



METODIKA REDUKCE CO₂

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Konstrukce strojů a zařízení

Autor práce: **Bc. Pešek Daniel**

Vedoucí práce: Ing. Voženílek Robert, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů

Studijní program N2301

Strojní inženýrství

Obor Konstrukce strojů a zařízení

METODIKA REDUKCE CO₂

Diplomová práce

Bc. Pešek Daniel

Vedoucí diplomové práce: Ing. Voženílek Robert, Ph.D. – TUL FS, KVM

Počet stran: 70

Počet obrázků: 19

Počet grafů: 30

Počet tabulek: 28

Liberec 2017

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá metodikou redukce CO₂ u hybridních vozidel. Práce obsahuje několik částí. Úvod je zaměřen na obecné představení hybridního vozidla a jeho roli v současném světě. Další část je základní rozdělení hybridních vozidel. Následuje představení používaného softwaru Ignite, s detailním vysvětlením důležitých prvků pro simulaci včetně vysvětlení vstupních hodnot. Závěrečná část je zaměřena na samotnou simulaci hybridního vozidla, přičemž je vytvořeno několik modelů, s následným vyhodnocením a porovnáním všech těchto kombinací.

Klíčová slova

Hybridní vozidlo, emise, CO₂, simulace, Ricardo Ignite

Annotation

This diploma thesis deals with CO₂ reduction methodology in hybrid vehicles. The thesis contains several parts. Introduction is focused on the general introduction of the hybrid vehicle and its role in the current world. Another part is the basic division of hybrid vehicles. This is followed by the introduction of the Ignite software, with a detailed explanation of the important elements for simulation including explanation of the input values. The final part focuses on the simulation of the hybrid vehicle itself, with several models followed by evaluation and comparison of all these combinations.

Key words

Hybrid vehicle, emission, CO₂, simulation, Ricardo Ignite

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

**MÍSTO PRO OFICIÁLNÍ ZADÁNÍ
DIPLOMOVÉ PRÁCE**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Bc. Pešek Daniel**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

METODIKA REDUKCE CO₂

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište současné koncepce hybridních vozidel.
- 2) Podrobně nastudujte možnosti softwaru Ricardo Ignite.
- 3) Využijte možnosti softwaru pro aplikaci konkrétního vozidla jedoucího po definované dráze (cyklu). Porovnejte spotřeby paliva /CO₂ emise/ na různých cyklech a pro různé konstrukce (koncepce pohonu hybridního vozidla).
- 4) Cílem diplomové práce je využití výsledků na Katedře vozidel a motorů (TUL) a Laboratoři pohonných jednotek.

Poděkování

Poděkování je věnováno především vedoucímu této diplomové práce panu Ing. Robertu Voženílkovi, Ph.D., dále děkuji panu Ing. Pavlu Brabcovi, Ph.D. za veškeré věcné připomínky a rady. Zvláštní poděkování patří celé mé rodině, přítelkyni, všem blízkým, kamarádům za duševní i finanční podporu nejenom při psaní DP, ale i v celém průběhu studia na Technické univerzitě v Liberci.

Seznam symbolů a zkratek

Značka	Význam	Jednotka
L_{vt}	stechometrické množství suchého vzduchu	$[kg_{such. vzduchu}/kg_{paliva}]$
m_{paliva}	hmotnost paliva	$[g/km]$
m_{CO_2}	hmotnost vyprodukovaného CO ₂	$[kg]$
$\rho_{benzínu}$	hustota benzínu	$[kg/m^3]$
σ_C	hmotnostní podíl uhlíku v palivové směsi	$[-]$
σ_{H_2}	hmotnostní podíl vodíku v palivové směsi	$[-]$
σ_{O_2}	hmotnostní podíl kyslíku v palivové směsi	$[-]$
σ_S	hmotnostní podíl síry v palivové směsi	$[-]$
CO ₂	oxid uhličitý	
ABS	protiblokovací systém vozidla	
ASR	regulace prokluzu kol	
CAN bus	vnitřní komunikační síť v automobilu	
FTP	americký jízdní cyklus	
NEDC	evropský jízdní cyklus aktuálně platný	
NEDC	evropský jízdní cyklus aktuálně platný	
TSI	přepřehovaný motor s přímým vstřikem	
WLTP	evropský jízdní cyklus platný od roku 2017	

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	KONCEPCE HYBRIDNÍCH VOZIDEL.....	12
2.1	Stupeň hybridizace	12
2.1.1	Micro Hybrid	12
2.1.2	Mild Hybrid	13
2.1.3	Full Hybrid.....	14
2.2	Tok výkonu	15
2.2.1	Sériové uspořádání.....	15
2.2.2	Paralelní uspořádání.....	16
2.2.3	Kombinované uspořádání	17
3	ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE	18
4	KONCEPCE ŘÍZENÍ HYBRIDNÍHO VOZIDLA.....	18
5	PŘÍKLAD HYBRIDNÍHO POHONU	18
6	ZÁKLADNÍ INFORMACE O POUŽITÉM SOFTWARE A VSTUPNÍ PARAMETRY	20
6.1	Ignite	20
6.2	Vysvětlení jednotlivých členů řetězce	21
6.2.1	Jízdní cyklus	21
6.2.2	Simulace odezvy systému.....	24
6.2.3	Spalovací motor	25
6.2.4	Elektromotor	28
6.2.5	Akumulátor	30
6.2.6	Řídící jednotka hybridního vozidla.....	30
6.2.7	Senzory	30
6.2.8	Spojka	31
6.2.9	Setrvačnost.....	31

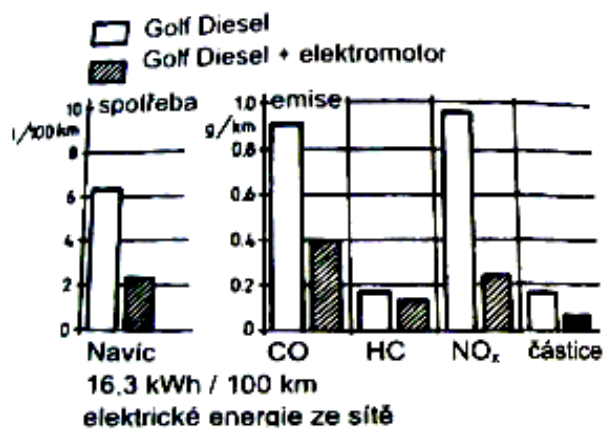
6.2.10	Převodové ústrojí	31
6.2.11	Strategie řazení	32
6.2.12	Řídící jednotka převodovky.....	33
6.2.13	Kloubový hnací hřídel	33
6.2.14	Model automobilu.....	34
7	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ SIMULACE.....	35
7.1	Paralelní hybrid P1, P2, P3 – NEDC.....	36
7.1.1	Přehled paralelních zapojení – P1, P2, P3	36
7.1.2	Výsledky a porovnání paralelních hybridů P1, P2, P3 pro cyklus NEDC	37
7.1.3	Výsledky a porovnání paralelních hybridů P1, P2, P3 pro cyklus WLTP	42
7.1.4	Výsledky a porovnání modelu bez použití elektromotoru pro NEDC cyklus	46
7.1.5	Výsledky a porovnání modelu bez použití elektromotoru pro WLTP cyklus	47
7.1.6	Porovnání výsledků paralelního hybridu různých vozidel pro jízdní cyklus NEDC.....	48
7.1.7	Porovnání výsledků paralelního hybridu různých vozidel pro jízdní cyklus WLTP.....	50
7.1.8	Porovnání spotřeby paliva vozidel Citigo a Superb bez elektromotoru pro jízdní cyklus NEDC	52
7.1.9	Výsledné porovnání vozidel Citigo a Superb	54
8	ZÁVĚR.....	55
	LITERATURA	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM GRAFŮ	60
	SEZNAM TABULEK	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

1 ÚVOD

Počet automobilů na celém světě neustále roste, což je zapříčiněno zrychlujícím se životním tempem a lidskými potřebami. Tento trend bude zřejmě i v budoucnu pokračovat. Protože velký počet používaných automobilů znamená produkování škodlivin a tím i ničení životního prostředí, bylo nutné, aby se automobilový průmysl začal, co se týče znečišťování, regulovat. Přestože produkce škodlivin způsobená automobily je ve srovnání s jinými subjekty znečišťující životní prostředí téměř zanedbatelná, je na automobilový průmysl vytvořen větší tlak než na kterýkoliv jiný průmysl. Aby výrobci vozidel splňovali veškerou legislativu a normy pro ochranu životního prostředí, musí zavést různá opatření, jako je například aplikace Start-Stop systému. Trend downsizingu při větším přeplňování motorů, ale také čím dál častější využívání alternativních pohonů či kombinace spalovacích motorů s elektromotorem, také nazývané jako hybrid.

Hybrid tedy využívá dva zdroje energie s tím, že elektrická energie je považována za „čistou“ energii, a proto hybridní pohonné jednotky produkují menší počet emisí. Využití těchto pohonných agregátů má vzrůstající tendenci a očekává se, že tomu tak bude i v budoucnu.

Tato diplomová práce se nejprve zaměřuje na obecné rozdělení koncepčního uspořádání hybridních vozidel. Praktická část je zaměřena na simulační analýzu konkrétního vozidla po definované dráze s důrazem na vyhodnocení spotřeby paliva a produkci CO₂ v různých jízdních cyklech.



Obrázek 1 – Výsledky měření vozu Golf – Hybrid podle testu ECE (Automobil-Industrie 1990) [6]

2 KONCEPCE HYBRIDNÍCH VOZIDEL

Všichni výrobci automobilů vyrábí hned několik typů vozidel, totéž se dá říci i o hybridních vozidlech. Výrobce se snaží vyjít maximálně vstříc, a proto je nutné hybridy kategorizovat dle různých požadavků. Základní rozdělení je dle stupně hybridizace a dle pohonného ústrojí.

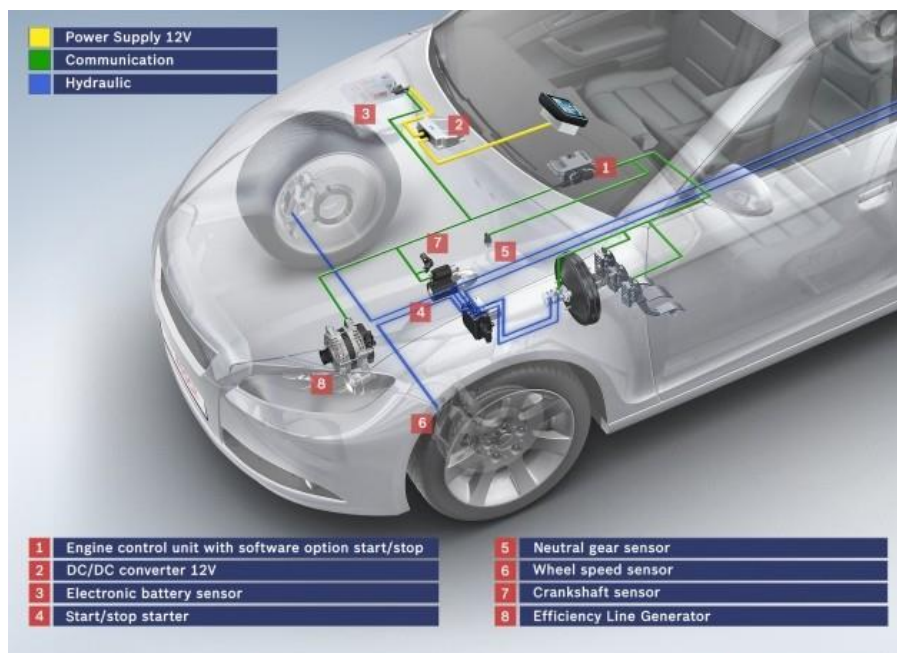
2.1 Stupeň hybridizace

Dle prvního rozdělení existují tři typy hybridních vozidel. A to tzv. micro hybrid, mild hybrid a full hybrid. Toto rozdělení tedy udává stupeň použití elektrické energie a stupeň použití elektrického výkonu z elektromotoru vůči výkonu uskutečněného klasickým spalovacím motorem.

2.1.1 Micro Hybrid

Jedná se o první stupeň hybridizace. Automobil je primárně poháněn spalovacím motorem a jako micro hybrid je označován kvůli použití Start-Stop systému. Takto vybavené vozidlo využívá elektromotor k častému zhasínání a startování spalovacího motoru. Důvod k používání tohoto systému je jízda uživatelů ve městech, kde jsou často křižovatky se semaforey. V praxi to znamená, že uživatel přijede na křižovatku, systém Start-Stop vyhodnotí, že se vozidlo nepohybuje a uživatel sešlápl brzdový pedál a spojkový pedál. Následně je poháněcí agregát zhasnut. V momentě, kdy jezdec již nemá sešlápnutý brzdový pedál, se hnací motor opět pomocí elektromotoru nastartuje a řidič se může s automobilem pohybovat. Přestože je nastartování poměrně rychlé, dochází k prodlevě, což je nevýhoda při požadavku rychlejšího rozjetí vozidla. Systém Start-Stop je v současné době používán u drtivé většiny nově vyrobených automobilů, takže se dá říct, že většina nových jezdících automobilů jsou již micro hybridy. Systém Start-Stop se dá vypnout, ale je možné, že v budoucnu nebude v kabině tlačítko pro vypnutí tohoto systému. Vozidlo s tímto systémem tedy produkuje menší množství škodlivých látek a snižuje se spotřeba paliva. [2]

Vyspělejší Micro hybridy obsahují taktéž tzv. rekuperaci brzděné energie, což znamená, že při brzdění elektromotor slouží jako generátor energie, kterou je dobíjen akumulátor vozidla. [2]



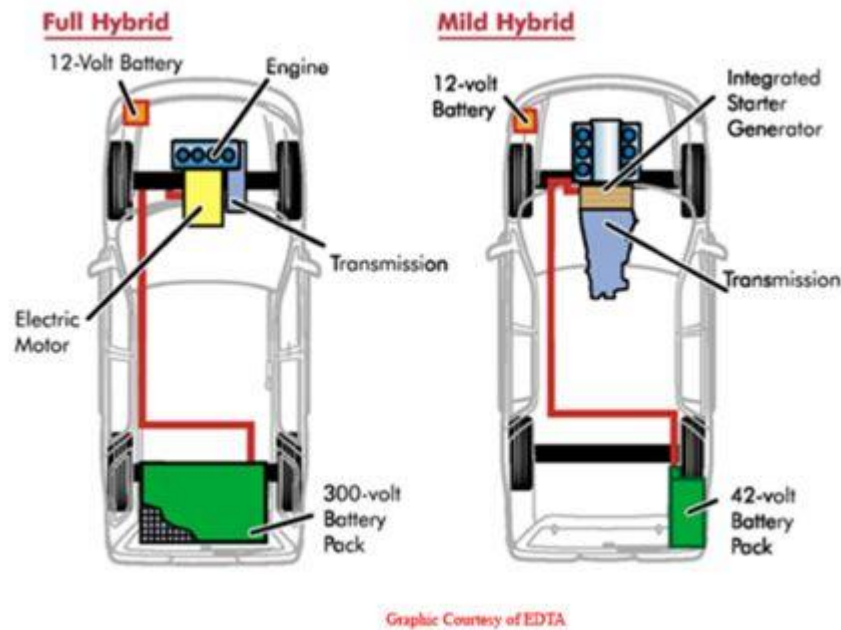
Obrázek 2 - Příklad schématu Start-Stop systému [1]

2.1.2 Mild Hybrid

Jde o vyšší stupeň hybridizace, kde automobil k pohonu stále využívá primárně spalovací agregát, avšak v různých režimech se k pohonu využívá z části i elektromotor. To znamená, že řídicí jednotka vyhodnocuje aktuální styl jízdy řidiče a je-li potřeba zvýšit okamžitý výkon spalovacího motoru, zapojí se do pohonu i elektromotor. Výhoda mild hybridu je v tom, že není nutné, aby samotný primární hnací motor měl vysoký výkon a velký zdvihový objem, ale lze tedy použít nižší výkon s nižším zdvihovým objemem a zbytek potřebného výkonu je dodáván elektromotorem. To podporuje trend „downsizingu“. Výhodou je, že tento hybrid má opět ve srovnání s klasickými vozidly nižší produkované emise a spoří také pohonné hmoty. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. Jako příklad těchto hybridů lze uvést Mercedes Benz S 400 Hybrid, Honda Insight, Honda Civic Hybrid, Honda Accord Hybrid, BMW ActiveHybrid 7. Tato vozidla také obsahují systém Start-Stop a rekuperaci brzděné energie. [2]

Do kategorie mild hybridů spadají i takzvané muscle hybridy, což znamená, že u těchto vozů není záměr zmenšovat výkon a snižovat zdvihový objem kompenzací elektromotorem. Cílem muscle hybridů je použití spalovacího motoru s vysokým zdvihovým objemem a vysokým výkonem ve spojení s elektromotorem,

čímž se zajistí velmi vysoký výkon automobilu. Filozofie takovýchto vozidel je tedy poměrně v rozepři se snižováním emisí a snižováním spotřeby pohonných hmot. [2]



Obrázek 3 - Schématické porovnání mild hybridu a full hybridu [3]

2.1.3 Full Hybrid

Nejvyšší stupeň hybridizace využívá k pohybu čistě elektrickou energii generovanou elektromotorem. Přesto je automobil vybaven spalovacím motorem, který je používán při vybití baterie dodávající energii elektromotoru, či při požadavku dobíjení akumulátoru. Opět jsou instalovány systémy Star-Stop a rekuperace brzděné energie. V současné době se již zvyšuje kapacita baterií pro zvyšování dojezdu na elektrickou energii. Existují i Plug-in hybridy, které lze dobíjet přímo ze sítě. Mezi velké výhody těchto vozidel je prakticky nulové produkování emisí při provozu. Mezi hlavní nevýhody patří komplikovaná konstrukce, relativně nízký dojezd, dlouhotrvající nabíjení a v neposlední řadě i vysoká cena pořizovaného vozu. Jako full hybrid jsou považované vozy Toyota Prius, Toyota Auris. [2]



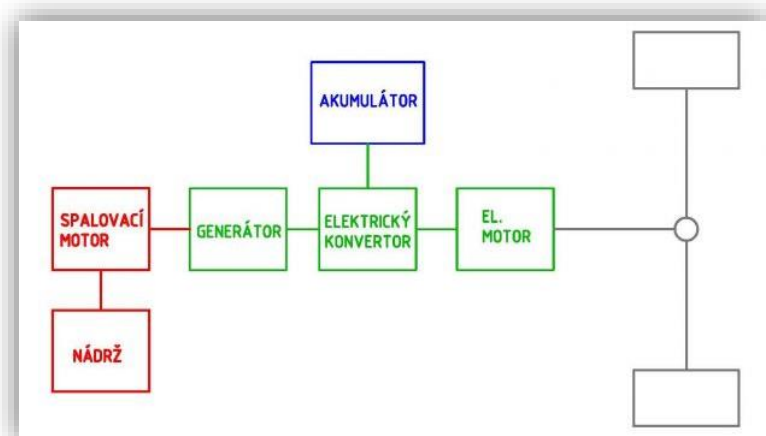
Obrázek 4 - Full hybrid Toyota Prius [4]

2.2 Tok výkonu

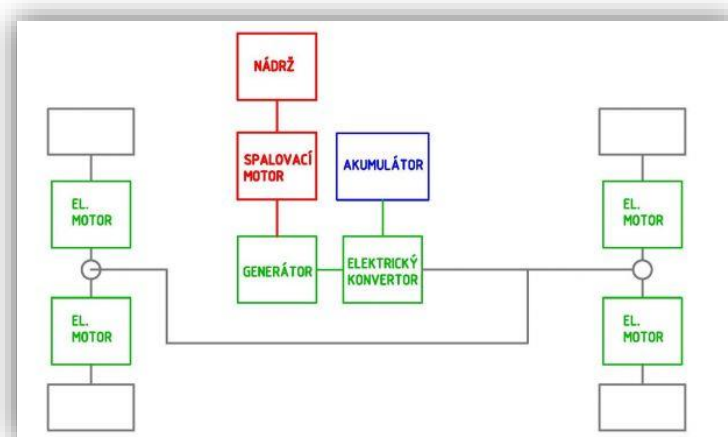
Kromě stupně hybridizace lze hybridní vozidla dělit také podle toho, jak teče výkon od pohonné jednotky až ke kolům vozidla. Tyto automobily je tedy možno rozdělit na sériové, paralelní a kombinované uspořádání.

2.2.1 Sériové uspořádání

Sériové uspořádání hybridu znamená tok energie ze spalovacího agregátu přes generátor elektrické energie. Tato energie je přiváděna buď do elektromotoru, který pohání kola přes diferenciál a nebo je ukládána do akumulátoru. Velkou výhodou sériového uspořádání je nezávislost otáček spalovacího motoru na otáčkách kol, neboť výkon z hnacího ústrojí teče přes generátor, elektromotor a diferenciál. Tímto způsobem je možné dostat se do optimálních oblastí účinností a snížit spotřebu paliva. Další možností u sériového uspořádání je umístění elektromotoru přímo do nábojů kol, to umožňuje vynechání použití převodovky, diferenciálu, čímž je spořena zástavba vozidla. Nevýhodou může být vznik neodpružených hmot, a proto musí být kladen větší důraz na odpružení. Jako další výraznou nevýhodu tohoto způsobu je pokles účinnosti celkého hnacího ústrojí. [2], [5]



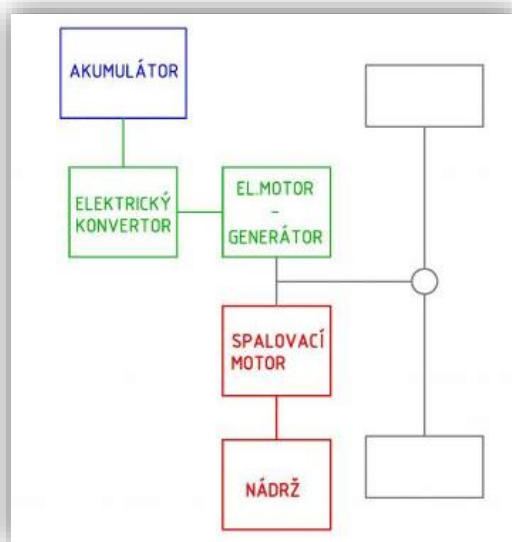
Obrázek 5 - Schématicky sériové uspořádání hybridního vozidla [5]



Obrázek 6 - Schématicky sériové uspořádání hybridního vozidla s elektromotory v nábojích jednotlivých kol [5]

2.2.2 Paralelní uspořádání

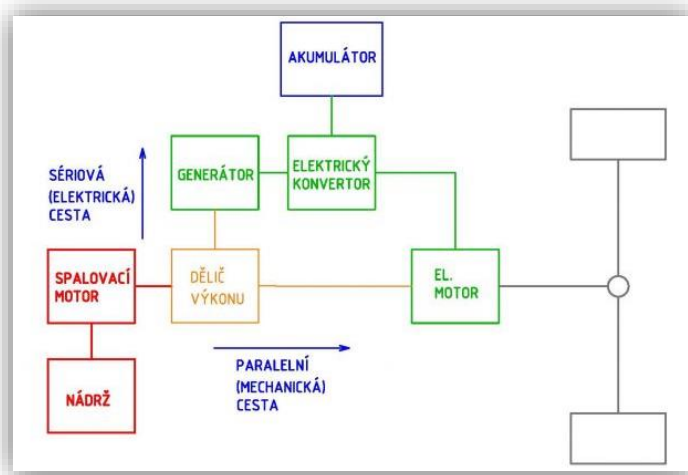
Rozdíl paralelního uspořádání oproti sériovému je v tom, že spalovací motor předává výkon kolům přímo. Do tohoto systému je paralelně zapojen i elektromotor a generátor, přičemž primární pohon může přicházet od spalovacího motoru a při okamžité potřebě zvýšení motoru se připojí i elektromotor, který je s tímto systémem spojen mechanickou převodovkou, to podporuje trend downsizingu. Spalovací motor tak nemusí být dimenzován na celkový výkon automobilu, viz kapitola 2.1.2. Výhodou je, že elektromotor může taktéž pohánět například klimatizaci či posilovač řízení. Oproti sériovému uspořádání není snížena celková účinnost a to vlivem přímého spojení spalovacího motoru s koly. [2], [5]



Obrázek 7 - Schématicky paralelní uspořádání hybridního vozidla [5]

2.2.3 Kombinované uspořádání

Protože sériová i paralelní uspořádání mají svoje výhody i nevýhody, spojila se obě uspořádání pro využití výhod a potlačení nevýhod. U této koncepcie je nutné použití tzv. děliče výkonu, za který je považována diferenciální planetová převodovka. Dělič výkonu určuje, jaký je podíl výkonu ze spalovacího motoru přes převodovku vůči výkonu na pohon generátoru. Protože tento systém obsahuje větší počet součástí a je konstrukčně složitější, pohybuje se cena vozidla ve vyšších cenových relacích. [2], [5]



Obrázek 8 - Schéma kombinovaného uspořádání hybridního vozidla [5]

3 ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Systém, který slouží jako zásobník elektrické energie obsahuje vlastní akumulátor, řídicí jednotku, zařízení opětovného dobíjení, rekuperace atd. [7]

Požadavky pro zdroje elektrické energie automobilů jsou energetická a výkonová hustota, vysoká účinnost, bezúdržbový provoz, dlouhá životnost, nízká hmotnost, ekologická čistota. [7]

Pro trakční baterie se používají následující systémy: olovený akumulátor, akumulátor nikl – kadmium, akumulátor nikl – metalhydrid, akumulátor sodík – niklchlorid, akumulátor lithium – ion, akumulátor lithium – polymer, akumulátor zinek – vzduch. [7]

4 KONCEPCE ŘÍZENÍ HYBRIDNÍHO VOZIDLA

Od tzv. řízení jízdy je odvozeno jak centrální řízení, tak i hlídání jízdních funkcí hybridního vozidla. Tato řídicí elektronika má za úkol rozdělit elektrický výkon od počátku toku výkonu (tzn. generátor, akumulátor) na spotřebiče (poháněcí motory, nabíjení akumulátoru) při všech jízdních podmínkách. To vše ve spojení s ovládním automobilu uživatelem tvoří aktuálně použitelný výkon agregátu poháněcího systému. [7]

Dle požadavků a dle bezpečnosti v osobním automobilu plní řízení jízdy kontrolu s aktuálními informacemi o jízdě včetně bezpečnosti při kritických situacích. Výpočítaná zrychlení, brzdné momenty pro hnaný motor jsou přenášeny elektronikou (např. CAN Bus, v současné době se používá dvojný/trojný CAN Bus) přes výkonový stupeň na elektromotor. Kompletní regulace hybridního vozidla je složitý a komplexní problém, neboť je třeba zohledňovat i další přídavné funkce jako je ABS, ASR, regulace jízdní stability a jiné. Také je nutné kapalinově chladit řídicí jednotku vzhledem k vzniku ztrátového tepla (2 až 3 kW pro přenášený výkon 50 kW). [7]

5 PŘÍKLAD HYBRIDNÍHO POHONU

Zřejmě nejznámějším představitelem hybridního vozidla je první sériově vyráběný hybridní vůz, Toyota Prius z roku 1997. Pro pohon vozidla je využíván zážehový čtyřválec s objemem 1,5 l a výkonem 43 kW a 30 kW synchronního elektromotoru.

Tento vůz je uspořádán jako paralelní hybrid. Plynulé dělení výkonu mezi spalovací motor a elektromotor, které jsou s hnacími koly spojeny planetovým soukolím, zajišťují chod v příznivé oblasti točivého momentu a tím pádem i příznivé spotřeby. Řídící jednotka je nastavena tak, že je-li vozidlo v klidu, spalovací motor se vypíná, dále při plynulém rozjezdu či jízdě při rychlosti do 50 km/h pohání Prius pouze elektromotor. Potřebuje-li uživatel vyšší okamžitý výkon, spalovací motor se připojí k výkonu elektromotoru. Spotřeba paliva tohoto vozidla je přibližně 3,6 l/100 km. [7]

Funkce hybridní soustavy Toyota Prius je znázorněna na obrázku 9. Tato funkce se dá rozdělit do pěti fází:

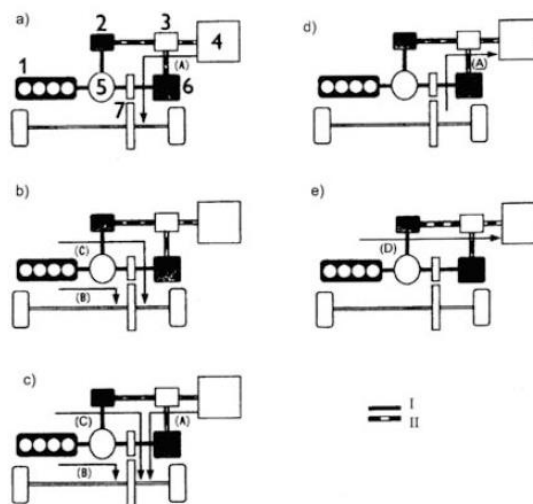
a – Rozjezd, pomalá jízda, apod. Spalovací motor je vypnutý, protože by pracoval v neekonomickém režimu. Vozidlo je poháněno pouze elektromotor (A)

b – Normální jízda. Motor pohání, pomocí rozdělovacího soukolí, kola vozu (B) a také generátor (C), který dodává proud elektromotoru. Dělení výkonu se reguluje tak, aby účinnost celé soustavy byla co nejvyšší.

c – Plná akcelerace. Při plném sešlápnutí akceleračního pedálu pohání vozidlo oba motory (B, C). Elektromotoru dodávají proud i baterie (A).

d – Decelerace a brzdění. Kinetická energie vozidla se využívá k pohonu elektromotoru, jenž se mění v generátor, který dobíjí baterie (A).

e – Dobíjení baterií. Poklesne-li napětí baterií, začnou se dobíjet proudem z generátoru (D). [7]



Obrázek 9 – Schéma uspořádání hybridní soustavy Toyota Prius a její funkce [7]

I – Mechanické spojení, II – Elektrické spojení

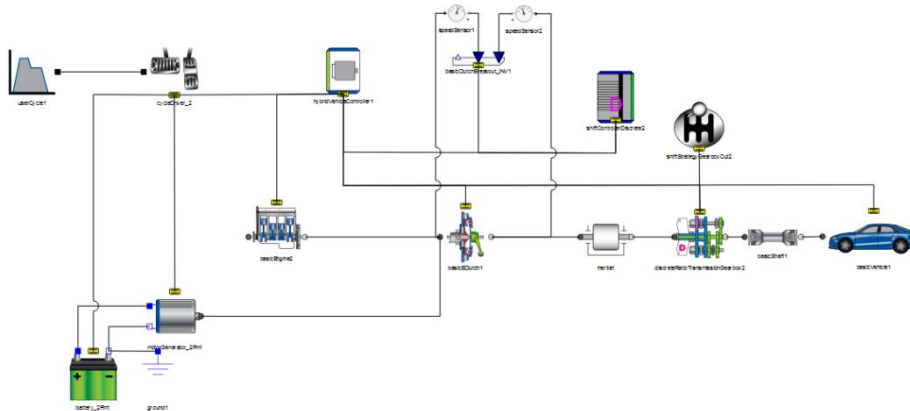
- 1) Spalovací motor, 2) Generátor, 3) Měnič a usměrňovač proudu, 4) Baterie,
- 5) Rozdělovací planetové soukolí, 6) Elektromotor.

6 ZÁKLADNÍ INFORMACE O POUŽITÉM SOFTWARE A VSTUPNÍ PARAMETRY

6.1 Ignite

Pro tuto diplomovou práci je použit software Ignite, jež vyvinula firma Ricardo Software. Ignite je komplexní systém pro simulační analýzy modelu vozidla. Software obsahuje knihovny, ze kterých je možné vybrat jednotlivé elementy hnacího ústrojí automobilu, jako je například spalovací motor, elektromotor, baterie, setrvačnick, spojka, převodovka, rozvodovka, kola, atd. Program umožňuje taktéž zvolit různé jízdní cykly, jako je například NEDC (NEFZ), FTP. Ignite taktéž umožňuje vytvořit si vlastní cyklus. Co se týče vytvoření kompletního modelu automobilu, lze vytvořit klasický spalovací motor a při zapojení elektromotoru tak vytvořit hybridní vozidlo, což je příklad této diplomové práce. Přestože bylo použito co nejvíce reálných vstupních parametrů, nebylo možné zajistit všechny, a proto bylo použito v některých případech vstupních hodnot softwaru Ignite.

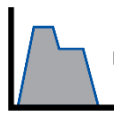
Pro diplomovou práci bylo vytvořeno schéma hybridního vozidla. Jedná se o jednoduché paralelní uspořádání (viz obrázek 10), které bude modifikované dle zadaných hodnot.



Obrázek 10 – Schéma paralelního uspořádání hybridního automobilu

6.2 Vysvětlení jednotlivých členů řetězce

6.2.1 Jízdní cyklus



■ Ignite umožňuje použít klasický jízdní cyklus pro Evropskou unii NEDC, který je v Ignite již předdefinovaný v textovém souboru, kde je závislost rychlosti na čase. Nový jízdní cyklus WLTP, který je následníkem pro cyklus NEDC prozatím není v Ignite definovaný, a proto bylo nutné jej do programu implementovat a data jsou použita ze zdroje [9].

6.2.1.1 Porovnání jízdních cyklů NEDC a WLTP

Jízdní cyklus NEDC, jenž vznikl v roce 1990 bude koncem roku 2017 s přičtením přechodné doby nahrazen modernějším cyklem WLTP. NEDC totiž nevyhovuje novým legislativním požadavkům a normám, a proto se naměřené hodnoty jak spotřeby paliva, tak produkce CO₂, mohly značně lišit od reality. Dalším důvodem může být taktéž to, že NEDC byl vytvořen pouze pro spotřebu paliva bez přihlédnutí k produkci CO₂. [8]

Grafy jízdních cyklů jsou uvedeny v příloze.

Tabulka 1 – Porovnání jízdních cyklů z hlediska vozidla [8]

Parametr	Dle NEDC	Dle WLTP
Řadící strategie u manuální převodovky	Fixní	Dle vozidla
Hloubka dezénu pneumatik	50%-90% původní hl. dezénu, nebo najeto min. 3000 [km]	80%-90% původní hl. dezénu
Příprava pneumatik	Nedefinováno	Bez zahřátí
Tlak v pneumatikách	Nedefinováno	Dle štítku na vozidle
Aerodynamika	Nejhorší karoserie	Pro daný typ vozidla
Brzdy	Nedefinováno	Bez upravování nastavení
Příprava	Nedefinováno	Více jak 20 minut při rychlosti 118 km/h
Teplota okolí	20 °C – 30 °C	14 °C / 23 °C
Hmotnost vozidla	Pohotovostní hmotnost + 100 kg	Pohotovostní hmotnost + 100 kg + užitečné zatížení
Počet kilometrů vozidla	Více jak 3000 km	3000 km – 15 000 km
Stav nabití baterie	Nedefinováno	Bez dobíjení baterie
Postup pro hybridy	Nedefinováno	Zatím nedefinováno

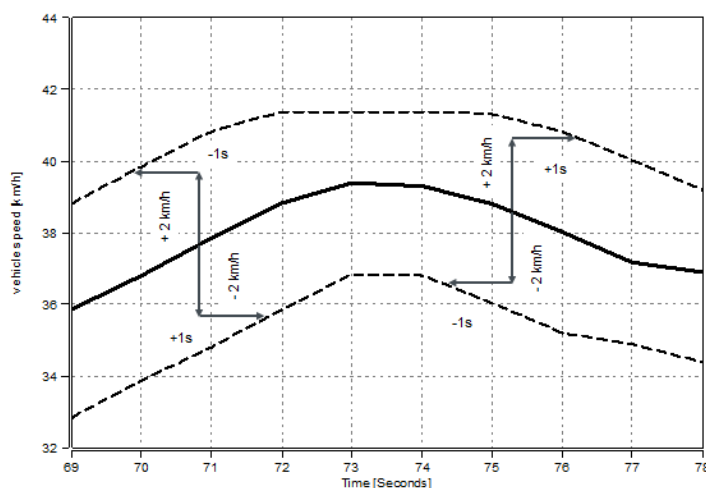
Tabulka 2 – Porovnání jízdních cyklů z hlediska parametrů [8]

Parametr	Jednotky	Dle NEDC	Dle WLTP
Doba trvání testu	-	19 minut 40 sekund (1180 s)	30 minut (1800 s)
Ujetá vzdálenost	km	11,03	23,27
Průměrná rychlost	km/h	33,6	46,5
Maximální rychlost	km/h	120	131,3
Počet zastavení	-	14	9
Celková doba stání	s	280 (23,7%)	226 (12,6%)
Celková doba konstantní jízdy	s	475 (40,3%)	66 (3,7%)
Celková doba zrychlování	s	247 (20,9%)	789 (43,8%)
Celková doba zpomalování	s	178 (15,1%)	719 (39,9%)
Průměrná hodnota zrychlování	m/s ²	0,59	0,41
Maximální hodnota zrychlování	m/s ²	1,04	1,67
Průměrná hodnota zpomalování	m/s ²	-0,82	-0,45
Maximální hodnota zpomalování	m/s ²	-1,39	-1,50

6.2.2 Simulace odezvy systému

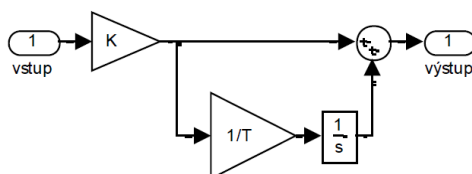


Při změně v jízdním cyklu systém reaguje s určitým zpožděním, které lze nadefinovat, patří sem rychlost reakce celkového systému, zpoždění při akceleraci a zpoždění při brzdění. Tyto odchylky je nutné nadefinovat s určitou přesností, aby nepřesahovaly toleranční odchylky povolené pro jízdní cykly NEDC a WLTP. Tato přesnost je nadefinována příslušnými normami, jak pro NEDC, tak pro WLTP stejně. Horní hranice rychlosti může být vyšší maximálně o 2 km/h a v rozmezí 1 s od sledovaného okamžiku. Dolní hranice rychlosti může být nižší maximálně o 2 km/h a v rozmezí 1 s od sledovaného okamžiku. Jsou povolené i odchylky, které jsou větší než ± 2 km/h, ale jsou podmíněné dobou trvání (maximálně 0,5 s) a počtem odchylek v cyklu (maximálně 10). [10]. [11]



Obrázek 11 – Toleranční pole pro NEDC a WLTP cyklus [11]

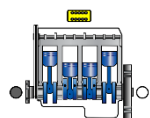
Simulace odezvy systému funguje jako spojité regulátor PI. P určuje reakci regulátoru na velikost regulační odchylky (zesilovač) a I určuje reakci regulátoru na dobu trvání regulační odchylky. Systém je tedy potřeba nastavit tak, aby ani překmitý nepřesáhly toleranční pole vůbec, a nebo aby se překmitý vyskytovaly dle nařízení. [12]



Obrázek 12 – Blokové schéma PI regulátoru [13]

Protože vytvořený systém nevykazuje velké odchylky ani při použití NEDC systému ani při použití WLTP systému, nebylo nutné tyto hodnoty výrazně měnit oproti základnímu nastavení a byla řešena spíše optimalizace tohoto nastavení.

6.2.3 Spalovací motor



Jedna z nejdůležitějších komponent celého systému. Ignite nevyžaduje přímé zadání procesu spalování, ani zda-li se jedná o zážehový či vznětový motor, ale je nutné zadat přesné mapy a charakteristiky motoru. Pro diplomovou práci jsou použity hodnoty reálného tříválcového zážehového agregátu 1,0 l TSI s maximálním výkonem 85 kW při 5500 1/min a maximálním točivým momentem 200 Nm při 3000 1/min. Agregát má zdvih 76,4 mm a vrtání 74,5 mm, jedná se tedy o „nadčtvercový“, což je pro současné zážehové motory obvyklé z důvodu vyšší účinnosti. Počet ventilů na válec jsou 4 a kompresní poměr je 10,5:1. Motor je použit například v automobilu Škoda Octavia, Škoda Fabia, Volkswagen Golf, Volkswagen Polo a další [15]. Ignite pracuje s procesem spalování, avšak vyžaduje mapu motoru, která zde musí být zadána v podobě matic. Zadané hodnoty z laboratoře jako jsou otáčky, momenty, výkony, hodinové spotřeby paliva, měrné spotřeby paliva nebylo nutné nijak přepočítávat nebo převádět.

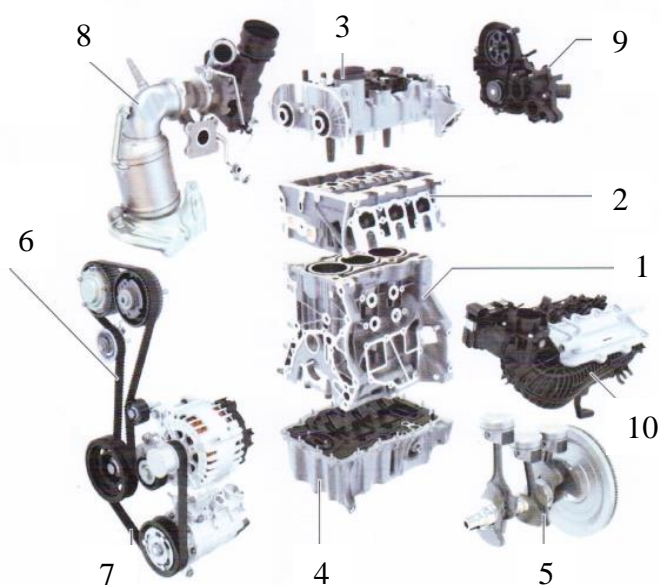
Tabulka 3 – Vstupní parametry motoru pro Ignite

Parametr	Jednotky	Hodnota
Otáčky motoru bez zařazení rychlostního stupně	1/min	923
Setrvačnost	kg.m ²	CH
Třecí moment při vypnutém motoru	N.m	CH
Maximální povolené otáčky	1/min	6200
Maximální povolené otáčky – tolerance	1/min	10



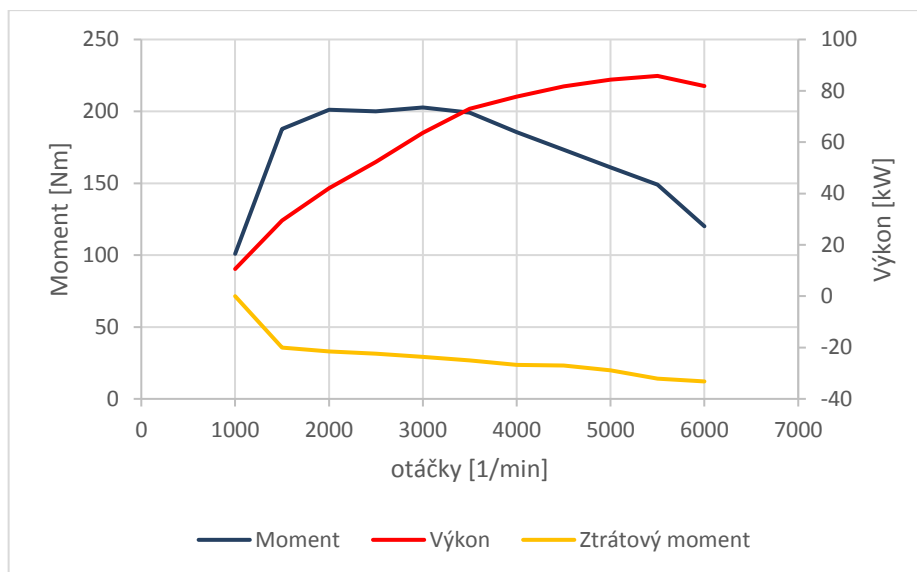
Obrázek 13 – Motor 1.0 [1] TSI [14]

Další vstupní parametry jsou uvedeny na přiloženém CD vzhledem ke své rozsáhlosti. Je to moment motoru v závislosti na otáčkách motoru, brzdny moment motoru v závislosti na otáčkách motoru, závislost hodinové spotřeby paliva v závislosti na otáčkách motoru a točivém momentu motoru a závislost obsahu CO₂ na otáčkách motoru a točivého momentu motoru. Tyto hodnoty byly naměřeny v laboratořích. Jak už bylo zmíněno dříve, hodnoty se do softwaru Ignite zadávají v podobě 2D matic a v případě hodinové spotřeby paliva 3D.

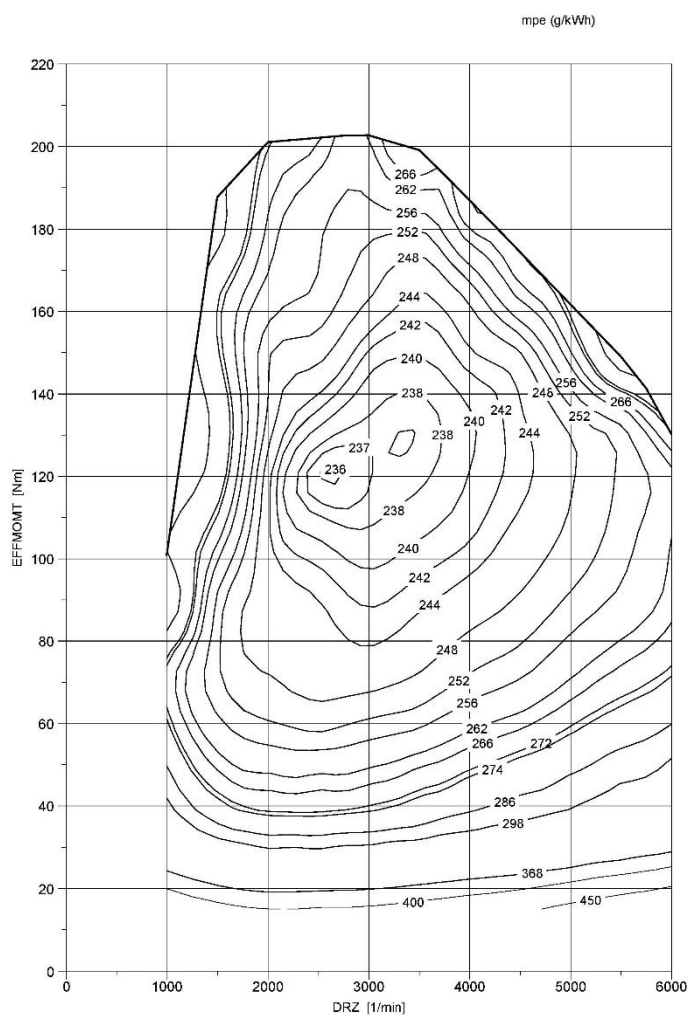


Obrázek 14 – Rozpad motoru 1.0 TSI [15]

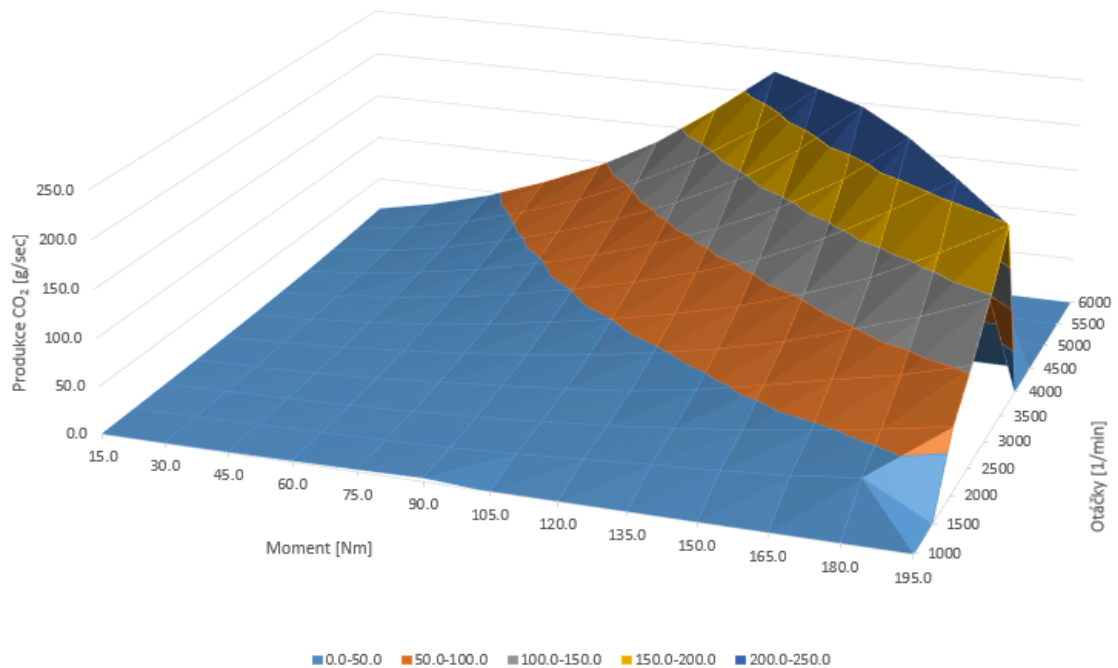
1 – Blok válců, 2 – Hlava válců, 3 – Uložení vačkových hřídelů, 4 – Olejová vana, 5 – Kliková hřídel, 6 – Ozubený řemen pohonu, 7 – Pomocný pohon, 8 – Katalyzátor s turbodmychadlem, 9 – Čerpadlo chladící kapaliny, 10 – Sací potrubí s mezichladičem



Graf 1 – Vnější otáčková charakteristika motoru spalovacího motoru

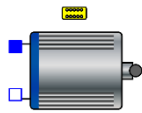


Graf 2 – Mapa hodinové spotřeby paliva spalovacího motoru



Graf 3 – Mapa produkce CO₂ spalovacího motoru

6.2.4 Elektromotor



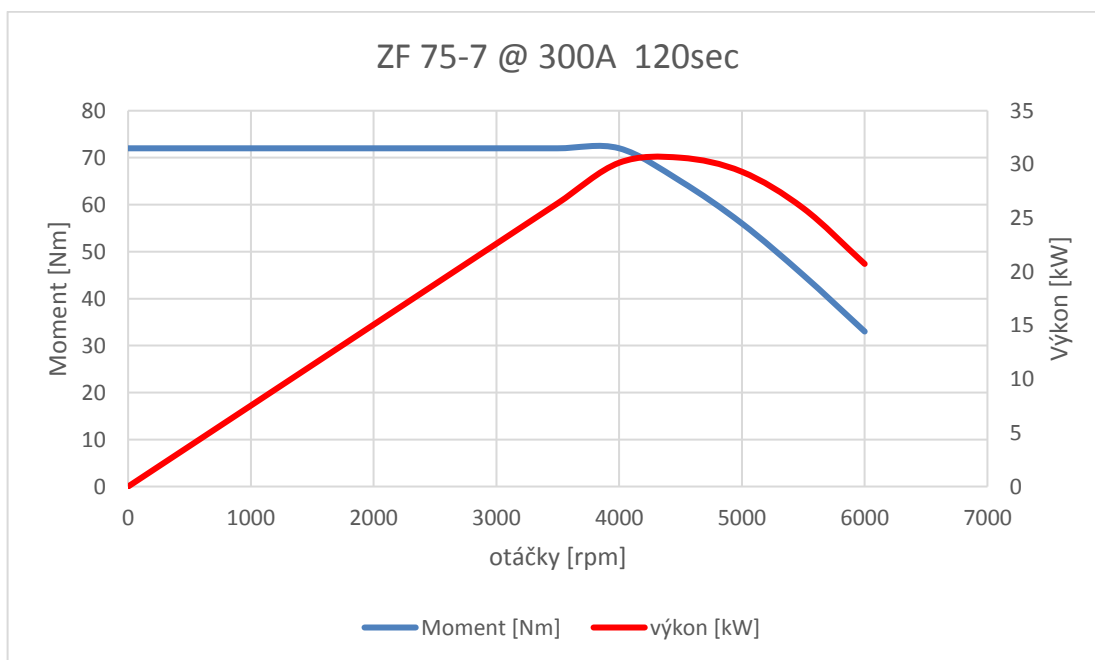
Pro diplomovou práci byl použit motor ZERO Z-FORCE 75-7, který se používá pro motocykly značky ZERO. Elektromotor využívá regulátoru Sevcon size 4 a to z toho důvodu, aby se elektromotor rychle nepřehřál. Tento regulátor ve spojení s tímto elektromotorem může pracovat ve třech režimech. Vzhledem k požadavkům diplomové práce byl zvolen režim, kde je elektromotor schopen dodávat elektrický proud 300 A po dobu 120 s, než se regulátor přehřeje. V tomto režimu elektromotor vytváří maximální moment 72 Nm při 4000 1/min a maximální výkon 30,6 Nm při 4500 1/min, vnější otáčková charakteristika viz obrázek 16. Dále je elektromotor schopen dodávat 360 A, ale pouze po dobu 10 s. V tomto případě by mohlo dojít k rychlému přehřátí regulátoru, protože je výkon a točivý moment vysoký. Poslední režim je při elektrickém proudu 120 A trvale, ale v tomto případě by jak výkon, tak točivý moment nemusel stačit pro ideální projetí jízdního cyklu. Tento synchronní vzduchem chlazený elektromotor byl použit díky své dostupnosti na TUL. [17], [18]



Obrázek 15 – Synchronní elektromotor ZERO Z-FORCE 75-7 [17]

Tabulka 4 – Další zbývající důležité parametry elektromotoru [18], [19]

Parametr	Jednotky	Hodnota
Maximální výkon elektromotoru	kW	30,6
Maximální moment elektromotoru	N.m	72
Maximální el. proud	A	300
Účinnost elektromotoru	-	0,92



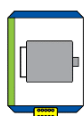
Graf 4 – Vnější otáčková charakteristika elektromotoru

6.2.5 Akumulátor



Pro model bylo využito vstupních parametrů pro simulaci hybridu vytvořené programem Ignite. Vnější teplota je 293 K, maximální kapacita akumulátoru je 5*3600 C. Napětí při jmenovitém bodu kapacity 300 V, účinnost baterie 92 %, odpor při dobíjení i vybíjení akumulátoru je 0,01 Ohm a počáteční nabití baterie je 63,6 %.

6.2.6 Řídící jednotka hybridního vozidla



Ovládá hned několik prvků soustavy, a to brzdění vozu, připojení, či odpojení elektrického motoru ke spalovacímu motoru. Dále koordinuje regeneraci brzděné energie, Start-Stop systém, generátor elektrické energie. Aby při připojení elektromotoru nedošlo ke skokové změně, tak Ignite využívá filtr, který tlumí systém v těchto okrajových podmínkách. Slouží pouze pro paralelní hybrid. Hodnoty v tomto bloku byly použity z příkladu schématu paralelního hybridu vytvořeného přímo programem Ignite. Počátek dobíjení akumulátoru nastává při 58 % kapacity baterie a konec dobíjení nastává při 80 % kapacity. Maximální dobíjení nastává při 2600 1/min a minimální dobíjení je při 1200 1/min. Maximální brzděná třecí síla pro rekuperaci brzděné energie je 8000 N a k této rekuperaci dochází při minimální rychlosti vozidla 2 m/s. Zhasnutí spalovacího motoru důsledkem použití systému Start-Stop nastane, jestliže celkový požadavek výkonu je menší než 5% maximálního výkonu motoru, je-li spalovací motor bez zatížení minimálně 2 s, minimální rychlost vozidla je menší než 1 m/s, jsou-li otáčky motoru 923 1/min.

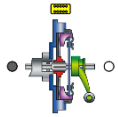
6.2.7 Senzory



Tento člen představuje senzory absolutní úhlové rychlosti před a za spojkou, které jsou výstupními hodnotami pro další zpracování danými bloky. Tato úhlová rychlost je potřebná pro řazení v modelu hybridu a jedná se o jakousi nadstavbu. Aby zmiňované bloky (např. převodovka, strategie řazení), mohly s požadovanými hodnotami pracovat, je nutné propojení těchto senzorů do Can Bus sběrnice, aby řídicí jednotka mohla údaje

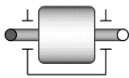
nadále používat. Tento blok slouží pouze jako senzor, proto není možné do něj vkládat jakékoli údaje.

6.2.8 Spojka



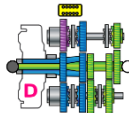
Jedná se o možnost rozepnutí a opětovné připojení hnacího agregátu k celému řetězci vozidla. Tento člen slouží spíše jako symbol pro spojku, ale ve skutečnosti je řízen strategií řazení a definovaným motorem. Spojka v tomto řetězci je zde důležitá především kvůli správnému určení absolutní úhlové rychlosti senzory, jež je vysvětleno v odstavci výše.

6.2.9 Setrvačnost



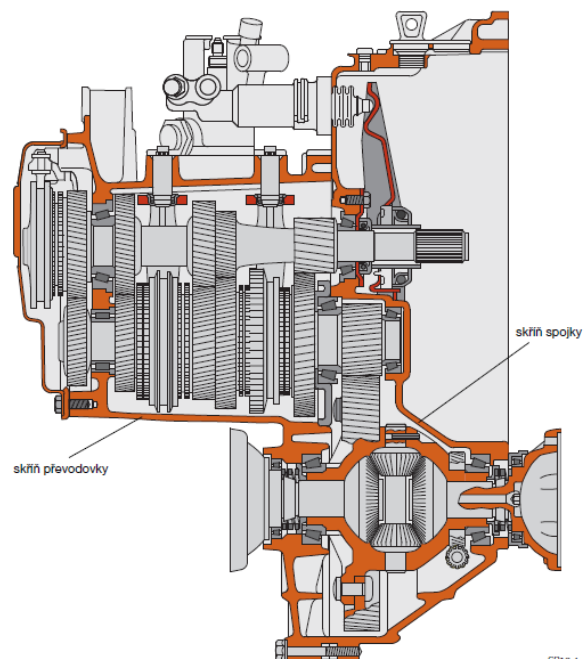
Jedná se o setrvačnost vstupní hřídele do převodovky. Tato komponenta však pro tuto diplomovou práci nemá vliv, proto není uvažována.

6.2.10 Převodové ústrojí



Pro diplomovou práci byly zvoleny převodové poměry stejné jako má manuální převodovka MQ200 02J CZM používaná v osobních automobilech s točivým momentem do 200 Nm vyvinutá koncernem Volkswagen, přičemž je pro parametry spalovacího motoru a elektromotoru v diplomové práci dostačující. Jedná se o pětistupňovou převodovku. Převodové poměry jsou rozepsány v tabulce 6. [20]

Obrázek 16 – Schéma převodovky MQ200 02J CZM [20]



Tabulka 5 – Převodové poměry [20]

Parametr	z_1	z_2	i
Rozvodovka	72	17	4,235
1. rychlostní stupeň	33	10	3,300
2. rychlostní stupeň	35	18	1,944
3. rychlostní stupeň	34	26	1,308
4. rychlostní stupeň	35	34	1,029
5. rychlostní stupeň	36	43	0,837
Zpátečka	17/36	10/20	3,060

6.2.11 Strategie řazení

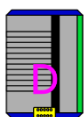


Určuje, při jakých otáčkách má systém přeřadit buď na vyšší rychlostní stupeň nebo nižší rychlostní stupeň. Uživatel definuje mapu řazení. Pokud jsou otáčky rovny nebo vyšší než definované uživatelem pro daný rychlostní stupeň, systém zařadí vyšší rychlostní stupeň, pokud jsou otáčky rovny nebo nižší než definované uživatelem pro daný rychlostní stupeň, systém zařadí nižší rychlostní stupeň. Otáčky pro zařazení vyššího rychlostního stupně musí být vždy vyšší než otáčky pro zařazení nižšího rychlostního stupně. Konkrétní otáčky byly zvoleny dle obvyklého chování řidiče. Bylo nastaveno, že k přeřazení na vyšší rychlostní stupeň dojde dle následující tabulky.

Tabulka 6 – Strategie řazení

Řazení	1/min		1/min
Z 1. na 2.	1100	Z 1. na N	-1000
Z 2. na 3.	1300	Z 2. na 1.	900
Z 3 na 4.	1800	Z 3. na 2.	1100
Z 4. na 5.	2200	Z 4. na 3.	1300
Z 5. na 6.	10000	Z 5. na 4.	1400

6.2.12 Řídící jednotka převodovky



Koordinuje mezi sebou několik článků hnacího řetězce. Koordinuje převodovku, spojku, strategii řazení, jízdní cyklus a částečně motor. Vstupní hodnoty pro tuto řídicí jednotku jsou v následující tabulce.

Tabulka 7 – Vstupní parametry pro řídicí jednotku převodovky

Parametr	Jednotky	Hodnota
Otáčky při startu motoru	1/min	1800
Doba startu	s	1
Min. otáčky pro sešlápnutí spojky	1/min	1100
Rychlost připojení spojky	s	0,1

6.2.13 Kloubový hnací hřídel



Jedná se o spojení převodovky s rozvodovkou, ale protože se v simulovaném motoru kloubový hnací hřídel nenachází (viz obrázek 16), tak není tento hřídel uvažován.

6.2.14 Model automobilu



Software Ignite uvažuje automobil jako 1D hmotu pohybující se po silnici podléhající odporovým silám a aerodynamickému odporu. Pneumatiky jsou zohledňovány z hlediska poloměru a bez skluzu. Zadané vstupní parametry zobrazuje tabulka 9, ostatní hodnoty vozidel jsou popsány až v kapitole 7.

Tabulka 8 – Model automobilu Škoda Octavia III [21], [22]

Parametr	Jednotky	Hodnota
Hmotnost vozidla	kg	1247
Součinitel odporu valení	-	0,01
Poloměr kola	m	0,302
Převodový poměr rozvodovky	-	4,235
Maximální brzdná síla	N	8000
Čelní plocha vozidla	m ²	2,27
Součinitel odporu vzduchu	-	0,277
Hustota vzduchu	kg/m ³	1,29

7 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ SIMULACE

Výsledky jsou rozděleny do několika částí. Nejprve jsou vyhodnoceny výsledky simulace paralelního hybridu, kde pro přesnější simulaci slouží hodnoty vozidla Škoda Octavia III.

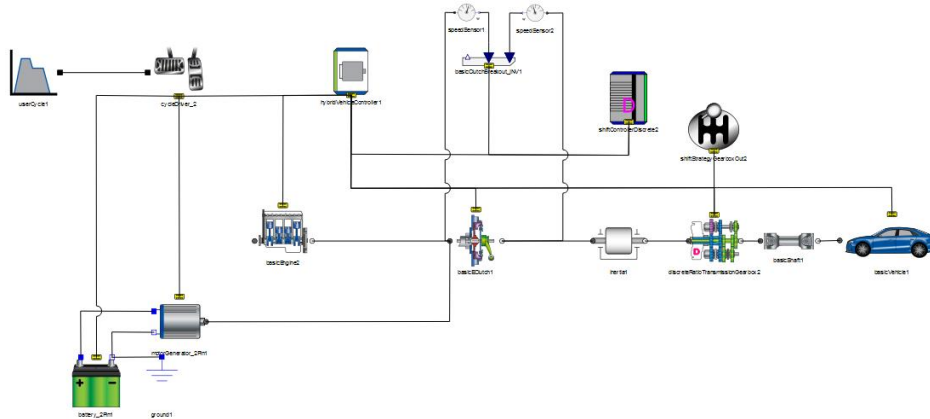
Paralelní hybrid je dále rozdělen dle toho, kde se do hnacího řetězce připojuje elektromotor a tedy, připojení elektromotoru ihned za spalovacím motorem (P1), dále připojení elektromotoru za spojkou (P2) a poslední možností je připojení elektromotoru až za převodovým ústrojím (P3), viz obrázek 17, 18, 19. Tyto tři typy hybridů byly testovány projetím cyklu NEDC a WLTP. Dále je tento model porovnán, pokud je elektromotor připojen a výkon je tedy rozdělen cca na 50% výkonu z elektromotoru a 50% výkonu ze spalovacího motoru v porovnání s modelem, kdy se elektromotor nepřipojuje vůbec. Každý tento model je vyhodnocován z hlediska projetí cyklu, stavu nabití baterie, řazení, spotřeby paliva a především produkce CO₂.

Předposlední část výsledků je zaměřena na porovnání výsledků produkce CO₂ a spotřebu paliva pro vozidlo Citigo, Fabia, Octavia a Superb. V každém případě jde o hybrid s připojením elektromotoru ihned za spalovací motor. Tyto modely jsou taktéž simulovány projetím jízdního cyklu NEDC a WLTP.

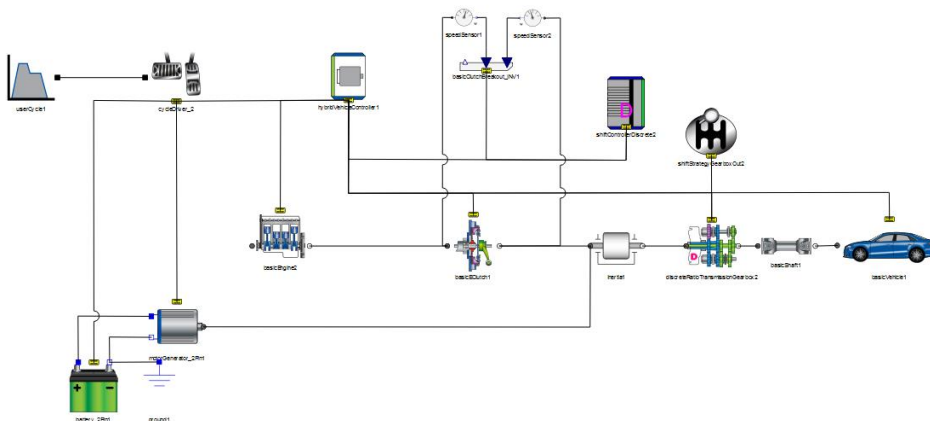
Na závěr jsou porovnávána vozidla Citigo a Superb, bez připojení elektromotoru především kvůli své rozdílné hmotnosti a odlišné kategorii vozidla pro zjištění spotřeby paliva a produkce CO₂ a porovnány s hybridním zapojením.

7.1 Paralelní hybrid P1, P2, P3 – NEDC

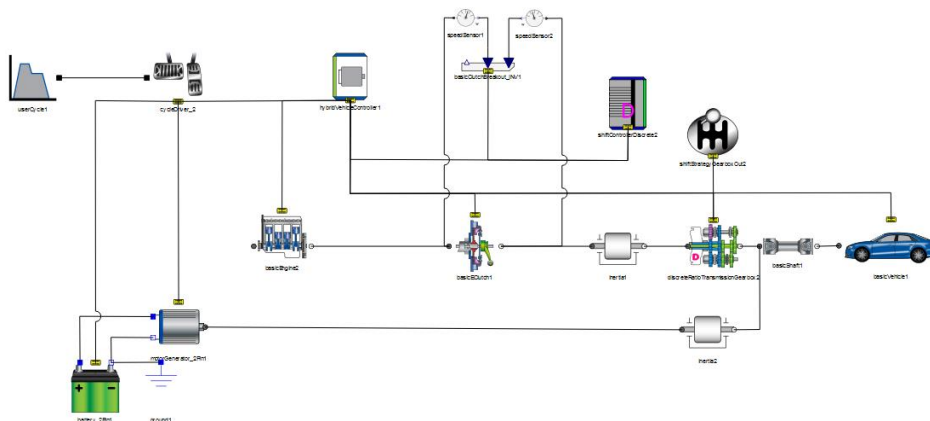
7.1.1 Přehled paralelních zapojení – P1, P2, P3



Obrázek 17 – Paralelní hybrid P1 – Připojení elektromotoru za spalovací motor

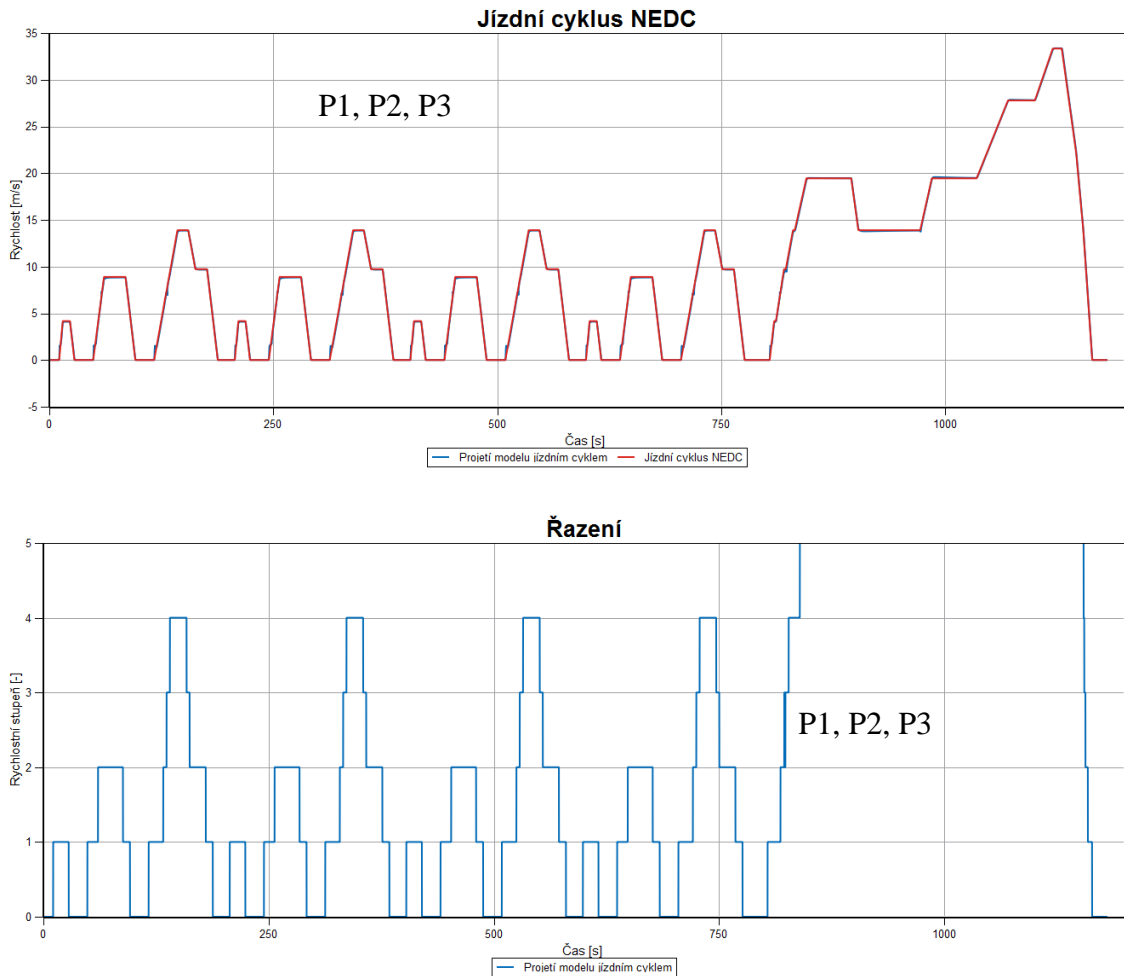


Obrázek 18 – Paralelní hybrid P2 – Připojení elektromotoru za spojku



Obrázek 19 – Paralelní hybrid P3 – Připojení elektromotoru za převodové ústrojí

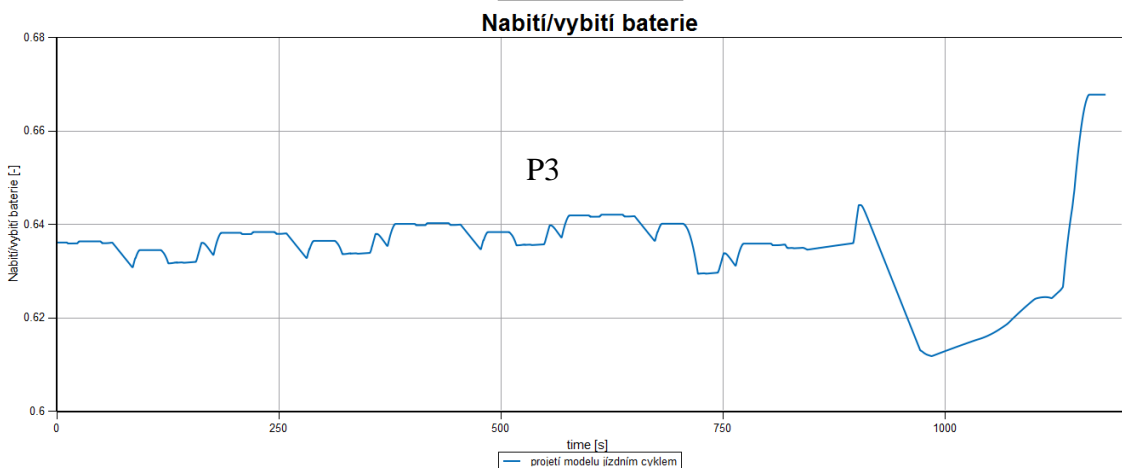
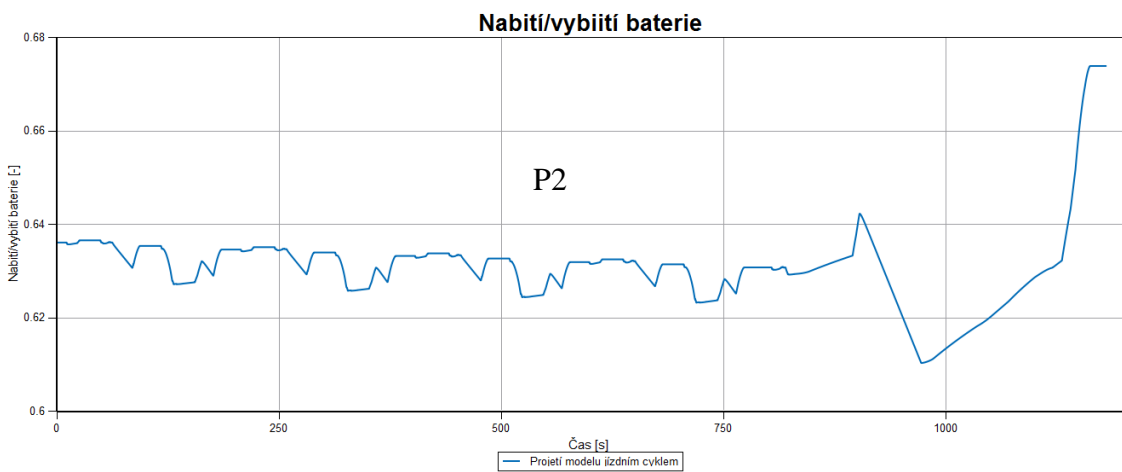
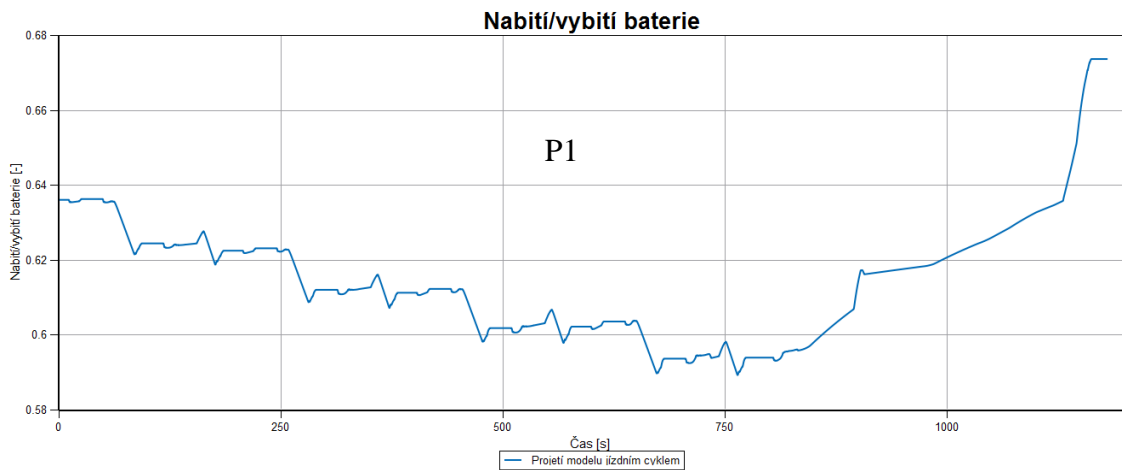
7.1.2 Výsledky a porovnání paralelních hybridů P1, P2, P3 pro cyklus NEDC



První graf znázorňuje projetí modelu cyklem NEDC. Červená křivka dle vysvětlivek značí ideální projetí cyklu a modrá značí simulované projetí modelu jízdním cyklem. Modrá křivka není příliš viditelná, neboť téměř kopíruje ideální projetí cyklu, což je žádoucí. Výchyly se v grafu vyskytují, avšak splňují tolerance, které určuje legislativa.

Druhý graf zobrazuje zařazený rychlostní stupeň v závislosti na čase pro NEDC cyklus. Tento graf se v diplomové práci opakuje, je proto uveden pouze v tomto případě a v dalších zapojeních se již nevyskytuje.

Graf projetí jízdního cyklu a graf řazení jsou pro paralelní hybridy P1, P2 a P3 téměř totožné, proto je každý graf uveden pouze jednou.



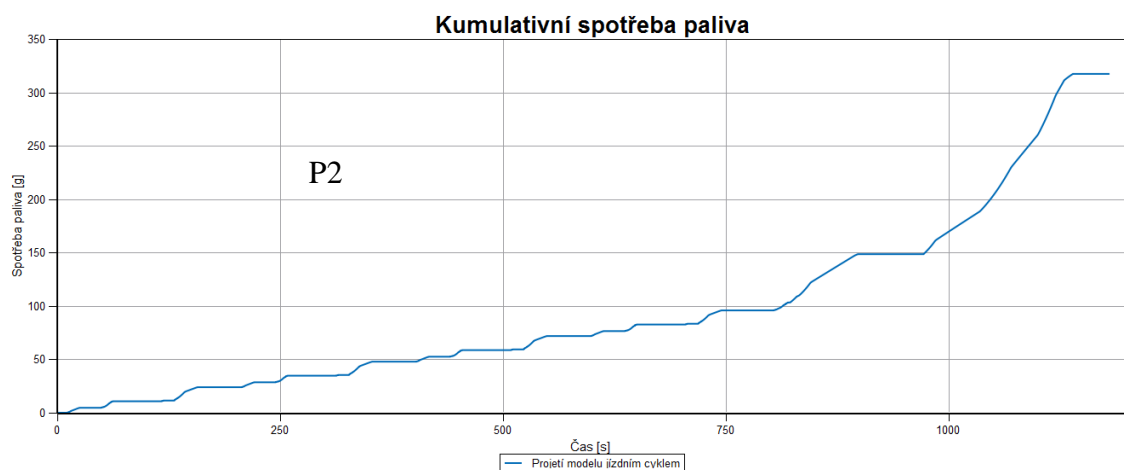
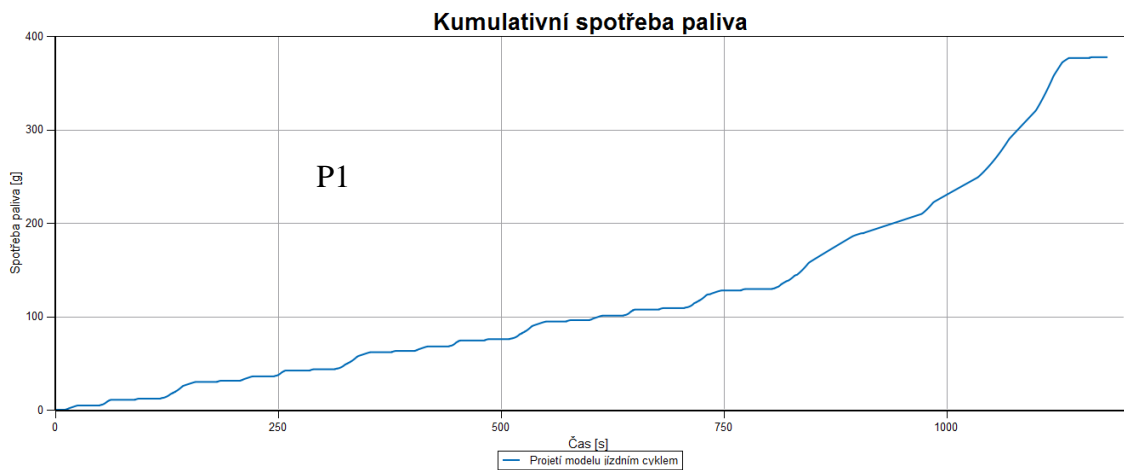
Následuje graf stavu baterie opět v závislosti na čase. Počáteční stav baterie viz kapitola 6.2.6.

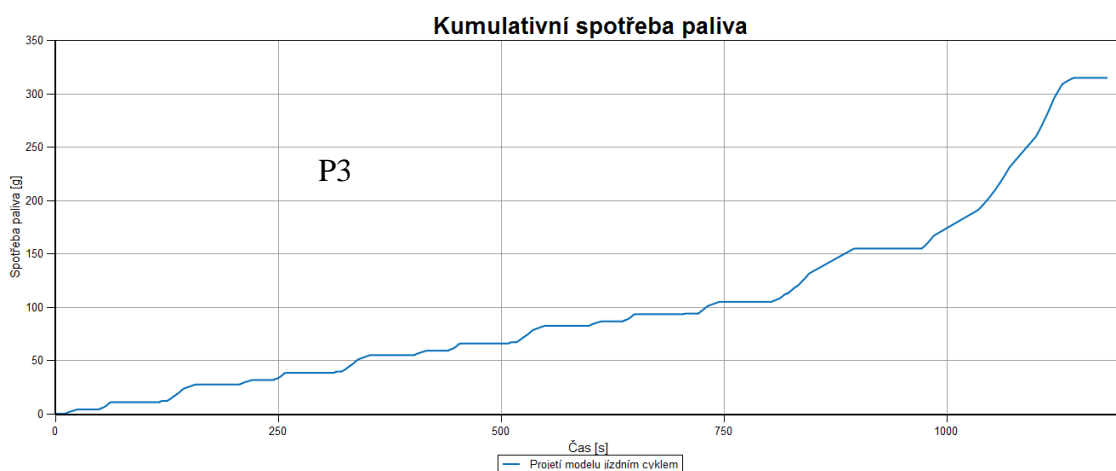
U paralelního zapojení P1 je baterie v části cyklu, který simuluje městský provoz, postupně vybíjena, neboť elektromotor využívá energii v baterii pro svůj chod a rekuperace není tak silná, aby generátor znovu obnovil všechnu energii v baterii.

V tomto případě vybití baterie dosáhne své spodní meze ještě v městském provozu, a proto je baterie dobíjena dříve.

U paralelního hybridu P2 nabití baterie v městském provozu má lehce sestupnou tendenci ze své počáteční hodnoty. V systému je však nastaveno, že při překročení určité hranice je baterie opět nabíjena k horní mezi, což je viditelné v poslední části grafu. Pomáhá tomu taktéž i vyšší rychlosti modelu.

Paralelní zapojení P3 je podobné jako zapojení P2 s tím, že stav baterie se pohybuje na stejné hladině a při zvyšování rychlosti je baterie rychleji vybíjena. Po překročení meze je baterie opět nabíjena na svoji horní mez.





Další graf z této série je kumulativní spotřeba paliva. Ignite zobrazuje kumulativní spotřebu v gramech. Pro přepočítání na l/100km byl použit následující vztah (hustota paliva je uvažována jako 700 kg/m³):

Pro NEDC:

Pro WLTP:

$$\frac{m_{\text{paliva}} \cdot 100}{\rho_{\text{benzín}} \cdot 11,03}$$

$$\frac{m_{\text{paliva}} \cdot 100}{\rho_{\text{benzín}} \cdot 27,23}$$

(1), (2)

Dle vzorce jsou výsledné spotřeby paliva vypočítány v následující **tabulce 9**.

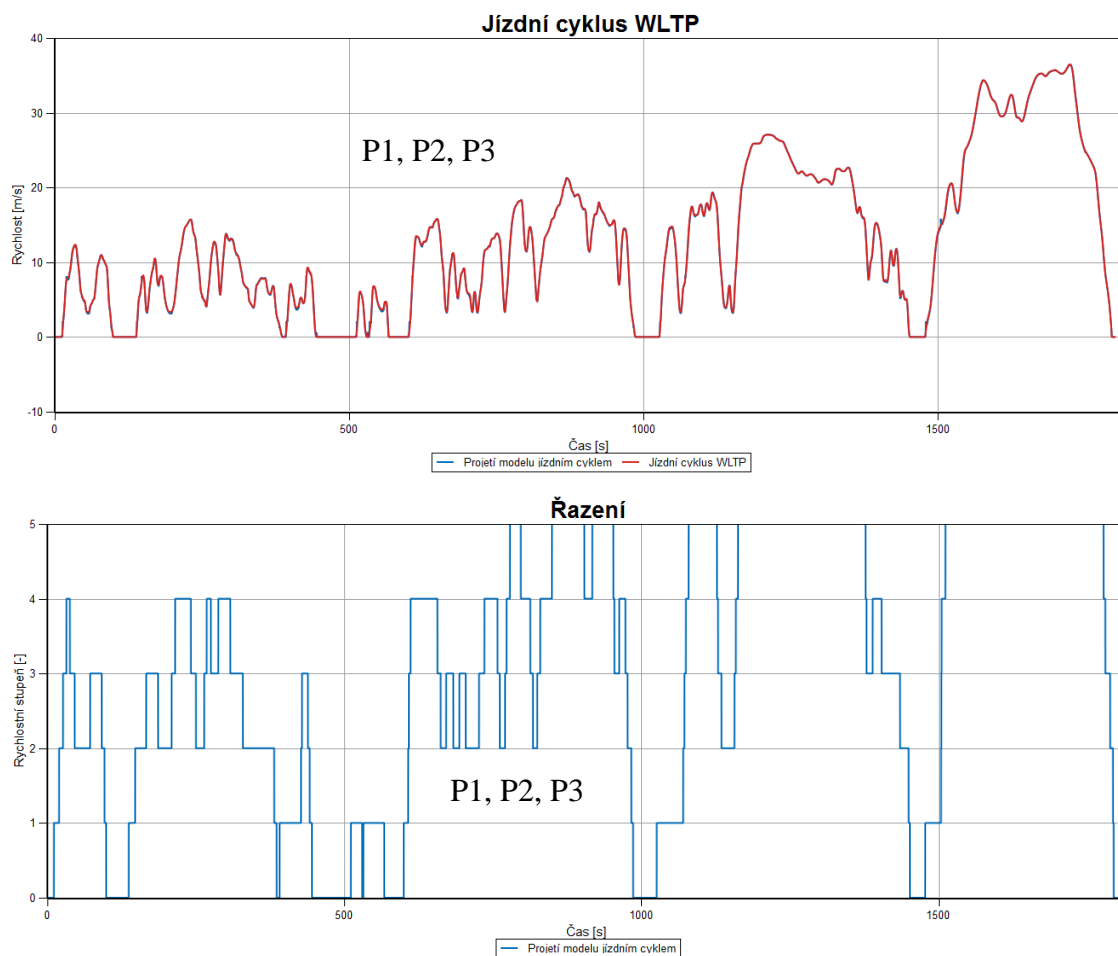
Zapojení	Spotřeba paliva (g/11,03km)	Spotřeba paliva (l/100km)
P1	377,3	4,9
P2	317,3	4,1
P3	314,5	4,1

Díky tomuto výsledku lze určit i množství produkovaného CO₂, který lze pro jeden kilogram paliva vypočítat dle následujícího vztahu:

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{11}{3} \sigma_C, \text{ dle zdroje [16], hodnota } \sigma_C \text{ dle tabulky 10.} \quad (3)$$

Z tohoto vztahu tedy plyne, že při spálení 1 kg benzínu je vyprodukováno 3,12 kg CO₂.

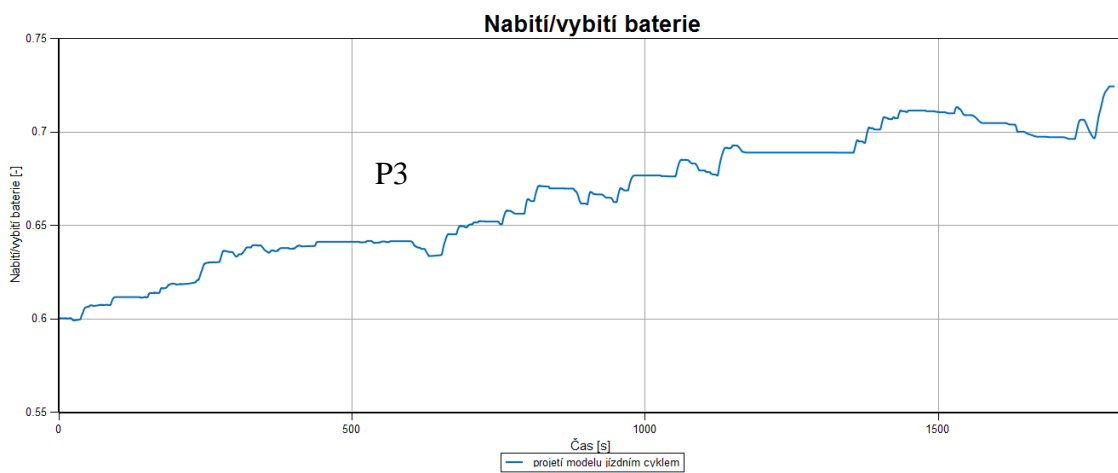
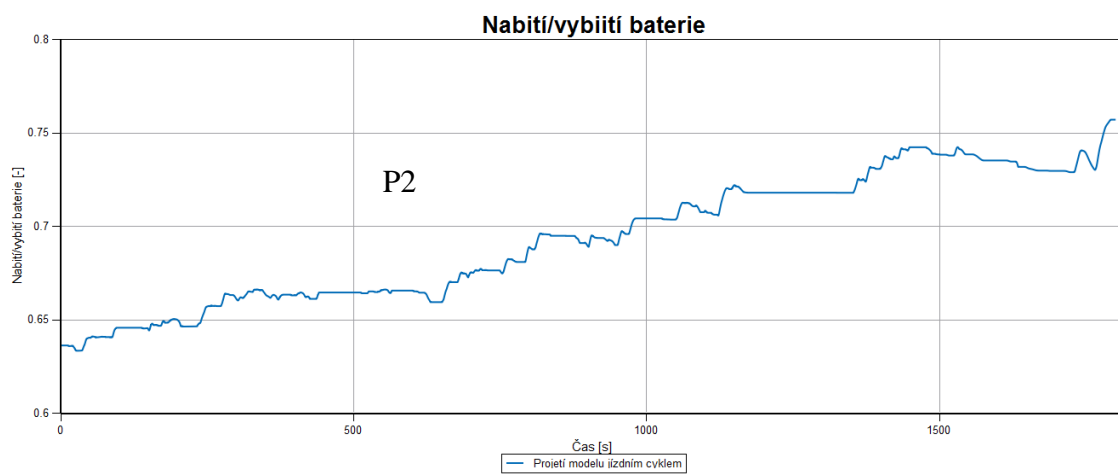
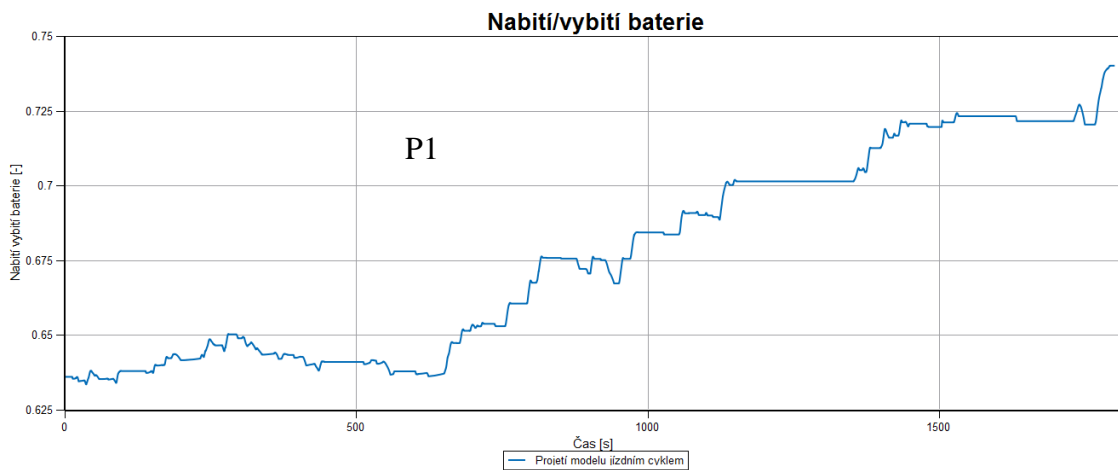
7.1.3 Výsledky a porovnání paralelních hybridů P1, P2, P3 pro cyklus WLTP



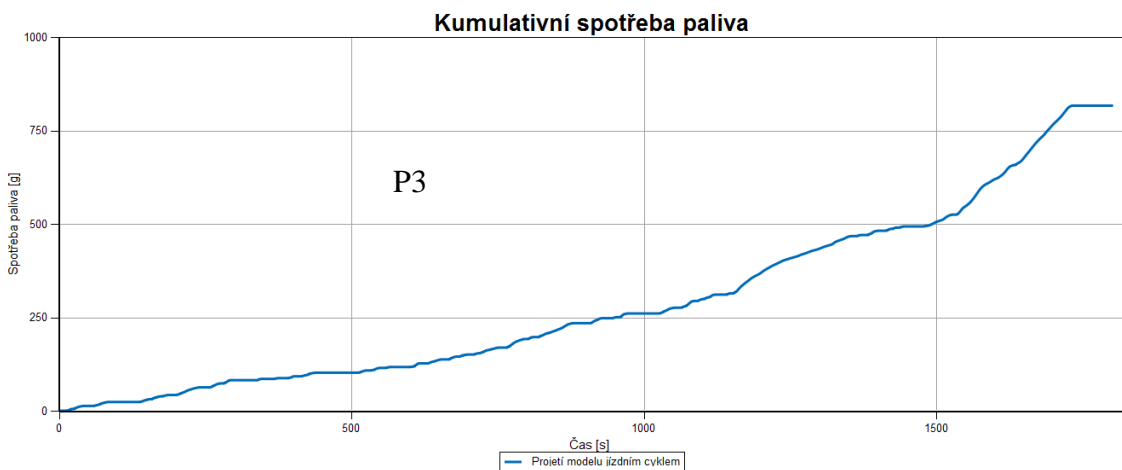
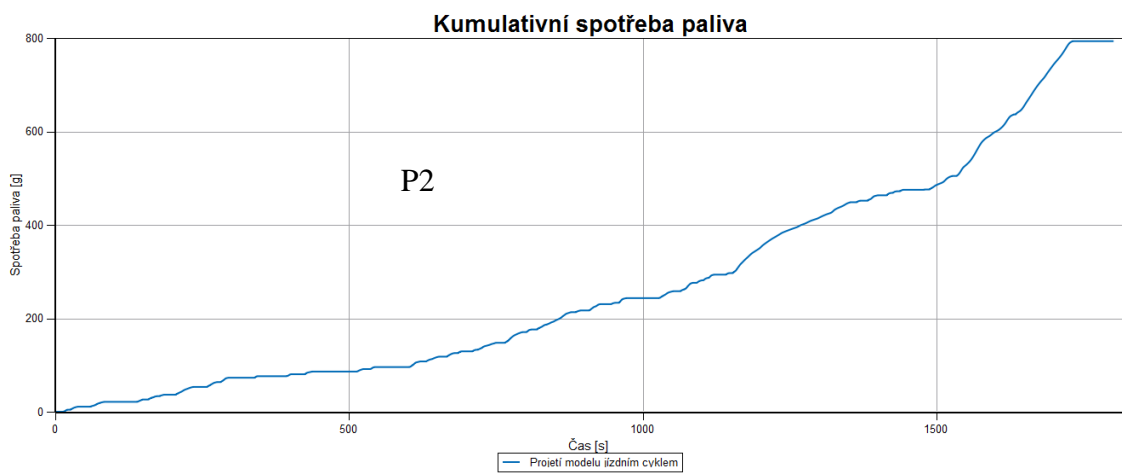
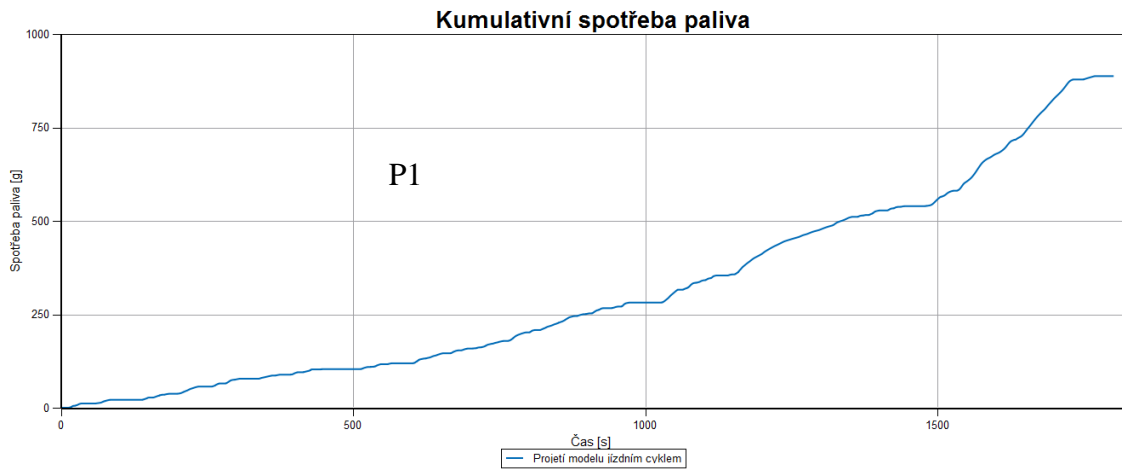
Jako už bylo vysvětleno v kapitole 7.1.2 první graf znázorňuje projetí modelu cyklem, tentokrát se jedná o cyklus WLTP. Červená křivka dle vysvětlivek opět značí ideální projetí cyklu a modrá znovu značí simulované projetí modelu jízdním cyklem. Modrá křivka není příliš viditelná, neboť téměř kopíruje ideální projetí cyklu, což je žádoucí. Výchyly se v grafu vyskytují, avšak splňují tolerance, které určuje legislativa.

Druhý graf zobrazuje zařazený rychlostní stupeň v závislosti na čase pro WLTP cyklus. Tento graf se v diplomové práci opakuje, je proto uveden pouze v tomto případě a v dalších zapojeních se již nevyskytuje.

Graf projetí jízdního cyklu a graf řazení jsou pro paralelní hybridy P1, P2 a P3 téměř totožné, proto je každý graf uveden pouze jednou.



Z grafů plyne, že pokud bude stejné nastavení baterie a sepnutí elektromotoru jako je tomu v kapitole 7.1.2, pak se baterie skrz celou jízdu dobíjí ke své horní mezí. Oblast, kde je křivka rovnoběžná s časovou osou znamená, že elektromotor není jakkoli využíván.



Pro přepočet na požadovanou spotřebu paliva v jednotkách l/100km byl použit vztah (2).

Dle vzorce jsou výsledné spotřeby paliva vypočítány v následující **tabulce 12**.

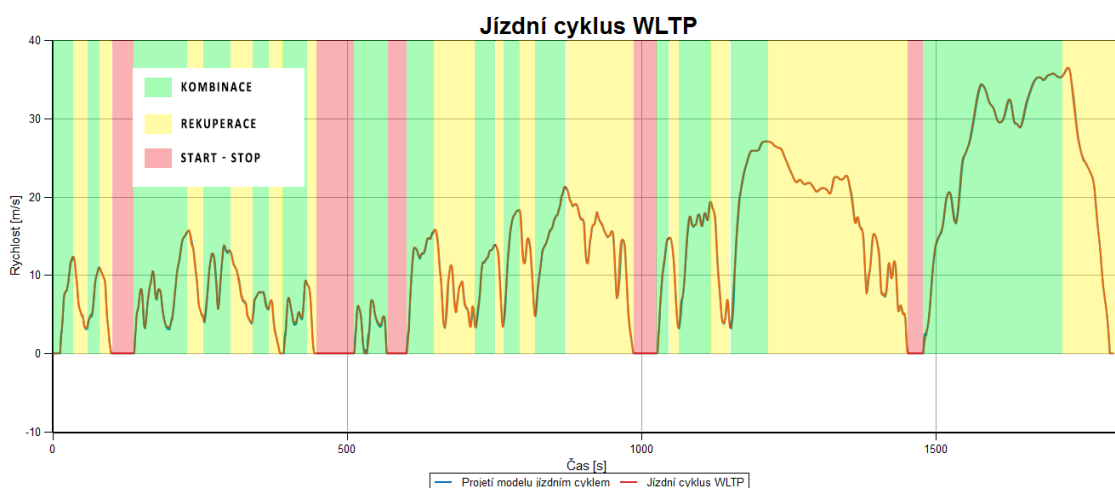
Zapojení	Spotřeba paliva (g/23,27km)	Spotřeba paliva (l/100km)
P1	882,6	5,4
P2	793,2	4,9
P3	816,2	5,0

Dle vztahu (3) opět přepočítáno na produkci CO₂.

Tabulka 13 – Produkce CO₂ pro paralelní hybrid P1, P2, P3 – WLTP

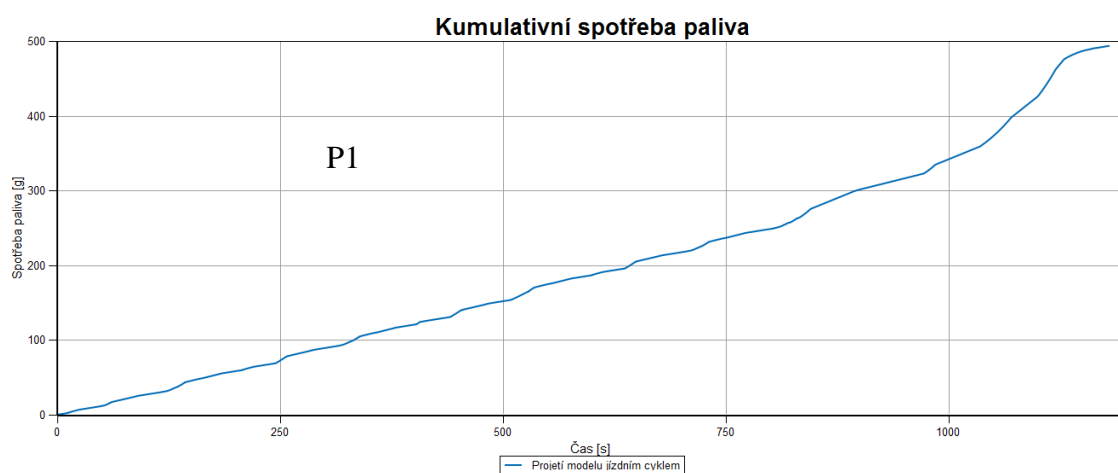
Zapojení	Produkce CO ₂ (g/km)
P1	118,3
P2	106,4
P3	109,4

Z tabulky 13 je možné usoudit že všechny tři zapojení splňují legislativní požadavky Evropské unie na produkci CO₂ (norma viz předchozí kapitola). Ovšem pokud by se nároky na produkci CO₂ zvýšily, což bude v roce 2020, pak už by tato zapojení nevyhovovala.



Poslední graf z této série, stejně jako v předchozí kapitole, znázorňuje, kdy je použit spalovací motor s elektromotorem (zelená), tzn. kombinaci těchto hnacích členů, dále kdy nastává rekuperace brzdné energie a na závěr aktivace systému Start-Stop (červená). Jízdní cyklus by dle skutečnosti měl být více rozdělen, což by ale vedlo k nepřehlednosti grafu a tak je zjednodušen. Tento graf taktéž slouží pro všechny tři zapojení P1, P2, P3, neboť filozofie rozdělení je stejná.

7.1.4 Výsledky a porovnání modelu bez použití elektromotoru pro NEDC cyklus



Již na první pohled je zřejmé, že vzrostla spotřeba paliva, což zapříčilo vynechání elektromotoru jako hnacího členu a model je tak poháněn pouze spalovacím motorem. Stejným postupem jako v předchozích kapitolách byla vypočítána celková spotřeba paliva v jednotkách l/100km a následně vypočtena celková produkce CO₂.

Tabulka 14 – Porovnání spotřeby paliva mezi modelem, kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus NEDC

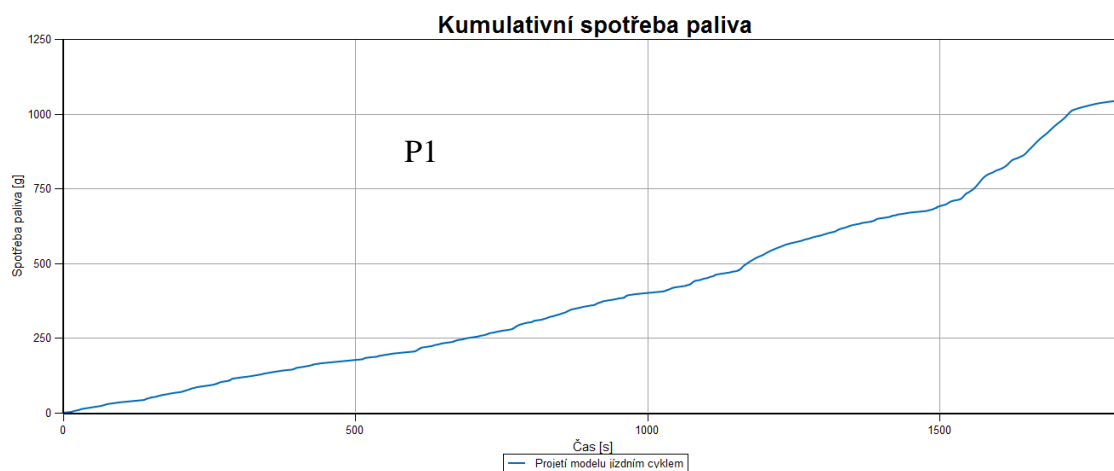
Typ modelu	Spotřeba paliva (g/11,03km)			Spotřeba paliva (l/100km)		
	Spalovací motor + elektromotor	377,3	317,3	314,5	4,9	4,1
Paralalní hybrid P1, P2, P3						
Pouze spalovací motor	493,3			6,4		

Tabulka 15 – Porovnání produkce CO₂ mezi modelem, kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus NEDC

Typ modelu	Produkce CO ₂ (g/km)		
Spalovací motor + elektromotor	106,7	89,8	88,0
Paralalní hybrid P1, P2, P3			
Pouze spalovací motor	139,5		

Dle legislativy Evropské unie by tento simulační model neprospěl.

7.1.5 Výsledky a porovnání modelu bez použití elektromotoru pro WLTP cyklus



V tomto případě model bez použití elektromotoru simuluje projetí jízdního cyklu WLTP. Je možno pozorovat zvýšenou spotřebu paliva oproti modelu, který je poháněn jak spalovacím motorem, tak elektromotorem. Stejným postupem jako v předchozích kapitolách byla vypočítána celková spotřeba paliva v jednotkách l/100km a následně vypočtena celková produkce CO₂.

Tabulka 16 – Porovnání spotřeby paliva mezi modelem, kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus WLTP.

Typ modelu	Spotřeba paliva (g/23,27km)			Spotřeba paliva (l/100km)		
	Spalovací motor + elektromotor	882,6	793,3	816,2	5,4	4,9
Paralalní hybrid P1, P2, P3						
Pouze spalovací motor	1042,2			6,4		

Tabulka 17 – Porovnání produkce CO₂ mezi modelem, kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus WLTP.

Typ modelu	Produkce CO ₂ (g/km)		
Spalovací motor + elektromotor	118,3	106,4	109,4
Paralalní hybrid P1, P2, P3			
Pouze spalovací motor	139,7		

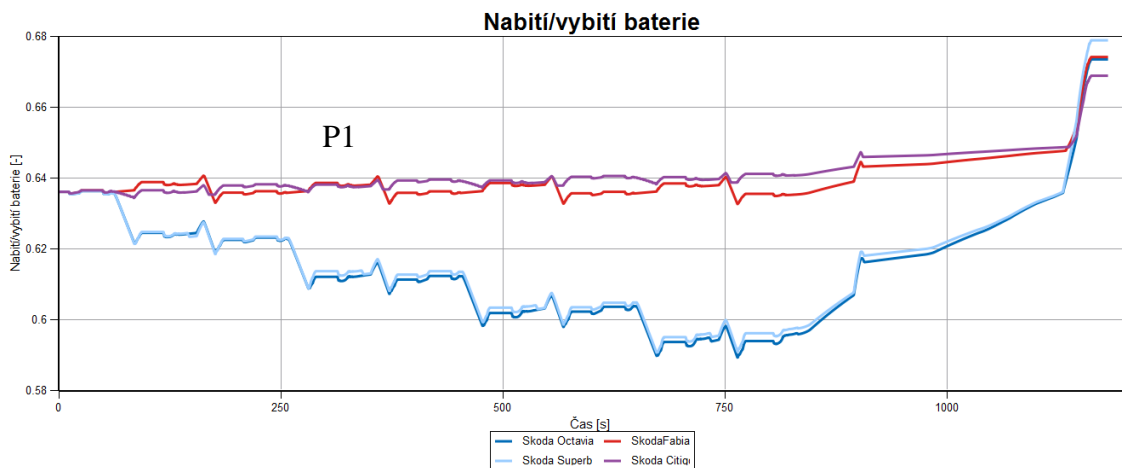
Podobně jako je tomu v kapitole 7.1.4. model bez pomoci elektromotoru nesplňuje legislativní požadavky Evropské unie.

7.1.6 Porovnání výsledků paralelního hybridu různých vozidel pro jízdní cyklus NEDC

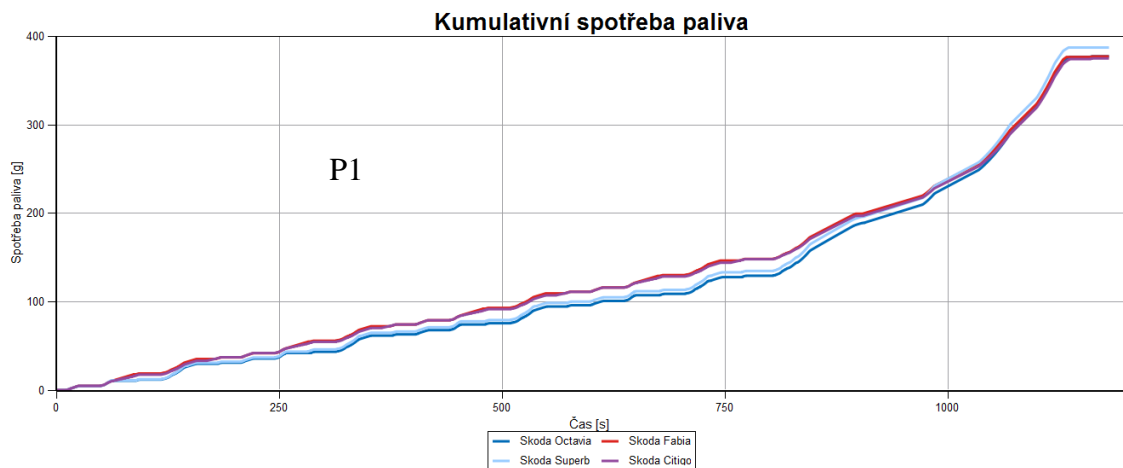
Předposlední část diplomové práce se věnuje porovnání diferencí paralelního hybridu zapojeného jako P1. Pro porovnání byly vybrány 4 vozidla značky Škoda. jedná se tedy o vozidla Citigo, Fabia, Octavia a Superb. Následující tabulka udává potřebné hodnoty pro výpočet.

Tabulka 18 – Parametry vozidel [22], [24], [25], [26]

Zapojení	Citigo	Fabia	Octavia	Superb
Použité pneumatiky	165/70 R14	175/70 R14	195/65 R15	215/60 R16
Poloměr kola	0,270 m	0,276 m	0,302 m	0,306 m
Hmotnost	929 kg	1055 kg	1247 kg	1395 kg
Čelní plocha	2,10 m ²	2,10 m ²	2,27 m ²	2,30 m ²
Odpor vduchu	0,330	0,316	0,263	0,277



Při stejném nastavení baterie a připojování elektromotoru je viditelné, že se jednotlivá vozidla liší, avšak podobnosti lze nalézt. Citigo a Fabia mají podobný charakter a stejně tak i Octavia a Superb jsou svým průběhem podobná.



Pro přepočítání na požadovanou spotřebu paliva v jednotkách l/100km byl použit vztah (1).

Dle vzorce jsou výsledné spotřeby paliva vypočítány v následující **tabulce 19**.

Vozidlo	Spotřeba paliva (g/11,03km)	Spotřeba paliva (l/100km)
Citigo	374,5	4,9
Fabia	376,8	4,9
Octavia	377,3	4,9
Superb	387,0	5,0

Dle vztahu (3) opět přepočítáno na produkci CO₂.

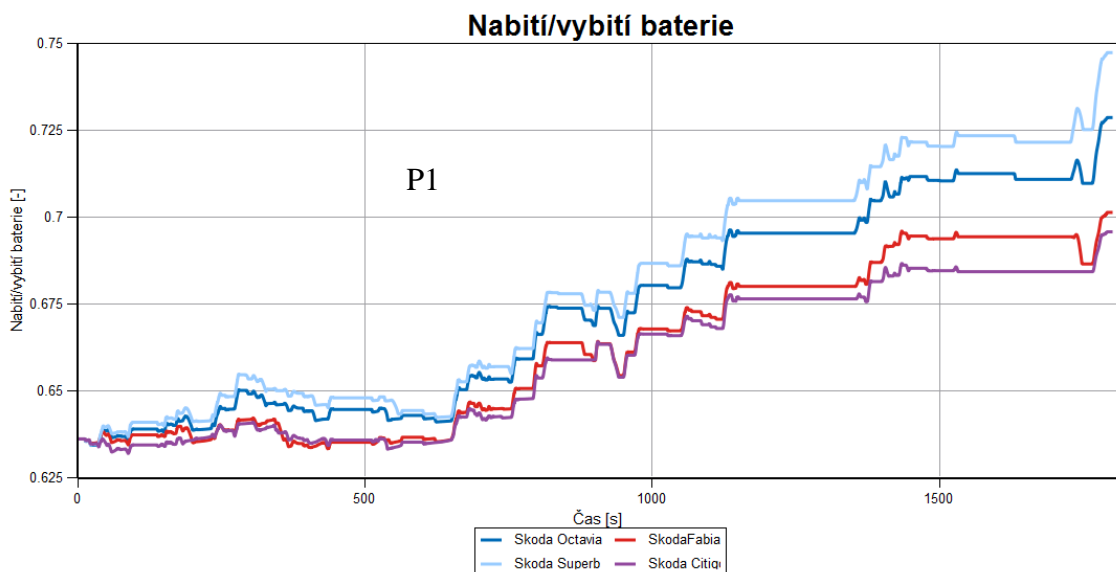
Tabulka 20 – Produkce CO₂ pro paralelní hybrid P1 různých vozidel – NEDC

Zapojení	Produkce CO ₂ (g/km)
Citigo	105,9
Fabia	106,6
Octavia	106,7
Superb	109,5

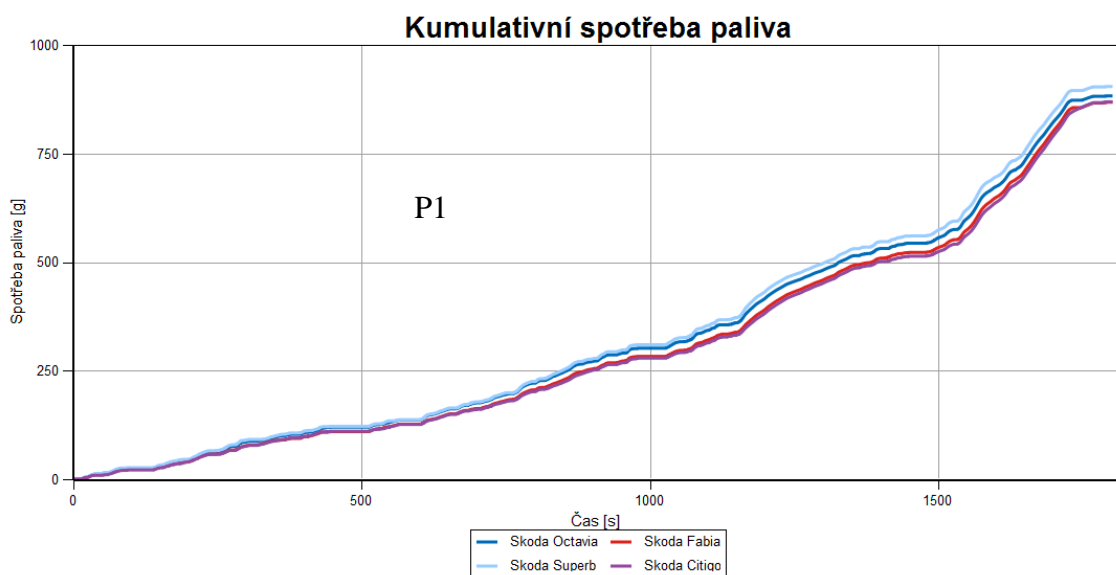
Z tabulek vyplývá, že rozdíl ve spotřebách paliv a v produkci CO₂ není příliš velký rozdíl, proto byl vytvořen model navíc, kde je porovnáváno vozidlo Citigo a Superb vzhledem ke své hmotnostní odlišnosti a opět následuje porovnání spotřeby paliva a produkce CO₂, viz kapitola 7.1.8.

7.1.7 Porovnání výsledků paralelního hybridu různých vozidel pro jízdní cyklus WLTP

Porovnání rozdílů paralelního hybridu zapojeného jako P1. Vozidla jsou použita stejná jako v předchozí kapitole. Hodnoty vozidel viz tabulka 18.



Při stejném nastavení baterie a připojení elektromotoru je viditelné, že se jednotlivá vozidla liší poměrně málo. Citigo a Fabia mají podobný charakter a stejně tak i Octavia a Superb jsou svým průběhem podobná.



Pro přepočet na požadovanou spotřebu paliva v jednotkách l/100km byl použit vztah (2).

Dle vzorce jsou výsledné spotřeby paliva vypočítány v následující **tabulce 21**.

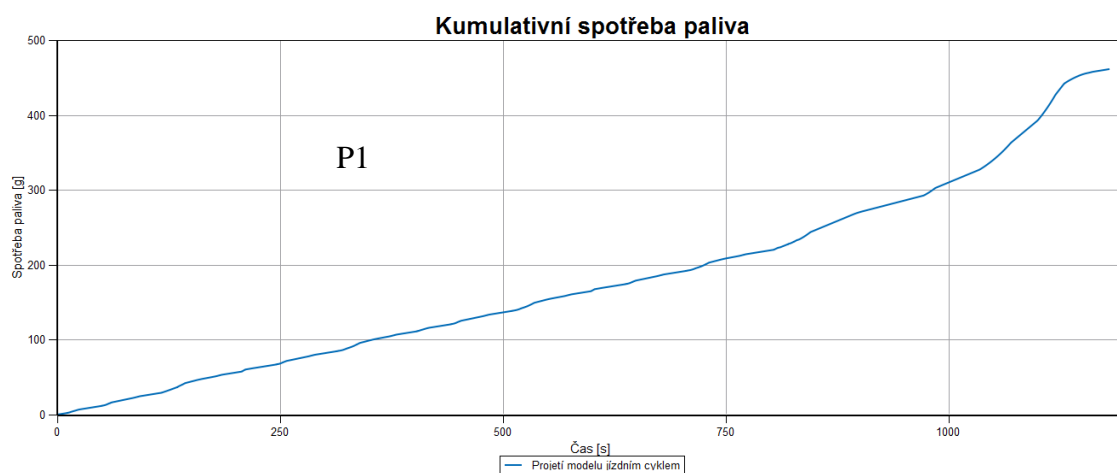
Vozidlo	Spotřeba paliva (g/23,27km)	Spotřeba paliva (l/100km)
Citigo	869,0	5,3
Fabia	868,2	5,3
Octavia	882,6	5,4
Superb	904,2	5,6

Dle vztahu (3) opět přepočítáno na produkci CO₂.

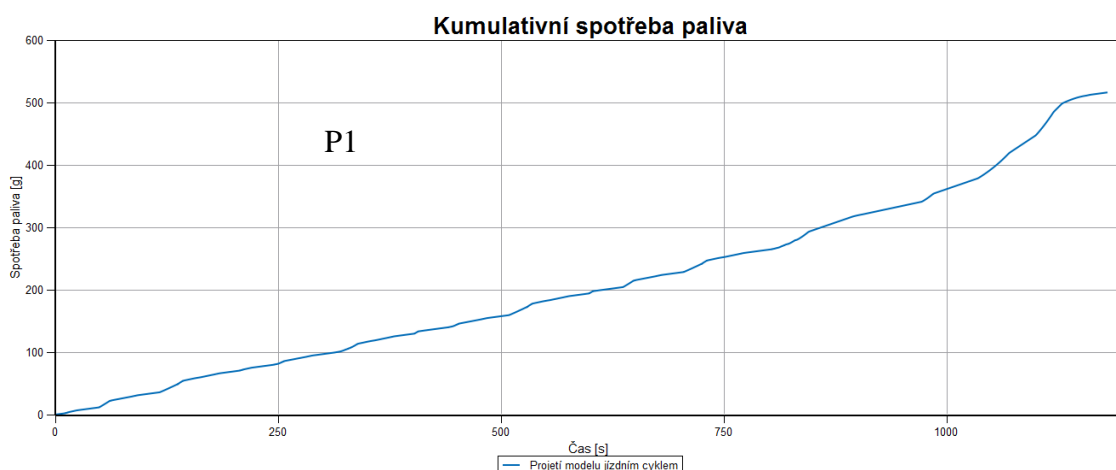
Tabulka 22 – Produkce CO₂ pro paralelní hybrid P1 různých vozidel – WLTP

Zapojení	Produkce CO ₂ (g/km)
Citigo	116,5
Fabia	116,4
Octavia	118,3
Superb	121,2

7.1.8 Porovnání spotřeby paliva vozidel Citigo a Superb bez elektromotoru pro jízdní cyklus NEDC



Kumulativní spotřeba paliva pro vozidlo Citigo bez připojení elektromotoru.



Kumulativní spotřeba paliva pro vozidlo Superb bez připojení elektromotoru.

Přepočítání na požadovanou spotřebu paliva v jednotkách l/100km dle vztahu (1).

Dle vzorce jsou výsledné spotřeby paliva vypočítány v následující **tabulce 23**.

Vozidlo	Spotřeba paliva (g/11,03km)	Spotřeba paliva (l/100km)
Citigo	461,0	6,0
Superb	515,9	6,7

Dle vztahu (3) opět přepočítáno na produkci CO₂.

Tabulka 24 – Produkce CO₂ bez použití elektromotoru jako hnacího členu pro vozidlo Citigo a Superb – NEDC

Zapojení	Produkce CO ₂ (g/km)
Citigo	130,4
Superb	145,9

Spotřeba paliva je u vozidla Citigo nižší o 0,7 l/100km a produkce CO₂ je nižší o 15,5 g/km. Detailnější pohled nabízí následující kapitola 7.1.9.

7.1.9 Výsledné porovnání vozidel Citigo a Superb

Tabulka 25 – Porovnání vozidla Citigo s vozidlem Superb pro jízdní cyklus NEDC a připojeným elektromotorem (zapojení P1)

Vozidlo	Hmotnost	Spotřeba paliva	Produkce CO ₂
Superb	1395 kg	5,0 l/100km	109,5 g/km
Citigo	O 33,4% lehčí	O 2,0% nižší	O 3,3% nižší

Tabulka 26 – Porovnání vozidla Citigo ve srovnání s vozidlem Superb pro jízdní cyklus WLTP a připojeným elektromotorem (zapojení P1)

Vozidlo	Spotřeba paliva	Produkce CO ₂
Superb	5,6 l/100km	121,2 g/km
Citigo	O 5,4% nižší	O 3,9% nižší

Tabulka 27 – Porovnání vozidla Citigo s vozidlem Superb pro jízdní cyklus NEDC bez připojeného elektromotorem

Vozidlo	Spotřeba paliva	Produkce CO ₂
Superb	6,7 l/100km	145,9 g/km
Citigo	O 10,4% nižší	O 10,6% nižší

Tabulka 28 – Spotřeba paliva a produkce CO₂ pro paralelní hybrid ve srovnání s modelem poháněný pouze spalovacím motorem projetím cyklu NEDC

	Citigo bez elmotoru	Citigo hybrid	Suberb bez elmotoru	Superb hybrid
Spotřeba paliva	6,0 l/100km	O 11,7 % nižší	6,7 l/100km	O 16,4% nižší
Produkce CO₂	130,4 g/km	O 10,7% nižší	145,9 g/km	O 16,9% nižší

8 ZÁVĚR

V diplomové práci je pomocí softwaru Ignite prokázána úspora pohonných hmot a nižší produkce CO₂ a postupná hybridizace se tak jeví jako jedna z možných cest pro zlepšování životního prostředí.

První kapitola diplomové práce je věnována koncepci hybridních vozidel. Nejprve jsou hybridy rozděleny dle stupně hybridizace, jako je micro hybrid, mild hybrid a full hybrid. Jednotlivé stupně jsou stručně vysvětleny a popsány. Další rozdělení hybridů je dle toku výkonu a jedná se tedy o sériové uspořádání, paralelní uspořádání a kombinované uspořádání. Pro tuto diplomovou práci je klíčový paralelní hybrid, jelikož je toto zapojení simulováno a vyhodnocováno v použitém softwaru Ignite.

Další kapitola se zabývá zdrojem elektrické energie, stručné popsání systému a požadavky na zdroj elektrické energie.

Následující kapitola popisuje koncepci řízení hybridního vozidla, která je u hybridů jeden z nejdůležitějších prvků v soustavě. Je zde popsáno, jak se přenáší informace z jedné řídicí jednotky do druhé.

Poslední část rešerše představuje příklad hybridního vozidla, kterým je první sériově vyráběný hybridní vůz, tedy i pravděpodobně nejznámější, a to Toyota Prius. Kapitola obsahuje některé důležité technické parametry včetně funkce hybridní soustavy.

Nadcházející kapitola je již zaměřena na praktickou část. Nejprve je stručně představen použitý software a jeho možnosti. Součástí této kapitoly je tedy nejen vysvětlení jednotlivých elementů celého simulačního modelu, ale také implementování zadaných vstupních parametrů. Byly tedy definovány členy: jízdní cykly (včetně jejich porovnání), simulace odezvy systému, spalovací motor, elektromotor, akumulátor, řídicí jednotka hybridního vozidla, senzory, spojka, převodové ústrojí, strategie řazení, řídicí jednotka převodovky, kloubový hnací hřídel a model automobilu.

Poslední a nejdůležitější kapitolou jsou výsledky a vyhodnocení simulace, která je dále dělena na několik podkapitol. Nejprve jsou uvedeny typy zapojení hybridního pohonu, a to zapojení P1, P2 a P3 (viz obrázek 17, 18 a 19) pro jízdní cyklus NEDC a WLTP. Tato tři zapojení jsou porovnávána z hlediska projetí cyklu, strategie řazení, stavu baterie,

spotřeby paliva a především produkce CO₂. Všechny výsledky simulují parametry vozu Škoda Octavia.

Pro výsledky NEDC cyklu je možno usoudit, že nejnižší spotřebu a tedy i přepočtem získanou produkci CO₂ prokazuje zapojení P3. Spotřeba paliva pro zapojení P3 je 4,1 l/100km a produkce CO₂ je 89 g/km. Pro výsledky WLTP cyklus je možno usoudit, že nejnižší spotřebu paliva a produkci CO₂ vykazuje zapojení P2 a tedy 4,9 l/100km benzínu a 106,4 g/km CO₂. Aby bylo možné prokázat smysl použití paralelního hybridu, je hybrid porovnáván s modelem bez elektromotoru, jedná se o zapojení P1 a projetí cyklu NEDC a WLTP. Spotřeba paliva bez použití elektromotoru pro jízdní cyklus NEDC je 6,4 l/100km, což je o 23,4% větší spotřeba, než je tomu u modelu s elektromotorem. Taktéž produkce CO₂ je vyšší a to 139,5 g/km, což je proti paralelnímu hybridu vyšší o 23,5%. Spotřeba paliva bez použití elektromotoru pro jízdní cyklus WLTP je 6,4 l/100km, což je o 23,4% větší spotřeba, než je tomu u modelu s elektromotorem. Taktéž produkce CO₂ je vyšší a to 139,7 g/km, což je proti paralelnímu hybridu vyšší o 15,3%.

Pokračující výsledky simulace se dále věnují porovnání paralelního hybridu P1 pro jízdní cyklus NEDC a WLTP tentokrát však pro 4 vozidla, kterými jsou: Citigo, Fabia, Octavia a Superb. Pro NEDC cyklus má nejvyšší spotřebu paliva Superb, avšak pouze o 0,1 l/100km oproti ostatním vozům, spotřeba paliva Superbu je tedy 5,0 l/100km. Stejně tak i produkci CO₂ vykazuje Superb a to 109,5 g/km, což je o 3,6 g/km vyšší než u Citigo, o 2,9 g/km vyšší než u Fabie a o 2,8 g/km vyšší než u Octavie. Pro WLTP cyklus má nejvyšší spotřebu paliva taktéž Superb a to 5,6 l/100km, což je o 0,3 l/100km vyšší než u Citigo, o 0,3 l/100km vyšší než u Fabie a o 0,2 l/100km vyšší než u Octavie. Produkce CO₂ je taktéž nejvyšší u Superbu a to 121,2 g/km, což je o 4,7 g/km vyšší než u Citigo, o 4,8 g/km vyšší než u Fabie a o 2,9 g/km vyšší než u Octavie.

Protože rozdíly mezi největším a nejmenším autem (Superb a Citigo) nejsou příliš velké, byla tato vozidla separátně porovnána bez použití elektromotoru projetím jízdního cyklu NEDC. Vyšlo, že spotřeba paliva Superbu je 6,7 l/100km a spotřeba paliva Citigo je 6,0 l/100km, což znamená že spotřeba paliva u Superbu je o 10,4% vyšší než u Citigo. Zrovna tak produkce CO₂ je odlišná, produkce CO₂ Superbu je 145,9 g/km a produkce CO₂ Citigo je 130,4 g/km a tedy produkce CO₂ Superbu je o 10,6% vyšší než u Citigo.

LITERATURA

1. **don't.believe.in.stereotypes.** <http://dontbelieveinstereotypes.blogspot.cz/>. [Online] don't.believe.in.stereotypes. <http://dontbelieveinstereotypes.blogspot.cz/2012/06/startstop-co-to.html>.
2. **Bc. HYLMAR, Tomáš.** *SIMULAČNÍ VÝPOČTY HYBRIDNÍHO VOZIDLA*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2015.
3. **altenergymag.** <http://www.altenergymag.com/>. [Online] altenergymag. http://www.altenergymag.com/content.php?issue_number=05.06.01&article=naftc.
4. **review, AUTOMOBILES.** <http://www.automobilesreview.com/>. [Online] AUTOMOBILES review. <http://www.automobilesreview.com/auto-news/toyota-prius-hybrid-synergy-drive/12851/>.
5. **baracadaj.blog.auto.cz.** [baracadaj.blog.auto.cz.](http://baracadaj.blog.auto.cz/) [Online] Auto.cz. <http://baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>.
6. **Ing František Vlk, DrSc.** *Koncepce motorových vozidel*. Brno : vlk, 2000. ISBN 80-238-5276-0.
7. **Ing František Vlk, DrSc.** *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno : vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
8. **Peter Mock, Jörg Kühlwein, Uwe Tietge, Vicente Franco, Anup Bandivadekar, John German.** The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU. *THE INTERNATIONAL COUNCIL OF CLEAN TRANSPORTATION*. [Online] 29. Říjen 2014. <http://www.theicct.org/wltp-how-new-test-procedure-cars-will-affect-fuel-consumption-values-eu>.
9. **Petr, Bc. Tomáš.** *Identifikace parametrů vozidla pro simulační výpočty jízdní dynamiky*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2016.
10. **Úřední věstník Evropské unie.** Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo. [Online] Březen 2015. (EHK OSN) č. 83.
11. **UN ECE.** *Proposal for a new UN Global Technical Regulation on Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP)*. Září 2013. ECE/TRANS/WP.29/AC.3/26.

12. **Doc. Ing. Miloš Kmínek, CSc.** Spojité regulátory. *MĚŘICÍ A ŘÍDICÍ TECHNIKA*. [Online] <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F3/F3-ram.htm>.
13. **ING. MARTIN LACHMAN, PH.D., ING. RADOMÍR MENDŘICKÝ, PH.D.** Dynamický model polohového servopohonu (přednášky). *Elektrické pohony a servomechanismy*.
14. **Dvořák, František.** Auto.idnes.cz. [Online] http://auto.idnes.cz/skoda-octavia-trivalec-1-0-tsi-dgb-/automoto.aspx?c=A160418_122502_automoto_fdv.
15. **ŠKODA Auto, a.s.** *Oficiální prospekt motoru*.
16. **Doc. Ing. Karel Páv, Ph.D.** Palivová směs PSM (přednášky). *Pohonné jednotky*.
17. **Zero Motorcycles.** zeromotorcycles. [Online] http://www.zeromotorcycles.com/high-res-photos/photo.php?img=2013%3A2013_zero-powertrains_zf-75-7-motor.
18. **Ing. Pavel Jandura, Ph.D.** *Měření elektromotoru v laboratoři*.
19. **Ing. Josef Broušek, Ing. Bukvic Martin, Ing. Pavel Jandura, Ph.D.** *EXPERIMENTAL ELECTRIC VEHICLE EŠUS GEN2*. Liberec : TUL, 2016. 10.1515/mecdc-2016-0007.
20. **Škoda Auto, a.s.** *Příručka k převodovce MQ200*.
21. **Němeček, prof. Dr. Ing. Pavel.** Teorie vozidel (přednášky). *Jízdní odpory*.
22. **Škoda Auto, a.s.** Katalog Škoda Octavia.
23. **Bednář, Marek.** Emisní limity EU pro rok 2020 budou pro výrobce větší problém, než se zdálo. *Autoforum.cz*. [Online] <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/emisni-limity-eu-pro-rok-2020-budou-pro-vyrobce-vetsi-problem-nez-se-zdalo/>.
24. **Škoda Auto, a.s.** *Katalog Škoda Fabia*.
25. **Škoda Auto, a.s.** *Katalog Škoda Superb*.
26. **Škoda Auto, a.s.** *Katalog Škoda Citigo*.

SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Výsledky měření vozu Golf – Hybrid podle testu ECE	11
2	Příklad schématu Start-Stop systému	13
3	Schématické porovnání mild hybridu a full hybridu	14
4	Full hybrid Toyota Prius	15
5	Schématicky sériové uspořádání hybridního vozidla	16
6	Schématicky sériové uspořádání hybridního vozidla s elektromotory v nábojích jednotlivých kol	16
7	Schématicky paralelní uspořádání hybridního vozidla.....	17
8	Schéma kombinovaného uspořádání hybridního vozidla.....	17
9	Schéma uspořádání hybridní soustavy Toyota Prius a její funkce	19
10	Schéma paralelního uspořádání hybridního automobilu	20
11	Toleranční pole pro NEDC a WLTP cyklus.....	23
12	Blokové schéma PI regulátoru.....	24
13	Motor 1.0 [I] TSI	25
14	Rozpad motoru 1.0 [I] TSI.....	26
15	Synchronní elektromotor ZERO Z-FORCE 75-7.....	28
16	Schéma převodovky MQ200 02J CZM.....	31
17	Paralelní hybrid P1 – Připojení elektromotoru za spalovací motor	35
18	Paralelní hybrid P2 – Připojení elektromotoru spojku	35
19	Paralelní hybrid P3 – Připojení elektromotoru za převodové ústrojí	35

SEZNAM GRAFŮ

1	Vnější otáčková charakteristika motoru spalovacího motoru.....	27
2	Mapa hodinové spotřeby paliva spalovacího motoru	27
3	Mapa produkce CO ₂ spalovacího motoru.....	27
4	Vnější otáčková charakteristika elektromotoru	29
5	Projetí jízdním cyklem NEDC.....	36
6	Strategie řazení NEDC	36
7	Nabití/vybití baterie pro P1 - NEDC	37
8	Nabití/vybití baterie pro P2 - NEDC	37
9	Nabití/vybití baterie pro P3 - NEDC	37
10	Kumulativní spotřeba paliva pro P1 - NEDC	38
11	Kumulativní spotřeba paliva pro P2 - NEDC	38
12	Kumulativní spotřeba paliva pro P3 - NEDC	39
13	Využití hnacích členů pro P1, P2, P3 - NEDC.....	40
14	Projetí jízdním cyklem WLTP.....	41
15	Strategie řazení WLTP	41
16	Nabití/vybití baterie pro P1 - WLTP	42
17	Nabití/vybití baterie pro P2 - WLTP	42
18	Nabití/vybití baterie pro P3 - WLTP	42
19	Kumulativní spotřeba paliva pro P1 - WLTP.....	43
20	Kumulativní spotřeba paliva pro P2 - WLTP.....	43
21	Kumulativní spotřeba paliva pro P3 - WLTP	43
22	Využití hnacích členů pro P1, P2, P3 - WLTP.....	44
23	Kumulativní spotřeba paliva pro model bez elektromotoru - NEDC	45
24	Kumulativní spotřeba paliva pro model bez elektromotoru - WLTP	46
25	Nabití/vybití baterie pro P1 různých vozidel - NEDC	48
26	Kumulativní spotřeba paliva pro P1 různých vozidel - NEDC	48

27	Nabití/vybití baterie pro P1 různých vozidel - WLTP	50
28	Kumulativní spotřeba paliva pro P1 různých vozidel - WLTP	50
29	Kumulativní spotřeba paliva pro Citigo bez elektromotoru - NEDC	51
30	Kumulativní spotřeba paliva pro Superb bez elektromotoru - NEDC.....	51

SEZNAM TABULEK

1	Porovnání jízdních cyklů z hlediska vozidla	21
2	Porovnání jízdních cyklů z hlediska parametrů.....	22
3	Vstupní parametry motoru pro Ignite	25
4	Další zbývající důležité parametry elektromotoru.....	28
5	Převodové poměry	31
6	Strategie řazení	32
7	Vstupní parametry pro řídicí jednotku převodovky	32
8	Model automobilu Škoda Octavia III	33
9	Spotřeby paliva pro P1, P2, P3 - NEDC.....	39
10	Hmotnostní podíly σ_C , σ_{H_2} , σ_{O_2}	40
11	Produkce CO ₂ pro P1, P2, P3 - NEDC	40
12	Spotřeby paliva pro P1, P2, P3 - WLTP.....	44
13	Produkce CO ₂ pro P1, P2, P3 - WLTP.....	44
14	Porovnání spotřeby paliva mezi modelem, kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus NEDC	45
15	Porovnání produkce CO ₂ kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus NEDC	46
16	Porovnání spotřeby paliva mezi modelem, kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus WLTP	47
17	Porovnání produkce CO ₂ kdy je poháněn spalovacím motorem a elektromotorem a modelem, kdy je poháněn pouze spalovacím motorem pro jízdní cyklus WLTP	47
18	Parametry vozidel	48
19	Spotřeby paliva pro paralelní hybrid P1 různých vozidel – NEDC	49
20	Produkce CO ₂ pro paralelní hybrid P1 různých vozidel – NEDC.....	49
21	Spotřeby paliva pro paralelní hybrid P1 různých vozidel – WLTP	50

22	Produkce CO ₂ pro paralelní hybrid P1 různých vozidel – WLTP.....	51
23	Spotřeby paliva pro vozidla Citigo a Superb bez elektromotoru - NEDC	52
24	Produkce CO ₂ pro vozidla Citigo a Superb bez elektromotoru - NEDC.....	52
25	Porovnání vozidla Citigo s vozidlem Superb pro jízdní cyklus NEDC a připojeným elektromotorem (zapojení P1)	53
26	Porovnání vozidla Citigo s vozidlem Superb pro jízdní cyklus WLTP a připojeným elektromotorem (zapojení P1)	53
27	Porovnání vozidla Citigo s vozidlem Superb pro jízdní cyklus NEDC bez připojeného elektromotorem.	53
28	Spotřeba paliva a produkce CO ₂ pro paralelní hybrid ve srovnání s modelem poháněný pouze spalovacím motorem projetím cyklu NEDC.	53

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Jízdní cyklus NEDC

Příloha B – Jízdní cyklus WLTP

Příloha C – Toleranční pole pro NEDC

Příloha D – Rozvržení výkonu paralelního hybridu - NEDC

Příloha E – Rozvržení výkonu paralelního hybridu – WLTP

Příloha F – Simulační model bez elektromotoru

Příloha CD – DP_Daniel_Pesek.pdf

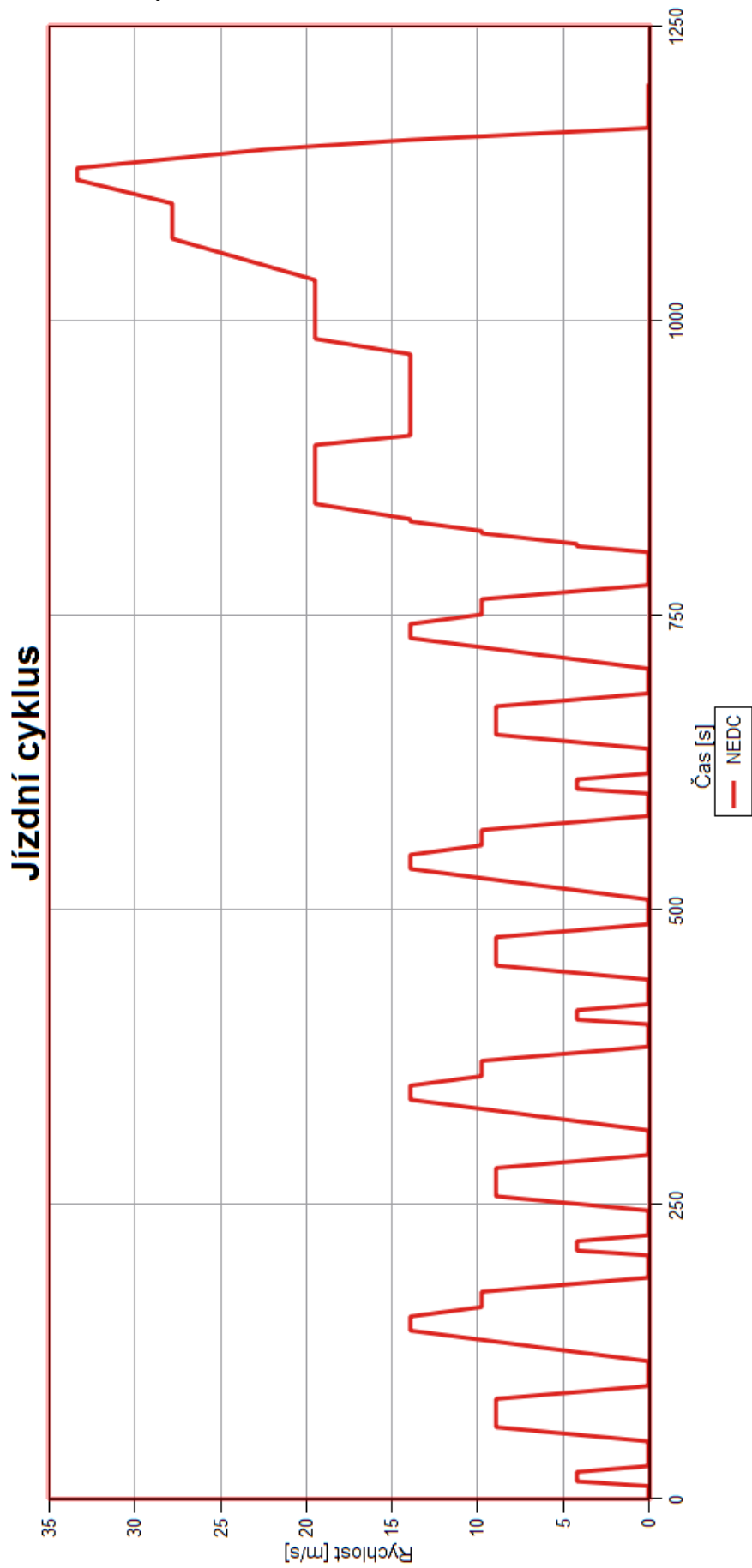
75-7_Dyno_data_v2.xlsx (hodnoty elektromotoru)

engine_data_modif.xlsx (mapa měrné spotřeby paliva, mapa měrné spotřeby CO₂)

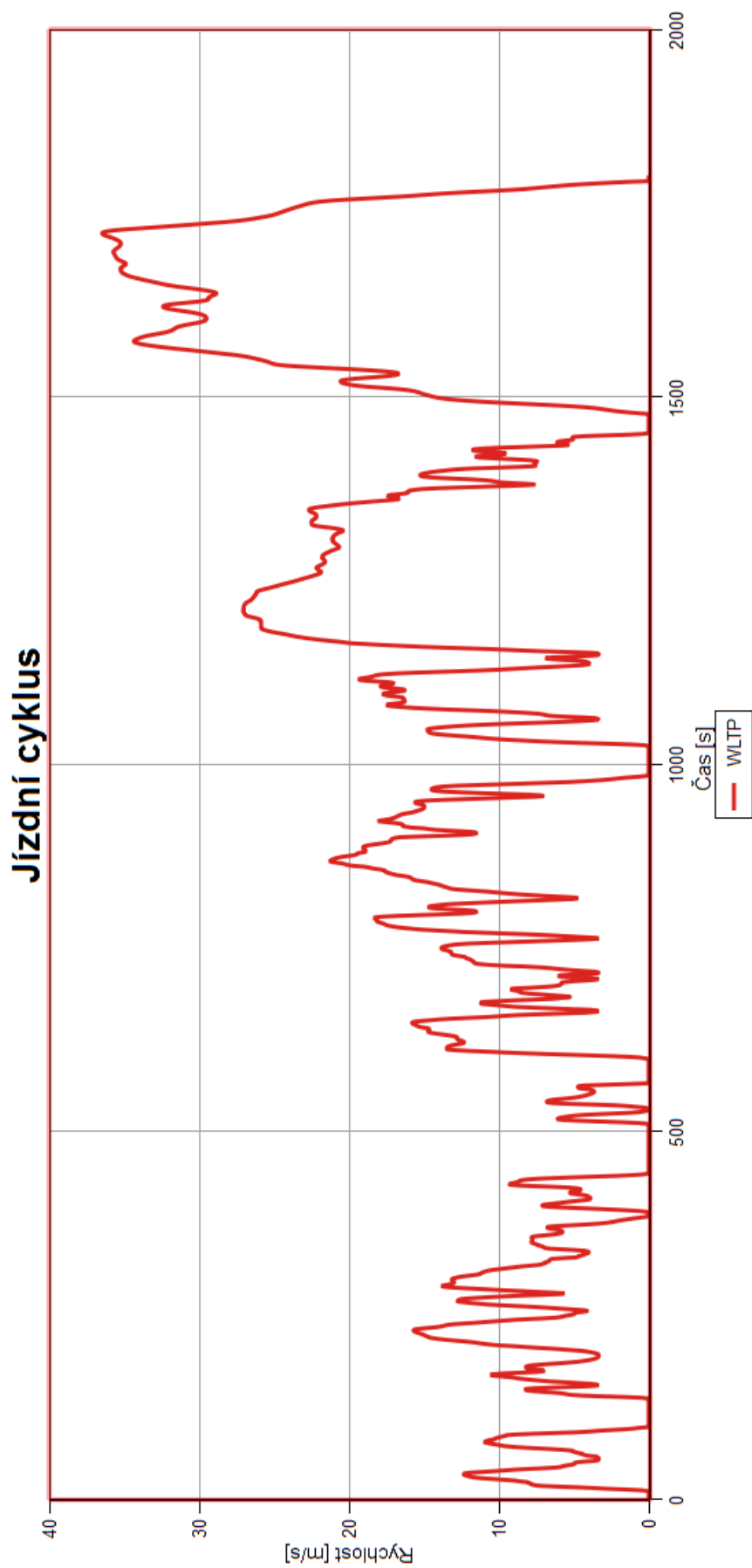
Hodnoty_motoru_otacky_momenty_vykony.xlsx (hodnoty spalovacího motoru)

WLTP cyklus

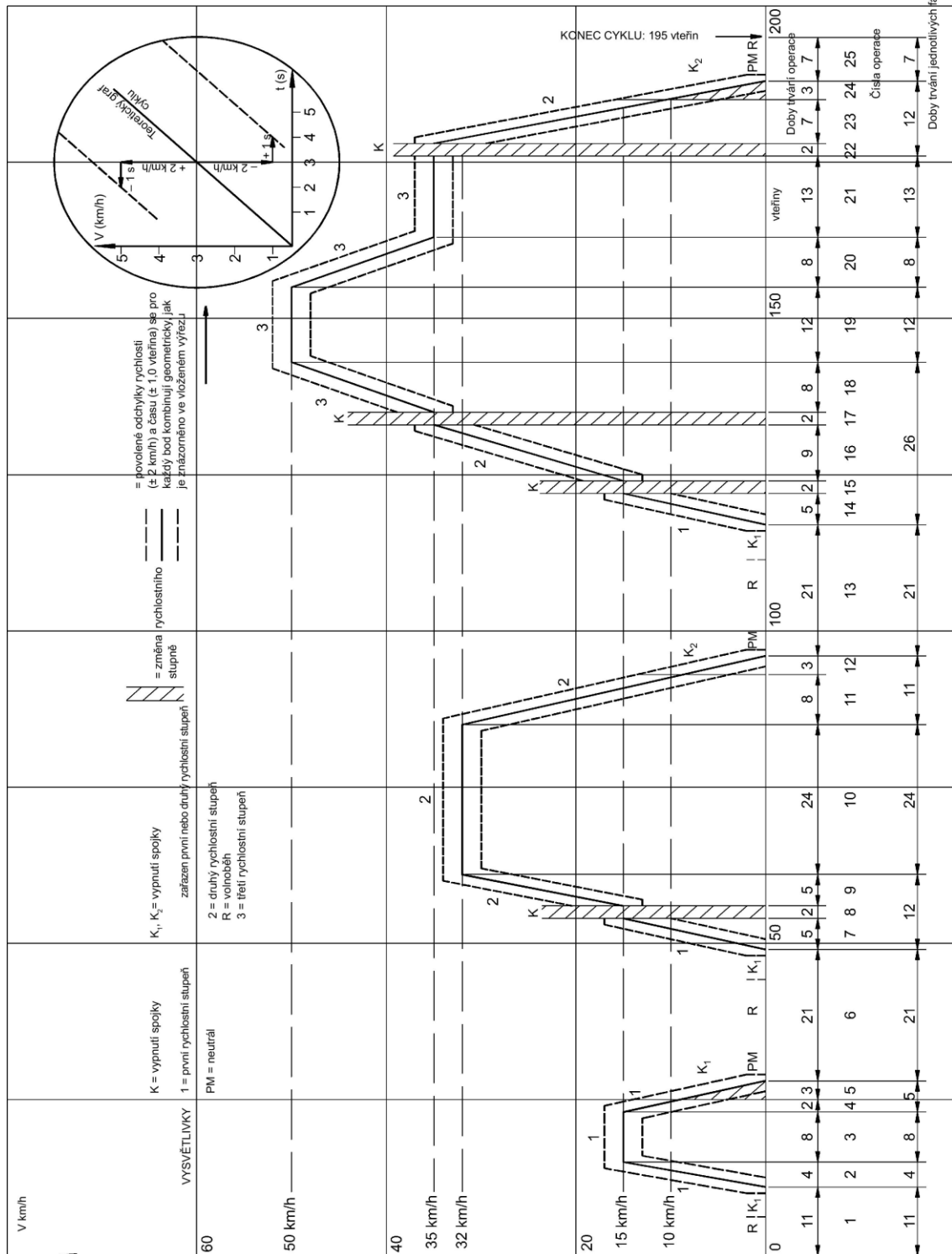
Příloha A – Jízdní cyklus NEDC



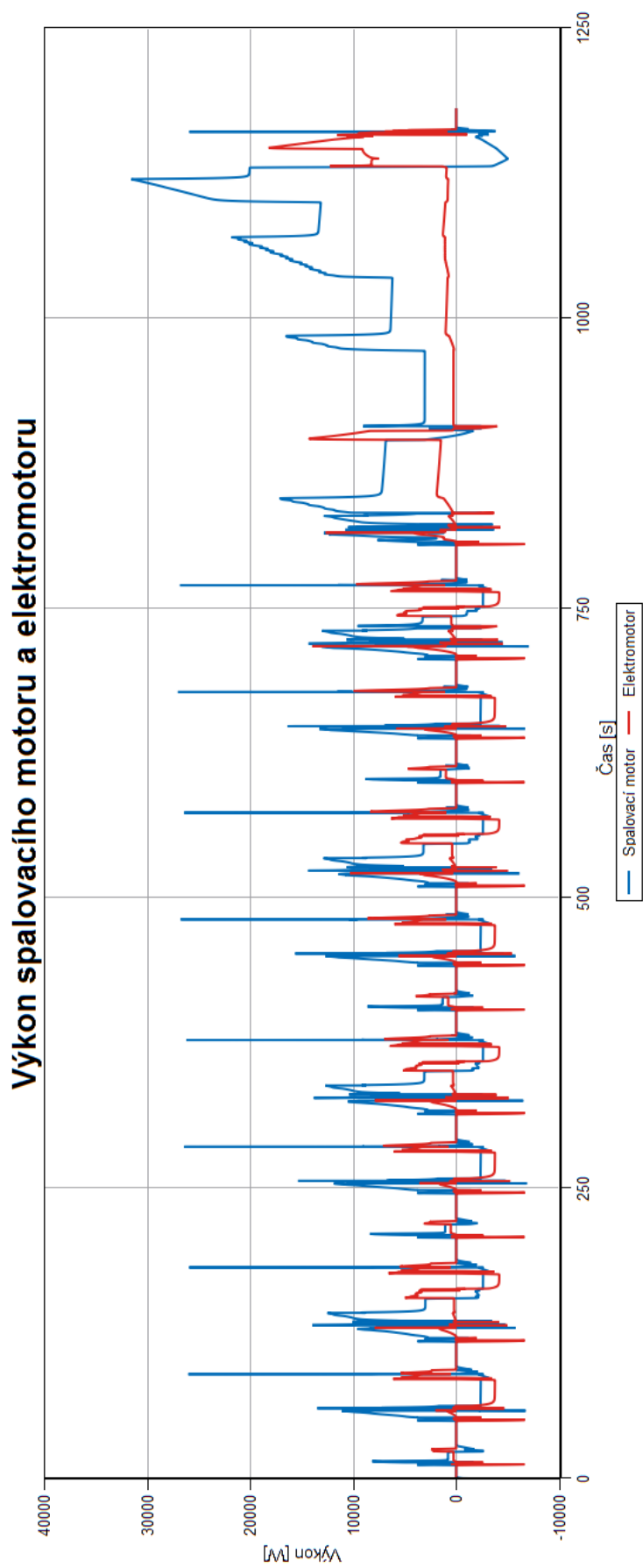
Příloha B – Jízdní cyklus WLTP



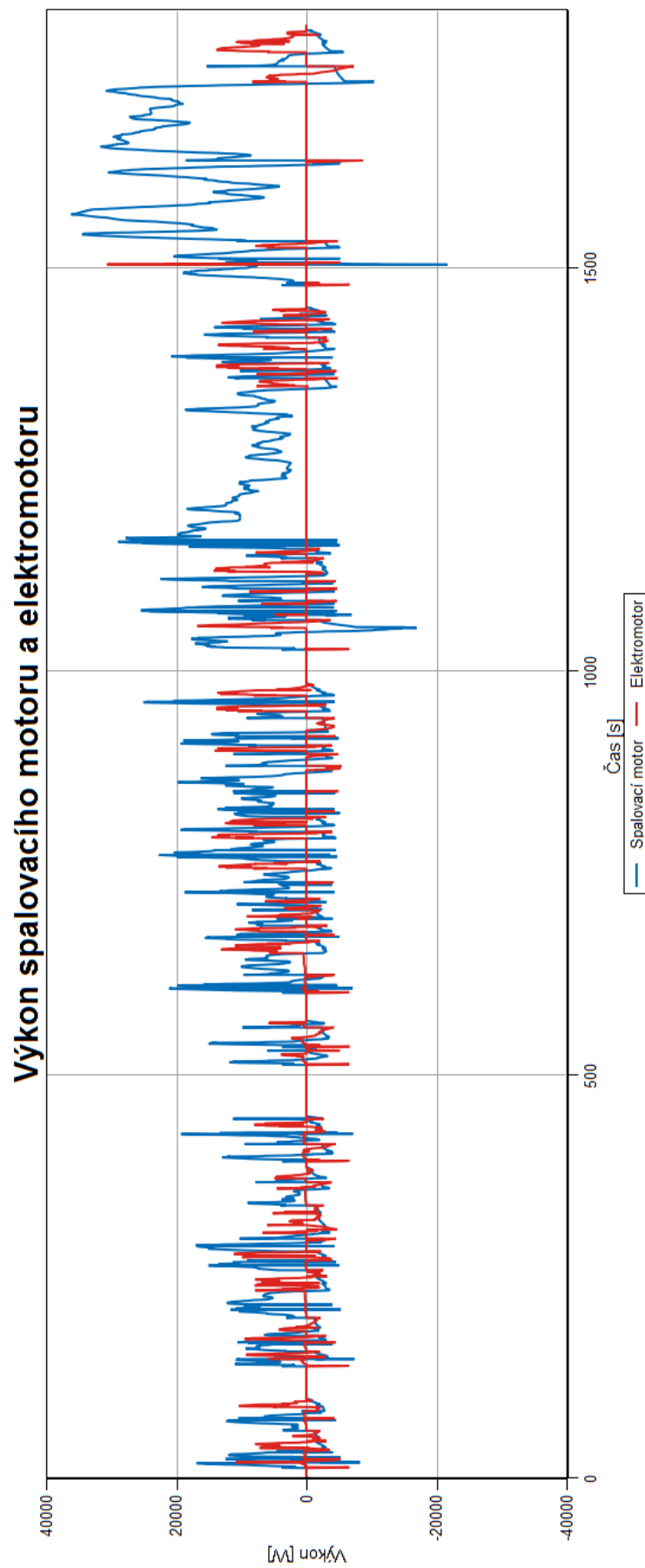
Příloha C – Toleranční pole pro NEDC [10]



Příloha D – Rozvržení výkonu paralelního hybridu - NEDC



Příloha D – Rozvržení výkonu paralelního hybridu - WLTP



Příloha F – Simulační model bez elektromotoru

