

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hybridní vozidlo bez klasické nebo planetové převodovky

Autor: Michal Musil

Vedoucí: Ing. Rastislav Toman

Akademický rok: 2019/2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Musil** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **465511**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Hybridní vozidlo bez klasické nebo planetové převodovky

Název bakalářské práce anglicky:

Hybrid vehicle without a classical or planetary gearbox

Pokyny pro vypracování:

1. Uveďte obecní přehled hybridních pohonních ústrojí.
2. Zpracujte rešerši zaměřenou na hybridní vozidla bez klasické nebo planetové převodovky (2015 Koenigsegg Regera, 2017 Honda Accord)
3. Připravte jednoduchý simulační model pohonného ústrojí a vybraného vozidla v GT-Suite

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Rastislav Toman, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.10.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.01.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:



Ing. Rastislav Toman
podpis vedoucí(ho) práce



doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

8.11.2019
Datum převzetí zadání

Musil
Podpis studenta

Anotační list

Jméno autora: Michal Musil

Název práce: Hybridní vozidlo bez klasické nebo planetové převodovky

Anglický název: Hybrid vehicle without a classical or planetary gearbox

Akademický rok: 2019/2020

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Obor studia: bez oboru

Ústav: Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Vedoucí práce: Ing. Rastislav Toman

Bibliografické údaje: počet stran: 60

počet obrázků: 19

počet grafů: 15

počet tabulek: 6

počet rovnic: 17

Klíčová slova: hybridní pohon, převodovka, Honda, Koenigsegg, simulace, GT-Suite

Key words: hybrid drivetrain, gearbox, Honda, Koenigsegg, simulation, GT-Suite

Anotace

Moje bakalářská práce se zabývá přehledem a porovnáním současných hybridních pohonných ústrojí, jejich popisem a simulací jízdního cyklu vozidla tohoto typu v programu GT-Suite.

Ve své práci uvedu jednotlivé typy hybridních, pohonných systémů a porovnáám je na základě konfigurací jejich jednotlivých komponentů a jejich chování během provozu.

Následně se blíže zaměřím na konstrukci pohonných ústrojí a různých řešení pohonů bez použití převodovky, a to u vozidel: 2017 Honda Accord Hybrid a 2015 Koenigsegg Regera.

Na závěr uvedu výsledky mojí práce při vytváření simulačního modelu hybridního vozidla na základě dostupných informací z vozidla Honda Accord Hybrid 2017. Celý proces tvorby modelu, zapojení jednotlivých komponent a výsledné simulace v programu GT-Suite společnosti Gamma Technologies LLC byl prováděn pod vedením vedoucího práce, pana Ing. Rastislava Tomana.

Abstract

My bachelor thesis deals with an overview and comparison of current hybrid powertrains, their description and simulation of a driving cycle of this type of vehicle in the GT-Suite program.

In my work I will introduce various types of hybrid propulsion systems and compare them based on configurations of their individual components and their behavior during operation.

Subsequently, I will focus on the design of powertrains and drive solutions without the use of a transmission: 2017 Honda Accord Hybrid and 2015 Koenigsegg Regera.

In conclusion, I will present the results of my work of creating a simulation model of a hybrid vehicle based on available information from the Honda Accord Hybrid 2017. The whole process of model creation, involvement of an individual components and the resulting simulation in the GT-Suite program of Gamma Technologies LLC was carried out under the supervision of the bachelor thesis supervisor Ing. Rastislav Toman.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci, Hybridní vozidlo bez klasické nebo planetové převodovky, vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Rastislava Tomana a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu zdrojů.

V Praze dne 6. 1. 2020

.....

Michal Musil

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce, panu Ing. Rastislavu Tomanovi za jeho rady a připomínky při vypracovávání této práce a také za jeho trpělivost a ochotu, se kterou vedl naše konzultace.

Nejvíce bych chtěl poděkovat mým rodičům za jejich podporu během mého studia.

Obsah:

1.	Seznam použitých jednotek a veličin.	1
2.	Úvod	2
3.	Typy současných hybridních pohonů.	2
3.1	Srovnání hybridních systémů podle topologie.	3
3.1.1	Sériový hybrid	3
3.1.2	Paralelní hybrid	6
3.1.3	Kombinovaný (sériově-paralelní) hybrid	8
3.1.3.1	Hybrid Synergy Drive-Toyota	9
3.2	Srovnání hybridních systémů podle hybridizace.	11
3.2.1	Mikro a Mild hybrid	11
3.2.2	Motor assist hybrid	11
3.2.3	Full hybrid	12
3.2.4	Plug-in hybrid	12
3.3	Porovnání hybridního a konvenčního pohonu.	12
3.4	Porovnání hybridních systémů podle topologie.	14
3.4.1	Sériový	14
3.4.2	Paralelní	15
3.4.3	Kombinovaný	15
4.	Popis a srovnání hybridních pohonných systémů bez použití klasické převodovky vozů Honda Accord hybrid 2017 a Koenigsegg Regera 2015.	16
4.1	Honda Accord Hybrid 2017	16
4.2	Koenigsegg Regera 2015	21
4.2.1	Hydrodynamický měnič momentu (HDM)	23
4.2.1.1	Vlastnosti HDM	26
5.	Simulace provozu vozidla bez konvenční převodovky na základě provozních údajů Hondy Accord Hybrid 2017 v programu GT-Suite	29
5.1	Parametry simulačního modelu	29
5.2	Obecný přehled modelu	31
5.3	Popis jednotlivých jízdních režimů	32
5.3.1	EV – elektrický režim	32
5.3.2	Hybridní režim	34
5.3.3	ICE – spalovací režim	35

5.3.4	Simulace	36
5.3.4.1	Vybraný jízdní cyklus	42
5.3.5	Jízdní cykly typické pro hybridní vozidla.	47
5.3.5.1	Charge sustaining mode (CS).....	48
5.3.5.2	Charge depleting mode (CD).....	50
6.	Závěr	51
7.	Použité zdroje	53
8.	Seznam obrázků	57
9.	Seznam grafů	58
10.	Seznam tabulek	59
11.	Seznam rovnic	59

1. Seznam použitých jednotek a veličin

<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Popis</u>
M	N·m	kroutící moment
F	N	síla
r	m	rameno
ρ	kg/dm^3	měrná hustota kapaliny
n_{min}	$ot./min$	minimální otáčky
λ_{lmin}	-	charakteristika HDM*
M_m	N·m	maximální moment
D	m	průměr
ω_{min}	rad/s	minimální úhlová rychlost
O	mm	obvod kola
P_p	mm	profil pneumatiky
n_{max}	$ot./min$	maximální otáčky
v_{max}	m/s	maximální rychlost
ΔD	mm	rozdíl průměrů
V	cm^3	objem motoru
ε	-	kompresní poměr
U_s	V	střední napětí
C_x	-	koef. aerodyn. odporu
C	Ah	kapacita baterie
S	m^2	čelní plocha vozidla
m	kg	hmotnost vozidla
L	m	délka vozidla
WB	m	rozvor náprav
H	m	výška vozidla
SOC	(%)	stav nabití akumulátoru
P	kW	výkon
v_o	m/s	obvodová rychlost

*HDM – hydrodynamický měnič momentu (viz. dále v dokumentu)

2. Úvod

V první části této práce se zaměřím na srovnání hybridních ústrojí podle vzájemného rozmístění jednotlivých komponent v rámci vozidla. V zásadě se tedy bude jednat vždy o full hybrid nebo plug-in hybrid. Motor assist, mild či mikro hybridy v této práci pouze zmíním. Víceméně všechny lze dále rozdělit na hybridy sériové, paralelní a kombinované. Je nutné podotknout, že se bude téma práce později zabývat typem, který přímo nepatří ani do jedné z těchto uvedených skupin. Nejblíže bude mít v určitém jízdním režimu k sériovému hybridu.

V druhé části práce se budu zabývat detailním popisem a rozbořem dvou nekonvenčních pohonných systémů v současné době používaných ve dvou automobilech. První bude Honda Accord Hybrid z roku 2017, rodinný sedan střední třídy, který je v prodeji pouze na americkém trhu, tudíž tedy nemohu do práce zahrnout, obdobně jako u druhého vozidla, mnou změřené jízdní údaje a dojmy. Druhým automobilem bude švédský sportovní, hybridní vůz Koenigsegg Regera 2015. Tento automobil byl uveden do prodeje v roce 2016 a bylo plánováno celosvětově vyrobit pouze 80 kusů, nicméně odhalení veřejnosti proběhlo již v roce 2015. Proto je v práci automobil uveden pod tímto rokem.

Třetí a poslední část práce se bude věnovat jízdní simulaci fiktivního vozidla, vytvořené na základě přednastavených souborů, "template-files", programu GT-Suite a upravených tak, aby výsledná simulace co nejvíce napodobovala řízení různých, jízdních režimů výše zmíněné Hondy Accord Hybrid. Pohonné ústrojí tohoto vozidla je také možné nazývat pojmem DHT – Dedicated Hybrid Transmissions, tedy vozidlo nebo stroj, který používá různé, nejčastěji elektrické systémy spojené s klasickými technologiemi. Tento pojem bude vyjasněn konkrétním popisem Hondy Accord dále v této práci.

3. Typy současných hybridních pohonů

Hybridní pohonná ústrojí automobilů se obecně dají rozdělit do mnoha kategorií podle jejich funkcí a využití. V zásadě můžeme dělit a porovnávat hybridní pohony mezi sebou dvěma způsoby. Buď podle schopností elektrických komponent zasahovat do celkového projevu jízdy a podle jejich jednotlivých umístění a zapojení v pohonném ústrojí. Těmi jsou sériové, paralelní a kombinované hybridy, kde záleží na pozici a hlavní funkci, většinou zážehového, spalovacího

motoru a pozici a počtu elektromotorů. Druhý pohled pro srovnání je podle hybridizace, vyjádřené nejčastěji jako číselný, či procentuální poměr výkonu elektromotoru a spalovacího motoru. Jsou to například technologie mikro hybrid, mild hybrid, motor assist hybrid (5% - 15%), full hybrid a plug-in hybrid (15% - 50%). Existují však také varianty se vznětovými agregáty, které ale nebývají tak časté, jelikož se poslední dobou od vznětových motorů upustilo. Je ale možné, že se trend vznětových motorů vrátí i do světa hybridních automobilů nebo pravděpodobněji dopravních prostředků hromadné přepravy a nákladních, či těžkých pracovních strojů. [7] [12] [13] [14]

3.1 Srovnání hybridních systémů podle topologie

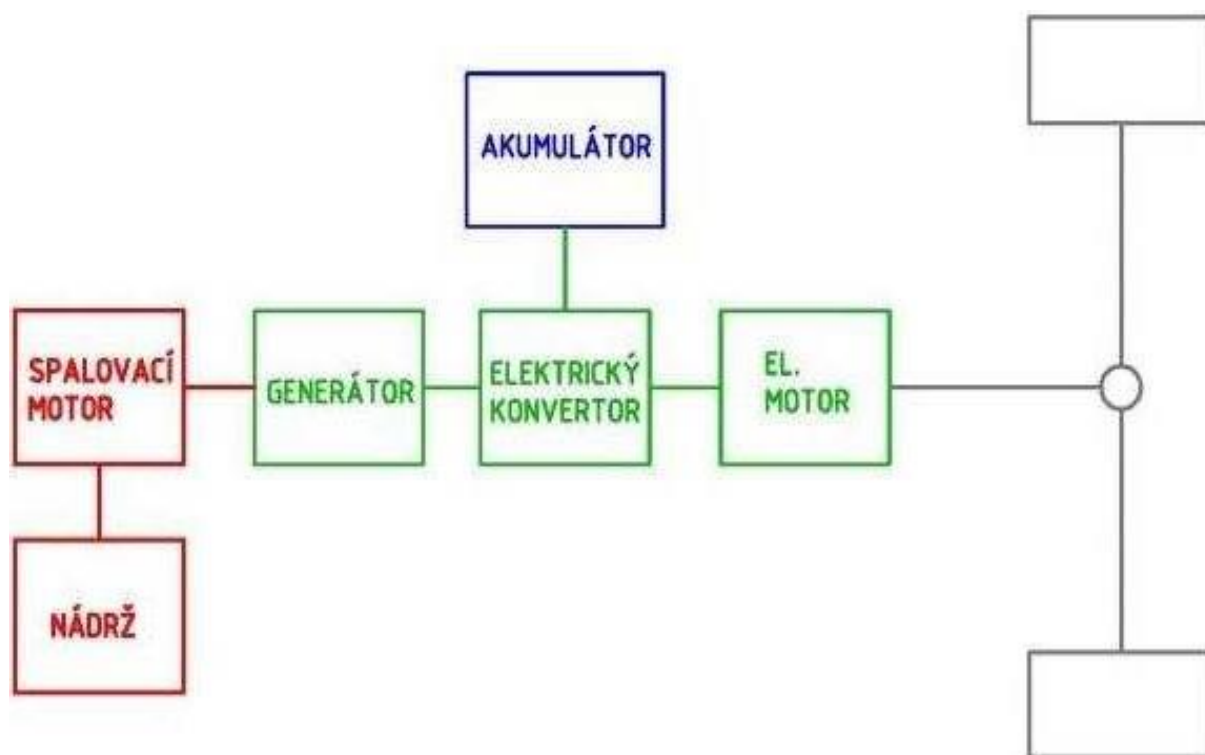
3.1.1 Sériový hybrid

Sériové uspořádání hybridního pohonného ústrojí vypadá tak, že spalovací motor, elektromotor a hnaná náprava jsou seřazeny v sérii, tedy za sebou. Z obrázku 1 níže lze vidět, že spalovací motor není přímo spojen s nápravou a není tedy možné jej využívat jako pohon. V této konfiguraci slouží v kombinaci s generátorem elektrické energie jako přímý zdroj pro elektrický motor a akumulátor. Lze tedy říci, že sériový hybrid má blíže k elektromobilu, neboť kola jsou vždy poháněna elektromotorem.

Sériové hybridy nejsou tak rozšířené jako zbylé dvě konfigurace, ale mají svou pointu. Spalovací motor je zde řízen tak, aby pracoval v optimálním pásmu otáček a účinnosti. Díky tomu, že není přímo spojen s nápravou, tak jeho výkon není téměř ovlivněn jízdním profilem či rychlostí jízdy. [2] [7] [9]

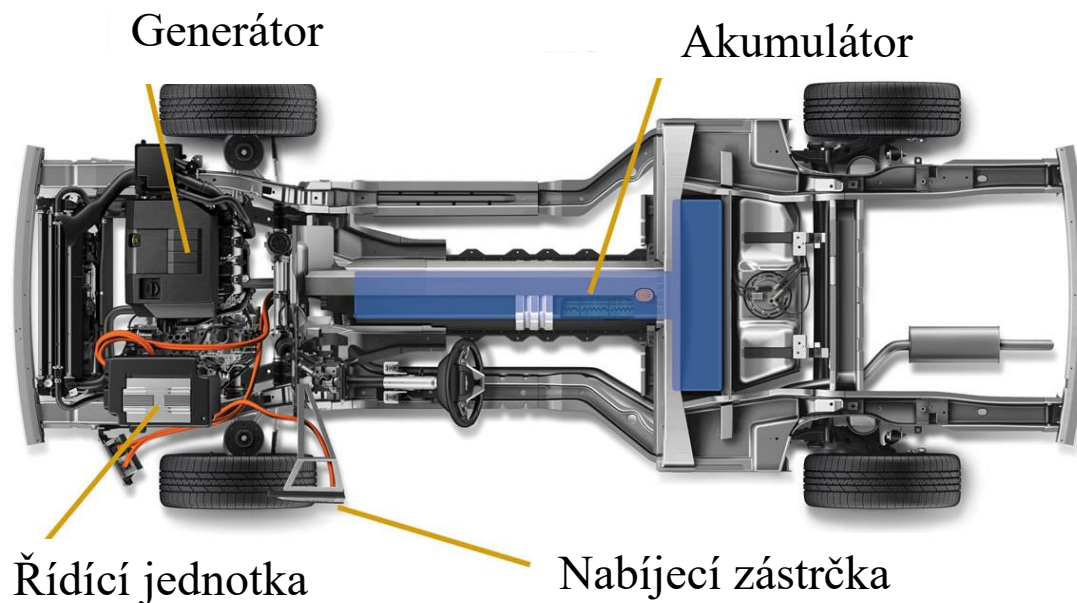
K výrobě elektrické energie je spalovací motor spojen s druhým elektromotorem, který v generátorovém režimu zásobuje hnací elektromotor elektrickou energií, po případě dobíjí akumulátory. Sériový hybrid je tedy schopný čistě elektrické jízdy, a to v případě, že jsou akumulátory nabity v určitém rozmezí v závislosti na dimenzování baterií a provozních podmínkách. Akumulátor samotný je v případě sériového hybridu kapacitně větší než u paralelních či kombinovaných hybridů, ale menší než u elektromobilů. Většinou se dojezd čistě na elektrinu pohybuje mezi 100-200 km, u BMW i3 je to například 150 km [8]. Následně systém automaticky nastartuje spalovací jednotku. Spalovací motor může být převážně dvojího typu. Buď jako klasický zážehový, většinou 2–4 válcový motor o objemu 1,0 – 2,0 litru s menší

baterií a spalovací motor je zde téměř vždy aktivovaný. Dále ve formě tzv. "range-extenderu", kdy je spalovací motor obvykle menší, ale akumulátory jsou výrazně větší, a proto je upřednostněna elektrická jízda. Teprve až se začne nabití baterií blížit dolní hodnotě, kterou má každá automobilka nastavenou jinak, poté se aktivuje malý spalovací motor, který prodlouží dojezd o několik dalších kilometrů. V tomto případě se používají velmi malé, často dvouválcové motory, nejčastěji z motocyklů, které bývají namontovány místo rezervy pod dnem zavazadlového prostoru. Je to proto, aby byl motor umístěn, co nejdále od řidiče, jelikož motory v těchto typech automobilů pracují na téměř konstantních otáčkách a jimi vydávaný konstantní hluk může být časem nepříjemný. [9] [15]



Obr. 1- Schéma sériového hybridního pohonu. [25]

Co se týká výkonu, tak elektromotory mají standardně výkon do 150 kW a tím nahrazují běžný výkon automobilů. Výhoda úspory paliva je dosažena díky optimalizaci běhu spalovacího motoru nebo případně možností externího dobíjení akumulátoru. K tomu disponují elektromotory téměř konstantním kroutícím momentem v nízkých otáčkách, což napomáhá jízdní dynamice, ale zároveň velmi záleží na samotné konstrukci určitého typu elektromotoru. V případě akutní potřeby vysokého výkonu, jsou některé sériové hybridy schopny po krátkou dobu využívat elektrickou energii současně z akumulátoru i z generátoru. Tato funkce bývá většinou spojena s tzv. "throttle kick-down" neboli prošlápnutím pedálu akcelérátoru přes západku maximálního rozsahu a slouží například pro krátkodobé, nouzové zrychlení. [9]

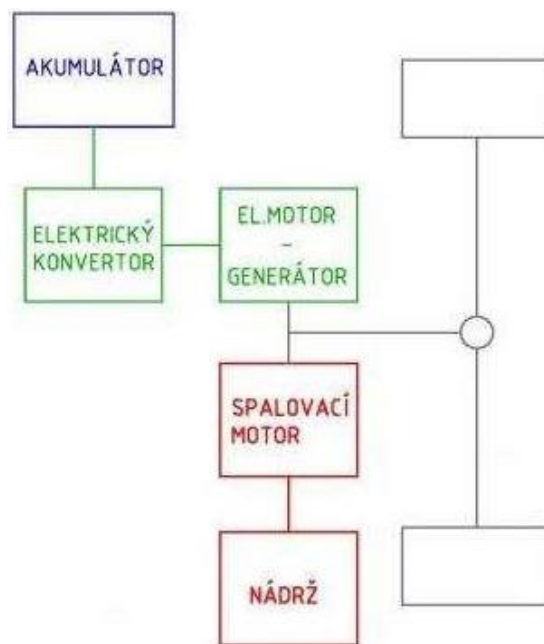


Obr. 2 - Schéma systému Opel Ampera. [15]

Většina automobilů využívá jeden elektromotor pro pohon celého automobilu, možné je samozřejmě umístit elektromotorů do automobilu více, např. jeden elektromotor na každou nápravu nebo jeden elektromotor na každou poloosu, kde se naskýtá možnost využití funkce "Torque Vectoring" (vektorování kroutícího momentu jednotlivých kol). Tato funkce zlepšuje jízdní vlastnosti, převážně v zatáčkách, pomocí nezávisle poháněných všech čtyř kol. Běžné využití této funkce nalezneme výhradně ve sportovních vozech. Hlavní nevýhodou sériového systému je několikanásobná přeměna energií, a to, z chemické energie paliva na rotační mechanickou energii na hřídeli spalovacího motoru, z mechanické na elektrickou energii v generátoru a následně z elektrické energie buďto na chemickou energii při nabíjení akumulátoru nebo na mechanickou energii k pohonu nápravy. Celková účinnost v rámci tohoto systému se i tak pohybuje kolem 50 %, což je stále výrazně více než účinnost konvenčních spalovacích motorů, která se pohybuje v rozmezí 20-42 %. Příklad použití tohoto systému: Opel Ampera, Chevrolet Volt, BMW i3 REx. [7] [9] [24]

3.1.2 Paralelní hybrid

Paralelně uspořádaný hybridní systém je dnes asi nejpoužívanější systém v automobilech, které většinou nebyly primárně konstruovány jako hybridní, ale vznikla pouze jejich nová varianta, kdy byl do stávajícího pohonu zakomponován elektromotor, který je zároveň generátorem pro nabíjení akumulátoru. Elektromotor se výkonově pohybuje většinou do 20 kW a akumulátor je většinou nízké kapacity, mezi 0,4 – 1,8 kWh i více. Běžně ale do 10 kWh, jelikož je nutné rozměrný akumulátor vměstnat do stávajícího šasi automobilu. [2] [7]



Obr. 3 - Schéma paralelního hybridního pohonu. [25]

Paralelní hybridní systém používá k pohonu kol vozidla oba zdroje energie, a to bez nutnosti zásahu řidiče. U paralelních hybridních pohonů je elektromotor schopný pracovat ve dvou režimech, a to jako hnací jednotka nebo jako generátor energie pro dobíjení akumulátoru, což není u elektromotoru žádná novinka. Spalovací motor je přímo spojen s nápravou a vozidlo je možné užívat i jako běžný spalovací automobil. Elektromotor je zde proto, aby asistoval spalovacímu motoru ve chvílích, kdy je jeho provoz buďto velmi neefektivní, nedostačující nebo nepotřebný. Jako například při popojíždění v dopravních kolonách, rozjezdech do kopce, předjíždění nebo obecně pomalé jízdě s častým vypínáním a opětovným startováním motoru. Na tyto režimy provozu jsou dnešní automobily připraveny a dimenzovány systémem Start-Stop, který ale není úplně ideální z hlediska vibrací nebo problémy s mazáním. Není zde

možné, aby spalovací motor nabíjel akumulátory během jízdy čistě na elektřinu. O to se stará rekuperace brzděné energie při zpomalování nebo sjíždění z kopce, kdy se zároveň šetří mechanické brzdy a předchází se jejich selhání z důvodu přehřátí. Některé automobily umožňují řidiči nastavit si míru rekuperace, protože každý uživatel si na tento systém zvyká jinak rychle. [3] [9] [18]

Velikost elektromotoru, který slouží zároveň jako pohonná jednotka i generátor, na rozdíl od sériového hybridu, kde se jedná o dvě samostatné jednotky, umožňuje umístění většinou mezi spalovací motor a převodovku pomocí třecí spojky. Ta se spíná nebo rozepíná na základě aktuálního jízdního režimu. Výjimkou jsou například sportovní automobily, které mají většinou několik elektromotorů, které bývají stejně silné nebo i silnější než spalovací agregát samotný. V takovém případě elektromotory přebírají hlavní roli v dosažení výborné dynamiky jízdy, krátkého zrychlení, navýšení maximálního kroutícího momentu, a to nejlépe od co nejnižších otáček. Pokrývají zároveň oblast tzv. "Turbo lagu", kdy turbodmychadlo (v případě kombinace s turbodmychadlem přepřlňovaným motorem) ještě neposkytuje dostatečný nárůst výkonu. Malé, paralelně umístěné elektromotory, mohou být také využity jako pohon elektro-kompresorů. Výhodné je to pro snížení výkonových ztrát, protože běžně jsou kompresory k motoru přímo připojeny řemenem a tím ho neustále zatěžují. [2] [7] [9]



Obr. 4 - Pozice pro umístění elektromotoru pro hybridní pohony [9]

Příklad použití paralelního systému: Honda IMA, BMW Active Hybrid, Hyundai Ioniq Plug-in hybrid, Mitsubishi PHEV, VW GTE, Porsche E-hybrid a další. [20]



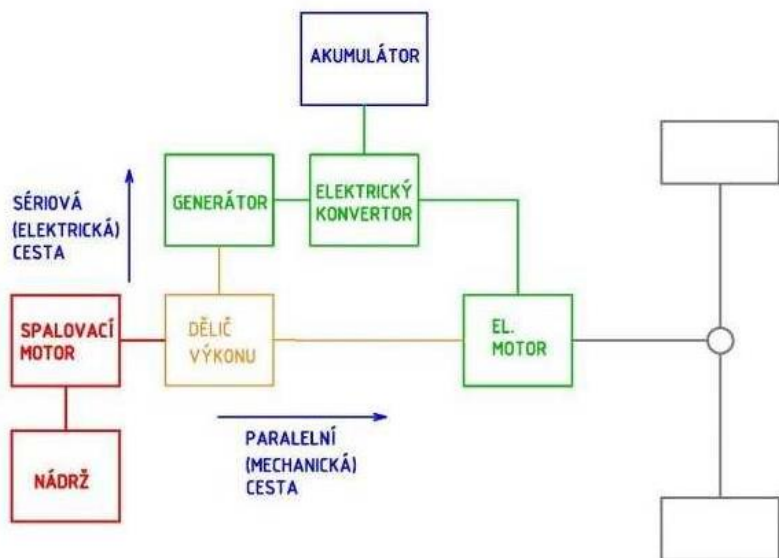
- 1) Spalovací motor V8 (330 kW / 650 Nm).
- 2) Elektromotor (15 kW / 210 Nm) a hydrodynamický měnič.
- 3) Automatická planetová osmistupňová převodovka.
- 4) Vysokonapěťové vedení a elektronika (120 V).
- 5) Vedení k akumulátoru.

Obr. 5 - Řez hybridním ústrojím BMW 7 Active hybrid. [26]

3.1.3 Kombinovaný, (sériově-paralelní) hybridní systém

Kombinované uspořádání je vybaveno tzv. děličem výkonu, který je někdy popisován jako převodovka e-CVT či Power-Split device, viz. obrázek 6.

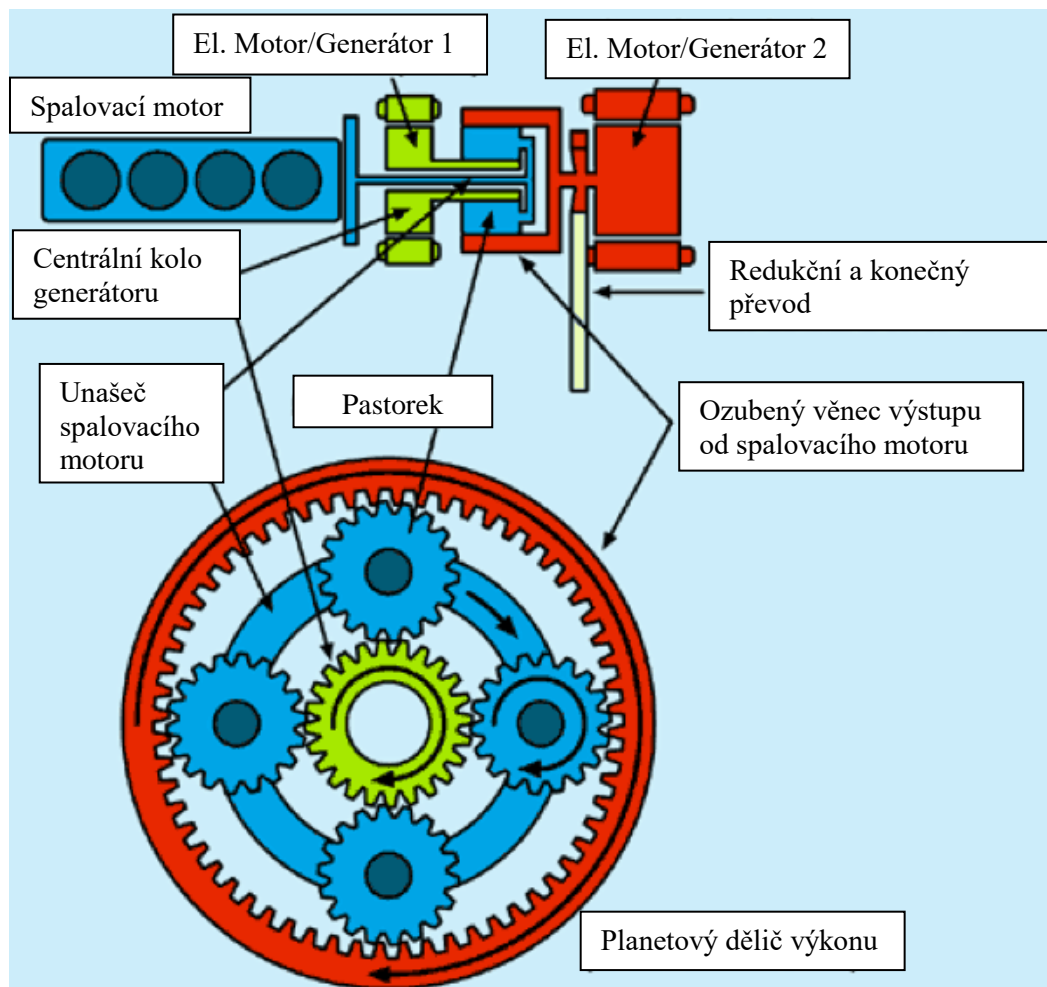
Ten zajišťuje, aby tok výkonu spalovacího motoru šel ke kolům buďto mechanicky, (paralelní hybrid), elektricky, (sériový hybrid),



Obr. 6 - Schéma obecného, kombinovaného hybridního pohonu. [23]

nebo kombinovaně v určitém poměru oběma cestami.

O tom, kolik procent výkonu půjde mechanickou či elektrickou cestou rozhoduje režim, ve kterém se vůz nachází a rozhoduje se tak bez zásahu řidiče. Jsou to například akcelerace, jízda nízkou rychlostí ve městě, vysokou rychlostí na dálnici, jízda z kopce a brždění. V současnosti je tato technologie nejvíce používaná pro pohon hybridů značky Toyota, tzv. "Hybrid Synergy Drive". Vozy s kombinovaným hybridním uspořádáním bývají často nazývány jako full hybridy, protože toto uspořádání dokáže nejvíce využít svůj potenciál v rámci všech jízdních režimů. [2] [7] [9] [17] [22]



Obr. 7 - Toyota Power Split device – Dělič výkonu [17]

3.1.3.1 Hybrid Synergy Drive – Toyota

V současné době jsou téměř všechny modely značky Toyota vybaveny systémem Hybrid Synergy Drive. Například současný Prius Plug-in hybrid páté generace je vybaven zážehovým, čtyřválcovým motorem o objemu 1,8 litru, který pracuje v Atkinsonově cyklu a synchronním elektromotorem s permanentními magnety o kombinovaném výkonu 90 kW a točivém momentu 142 Nm. Jako zásobník energie slouží akumulátor, který je umístěn pod dnem zavazadlového prostoru. Tento model uvádím pouze jako příklad jednoho z úspěšných řešení kombinovaných hybridů. Toto řešení nijak nesouvisí s praktickou, simulační částí v této práci. [5] [7] [21] [22]

Centrálním místem řízení a rozdělování výkonu hybridního systému Toyota Prius je elektronicky řízená planetová převodovka e-CVT (electric - Continuously Variable Transmission). Změnou otáček střídavého synchronního generátoru, spalovacího motoru a elektromotoru se napodobuje funkce klasické, variátorové, bezstupňové převodovky CVT. Ta standardně pracuje na principu změny průměrů převodových kuželů, na kterých se nasazen kovový řemen, takže zrychlování a zpomalování vozidla probíhá bez rázů. Charakteristickým provozním znakem tohoto systému při akceleraci je náhlé navýšení otáček motoru a držení otáček, dokud je výkon potřebný. Poté následuje jejich náhlé snížení bez známky změny převodů. [5] [7] [17] [22]

Při běžném provozu řídí elektronika koordinaci výkonu zážehového i elektrického motoru tak, aby automobil spotřeboval co nejméně paliva. Při malé rychlosti, zejména v městském provozu, se zážehový motor vypíná a vozidlo je poháněno pouze elektromotorem, který odebírá energii z akumulátoru. Poklesne-li napětí akumulátoru, je prostřednictvím generátoru spuštěn zážehový motor a akumulátor se dobije. K regeneraci energie dochází také při zpomalování nebo brždění pomocí rekuperace. Prakticky všechny rozjezdy s výjimkou takového, kdy řidič maximálně sešlápně pedál akcelérátoru, se řídí elektromotorem. Spotřeba elektrické energie z baterií i paliva je tak silně závislá na stylu jízdy řidiče. Regulace a rozdělování toku energie se děje v závislosti na poloze plynového pedálu ve vztahu k rychlosti automobilu, takže v případě, že bude ze strany řidiče vyžadována dynamická jízda, nedojde prakticky k žádné úspoře paliva. K této situaci dle mého názoru moc často nedojde, jelikož automobily s CVT převodovkou nebývají příliš dynamické a člověka tak potřeba dynamické jízdy brzy omrzí. V případě požadavku maximálního výkonu pomáhá krátkodobě elektromotor zážehovému motoru. Celý systém může tedy pracovat v těchto režimech: [5] [7] [22]

- a) Rozjezd, pomalá jízda – spalovací motor je vypnutý, protože by běžel v neekonomickém režimu, vozidlo pohání jen elektromotor.
- b) Normální jízda – výkon spalovacího motoru pohání, pomocí rozdělovacího soukolí, kola vozu a generátor, který dodává proud elektromotoru.
- c) Plná akcelerace – při plném sešlápnutí pedálu pohání vozidlo oba motory.
- d) Zpomalování a brždění – kinetická energie vozidla se využívá k pohonu elektromotoru, který nyní zaujímá funkci generátoru a dobíjí baterie.
- e) Dobíjení baterií – poklesne-li napětí baterií, začnou se dobíjet z generátoru, který je poháněn spalovacím motorem.

V elektrickém režimu Prius Plug-in neprodukuje žádné lokální emise a nespotřebovává palivo. Jízda je tak plynulá, velmi tichá a z určitého pohledu ekonomická. Ovšem i při běžné jízdě se zapnutým spalovacím motorem dosahuje Prius velmi nízkých, papírových hodnot spotřeby paliva a emisí CO₂ (1,2 l/100 km v hybridním módu a kolem 5,0 l/100 km při provozu čistě na spalovací motor). Jen na elektrickou energii dokáže jet rychlostí až 135 km/h na vzdálenost až 50 km. Poté se opět zapojí spalovací motor a začnou se dobíjet akumulátory. Reálná spotřeba bude samozřejmě vyšší a člověk se nesmí nechat zmást pojmem "ekonomický" provoz, protože se zvýšená cena za hybridní pohon jen tak nevrátí. [21]

3.2 Srovnání hybridních systémů podle hybridizace

3.2.1 Mikro a Mild hybrid

Toto řešení de facto ani hybridní vozidlo není, neboť se využití elektromotoru omezuje pouze na systém stop-start s velmi slabou schopností rekuperace brzděné energie. Spalovací motor zde není spouštěn startérem, nýbrž velmi malým elektromotorem přes řemen pohonu příslušenství. Příkladem je původní stop-start systém automobilů skupiny PSA. [19]

3.2.2 Motor assist hybrid

Ekvivalentním výrazem "medium hybrid". V tomto systému slouží elektromotor téměř výhradně v roli "pomocníka" spalovacího motoru. Vyplňuje velmi nevhodné oblasti provozu spalovací jednotky, například při rozjezdu vozidla nebo startování. Oproti mikro a mild hybridům již nabízí možnost jízdy čistě na elektrinu, ale dojezdová vzdálenost je velmi omezená. Použití tohoto jízdního módu se omezuje nejčastěji na parkoviště nebo pojíždění v kolonách. Asi nejtypičtějším případem je Honda IMA (Integrated Motor Assist). [19]

3.2.3 Full hybrid

Full hybrid poskytuje řidiči možnost jet s automobilem v několika módech, ale v celkové podstatě se řidič ovládání jednotlivých módů jízdy nijak neúčastní a automobil je sám volí dle aktuální situace. Spalovací motor a elektromotor si vzájemně pomáhají a doplňují se během jízdy, aby bylo dosaženo maximální možné účinnosti provozu. Tato konfigurace umožňuje jízdu čistě na elektřinu, většinou po velmi krátkou dobu, tzv. "EV mód", dále hybridní režim, kdy oba pohony pracují současně, a nakonec čistě spalovací režim, kdy se automobil chová naprosto standardně bez jakýchkoliv výhod oproti běžným spalovacím automobilům. Tato situace nenastane velice často, pouze v případě, že se akumulátor zcela vybijí nebo pokud vozidlo jede stálou, vysokou rychlostí například po dálnici. Elektromotory a akumulátor totiž nemusejí být dimenzovány pro provoz ve vysokých rychlostech po dlouhou dobu. V takovém případě výrazně stoupá spotřeba elektrické energie a přínos elektromotoru není takový, zvláště pokud si uvědomíme, že při dálničním provozu je spalovací motor většinou nejušpornější. [2] [7] [9]

3.2.4 Plug-in hybrid

Technologie plug-in hybrid je obdobný systém, který je oproti full hybridu možné externě dobíjet z nabíjecí stanice. A to většinou ve dvou či více možnostech nabíjení v závislosti na typu nabíjecího zdroje. Zároveň automobily tohoto typu mají výrazně větší kapacitu akumulátoru, silnější elektromotory i výrazně větší dojezd čistě na elektřinu. Zde je nutné uvažovat vyvážení výkonu a přidané hmotnosti větších akumulátorů. [2] [7] [9]

3.3 Porovnání hybridního a konvenčního pohonu

Mezi hlavní **výhody** hybridního pohonu patří: [2]

- Snížení spotřeby paliva, především v městském provozu.
- Snížení produkce emisí CO₂, v elektrickém režimu nulové lokální emise.
- Tichý a plynulý chod elektrického a hybridního pohonu při konstantní jízdě.
- Kombinace využití obou pohonů v ideálním rozsahu otáček s nejvyšší účinností.
- Rekuperace energie a šetření brzdového systému.

- Elektrický motor poskytuje lepší jízdní dynamiku a okamžitou odezvu.
- Možnost snížení těžiště vozidla a zvýšení stability (u vozidel s bateriemi v podlaze), případně vyvážení automobilu umístěním akumulátorů pod zavazadlový prostor jako protiváhu spalovacímu motoru.
- Možnost integrace hybridního systému do existujícího šasi konvenčního vozu.

Hlavními **nevýhodami** jsou: [2]

- Stále většinou malý dojezd automobilu čistě na elektřinu, tak aby byl opravdu využitelný pro denní jízdu ve městě, zároveň spolu s cenou automobilu v přijatelných cenových relacích. Poslední dobou toto již přestává platit pro nové plug-in hybridy.
- Málo veřejných elektrických dobíjecích stanic, (platí pro plug-in hybridy).
- Navýšení hmotnosti vozu vlivem instalovaných akumulátorů.
- Vyšší cena automobilu spojená s dalšími omezeními v oblasti pohodlí na zadních sedadlech, zavazadlovém prostoru, dojezdu na elektřinu a rychlosti nabíjení.
- V současné době neekologická, nákladná a energeticky náročná výroba a likvidace akumulátorů.

Mezi hlavní **výhody** spalovacího motoru patří: [2]

- Znamá technologie, zvládnutá ekonomická výroba a snazší ekologická likvidace.
- Velký dojezd na jedno natankování a krátký čas tankování.
- Široká síť čerpacích stanic.
- Nižší pořizovací cena, odpadají případné obavy se stavem baterií při koupi ojetého hybridního vozu.

Hlavními **nevýhodami** jsou: [2]

- Nižší účinnost spalovacího motoru než hybridního či elektrického pohonu.
- Nevýhodné provozní oblasti: startování, rozjezdy, pojíždění.
- Emise výfukových plynů, vysoká koncentrace smogu ve městech a hluk.

Výhody hybridního pohonu asi nejvíce vyniknou při pomalé jízdě ve městě, kdy se pomocí rekuperace energie dobíjejí akumulátory a je tak možné jezdit pouze na elektřinu, tudíž bez lokálních emisí a nulovou spotřebou paliva. Naopak při rychlé jízdě po dálnici a zapojeným spalovacím motorem ztrácejí hybridy své výhody a vrací se ke konvenčnímu pohonu, pokud automobil nedisponuje elektromotorem dimenzovaným pro dálniční provoz. Hybridní pohon, tak najde největší uplatnění pro ty, kteří automobil využívají především na kratší vzdálenosti v centrech měst a jen občasně vyjedou mimo město nebo na dálnici.

Osobně vidím největší problém v kapacitě baterií při zachování stejných rozměrů článků. V případě budoucí aplikace baterií s vyšší kapacitou, nižší hmotností nebo možností baterie zakomponovat do jiných částí automobilu, by mohly hybridy, a to převážně paralelní a kombinované, získat lepší využití na delší vzdálenosti v městských oblastech. Příklad nadějně technologie pro budoucí hybridní automobily by mohly být například baterie používající jinou chemickou technologii provozu nebo baterie, které teoreticky pracují na principu jiné, než chemické reakce například: LiFePO_4 , LiFeYPO_4 , $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO), Al-Air články nebo uhlíkové baterie. Použití kondenzátorů, které uchovávají ještě významnější množství energie, při menších prostorových rozměrech, by bylo nutné použít jiný typ regulace toku energie. Kondenzátory mají totiž přirozené tendence se rychle nabíjet, ale ještě rychleji vybíjet, což není pro automobil ideální vlastnost. Zároveň poskytují energii pouze po krátkou dobu, takže by se jejich použití muselo omezit na spíše podpůrné než pohonné funkce. [3] [9]

3.4 Porovnání hybridních systémů podle topologie

3.4.1. Sériový: [2] [9]

- + Upřednostnění elektrického jízdy.
- + Absence velkého spalovacího motoru.
- + Jednodušší konstrukce.
- + Nízká celková spotřeba.
- + Rekuperace elektrické energie z brzdění.
- Menší celkový dojezd.
- Malý spalovací motor bývá hlučný.
- Výrazně vyšší cena proti běžným automobilům.
- Nevhodný pro dálniční provoz.

3.4.2. Paralelní: [2] [9]

- + Nezávislé pohonné systémy, které se doplňují.
- + Elektromotor poskytuje obecně lepší jízdní parametry.
- + Rekuperace elektrické energie při brždění.
- + Možnost rychlejší jízdy v EV módu.
- Kapacita baterie pro jízdu většinou od 20 do 50 km.
- Po vybití akumulátorů je spotřeba stejná jako u běžného automobilu.
- Vyšší cena.
- Spalovací motor pracuje v celém rozsahu otáček.

3.4.3. Kombinovaný: [2] [9]

- + Komplexní, samostatně fungující systém.
- + Paralelní i sériový díky děliči výkonu.
- + Celkově běžný kombinovaný dojezd.
- + Šetření spalovacího motoru v náročných situacích provozu.
- + Rekuperace elektrické energie.
- Malá kapacita baterie, kromě plug-in hybridů.
- EV mód, krom výjimek, přibližně do 60 km/h.
- Většinou malý dojezd na elektřinu.
- Vyšší cena proti běžným automobilům.
- Celkově složitější systém pohonu a jeho případný servis.

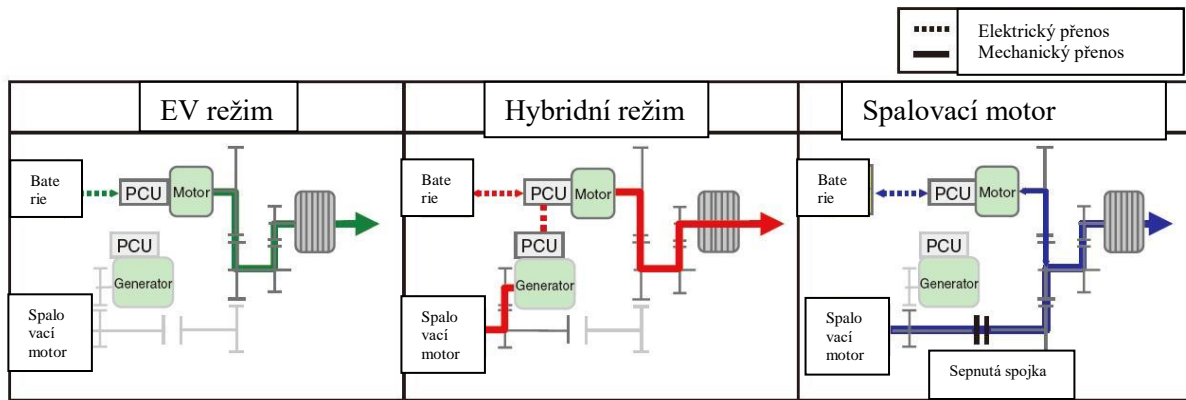
4. Popis a srovnání hybridních pohonných systémů bez použití klasické převodovky vozů Honda Accord Hybrid 2017 a Koenigsegg Regera 2015

V první části práce jsem shrnul vlastnosti, funkce a technologii současných hybridních automobilů. Existuje ale více možností, jak pohánět hybridní automobil, těmi je ale zbytečné se v této práci zabývat, jelikož se většinou nejedná o elektrické systémy, nýbrž systémy využívající ukládání energie do jiných médií než do akumulátorů. Zabývat se budu těmi, které v provozu již jsou, ale k současnému pojetí hybridního pohonu přidávají další vylepšení z hlediska úspory paliva, hmotnosti nebo vylepšení jízdních vlastností.

Oba automobily, ačkoliv patří ve všech směrech do úplně odlišných kategorií, mají společnou jednu unikátní myšlenku, která má, dle mého názoru, velký potenciál v oblasti hybridních pohonů, a to hlavně pro dostupné automobily. Obě vozidla totiž postrádají konvenční převodovku, a to ve všech jejích známých a výše zmíněných variantách. Je to jeden z nápadů, jak k hybridnímu pohonu, který šetří palivo, zpříjemňuje jízdní pohodlí, šetří motor a lokálně ovzduší ve městech, doplnit, resp. odebrat nepotřebný komponent. Ten může být nahrazen jednodušším, lehčím a efektivnějším řešením, které v automobilech evropských koncernů běžně nevidíme. [19]

4.1 Honda Accord Hybrid 2017

Honda Accord, viz. obrázek 9, se v roce 2013 dočkala na americkém trhu své první varianty s elektrickým motorem ve variantě plug-in hybrid, který umožňoval řidiči jet až 40 kilometrů čistě na elektřinu. V následujících letech se tato technologie zdokonalovala, upravovala a i přesto, že byla před nedávnem představena nejnovější varianta tohoto modelu, tak se budu zabývat modelovou, hybridní variantou z roku 2017. Tento model je schopný sám přepínat mezi třemi jízdními módy, které jsou naprogramovány tak, aby absence klasické převodovky neomezovala řidiče ani jízdní dynamiku. Nejprve stojí za zmínku celková konstrukce a uspořádání tohoto pohonu z hlediska vztahů jednotlivých komponentů v závislosti na jízdním režimu a vstupu přicházejícího od řidiče. [10]

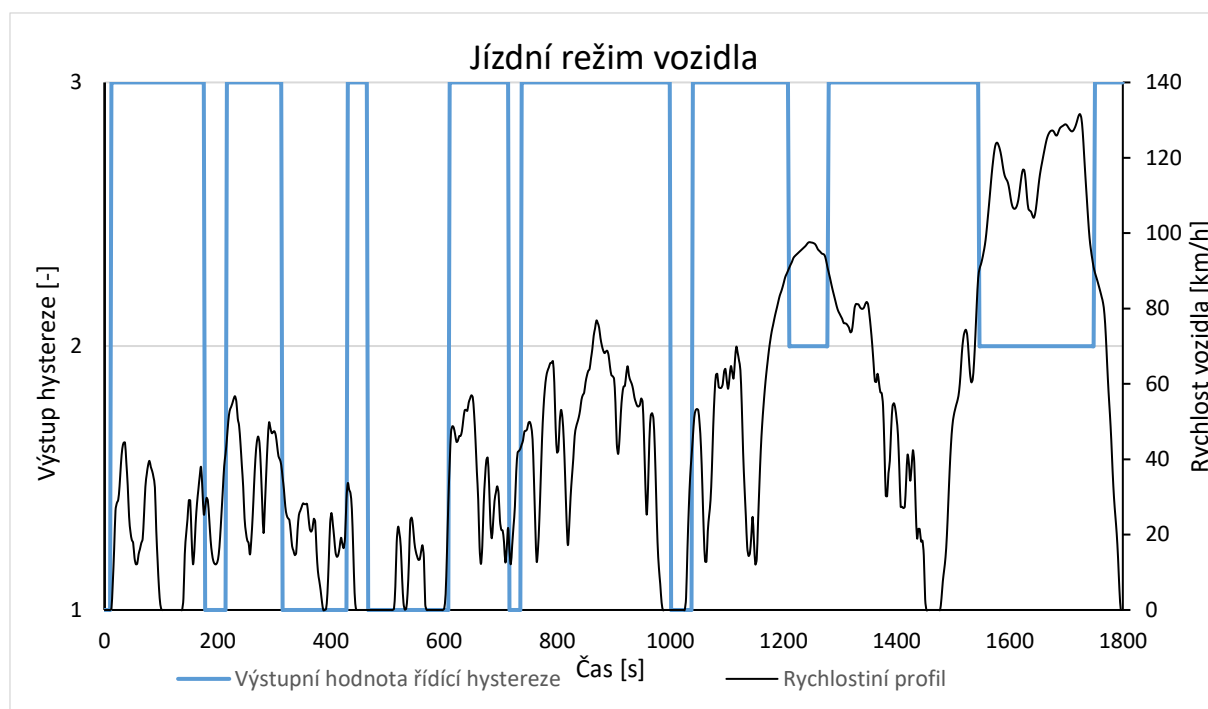


Obr. 8 - Jízdní módy Hondy Accord hybrid 2017 [27]



Obr. 9 - Honda Accord hybrid 2017 (USA) [28]

Celý systém obsahuje dvoulitrový, zážehový, čtyřválcový motor, generátor, synchronní elektromotor s permanentními magnety, dvě výkonové, elektronické jednotky (PCU – Power Control Unit) a nízkokapacitní akumulátor 1,3 kWh. Celkový výkon celého pohonného ústrojí je 158 kW. Z hlediska mechanického spojení vychází ze spalovacího motoru výstupní hřídel, který je propojen pomocí soukolí s generátorem. Na konci hřídele jdoucího z motoru je pomocí třecí spojky připojen přídatný převod, který je spojen soukolím s elektromotorem. Generátor je následně monitorován a řízen PCU 1, která distribuuje energii vyrobenou generátorem do PCU 2. Ta převádí a rozhoduje, kam vyrobenou energii dále rozdělí. Elektromotor je monitorován a řízen pouze druhou řídicí jednotkou a dále je mechanicky spojen pomocí soukolí s paralelním hřídelem, který následně převádí výstupní výkon do nápravového diferenciálu. Jelikož je Accord automobil pouze s předním náhonem, tak zde odpadají starosti s řízením dalšího mezinápravového diferenciálu. Ve výsledku může tedy dojít ke třem jízdním režimům. [10]



Graf 1 – Změny jízdních režimů.

Hodnoty: 1 EV mód, 2 ICE mód a 3 hybridní mód.

Prvně rozeberu čistě elektrický režim, tzv. EV, viz. obrázek 8 a 10. V tomto režimu je spalovací motor vypnutý, třecí spojka rozpojená a energie z akumulátoru je řízena pomocí řídicí jednotky směrem do elektromotoru. Elektromotor se roztáčí a přes paralelní hřídel je výkon převáděn na nápravu. EV mód pracuje většinou po krátkou dobu, jelikož povolení k využívání akumulátoru, jako jediného zdroje energie dostává PCU pouze tehdy, pokud je splněno několik parametrů. [10]

Těmi jsou: [4]

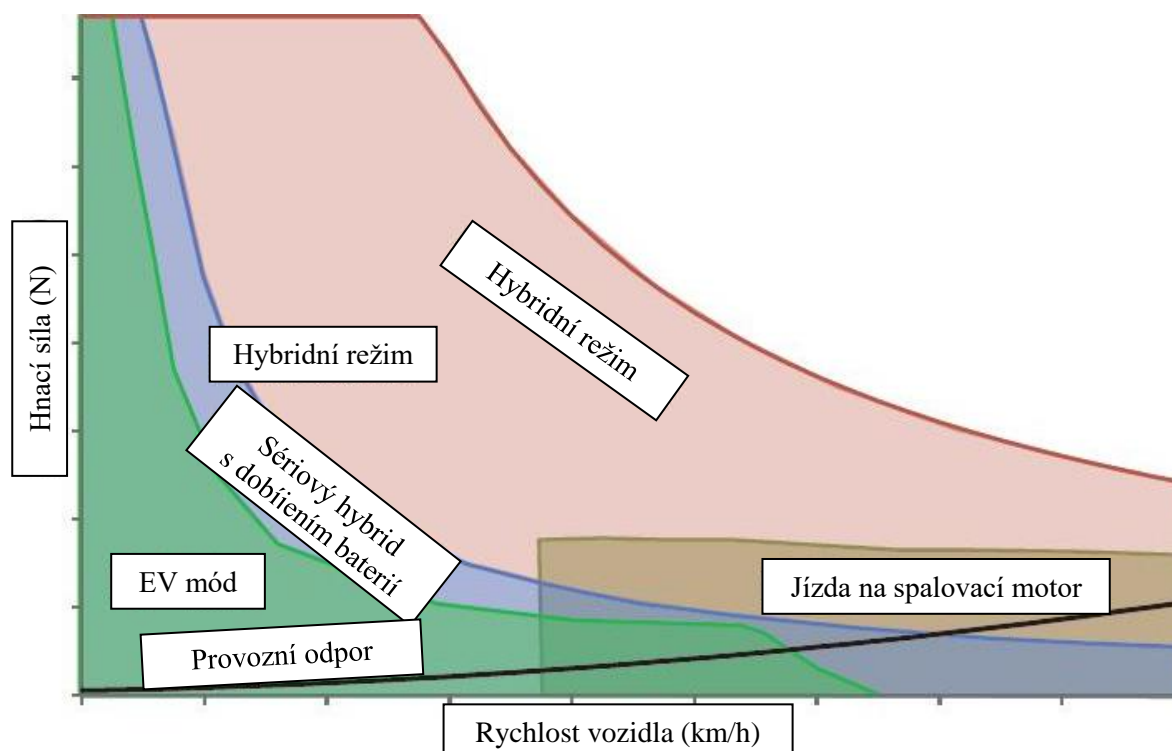
- Baterie jsou dostatečně nabitě, a to většinou v rozmezí 20-100 %.
- Není vyžadováno prudké zrychlení ve vyšší rychlosti.
- Vozidlo se pohybuje klidně i vyšší, ale stálou rychlostí.
- Vozidlo se pohybuje velice pomalu a pojíždí v koloně, zde musí být splněn první předpoklad dostatečného nabití baterií. Přesto, že tento systém není koncipován jako plug-in hybrid, tudíž kapacita akumulátoru není zvláště vysoká, je celkově velice efektivní. Akumulátor se skrze rekuperaci brzdné energie a hybridní režim rychle dobíjí, a tak šetří palivo. Obecně díky absenci převodovky, je systém koncipován tak, aby bylo využití elektromotoru jako pohonu maximálně využito.

Zadruhé je zde hybridní jízdní mód, viz. obrázek 8 a 10. V tomto režimu je nastartovaný spalovací motor, ale je zapojen jako v sériovém hybridu. Třetí spojka je rozpojená a vstupní hřídel z motoru tak roztáčí pouze generátor. Ten produkuje elektrickou energii, která je rozdělována v určitém poměru, buďto do elektromotoru a stejnou cestou jako byla popsána výše na kola nebo do baterií, pokud vznikne energetický přebytek. Zde je patrné, že u tohoto systému je snaha o nejefektivnější výkony spalovacího motoru dosažena tak, že motor pracuje v úzkých, definovaných oblastech otáček a momentů. [10]

Výše otáček je dána provozní situací a pracovním bodem spalovacího motoru, ve které se automobil nachází. Řízení otáček se provádí sledování křivky maximální účinnosti spalovacího motoru. PCU rozděluje energii buďto tak, že je pouze napájen elektromotor nebo pouze nabíjen akumulátor. Může se ale stát, že dojde k náhlému snížení potřebné energie a PCU poté rozhodne o nabíjení akumulátoru. V okamžiku, kdy dojde k dostatečnému nabití, se automobil automaticky přepne do EV módu, a to i v případě, že se vozidlo pohybuje dálniční rychlostí. [10]

Hybridní mód je upřednostňovaný jízdní režim v tomto automobilu kvůli absenci převodovky. Spalovací motor totiž není schopný bez elektromotoru efektivně pohánět automobil v jiných než dálničních rychlostech, jelikož převodování celého systému, které bude rozebráno níže, je určené pouze pro dálniční provoz, kdy spotřeba elektromotoru velmi stoupá a rozdíl úspory paliva mezi hybridním a spalovacím režimem již není znatelný. [10]

Zatřetí, běžný spalovací režim, viz. obrázek 8 a 10. Ten je využíván, jak už bylo zmíněno převážně ve vyšších rychlostech, když je rychlost stálá a relativně vysoká, než aby automobil využíval k pohonu pouze elektromotor. V tomto režimu se sepne třetí spojka mezi výstupním hřídelem spalovacího motoru a pomocného převodu, který je následně přímo spojen s ozubením elektromotoru. Zároveň je neustále spojen převod mezi výstupním hřídelem motoru a generátorem. Ozubení elektromotoru je zde využíváno pouze jako soukolí z pomocného hřídele spalovacího motoru s paralelním hřídelem, který pak vede výkon na nápravu. Vzhledem k tomu, že je generátor neustále spojen s motorem, je stejně jako v hybridním režimu nabíjen akumulátor. Elektromotor se zde tedy nezapojuje do pohonu, ale pouze se volně otáčí jako součást soukolí, tvořící finální, a jediný, převod. Nic ale nebrání tomu, aby PCU rozhodla po dobití akumulátoru vypnout motor a automobil se i přes dálniční rychlost pohyboval pouze na elektrinu. [10]



Obr. 10 - Graf ukazující využití jednotlivých jízdních režimů v závislosti na rychlosti a dodávané síly motorů. [27]

I když je tento systém konstruovaný bez klasické převodovky, jsou zde stále převody velmi podstatné a určují to, proč je zde elektrický nebo hybridní režim upřednostňovaný.

Ve spalovacím režimu, kdy je sepnutá třetí spojka je převod mezi motorem a paralelním hřídelem, přes elektromotor 0,805:1. Převod mezi paralelním hřídelem a diferenciálem je v případě hybridu 3,421:1. Celkový převod mezi spalovacím motorem a nápravou je tedy: [10]

$$1) \quad 0,805:1 \cdot 3,421:1 = 0,805 \cdot 3,421 = 2,7539$$

Pokud to porovnáme s převody manuálního, spalovacího, “nehybridního“ Accordu při zařazení nejbližšího, šestého, převodového stupně.: [10]

$$2) \quad 0,686:1 \cdot 4,105:1 = 0,686 \cdot 4,105 = 2,816$$

Z toho je tedy jasné, že nebude možné reálně využívat spalovací režim pro provoz jinde než na rychlostních silnicích a dálnicích. V případě požadovaného zvýšení výkonu ve spalovacím režimu, je automaticky spuštěn hybridní režim, stejně tak, pokud se v daném okamžiku vozidlo nachází v EV módu. Maximální výkon totiž vozidlo poskytuje právě v hybridním režimu. [10]

Celkové výkony, cena, (která se u USA pohybuje kolem 32 tisíc amerických dolarů), a parametry tohoto hybridu jsou velmi podobné automobilům, které se běžně prodávají ve velkém množství i u nás. Absence takového typu automobilu na evropském trhu je tedy velmi zásadní, jelikož by ve většině parametrů pravděpodobně mohlo konkurovat i takovým modelům jako Škoda Octavia iV nebo VW Passat GTE.

4.2 Koenigsegg Regera 2015

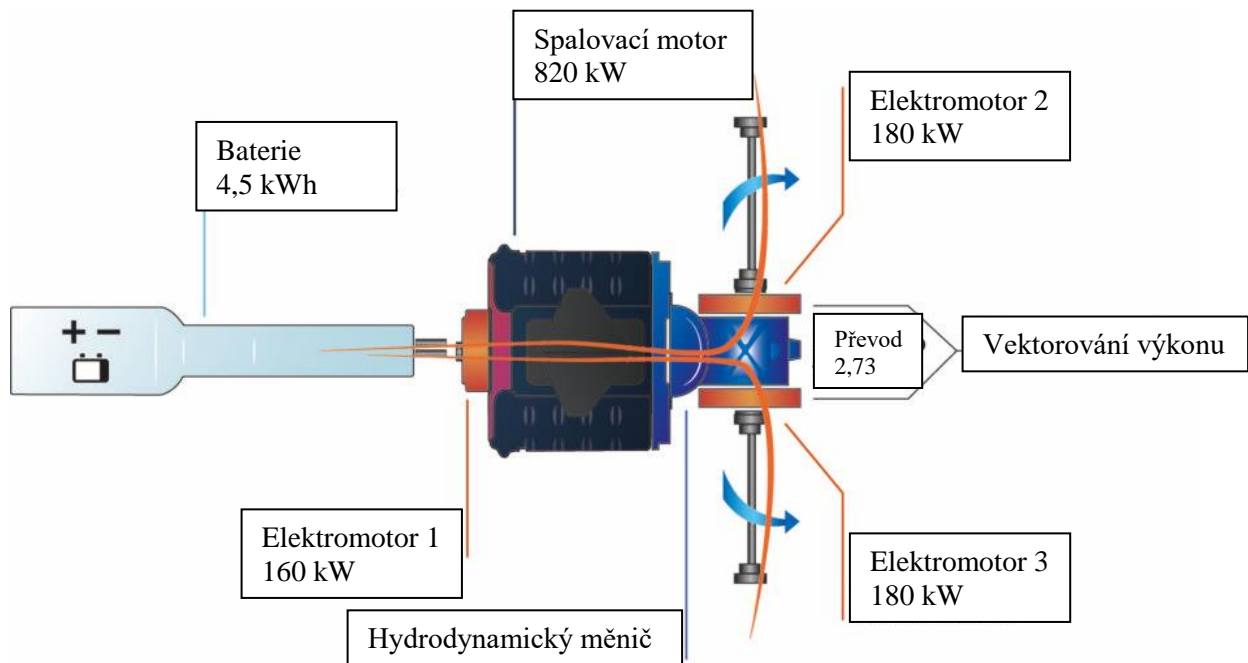


Obr. 11 - Koenigsegg Regera [29]

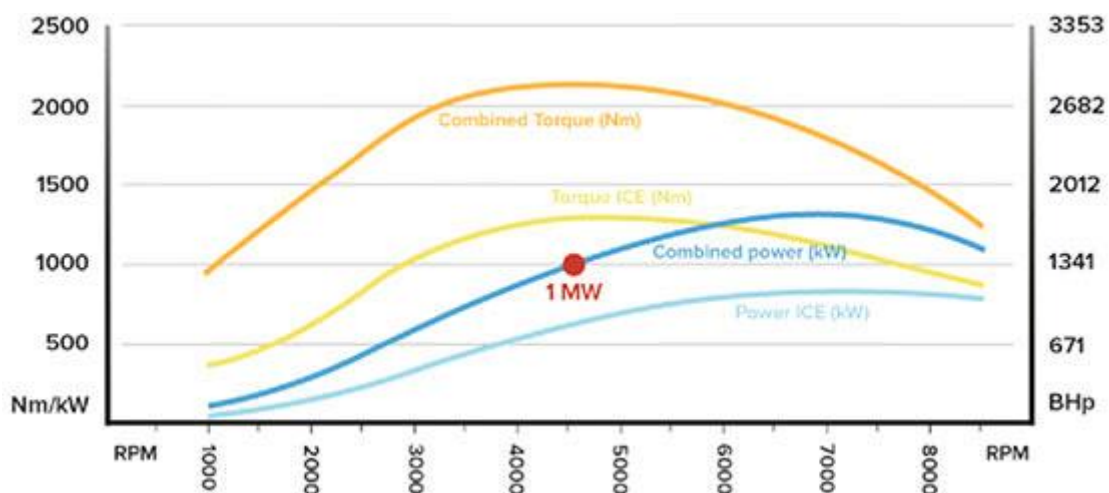
Koenigsegg se jako značka specializuje na výrobu pouze sportovních vozů, které vždy vynikají svými charakteristikami a použitými technologiemi. Regera je první a zatím jediný model značky, který nevyužívá převodovku. V případě Hondy, popsané výše, převody přes ozubená soukolí vytvářela celkový převodový poměr. V případě Regery se zde opravdu nevyskytuje žádný jiný převod než převod diferenciálu. Tento plug-in hybrid v přibližné ceně dvou milionů amerických dolarů i tak poskytuje vysoký výkon, kroutící moment a rychlost společně, s krátkodobou, lokálně bezemisní elektrickou jízdou. [30]

Pohonný systém Regery sestává z pětilitrového, osmiválcového, dvakrát přeplňovaného zážehového motoru do "V", tří elektromotorů, akumulátoru a hydrodynamického měniče. Samotný spalovací motor produkuje 820 kW, 1250 Nm a maximální otáčky má omezené na 8250 ot. / min. Dále se v okolí motoru nachází tři elektromotory. Elektromotor 1 je umístěn v sérii na stejné hřídeli jako spalovací motor a produkuje 160 kW. Slouží i jako startér velkého osmiválce a pomáhá při akceleraci. Další dva elektromotory jsou umístěny každý na jedné poloose za diferenciálem. Každý motor přidává 180 kW na jednu poloosu a oba jsou určeny pro akceleraci, tzn. Torque Vectoring, který pomáhá lepšímu průjezdu zatáčkami a také jako hlavní pohon v EV módu. Akumulátor je umístěn směrem vpřed a tvoří v podstatě středový

tunel mezi řidičem a spolujezdcem. Má celkovou kapacitu 4,5 kWh a aby byl schopný dodávat tak veliký výkon, pracuje s vysokým napětím o hodnotě 800 V. Kvůli takovému vysokému výkonu už nestačí baterie chladit prouděním vzduchu. Je tedy nutné použít chlazení kapalinou, protékající skrze bateriové články, které jsou vodotěsně uzavřeny v ochranném krytu. Celkový elektrický výkon je 520 kW, 900 Nm. To v celkovém součtu dává výsledný kombinovaný výkon 1103 kW a kroutící moment 2000 Nm. [30]



Obr. 12 - Schéma pohonného systému Koenigsegg Regera. [30]

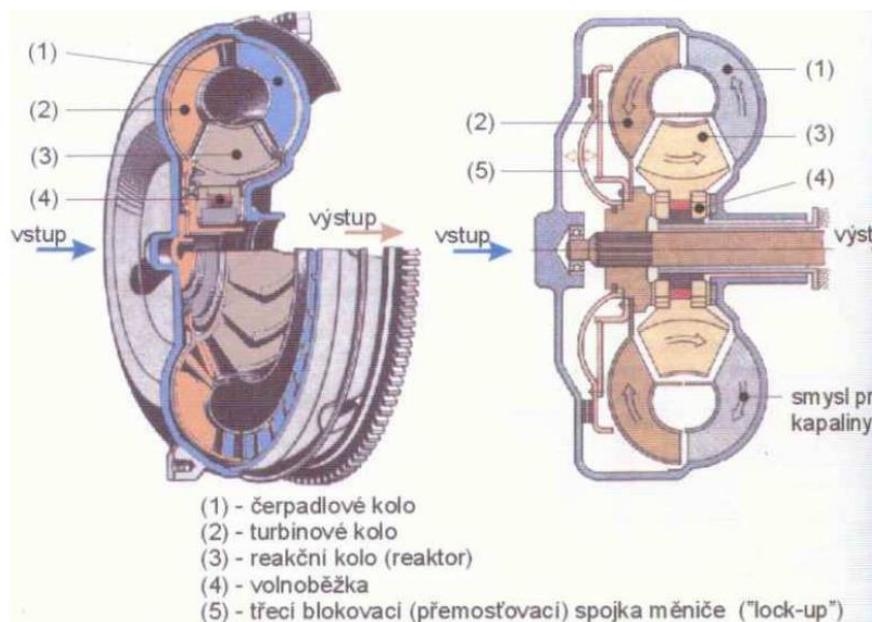


Obr. 13 - Graf závislosti kroutícího momentu a celkového výkonu na otáčkách motoru. [30]

Při takovém výkonu a kroutícím momentu by byla klasická převodovka slabým článkem. Rychle by se opotřebovávala, přidávala by zbytečnou hmotnost a zvyšovala by komplikovanost a rozměry celé konstrukce. U Regery byl tedy použit hydrodynamický měnič (dále HDM) se schopností se od určité rychlosti uzamknout a vytvořit pevný převod. V dražších automobilech s automatickou, planetovou převodovkou HDM v podstatě přejímá funkci spojky, proto se mu také někdy říká hydrodynamická spojka. HDM je velmi oblíbenou součástí automobilů na americkém kontinentu, kde se hojně využívá, ale do Evropy takto zásadně nepronikl. HDM je zde dle mého názoru tak zásadní, že odbočím od tématu a věnuji mu vlastní odstavce k jeho vysvětlení. [30]

4.2.1. Hydrodynamický měnič momentu (HDM)

HDM je zařízení, které tedy bývá použito jako spojka u automatických planetových převodovek. Z jeho názvu lze odvodit, že k násobení momentu, který je při rozjezdu důležitější, než výkon bude docházet pomocí kapaliny a jejího pohybu a interakce uvnitř tohoto zařízení. Je to důležitá součást automatické planetové převodovky, protože by bez ní nebylo možné automobil zastavit, aniž by se motor také zastavil. Jak jsme si tedy popsali, HDM má více funkcí, které napomáhají plynulé jízdě vozidla. [7] [16]

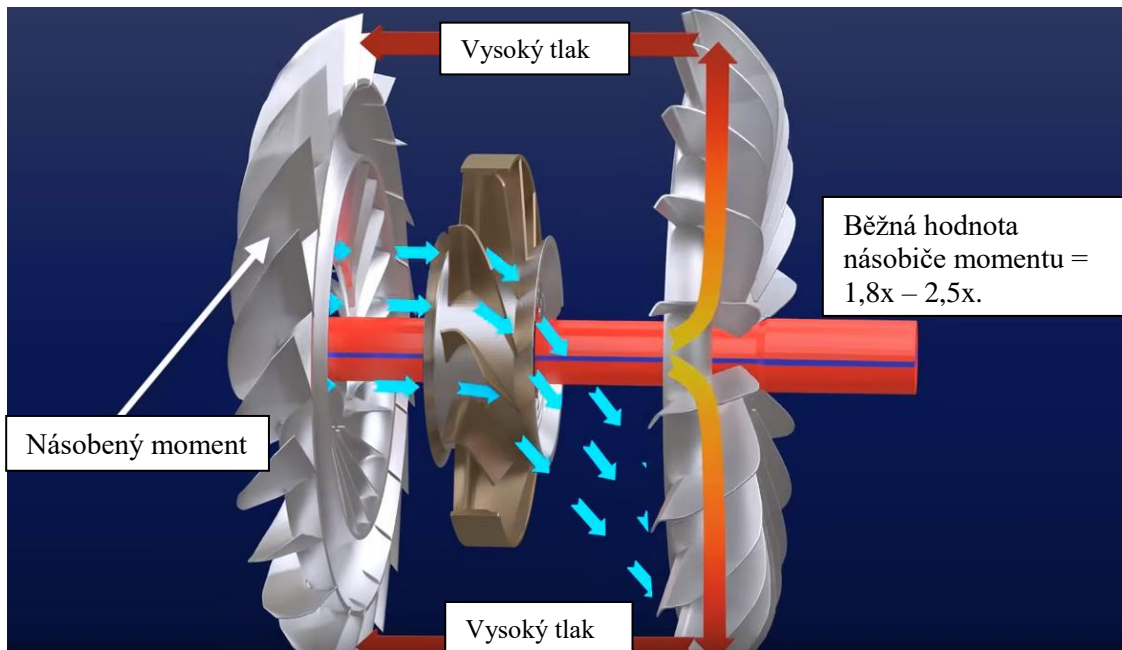


Obr. 14 - Řez hydrodynamickým měničem. [31]

Každý HDM se skládá z těchto částí: čerpadlo, turbína, reaktor, volnoběžka a třecí "lock-up" spojka. Princip funkce je následující. Čerpadlo je spojeno s hřídelí jdoucí z motoru a otáčí se tedy vždy výstupní rychlostí jeho otáček. Má mírně zakřivené lopatky a zavedme si její otáčení do protisměru hodinových ručiček, při pohledu ve směru jízdy vpřed. Kapalina uvnitř HDM je tedy roztáčena ve směru rotace hřídele motoru a zároveň dochází vlivem odstředivé síly k nárůstu tlaku v rotující kapalině. Kapalina následně opouští lopatky čerpadla a naráží na lopatky turbíny, které jsou natočeny ve směru proudící kapaliny, tedy do protisměru hodinových ručiček. Lopatky se ale náhle se otáčí o 90 stupňů kvůli dosažení maximálního předání energie od kapaliny. Při nulové nebo nízké rychlosti automobilu, tedy pokud je velký rozdíl mezi rotací čerpadla a turbíny, vystupuje kapalina z turbíny téměř rovnoběžně s hřídelí, protisměru jízdy vozidla. Zde se setkává s reaktorem. Reaktor je malé lopatkové kolo, které je umístěno mezi čerpadlem a turbínou. Má lopatky, které jsou konstruované tak, aby umožňovali teoreticky rotaci v obou směrech. Tomu je zabráněno pomocí volnoběžky, jako známe u jízdního kola. Reaktor se tedy může otáčet jen ve směru rotace hřídele motoru a všech ostatních komponent. Jeho účel je zvyšovat stočení proudu kapaliny pro optimálnější vstup zpět do čerpadla. Tím se celý cyklus uzavírá a probíhá stále dokola. [7] [16]

Může tedy nastat několik situací. Když automobil stojí a motor je nastartovaný, tak se spolu s ním točí stejnou rychlostí i čerpadlo. Kola ale stojí a to znamená, že turbína, která je s nimi spojena také stojí. Nedochozí zde k žádnému násobení momentu a kapalina volně protéká skrze stacionární turbínu a reaktor. [7] [16]

Při rozjezdu se kapalina tlakuje, urychluje na vnějším obvodu čerpadla a proudí do turbíny, kde předává energii a díky změně poloměru od hřídele vzniká násobení kroutícího momentu podle vzorce $M = F \cdot r$. Směr proudění kapaliny je pak otočen stočením lopatek turbíny a s mírnou rotací vstupuje do reaktoru. Lopatky reaktoru jsou v tuto chvíli v takové pozici, že je proud kapaliny nutí rotovat v opačném směru. Tomu ale brání volnoběžka, která tak drží reaktor ve statické poloze. Zároveň díky natočení lopatek reaktoru dochází ke znatelnému zvýšení rotace středového, vstupního proudu do čerpadla, čímž je proud pro vstup do čerpadla dále optimalizován a dochází k menším ztrátám ve vírech proudu. [7] [16]



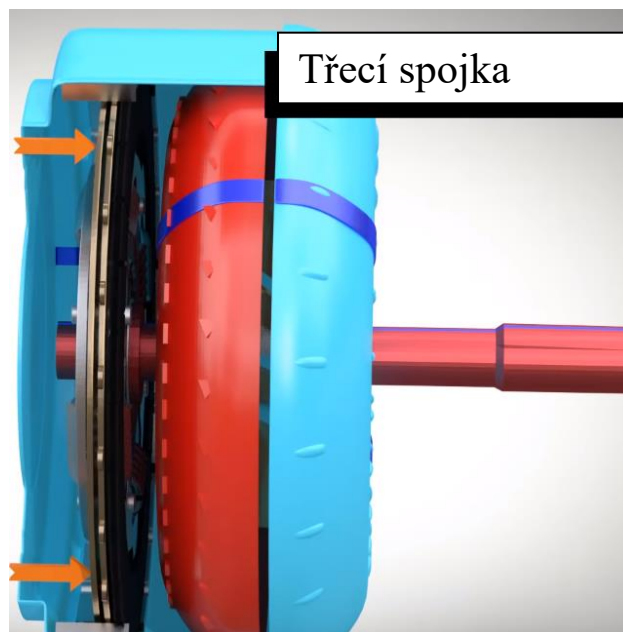
Obr. 15 - Schéma funkce HDM. [32]

Při dosažení konstantní rychlosti již není proud z čerpadla dále tlakován, urychlován a turbína se tak točí konstantní rychlostí. Kapalína na výstupu z turbíny tak dosahuje dostatečné rotace, že naráží na horní stranu stočených lopatek reaktoru a roztáčí reaktor ve volném směru. Čerpadlo, turbína i reaktor nyní rotují ve stejném směru, každý jinou rychlostí a nedochází již k dalšímu roztáčení proudu jdoucího do čerpadla. [7] [16]

HDM není ideální zařízení, stejně jako v každém zařízení zde dochází ke ztrátám, a to nejvíce v podobě ztrát prouděním. To způsobuje, že se turbína nikdy nebude samovolně točit stejně rychle jako čerpadlo, ale vždy o něco pomaleji. Při zvyšování otáček čerpadla může tento rozdíl narůstat a docházelo by tak k velkým ztrátám tzv. prokluzem a dále ke zvýšení spotřeby paliva. I když je účinnost HDM obecně velmi vysoká, mezi 75-85 %, je nutné k eliminování těchto ztrát aplikovat poslední položku z našeho prvotního seznamu komponent, a to třecí, lock-up spojku. Ta umožní přímé mechanické spojení turbíny s výstupním hřídelem z motoru a tudíž převod 1:1. Ztráty prouděním a prokluzem náhle mizí a účinnost pouze vlivem mechanických ztrát může vzrůst až k 98 %. Násobení momentu se běžně pohybuje mezi hodnotami 1,5 – 4,5x násobku. Záleží na velikosti HDM a konstrukci lopatek. [7] [16]

4.2.1.1 Vlastnosti HDM: [16]

- Nedochází k mechanickému opotřebení.
- Zajišťuje plynulý rozjezd vozidla.
- Při přetížení eliminuje možnost zhasnutí motoru.
- Změna kroutícího momentu probíhá automaticky a plynule.
- Tlumí kmity od klikového hřídele.
- Nevytváří hluk.
- Není rozměrný a díky umístění přímo na výstupu z motoru nezabírá místo v motorovém prostoru.
- Vlivem prokluzu může docházet k nárůstu spotřeby, to je řešeno uzamknutím HDM a eliminováním ztrát prouděním a prokluzem.



Obr. 16 - Schéma HDM a spojky. [32]

Velikost HDM pro určité vozidlo lze přibližně vypočítat, pokud víme maximální kroutící moment, který spalovací motor poskytuje (M_m), měrnou hustotu kapaliny uvnitř HDM ρ , minimální otáčky, pod které nesmí otáčky motoru klesnout, aby motor zvládl otáčet daným HDM. Znat musíme také průběh, resp. maximální hodnotu bezrozměrné charakteristiky měniče $\lambda_{I_{max}}$. Jedná se pouze o příklad výpočtu, čísla nijak nesouvisí s žádným automobilem zmíněném v této práci. [33]

$$\text{Např.: } \rho = 0,87 \text{ kg/dm}^3$$

$$n_{min} = 1500 \text{ ot./min}$$

$$\lambda_{I_{max}} = 1,85 \cdot 10^{-3}$$

$$M_m = 118 \text{ Nm}$$

$$D = ? \text{ tedy průměr dutiny HDM}$$

$$3) \quad \lambda_{I_{max}} = \frac{M_m}{\rho \cdot \omega_{min}^2 \cdot D^5}$$

$$4) \quad D = \sqrt[5]{\frac{M_m}{\rho \cdot \omega_{min}^2 \cdot \lambda_{I_{max}}}} = \sqrt[5]{\frac{M_m}{\rho \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_{min}}{30}\right)^2 \cdot \lambda_{I_{max}}}} = \sqrt[5]{\frac{118}{0,87 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1500}{30}\right)^2 \cdot 1,85 \cdot 10^{-3}}} = 0,312 \text{ m}$$

Celý výše popsaný pohonný systém Regery, je tedy řízen pouze jedním HDM, který je samozřejmě upravený pro takto vysoké výkony, ale princip zůstává stejný. Je nutné upozornit, že Koenigsegg vytvořil jejich HDM pro Regeru podle jiných technologií a ve výsledku je podle dostupných informací mnohem menší, než by vyšlo podle tohoto výpočtu. Pro zajímavost, pokud bychom do vzorce dosadili informace volně dostupné od Koenigsegg a jako neznámé ponechali čísla z příkladu, výsledný vnitřní průměr by vyšel mírně přes dva metry. Proto je důležité zmínit, že Koenigsegg použil při designu HDM jiný přístup. Za měničem je již pouze diferenciál, který vytváří konečný stálý převod 2,73:1 a dva elektromotory, jeden na každé poloose. Při porovnání s mnohem slabší Hondou je to téměř totožné číslo konečného převodu, použití a jízdní režimy se ale zásadně liší.

Dříve jsem již zmínil, že Regera je plug-in hybrid a je tedy možné automobil dobíjet externě z nabíječky. Význam elektromotorů je zde kromě EV módu ke znatelnému zvýšení celkového výkonu, zlepšení jízdní dynamiky a vyrovnání neefektivních oblastí běhu velkého spalovacího motoru. Je zde pár zajímavých vlastností.

Při rozjezdu funguje elektromotor 1 jako startér a pomoc osmiválci, aby se rychleji dostal z neefektivních otáček. Motory na kolech v tuto chvíli běží na maximální výkon. Při dosažení přibližně 1000 ot./min motoru se uzamyká HDM, ale ne tak, jak bylo popsáno v minulé kapitole, ale tak, že na vnějším obvodu tělesa turbíny je vnější ozubení. Na to je pomocí třecí spojky nasunut vnější rotor a zároveň, kryt celého HDM, který je spojen s výstupním hřídelem spalovacího motoru. K tomuto spojení dochází tedy buďto při dosažení těchto otáček nebo rychlosti 30 mph neboli přibližně 48 km/h. Dále automobil zrychluje na jeden převod 2,73:1 bez řazení. Čím vyšší otáčky, tím vyšší rychlost, až do 8250 ot./min, kde je konec červeného pole otáčkoměru. [35]

Automobil umí pro získání lepších parametrů upravit uzamykání HDM tak, že při zrychlování nechá HDM prokluzovat o něco déle do vyšších otáček a rychlostí. Následné uzamknutí může iniciovat buďto sám řidič stisknutím pravého pádla pod volantem nebo se provede samo ve chvíli, kdy systém usoudí, že je to nejvýhodnější. Samozřejmě, že k maximálnímu výkonu připívá spousta dalších komponent celého automobilu. Do celkového výkonu je hlavně zapojena aerodynamika, a to jak pasivní, tak aktivní, dále pneumatiky, celková hmotnost, koeficient odporu vzduchu atd. Udávaná maximální rychlost je 410 km/h. Z rozměrů použitých pneumatik a parametrů automobilu lze maximální rychlost i vypočítat. [35]

Pneumatiky nejčastěji použité na tento vůz: Michelin 345/30 R20

5) Profil pneumatiky: $Pp = 345 \cdot 0,3 = 103,5 \text{ mm}$

6) Průměr kola: $D = 20 \cdot 25,4 + (2 \cdot 103,5) = 715 \text{ mm}$

7) Obvod kola: $O = 715 \cdot \pi = 2246,23875 \text{ mm}$

8) Maximální otáčky kol: $n_{max} = \frac{RPM_{MAX}}{FD} = \frac{8250}{2,73} = 3021,978 \text{ ot./min}$

9) Maximální rychlost: $v_{max} = \frac{3021,978 \cdot 2246,23875}{60 \cdot 1000} = 113,1347 \text{ m/s} = 407,197 \text{ km/h}$

10) Rozdíl mezi udávanou a vypočtenou: $410,383 - 407,197 = 3,186 \text{ km/h}$

Při zpětném dosazení rychlosti 410,383 km/h do výpočtu zjistíme, že dojde k nárůstu průměru pneumatiky:

11) $D_1 = \frac{410,383 \cdot 60 \cdot 1000}{3,6 \cdot 3021,978 \cdot \pi} = 720,4385 \text{ mm}$

12) $\Delta D = 720,4385 - 715 = 5,44 \text{ mm}$

Dá se předpokládat, že při vysoké rychlosti otáčení kol, dojde ke smrštění pneumatik v axiálním směru a ke zvětšení průměru kola vlivem velkého, odstředivého zrychlení a tím může být teoreticky dosaženo o něco vyšší rychlosti. [35]

5. Simulace provozu vozidla bez konvenční převodovky na základě provozních údajů Hondy Accord Hybrid 2017 v programu GT-Suite.

Tato poslední část práce je simulační částí, kde se pokusím detailněji popsat a vysvětlit celý systém provozu fiktivního vozidla. Model byl vytvořen v programu GT-Suite z “templatu - šablony“ programu. Následně upraven za pomoci vedoucího práce, pana Ing. Rastislava Tomana, podle reálného, řídicího a mechanického systému Hondy z druhé části práce. Smyslem celé této simulace, je víceméně vysvětlit a zprovoznit takový, již v reálných podmínkách existující systém, popsat jeho členy, funkce a provést ho jízdním cyklem WLTC, který je přednastavený v programu GT-Suite. Následně je možné variabilně měnit parametry jednotlivých členů modelu a zjišťovat, jak se změny projeví na výsledném chování celého systému. Je důležité podotknout, že se nejedná o přesnou simulaci systému Hondy Accord Hybrid 2017, ale o fiktivní systém, který bere své základní kameny, logiku řízení a některé volně dostupné, reálné parametry právě z tohoto vozidla. Při tvorbě modelu a jeho úpravách se některé detailní popisy a parametry generalizovaly, byly tedy nastaveny podle výchozích nastavení programu GT-Suite nebo byly zcela vynechány ze seznamu vyhodnocovaných parametrů. Jejich vliv totiž není tak znatelný jako případné změny nastavení hlavních řídicích členů, jako je spalovací motor, generátor, elektromotor a akumulátor. Model musí být schopen vykonávat zhruba všechny funkce jako reálné vozidlo, a to hlavně splňovat všechny jízdní režimy, do kterých se může během jízdy WLTC cyklem, automobil dostat a umět je aktivně používat.

5.1 Parametry simulačního modelu

Spalovací motor: $V=1993 \text{ cm}^3$, $P = 107 \text{ kW}$, $M = 175 \text{ Nm}$ (4000 ot./min), $\varepsilon = 13:1$.

Generátor: $P = 106 \text{ kW}$, $M = 85 \text{ Nm}$ (0-2000 ot./min).

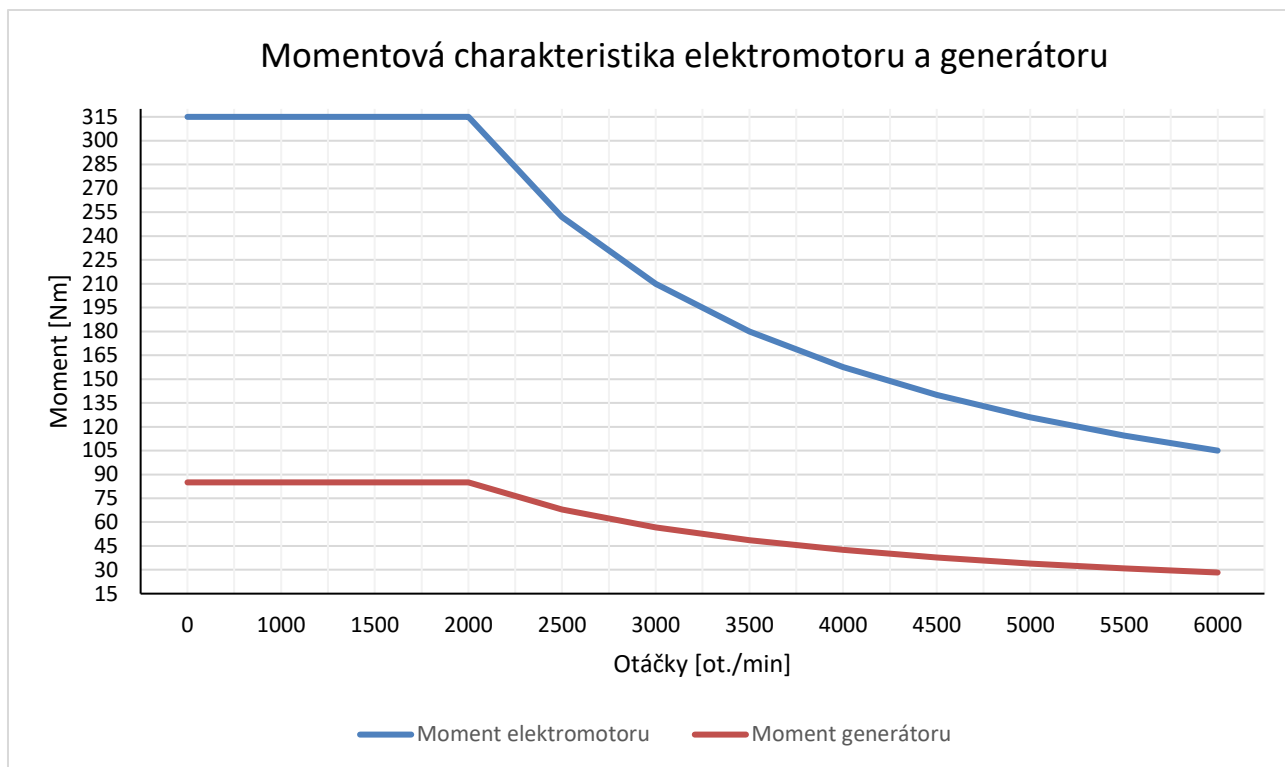
Elektromotor: $P = 135 \text{ kW}$, $M = 315 \text{ Nm}$ (0-2000 ot./min).

Baterie: $C = (1,3 \text{ kWh}) 5\text{Ah}$, střední napětí $U_s = 266 \text{ V}$.

Aerodynamika: $C_x = 0,28$, čelní plocha $S = 2,42 \text{ m}^2$,

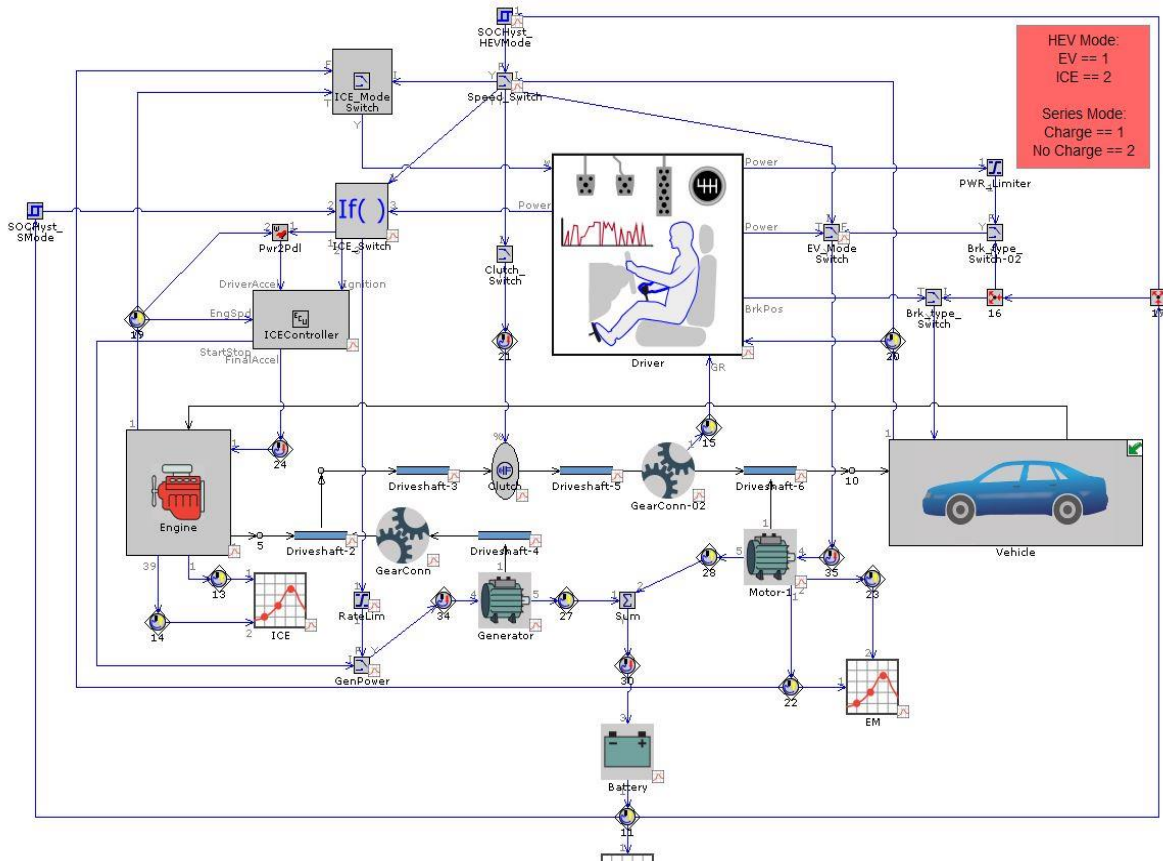
Fyzikální vlastnosti: $m=1604 \text{ kg}$, rozvor $WB = 2776 \text{ mm}$, délka $L = 4930 \text{ mm}$, výška $H = 1460 \text{ mm}$, rozložení hmotnosti: 59,7 % vpředu / 40,3 % vzadu, kola: 225/50/R17 94 V.

Řízené parametry: SOC, limity jízdních režimů podle SOC, rychlost, při které se spíná spalovací motor a dobíjecí výkon generátoru. [11] [34]

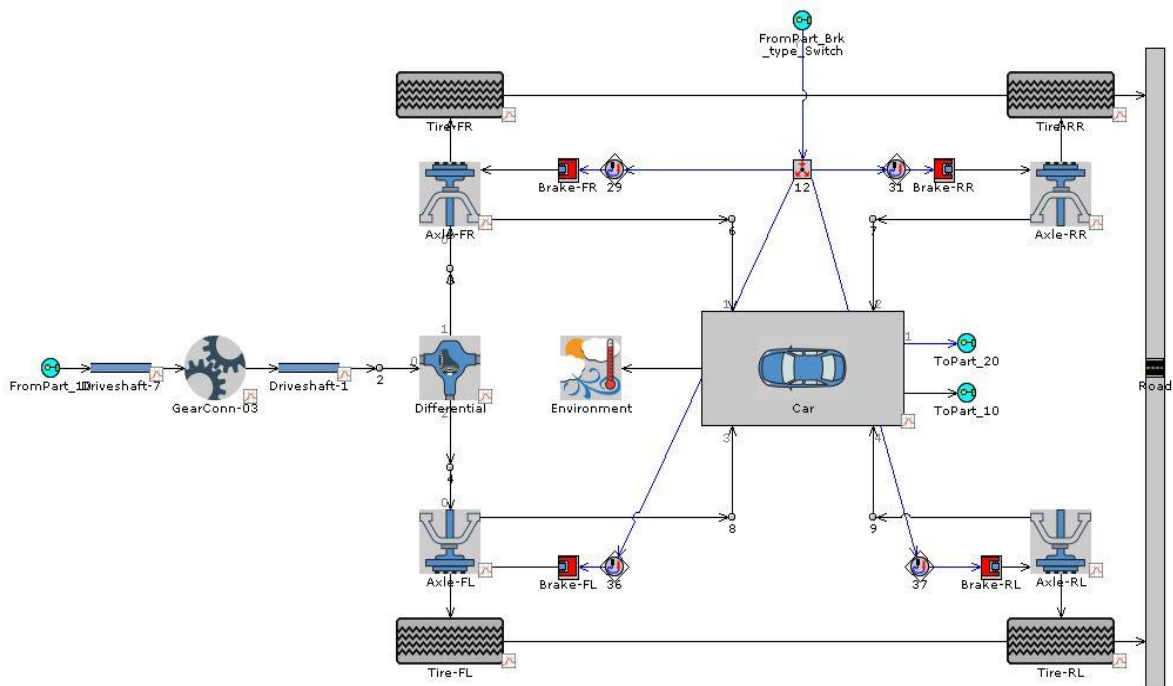


Graf 2 – Momentová charakteristika elektromotoru a generátoru.

5.2 Obecný přehled modelu:



Obr. 17 – GT-Suite_1



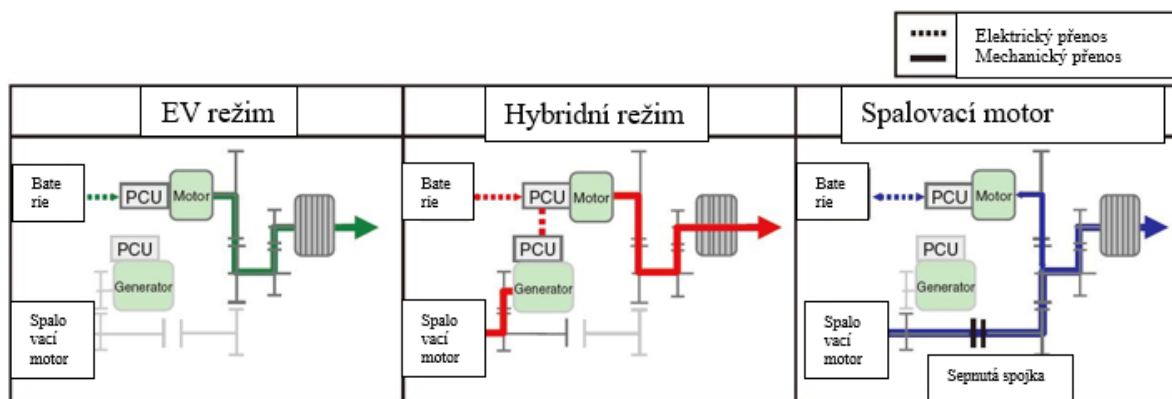
Obr. 18- GT-Suite_2

5.3 Popis jednotlivých jízdních režimů:

V této části se pokusím vysvětlit a porovnat schémata uvedené výše se schématem z druhé části práce a ukázat na nich, jak jsou řízeny jednotlivé funkce modelu. Schéma z druhé části pro názornost vložím níže.

Režim jízdy	Podmínky provozu
EV – elektrický režim	SOC v rozsahu hodnot od dolní limitní hodnoty hystereze pro sepnutí hybridního režimu a 100% nabitím akumulátoru. Rychlost vozidla je nižší než limitní rychlost pro aktivaci ICE režimu.
Hybridní (sériový) režim	Hodnota SOC při startu vozidla je v rozsahu 0% až do hodnoty aktivace hybridního režimu nebo když hodnota SOC klesne během jízdy pod dolní limitní hodnotu.
ICE – spalovací režim	Rychlost vozidla je vyšší než limitní hodnota pro aktivaci ICE režimu.

Tabulka 1 – Přehled módů a parametrů.



Obr. 19 - Jízdní režimy Honda Accord Hybrid 2017. [27]

5.3.1. EV – elektrický režim

Prvním režimem je režim čistě elektrický. Předpoklady pro jízdu čistě na elektřinu a krátkodobě bez lokálních emisí při nulové spotřebě paliva a vypnutém spalovacím motoru závisí primárně na stavu nabití baterie (SOC – State Of Charge), jehož hodnota musí být vyšší než dolní hodnota řídicí hystereze. To může být například hodnota kolem 10 % – 15 %, která se často nastavuje

z důvodu snahy o prodloužení životnosti baterie. Omezením vybíjení baterie blízko nulové hodnotě, a naopak nabíjením až na 100 % se baterie šetří a je reálnější, že se dosáhne výrobcem udávané hodnoty nabíjecích cyklů nebo alespoň vydrží záruční dobu. Dalšími faktory, mezi kterými by reálně PCU rozhodovala by mohly být například teplota okolí, teplota baterií a požadovaný výkon od řidiče, ty ale v mém GT modelu nejsou zahrnuty.

V čistě elektrickém režimu je tedy energie z baterií přímo vedena do elektromotoru a přes soukolí vedena přímo na nápravu. Spalovací motor je vypnutý, spojka je rozpojená a generátor je připravený k případnému, rekuperačnímu brždění. Rekuperace je v tomto režimu funkční pouze za předpokladu, že je SOC menší, než je nastavená hodnota pro blokaci rekuperace. Při překročení tohoto limitu jsou systémově povoleny pouze klasické, mechanické brzdy. Toto omezení se aplikuje z důvodu ochrany baterie před přehříváním. Je-li baterie plně nabitá nebo je hodnota jejího nabití nad hodnotou například 90 % - 95 %, není dovoleno proudění rekuperované energie do baterií, protože v baterii pro ni již “není místo“.

Tento systém se také aplikuje proto, že ne vždy jsou baterie opatřeny dostatečně sofistikovaným systémem řízení, regulací nabíjení a vybíjení článků. Vzhledem k tomu, že konkrétní použitá technologie u Hondy nebyla k nalezení, je možné uvažovat, že bateriový modul je řízený a regulovaný globálně, tedy až na výstupu svorek. Při použití regulátorů na každém článku je riziko přehřívání článků téměř eliminováno a vypínání rekuperace by bylo tedy řízeno výstupem z těchto regulátorů, a ne z řídicí jednotky jako globální hodnota, přes kterou je rekuperace jednoduše vypnuta.

Řízení probíhá následovně. Na začátku cyklu se nastaví hodnoty některých parametrů pro několik prvků modelu. V EV módu je hlavní řídicí faktor stav nabití baterie (SOC). Primární informace vychází právě z baterie, kdy se údaj o SOC načte do modulu hystereze pro hybridní režim. Musí být splněna podmínka, že SOC je vyšší, než je dolní prahová hodnota hystereze. Dále modul Speed Switch rozhodne o aktivaci spalovacího režimu, pokud je překročena určitá rychlost. Výpočet této rychlosti je uveden níže pod odstavcem o spalovacím režimu. V reálných podmínkách je tato rychlost okolo 100 km/h, ale pro účely této simulace lze prahovou rychlost snížit, protože rychlosti dosahované ve WLTC cyklu jen párkrát přesáhnou rychlost 100 km/h. Pokud je tedy rychlost nižší, jde signál do přepínače pro elektrický režim, který přidá informaci o požadovaném výkonu, který se v danou chvíli žádá z WLTC cyklu. Dále je signál veden do elektromotoru a přes soukolí a diferenciál přímo na přední nápravu.

Rekuperace elektrické energie a dobíjení baterie se provádí následovně. Když je od řidiče požadován brzdový výkon, je pomocí limiteru propuštěn požadavek pouze jako záporná hodnota výkonu a následně veden do generátoru. Spoje vpravo od řidiče (obrázek 17) rozhodují o tom, jaký typ brždění bude použit. Pokud je baterie nabitá do mezní hodnoty, aby se předešlo přebíjení, používá se rekuperační brždění, dokud je brzdový výkon generátoru dostatečný. Pokud by bylo nutné brzdit více než generátor zvládne nebo pokud má dojít k úplnému zastavení, aktivují se mechanické brzdy.

5.3.2. Hybridní režim

Druhým režimem je hybridní režim. Přesně řečeno se jedná o sériový, hybridní režim, který je aktivován při dvou situacích. První je případ, když se nastartuje automobil a stav nabití baterie nevyhovuje podmínce pro elektrický režim. Druhá možnost nastává za jízdy, když se již jede na elektrický nebo spalovací režim a baterie se buďto vybijí při jízdě na elektřinu nebo se dobije při provozu na spalovací režim rekuperací. Nutno podotknout, že tento model nemá schopnost posílat výkon do elektromotoru a do akumulátoru zároveň v případě vzniku výkonového přebytku. Tato funkce je samozřejmou součástí reálné Hondy Accord Hybrid.

V hybridním režimu se nastartuje spalovací motor na určité otáčky, které mohou být tabelovány pro konkrétní potřeby dobíjení baterie na základě jejího SOC. Spojka na hřídeli spalovacího motoru je opět rozpojena, tudíž je spalovacím motorem roztáčen pouze generátor. Vyrobená elektřina je na základě SOC nebo potřeby energie přicházející od řidiče, posílána buďto přímo do elektromotoru nebo v případě přebytku energie posílána do baterie.

Generátor současně slouží i jako startér spalovacího motoru a jeho startovací výkon je v modelu nastaven na 2 kW. V případě, že by došlo k úplnému vybití baterie a řidič by chtěl vozidlo nastartovat, použije v reálu generátor energii ze standardní 12 V autobaterie.

5.3.3. ICE – spalovací režim

Třetí provozní režim je spalovací režim, takzvaný ICE mód (Internal Combustion Engine). Tento režim se používá vzhledem k převodům pohonu jako dálniční nebo rychlostní režim, neboť se efektivita použití elektromotoru se zvyšující rychlostí snižuje. Proto se při určité rychlosti spalovací motor nastaví jako přímý pohon nápravy. Rychlost, při které se provede zapnutí ICE módu může být například také závislá na sklonu dráhy, kterou vozidlo projíždí.

V tomto režimu je rozhodujícím parametrem pouze rychlost vozidla. Ta je monitorována a vedena do přepínače rychlosti. Pokud je prahová rychlost překročena je tentokrát aktivován přepínač pro spínání spojky. V tomto režimu je jako v jediném spojka spojena, a tak spalovací motor přímo pohání kola. Toto spojení přibližně, podle převodových poměrů, odpovídá šestému převodovému stupni “nehybridní“ Hondy Accord. Proto musí být prahová rychlost nastavena relativně vysoko, aby byla jízda opravdu efektivní. Při takovém převodovém poměru je pro úsporu paliva velmi důležité, aby se spalovací motor “nedusil“ nebo aby nebyla vyžadována nepřiměřená akcelerace, neboť v takových případech je krátkodobá spotřeba enormní.

Připojení spalovacího motoru je provedeno sepnutím spojky na hřídeli motoru. Energie je buďto vedena přímo na nápravu nebo v případě přebytku hnací síly může být přes generátorový režim tentokrát hnacího elektromotoru posílána energie do baterie. Spojení samotné se ideálně provádí, pokud může mít spalovací motor otáčky přibližně od 2300 ot. / min. Neznamená to tedy, že se tato rychlost nemůže měnit. Pro ilustraci uvedu výpočet přibližné rychlosti, od které se tento režim aktivuje.

Otáčky ICE: 2300 ot. / min

Převodový poměr: $0,805$ (od ICE) $\cdot 3,421$ (z diferenciálu) = 2,7536

Otáčky kola: $2300 \div 2,7536 = 835,27$ ot./min

Obvodová rychlost kola = rychlost vozidla:

$$13) \quad v_o = \frac{(\pi \cdot d \cdot n)}{1000 \cdot 60} = \frac{(\pi \cdot 657 \cdot 835,27)}{1000 \cdot 60} = 28,734 \frac{m}{s} = 103,44 \text{ km/h}$$

Zpětným výpočtem lze vypočítat otáčky při maximální rychlosti vozidla.

Maximální rychlost, která je elektronicky omezená je 112 mph = 180 km/h, maximální rychlost bez omezovače je ale udávána na 145 mph = 233 km/h.

$$14) \quad n = \frac{(v_o \cdot 1000 \cdot 60)}{\pi \cdot d} = \frac{(\frac{180}{3,6} \cdot 1000 \cdot 60)}{\pi \cdot 657} = 1453,47 \text{ ot./min}$$

$$15) \quad 1453,47 \cdot 2,7536 = 4002 \text{ ot./min (motoru)}$$

$$16) \quad n = \frac{(v_o \cdot 1000 \cdot 60)}{\pi \cdot d} = \frac{(\frac{233}{3,6} \cdot 1000 \cdot 60)}{\pi \cdot 657} = 1881,44 \text{ ot./min}$$

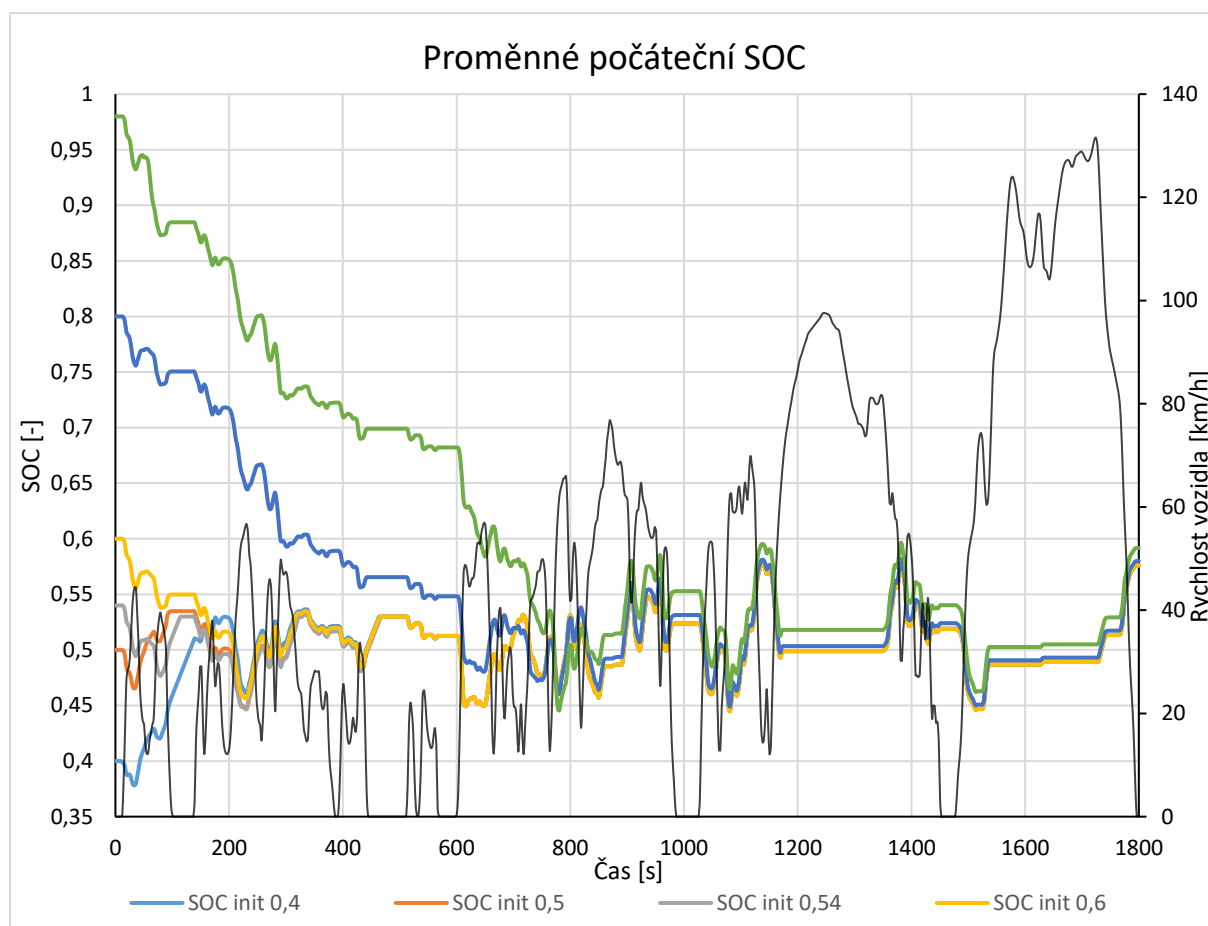
$$17) \quad 1881,44 \cdot 2,7536 = 5181 \text{ ot./min (motoru)}$$

Továrně je spalovací motor omezený otáčkami na 6200 ot./min, model v GT-Suite na 6000 ot./min. Tento parametr lze měnit pro případnou optimalizaci nebo zjišťování, jak by se motor choval při vyšších otáčkách, i když se motory této velikosti při vyšších otáčkách většinou neprovozují. Musíme ale brát ohled na to, že obě vypočtené hodnoty otáček motoru jsou pro zařazený šestý převodový stupeň, což je pro udávané rychlosti adekvátní.

5.3.4. Simulace [6] [19]

Simulace jízdních cyklů byla provedena v programu GT-Suite. Bylo provedeno velké množství simulací WLTC cyklu a na základě optimalizace pro mnou hledané parametry jsem vybral několik grafů znázorňující zajímavé oblasti. Každá simulace začíná zvolením a nastavením parametrů v tzv. Case setupu neboli nastavení jednotlivých případů simulace.

V následujících grafech bude znázorněno ovlivnění průběhu stavu nabití baterie (SOC) během jízdního cyklu na základě proměnných počátečních podmínek pro některé komponenty. Výpočet obsahuje tři sady, každou o šesti jízdních cyklech.



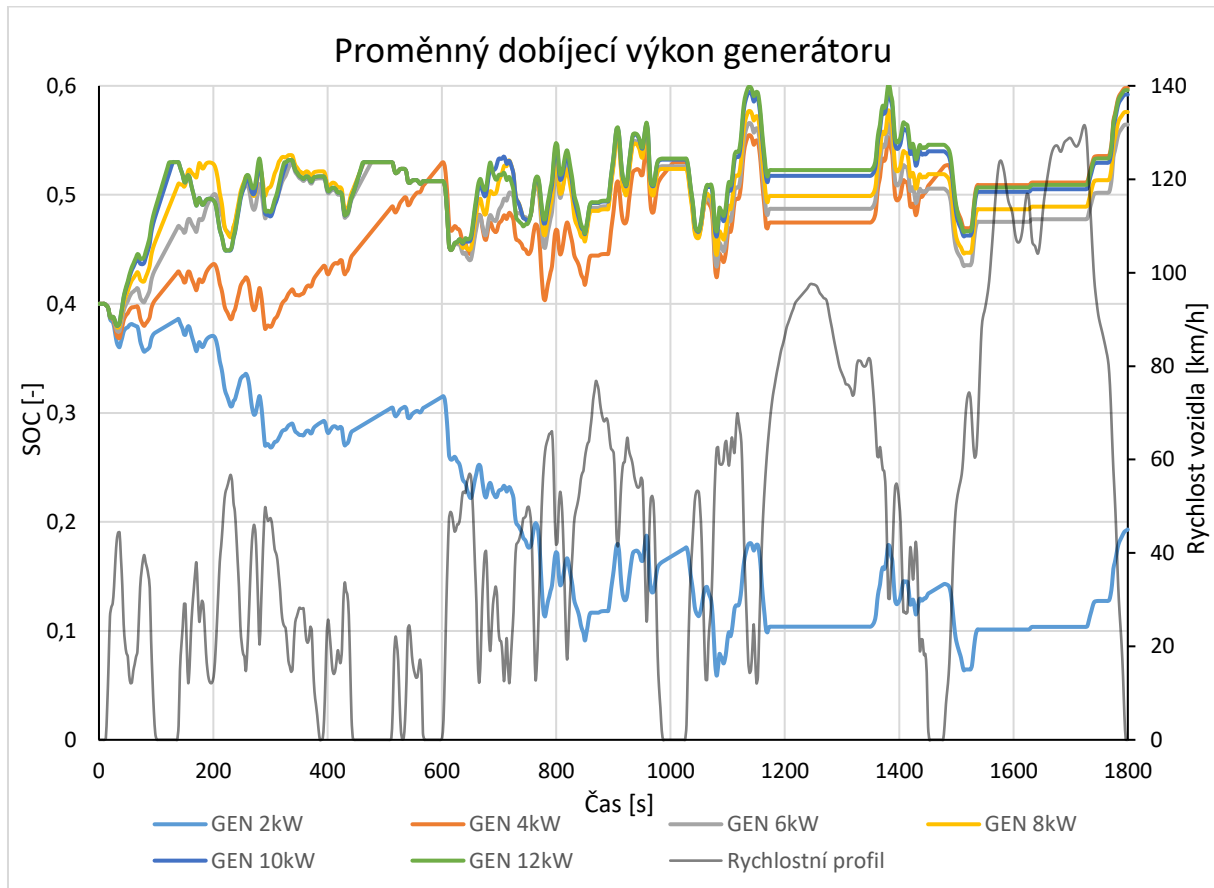
Graf 3 – Průběh SOC na základě změny počátečního SOC.

Simulace č.	Počáteční SOC	Výkon generátoru	Rychlostní ICE limit	Koncové SOC
1	0,4	8 kW	60 km/h	0,576
2	0,5			0,576
3	0,54			0,576
4	0,6			0,576
5	0,8			0,58
6	0,98			0,591

Tabulka 2 – Výsledky simulace se změnou počátečních SOC.

Počáteční hodnoty stavu nabití baterií (SOC init) byly zvoleny tak, aby každá hodnota začínala simulaci v jiné oblasti mezi rozsahy řídicích hysterezí a limitních hodnot pro tento model. Simulace splňující podmínku, že jejich počáteční SOC je vyšší než 0,55 začínaly v čistě elektrickém režimu, ostatní v hybridním. Kolem 230-té sekundy se simulace 1 – 4 sloučí a až

do konce vykazují velmi podobný jízdní profil. Simulace 5 a 6 se připojují mezi 700 – 780 sekundou a končí s mírně vyšší hodnotou koncového SOC. V této simulaci je nastavena rychlost přepnutí na ICE režim na hodnotu 60 km/h, což by pro reálný motor nebyla ideální pracovní oblast, ale bylo tak zvoleno proto, aby se častěji přepínal i režim čistě spalovací. Ten lze pozorovat na jízdním profilu, který je na vedlejší ose, a to v oblastech mezi časy 1180 s – 1370 s a 1520 s – 1770 s.

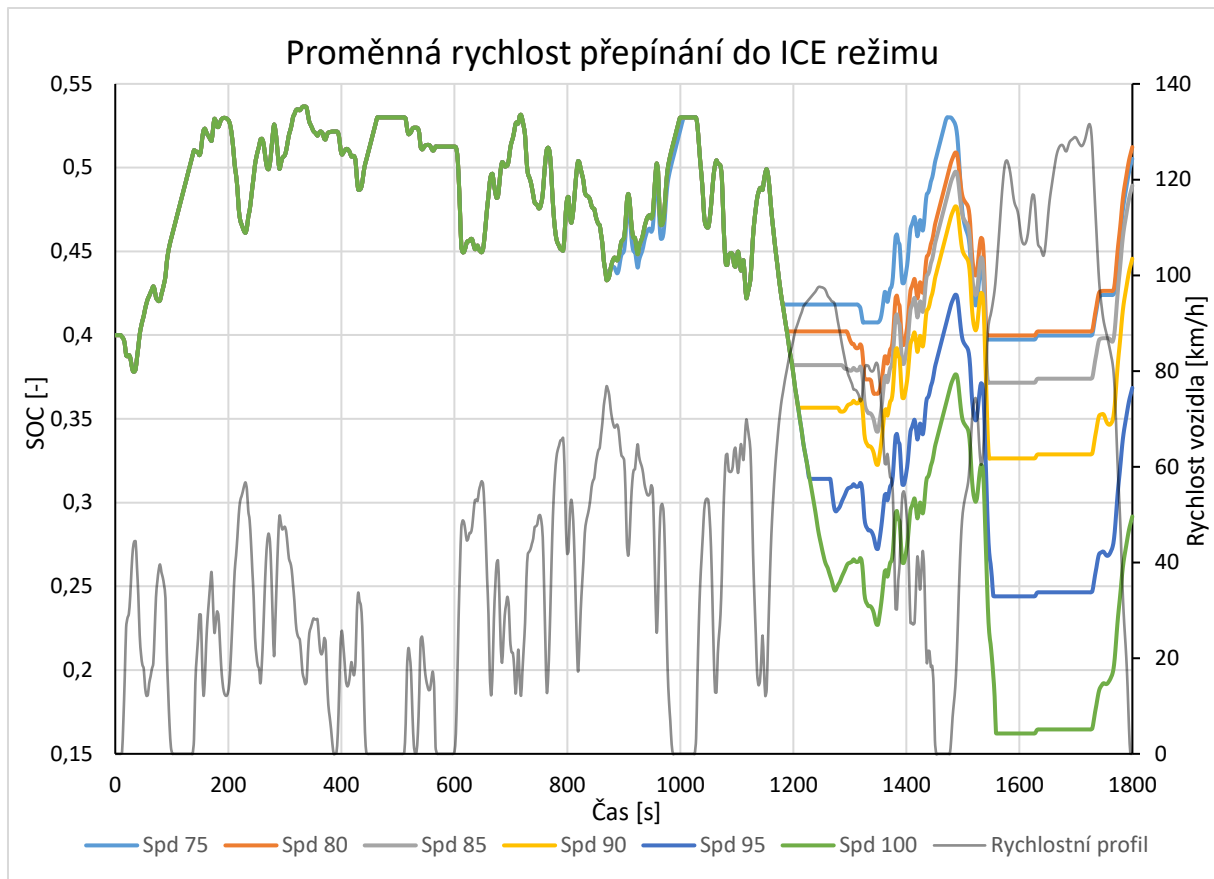


Graf 4 – Průběh SOC na základě změny výkonu generátoru.

Simulace č.	Počáteční SOC	Výkon generátoru	Rychlostní ICE limit	Koncové SOC
1	0,4	2 kW	60 km/h	0,193
2		4 kW		0,598
3		6 kW		0,564
4		8 kW		0,576
5		10 kW		0,592
6		12 kW		0,596

Tabulka 3 – Výsledky simulace výkonů generátoru.

Z této simulace by bylo teoreticky možné zjistit potřebný výkon generátoru k nabíjení daného akumulátoru. Všechny simulace, kdy každá má nastavený jiný výkon generátoru, začínají hybridním režimem. Modrá křivka (2 kW) a oranžová křivka (4 kW) z počátku nestačí neustále startovat spalovací motor a dobíjet baterie. Kolem 250-té sekundy se 4 kW dobíjení začnou stávat dostačujícími a hodnota SOC časem dorovná ostatní. Modrá křivka naprosto nekompromisně klesne, jelikož pouhé 2 kW dobíjecího výkonu nestačí. Dá se tedy odhadnout, že by generátor měl mít v tomto případě výkon vyšší než 2 kW.



Graf 5 – Průběh SOC na základě změny rychlosti pro spalovací režim.

Simulace č.	Počáteční SOC	Výkon generátoru	Rychlostní ICE limit	Koncové SOC
1	0,4	8 kW	75 km/h	0,505
2			80 km/h	0,512
3			85 km/h	0,489
4			90 km/h	0,445
5			95 km/h	0,368
6			100 km/h	0,292

Tabulka 4 – Výsledky simulace s proměnnou rychlostí pro ICE mód.

Z tohoto grafu je velmi dobře znatelné, že k aktivaci spalovacího režimu dojde pokaždé, kdy se hodnoty SOC začnou odlišovat o konstantní odchylku, což je logické, když rozdíly hodnot rychlostí jsou stejné. Zároveň nemá smysl elektromotor trápit ve vysokých rychlostech, ale je výhodnější energii šetřit pro pomalejší městskou jízdu. Výsledkem provozu čistě elektrické jízdy je velmi rychlé vybití akumulátoru. Rozdíl přepnutí na spalovací režim v 90 km/h tedy

vyústí do rozdílu SOC akumulátoru o 15% vyšší, (než u 100 km/h), v rychlostech, kdy je spalovací motor již efektivní a tohoto rozdílu je dosaženo za pouhých 5 minut jízdy s deaktivovaným elektromotorem.

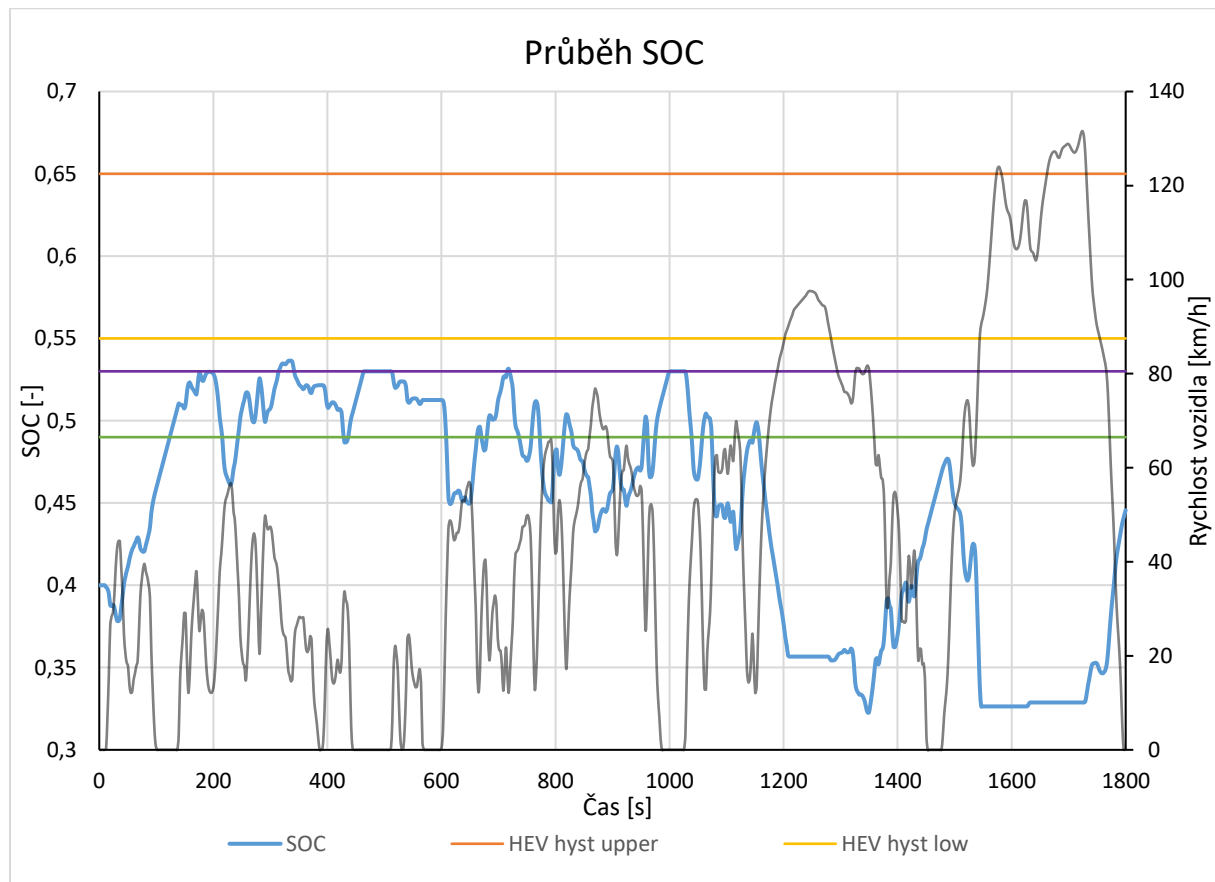
Z informací od Hondy jsem dopočítal přibližnou hodnotu, kdy se u reálného vozidla připojuje spalovací motor jako hlavní pohon. Děje se tak přibližně mezi 2100–2300 ot./min. což koresponduje podle převodů na 90–100 km/h. Poslední 3 simulace lze tedy považovat za realistické. Samozřejmě, že čím nižší by byla rychlost, při které by se spalovací motor připojoval, o to vyšší by bylo koncové SOC, ale také vyšší spotřeba paliva a horší dynamika jízdy.

Jak již bylo zmíněno dříve, model je vytvořený podle reálného automobilu, který je schopný 3 hlavních jízdních režimů. Proto i model zvládá samostatné přepínání 3 jízdních režimů na základě jízdního profilu. V následujících grafech tedy uvedu chování jednotlivých nejdůležitějších komponent u vybrané simulace, která během jednoho WLTC cyklu vystřídá všechny tři jízdní režimy.

5.3.4.1 Vybraný jízdní cyklus

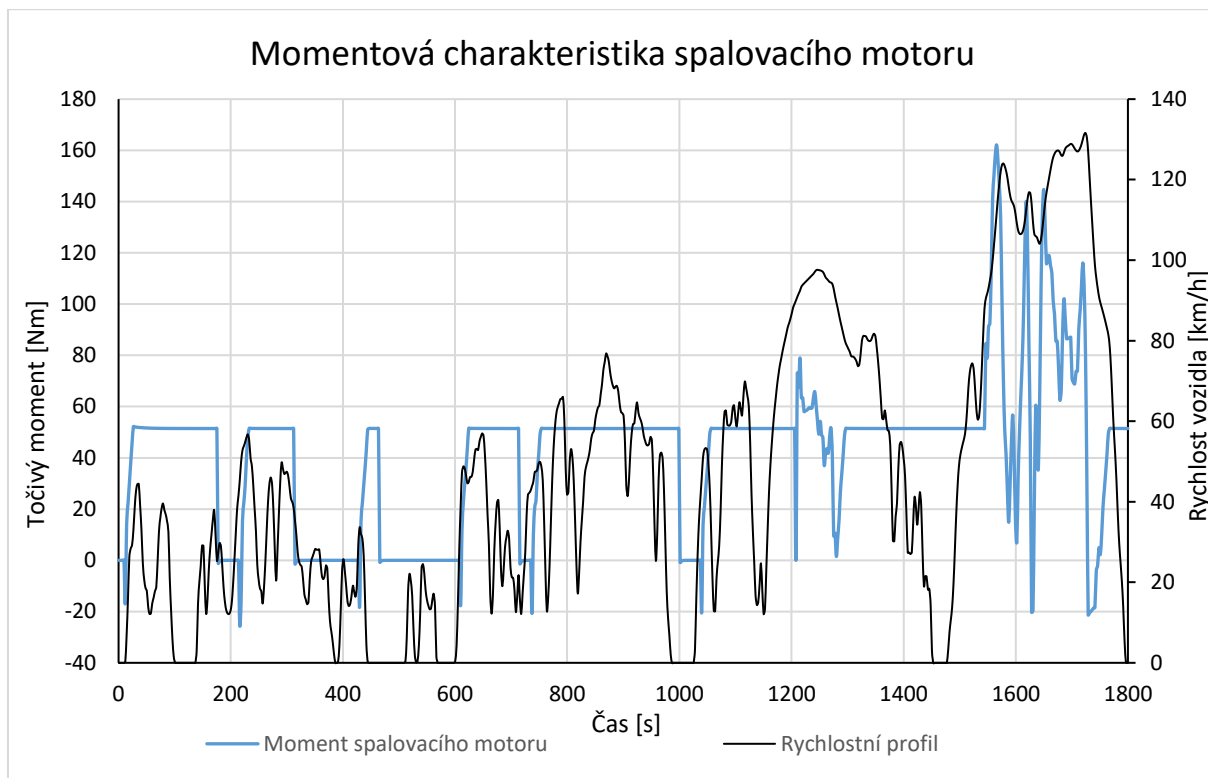
Počáteční SOC	Výkon generátoru	Rychlostní ICE limit
0,4	8 kW	90 km/h

Tabulka 5 – Parametry vybraného jízdního cyklu.

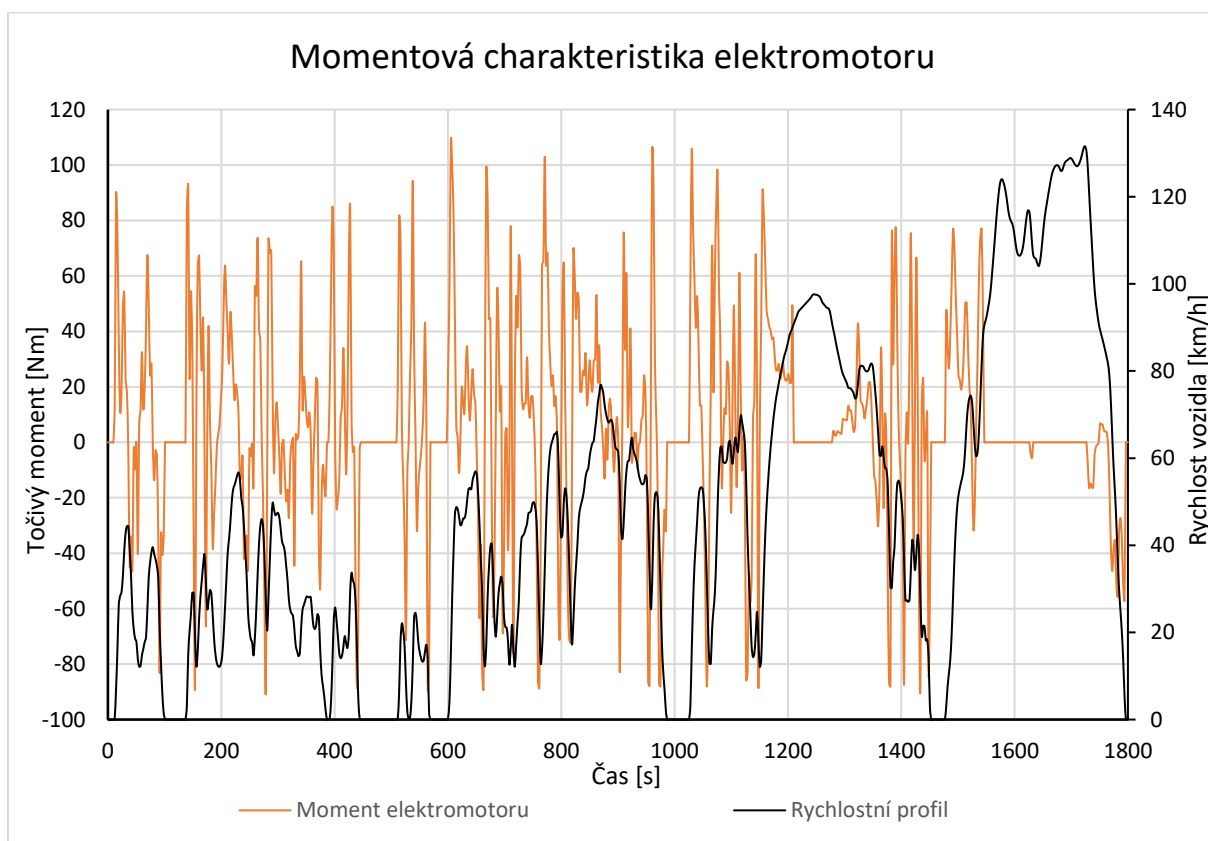


Graf 6 – SOC

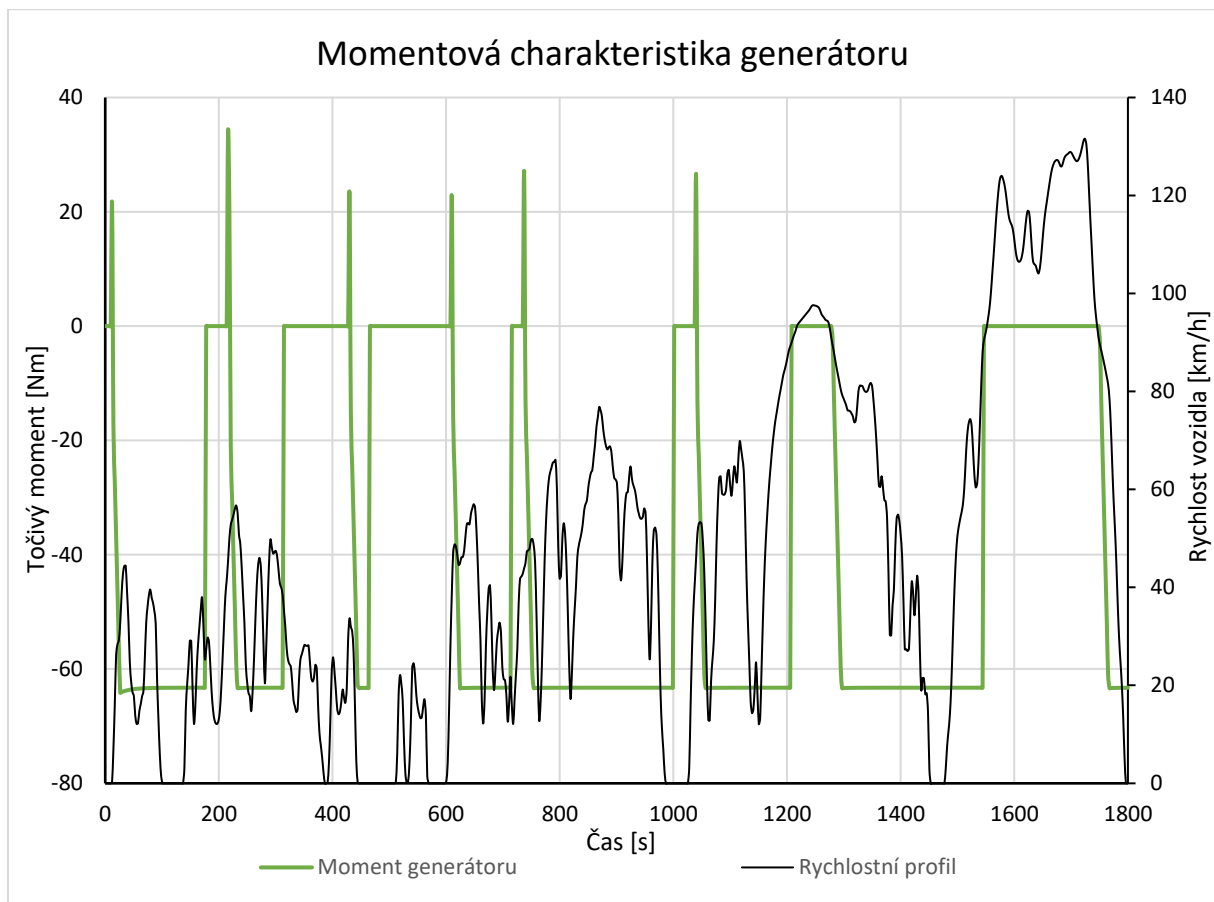
Graf průběhu SOC nyní obsahuje i hodnoty řídicích hysterezí, které do úvodního grafu SOC nebyly zahrnuty z důvodu přehlednosti grafu. Fialová a zelená čára reprezentují hystereze řídicí dobíjení akumulátoru, pokud hodnota SOC klesne pod hodnotu zelené hranice. Zároveň je při překročení model nastaven tak, aby úmyslně 10 sekund počkal, než opravdu začne dobíjet. Tímto se zamezilo časté chybě v simulaci, která vedla k rapidní oscilaci zapínání a vypínání spalovacího motoru. Fakt, že se hodnota SOC zastaví přesně na hodnotě horní řídicí hystereze je zde náhoda, protože se vždy v daném okamžiku začne model rozjíždět. Elektromotor tak začne spotřebovávat energii, ale SOC ještě není pod zelenou křivkou, a tak se akumulátor nedobíjí.



Graf 7 – Kroutící moment spalovacího motoru.

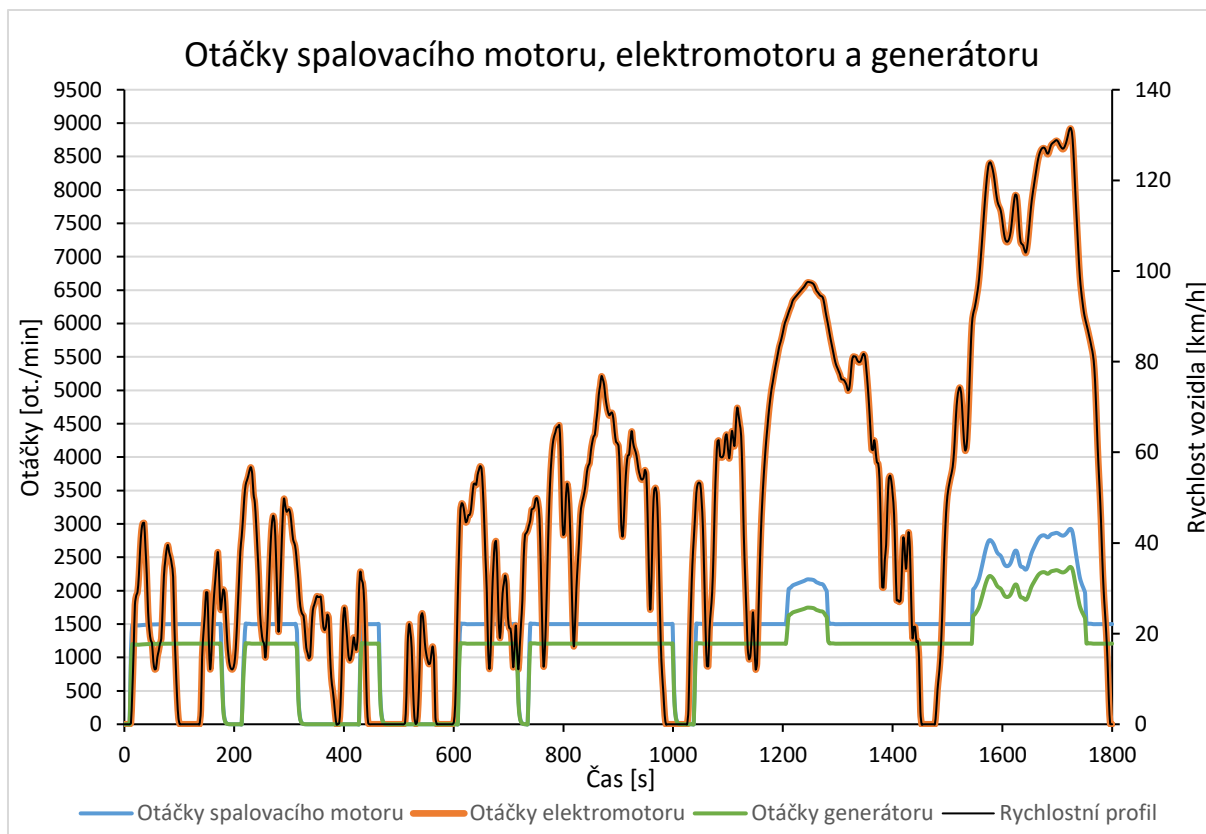


Graf 8 – Kroutící moment elektromotoru.

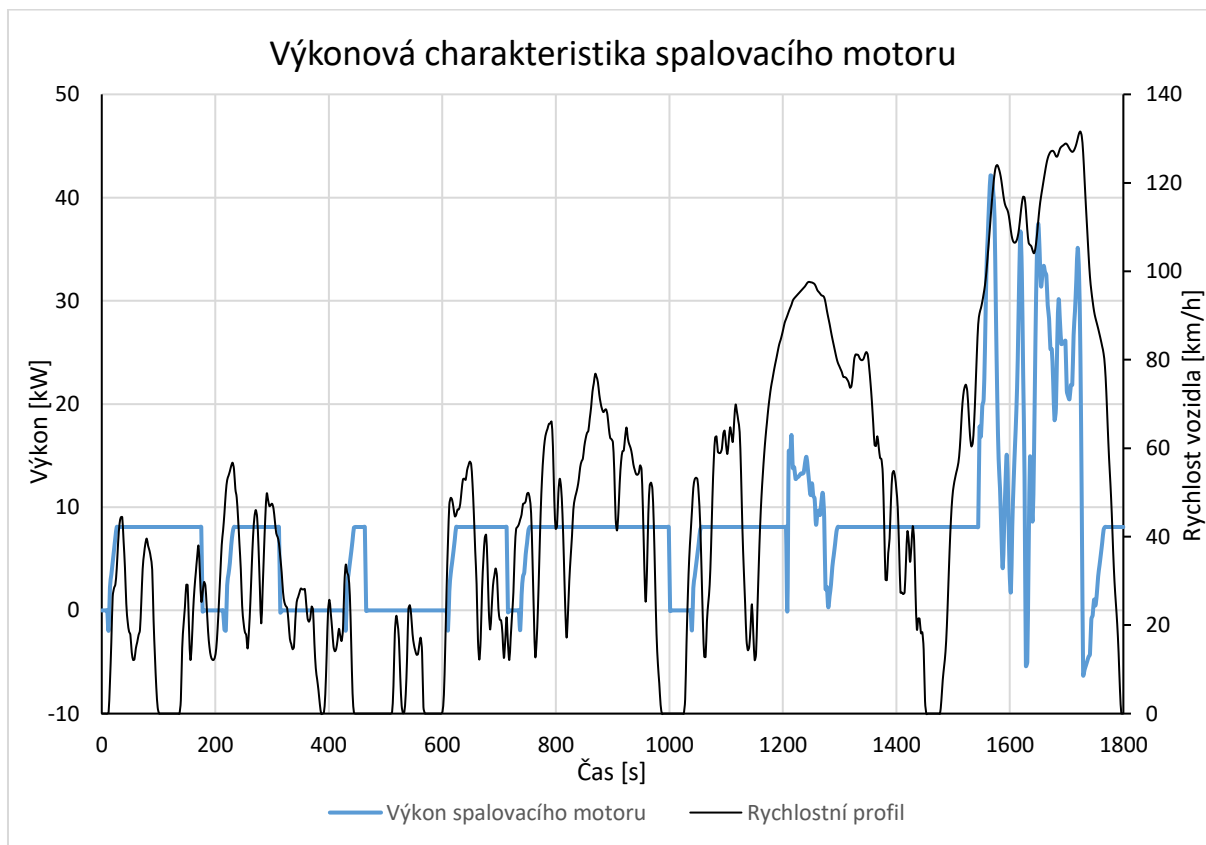


Graf 9 – Kroutící moment generátoru.

Z grafů lze odvodit, že momenty potřebné k absolvování WLTC cyklu nejsou nepřiměřené. Požadované hodnoty na spalovací motor i elektromotor jsou adekvátní vzhledem k výkonům obou zařízení. Generátor má v grafu záporný kroutící moment, jelikož dobíjí energii do baterií. I výkon generátoru tedy bude záporný, viz. níže. Malé kladné "peaky" nastávají pokaždé, když generátor startuje spalovací motor, jelikož je v tomto automobilu používán také jako startér. Výkon ke startování spalovacího motoru, je zde nastaven na 2kW.



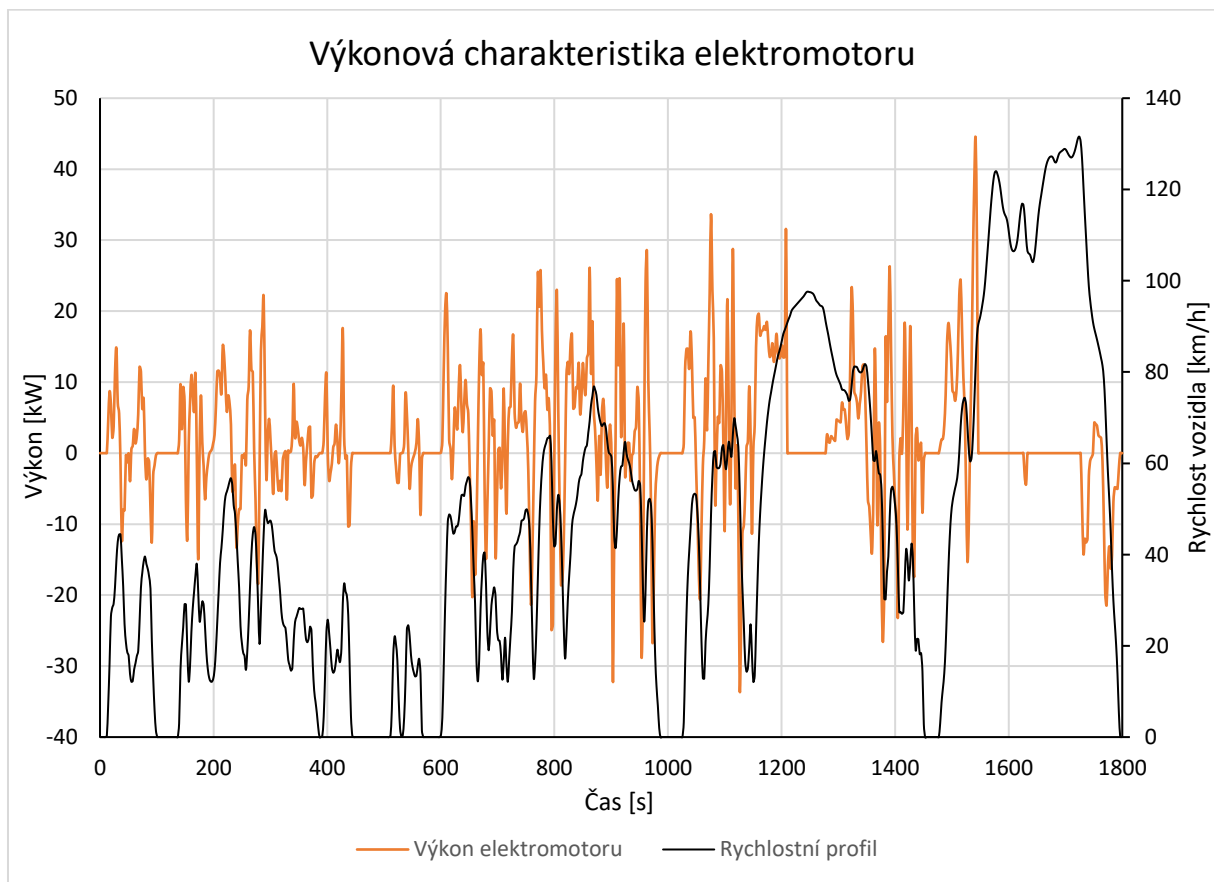
Graf 10 – Otáčky spalovacího motoru, elektromotoru a generátoru.



Graf 11 – Výkon spalovacího motoru.

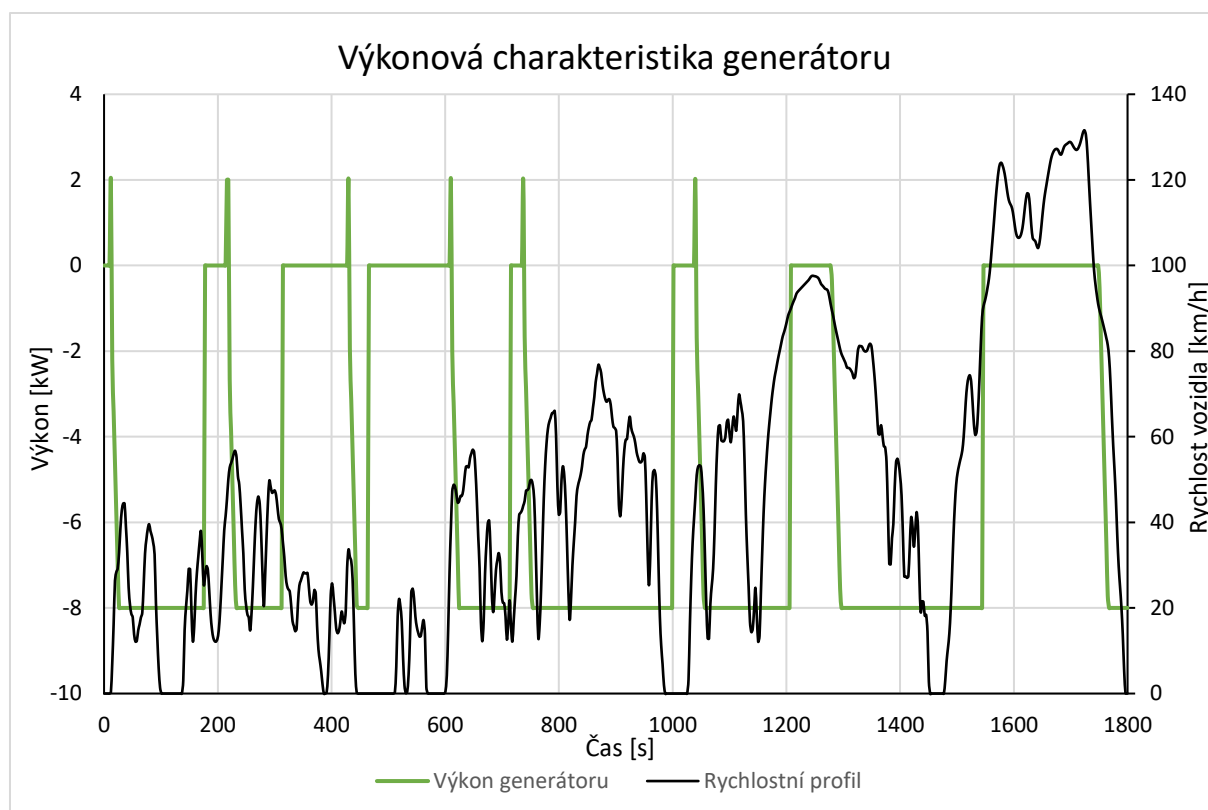
Jak lze vyčíst z tohoto grafu, celkový provozní výkon spalovacího motoru nemusí být vůbec tak vysoký. Pro hybridní režim bohatě postačí 8 kW a pro spalovací dálniční režim je maximum okolo 45 kW. Každopádně musíme brát na vědomí, že se jedná o výkon při relativně nízkých otáčkách, nikoliv maximální výkon, ale i tak je zde dostatečná výkonová rezerva.

Graf otáček jsem uvedl kombinovaný a slouží zde pouze informativně. Jelikož se výkon rovná momentu násobenému otáčkami, je zde patrná podobnost grafů právě momentů a výkonů.



Graf 12 – Výkon elektromotoru.

Graf výkonové charakteristiky elektromotoru opět ukazuje, že výkon potřebný k projetí WLTC cyklu je více než dostačující. Maximální hodnota požadovaného výkonu nastala přibližně v čase 1500 sekund o hodnotě 45 kW. Elektromotor Hondy má maximální výkon 135 kW a bylo by tedy teoreticky možné instalování větších akumulátorů na úkor menšího elektromotoru nebo jakékoliv jiné optimalizace, aniž by došlo ke zdatelnému snížení dynamiky jízdy. Bylo by i reálné, pokud by se tento model dostal na evropský trh, tak by obdržel objemově menší spalovací motor nebo výkonově slabší elektrický motor, jak je v EU zvykem.



Graf 13 – Výkon generátoru.

Grafické znázornění výkonu generátoru je de facto stejné jako to u momentu. Opět "peakové" hodnoty zaznamenávají startování motoru a záporné konstantní hodnoty zobrazují výrobu elektřiny.

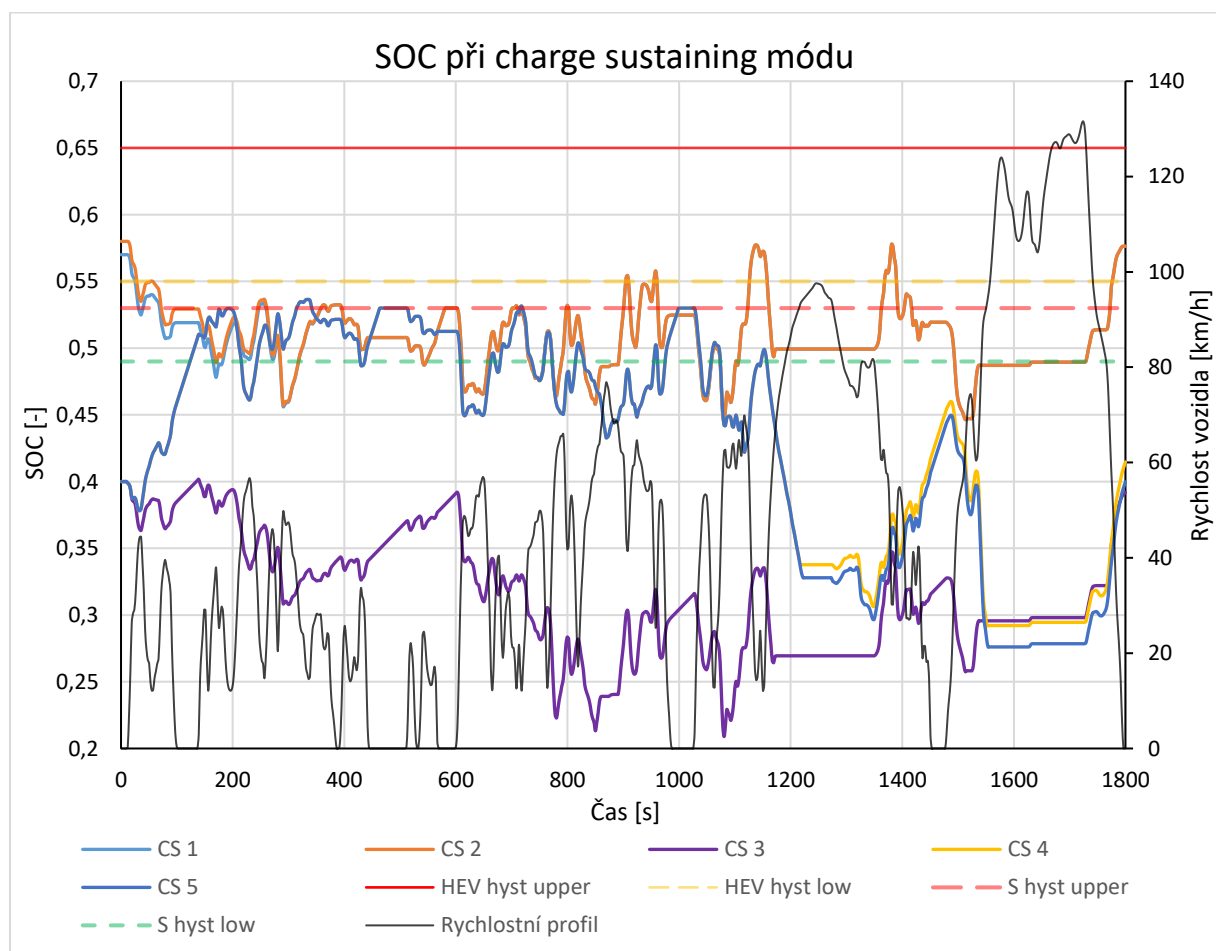
5.3.5 Jízdní cykly typické pro hybridní vozidla

V současnosti je pro automobilky i pro většinu zákazníků nejdůležitější co nejnižší spotřeba. Co ale velká většina řidičů neví, je že hybridní automobily mohou mít několik měřitelných spotřeb a dojezdů. Buďto v klasickém kombinovaném režimu, kdy všechny systémy automobilu pracují samy a řidič do nich nijak nezasahuje. Dále tzv. Charge sustaining mode – kdy se hledá taková konfigurace, aby automobil na začátku a na konci cyklu měl stejnou hodnotu SOC. Následující je Charge depleting mode – kdy je automobilu zakázána schopnost dobít akumulátor, ale spalovací motor může stále pracovat a měří se maximální dojezd a spotřeba. A posledním je All-electric mode – kdy je znemožněno dobíjení akumulátoru i pohon na spalovací motor, je to de facto simulace jízdy elektromobilu. Tyto jízdní konfigurace budou nyní graficky znázorněny. Pro všechny grafy odtud dále, jsem vytvořil přesnější simulace, které mají proměnné pouze: počáteční SOC, výkon generátoru a ICE limit.

5.3.5.1 Charge sustaining mód (CS)

„Hybridní vozidlo, které je schopné udržovat stav nabití akumulátoru na začátku a na konci jízdního cyklu se klasifikuje jako kategorie H0. Pro reálné účely se uvažuje energetický management jako kombinaci regenerativního brždění a spouštění spalovacího motoru za účelem pohánění generátoru na výrobu elektrické energie. Tyto dvě činnosti se musí dít automaticky nejvhodnějším způsobem, a tak, aby bylo udrženo SOC mezi 60% - 80%, přičemž se v hybridním vozidle bere jako počáteční stav nabití jako 60%.“ [4] [6]

V mojí simulaci je Charge sustaining mód definován jako režim, při kterém automobil ukončí jízdu se stavem nabití baterie s odchylkou do 1 % od stavu počátečního.



Graf 14 – Charge sustaining konfigurace.

Ze všech 18-ti simulací vyšly jako vhodné pro Charge sustaining mód tyto nastavení:

V této simulaci jsem vyhodnocoval jako dostačující, pokud $\Delta\text{SOC} \leq 1\%$. Níže jsou uvedené jednotlivé vyhovující výsledky.

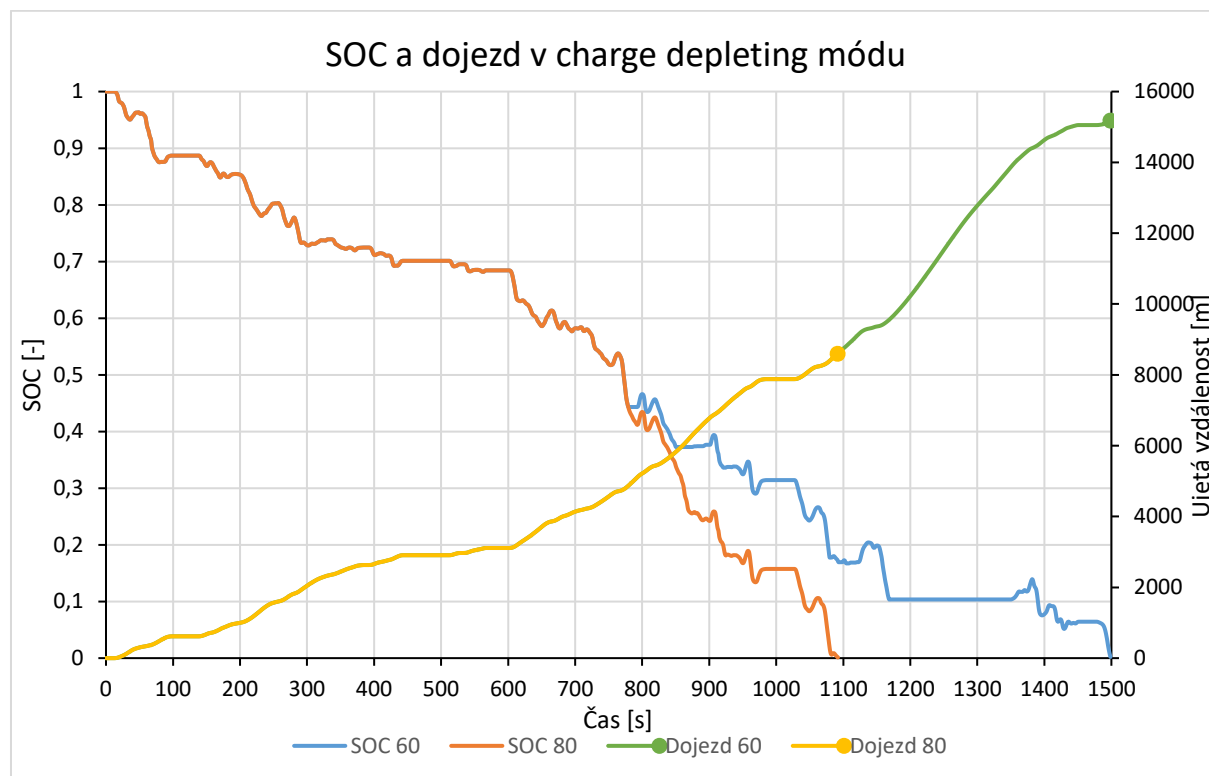
Simulace číslo:	Počáteční SOC:	ΔSOC :	Výkon generátoru:	Limit rychlosti ICE:	Spotřeba paliva:
CS 1	0,57	+0,63%	2 kW	60 km/h	4,907 l/100km
CS 2	0,58	-0,36%	2 kW	60 km/h	4,884 l/100km
CS 3	0,4	-0,82%	3 kW	60 km/h	5,807 l/100km
CS 4	0,4	+1,00%	8 kW	93 km/h	5,527 l/100km
CS 5	0,4	-0,05%	8 kW	94 km/h	5,513 l/100km

Tabulka 6 – Výsledky simulace CS módu.

Z výsledků je patrné, že varianty, které splňují CS mód a zároveň mohou být považovány za reálné jsou simulace CS 4 a 5. Je to proto, že v předchozích simulacích vyšlo najevo, že výkon generátoru 2 kW není dostačující. Zde je nedostatek nahrazen nízkou rychlostí pro přepnutí do spalovacího režimu, a tak se akumulátor nestihne tak rychle vybit. Proto tedy CS 1 a 2 jsou spíše teoretické. Pro simulaci CS 3 je sice už výkon generátoru dostačující, ale je zde opět spíše nereálná rychlost pro dálniční provoz na šestý převodový stupeň, která je příliš nízká. Proto tedy jsou zbylé dvě simulace ty, které by měli nějakou vypovídající hodnotu o spotřebě automobilu tohoto typu. Pokud to porovnáme s reálnou hodnotou kombinované spotřeby Hondy Accord Hybrid 2017, která činí 48 mpg (U.S.) a převedeme na naše jednotky 4,9 l/100km, tak můžeme vidět, že nejsme daleko od tabulkové spotřeby reálného automobilu, i když bychom do celkové spotřeby měli zahrnout i spotřebu v Charge depleting módu (viz. dále). Je možné, že další optimalizací by bylo nalezeno více cyklů splňující tento jízdní mód a třeba i s lepší spotřebou, ale pro účel této práce to není podstatné.

5.3.5.2 Charge depleting mód (CD)

Charge depleting mód měří spotřebu automobilu při jízdě, kdy se nedobíjí akumulátor. [7]



Graf 15 – SOC a dojezd v Charge depleting módu.

Z těchto grafů lze vyvodit, že i když je nabíjení akumulátoru zakázané, tak díky posunutí hranice spouštění spalovacího motoru na zcela nelogickou hodnotu 60 km/h pro šestý převodový stupeň, teoreticky zvýší dojezd a zpomalí vybíjení baterií. Simulace s rychlostí 80 km/h je opět více realistické.

Dále je možné si všimnout, že simulace neskončila ve stejném definovaném čase pro WLTC cyklu = 1800s. Je to proto, že ve chvíli, kdy SOC akumulátoru kleslo na nulovou hodnotu, což bylo zamýšleno, vyhodnotí GT-Suite výpočet jako chybný a zastaví simulaci. Zároveň pokud bychom chtěli provést poslední jízdní cyklus, který se u hybridních automobilů dá změřit, tzv. All-electric mode neboli jízda pouze na elektřinu bez možnosti dobíjení, shodovali by se výsledky se simulací CD módu s nastavenou rychlostí 80 km/h. Je to proto, že simulace by stejně skončila dříve, než by bylo dosaženo vyšší rychlosti a stalo by se tak ve stejný čas jako u CD módu při 80 km/h.

6. Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na tři hlavní úkoly. První, popsat a porovnat mezi sebou současné hybridní pohony a konfigurace používané v reálné praxi. Jednalo se tak o srovnání z hlediska topologie, tedy o jednotlivé postavení spalovací jednotky, elektromotoru či elektromotorů podle toho, který komponent pohání nápravu. Těmi tedy byly sériový, paralelní a kombinovaný hybrid. Následně jsem se v práci věnoval srovnání z hlediska hybridizace jednotlivých topologií, a tedy, jak velký podíl má elektropohon na celkovém výkonu automobilu, jak často se zapojuje do jízdy, zda plní spíše podpůrnou roli nebo se jedná o plnohodnotný pohon vozidla. Byly to tedy varianty mikro, mild, motor assist, full a plug-in hybrid. Ke konci první části jsem provedl jejich vzájemné srovnání a také obecné srovnání hybridního pohonu s konvenčním spalovacím pohonem.

Druhá část práce byla věnována přímému podrobnějšímu popisu dvou, v současné době existujících, řešení pohonného ústrojí bez použití klasické nebo planetové převodovky. Jednalo se o 2017 Hondu Accord Hybrid a 2015 Koenigsegg Regera. Dva naprosto rozdílné automobily, kdy každý používá jinou unikátní konfiguraci pohonu, která je do velké míry ovlivněn jejich rozdílným určením.

Jako třetí a poslední bod zadání bakalářské práce bylo, vytvořit simulaci jízdního cyklu automobilu, který nepoužívá převodovku. Z logiky věci, a i praktičtější představy, o výsledku byly zvoleny parametry z výše zmíněné Hondy jako základní parametry pro simulaci. Do modelu byly použity všechny volně dostupné údaje o tomto vozidle, které program GT-Suite potřeboval k vytvoření co nejpřesnější simulace. Úkolem práce nebylo tedy přesně simulovat 2017 Hondu Accord Hybrid, ale vytvořit jakýsi fiktivní automobil na základě tohoto vozidla, který umí fungovat a podávat výkony, které jsou reprezentovatelné a víceméně reálné. A to jak zvládnutí řízení tří jízdních režimů, tak používání spalovacího motoru, elektromotoru, generátoru a dobíjení akumulátoru. Výsledky ze simulací jsem uvedl ve formě vybraných grafů, které ukazují, že simulační model je schopen zvládnout 3 jízdní cykly. Dále mezi nimi automaticky rozhodovat na základě zjednodušené logiky řízení (oproti té reálné). Fiktivní vozidlo vykazovalo víceméně realistické, jízdní charakteristiky, i když jsem se věnoval pouze vybraným komponentům celého pohonného ústrojí. Problematika logického řízení, jejího zpřesnění a optimalizace by mohla být v budoucnu tématem například diplomové práce, která by vyžadovala pokročilejší znalost prostředí programu GT-Suite. Pro lepší srovnání simulací

by tedy bylo vhodné i reálné měření jízdních parametrů vozidla. Bylo by tedy nutné sehnat vozidlo samotné pro přímé měření nebo alespoň se pokusit o získání některých parametrů přímo od American Honda Motor Co., Inc..

Do budoucna si osobně myslím, že hybridní automobily nebudou slepou vývojovou větví automobilového průmyslu, ale že bude naopak narůstat jejich implementace do světového, vozového parku, a to ve více oblastech než pouze v osobní dopravě. Vzhledem k množství zásob fosilních paliv, podle mě, k úplné elektrifikaci vozidel ještě velmi dlouho nedojde. Spojuje to více problematických parametrů výroby, provozu i nabíjení takových automobilů, které se nepříznivě promítnou do celkové ceny a praktičnosti provozu čistě elektrických vozidel. Samotný pojem "čistoty" elektrických vozidel je totiž sporný, jelikož se de facto jedná o pouhé přemístění výfuku vozidla do nejbližší elektrárny.

Naopak vozidla, která budou využívat více zdrojů energie k vlastnímu pohonu budou, dle mého názoru, více pronikat do všech sfér automobilového průmyslu. Pojem DHT – Dedicated Hybrid Transmissions, tedy vozidlo nebo stroj, který používá různé, nejčastěji elektrické systémy spojené s klasickými technologiemi, najde velmi pravděpodobně uplatnění v osobních automobilech, vozech hromadné dopravy osob i nákladu, těžkých strojích nebo například i lodích atd. Toto řešení může být považováno v současné době za adekvátní, pro snahu o snížení emisí výfukových plynů a snížení spotřeby přepravních strojů, především aut. Akumulátory pro toto využití nejsou tak velké, těžké a tak tolik nenavýšují výslednou cenu a neomezují případného uživatele v oblastech provozu jako elektromobily. Současné trendy jako zbavování se dieselových agregátů nebo obecné zmenšování spalovacích motorů mají také svá úskalí. Taková radikální řešení, jako snaha vyrobit co nejmenší motor, osadit ho turbodmychadlem a pohánět s ním co největší vozidlo jsou velmi komplikovaná a často se projeví na spolehlivosti auta jako celku. Pokud bychom to porovnali s variantou, kdy by se k normálnímu, původně dimenzovanému motoru, přidal malý elektromotor a malý akumulátor, mohl by být výsledek stejný nebo i lepší, případně i spolehlivější a nebylo by nutné řešit do jak velkých, resp. malých extrémů je nutné zajít, aby byl motor co nejmenší.

7. Použité zdroje

[1] Historie hybridních aut 1., 2. a 3. díl. [online]. 2009 [cit 2020-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>>

[2] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2018]. ISBN 978-1-4987-6177-2.

[3] FUHS, Allen E. Hybrid vehicles and the future of personal transportation. Boca Raton: CRC Press, c2009. ISBN 978-1-4200-7534-2.

[4] MILLER, John M. Propulsion systems for hybrid vehicles. Stevenage, UK: Institution of Electrical Engineers, c2004. ISBN 0863413366.

[5] DENTON, Tom. Electric and Hybrid vehicles. New York, NY: Routledge, 2016. ISBN 978-1-138-84237-3.

[6] JURGEN, Ronald K. Electric and hybrid-electric vehicles. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, c2002. PT (Series) (Warrendale, Pa.), 85. ISBN 0-7680-0833-6.

[7] LINO, Guzzella. Vehicle propulsion systems: introduction to modeling and optimization. 3rd ed. New York: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-35912-5.

[8] BMW i3 REX. AUTO.CZ [online]. 29. 6. 2016 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/bmw-i3-rex-mam-rad-elektromobily-96193>

[9] Mobility for tomorrow, Schaeffler Symposium 2018, Documentation April 12/13, 2018

[10] ©2019 American Honda Motor Co., Inc. *2017 Honda Accord Hybrid Press Kit - Powertrain* [online]. 2019 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://hondanews.com/en-US/releases/2017-honda-accord-hybrid-press-kit-powertrain>

[11] https://www.automobile-catalog.com/curve/2017/2471105/honda_accord_hybrid.html

[12] První sériově vyráběný hybridní vůz se vznětovým motorem. MotoFocus.cz [online]. 14 září 2011 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/vyrobci/1456,prvni-seriove-vyrabeny-hybridni-vuz-se-vznetovym-motorem-pouziva-elektri>

[13] Hyundai zkombinoval částečně hybridní pohon se vznětovým motorem 1.6 CRDi. Autobible.cz [online]. 26/03/2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/hyundai-zkombinoval-castecne-hybridni-pohon-se-vznetovym-motorem-1-6-crdi/>

[14] Vznětový hybrid. [online]. 3. května 2018 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.motormix.cz/clanek/vznetovy-hybrid/20357>

[15] General Motors Chevrolet Volt Production Show Car 2011. AutoConceptReviews.com [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: http://www.autoconcept-reviews.com/cars_reviews/gm/GM-chevrolet-volt-production-show-car-2011/cars_reviews-gm-chevrolet-volt-production-show-car-2011.html

[16] SKOKAN, Jan. Hydraulické spojky a měniče: Fluid couplings and torque converters [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63950. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Roman Klas, Ph.D.

[17] THOMAS, Vik. Toyota Power Split device. Hybridautopart [online]. May 11, 2019 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://hybridautopart.com/blog/toyota-prius-power-split-device/>

[18] Start-Stop systémy, jsou vůbec k něčemu dobré nebo jen škodí? Zdroj: <https://autoroad.cz/technika/94991-start-stop-systemy-jsou-vubec-k-necemu-dobre-nebo-jen-skodi>. AutoRoad.cz [online]. 28. prosince 2018 [cit. 2020-01-04].

[19] Tomáš. Není hybrid jako hybrid.: Čím se jednotlivé systémy liší? AUTO.CZ [online]. 15. 11. 2016 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/neni-hybrid-jako-hybrid-cim-se-jednotlive-systemy-lisi-100314>

- [20] BMW Activehybrid 7: Silný ale jen mild [online]. 2009 [cit 2020-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/bmw-7-active-hybrid-4121>>
- [21] Test Toyota Prius Plug-in hybrid [online]. 2011 [cit 2020-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/test/toyota-prius-plug-in-hybrid>>
- [22] Toyota Motor Czech s.r.o. [online]. 2011 [cit 2020-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.toyota.cz/>>, <<http://www.lexus.cz/>>
- [23] Hybridní automobily – historie [online]. 2008 [cit 2020-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/>>
- [24] Opel Ampera - Technická data sériového vozu [online]. 2011 [cit 2020-01-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/opel-ampera-technicka-data-serioveho-vozu-54684>>
- [25] JIRKA, Tomáš. Hybridní systémy pro pohon automobilů: Elektromobilita. Oenergetice.cz [online]. 27. říjen 2015 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu>
- [26] D, NICK. 2010 BMW ActiveHybrid 7. Supercars.net [online]. APRIL 5, 2016 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.supercars.net/blog/2010-bmw-activehybrid-7/>
- [27] FROM HONDA ACCORD HYBRID TO KOENIGSEGG REGERA. Youwheel.com [online]. 2015-03-12 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://blogs.youwheel.com/2015/03/12/honda-accord-hybrid-koenigsegg-regera/>
- [28] PRIDDLE, Alisa. 2017 Honda Accord Hybrid, Clarity Series Show EV Commitment: Electrification is Key to Honda's Future. MOTORTREND [online]. Apr 21, 2016 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/2017-honda-accord-hybrid-clarity-series-show-ev-commitment/>
- [29] KELLY, Iain. Koenigsegg Regera: what one would cost in Australia. Carsguide [online]. 19 Apr 2019 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/car-advice/koenigsegg-regera-price-what-one-would-cost-in-australia-74182>

[30] Koenigsegg. Koenigsegg: Regera. Koenigsegg [online]. Ängelholm, 2015 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.koenigsegg.com/car/regera/>

[31] NĚMEC, V. Hydrodynamický měnič točivého momentu: Popis činnosti. Spszengrova.cz [online]. SPŠ Zengerova, 2013, 28.8.2013 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/SIV/hydrodynamick%C3%BD%20m%C4%9Bni%C4%8D-UT.pdf>

[32] Learn Engineering. Torque Converter: How does it work ? YouTube.com [online]. 13. 4. 2018 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=bRcDvCj_JPs&t=412s

[33] Mechanické a hydraulické převody vozidel, Sbíрка příkladů, Doc. Ing. Jiří Svoboda, CSc., Doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová, 2008, České vysoké učení technické v Praze

[34] 2017 Honda Accord Hybrid Touring: Horsepower / Torque Curve. Automobile-catalog [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.automobile-catalog.com/curve/2017/2471105/honda_accord_hybrid.html

[35] Engineering Explained. Koenigsegg Direct Drive: Koenigsegg Regera - Explained. YouTube.com [online]. 11. 3. 2015 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=naRY3knqFYU>

8. Seznam obrázků

Obrázek 1) Schéma sériového hybridního pohonu [25]	4
Obrázek 2) Schéma systému Opel Ampera [15]	5
Obrázek 3) Schéma paralelního hybridního pohonu [25]	6
Obrázek 4) Pozice pro umístění elektromotoru pro hybridní pohony [9].....	7
Obrázek 5) Řez hybridním ústrojím BMW 7 Active hybrid [26]	8
Obrázek 6) Schéma obecného, kombinovaného hybridního pohonu [23]	8
Obrázek 7) Toyota Power Split device – Dělič výkonu [17]	9
Obrázek 8) Jízdní módy Hondy Accord hybrid 2017 [27]	17
Obrázek 9) Honda Accord hybrid 2017 (USA) [28]	17
Obrázek 10) Graf ukazující využití jednotlivých jízdních režimů v závislosti na rychlosti a dodávané síly motorů. [27]	20
Obrázek 11) Koenigsegg Regera [29]	21
Obrázek 12) Schéma pohonného systému Koenigseggu Regera. [30]	22
Obrázek 13) Graf závislosti kroutícího momentu a celkového výkonu na otáčkách motoru. [30] ...	22
Obrázek 14) Řez hydrodynamickým měničem. [31]	23
Obrázek 15) Schéma funkce HDM. [32]	25
Obrázek 16) Schéma HDM a spojky. [32]	26

Obrázek 17) GT-Suite_1	31
Obrázek 18) GT-Suite_2	31
Obrázek 19) Jízdní režimy Honda Accord Hybrid 2017 [27]	32

9. Seznam grafů

Graf 1) Změny jízdních režimů.	18
Graf 2) Momentová charakteristika elektromotoru a generátoru.	30
Graf 3) Průběh SOC na základě změny počátečního SOC.	37
Graf 4) Průběh SOC na základě změny výkonu generátoru.	38
Graf 5) Průběh SOC na základě změny rychlosti pro spalovací režim.	40
Graf 6) SOC.	42
Graf 7) Kroutící moment spalovacího motoru.	43
Graf 8) Kroutící moment elektromotoru.	43
Graf 9) Kroutící moment generátoru.	44
Graf 10) Otáčky spalovacího motoru, elektromotoru a generátoru.	45
Graf 11) Výkon spalovacího motoru.	45
Graf 12) Výkon elektromotoru.	46

Graf 13) Výkon generátoru.	47
Graf 14) Charge sustaining konfigurace.	48
Graf 15) SOC a dojezd v Charge depleting módu.	50

10. Seznam tabulek

Tabulka 1) Přehled módů a parametrů.	32
Tabulka 2) Výsledky simulace se změnou počátečních SOC.	37
Tabulka 3) Výsledky simulace výkonů generátoru.	39
Tabulka 4) Výsledky simulace s proměnnou rychlostí pro ICE mód.	40
Tabulka 5) Parametry vybraného jízdního cyklu.	42
Tabulka 6) Výsledky simulace CS módu.	49

11. Seznam rovnic

Rovnice 1) Převodový poměr – hybrid.	20
Rovnice 2) Převodový poměr – standard.	20
Rovnice 3) Charakteristika HDM.	26
Rovnice 4) Průměr dutiny HDM.	26
Rovnice 5) Profil pneumatiky.	28
Rovnice 6) Průměr kola.	28

Rovnice 7) Obvod kola.	28
Rovnice 8) Maximální otáčky kol.	28
Rovnice 9) Maximální rychlost.	28
Rovnice 10) Rozdíl udávaných rychlostí.	28
Rovnice 11) Průměr pneumatiky při maximální rychlosti.	28
Rovnice 12) Roztažení pneumatiky.	28
Rovnice 13) Obvodová rychlost kola.	35
Rovnice 14) Otáčky kol při 180 km/h.	36
Rovnice 15) Otáčky motoru při 180 km/h.	36
Rovnice 16) Otáčky kol při 233 km/h.	36
Rovnice 17) Otáčky kol při 233 km/h.	36