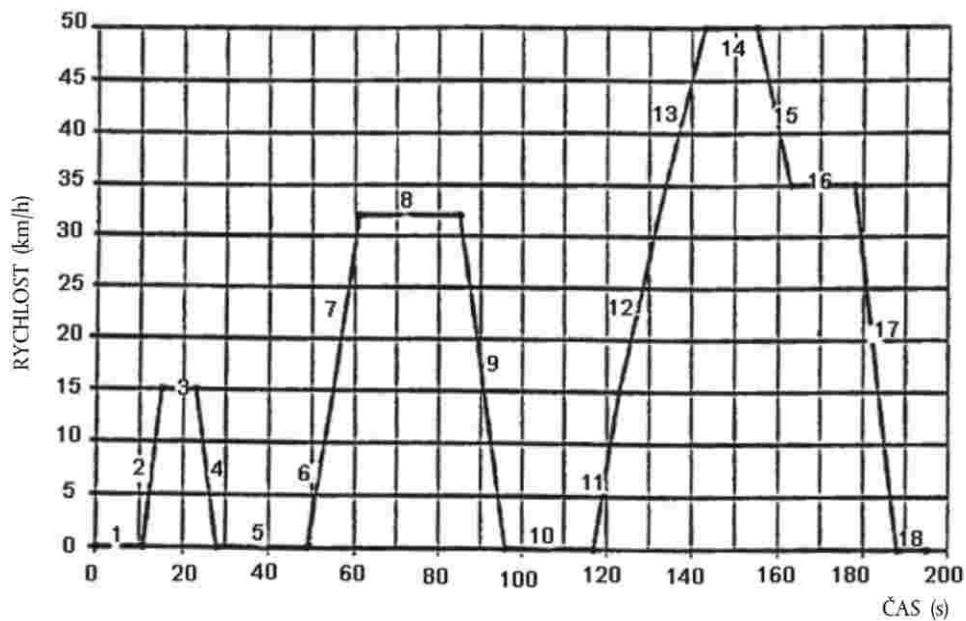


Obrázek 4: Rychlostní profil NEDC cyklu [19]

Měření se provádí v rozmezí 20–30 °C a vozidlo musí mít najeto více jak 3000 km. Při počítání hmotnosti, podle které se mimo jiné nastavuje i dynamometr, se vychází z hmotnosti prázdného vozidla zvětšené o 100 kg. [11]

#### 4.1.1 Městská část

Městská část je složená z cyklu, který se čtyřikrát po sobě opakuje. Jeden cyklus trvá 195 sekund, tudíž celkově je městská část dlouhá 780 sekund a automobil během ní ujede dohromady 4067 m. Vozidlo postupně zrychluje na 15 km/h a zpomalí do zastavení. Poté akceleruje na 32 km/h a deceleruje do zastavení, nakonec zrychlí na 50 km/h a postupně snižuje rychlost na 0 km/h. Průměrná rychlost během jednoho cyklu je 18.7 km/h. Podrobný popis cyklu je popsán tabulkou 1 a obrázkem 5. [11]



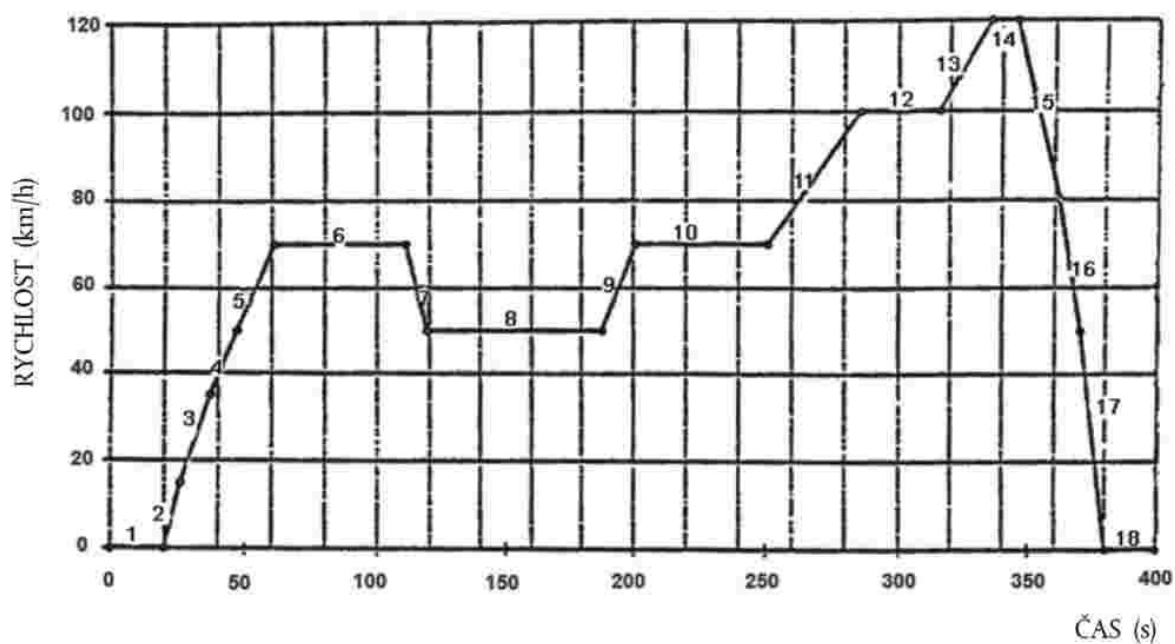
Obrázek 5: Městský cyklus [11]

Tabulka 1: Městský cyklus [11]

Operace č.	Typ operace	Rychlost [km/h]	Čas celkem [s]
1	Stání	0	11
2	Zrychlení	0–15	15
3	Konstantní rychlost	15	23
4	Zpomalení	15–0	28
5	Stání	0	49
6	Zrychlení	0–15	55
7	Zrychlení	15–32	61
8	Konstantní rychlost	32	85
9	Zpomalení	32–0	96
10	Stání	0	117
11	Zrychlení	0–15	123
12	Zrychlení	15–35	134
13	Zrychlení	35–50	143
14	Konstantní rychlost	50	155
15	Zpomalení	50–35	163
16	Konstantní rychlost	35	178
17	Zpomalení	35–0	188
18	Stání	0	195

### 4.1.2 Mimoměstská část

Mimoměstský cyklus trvá 400 sekund a vozidlo během něj najede 6956 m. Automobil postupně zrychluje na 70 km/h, poté zpomalí na rychlost 50 km/h, kterou jede 69 vteřin. Následně nepravidelně akceleruje na rychlost 120 km/h a deceleruje do zastavení. Průměrná rychlost vozidla při mimoměstském cyklu je 62,6 km/h. Podrobný popis mimoměstského cyklu se nachází na obrázku 6 doplněný tabulkou 2. [11]



Obrázek 6: Mimoměstský cyklus [11]

Tabulka 2: Mimoměstský cyklus [11]

Operace č.	Typ operace	Rychlost [km/h]	Čas celkem [s]
1	Stání	0	20
2	Zrychlení	0–15	26
3	Zrychlení	15-35	37
4	Zrychlení	35-50	47
5	Zrychlení	50-70	61
6	Konstantní rychlost	70	111
7	Zpomalení	70-50	119
8	Konstantní rychlost	50	188
9	Zrychlení	50-70	201
10	Konstantní rychlost	70	251
11	Zrychlení	70-100	286
12	Konstantní rychlost	100	316
13	Zrychlení	100-120	336
14	Konstantní rychlost	120	346
15	Zpomalení	120-80	362
16	Zpomalení	80-50	370
17	Zpomalení	50-0	380
18	Stání	0	400

U NEDC cyklu má velký vliv systém Start – Stop, protože vozidlo 23 % z celkové doby stojí, což vede ke zlepšení výsledků. Negativní vliv na odlišnost naměřené a reálné hodnoty může být způsoben také tím, že je dovolena tolerance od rychlostního profilu až 2 km/h. Testování stačí provést pouze na jedné modelové řadě automobilů, tj. například na automobilu bez nadstandardní výbavy, např. klimatizace, a hodnoty se uvádí pro všechna vozidla v dané modelové řadě stejné. Nejen tyto nepřesnosti vedly k zavedení nového cyklu WLTP. [9]

## 4.2 WLTP cyklus

WLTP procedura, náhrada za NEDC cyklus, by měla přiblížit naměřené hodnoty spotřeby paliva k těm reálným. WLTP cyklus se skládá z WLTC (World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle) a RDE (Real Driving Emission) části. Nový systém testování automobilů platí od září roku 2017 pro všechna nově homologovaná vozidla a v září 2018 se bude týkat všech vozidel, která budou nově registrována. Posledním krokem je postupná implementace RDE části ve dvou krocích. V prvním kroku se vztahuje na nově homologovaná vozidla od září 2017 s tzv. faktorem shody 2,1. Jedná se o faktor, který zvýhodňuje vozidla vůči WLTC části. Druhým krokem bude snížení faktoru shodnosti na 1,0 v roce 2020 pro nová vozidla. [12]

Princip WLTP procedury spočívá v tom, že vozidlo projde WLTC testováním, které probíhá v první části podobně, jako u NEDC, v laboratořích. Poté vozidlo bude podrobena druhé části zkoušky RDE. Jedná se o jízdu vozidla v reálném provozu. Naměřené hodnoty ve WLTC a RDE části se porovnávají a neměly by se od sebe příliš lišit.

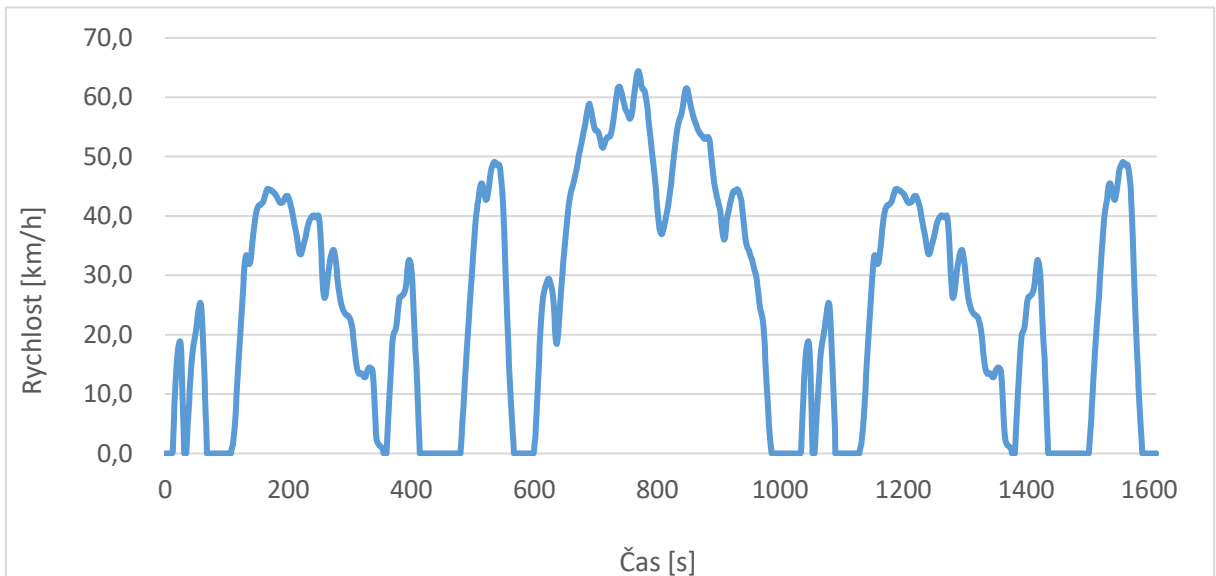
### 4.2.1 WLTC část

Nové testování vozidel je mnohem náročnější, než tomu bylo u NEDC cyklu. Pro nastavení dynamometru se počítá s hmotností vozidla zvětšené o 275 kg (75 kg řidič a 200 kg náklad). Teplota při WLTC je předepsána na 23 °C, ale bude snížena na 14 °C, protože se více přibližuje průměrné teplotě v Evropě. Motor automobilu musí mít najeto mezi 3000–15000 km a změna rychlostního stupně je pro každé vozidlo přesně definována. Vozidla jsou rozdělena do tří kategorií na základě poměru výkonu a hmotnosti. Dalším parametrem třídění je maximální rychlost. Každá kategorie má své specifické zatížení vozidel v různých režimech (nízký, střední, vysoký a extra vysoký). [13]

První kategorie obsahuje vozidla s výkonovou hmotností menší nebo rovnou 22 W/kg. Vozidla jsou podrobena zkoušce nejprve v nízkém zatížení, poté ve středním a nakonec opět v nízkém režimu. Celá zkouška trvá 1611 sekund a ujede se přitom 11428 metrů. Maximální rychlost automobilu během testu v první kategorii je 64,4 km/h. Detailní parametry jednotlivých fází jsou popsány v tabulce 3. Průběh rychlosti vozidla v čase je zobrazena na obrázku 7. [14]

Tabulka 3: První kategorie – parametry jednotlivých fází [14]

Fáze	Čas [s]	Čas stání [s]	Ujetá vzdálenost [m]	Max. rychlost [km/h]
Nízká	589	154	3330	49,1
Střední	433	48	4768	64,4
Nízká	589	154	3330	49,1
Celkem	1611	356	11428	



Obrázek 7: První kategorie – průběh rychlosti

Do druhé kategorie spadají vozidla, jejichž poměr výkonu a hmotnosti se pohybuje v intervalu od 22 do 34 W/kg. Vozidla jsou postupně zatížená ve čtyřech režimech, v nízkém, středním, vysokém a extra vysokém. Automobil při testu ujede 22649 metrů za 1800 sekund. Vybrané parametry všech fází jsou uvedeny v tabulce 4. Vozidlo dosáhne během testu rychlosti až 123,1 km/h. Podrobnější průběh rychlosti je obsažen na obrázku 8. [14]

Tabulka 4: Druhá kategorie – parametry jednotlivých fází [14]

Fáze	Čas [s]	Čas stání [s]	Ujetá vzdálenost [m]	Max. rychlost [km/h]
Nízká	589	155	3101	51,4
Střední	433	48	4737	74,7
Vysoká	455	30	6792	85,2
Extra vysoká	323	7	8019	123,1
Celkem	1800	240	22649	





Obrázek 8: Druhá kategorie – průběh rychlosti

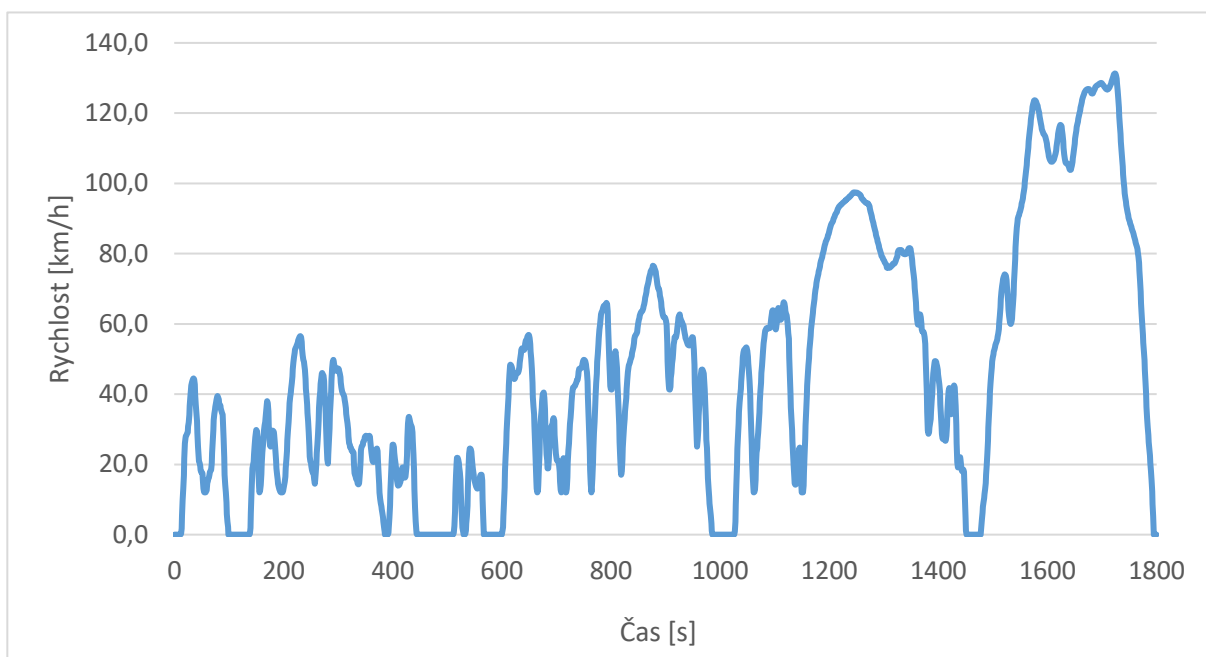
V třetí kategorii jsou obsažena všechna vozidla s výkonovou hmotností vyšší než 34 W/kg. Je to většina vozů, které běžně známe z provozu na pozemních komunikacích. Tato kategorie je dále rozdělena na dvě podkategorie podle maximální rychlosti vozidel. První podkategorie 3a obsahuje automobily s maximální rychlostí menší než 120 km/h a do druhé podkategorie 3b patří vozidla, která přesahují maximální rychlost 120 km/h. Obě tyto podkategorie jsou testovány na základě čtyř fází, podobně jako u druhé kategorie. Nízká a extra vysoká fáze jsou u obou podtříd shodné a nepatrně se liší ve středním a vysokém zatížení. Doba zkoušky vozidel u 3a i 3b podtřídy je 1800 sekund a minimální rozdíly rychlosti a ujeté vzdálenosti jsou patrné z obrázků 9 a 10 a také z tabulek 5 a 6, které zobrazují určité vlastnosti obou podkategorií. [14]

Tabulka 5: Třetí kategorie 3a – parametry jednotlivých fází [14]

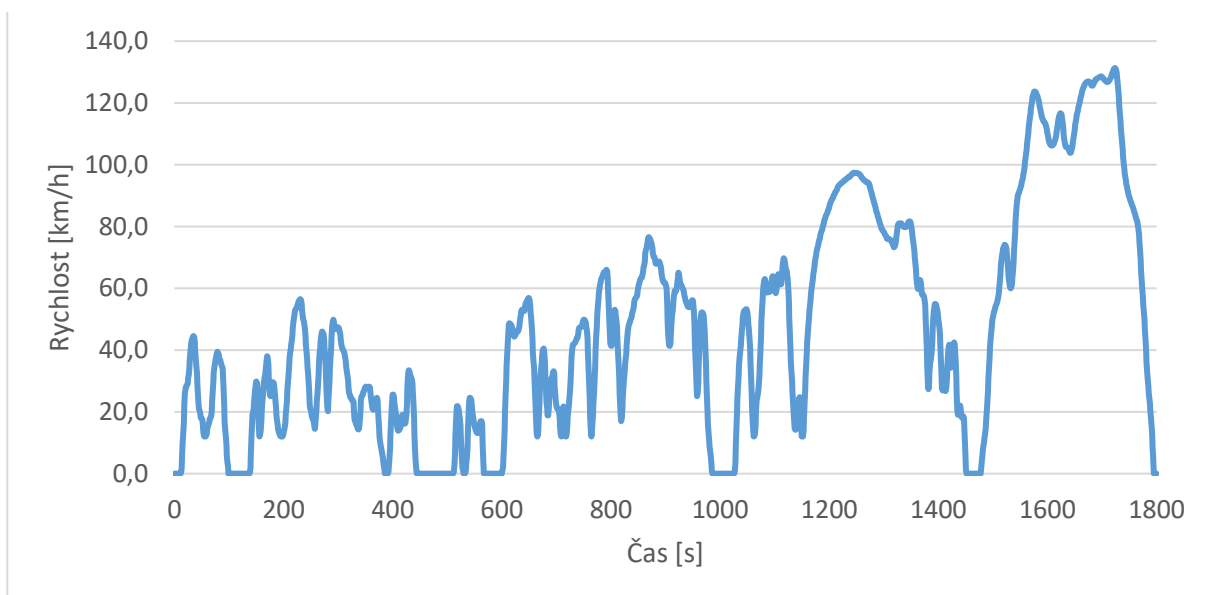
Fáze	Čas [s]	Čas stání [s]	Ujetá vzdálenost [m]	Max. rychlost [km/h]
Nízká	589	156	3095	56,6
Střední	433	48	4721	76,6
Vysoká	455	31	7124	97,4
Extra vysoká	323	7	8254	131,3
Celkem	1800	242	23194	

Tabulka 6: Třetí kategorie 3b – parametry jednotlivých fází [14]

Fáze	Čas [s]	Čas stání [s]	Ujetá vzdálenost [m]	Max. rychlost [km/h]
Nízká	589	156	3095	56,6
Střední	433	48	4756	76,6
Vysoká	455	31	7162	97,4
Extra vysoká	323	7	8254	131,3
Celkem	1800	242	23266	



Obrázek 9: Třetí kategorie 3a – průběh rychlosti



Obrázek 10: Třetí kategorie 3b – průběh rychlosti

Na první pohled se zdá, že obrázky 9 a 10 jsou stejné, ale při detailním rozboru zjistíme minimální rozdíly. To poukazuje na propracovanost WLTP cyklu.

#### **4.2.2 RDE část**

Jedná se vůbec o první měření emisí v reálném provozu na světě. RDE část je pouze doplnění WLTC cyklu. Na vozidle je namontované speciální zařízení, které měří škodlivé látky. Naměřené hodnoty se poté analyzují a zjišťuje se, zda nejsou překročeny povolené hodnoty. Vozidlo jede v městském, mimoměstském i dálničním provozu. Testování probíhá za dodržení různých podmínek, jako například teplota nebo maximální nadmořská výška, při které lze zkoušku provést. Dále je definováno maximální převýšení, které může mít krajina, kde se vozidlo testuje nebo jsou patřičně stanovena dodatečná zatížení automobilu. [12]

#### **4.3 Hlavní rozdíly mezi NEDC a WLTP cyklem**

Jelikož WLTP cyklus není pouze inovace NEDC procedury, ale jedná se od základu nově vytvořený způsob měření, přináší spoustu změn. WLTP cyklus je mnohem komplexnější a jsou u něj precizněji popsány podmínky testování – například tlak a typ pneumatik, prvky zlepšující aerodynamiku nebo doba přeřazení na jiný rychlostní stupeň. WLTP cyklus obsahuje mnohem méně úseku stání, a tak není výhodný pro vozidla se systémem Start – Stop. U WLTP procedury vozidla dosahují vyšší maximální rychlost, s tím je i spojena vyšší průměrná rychlost a při změně rychlosti automobil výrazněji zrychluje i zpomaluje. Hlavní rozdíly mezi NEDC a WLTP cyklem jsou shrnuty do tabulky 7. Pro porovnání s NEDC cyklem použijeme třetí kategorii WLTP cyklu s maximální rychlostí nad 120 km/h, která obsahuje většinu vozidel evropského trhu.

Tabulka 7: Rozdílné parametry mezi NEDC a WLTP cykly [9]

	<b>NEDC</b>	<b>WLTP</b>
<b>Doba měření [s]</b>	1180	1800
<b>Ujetá vzdálenost [km]</b>	11,03	23,27
<b>Testovací teplota [ °C]</b>	20–30	23 /14
<b>Průměrná rychlost [km/h]</b>	34	46
<b>Maximální rychlost [km/h]</b>	120	131
<b>Doba jízdy konstantní rychlostí [s]</b>	445	61
<b>Doba stání [s]</b>	280	242
<b>Fáze testování</b>	2 fáze (66 % městská a 34 % mimoměstská)	4 fáze (52 % městská a 48 % mimoměstská)
<b>Motor v provozu [km]</b>	3000-15000	> 3000
<b>Změna rychlostního stupně</b>	Pevně dané pro všechna vozidla	Specifické pro každé vozidlo
<b>Testovací hmotnost</b>	Hmotnost vozidla + 100 kg	Hmotnost vozidla + 75 kg + extra náklad
<b>Pneumatiky</b>	Najeté <3000 km nebo hloubka dezénu 50 % –90 %	Hloubka dezénu 80 % - 100 %
<b>Aerodynamické prvky</b>	Základní karosérie (není definované pro pohyblivé části)	Specifické pro každé vozidlo (i pro pohyblivé části)

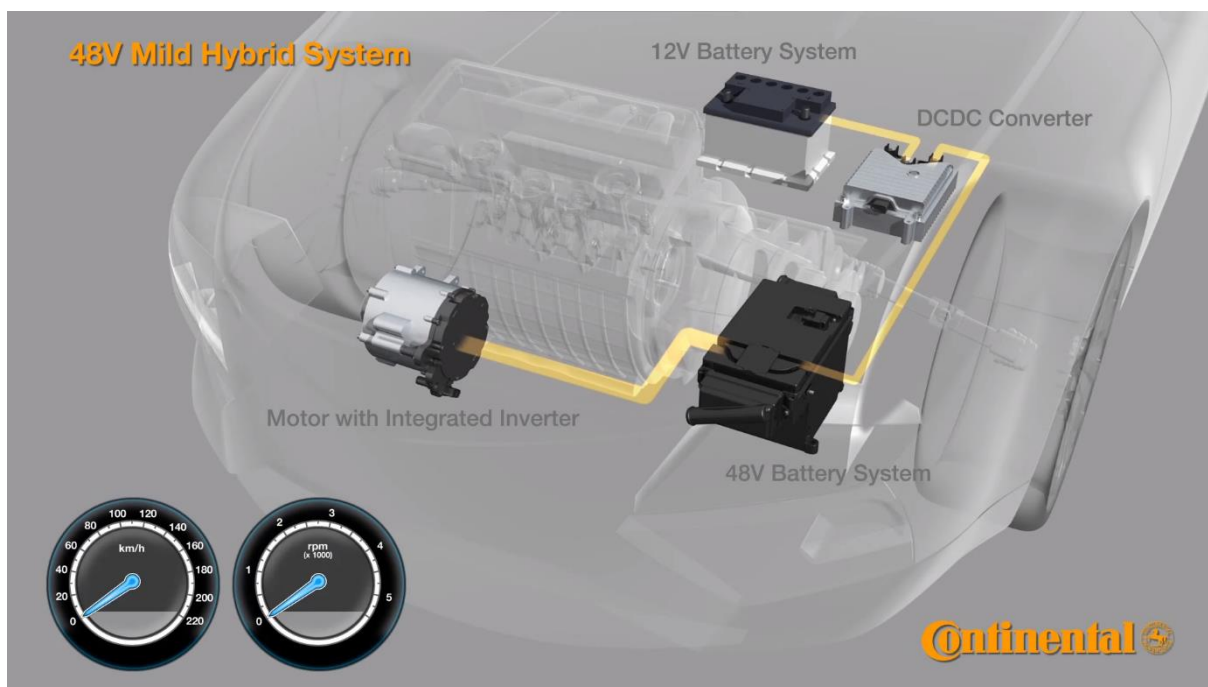
## 5. Návrh přídatného elektrického pohonu

Jednou z mnoha variant alternativních pohonů je hybridní pohon. V dnešní době se stávají populární zejména MHEV se 48 V sítí. Mezi automobilky nabízející MHEV patří Audi s modelem A8 nebo koncern VW, který představil Mild hybridní verzi oblíbeného modelu Golf. Revoluční řešení v podobě MHEV chystá také mladoboleslavská Škoda s modelem Vision X. V budoucnu se počítá s velkým rozšířením Mild hybridních motorů u všech výrobců automobilů. [15]

Při návrhu MHEV jsem se nechal inspirovat firmou Continental, která navrhla přídatný elektrický systém, nazvaný 48 V Eco Drive System, pro benzínové i naftové motory. První automobilkou, vyrábějící vozy s tímto systémem, je Renault. Renault nechal podobný systém, jménem Hybrid Assist, implementovat na modely Scénic a Grand Scénic s dieselovými motory. Dle společnosti Continental dojde k úspoře paliva v městském provozu až o 20 % a také k nižší produkci emisí. [16]

Už z názvu 48 V Eco Drive System vyplývá, že se jedná o zařízení pracující s napětím 48 V, na rozdíl od 12 V, jako je u běžných aut. Napětí 48 V, kromě vyšších nároků spotřebičů, umožňuje také použití užších kabelů, tudíž nedojde k velkému navýšení hmotnosti. Vozidlo obsahuje oproti konvenčnímu pohonu navíc elektromotor a zároveň generátor, baterie a měnič napětí. Schéma zapojení všech komponent je znázorněno na obrázku 11. [17]

Elektromotor nahrazuje klasický startér i alternátor a se spalovacím motorem je propojen pomocí klínového řemene. Nejedná se o výkonný elektromotor, neboť jeho maximální výkon je 10 kW a maximální točivý moment 60 Nm. Baterie pohánějící elektromotor pracují s napětím 48 V. Jsou to lithium-iontové baterie o maximální kapacitě 10 Ah. Jelikož není možná jízda s vozidlem pouze na elektromotor, není potřeba ani kapacitně výkonné baterie. Nedojde proto k razantnímu navýšení hmotnosti vozidla, jako je tomu u elektromobilů nebo Full – hybridů. Dalším prvkem ve vozidle je měnič, který umožňuje přeměnu napětí ze 48 V na 12 V a naopak. [17]



Obrázek 11: Schéma zapojení přídatných komponent [20]

## 5.1 Jízdní režimy MHEV

Jak je již napsáno viz výše, elektromotor nemá dostatečný výkon na to, aby sám zajistil jízdu vozidla. Slouží zde pouze jako podpora spalovacího motoru a je využíván v okamžicích, kdy je chod spalovacího motoru nevýhodný, to je zejména při rozjezdu. Elektromotor má také funkci startéru. Dokáže nastartovat vozidlo mnohem tišeji a rychleji než klasický startér. Automobily s tímto systémem jsou vybaveny funkcí Start – Stop. To znamená, že pokud vozidlo zastaví např. na světelné křižovatce nebo na železničním přejezdu, spalovací motor se vypne a ve chvíli sešlápnutí plynového pedálu elektromotor znovu aktivuje konvenční motor. Vozidla s 48 V Eco Driver systémem dokážou omezit chod motoru i při vyšších rychlostech, dokud nepřesáhnou jízdní odpory výkon elektromotoru. Například při jízdě na dálnici, pokud řidič dá nohu z plynu, systém nastaví vozidlo do tzv. coasting módu. Spalovací motor se přepne do pohotovostního režimu a zároveň všechny posilovače a elektronické spotřebiče zůstanou aktivní. To ovšem bude fungovat za předpokladu, že jedeme po rovné komunikaci. V momentě mírného stoupání nebo potřeby akcelarovat nám samotný elektromotor nepostačí. V coasting módu nemůže jet vozidlo delší dobu a po určitém časovém okamžiku se opět musí aktivovat spalovací motor. Pokud stojíme v kongesci a pouze „popojíždíme“, výkon elektromotoru je dostačující a spalovací motor zůstane vypnutý. Při akceleraci se vozidlo rozjíždí za pomoci spalovacího motoru a zároveň i elektromotoru, který tak napomáhá svým výkonem. Jelikož elektromotor umožňuje generovat elektrickou energii, systém umí také rekuperaci energie při deceleraci. [17]

Během brzdění se využívá kinetická energie z kol a přemění se na elektrickou energii, která se ukládá do baterií. Množství kinetické energie, jež se využije při brzdění se dá libovolně nastavit a podle toho bude vozidlo zpomalovat rychleji nebo pomaleji. Je samozřejmé, že při běžném provozu nebude rekuperace stačit na zastavení vozidla a bude třeba použít i mechanické brzdy. Elektromotor nabíjí nejprve 48 V baterii a poté baterii na palubní síť 12 V.

[17]

## 6. Porovnání spotřeby paliva

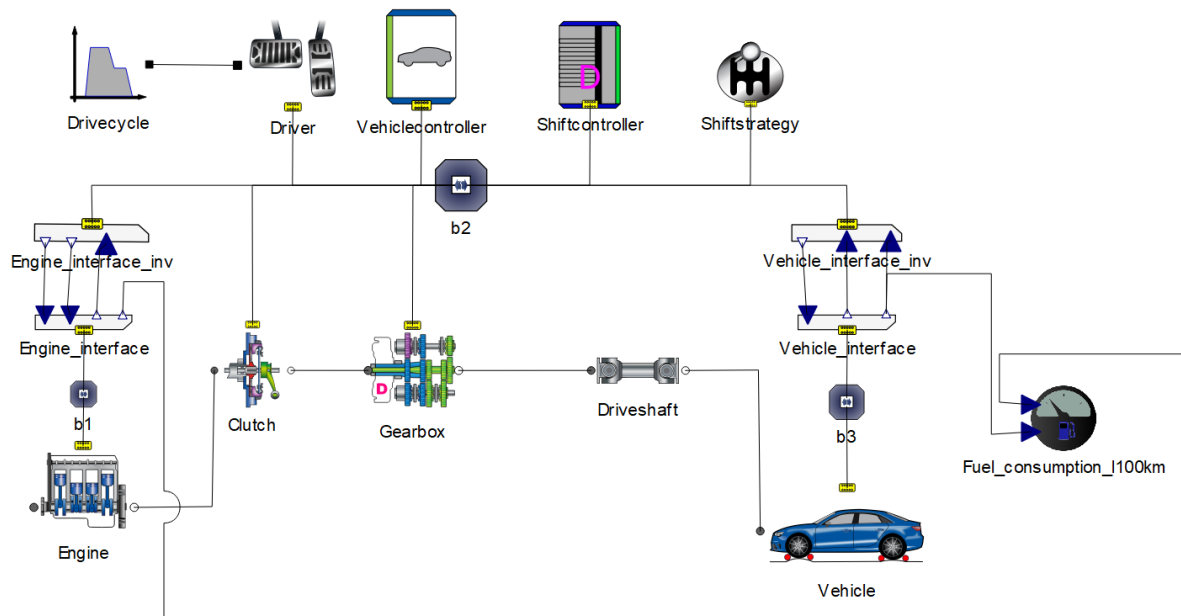
Jednou z částí této práce je porovnání spotřeby paliva. Spotřeba paliva bude porovnávána celkem čtyřikrát. První porovnání bude na vozidle se spalovacím motorem a bude porovnáván rozdíl spotřeby paliva mezi NEDC a WLTC cyklem. To samé bude porovnáno na vozidle s přídatným 48 V Eco Drive systémem (viz výše). Dále budu srovnávat rozdíl spotřeby paliva mezi konvenčním vozidlem a MHEV v simulaci podle obou laboratorních měření. K simulaci jízdy dle NEDC a WLTC cyklu a vyhodnocení spotřeby paliva nám poslouží software Ignite od společnosti Ricardo.

### 6.1 Popis vozidel použitých k měření

K simulaci nebyl použit žádný konkrétní automobil, ale vozidlo poskládané z reálných hodnot. Jedná se o vozidlo s hmotností 1350 kg. Maximální točivý moment při 5100 otáčkách za minutu je 218,3 Nm. V softwaru Ignite jsem si vytvořil oba modely vozidel, jak se spalovacím motorem na obrázku 12, tak MHEV na obrázku 13. Model se skládá ze základních komponentů pohonu vozidla a řídicích jednotek. Základními součástkami jsou motor, spojka, převodová skříň a hnací hřídel. U každého z těchto komponentů se dají nastavit základní vlastnosti podle potřeby.

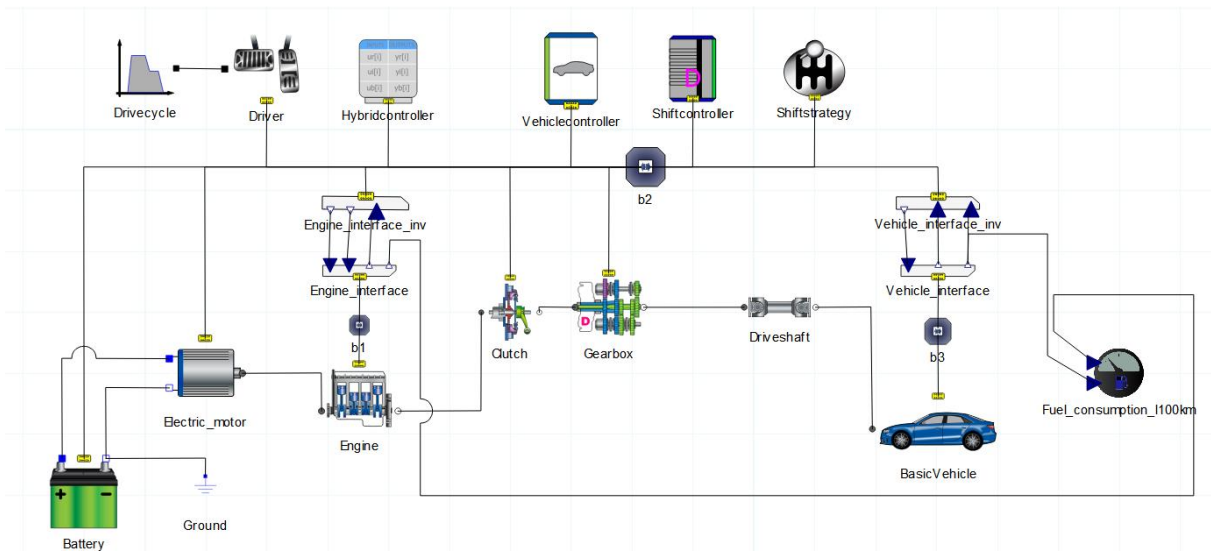
Abych mohl zjistit spotřebu paliva u konvenčního motoru (engine), bylo nutné nahrát průběh točivého momentu a tzv. úplnou otáčkovou charakteristiku motoru, která znázorňuje měrnou spotřebu paliva. Dále se dají nastavit veličiny jako např. moment setrvačnosti, volnoběžné otáčky nebo velikost třecích sil v motoru. Další částí pohonu je spojka (clutch). V tomto modelu se jedná o pevnou spojku s maximálním točivým momentem 700 Nm. Dalším komponentem, který byl potřeba definovat je převodová skříň (gearbox). Jedná se o manuální 6. stupňovou převodovku. Bylo potřeba specifikovat převodové poměry pro každý rychlostní stupeň. Poslední nastavitelnou součástí je hnací hřídel (driveshaft). U této součástky byla nastavena tuhost a tlumení točivého momentu. Dále je potřeba popsat ovládače (vehiclecontroller, shiftcontroller, shiftsstrategy). Zde se nastavuje například doba řazení. To znamená, že jsou nadefinované podmínky, kdy a na jaký rychlostní stupeň se přeřadí. Všechny části vozidla a jednotlivé ovládače vedou do řídicí jednotky (b2). Objekt řidič (driver) slouží k popisu chování řidiče, například jak má zrychlovat nebo zpomalovat. Software nabízí výběr z mnoha různých cyklů (drivecycle). Pro moje potřeby byl navolen NEDC a poté WLTP cyklus. Software má oba cykly v sobě přesně nadefinované pomocí grafů průběhu rychlosti v čase (viz 4 kapitola), podle kterých vozidlo projede celý cyklus a vyhodnotí spotřebu paliva.





Obrázek 12: Model konvenčního vozidla

Model vozidla MHEV, zapojení na obrázku 13, má stejný základ i se stejnými hodnotami jako konvenční automobil. Oproti vozidlu se spalovacím motorem zde přibyly komponenty, které se podílí zejména na pohonu, a řídicí jednotka. Elektromotor (electric motor) má své vlastnosti popsané v 5. kapitole. Jedná se tedy o motor s maximálním výkonem 10 kW a maximálním točivým momentem 60 Nm. Jelikož elektromotor pracuje i jako generátor elektrické energie, jsou tyto parametry nastavené na stejnou hodnotu. V softwaru se dále dají nastavit další parametry, jako je maximální proud nebo účinnost elektromotoru. K napájení elektromotoru slouží lithium-iontová baterie (battery). Podrobná specifikace baterie je uvedena v 5. kapitole. Řídicí ovládač (Hybridcontroller) rozhoduje podle nastavených kritérií o funkci elektromotoru a spalovacího motoru. Ovlivňuje, kdy se jaký motor zapne nebo vypne a kdy bude elektromotor pracovat jako generátor. Tuto řídicí jednotku jsem si celou naprogramoval v softwaru podle předem nadefinovaných podmínek. Jízdu vozidla jsem rozdělil na tři fáze podle toho, zda řidič chce zrychlovat, zpomalovat nebo jet přibližně konstantní rychlostí (není nutností řidiče zrychlovat ani zpomalovat). V případě, že požadavek na zrychlení bude kladný, tak při dostatečné kapacitě baterie a rychlosti do 10 m/s (36 km/h) se bude elektromotor podílet na pohonu svým výkonem. Jestliže rychlost bude větší nebo kapacita baterie nedostatečná, motor bude generovat elektrickou energii. Ve chvíli, kdy řidič sešlápne brzdový pedál, jednotka na základě kapacity baterie vyhodnotí, zda dojde k rekuperaci nebo nikoli. Pro zjištění spotřeby paliva v simulaci je dostačující, aby vozidlo při jízdě vyšší konstantní rychlostí bylo schopno pouze dobít baterie.

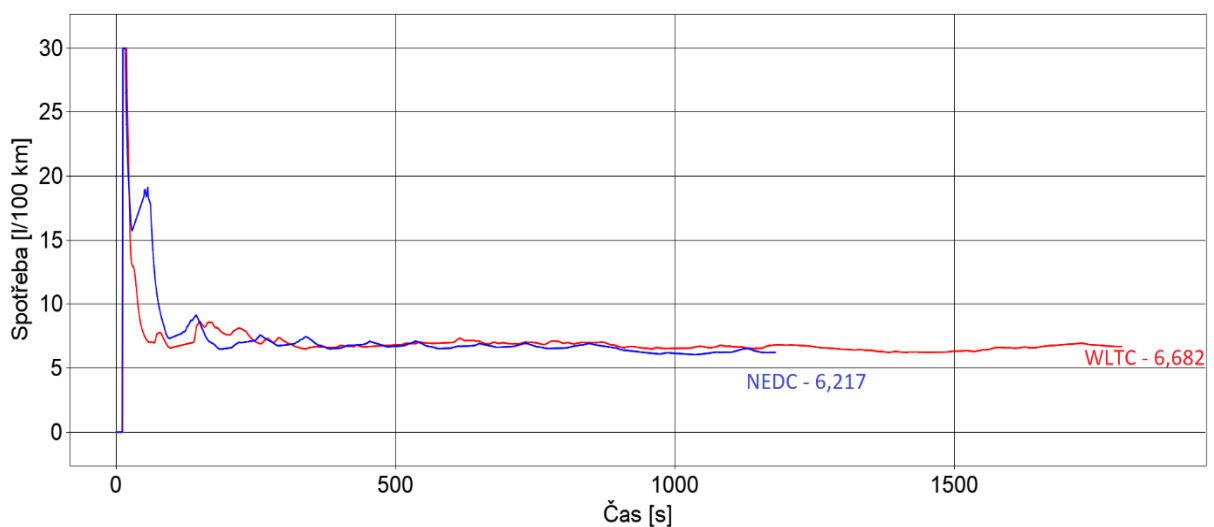


Obrázek 13: Model MHEV

Tento software nabízí velký rozsah nastavení a záleží pouze na uživateli, jak podrobně bude chtít model vyladit. Já jsem změnil všechny zásadní hodnoty, které by mohly ovlivnit spotřebu paliva a zbývající parametry jsem nechal podle vzorového příkladu v softwaru. V tomto případě jsem prováděl měření v NEDC i WLTC cyklu. Výsledky jsem vyhodnotil v softwarovém balíčku RPost, ze kterého jsem následně použil výsledné grafy na vyhodnocení laboratorního měření.

## 6.2 Porovnání NEDC a WLTC cyklů na konvenčním vozidle

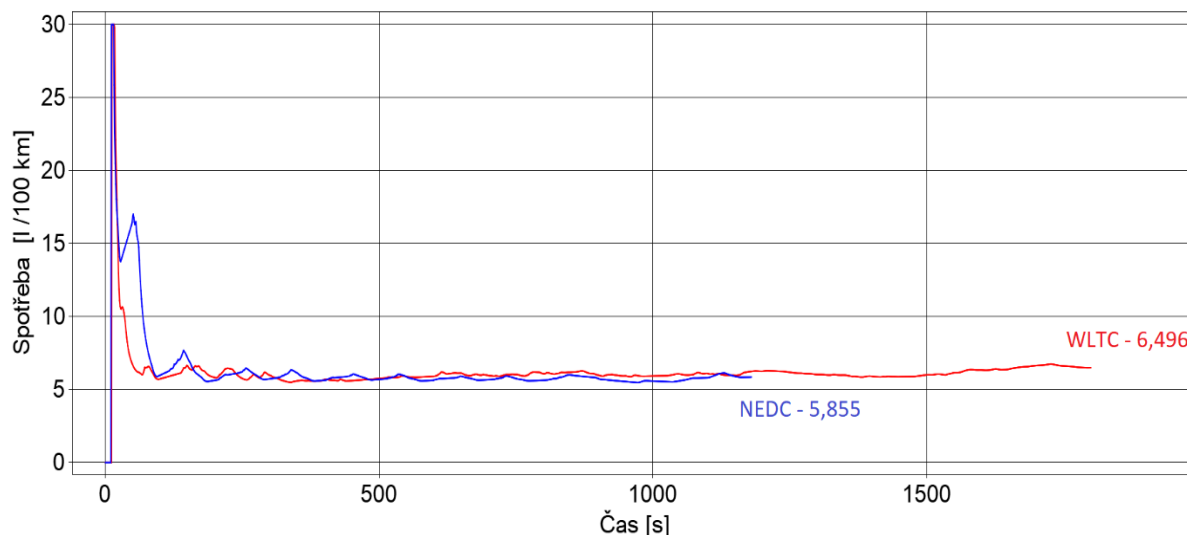
Rozdíl spotřeby paliva mezi cykly u konvenčního vozidla je 0,46 l/100 km. Z obrázku 14 vyplývá, že vozidlo během NEDC cyklu mělo spotřebu 6,217 l/100 km a při WLTC 6,682 l/100 km.



Obrázek 14: Porovnání spotřeby paliva mezi cykly u konvenčního vozidla

### 6.3 Porovnání NEDC a WLTC cyklů na MHEV

Rozdíl spotřeby paliva u MHEV mezi cykly je výraznější než u konvenčního vozu. Zatímco NEDC cyklus naměřil spotřebu pouhých 5,855 l/100 km, tak u WLTC cyklu je 6,496. Podrobný průběh spotřeby je zobrazen na obrázku 15. Cykly tak dělí od sebe 0,641 l/100 km.

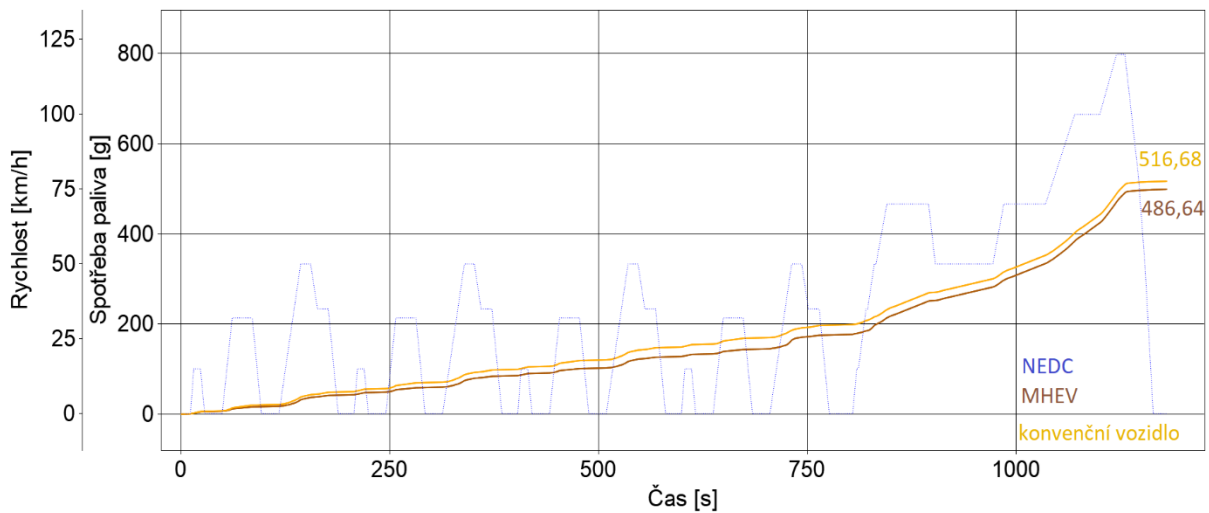


Obrázek 15: Porovnání spotřeby paliva mezi cykly u MHEV

Z obou porovnání vyplývá, že WLTC laboratorní měření je mnohem dynamičtější a výsledné spotřeby paliva by tak měly mnohem více odpovídat reálným hodnotám. Z grafů můžeme také vyčíst rozdílnou délku jednotlivých cyklů a nárůst spotřeby u WLTC na konci křivky při vyšší maximální rychlosti než u NEDC. Možná by se mohl rozdíl zdát malý, ale musíme brát v úvahu, že model nepočítal s elektronickými spotřebiči jako např. s klimatizací, které by rozdíl spotřeby ještě zvýšily. Jedná se pouze o vozidla se základními komponenty, sloužící k pohonu vozidla. Rozdíl kolem půl litru na 100 km tak odpovídá modelu a u vozidel s výkonnějšími motory nebo vyšší hmotností by byla propast spotřeby paliva mezi cykly markantnější.

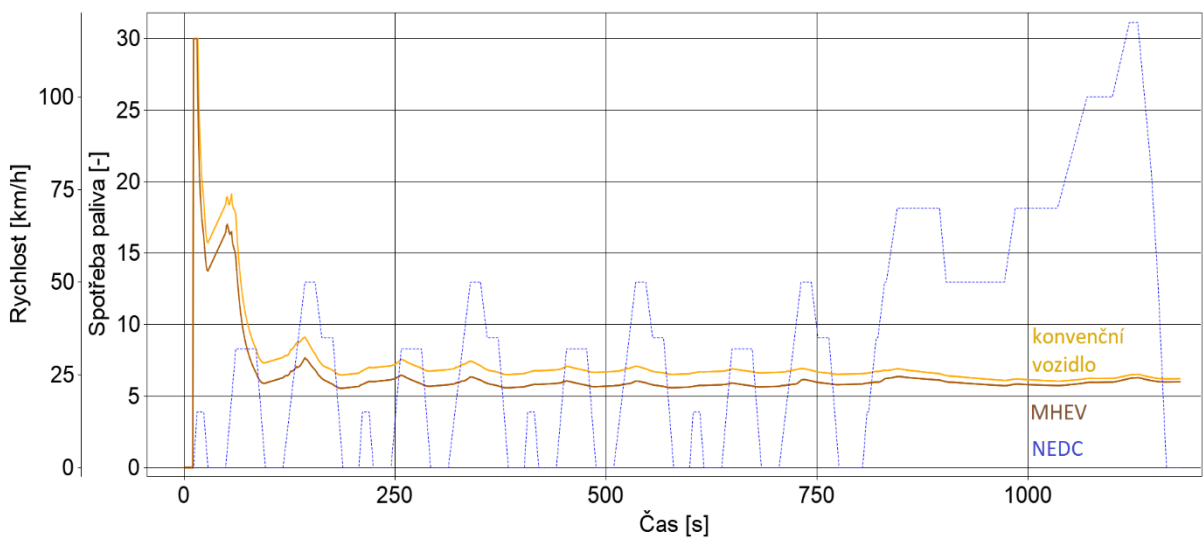
### 6.4 Porovnání spotřeby paliva u konvenčního vozidla a MHEV pomocí NEDC cyklu

U porovnání vozidla s 48 V Eco Drive systémem a bez něj jsem měřil množství paliva, udávané v gramech, spotřebované spalovacím motorem během cyklu. Toto srovnání je přesnější než přepočítávání na l/100 km. Grafy vykreslují postupné narůstání spotřeby během NEDC cyklu. Hodnoty na konci křivek znázorňují celkové množství paliva v gramech, které se spotřebovaly za daný cyklus. Světlá barva znázorňuje spotřebu konvenčního vozidla a tmavá spotřebu MHEV. Z obrázku 16 plyne, že rozdíl je 30,04 g, což odpovídá přibližné hodnotě 0,36 l/100 km.



Obrázek 16: Průběh spotřeby paliva v NEDC cyklu

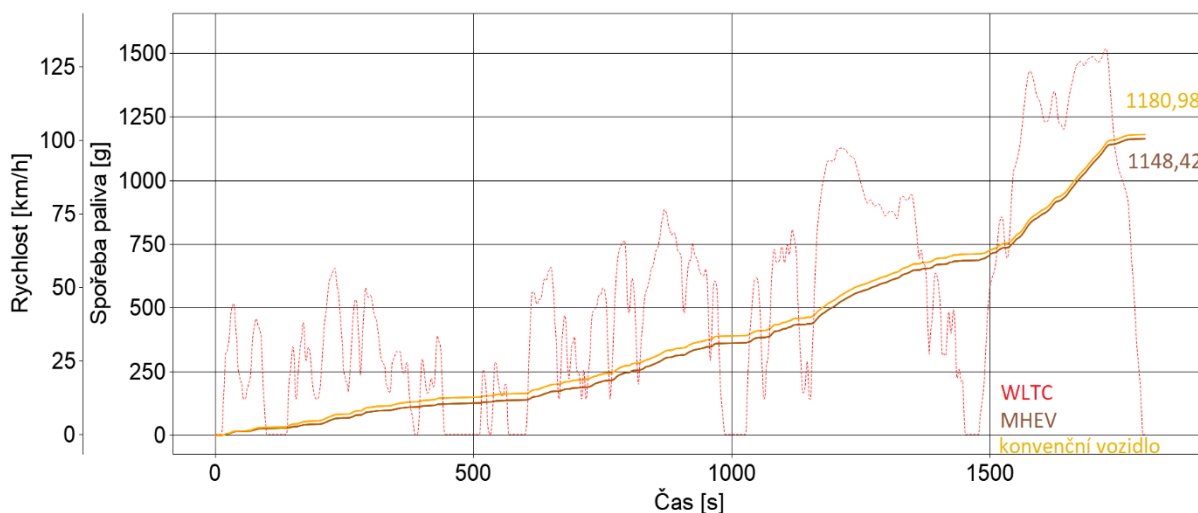
Na obrázku 17 je průběh spotřeby paliva přepočítán na l/ 100 km. Je z něho patrné, že při nízkých rychlostech je MHEV úspornější a rozdíl ve spotřebě mezi konvenčním vozidlem a MHEV se pohybuje okolo 1 l/ 100 km. Ve chvíli, kdy jede vozidlo vyšší rychlostí, může spalovací motor využívat energii také na dobítí baterie a elektromotor nedodává výkon na pohon. Proto dojde k zmenšení rozdílu spotřeby paliva.



Obrázek 17: Průběh spotřeby paliva v NEDC cyklu [l/ 100 km]

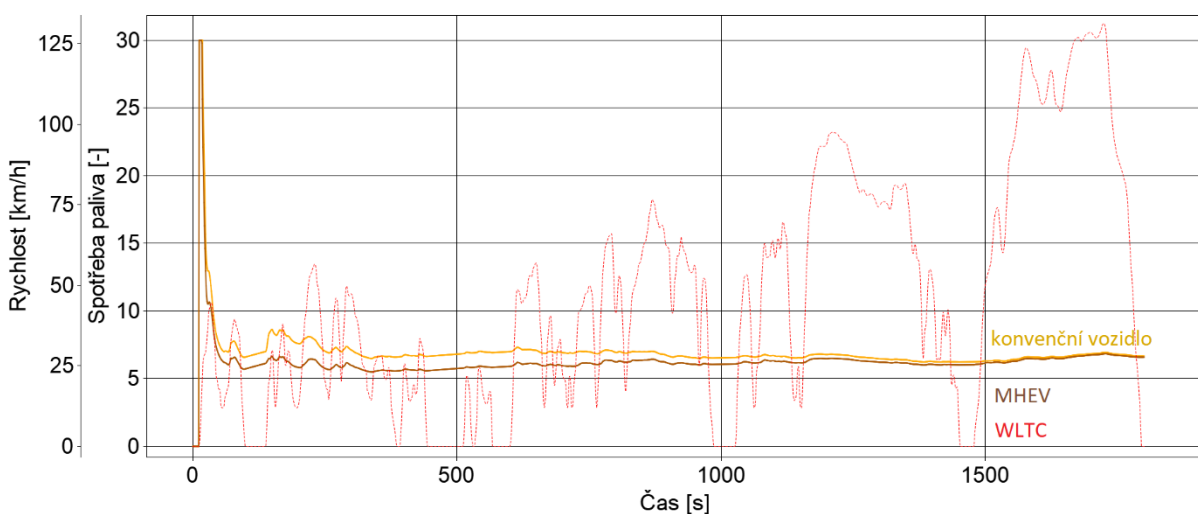
## 6.5 Porovnání spotřeby paliva u konvenčního vozidla a MHEV pomocí WLTC cyklu

Rozdíl spotřeby paliva u WLTC cyklu mezi vozidly je 32,56 g. Na obrázku 18 je vidět, že rozdíl spotřeby narostl hlavně ve chvíli, kdy jel automobil pomaleji, a tak byl využit i elektromotor. Při vyšších rychlostech se rozdíl spotřeb příliš neměnil.



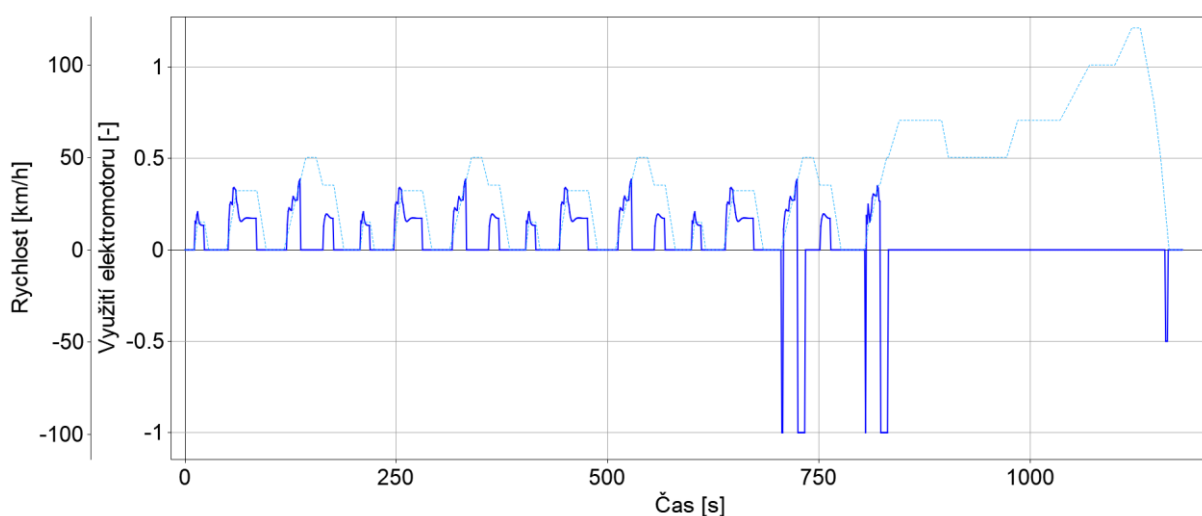
Obrázek 18: Průběh spotřeby paliva ve WLTC cyklu

Obrázek 19 znázorňuje průběh přepočítaný na l / 100 km. MHEV má v čase 500 s nižší spotřebu o 1,1 l / 100 km než konvenční vozidlo. Podobně jako u NEDC se dá říct, že při nižších rychlostech najde systém své uplatnění.

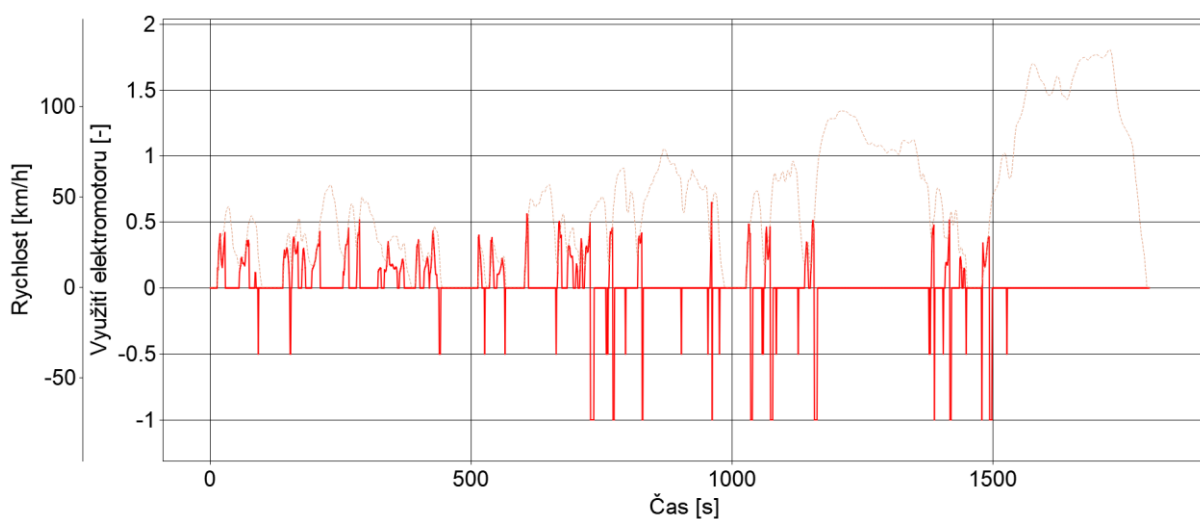


Obrázek 19: Průběh spotřeby paliva ve WLTC cyklu [l / 100 km]

Oba výsledky poukazují, že v nízkých rychlostech, kdy je elektromotor aktivní, je spotřeba paliva nižší. Je to výhodné zejména pro městský provoz, kde vozidlo neustále zrychluje a zpomaluje. Průběh funkce elektromotoru je zobrazen na obrázku 20 v cyklu NEDC a na obrázku 21 v cyklu WLTC. V kladných hodnotách se elektromotor podílí na pohonu a v záporných se chová jako generátor a dobíjí baterii. Z obrázků lze vyčíst, že při vyšších rychlostech je elektromotor neaktivní nebo se podílí na generování elektrické energie. U obou cyklů se rozdíl spotřeby paliva v l/ 100 km postupem času snižuje. To je způsobené zrychlováním vozidla. U WLTC cyklu (obrázek 19) je to viditelnější, protože je delší a má vyšší maximální i průměrnou rychlost oproti NEDC cyklu (obrázek 17). Vozidlo s přídavným hybridním systémem má nižší spotřebu paliva, takže se mu sníží i emisní hodnoty.

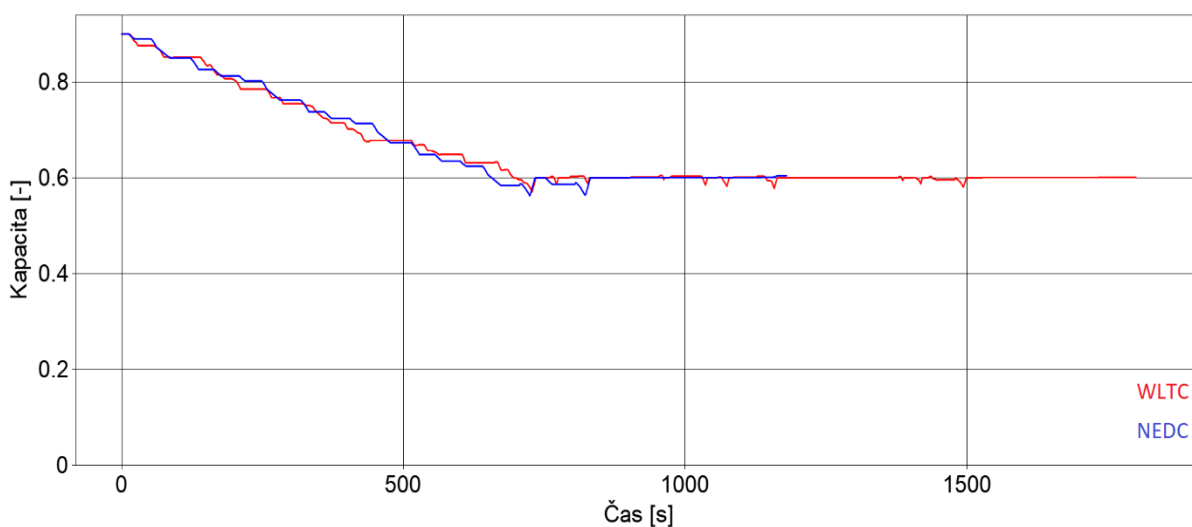


Obrázek 20: Průběh funkce elektromotoru v NEDC cyklu



Obrázek 21: Průběh funkce elektromotoru ve WLTC cyklu

Problémem by mohla být kapacita baterie a její včasné dobítí. Na obrázku 22 vidíme, že kapacita baterie je dostatečná a na konci obou cyklů má 60 %. Baterii je možné dobít do plna, když bude vozidlo stát nebo pomocí rekuperace. Při pomalé jízdě, kdy je využíván elektromotor, se baterie poměrně rychle vybíjí. Nedostane se však na hranici, při které by nedošlo ke spuštění elektromotoru na pomocný pohon. V případě, že by se vozidlo pohybovalo delší dobu v městském provozu, mohlo by dojít k vybití baterie na nejnižší povolenou hranici a elektromotor už by se dále nemusel podílet na pohonu. Vše ovšem záleží na konkrétním stylu jízdy a reálných podmínkách. To, že se baterie dobije pouze na 60 %, jsem nastavil proto, aby spalovací motor nespotřeboval energii na dobíjení baterie. Nechoázelo by tak ke zvýšení spotřeby paliva, ale baterie by se úplně dobila pouze pomocí rekuperace.



Obrázek 22: Průběh spotřeby energie v baterii

## Závěr

Z důvodů zpřísnování emisních norem EU a nedostatečných zásob ropy se snaží automobilky najít výhodná řešení v oblasti pohonu automobilů. Jelikož vývoj spalovacího motoru poháněný benzínem, případně naftou, zatím nepřináší požadované výsledky, musí výrobci automobilů přecházet na různé alternativy. Snad každá automobilka v poslední době představila vozidlo, které má být poháněné alternativní pohonnou látkou. Nejčastěji se uchylují k elektrické energii, a to buď plně elektrického vozidla nebo HEV. Na popularitě určitě nezaostává ani zemní plyn CNG, který našel uplatnění i mezi nákladními vozy. Pro automobilky je velice perspektivní vodík, který by se v budoucnu mohl stát dominantou mezi alternativními pohony, zejména kvůli jeho dostupnosti a vyprodukovaným látkám při jízdě vozidlem. Velkým problémem všech alternativních pohonů je infrastruktura čerpacích stanic. Česká republika má jednu z nejhustších benzínových sítí. Ovšem vodíkové nebo elektrické dobíjecí stanice u nás chybí.

Jednou z mnoha alternativ, jak snížit emise a zároveň spotřebu paliva, jsou již zmiňované hybridní automobily. Teoretická část této práce se zabývá jejich rozdělením a typy HEV. Podrobně jsou zde také popsány laboratorní měření pomocí cyklů NEDC a WLTP, podle kterých se měří spotřeba paliva vozidla při homologaci.

Praktická část se zabývá sestavením modelu konvenčního vozidla a následně byl do tohoto pohonu implementován hybridní systém, čímž došlo k vytvoření MHEV. U MHEV byly naprogramovány jízdní režimy, podle kterých docházelo k aktivaci elektromotoru. Jízdní režimy byly programované zejména pro účel snížení spotřeby paliva u cyklů NEDC a WLTC a v reálném provozu by se musely doladit situace, ke kterým by mohlo dojít. Na simulaci nebyl použit konkrétní automobil, ale byl sestaven na základě skutečných parametrů, jež by mohlo vozidlo mít. Pro přídatný systém MHEV byly použity konkrétní komponenty firmy Continental, tj. elektromotor a baterie. Modely byly nakresleny a následně vyhodnoceny v programu Ignite společnosti Ricardo.

Nejprve byly porovnány rozdílné spotřeby paliva mezi NEDC a WLTC cyklem. Jak u konvenčního, tak i u MHEV vyšla spotřeba paliva u NEDC cyklu menší. Rozdíly spotřeby paliva se pohybovaly lehce přes 0,5 l/100 km a potvrdily, že laboratorní výsledky pomocí WLTC cyklu odpovídá více hodnotám, ke kterým se v běžném provozu dostaneme. Tudiž WLTP měření přinese v blízké budoucnosti reálná čísla spotřeby paliva a uživatel automobilu bude schopen se k nim mnohem snadněji přiblížit.



Druhým porovnáním bylo zjištění rozdílů spotřeby paliva mezi konvenčním vozem a MHEV pomocí NEDC a WLTC cyklů. MHEV měl v obou cyklech nižší spotřebu okolo 0,3 l/100 km. Jelikož oba cykly simulují městský i mimoměstský provoz, jde z výsledků vyčíst, že se hybridní systém uplatnil zejména v městském provozu. Kdyby byl použit silnější elektromotor, mohl by pomáhat i při vyšších rychlostech a spotřeba paliva by klesla ještě výrazněji. To by nemusela stačit nynější kapacita baterie, která by se musela zvýšit, což by vedlo i k celkové navýšení hmotnosti vozidla i jeho ceny. Tato varianta MHEV se proto hodí zejména pro uživatele, kteří používají vozidlo zejména na kratší vzdálenosti, kvůli nižší spotřebě paliva a snížení emisí. Snížení emisí vedlo některé automobilky k zavádění tohoto systému do svých vozidel, aby splnily přísnější emisní normy.

Další snížení spotřeby paliva a emisí by se dalo určitě dosáhnout podrobnějším nastavením jízdních režimů. Také by se dalo zjistit, jaký vliv mají na velikost spotřeby elektrické spotřebiče v automobilu při různých podmínkách. Tyto problémy by se mohly stát tématem jiných studentských prací.

## Použitá literatura

- [1] HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 1. díl. Hybrid.cz [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>
- [2] HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 2. díl. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-2-dil>
- [3] HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 3. díl. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-3-dil>
- [4] DUSIL, Tomáš. Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé systémy liší? Auto.cz [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/neni-hybrid-cim-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- [5] SAJDL, Jan. Micro Hybrid. Autolexicon.net [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/micro-hybrid/>
- [6] SAJDL, Jan. Mild Hybrid. Autolexicon.net [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/mild-hybrid/>
- [7] SAJDL, Jan. Full Hybrid. Autolexicon.net [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/full-hybrid/>
- [8] SAJDL, Jan. Plug-in hybrid. Autolexicon.net [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/plug-in-hybrid/>
- [9] MOCK, Peter, Jörg KÜHLWEIN, Uwe TIETGE, Vicente FRANCO, Anup BANDIVADEKAR a John GERMAN. The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU [online]. 2-4 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_WLTP\\_EffectEU\\_20141029\\_0.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029_0.pdf)
- [10] DITTRICH, Lukáš. Normované měření spotřeby dnes a zítra: Ztratí start/stop smysl?. Autorevue [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/normovane-mereni-spotreby-dnes-azitra-ztrati-start/stop-smysl>
- [11] Předpis Evropské hospodářské komise OSN (EHK OSN) č. 101. EUR-Lex [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1520443841380&uri=CELEX:42012X0526\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1520443841380&uri=CELEX:42012X0526(01))

- [12] What is the real driving emissions (RDE) test?. Car Emissions Testing Facts [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/>
- [13] DUSIL, Tomáš. Nový homologační emisní test WLTP: Opravdu znamená konec lhaní?. Auto.cz [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/wltp-novy-homologacni-emisni-test-110305>
- [14] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). DieselNet: Emission Standards [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- [15] WAGENKNECHT, Martin. Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl?. Drive [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>
- [16] Continental představuje inovace pro rostoucí trh elektromobility. Continental [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <https://www.continental-corporation.com/cs-cz/prom%C3%A9dia/tiskov%C3%A1-sd%C4%9Blen%C3%AD/iaa-2017-elektromobilita-95700>
- [17] BEDNÁŘ, Martin. Němci rozjeli malou motorovou revoluci, přináší prý spotřebu 3,5 litru na 100 km. Autoforum.cz [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/nemci-rozjeli-malou-motorovou-revoluci-prinasi-pry-spotrebu-3-5-litru-na-100-km/>
- [18] Hybridní automobily 2. In: AUTO CZ [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [19] Pohonné hmoty. In: AUTO CZ [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://towipage.webzdarma.cz/spotreba.html>
- [20] Continental ecodrive. In: YouTube [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=P90ws5WqM54>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Sériové zapojení [18].....	11
Obrázek 2: Paralelní zapojení [18].....	12
Obrázek 3: Kombinované zapojení [18] .....	13
Obrázek 4: Rychlostní profil NEDC cyklu [19] .....	17
Obrázek 5: Městský cyklus [11] .....	18
Obrázek 6: Mimoměstský cyklus [11].....	19
Obrázek 7: První kategorie – průběh rychlosti.....	22
Obrázek 8: Druhá kategorie – průběh rychlosti .....	23
Obrázek 9: Třetí kategorie 3a – průběh rychlosti.....	24
Obrázek 10: Třetí kategorie 3b – průběh rychlosti.....	24
Obrázek 11: Schéma zapojení přídatných komponent [20] .....	28
Obrázek 12: Model konvenčního vozidla.....	31
Obrázek 13: Model MHEV .....	32
Obrázek 14: Porovnání spotřeby paliva mezi cykly u konvenčního vozidla .....	32
Obrázek 15: Porovnání spotřeby paliva mezi cykly u MHEV .....	33
Obrázek 16: Průběh spotřeby paliva v NEDC cyklu .....	34
Obrázek 17: Průběh spotřeby paliva v NEDC cyklu [l/ 100 km] .....	34
Obrázek 18: Průběh spotřeby paliva ve WLTC cyklu .....	35
Obrázek 19: Průběh spotřeby paliva ve WLTC cyklu [l/ 100 km] .....	35
Obrázek 20: Průběh funkce elektromotoru v NEDC cyklu .....	36
Obrázek 21: Průběh funkce elektromotoru ve WLTC cyklu .....	36
Obrázek 22: Průběh spotřeby energie v baterii .....	37

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Městský cyklus [11] .....	18
Tabulka 2: Mimoměstský cyklus [11].....	20
Tabulka 3: První kategorie – parametry jednotlivých fází [14] .....	22
Tabulka 4: Druhá kategorie – parametry jednotlivých fází [14].....	22
Tabulka 5: Třetí kategorie 3a – parametry jednotlivých fází [14] .....	23
Tabulka 6: Třetí kategorie 3b – parametry jednotlivých fází [14] .....	24
Tabulka 7: Rozdílné parametry mezi NEDC a WLTP cykly [9] .....	26