



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

# **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**

**Převodovky DHT – nové koncepce**

**DHTs – overview and trends**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
2021**

**Vojtěch FOLTA**

**Studijní program:** B2342 Teoretický základ strojního inženýrství  
**Studijní obor:** 2301R000 Studijní program je bezoborový  
**Vedoucí práce:** Ing. Michal Jasný

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Folta** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **483134**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací 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:

**Převodovky DHT - nové koncepce**

Název bakalářské práce anglicky:

**DHTs - overview and trends**

Pokyny pro vypracování:

DHT převodovky integrují do své konstrukce jeden či více elektrických strojů, bez kterých nemohou samostatně fungovat. Proveďte rešerši využití a návrhů automobilových převodovek DHT a plány jejich využití v budoucnosti. Zvažte a popište jejich výhody a nevýhody.

Zaměřte se na řešení z let 2018 až 2020, případně řešení, která nejsou obsažena v DP pana Ing. Kaněry 'Planetový dělič pro pohon hybridního vozidla' z roku 2018.

Po dohodě s vedoucím navrhnete odstupňování převodovky pro vzorový automobil a klasickou stupňovou převodovkou.

Seznam doporučené literatury:

SAE papers, CTI papers

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Michal Jasný, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **14.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

Ing. Michal Jasný  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vitek, 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.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Anotační list**

Jméno autora: Vojtěch Folta

Název BP: Převodovky DHT – nové koncepce

Akademický rok: 2020/2021

Ústav: Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Vedoucí BP: Ing. Michal Jasný

Bibliografické údaje: Počet stran 57

Počet obrázků 55

Počet tabulek 7

Počet příloh 0

Klíčová slova: DHT, převodovka, hybridní vůz, hybridní pohon, elektromotor

Keywords: DHT, transmission, hybrid vehicle, hybrid drive, electric motor

**Anotace:** Cílem mé bakalářské práce je shrnutí informací o nových trendech v oblasti DHT převodovek. Snažím se podrobným textem i pomocí schémat popsat funkci a konstrukční řešení jednotlivých konceptů těchto převodovek a také zhodnotit jejich výhody a nevýhody. Práce zahrnuje zejména informace z období od roku 2018 a snaží se též nastínit vize tohoto odvětví v blízké budoucnosti. Následuje výpočtová část s návrhem odstupňování převodovky pro klasickou koncepci pohonu.

**Annotation:** The aim of my bachelor thesis is to summarize information about new trends of DHTs. I describe the function and design of DHT transmissions in detailed text with schemes, and also evaluate the advantages and disadvantages of using the individual types. The thesis mainly includes information since 2018 and I also mention the development of this sphere in the near future. The theoretical section is followed by a calculation section. There is an example of calculation of gear ratios for the classic drive concept with manual transmission.

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu panu Ing. Michalovi Jasnému za odborný dohled, konzultace a cenné rady při vypracování této práce.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Převodovky DHT – nové koncepce“ vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Michala Jasného s použitím literatury uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....

## Obsah

### Teoretická část

1. ÚVOD.....	1
2. VÝVOJ HYBRIDNÍHO POHONU.....	2
2.1. Počátky hybridizace .....	2
2.2. Současná hybridizace .....	3
3. DĚLENÍ HYBRIDNÍHO POHONU.....	6
3.1. Rozdělení dle stupně hybridizace .....	6
3.2. Rozdělení dle uspořádání hnacího řetězce .....	9
3.3. Rozdělení dle umístění elektromotoru.....	11
4. VÝVOJ KOMPONENT HYBRIDNÍCH VOZŮ .....	12
4.1. Převodovky v hybridních pohonech.....	13
4.1.1. Hydrodynamická převodovka s hydrodynamickým měničem.....	15
4.1.2. Dvouspojková převodovka (DCT, DSG, PDK).....	16
4.1.3. Převodovky s plynule měnitelným převodovým poměrem (CVT) .....	17
5. DHT PŘEVODOVKY .....	18
5.1. Komponenty DHT převodovky a jejich funkce .....	19
5.2. Analýza stávajících konceptů.....	20
5.2.1. Sériově-paralelní (Series-Parallel) konfigurace: .....	21
5.2.2. Konfigurace s děličem výkonu (Power-Split DHT) .....	22
5.3. Porovnání zmíněných konceptů.....	25
5.4. Možnosti další generace DHT konceptů .....	26
5.5. Nové koncepce .....	33
5.5.1. Schaeffler DH-ST 6+2 .....	33
5.5.2. Schaeffler DH-CVT .....	35
5.5.3. Punch Powerglide .....	36
5.5.4. Magna DHTeco, DHTplus .....	38
5.5.5. Vitesco DHT .....	39
5.6. Využití DHT převodovek.....	40
5.7. Výhody a nevýhody DHT převodovek .....	40

### Výpočtová část

6. NÁVRH Odstupňování převodovky.....	41
6.1. Parametry vozidla pro výpočet .....	41
6.2. Návrh mezních převodových poměrů .....	42
6.3. Stanovení rozsahu a zbylých převodových poměrů .....	43
6.4. Pilový diagram .....	46
7. ZÁVĚR .....	47
8. ZDROJE .....	48
9. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	51

## Teoretická část

### 1. ÚVOD

Již několik posledních desetiletí se automobilové systémy soustředí především na zvyšování celkové účinnosti pohonu a zároveň na co největší snížení emisí. S touto problematikou úzce souvisí úspěšný vývoj hybridních vozidel, které kombinují méně emisní jízdu s nízkou spotřebou paliva. Se zpřísněním legislativních požadavků roste tlak na výrobce automobilů se spalovacími motory a stále více je nutí k přechodu na ekologičtější pohony. Elektromobily můžou být jedním z řešení, ale tato jednotka má zatím stále svá výrazná omezení, což jsou zejména cenové podmínky, krátká dojezdová vzdálenost či nesnadné nabíjení. Proto se v budoucnu nabízí efektivní varianta hybridních vozidel. V důsledku požadavků roste u hybridních vozidel elektrický výkon a kapacita baterie, což přináší problémy týkající se prostorové integrace, složitosti konstrukce a ceny. DHT převodovka (Dedicated Hybrid Transmission) je jedním ze způsobů, jak těmto problémům hybridních vozidel efektivně předejít.

Ohledně DHT lze na úvod zmínit, že se jedná o speciální hybridní převodovku, kde jeden či více elektromotorů je integrován do konstrukce převodovky a převod bez něho není funkční. Výhody spočívají zejména ve zjednodušení převodů, vyšší účinnosti, menších rozměrech a nižších nákladech oproti konvenčním převodovkám.

V této bakalářské práci jsou uvedeny současné a předpokládané budoucí koncepty DHT převodovek, jejich výhody či nevýhody, využití a popis konstrukce. Na tuto část navazuje vytvoření návrhu odstupňování převodovky pro klasickou koncepci pohonu.

## 2. VÝVOJ HYBRIDNÍHO POHONU

Jako hybridní pohon se označuje jakýkoli pohonný systém vozidla, který využívá dva či více zdrojů energie v rámci jednoho vozidla (lze je použít společně nebo střídavě). Dnes je nejčastější kombinací elektrická energie (elektromotor) spolu s fosilními palivy (spalovací motor). Jako akumulátory energie jsou pak nejužívanější především elektrické akumulátory; [1], [2].

### 2.1. Počátky hybridizace

Abychom se mohli bavit o současných koncepcích hybridního pohonu, je nutno zmínit, jak tento druh pohonu vůbec vznikl. O úplně prvním hybridním voze lze mluvit od konce 19. století, kdy Ferdinand Porsche uvedl na trh roku 1900 první benzín-elektrický hybridní vůz Semper Vivus („vždy živoucí“) pro společnost Lohner. Dva zážehové motory DeDion Bouton o výkonu 3,5 k poháněly dva generátory o výkonu 2,5 k. Vyrobený proud napájel elektromotory v nábojích kol a dobíjel akumulátor. Spalovací motory se na pohonu nepodílely přímo (tzv. sériový hybrid), kvůli nim dokázal vůz překonávat mnohem větší vzdálenosti než předešlá verze s čistě elektrickým pohonem. Elektromotory byly umístěny přímo v předních kolech a umožnily tak vynechat převodovku i řetězové převody. Speciální bylo využití generátorů v roli elektrických spouštěčů spalovacích motorů. Stroj dokázal ujet vzdálenost až 50 km s maximální rychlostí 40 km/h. V praxi se musel Ferdinand Porsche potýkat s mnoha problémy, mezi něž patřila vysoká hmotnost (1 200 kg) a problematická regulace činnosti motorů, generátoru a akumulátoru. V dalších letech vznikla druhá verze s elektromotorem a brzdami pro každé kolo. Tato verze jela maximální rychlostí 110 km/h. Nejprve jako Lohner Porsche „Mixte“ a od roku 1906 jako „Mercedes Electrique“ dotáhl Ferdinand Porsche vlastní koncept hybridního pohonu až k sériové výrobě.



*Obrázek 1: Lohner Porsche Mixte (1901) [4]*

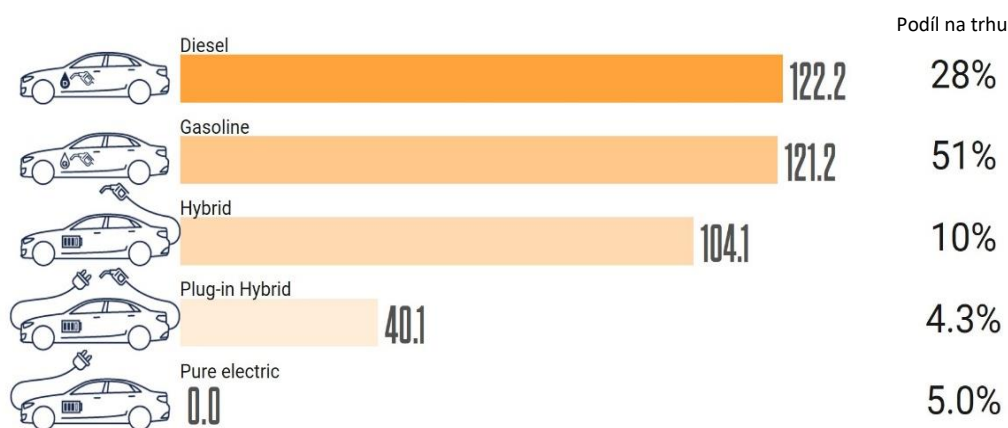
Spalovací motory byly v této době ve fázi vývoje, ale výrazně lépe na tom byly elektromotory. Vozidla s elektromotorem se pohybovala obvykle vyšší rychlostí, ale jejich největším nedostatkem byl dojezd (dodnes), neboť akumulátory s většími rozměry měly



vysokou hmotnost a nízkou kapacitu baterie. Přestože hybridní vozidla a elektromobily byly na svou dobu nesmírně pokroková, dala se přednost fosilním palivům z důvodu nižší ceny. Spalovací motory převzaly hlavní iniciativu na dalších 70 let. V letech 1973 až 1980 ovšem hrála ve světě hlavní roli ropná krize a s tím související zákony na ochranu ovzduší. Cena ropy se výrazně zvýšila a stoupaly požadavky na snížení emisí a spotřeby. Tato skutečnost dala šanci vývoji novým hybridním koncepcím, do něhož se zapojily automobilové firmy z celého světa. Nejvýznamnější automobilka ve vývoji novodobého hybridního pohonu byla japonská Toyota se svým modelem Prius. Šlo o model z roku 1997, který se zasloužil o skutečný průlom hybridizace vozů v nynější době. Zatímco na počátku šlo výhradně o zjištění, že existuje nový druh pohonu, tak v současné době má hybridizace vozidel několik důvodů či výhod, proč ji využívat; [2], [3], [5], [6].

## 2.2. Současná hybridizace

V současném motorovém světě je hnací jednotka spojena s hlavními součástmi, které generují a dodávají energii pro trakci vozidla. Jednotka zahrnuje motor, převodovku, hnací hřídele, diferenciál a rozvodovku (kola na automobilech). V současnosti je primárním zdrojem pohonu vozidla spalovací motor, který je poháněn mimo jiné palivem, jako je benzín, nafta, ethanol, CNG. S rostoucími obavami o životní prostředí a také s vyčerpáním zásob ropy ve světě je potřeba přizpůsobit pohonnou jednotku tak, aby umožňovala začlenění nových zdrojů energie. Důvody pro hybridizaci pohonu se nezměnily (historie se opakuje). Stále rostoucí požadavky na snižování emisí, zvyšující se cena fosilních paliv a zvyšování celkové účinnosti a výkonu pohonu jsou hlavními faktory pro růst zájmu a potřeby přizpůsobit pohonnou jednotku tak, aby umožňovala začlenění nových zdrojů energie. V roce 2020 přišla v platnost norma Euro 6d a ta povoluje pouze 95 g/km, což je, téměř pro všechna vozidla bez hybridní technologie likvidační hodnota (r. 2020 byla průměrná hodnota nových vozů přes 121 g/km).

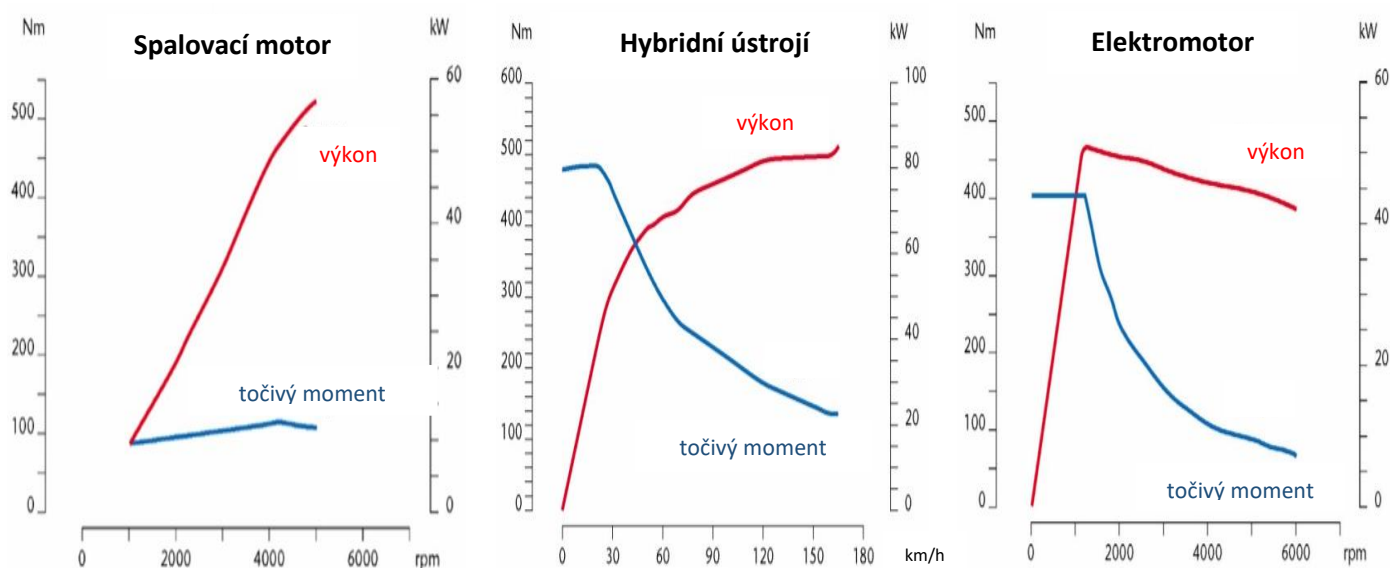


Obrázek 2: Průměrné množství CO<sub>2</sub> emisí [g/km] dle typu paliva (2020) [7]

Výhody hybridního pohonu jsou stejně rozmanité jako typy vozidel, která mohou pohánět. Autobusy, čluny, nákladní automobily, letadla a vojenská vozidla, která odvádějí hodně práce v pohotovostním režimu, při jízdě na trati nebo v tranzitním režimu mohou při nízké rychlosti plýtvat palivem. Hybridní pohonný systém může přinést úsporu paliva, vysoký točivý moment od nízkých otáček (=lepší akcelerace), vyšší účinnost, rekuperaci energie při brzdění, nižší náklady (nízká cena elektřiny), snížení hluku a plnění specifických předpisů (emise). Hybridní vozidla využívají výhod elektromotorů a spalování pro efektivnější vůz s nižší spotřebou paliva a následně s menšími emisemi plynů ze spalování.

Samozřejmě, tento pohon má i své nevýhody, mezi něž patří vyšší cena, větší složitost, menší nosnost, menší užitný prostor (baterie) a celková vyšší hmotnost.

Největším důvodem hybridizace pohonů do automobilů je nízká účinnost spalovacích motorů. Účinnost dnešních spalovacích motorů se pohybuje přibližně mezi 30 až 40 %. Zážehové (benzínové) motory mají obecně účinnost spíše nižší na spodní hranici pásma, vznětové (dieselové) motory jsou na tom o trochu lépe. Hodnota účinnosti spalovacích motorů je však z větší části dána účinností samotného termodynamického cyklu, který má jasná fyzikální omezení. V budoucnosti se tedy nedá očekávat výraznějšího vylepšení účinnosti klasických spalovacích motorů. Další potíž je v tom, že této účinnosti spalovací motor dosáhne jen v optimálních podmínkách. Samozřejmě při běžném provozu se optimálních podmínek dosáhne pouze výjimečně a to znamená, že celková účinnost je ještě o něco nižší. Extrémním případem je běh motoru na volnoběh. Motor spotřebovává palivo, ale přitom automobil nekoná žádnou práci, protože stojí na místě. Navíc je spalovací motor schopen uspokojivě pracovat pouze v poměrně úzkém pásmu otáček, což je také důvod, proč automobil se spalovacím motorem potřebuje převodovku.



Obrázek 3: Porovnání jednotlivých charakteristik výkonu a točivého momentu jednotlivých pohonů [8]

Použití převodovky s sebou nese nemalé ztráty, jako každý mechanický převod. Většinou má jen omezený počet rychlostních stupňů, což je dalším důvodem, proč nemůže motor pracovat v optimálních podmínkách. Oproti tomu současné elektromotory nabízí účinnost kolem 95 %. Navíc takto vysoké účinnosti dosahují v širokém spektru otáček a zatížení. Elektromobil se tedy zdá jako vhodné řešení. Jeho hlavní nevýhodou je příliš vysoká hmotnost potřebných akumulátorů a s tím souvisí i nízký dojezd na jedno nabití baterií. Nedostatek dobíjecích stanic a pomalé dobíjení baterií elektromobilu je v této době dalším problémem. Hybridní pohon umožňuje kombinaci obou výše uvedených typů pohonu, tedy spalovacího motoru a elektromotoru. U hybridního pohonu nemusí být spalovací motor mechanicky spojen s koly. Může tedy existovat pouze jako generátor elektrické energie. Spalovací motor tak může pracovat ve svých optimálních otáčkách, pohánět elektromotory nebo dobíjet akumulátory. Výhodou tohoto uspořádání bez mechanického spojení elektromotoru s koly je, že není třeba převodové ústrojí. Elektrické trakční motory jsou totiž schopné pracovat v širokém rozsahu otáček s vysokou účinností a dostatečným krouticím momentem již prakticky od nulových otáček. Při použití dvou motorů dokonce odpadá i diferenciál, jelikož mezi levým a pravým kolem není mechanická vazba.

Jedním z dalších návrhů je například umístění elektromotorů přímo do kol, čímž se zbavíme použití převodovky a rozvodovky. Získáme tak například další prostor pro posádku a zavazadla, snížíme ztráty apod. Na druhou stranu ale výrazně zvýšíme hmotnost neodpružených částí vozidla. To má vliv na životnost součástí podvozku a jízdní pohodlí.

Dnešní koncepty hybridních pohonů upřednostňují pevné spojení spalovacího motoru a kol. Elektromotor spíše jen vypomáhá v přechodových stavech, kdy je výhodné spalovací motor vypnout, např. při popojíždění v zácpě nebo po městě. Hybridní pohon je perspektivní odvětví, v němž existuje mnoho různých konceptů, které jsou automobilkami po celém světě upravovány a vyvíjeny; [2], [7], [8], [9].

### 3. DĚLENÍ HYBRIDNÍHO POHONU

Koncepty hybridního pohonu se značně liší celkovým způsobem řešení a využitím. Pro každý vůz se podle využívání bude hodit jiná varianta, která z elektrifikace vytěží maximum. Zejména kvůli široké škále využití i mnoha různým modifikacím, je nutno řadit hybridní vozidla do několika tříd.

Členit hybridní vozy můžeme **dle stupně hybridizace (3.1)**, kdy jsou řazeny podle užitých funkcí a míry elektrizace.

- Micro hybrid
- Mild hybrid
- Full hybrid
- Plug-in hybrid
- Hybridní elektromobil
- Range extender (V překladu: Prodlužovač dojezdu)

Jako druhou skupinu lze uvést dělení **dle uspořádání hnacího řetězce (3.2)**, kdy se jednotlivé koncepty odlišují seřazením daných komponent a následně funkcí.

- Sériový hybrid
- Paralelní hybrid
- Kombinovaný hybrid

Poslední skupinou je rozdělení **dle umístění elektromotoru (3.3)**.

#### 3.1. Rozdělení dle stupně hybridizace

##### 3.1.1. Micro hybrid

Tento typ vozidel sice řadíme mezi hybridní, ale jedná se spíše o takovou předzvěst hybridních vozidel samotných. Jde o nejméně hybridizovaná vozidla, která využívají start-stop systém, případně může nabídnout i možnost částečné rekuperace energie při brzdění vozidla. Novější typy umí vypnout motor za jízdy a takzvaně plachtit. Systém start-stop je zde proto, aby se snížila doba, kterou motor běží na volnoběh, čímž se snižuje spotřeba paliva a emise. Je to výhodné použít zejména u vozidel, která tráví množství času čekáním v dopravní zácpě či na semaforech (městský provoz). Vozy, které spadají do této kategorie mají optimalizované komponenty pro spuštění motoru a přizpůsobené k rychlejšímu dobíjení (zejména startér, olověná autobaterie a alternátor). Robustnější konstrukce je nutná, neboť motor se během jízdy několikrát zastaví a znovu spustí (městský provoz). Upravený startér je schopen rozeběhnout motor zvýšenými otáčkami, což přináší vyrovnanější funkci a nižší poškození motoru při opětovných startech. K zastavení motoru je důvodem především stání a dojíždění, které je obvykle delší než 5 s (cyklus WLTP). Tento nový systém v dnešní době ve svých modelech užívá většina automobilových výrobců a jeho

zavedením se zlepšují hodnoty při měření emisí v provozu. Ideální úspora paliva činí 5 až 8 %. Příkladem micro hybridního vozidla může být Škoda Kodiaq, Mercedes Benz třídy A, Ford Transit (start/stop systém); [2], [6], [10], [11].

### 3.1.2. Mild hybrid (MHEV)

Vozidla označovaná jako mild hybrid (též mírně asistovaný hybrid) také disponují funkcí start-stop, ale navíc obsahují 48 V elektromotor/generátor umístěný většinou mezi spalovacím motorem a převodovkou (pozice P1/P2), kde nahrazuje alternátor a startér, čímž pomáhá hnacímu ústrojí. Elektromotor je dimenzován tak, aby pokryl až 10 % celkového výkonu spalovacího pohonného systému. Jeho výkon se obvykle pohybuje do 25 kW. Elektromotor podporuje spalovací motor, dodává výkon při akceleraci, při zpomalení či brzdění má schopnost rekuperace brzděné energie a dokáže dobíjet akumulátor za jízdy. Čistě elektrický režim se zde využívá pro parkování, rozjezd či jízdu s malým zatížením. I v těchto vozech lze využít plachtění (vypnutí motoru za jízdy). Hodnota emisí je díky tomu znatelně snížena (20 %). Úspora paliva se pohybuje okolo 10 až 15 %. Ve srovnání s plně hybridním vozidlem mohou mild hybridy poskytnout některé výhody použití hybridních technologií, s menší mírou nákladů a hmotnosti. Jako příklad lze uvést Audi A8 Hybrid, Mercedes-Benz S400 BlueHybrid či Range Rover Evoque; [2], [6], [10], [11].

### 3.1.3. Full hybrid

Vozy této kategorie se odlišují od předchozích tím, že zvládnou provoz v čistě elektrickém režimu. Micro a mild hybridy existují jen s paralelní koncepcí pohonného řetězce, zatímco zde se můžeme setkat i se sériovým, případně kombinovaným řešením. Akumulátory se zvýšenou kapacitou (1-2 kWh) operují s vyšším napětím (okolo 300 V), díky čemuž je vůz schopen využít elektromotor daleko více. Avšak nelze počítat s velkým dojezdem v čistě elektrickém módu (pouze jednotky kilometrů). Dochází též k optimalizaci výkonu elektromotoru, a to obecně do hodnoty 75 kW. U plně hybridních vozů je využit k rozjezdu, akceleraci a při jízdě s nižší rychlostí. Spalovací motor zajišťuje jízdu s větším zatížením a ve vyšších rychlostech vozidla. U této koncepce se často používá dělič výkonu, vzhledem k použití dvou druhů pohonu současně (Toyota HSD). Režimy rekuperace a generování energie jsou zde samozřejmé. Úspora paliva u tohoto typu dosahuje až 20 %. Jako zástupce plně hybridních vozů lze uvést Toyota Prius, Porsche Cayenne S Hybrid či Ford Fusion Hybrid; [2], [6], [10], [11].

### 3.1.4. Plug-in hybrid (PHEV)

V této kategorii jde v podstatě o full hybrid doplněný možností nabíjení z veřejné elektro sítě. U vozidel s nejvyšším stupněm hybridizace (full a plug-in) dochází ke zvýšení kapacity akumulátorů (5-10 kWh), protože by baterie měla být schopná provozu vozidla v elektrickém režimu. U starších typů vozidel PHEV můžeme najít nikl-metal hydridovou baterii (NiMH), dnes jsou u hybridních vozidel nejužívanější lithium-iontové baterie (Li-ion). Tyto baterie umožňují vozidlům ujet větší vzdálenosti (okolo 20-60 kilometrů) na čistě

elektrický pohon. Dojezd v tomto režimu je jedním z hlavních kritérií, podle kterého jsou tato vozidla hodnocena. Dokonce se toto kritérium projevuje i v označení, kdy například PHEV – 10 značí, že se jedná o PHEV vozidlo s elektrickým dojezdem 10 mil. Ovšem se zvýšenou kapacitou akumulátoru roste i hmotnost, což výrazně zvyšuje i celkovou hmotnost vozidla, a to má vliv na jízdní vlastnosti (především na spotřebu). S kapacitou roste též pořizovací cena vozu. Úspora paliva závisí hlavně na intenzitě využívání čistě elektrického módu. Pro její zvýšení a zároveň snížení provozních nákladů je nutno používat co nejčastěji napájení z elektro sítě, což se může například u nás v ČR jevit jako problém, neboť zde není taková hustota dobíjecích stanic. Příkladem může být Škoda Superb, Chevrolet Volt či Porsche Panamera S E-Hybrid; [2], [6], [10], [11].

### 3.1.5. Hybridní elektromobil (HEV)

Jedná se o označení elektromobilu, který současně obsahuje spalovací motor. Lze ho tedy externě dobíjet z veřejné sítě, stejně jako využití k tomuto účelu palivového agregátu, který slouží jako druhý pohon vozu. Rozdíl oproti PHEV je zejména v kapacitě akumulátoru, která poskytuje až 20 kWh. Kvůli tomu se dojezdová vzdálenost v čistě elektrickém režimu výrazně prodlužuje. Znatelně je zvýšen výkon i u elektromotoru, který musí být dimenzován na stálý pohon bez pomoci spalovacího motoru (okolo 90 kW). Výhodou je, že po vybití akumulátoru, přebírá hlavní roli spalovací motor a vozidlo tak může dále bez problémů pokračovat v jízdě. Po zvýšení kapacity akumulátoru roste celková hmotnost a s ní i dojezd. S rostoucí cenou ropy jsou nyní vnímány jako klíčový segment automobilového trhu budoucnosti. Jako zástupce lze uvést Toyota Prius Hybrid nebo Honda Civic Hybrid; [2], [6].

### 3.1.6. Range extender (REX)

Prodlužovač dojezdu (angl. range extender) je opět elektromobil doplněný nejčastěji o spalovací motor (může být i palivový článek). Od HEV se liší pouze tím, že spalovací motor nepohání samostatně vozidlo, ale je určen pouze k dobíjení akumulátoru skrze generátor, který pohání. Hlavní funkcí je prodloužení dojezdu; [11], [14].



Obrázek 4: Druhy hybridních pohonů dle míry elektrizace

## **3.2. Rozdělení dle uspořádání hnacího řetězce**

### **3.2.1. Sériový hybrid**

Jedná se o uspořádání komponent za sebe (sériově). Vozidlo je podobně jako elektromobil poháněno výhradně elektromotorem. Pro pohon je možno použít i více elektromotorů a umístit je například do nábojů kol (Semper Vivus). Spalovací motor zde není určen pro pohon (není přímo spojen s hnací nápravou), ale pohání generátor, tuto energii následně využívá elektromotor k přímému pohonu vozidla nebo jí nabíjí akumulátor (lze obojí). Akumulátor je výrazně menší než u klasického elektromobilu. Podle předchozího dělení bychom tato vozidla označili jako range extendery a hybridní elektromobily. Velkou výhodou sériového uspořádání je to, že spalovací motor není přímo určen pro pohon. Je možné ho tedy naladit tak, aby fungoval ve velmi úzkém rozsahu otáček, kdy má ideální pracovní charakteristiky a nejvyšší účinnost. Lze dosáhnout teoretické účinnosti kolem 40 %, zatímco v běžných autech se účinnost spalovacího motoru pohybuje kolem 30 %. Další výhodou může být využití více elektromotorů a z toho plynoucí pohon každého kola samostatně a jejich volitelné umístění. Nevýhodou sériové koncepce je především několikanásobná přeměna energie, která může za výrazné snížení mechanické účinnosti mezi koly a spalovacím motorem. Ve srovnání s paralelním uspořádáním má vyšší účinnost při pomalé jízdě v městském provozu, ve vyšších rychlostech je naopak účinnější paralelní pohon. Jako další negativa můžeme brát větší hmotnost pohonného řetězce či vyšší cenu; [2], [6], [10], [11].

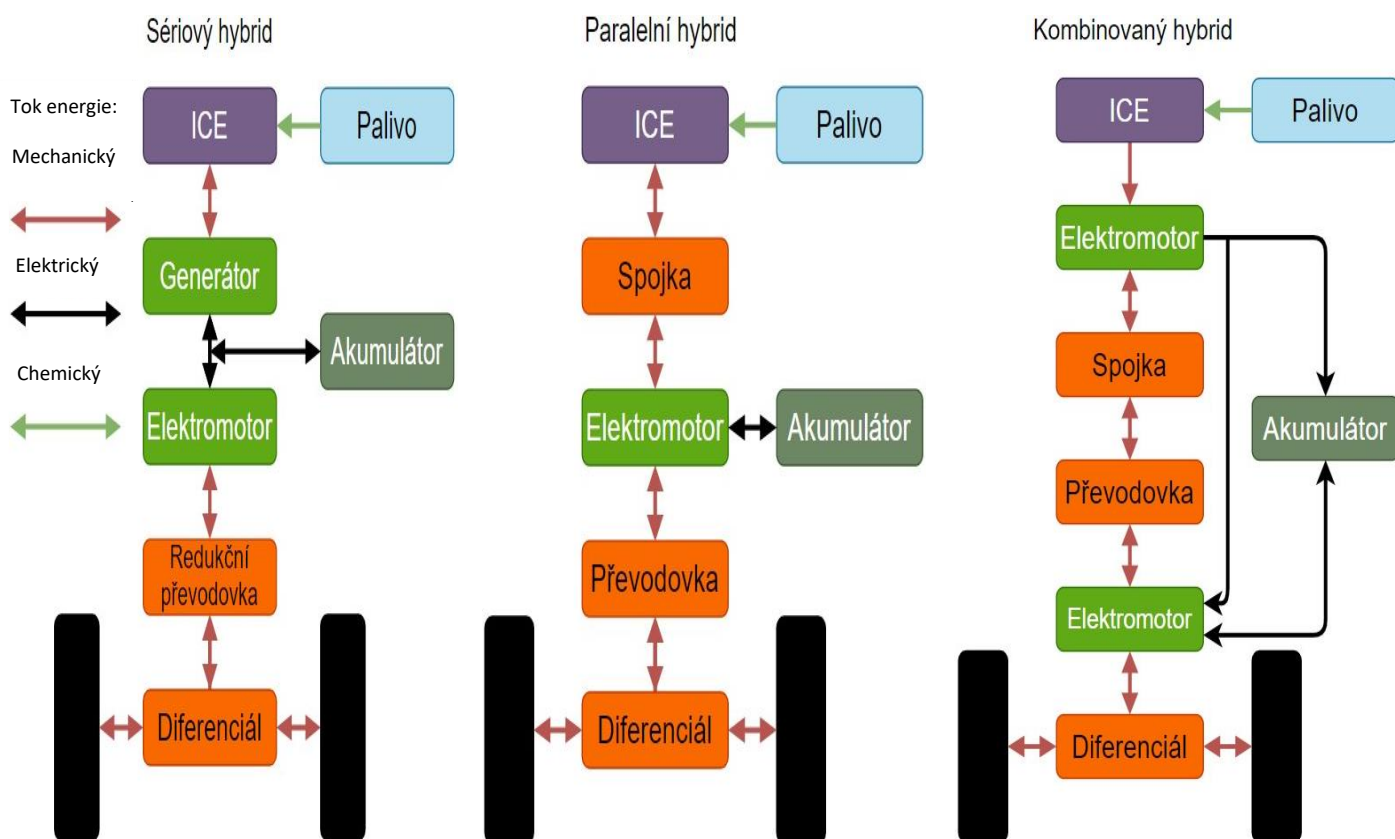
### **3.2.2. Paralelní hybrid**

Zásadní odlišnost od sériové koncepce je to, že vozidlo již může být poháněno přímo spalovacím motorem přes klasickou převodovku i redukční převod. Součástí koncepce je opět elektromotor (funkce generátoru i startéru), který je obvykle umístěn mezi mechanickou převodovkou a spalovacím motorem (P2 pozice). Aby se zvýšila účinnost spalovacího motoru, tak se energie z akumulátoru využívá k zásobení elektrických spotřebičů. Samotný elektromotor se používá za jízdy v nižších rychlostech nebo při parkování. Při kombinaci se o většinu výkonu stará spalovací motor, který je zřídka doplňován elektromotorem například v situacích, kdy je požadováno vyšší akcelerace nebo elektromotor pracuje v generátorickém režimu, čímž dobíjí akumulátor. V této konfiguraci je možno použít několik módů, které závisí na jízdních podmínkách. Jedná se o možnosti, kdy je vozidlo poháněno elektromotorem či v kombinaci se spalovacím motorem. Jako další módy lze uvést dobíjení akumulátoru a možnost rekuperace. Mezi spalovací motor a elektromotor je obvykle vložena třecí spojka. Při rekuperaci, stejně jako v režimu čistě elektrického pohonu, je rozpojena, při kombinaci motorů či nabíjení je spojena. Jako výhodu vidím fakt, že požadavky na výkon obou motorů nemusí být nikterak vysoké, oproti sériovým hybridům, což má tedy za následek levnější a lehčí komponenty. Elektromotor zároveň zastává funkci generátoru a startéru. Oba motory si kompenzují své slabší vlastnosti. Paralelní hybrid je předurčen spíše do vyšších rychlostí (dálniční provoz), kde má

vyšší účinnost než sériový. Při srovnání se sériovou koncepcí zde dochází k menším ztrátám u transformace energie. Možným negativem je potřeba převodovky nebo nevhodnost do městského provozu (nižší účinnost v menších rychlostech). Paralelní hybrid je nejčastěji užívaným uspořádáním; [2], [6], [10], [11].

### 3.2.3. Kombinovaný hybrid (Power-Split)

Jak již název nasvědčuje, jedná se o kombinaci sériové a paralelní koncepce. Dva typy pohonu jsou optimálně kombinovány a tím potlačovány jejich negativní vlastnosti. Jedná se o složitý a tím pádem i drahý systém. Důležitým prvkem je zde tzv. dělič výkonu (nejčastěji planetová převodovka), který má na starost rozdělování výkonu mezi mechanickou a elektrickou cestou. Poměr výkonu je zvolen dle aktuálního jízdního režimu (rychlost, stoupání, akcelerace). Lze říci, že při nižších rychlostech je třeba pouze elektromotor. Při vybití baterie se přechází na spalovací motor a elektromotor se užívá jen pro lepší akceleraci, nebo při brzdění funguje jako generátor k nabíjení akumulátorů. Benefit tohoto systému je určitě vysoká účinnost v reálném provozu, díky nízkým ztrátám. Spalovací motor nemusí pracovat v oblasti nejvyššího výkonu a může se zaměřit na běh s vyšší účinností. Negativa této koncepce jsou zejména složitost konstrukce, vysoká cena a nutnost složité převodovky (ve většině případů); [2], [6], [10], [11].

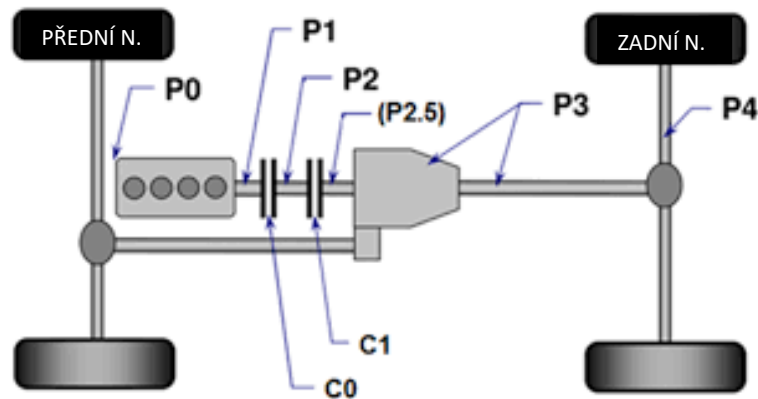


Obrázek 5: Schéma toku energie dle uspořádání hnacího řetězce



### 3.3. Rozdělení dle umístění elektromotoru

S tímto dělením se lze setkat především v rámci konkrétnějšího popisu pohonného systému. Zřídka však dané kategorie vyhovují danému konstrukčnímu řešení, a tedy nelze ve všech případech toto symbolizování použít.



Obrázek 6: Možnosti umístění elektromotoru [13]

P0	e-motor spojen s klikovým hřídelem přes řemen. Možnost rekuperace, start-stop
P1	e-motor na vstupní hřídeli mezi ICE a spojkou. Možnost rekuperace, start-stop
P2	e-motor na vstupní hřídeli mezi spojkou a převodovkou. Vylepšená akcelerace, možnost rekuperace, start-stop. Při určitých jízdních režimech možnost e-módu.
P2,5	e-motor integrován do hybridní převodovky. Není nutná žádná spojka mezi ICE a převodovkou. Vylepšená akcelerace, možnost rekuperace, start-stop. Při určitých jízdních režimech možnost e-módu. (DHT)
P3	e-motor umístěn na výstupní hřídeli mezi převodovkou a diferenciálem. Možnost rekuperace. Při určitých jízdních režimech možnost e-módu.
P4	e-motor umístěn na zadní nápravě a pohání ji. Možnost funkce e-AWD (vylepšení jízdní dynamiky), možnost rekuperace, e-mód. Potenciál snížení CO <sub>2</sub> až okolo 20 %.

Pozice P0 a P1 neumožňují mechanické odpojení e-motoru od spalovacího, zatímco P2, P3 a P4 jsou schopny odpojit e-motor od spalovacího motoru prostřednictvím spojky; [15], [16].

## **4. VÝVOJ KOMPONENT HYBRIDNÍCH VOZŮ**

V posledních 25 letech dochází u hybridních vozů k vývoji jednotlivých komponent pohonného systému. Úpravy součástí se dějí v důsledku lepšího poměru cena/výkon, hlubších poznatků o komponentách v průběhu let, nebo z hlediska důležitosti redukce emisí. Razantní úpravy nastaly u akumulátorů energie (elektrické), kdy se na začátku využívaly hlavně Ni-MH články. Tyto články prošly postupným vývojem, kde se u nich znatelně zlepšila výkonová hustota a částečně se potlačilo samovybíjení, ale v této době lze říci, že dosáhly svého maxima a v budoucnu se s nimi již příliš nepočítá. Okolo roku 2010 výrazně klesla cena lithiových článků, což zapříčinilo nahrazení Ni-MH akumulátorů. Dalším důvodem přechodu na tento typ je téměř dvojnásobná hustota energie. Na bázi lithia existuje mnoho typů článků jako jsou například lithium-iontové, lithium-polymerové, lithium-titan-oxidové, lithium-železo-fosfát, lithium-Air. Liší se zejména v rychlosti dobíjení, hmotnosti a hustotě energie. Dnes jsou nejužívanější články v hybridních vozech Lithium-iontové (Li-ion) doplněné manganem. Ni-MH lze najít už jen pouze u starších typů vozidel (zejména Toyota).

Dalšími úpravami si též prošel elektromotor, který je dnes téměř u všech výrobců hybridních aut bez výjimky synchronní s permanentními magnety – PMSM, jehož cena a zároveň účinnost jsou vysoké. Významný technický vývoj zaznamenal spalovací motor, kde se automobilky soustředí zejména na maximální účinnost, úsporu a snížení emisí. Ve světě se lze běžně u hybridních vozů setkat s benzínovým řadovým 4-válcem s objemem okolo 2 litrů. V Evropě u luxusnějších značek mají ještě značný podíl dieselové motory, které jsou sice dražší, těžší ale prokazují nižší spotřebu. Bohužel emise jsou u dieselových motorů obecně vyšší, což řeší katalytická redukce (NOx). Jedná se o vstřík vodného roztoku syntetické močoviny před katalyzátor, čímž se výrazně snižují emise.

Mezi další parametry, které se snaží výrobci neustále zlepšovat patří hmotnost. S rostoucí kapacitou akumulátorů roste i hmotnost, což má za následek, že hybridní vozy jsou obvykle těžší než auta se spalovacím motorem. Proto se využívají lehčí materiály v podvozku, pohonném řetězci, karoserii, či u pneumatik. Nynější trend pneumatik je větší průměr a menší šíře s nízkým valivým odporem a s použitím odlehčených materiálů. Na úsporu paliva se též dbá snížením jízdních odporů aerodynamickou úpravou karoserií a zmenšením čelní strany, což je viditelné například u Toyoty Prius.

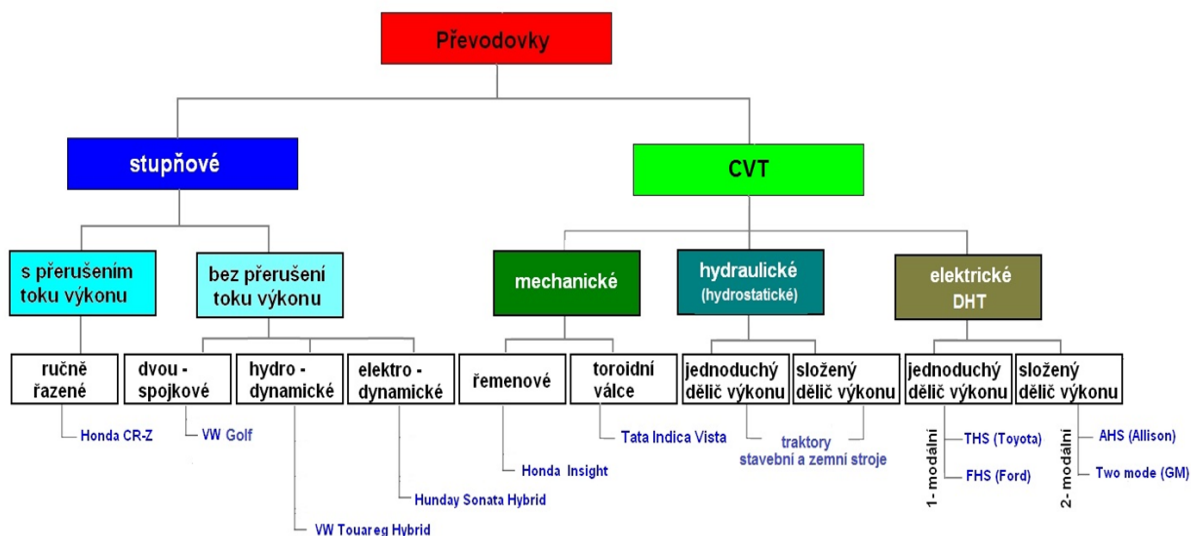
Všiml jsem si faktu, že mezigenerační nárůst výkonu elektromotorů není nijak znatelný. To samé lze konstatovat pro kapacitu akumulátorů. Důraz je kladen spíše na zvýšení účinnosti. Automatická regulace celého systému pohonu řídicí jednotkou a vyřešení komplexního působení jednotlivých komponent zůstávají největšími technickými problémy. Výrobci se snaží o výhodnou spolupráci dvou pohonů a využití jejich výhod při jízdě, na což má velký vliv převodové ústrojí; [2], [10], [11].

#### 4.1. Převodovky v hybridních pohonech

Spalovací motory používané v dopravních prostředcích, ať už zážehové či vznětové, přes mnoho výhod, jako je například vysoký poměr mezi výkonem a hmotností a relativně velkou účinností, mají i několik základních nevýhod:

- nejsou schopny produkovat krouticí moment při otáčkách blížících se nule
- maximální výkon motor produkuje jen při určitých otáčkách
- spotřeba paliva závisí na otáčkách motoru, na produkovaném výkonu

Proto se již od počátku vývoje spalovacích motorů používají převodovky jako měniče mezi otáčkami a krouticím momentem. Převodovka je řazena mezi motor a rozvodovku za účelem nejefektivnějšího využití motorové charakteristiky. Mezi další funkce patří například schopnost změnit smysl otáčení hnané nápravy (zpětný chod) či přerušení výkonového toku z motoru na hnanou nápravu (neutrál). Automobilový průmysl se snaží pomocí převodovek docílit maximálního využití výkonu motoru, vyšší účinnosti a co nejplynulejší změny převodových stupňů. Větší koncerny se zabývají vývojem převodovek přímo do hybridních vozidel, které jsou uzpůsobeny pro tento typ pohonu.



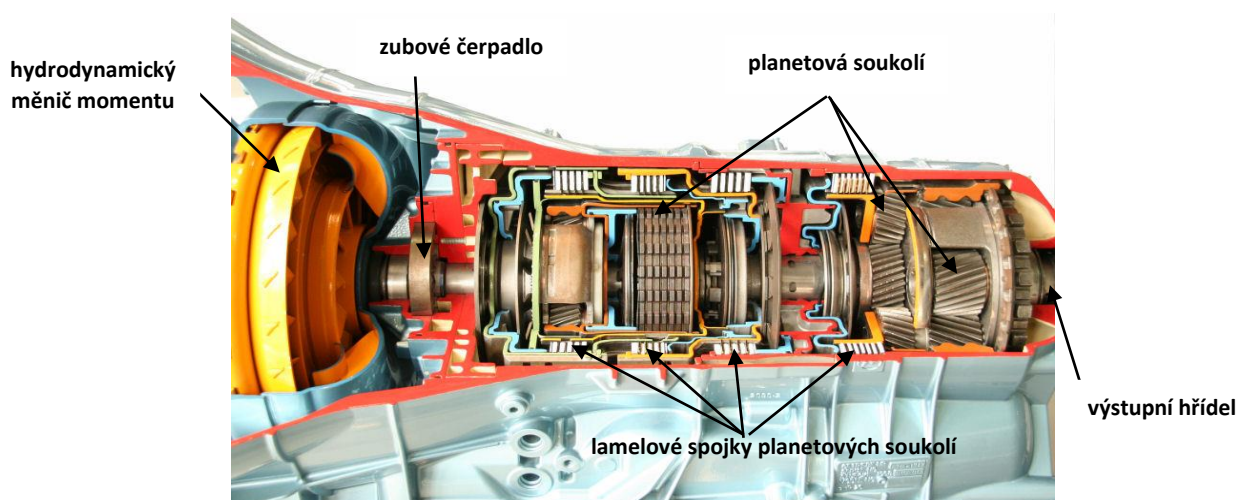
Obrázek 7: Převodovky v hybridních pohonech [11]

Převodovka je další komponentou pohonného ústrojí, která u hybridních vozů prochází vývojem v průběhu let. Převodovka hybridních aut koná stejné funkce jako u běžných automobilů. Proto v některých typech hybridních aut najdeme stejné převodovky jako u aut se spalovacím motorem, ale některé značky (např. Toyota) výrazně upravily své návrhy. Pro různý stupeň hybridizace pohonu bylo zveřejněno množství modifikací, které mají obvykle své odlišné využití. Společnou věcí ale je, že všechny návrhy se snaží o chod motoru v co nejučinnějším pásmu nebo o rozumnou kombinaci spotřeby paliva a točivého momentu. Významným faktorem je skutečnost, že elektromotor pracuje za vysoké účinnosti při nízkých rychlostech. Je používán při rozjezdu, kdy točivý moment nabývá

nejvyšších hodnot a při situacích, při nichž zatížení a rychlost nejsou vysoké. Za vyšších rychlostí přebírá hlavní roli spalovací motor, neboť elektromotor za těchto podmínek ztrácí účinnost a hodnotu točivého momentu. Této skutečnosti se využívá v dnešních hybridních převodovkách (zejména CVT nebo e-CVT), které se kvůli svým plynule měnitelným převodům dokáží přizpůsobit jízdním módům, čímž dokáží šetřit energii. CVT převodovka (variátor) využívá k plynulé změně převodu pás (řetěz nebo řemen) a kuželové elementy, zatímco e-CVT užívá planetový dělič s integrovanými elektromotory, u nichž se mění otáčky a tím se mění celkový převodový poměr. Elektromotor velmi efektivně vytváří takový převodový poměr, který je dle režimu jízdy zrovna potřeba a mechanismus bez něho nemůže fungovat. Převodovky e-CVT nachází uplatnění v hybridních vozech pod názvem DHT (Dedicated Hybrid Transmission). Výhodou je, že elektromotor může pracovat v oblasti optimální účinnosti a též zjednodušení převodů. DHT převodovky jsou celosvětově velmi prodávané hybridní převodovky a jejich vrchol vývoje se očekává až okolo roku 2025. Další převodovky, které se v hybridních vozech užívají jsou stupňové automatické převodovky. Využití nacházejí zejména u evropských značek. Ať už se jedná o verzi s hydrodynamickým měničem (BMW) či dvouspojkovou verzi DCT (Volkswagen, Audi). S inovativním řešením převodovek přišla firma ZF, která nabízí se svými tzv. hybridními moduly několik výkonových tříd. Tyto třídy modifikují vozidla na mild, full a plug-in hybrid. Principem se nijak zvláště neodlišují od ostatních hybridních verzí, ale lze takto „hybridizovat“ běžné automatické převodovky. Dalším používaným řešením je tzv. reduktor. Ten snižuje otáčky vstupní hřídele a současně zvyšuje točivý moment výstupní hřídele. Většinou má neměnný převodový poměr a většinou se užívá u sériových koncepcí, kde elektromotor je přímým pohonem vozu, u něhož není optimální ho spojit s poháněnými koly bez redukce. Lze se výjimečně setkat i s manuálním konceptem, který stále užívá například Honda, ale kvůli své složitosti se zatím většího úspěchu nedočkal. U hybridních vozidel je obecně největším problémem převodovek nutnost řazení pod zátěží. Proto jsou nejčastěji užívanými převodovkami stupňové automatické, nebo CVT. Ekonomickému provozu prospívají i výrobcem nastavené režimy, jejichž přechody zajišťují řídicí jednotky. Zatím to vypadá, že směr hybridních převodovek budou v nadcházející době udávat DHT převodovky a jejich vývoj; [2], [10], [11].

#### 4.1.1. Hydrodynamická převodovka s hydrodynamickým měničem

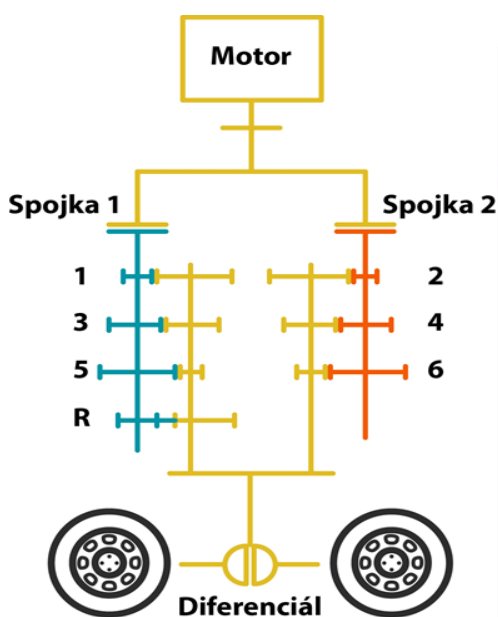
Jedná se o nejběžnější typ automatické převodovky. Hydrodynamický měnič je vstupní člen samočinné převodovky, který nahrazuje spojku a má za úkol plynule přenášet a měnit točivý moment s rostoucím zatížením motoru, využíváním proudění kapaliny uvnitř měniče. Skládá se ze tří lopatkových kol → čerpadlového, které je spojené s klikovou hřídelí motoru, turbínového spojeného se vstupním hřídelem převodovky a reaktorového, který je spojen se skříní měniče a může se otáčet jen ve stejném směru jako čerpadlové a turbínové kolo. Čerpadlové kolo je poháněno motorem se stejnými otáčkami. Vlivem odstředivé síly je kapalina tlačena mezi lopatkami čerpadlového kola směrem ven a roztáčí turbínové kolo. Kapalina poté teče přes lopatky reaktoru opět do čerpadlového kola. Tím je vnitřní oběh kapaliny v měniči uzavřen. Pokud převodovka zařadí rychlost, pohybem oleje se turbína roztočí a přes převodovku pohání kola. Kvůli velkému prokluzu je točivý moment motoru stále násoben. Pokud řidič přidá plyn, čerpadlo se roztočí rychleji a pohyb oleje pružně přenáší změnu otáček na turbínu. Řazení je možné díky lamelovým spojkám a brzdám, které spojují jednotlivá soukolí a umožňují volit různé převodové poměry. Planetové soukolí umožňuje řazení bez přerušení toku výkonu (pod zatížením). Pokud se otáčky čerpadla a turbíny při jízdě téměř vyrovnají, proud oleje v měniči začne působit opačným směrem a hydrodynamický měnič se začne chovat jako hydrodynamická spojka. Pokrok v oblasti měničových převodovek přišel s takzvanou blokací měniče. Při ustálené jízdě v měniči stále dochází k prokluzu a přenos síly se tak stává neúčinným. Blokací měniče se myslí spojka, která hydrodynamický měnič „přemostí“ a síla z motoru se do převodovky přenáší bez ztrát. K výhodám této převodovky patří hladký a plynulý rozjezd bez sešlápnutí spojky (bez přerušení toku výkonu), šetří motor (bez přetáčení) a vícestupňové převodovky nabízejí malé přeskoky mezi rychlostmi a velký převodový poměr (snížená hlučnost a spotřeba). Naopak nevýhodou je nižší účinnost než u manuálních typů, složitost konstrukce, vyšší cena a nutnost chlazení, protože se olej vlivem prokluzu zahřívá; [17], [18], [19].



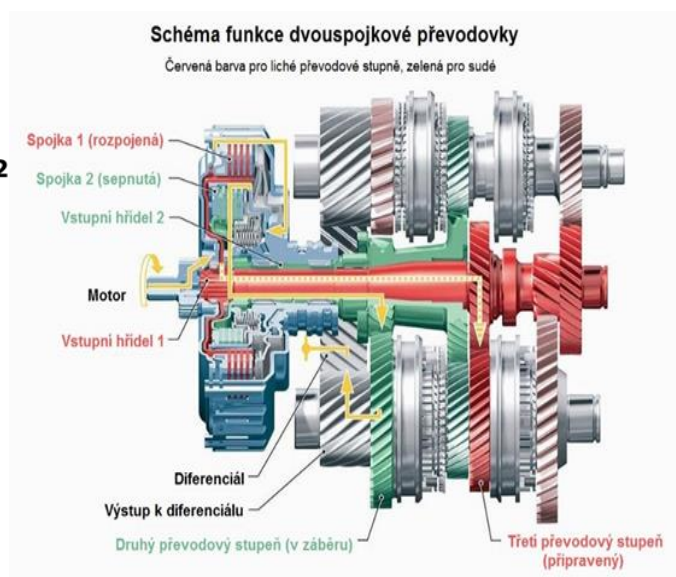
Obrázek 8: Popis hydrodynamické převodovky [19]

#### 4.1.2. Dvouspojková převodovka (DCT, DSG, PDK)

Ve svých katalozích automobilky uvádí odlišné obchodní názvy pro tento typ převodovky. U BMW ji uvádějí pod názvem DCT, Audi a Volkswagen jako DSG a Porsche pod názvem PDK. Jedná se o převodovku, u které je hydroměnič nahrazen dvěma spojkovými mechanismy. Lze ji popsat jako dvě oddělené, paralelně uspořádané převodovky, které mají společnou výstupní hřídel. Jedna převodovka slouží pro řazení lichých rychlostí a druhá pro řazení sudých rychlostí a zpátečky. Do převodovky je přiveden točivý moment přes speciální automatickou dvojitou spojku, která je tvořena dvěma paralelními spojkami. Každá spojka přenáší točivý moment na jednu převodovku. Kvůli této elektro-hydraulicky ovládané spojce mohou být v převodovce zařazeny dva rychlostní stupně naráz (jeden v liché části a druhý v sudé části), ale pouze jeden v tahu. Ke změně převodu pak dojde pouze pomocí spojek. Jedna se rozpojí a druhá spojí. Tato převodovka předvídá následující stupeň pro zařazení, takže když se jízda zrychluje předřazuje vyšší stupeň, když zpomaluje tak nižší. Výhodou této převodovky je především kombinace vysoké účinnosti (nemusíme uvažovat prokluz hydroměniče) a jízdního komfortu (plynulá a rychlá součinnost obou převodovek při řazení). Další výhodou je řazení pod zatížením, kdy při řazení nedochází k přerušování hnací síly vozidla. Mírné nevýhody jsou znát při prudkém podřazení, kdy převodovka musí přeorganizovat své rychlosti a až poté lze provést změnu převodu. Většina dvouspojkových převodovek využívá „mokrý“ vícelamelové spojky (v olejové lázni), které se lépe chladí a snáší vyšší zátěž, než „suché“ jednodamelové spojky, které se snadno přehřívají a opotřebovávají; [17], [18], [20], [21].



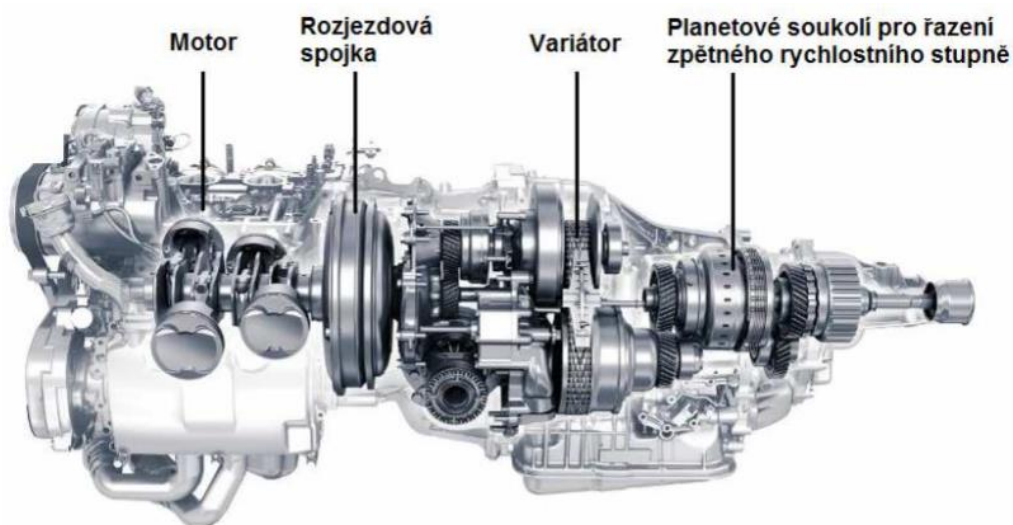
Obrázek 9: Schéma rozložení stupňů ve dvouspojkové převodovce [21]



Obrázek 10: Popis dvouspojkové převodovky [20]

### 4.1.3. Převodovky s plynule měnitelným převodovým poměrem (CVT)

Tento typ patří k automatickým převodovkám a je většinou používán u japonských značek. Kvůli svým vlastnostem se CVT výborně hodí do hybridních vozů. Oproti manuálním a běžným automatickým převodovkám se vyznačují tím, že nemají pevně určené převodové stupně a do sebe zapadající ozubená kola, ale pouze velké rozpětí od nejllehčího k nejtěžšímu převodu. V tomto rozpětí může převodovka plynule měnit převod bez jakéhokoliv projevu řazení (bez rázů a nízká hlučnost) a může tak nabídnout nekonečně mnoho převodů. CVT opět nemají spojkový pedál a převodovka má jen elektronicky ovládanou rozjezdovou spojku nebo hydrodynamický měnič. Činnost CVT převodovky je založena na principu tzv. variátoru, který je tvořen dvěma protilehlými řemenicemi (dva páry kuželových kol). Mezi řemenicemi obíhá řemen, který má stálou délku. První řemenice je napojena na vstupní hřídel (motor) a druhá na výstupní (kola). Změna poměru otáček jednoho kužele ke druhému se děje axiálním posouváním kuželových kol, díky čemuž se mění průměr, který řemen opisuje. Při rozjíždění je na první řemenici připraven nejmenší průměr z důvodu potřeby největší tažné síly, druhá řemenice se automaticky nastaví na největší průměr, kvůli pevné délce řemene. Při větších rychlostech je tomu naopak. Nastavování vhodného průměru řemenic má na starost elektronika, která vyhodnocuje ideální průměr v závislosti na rychlosti vozidla a otáček motoru. Výhodou CVT převodovky je, že dokáže měnit otáčky motoru podle potřeby pro dosažení maximálního výkonu i maximální účinnosti paliva. Důvodem je nekonečný počet převodových stupňů (bez pevných převodových poměrů). Řídící elektronika vybírá přesně takový bod, aby byla práce pohonného ústrojí co nejefektivnější, ať už pro maximální akceleraci vozidla, nebo minimální spotřebu paliva. Naopak nevýhodou představuje přenos pouze malých točivých momentů, ztráty způsobené prokluzem řemene (nejvíc namáhaná část převodovky). Pro agresivnější řidiče ještě to může být monotónní zvuk při řazení, neboť převodovka drží motor v jedné konkrétní otáčce, zatímco plynule mění převod; [17], [18].



Obrázek 11: Popis CVT převodovky [17]

## 5. DHT PŘEVODOVKY

Novým trendem hybridních převodových systémů je tzv. DHT převodovka (Dedicated Hybrid Transmission). Jedná se o speciálně navrženou převodovku pro HEV a PHEV vozidla, jejíž historie započala v roce 1997, kdy Toyota představila svůj hybridní model Prius a součástí byla právě DHT převodovka. Standardně se hybridizace převodů řeší předřazením elektromotoru před převodovku, ovšem u tohoto typu jsou elektromotory (elektromotor) integrální součástí konstrukce a převod bez nich není funkční. Jde tedy o převodovku, která kromě motoru s vnitřním spalováním (ICE) pracuje pouze v kombinaci s jedním nebo více elektromotory, které obvykle dosahují výkonu 80-140 kW. Tyto elektrifikované převodovky do hybridních vozidel se dají vyvinout ze stávajících koncepcí, tj. z dvouspojkových převodovek (DCT), planetových automatických převodovek (AT) či převodovek s plynule měnitelným převodovým poměrem (CVT). Nejméně jeden elektromotor je součástí převodovky a používá se buď jako generátor, nebo jako hnací jednotka. DHT mohou nabízet několik režimů (módů), například sériový, paralelní, vše elektrické a ICE, či zapojit více elektromotorů v konstrukci převodovky, čímž dokáží efektivně přizpůsobit jízdu daným podmínkám. Funkčnost převodovky závisí na obou zdrojích pohonu. DHT musí splňovat standardní hybridní funkce, jako je rekuperace (rostoucí účinnost pohonu) a režim zvýšení výkonu (boost). Většinu DHT představují Power-Split DHT, známé z Toyoty Prius. Na trhu jsou všechny známé koncepty DHT chráněny patenty a několik výrobců se snaží vyvinout svůj vlastní koncept. Inovativní koncepty DHT mají zásadní význam pro vývoj HEV/ PHEV. Cílem je překonat nedostatky stávajících DHT např. novými možnostmi dělení výkonu.

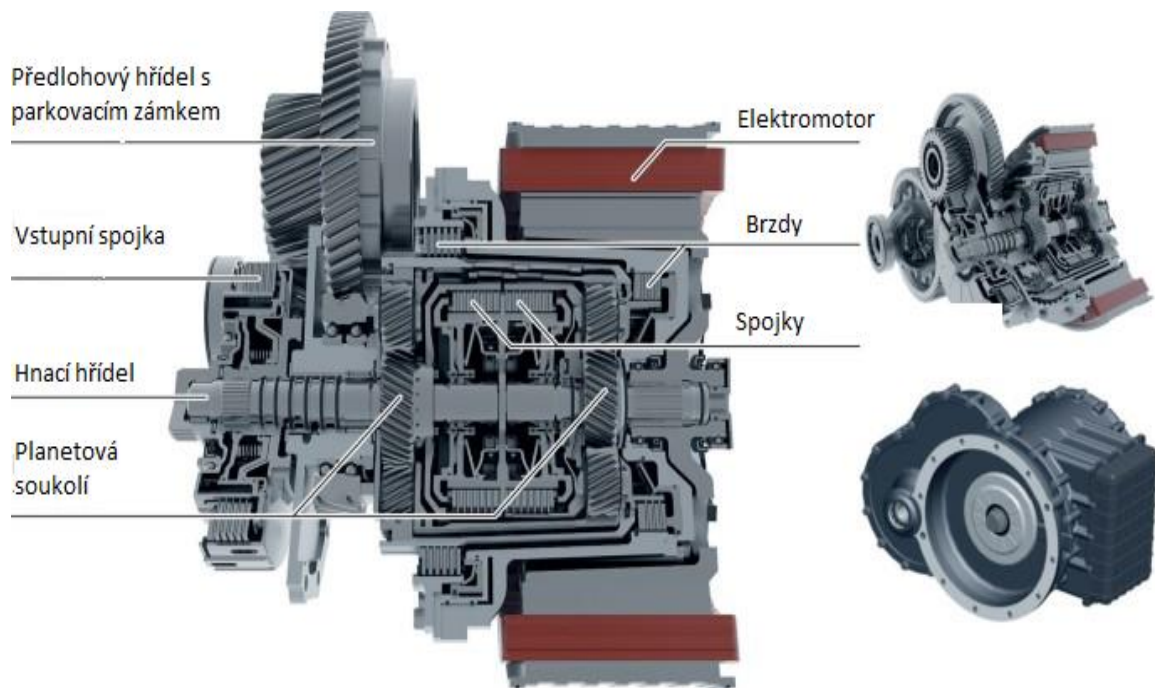
Nově jsou zavedeny koncepty s kombinovanou strukturou, kde lze najít kombinaci planetového soukolí z automatické převodovky (AT) se zubovou spojkou z DCT. Výhody obou přenosů lze efektivně integrovat, aby bylo možné realizovat přechod režimu bez přerušování výkonu. Tímto způsobem mechanická a elektrická složitost konceptů dosahuje vynikající rovnováhy. Výrobci se snaží dosáhnout co nejvyšší účinnosti za co nejmenší spotřeby paliva. Důraz je též kladen na jednoduchost a příznivou cenu. DHT představují směr vývoje HEV / PHEV; [22], [23], [24], [39].



Obrázek 12: Konstrukce DHT převodovky [25]



## 5.1. Komponenty DHT převodovky a jejich funkce



Obrázek 13: Komponenty vzorové DHT převodovky

Elektromotor – integrován v převodové skříni na výstupní straně, počet se liší dle konceptu (1-2), synchronní s permanentními magnety, obvyklý výkon 80-140 kW, převod bez něho není funkční, funguje jako generátor nebo hnací jednotka, zvyšuje výkon systému (e-boost)

Brzdy – řadící element, při řazení snižuje výkon daného elektromotoru

Vnitřní spojky – řadící element, dle jízdních podmínek spojují a odpojují elektromotor (elektromotory) a zajišťují tak EV režimy

Planetová soukolí – využití u Power-Split konfigurace, funguje jako dělič výkonu

Vstupní spojka – nejčastěji lamelová, funkcí je přenášet hnací sílu z motoru do převodovky

Předlokový hřídel s parkovacím zámekem – zařízení uvnitř automatické převodovky, při parkovacím režimu zablokuje převodovku a vozidlo se tak nemůže pohybovat, parkovací zámek nemusí být nutně umístěn na předlohovém hřídeli

Hnací hřídel – jsou na něm uloženy téměř všechny hlavní komponenty převodovky

Je nutné zmínit, že se jedná o vzorový typ DHT převodovky a ostatní koncepty se mohou od uvedeného výrazně lišit.

V následující části práce jsem si dovolil vycházet z odborné publikace "*Innovative Dedicated Hybrid Transmission Concepts in the Next Generation of Hybrid Powertrains*" [24], která se věnuje nynějším a předpokládaným budoucím konceptům DHT převodovek.

Řešení problémů týkajících se znečištění životního prostředí s sebou nese řadu přísných předpisů. EU zavedla omezení emisí CO<sub>2</sub> na 95 g/km, čímž tedy roste poptávka po elektrifikovaných vozidlech. Podle elektrifikace lze rozdělit vozidla do dvou tříd:

- 1) BEV / FCV
- 2) PHEV / HEV

BEV v současné době mají hlavní nevýhody týkající se nákupních nákladů, dobíjecích stanic a doby nabíjení. FCV technicky neznečišťují životní prostředí, ale technologie se nachází na počátku vývoje s čímž souvisí vysoké náklady a nedostatečné vybavení. Tyto faktory aktuálně značí velký potenciál HEV/PHEV vozidel.

V této části bych rád shrnul inovativní možnosti řešení převodových ústrojí PHEV/HEV vozidel. Rozlišují se dvě možnosti převodových ústrojí u hybridních vozidel:

**a) Přídavná řešení (Add-on):** K tradičnímu hnacímu ústrojí je přidán jeden nebo dva elektromotory, kde hnací ústrojí je vybaveno DCT. Technicky je toto řešení velmi komplikované a z ekonomického hlediska taktéž nepříliš výhodné.

**b) DHT:** Jedná se o hybridní převodovku navrženou přímo pro hybridní vozidla, která efektivně kombinuje spalovací motor a elektromotor v jednom hnacím ústrojí. S pomocí dvou elektromotorů může spalovací motor účinně pracovat v optimálních bodech. Toto perspektivní řešení prochází neustálým vývojem a vznikají nové koncepce, proto bych se dále věnoval tomuto typu.

## 5.2. Analýza stávajících konceptů

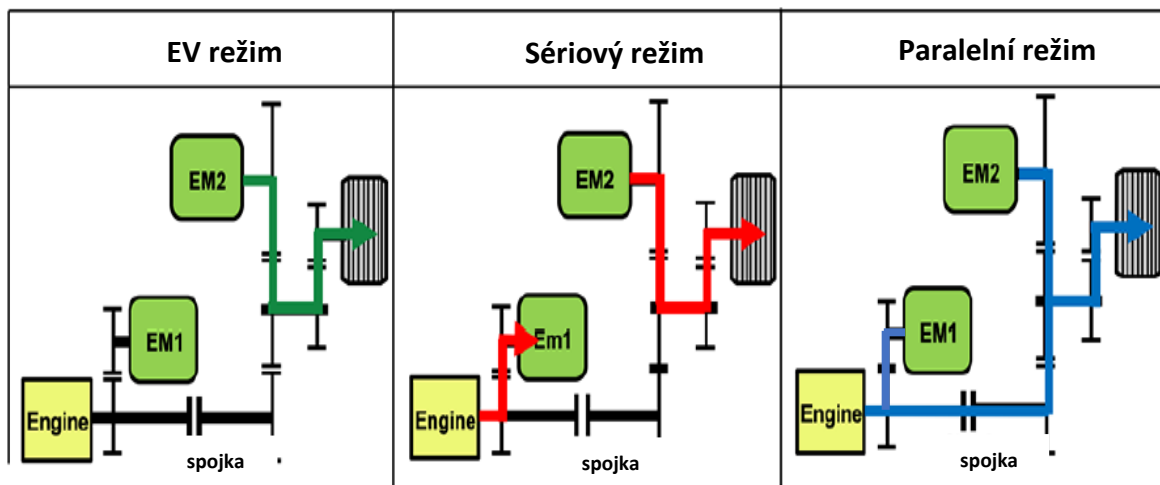
Je třeba najít ideální koncept, který umožňuje vhodné spojení systému spalovacího motoru a jednoho či více elektromotorů. Problém spočívá v tom, jak efektivně propojit různé zdroje energie a jejich funkce a zároveň myslet na jednoduchost, spolehlivost a nízkou cenu hnacího ústrojí. Důležitá je součinnost výkonu motoru, parametrů převodovky, elektromotorů a kapacity baterie. Tyto faktory ovlivňují spotřebu celého vozidla. Výzkum je soustředěn zejména na volbu vhodných jízdních režimů stanovením ideálních pracovních bodů při různých jízdních podmínkách. Výkon a cena jsou dvě zásadní kritéria pro hodnocení konceptu DHT. Otázkou je, jak vyvinout koncept DHT s nejnižšími náklady se zárukou jeho výkonu. Náklady na DHT zahrnují mechanické a elektrické náklady, které mají určitou mechanickou a elektrickou složitost. Mechanická složitost se týká mechanické struktury (počet rychlostních stupňů, planetových soukolí, řadících prvků). Elektrickou složitostí je myšlen požadovaný výkon elektromotoru. Nyní bych rozdělil DHT převodovky do dvou skupin, které se vyskytují na nynějším trhu a porovnal je po mechanické a elektrické stránce; [24].

### 5.2.1. Sériově-paralelní (Series-Parallel) konfigurace:

Tento typ DHT převodovek je složen z klasických převodů jako u AT a DCT převodovek a má více než jednu hřídel, která je paralelně umístěna v převodové skříni. Příkladem tohoto typu je systém Honda Accord i-MMD (3.generace).

#### 5.2.1.1. Honda Accord i-MMD

Jedná se o systém, který je konstrukčně relativně jednoduchý, kde existuje pouze jedna spojka, která odděluje spalovací motor od kol. Maximální výkon obou těchto elektromotorů dosahuje přes 100 kW, aby se plně využil potenciál tohoto konceptu. Je zde možnost několika módů, které se aktivují dle jízdních podmínek. Na schématu (Obrázek 14) jsou znázorněny možnosti jízdních režimů sériově-paralelních konceptů:



Obrázek 14: Pracovní režimy konceptu Honda Accord i-MMD [24]

- 1) Režim EV (čistě elektrický) – při rozjezdu a nižších rychlostech (nabité baterii). V tomto režimu je spalovací motor odpojen od hnacího ústrojí (menší ztráty)
- 2) Sériový (hybridní) režim – při středních rychlostech. Samotný elektromotor (EM2) pohání přední kola a spalovací motor (odpojen od kol) pohání generátor (EM1), který dodává energii akumulátoru. V této situaci systém funguje jako sériový hybrid. Elektromotor nabízí velké zrychlení a téměř okamžitě dokáže dosáhnout maximálního kroutícího momentu díky elektrické energii, která je získána díky spalovacímu motoru/generátoru a baterii.
- 3) Paralelní režim – při vysokých rychlostech. Kvůli vyšší účinnosti ve vyšších rychlostech je pohon přímo řízen zážehovým spalovacím motorem s Atkinsonovým cyklem pomocí spojky, která účinně spojuje generátor (napojen na spalovací motor) s elektromotorem a efektivně přenáší hnací sílu ze spalovacího motoru na kola. V této situaci pracuje systém jako paralelní hybrid, ve kterém jsou kola poháněny jak spalovacím motorem, tak v případě potřeby i elektromotorem (akcelerace).

Elektrické motory vyvinuté společností Honda používají permanentní magnety, které neobsahují žádné těžké kovy vzácných zemin. Velikost motoru, elektromotoru a baterie se liší v závislosti na různých velikostních a výkonových požadavcích vozidel.

Verze třetí generace je použita v modelech CR-V Hybrid, Insight, Accord (Honda 2019). Například model CR-V Hybrid je vybaven dvoulitrovým motorem i-VTEC s Atkinsonovým cyklem o výkonu 107 kW a elektromotorem 135 kW s točivým momentem 315 N.m.



*Obrázek 15: Hnací ústrojí Honda CR-V Hybrid [27]*

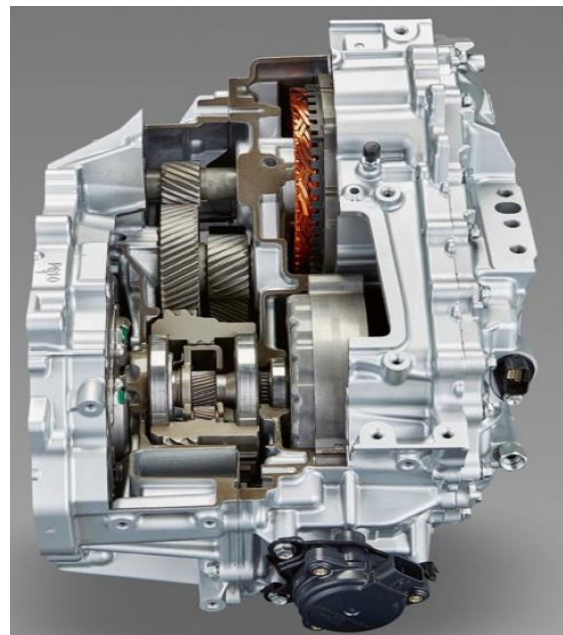
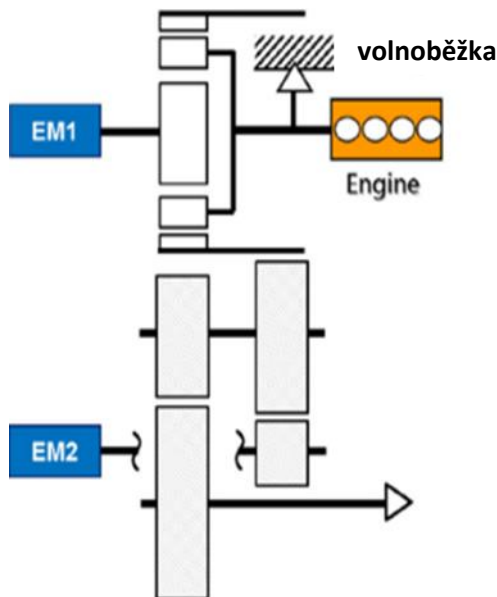
Do této skupiny můžeme zařadit ještě systémy jako VW TwinDrive nebo GAC G-MC. U všech těchto systémů je mezi spalovacím motorem a elektromotorem jeden převodový poměr. Tento typ DHT převodovek nemá příliš mnoho variant; [24], [26], [27].

### **5.2.2. Konfigurace s děličem výkonu (Power-Split DHT)**

Dělení výkonu se zde děje kvůli děliči výkonu. Konstrukčně je tato komponenta založena na planetovém diferenciálu (s dvěma stupni volnosti) a kombinuje výhody sériových a paralelních hybridů. Tento systém rozděluje výkon motoru na dvě cesty: jedna jde do generátoru za účelem výroby elektřiny a druhá mechanicky pohání kola. Výhodou je, že otáčky motoru a elektromotoru jsou odděleny, což umožňuje další volnost v ovládní. Na základě dělení výkonu lze tuto kategorii rozdělit na vstupní, výstupní a složené P-S DHT. U vstupních děličů je zapotřebí jedno planetové soukolí, které má vysokou účinnost za nižších rychlostí, ale špatnou účinnost při vysokých rychlostech. Tuto kategorii zastupuje Toyota Prius I.-IV. generace. U druhého typu, kde je dělič výkonu na výstupní straně lze také realizovat pomocí jednoho planetového soukolí, ale vyšší účinnosti dosahuje jen při vyšších rychlostech. Složené dělení výkonu je kombinací vstupního a výstupního děliče. Nejlepší účinnosti dosahuje za vyšších rychlostí. Obecně lze říci, že vstupní dělení výkonu dokáže pokrýt největší spektrum rychlosti za zvýšené účinnosti a dokáže samostatně fungovat bez jakýchkoliv přídatných módů, proto se stává nejvíce užívaným typem. Výstupní a složené dělení nedokáže fungovat bez přídatných hybridních módů. Dále bych uvedl dva nejznámější Power-Split DHT systémy:

### 5.2.2.1. Toyota Prius IV. generace

V roce 2018 Toyota představila upravenou čtvrtou generaci HSD (Toyota Hybrid Synergy Drive). Komponenty tohoto systému tvoří dva synchronní elektromotory s permanentními magnety, dělič výkonu, akumulátor a spalovací motor. Spalovací motor opět pracuje v Atkinsonově cyklu, kvůli zvýšené účinnosti. Nový koncept se značně liší od předchozích tří generací. Změny v převodovém ústrojí jsou zejména v uspořádání hřídelů, kdy se změnilo z koaxiálního na paralelní, jak můžete vidět na Obrázku 16. Převodový systém je složen z jednoho planetového soukolí a dvou párů ozubených kol. Spalovací motor je připojen k unašeci, EM1 (generátor) k planetovému kolu jako v předešlých generacích. Dva elektromotory jsou paralelně umístěny v převodovce, díky tomuto rozmístění je šířka menší o 47 mm než v předchozí generaci. Dělení výkonu v této generaci zajišťuje nízkou spotřebu paliva při časté akceleraci. Toyotou je převodový systém nazýván e-CVT (v překladu: elektricky řízená převodovka s proměnným převodem). Na rozdíl od CVT zde není dosaženo změny převodového poměru pomocí pásu a kuželů, ale díky užití planetového děliče s elektromotory. U nich se mění otáčky a dochází ke změně převodového poměru na potřebný v dané situaci. Napájecí napětí tohoto systému je 600 V. Otáčky elektromotorů dosahují až  $18\,000\text{ min}^{-1}$ . Nové modely obsahují Li-ion akumulátor s kapacitou 8,8 kWh (v EV režimu až 50 km dojezd). Poslední generaci systému se podařilo snížit mechanické ztráty o 20 % (menší hmotnost převodovky a motoru). Kombinovaná spotřeba modelu Prius činí 3,5 litru na 100 km a emise CO<sub>2</sub> klesly na 76 g/km. Termodynamická účinnost zážehového motoru dosahuje 40 %, což se blíží hodnotě vznětových motorů. Novinkou je též pohon všech kol (E-four). Systém může být použit pro HEV/PHEV všech tříd. Od představení byl systém použit ve všech hybridních modelech Toyoty a Lexusu; [24], [28], [29].

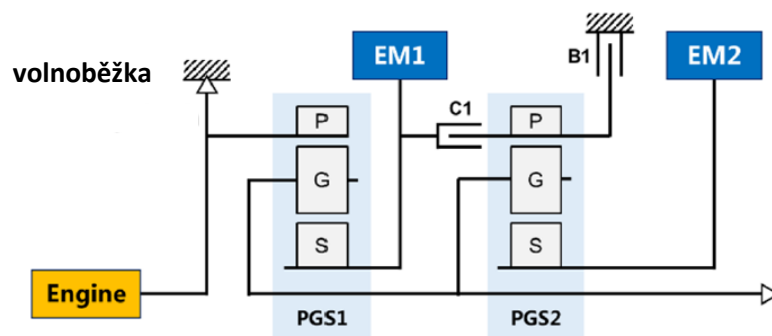


Obrázek 16: Schéma systému Toyota Prius IV [24]

Obrázek 17: Převodové ústrojí Toyota Prius IV [29]

### 5.2.2.2. VOLT II. generace

V porovnání s Prius IV. generace je v tomto konceptu navíc jedno planetové soukolí a dva řadící elementy, které jsou rozmístěny koaxiálně (souose). Konstrukce je značně komplikovanější než u konceptu Prius. Když jsou obě spojky aktivní, jsou oba elektromotory spojeny paralelně prostřednictvím planetových soukolí, což umožňuje zvýšit efektivitu dvěma jízdními režimy EV (jednomotorový a dvoumotorový). V režimu dvoumotorového EV je úkolem zajistit krouticí moment při nízkých otáčkách pro ostré starty a je tak rozdělen mezi dva elektrické stroje. Provozní jednomotorový EV režim je vhodný do situací při nízkém zatížení, jako je jízda v městském provozu a využít je pouze EM2. Li-ion akumulátor má kapacitu 18,4 kWh, což by podle výrobce mělo stačit až na 80 kilometrů jízdy čistě na elektrický pohon.



Obrázek 18: Schéma konceptu VOLT II. generace [24]

Tento koncept kombinuje složené a vstupní dělení výkonu v jednom, díky čemuž dosahuje ekonomičtějších hodnot, a proto může být snížen požadovaný výkon elektromotorů. V rámci kompaktnosti konceptu byl měnič napětí přemístěn přímo do hybridní převodovky oproti minulé generaci. Tato druhá generace těží z celkového snížení váhy převodového ústrojí o bezmála 20 %, převážně kvůli zmenšení obou elektromotorů. Kombinovaná spotřeba by měla být zhruba 5,7 litru na sto kilometrů. Uvedený koncept lze najít v Chevroletu Volt; [24], [29], [30].






Obrázek 19: Převodové ústrojí systému Volt II [29]

### 5.3. Porovnání zmíněných konceptů

Při srovnání lze konstatovat, že mechanicky složitější jsou konfigurace s dělením výkonu (VOLT II a Prius IV), oproti sériově-paralelnímu konceptu (Honda Accord i-MMD). Pro porovnání elektrické složitosti uvádím pokus, kdy byly parametry jednotlivých konceptů aplikovány na jedno vozidlo (spalovací motor měl max. výkon 115 kW). Odlišnost byla pouze ve výkonech elektromotorů daných konceptů. Tato simulace dokázala, že koncepce dosahují stejné maximální rychlosti (185 km/h) a doby zrychlení z 0 na 100 km/h za 6,5 s. Systém i-MMD, známý též jako sériově-paralelní systém, má mnohem větší požadovaný výkon elektromotoru ve srovnání s Power-Split DHT. To znamená, že elektrická složitost sériově-paralelní konfigurace DHT je vyšší než u Power-Split DHT. Ideální koncept by měl dosáhnout rovnováhy mezi mechanickou a elektrickou složitostí. Ohled se musí brát i na to, že elektromotor je dražší než mechanické převody. Elektrickou složitost lze kompenzovat pomocí mechanické, díky vícestupňovým převodům či jízdním režimům. Rozdělení režimů by mělo být, co nejučinnější a počet přiměřený. Důraz konceptů je kladen na jednoduchost prvků, např. volnoběžka, která umožňuje motoru nebo jiným částem se otáčet pouze v jednom směru, což zjednodušuje ovládání systému a šetří místo a náklady oproti jiným druhům spojek.

Tabulka 1: Porovnání zmíněných DHT konceptů

			
<b>Značka</b>	Honda Accord i-MMD	Toyota Prius IV	Volt II
<b>Typ DHT</b>	Sériově-paralelní	Power-split	Power-split
<b>Komponenty</b>	0x planet. soukolí 3x ozub. kolo 2x EM 1x řadící element	1x planet. soukolí 3x ozub. kolo 2x EM 1x volnoběžka	2x planet. soukolí 4x ozub. kolo 2x EM 1x volnoběžka 2x řadící element
<b>Jízdní režimy</b>	1x sériový 1x EV 1x paralelní	1x eCVT 2x EV	2x eCVT 2x EV 1x paralelní
<b>Σ výkon EM [kW]</b>	265	190	122

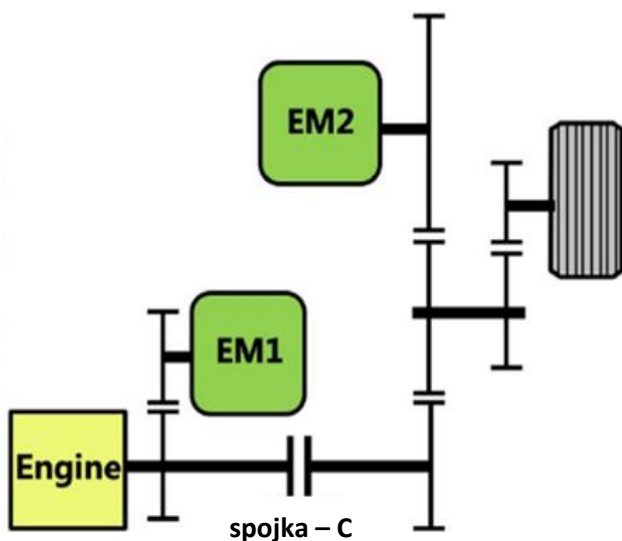
## 5.4. Možnosti další generace DHT konceptů

Dle dříve zmíněné analýzy lze uvést, že sériově-paralelní koncepce má nižší mechanickou, ale vyšší elektrickou složitost. U konfigurace s výkonovým děličem je tomu naopak. Prius IV je takovým mezistupněm mezi zmíněnými koncepty. V následujícím textu budou uvedeny nové možnosti konceptů DHT a směr vývoje zmíněných druhů. Všechny představené nové koncepty spadají pod ochranu autorů institutu – OEMs (= označuje výrobce, jehož výrobek je prodáván a propagován jinou obchodní značkou).

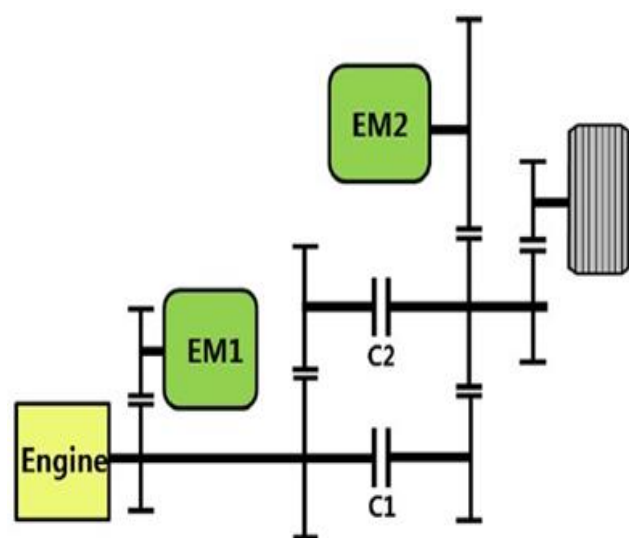
### Sériově-paralelní

Tento druh je vhodný pro OEMs s vynikající technikou spalovacího motoru. V sériovém režimu může motor pracovat samostatně v optimální oblasti spotřeby paliva. Elektrickou složitost/náklady je nutno snížit zvýšením mechanické složitosti. Tento typ nemá velké množství variant. Možností by mohla být vícestupňová DHT v režimu EV nebo paralelním režimu. Která varianta je rozumnější v příští generaci? V další části bude analyzována varianta v multi-paralelním režimu DHT systému Honda Accord i-MMD. Z Obrázku 21 je vidět, že k originálnímu konceptu Hondy je přidán jeden převod a jedna spojka (C2). Tento modifikovaný koncept nazvu pro jednoduchost jako **Koncept A**. Samozřejmě se zvýší mechanická a ovládací složitost, ale když je nový převodový poměr nastaven na  $i > 1$ , tak sériový režim dříve přejde na nový paralelní stupeň. Tímto způsobem lze snížit výkon elektromotorů z 265 na 185 kW se zárukou stejného dynamického výkonu. Ke znázornění dynamických rozdílů těchto dvou konceptů slouží Obrázky 22-25. Porovnání dosažitelných oblastí řízení ve dvou jízdních situacích systému Honda i-MMD:

- Baterie plně nabitá (SOC high) - v této situaci je možný čistě elektrický pohon a baterie pomáhá motoru při jízdě.
- Baterie vybitá (SOC low) – v této situaci je výstupní energie baterie nulová a elektrický pohon není možný, ale dva elektromotory se mohou zapojit do řízení společně s motorem.



Obrázek 20: Schéma systému Honda Accord i-MMD



Obrázek 21: Schéma Konceptu A [24]

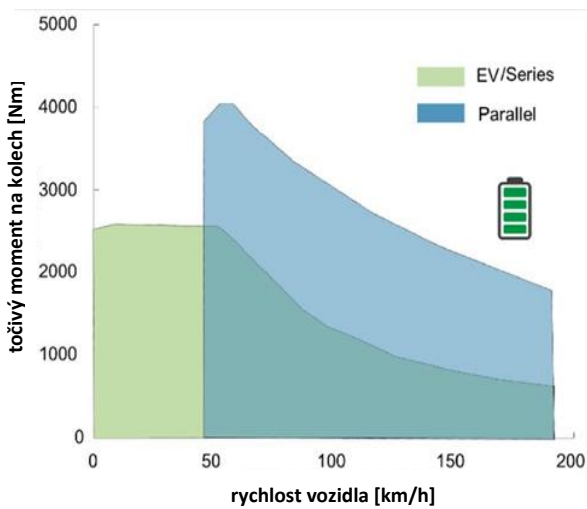


Převodové poměry Konceptu A jsou nastaveny stejně jako u originálního konceptu Hondy, kromě nově přidaného, který je nastaven na poměr 1,5. Maximální výkony elektromotorů jsou 84 kW a 118 kW. Maximální výkon spalovacího motoru je 115 kW.

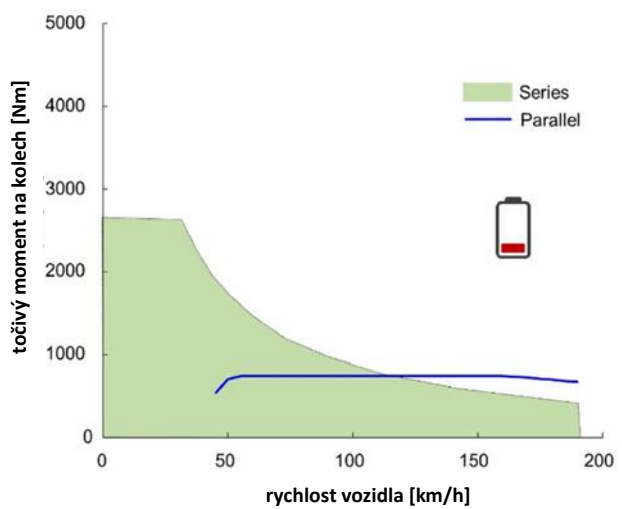
a) Baterie plně nabitá (SOC high) – v této situaci je u konceptu A přidán režim Parallel-2 jak je vidět na Obrázku 24. Tento režim zlepšuje dynamický výkon za nižších rychlostí oproti originálnímu konceptu Hondy, ale za velmi nízkých rychlostí a při startu tomu tak není. K rozjezdu vozidla lze použít pouze EV/sériový režim.

b) Baterie vybitá (SOC low) – Z Obrázku 25 je vidět, že při vybité baterii režim Parallel-2 nepřináší téměř žádné zlepšení jízdní dynamiky v porovnání s originálním konceptem Hondy.

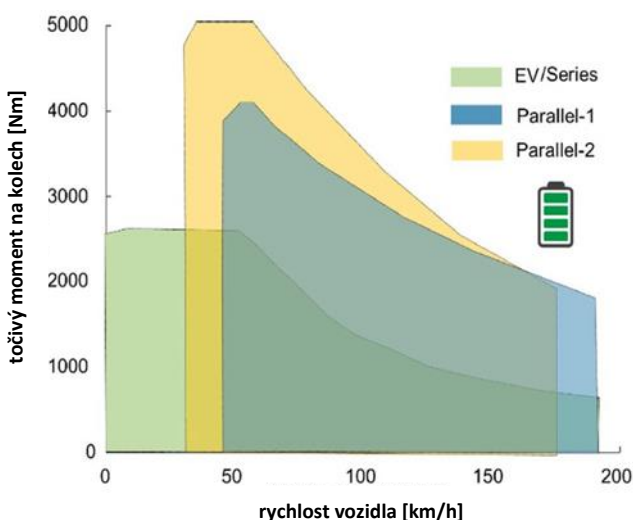
Koncept A tedy nabízí o jeden režim více, což zvyšuje jeho účinnost, a tedy snižuje spotřebu oproti konceptu Hondy.



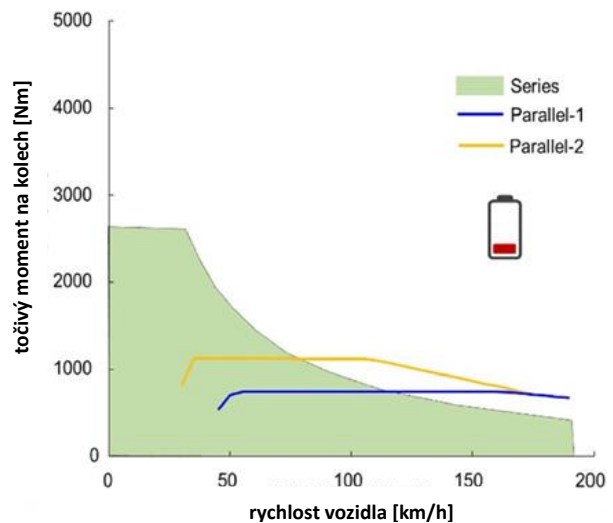
Obrázek 22: Jízdní režimy Honda Accord i-MMD při nabitě baterii [24]



Obrázek 23: Jízdní režimy Honda Accord i-MMD při vybitě baterii [24]

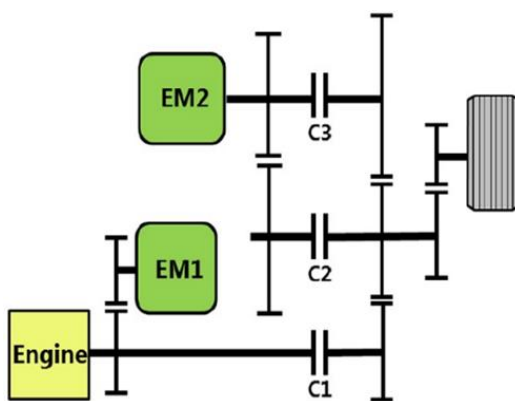


Obrázek 24: Jízdní režimy Konceptu A při nabitě baterii [24]

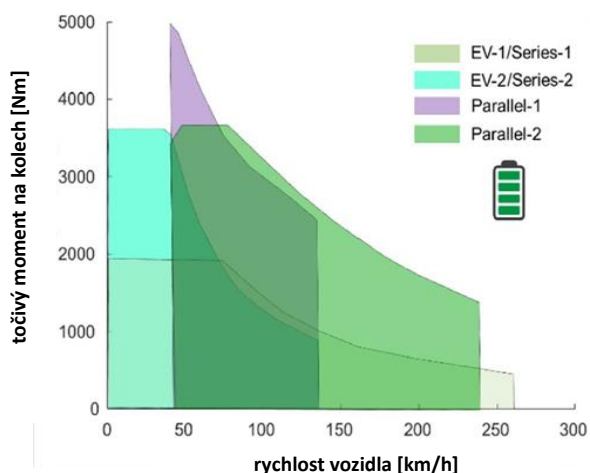


Obrázek 25: Jízdní režimy Konceptu A při vybitě baterii [24]

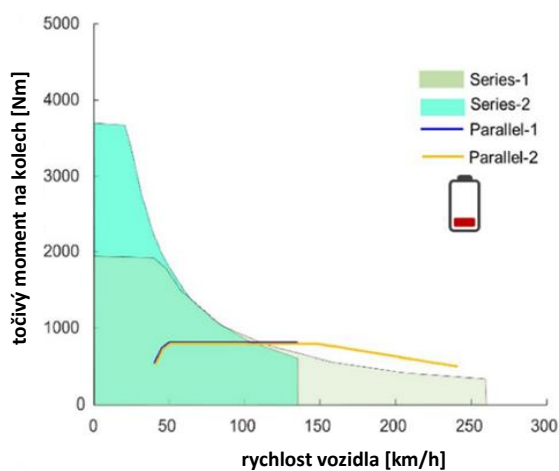
Druhou možností sériově paralelní koncepce by mohla být multi-stupňová varianta v EV módu, která je znázorněna na Obrázku 26. Pro jednoduchost označím tento typ jako **Koncept B**. Z obrázku je patrné, že jsou přidány dvě spojky (C2, C3) a dva převody oproti původnímu systému i-MMD. V paralelním režimu zůstává převodový poměr od motoru ke kolu stejný, ale poměr od druhého elektromotoru (EM2) ke kolu se změní. U tohoto systému lze snížit součet výkonu elektromotorů ze 265 na 135 kW se zárukou stejného dynamického výkonu jako předtím. Dále bych rád porovnal originální systém i-MMD s tímto konceptem B. Pro zdroje energie elektrického motoru a spalovacího motoru platí stále to samé, ale převodové poměry dvou EV módů jsou nastaveny na 3,5 a 2 (v uvedeném pořadí). Jak lze vidět na obrázku, tak tyto dva EV režimy umí efektivně pokrýt celý jízdní cyklus již od startu vozidla, což u konceptu A nebylo možné. Maximální rychlost vozidla lze zvýšit na více než 250 km/h. S těmito dvěma EV režimy lze zvýšit výstupní kroutící moment dle potřeby, jak je patrné z Obrázku 27. Když je baterie vybitá, tak se o chod při rozjezdu i za vyšších rychlostí starají dva sériové režimy (Series 1 a 2). Z této analýzy lze konstatovat, že koncept B poskytuje více EV a sériových režimů, ale s dvěma spojovacími elementy navíc. Režimy účinně pokrývají různé jízdní situace při vybité i nabité baterii. Kvůli lepším vlastnostem lze předpokládat, že podobná varianta jako je Koncept B, by měla být další generací S-P DHT; [24].



Obrázek 26: Schéma Konceptu B [24]



Obrázek 27: Jízdní režimy Konceptu B při nabité baterii [24]



Obrázek 28: Jízdní režimy Konceptu B při vybité baterii [24]

## Konfigurace s děličem výkonu (Power-Split)

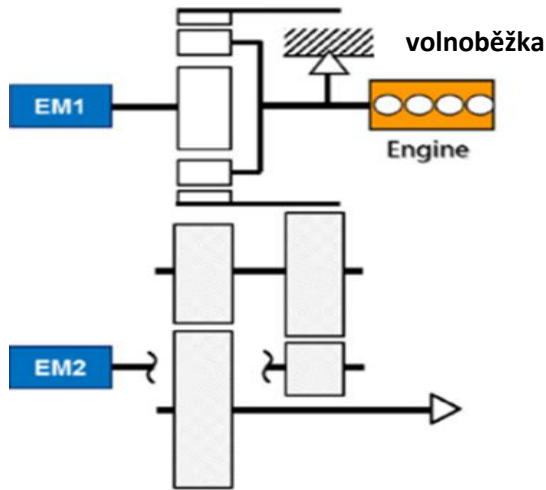
U dvou zmíněných konceptů této konfigurace má systém VOLT II větší mechanickou složitost (2 planetová soukolí, 2 řadící prvky). Oproti tomu Prius IV disponuje větší elektrickou složitostí. Studie předpokládá, že další generací tohoto typu DHT by měl být koncept Prius IV s jedním planetovým soukolím. Pro větší vozidla jako jsou např. SUV je elektrický výkon systému Prius IV nadbytečný a má špatnou účinnost ve vyšších rychlostech. Zvláště na evropském trhu je požadovaná rychlost přes 250 km/h. Ovšem kombinace jednoho planetového soukolí s převodovkou (př. DCT) poskytuje řadu výhod. Počítá se s tím, že DHT v kombinaci planetového soukolí a DCT převodovkou bude znamenat směr vývoje pro hybridní vozidla. Planetové soukolí umožňuje režim dělení výkonu. Převody a řadící element (synchronizační spojka) v DCT poskytuje jednoduchost a velkou účinnost v záběru. Ve struktuře s jedním planetovým soukolím, může být spojen spalovací motor s jedním elektromotorem, což je také výhodou. V této konfiguraci existují dvě výhodné kombinace režimů:

- 1) Vstupní power-split + sériový režim: oba režimy jsou efektivní v nižších a středních rychlostech. Ale kvůli mnoha překrývajícím se funkcím není tato kombinace tolik účinná.
- 2) Vstupní power-split + paralelní režim: vstupní režim má na starost nižší a střední rychlosti a paralelní režim je efektivní při vyšších. Tato kombinace je účinnější.

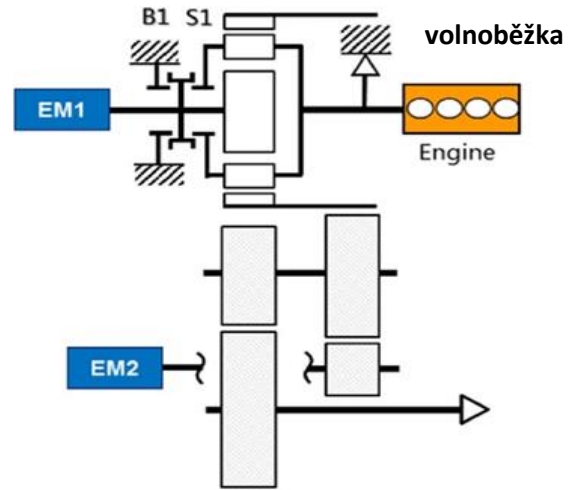
Na základě těchto dvou účinných kombinací a funkčních možností jsou zobrazeny dva **Koncepty (I a II)**.

Z Obrázku 30 je vidět, že u **Konceptu I** byla přidána synchronizační spojka (dvoujádrová) ke konceptu Prius IV. S tímto řadícím prvkem navíc jsou přidány další dva převodové poměry (dva paralelní režimy). Všechny režimy tohoto konceptu můžeme vidět v tabulce (Obrázek 32). Režim e-CVT u Konceptu I je stále stejný jako u originálního Prius IV. První elektromotor (EM1) je použit jako generátor a druhý jako hnací motor (EM2). Rozdíl mezi Konceptem I a Prius IV je v optimalizaci převodových poměrů. Například e-CVT režim v konceptu Prius IV řídí vozidlo ve všech jízdních situacích (od nízkých po vysoké rychlosti), ale Koncept I, který má dva paralelní režimy, tak e-CVT režim pohání vozidlo pouze v nízkých a středních rychlostech. Pro ovládání režimu e-CVT v obou těchto konceptech je EM1 využit k regulaci otáček motoru a EM2 k regulaci točivého momentu motoru pro optimální výkon konceptu. Koncept I je kompaktní, jednoduchý a náklady nejsou o tolik vyšší. Dva převodové poměry navíc lze použít v paralelním režimu, kdy jsou zapojeny oba elektromotory. U Prius IV režim e-CVT pohání vozidlo v celé škále rychlostí, což požaduje velkou elektrickou náročnost pro oba elektromotory ve vyšších rychlostech, což je nevýhoda, kterou se snaží řešit Koncept I. Z průzkumu dle Obrázku 31 vyplynulo, že při nízkých rychlostech je požadovaný elektrický výkon EM1 konceptu Prius IV (zeleně) dvakrát vyšší, než u Konceptu I (modře). S rostoucí rychlostí výkon elektromotoru klesá a je nahrazován spalovacím motorem. Koncept I za nižších rychlostí využije e-CVT režim a následně přepne do módu se spalovacím motorem. Na dálnici vykazuje jízda se spalovacím

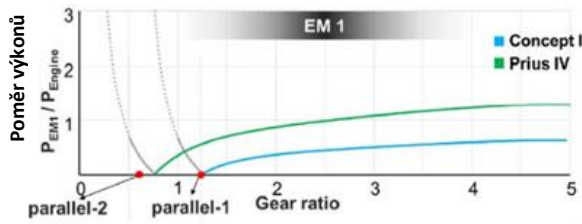
motorem nižší spotřebu paliva. U Konceptu I je stěžejní přechod z e-CVT režimu na Parallel-1 a z Parallel-1 na Parallel-2. U obou procesů je nutno odpojit jeden řadící prvek; [24].



Obrázek 29: Schéma systému Toyota Prius IV [24]



Obrázek 30: Schéma Konceptu I [24]



Obrázek 31: Poměr výkonu EM1 a spalovacího motoru Konceptu I a Prius IV [24]

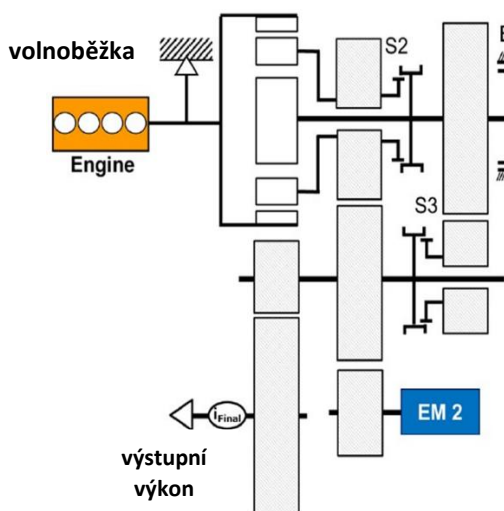
Mode	Engine	EM1	EM2	S1	B1
Parallel-1		•	•	•	
Parallel-2	•		•		•
eCVT-1	•	•	•		
EM-1			•		
EM-2		•	•		

Obrázek 32: Systém řazení Konceptu I [24]

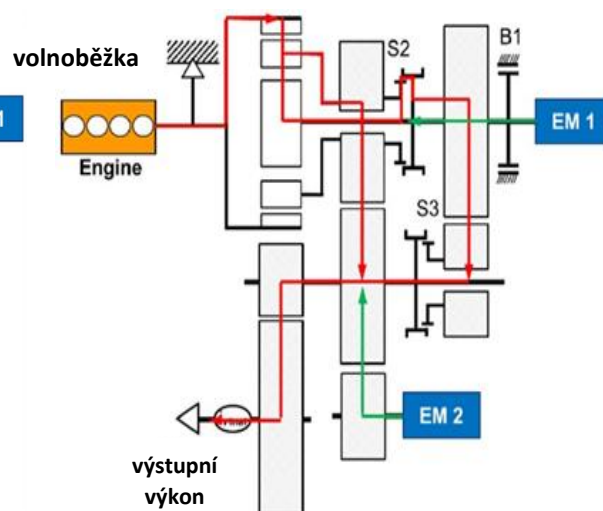
Dalším konceptem, který lze v budoucnu očekávat označím jako **Koncept II** (Obrázek 33). Oproti předchozímu konceptu je zde o jednu synchronizační spojku navíc. Režimy toho konceptu jsou uvedeny na Obrázku 35. V porovnání s Konceptem I je zde o převodový poměr navíc a tím pádem i větší mechanická složitost. Proces změny režimů je stejný jako u Konceptu I. Režim Parallel-3 má speciální tok výkonu, který je znázorněn na Obrázku 34. Červená barva znázorňuje výkon ze spalovacího motoru a zelená z elektromotoru. Výkon ze spalovacího motoru je dělen nejprve v planetovém soukolí, dále pokračuje do dvou soukolí a následně je přenesen na hřídel. Dva elektromotory mohou být použity jako generátor a hnací motor ke zlepšení spotřeby paliva. Dále jsou Koncept II a Prius IV porovnány z hlediska dynamiky a jízdních režimů ve dvou jízdních situacích:

a) Baterie plně nabitá (SOC high): Jak je znázorněno na Obrázku 36, režim e-CVT v Konceptu II má větší výstupní krouticí moment. U vozidel PHEV může točivý moment na kolech moment dosáhnout až 4000 N.m za stavu nabité baterie. Tři paralelní módy se nachází v oblasti vyšší rychlosti vozidla. Dynamicky a ekonomicky vychází tento koncept lépe než Prius IV. Tři paralelní režimy mají příznivý efekt na spotřebu paliva.

b) Baterie vybitá (SOC low): Z Obrázku 37 je patrné, že maximální krouticí moment (v e-CVT módu) je u Konceptu II o 700 N.m větší v porovnání s Prius IV. Rozdíl krouticího momentu má tendenci se zvětšovat za vyšších rychlostí. Z dynamických charakteristik je zřejmé, že Koncept II má řadu výhod oproti konceptu Prius IV; [24].



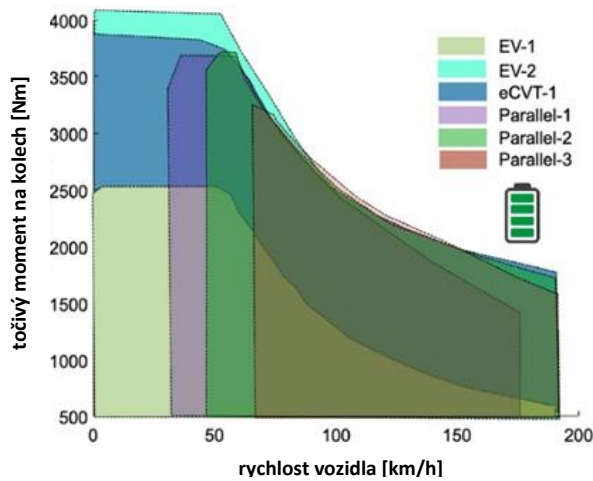
Obrázek 33: Schéma Konceptu II [24]



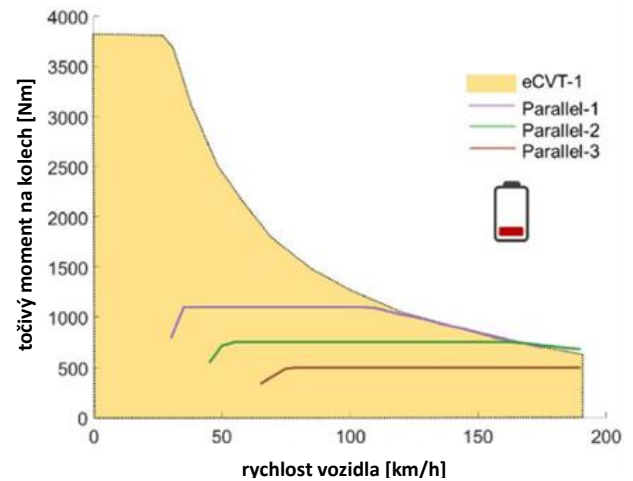
Obrázek 34: Tok výkonu v Konceptu II [24]

Mode	Engine	EM1	EM2	B1	S2	S3
Parallel-1			•	•		
Parallel-2	•	•	•		•	
Parallel-3	•	•	•			•
eCVT-1	•	•	•			
EM-1			•			
EM-2		•	•			•

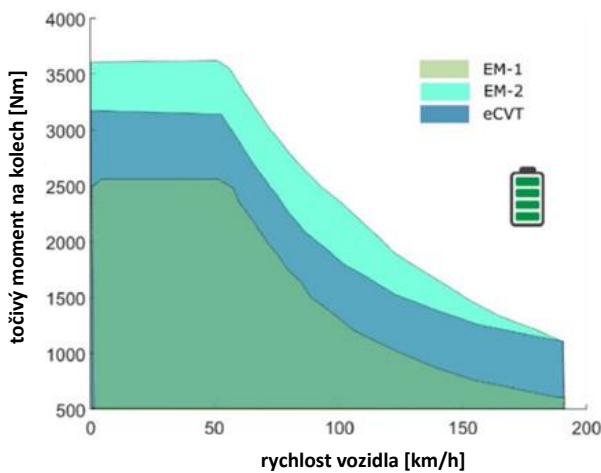
Obrázek 35: Systém řazení Konceptu II [24]



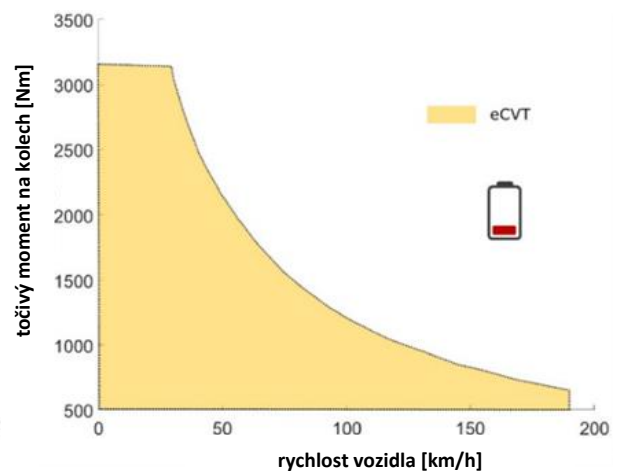
Obrázek 36: Jízdní režimy Konceptu II při nabitě baterii [24]



Obrázek 37: Jízdní režimy Konceptu II při vybitě baterii [24]



Obrázek 38: Jízdní režimy systému Prius IV při nabitě baterii [24]



Obrázek 39: Jízdní režimy systému Prius IV při vybitě baterii [24]

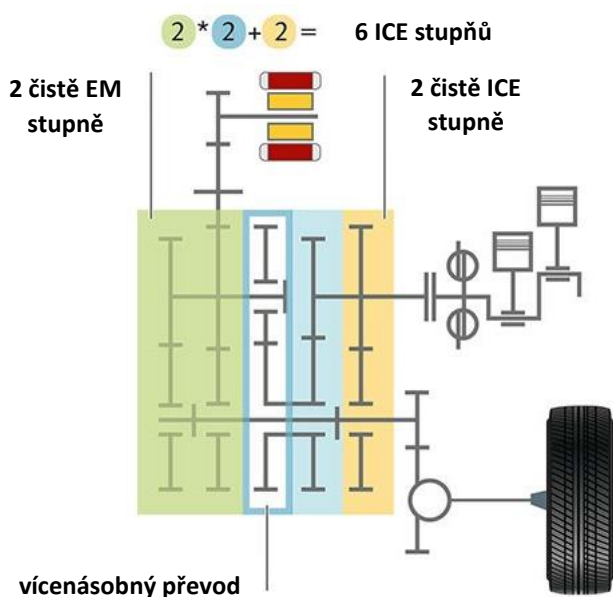
V předchozí analýze jsou uvedeny možné koncepty další generace DHT. V porovnání se sériově-paralelními koncepty je konfigurace s dělením výkonu o poznání výhodnější. Speciálně tato poslední konfigurace (Koncept II) s kombinovanou strukturou se vyhýbá nedostatkům, které současné koncepty DHT nabízí. Podstatné je rozdělení jízdních režimů ve veškerých jízdních situacích a snížený výkon elektromotoru.

## 5.5. Nové koncepce

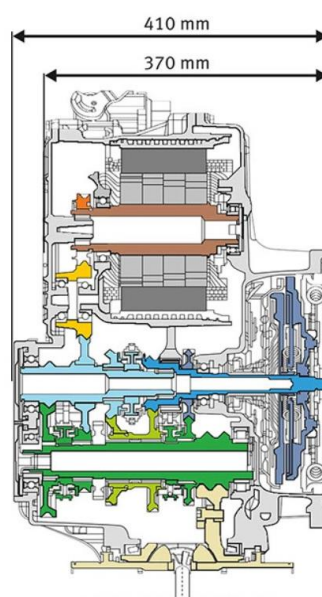
V této části navazuji na řešerši Ing. Jaroslava Kaněry [44] a doplňuji ji o novější návrhy, které vznikly od roku 2018.

### 5.5.1. Schaeffler DH-ST 6+2

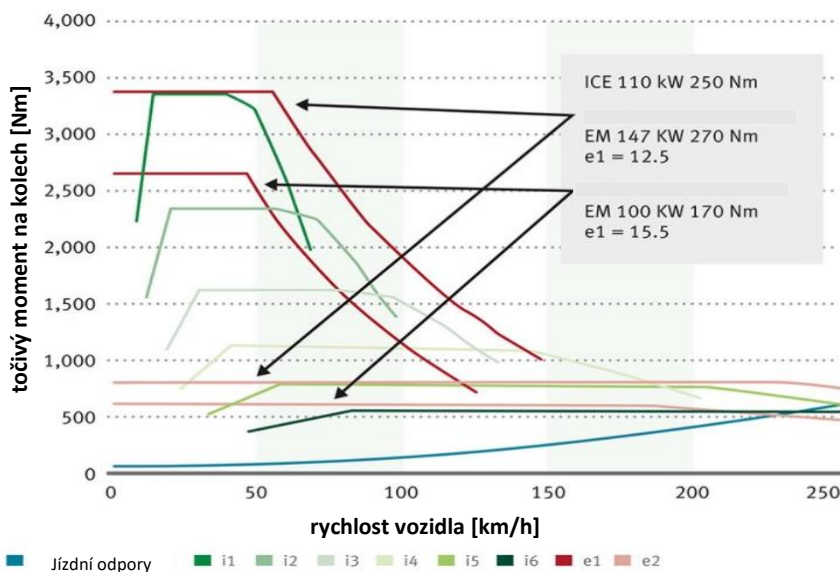
Německá společnost Schaeffler je předním výrobcem komponent pro automobilový a letecký průmysl. Od roku 2013 se věnuje elektromobilitě a hybridnímu pohonu a snaží se tak reagovat na dodržování emisních nároků. Roku 2018 představila vývoj kompaktního hybridního modulu (Dedicated Hybrid Shift Transmission 6+2), který lehce prodlužuje rozměr hnacího ústrojí v porovnání s koncepty využívajícími pouze spalovací motor. Tento koncept je založen na automatizované manuální převodovce s integrovaným elektromotorem, díky kterému je dosaženo vyššího výkonu. Tento systém nabízí šest mechanických a dva elektrické převodové stupně. Speciální funkcí tohoto systému je rozdělení převodovky na dvě jednotky. Elektromotor, který běží paralelně se spalovacím motorem pracuje v jedné jednotce a má k dispozici dva převodové stupně prostřednictvím dvou párů kol. V druhé jednotce jsou k dispozici další dva převodové stupně, když běží pouze spalovací motor. Spalovací motor může však využít jednotku elektromotoru, kdy dochází k částečnému převodu pomocí dalších dvou kol. Tato funkce tvoří vícenásobný převod (2\*2) mezi těmito dvěma jednotkami, proto může spalovací motor pracovat se šesti převodovými stupni, zatímco elektromotor má k dispozici pouze dva. Jednu sadu ozubených kol lze využít dvojnásobně, tudíž pro šest převodových stupňů je třeba pouze pět párů ozubených kol. Těchto pět párů kol je uloženo na dvou hřídelích, což umožňuje přijatelné rozměry ústrojí. Axiální délka převodovky činí 410 mm. Při řazení je absence krouťícího momentu spalovacího motoru kompenzována integrovaným elektromotorem, čímž koncept dosahuje pohodlné změny převodových stupňů. Výkon elektromotoru bývá obvykle vyšší než u spalovacího motoru. Při vyšších rychlostech lze využít 6 mechanických stupňů a druhý elektrický stupeň, který poskytuje příznivou spotřebu a nízkou hlučnost.



Obrázek 40: Schéma konceptu DH-ST 6+2 [32]



Obrázek 41: Řez DH-ST 6+2 [32]



Obrázek 42: Znázornění režimů v závislosti na rychlosti vozidla a momentu pro obě varianty [32]

Při konstrukci tohoto konceptu se předpokládá maximální rychlost vozidla přesahující 200 km/h a čistě elektrická jízda by měla být možná do 140 km/h. Při požadavku nižší ceny bude možno využít méně výkonný elektromotor za cenu menšího zrychlení. V plánu tedy jsou dvě varianty s různými výkony elektromotorů (Obrázek 42). Mezi hlavní výhody tohoto konceptu patří malý zástavbový prostor, cenová výhodnost, snížení spotřeby vozidla a vysoký výstupní výkon. Složitost a náklady jsou v porovnání s dvouspojkovou převodovkou (DCT) nižší, protože tento modul nepotřebuje jeden hnací hřídel s ozubenými koly a spojku mezi klikovým hřídelem a spalovacím motorem. Výrobce uvedl simulaci s výkonem systému 220 kW, která dokazuje, že tento koncept dosahuje sportovního jízdního výkonu a také nízké spotřeby (4,5 l/100 km). V katalogu je uvedeno, že výroba tohoto systému by mohla začít až v roce 2023; [31], [32], [33].



Obrázek 43: Konstrukce DH-ST 6+2 [32]



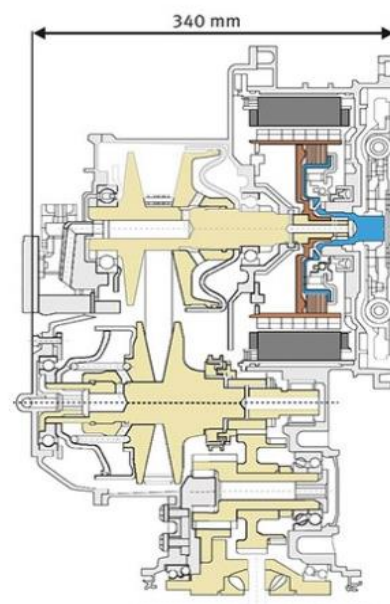
### 5.5.2. Schaeffler DH-CVT

Tento koncept (Dedicated Hybrid Transmissions with Continuously Variable Ratio) byl prezentován opět společností Schaeffler a do výroby by mohl být uveden okolo roku 2023 společně s předešlým návrhem DH-ST 6+2. Tento koncept nabízí kombinaci účinné převodovky s plynule měnitelným převodovým poměrem (CVT) a integrovaného elektromotoru, který je adaptabilní v širokém rozsahu rychlostí. Elektrifikace převodovky umožňuje, aby se technologie pohonu pro řazení stala výrazně energeticky účinnější. U zobrazeného DH-CVT má elektromotor maximální výkon 80 kW s maximálním kroutícím momentem 330 N.m a je zcela integrován do skříně převodovky. Axiálně tak délka převodovky činí 340 mm, což značí malý zástavbový prostor. Výrobce uvádí, že pro tento koncept byla prokázána optimální spotřeba bez snížené schopnosti akcelerace pro převodový rozsah 7, který zde byl volen. Koncept nabízí standardní hybridní režimy (čistě elektrický, ICE, paralelní a dobíjecí). Výhodou CVT převodovky je, že dokáže měnit otáčky motoru podle potřeby pro dosažení maximálního výkonu i maximální účinnosti paliva bez jakéhokoliv projevu řazení (bez rázů a nízká hlučnost). Důvodem je nekonečný počet převodových stupňů (bez pevných převodových poměrů). Řídící elektronika vybírá ideální bod, aby byla práce pohonného ústrojí co nejefektivnější, ať už pro maximální akceleraci vozidla, nebo minimální spotřebu paliva. CVT, které se v dnešní době vyrábí, využívají pro jízdu vzad planetové soukolí, ale v budoucnu bude možnost zpětného chodu čistě přes elektromotor kvůli rostoucímu točivému momentu a větší kapacitě baterie u vozidel. Celkově tento koncept vyniká vyšší účinností, malým zástavbovým rozměrům a velkým výstupním výkonem. Oproti konceptu DH-ST 6+2 ujede vozidlo s tímto systémem větší vzdálenost v čistě elektrickém režimu (55 km), ale při zrychlení 0-100 km/h vykazuje horší výsledky. Průměrná spotřeba tohoto konceptu se uvádí 4,3 l/100 km; [32], [33].

Více informací ohledně CVT uvádím na straně 17. Další parametry návrhu výrobce bohužel neuvádí.



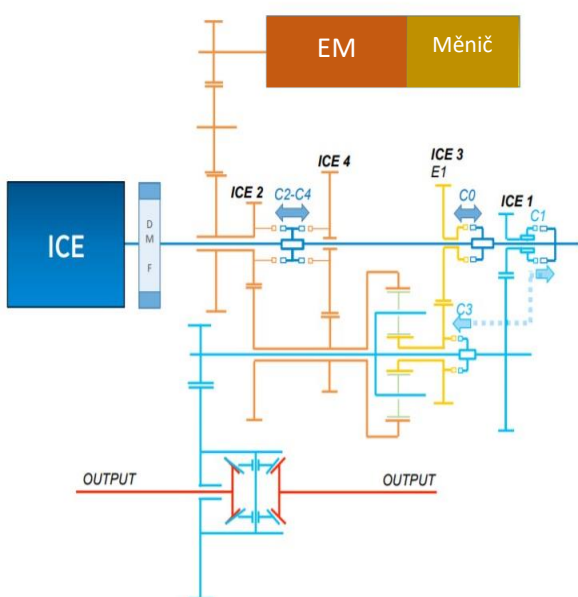
Obrázek 44: Konstrukce DH-CVT [32]



Obrázek 45: Řez DH-CVT [32]

### 5.5.3. Punch Powerglide

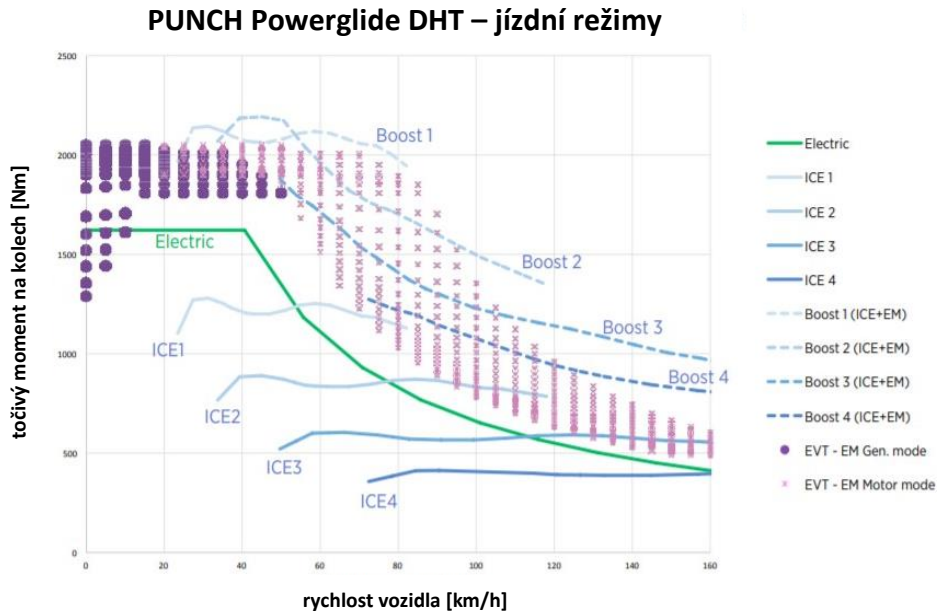
Jedná se o francouzskou společnost, která se zabývá konstrukcí a výrobou automatických převodovek. Od roku 2018 se část výroby specializuje na DHT převodovky a stejného roku firma získala patent na svůj návrh – Powerglide. Celkově tento koncept umožňuje 8 různých režimů, které zahrnují 4 mechanické (s ICE), 1 čistě elektrický, 1 EVT a 2 sériové pro různé jízdní situace. K zajištění těchto režimů je třeba pouze 5 spojovacích elementů, což splňuje požadavek na jednoduchost. Jako spojovací elementy jsou využity synchronizační spojky. Na schématu (Obrázek 46) můžeme vidět, že na vstupním hřídeli je umístěn spalovací motor, na předlohovém hřídeli je planetové soukolí a na výstupním hřídeli se nachází diferenciál. Vstupní a předlohový hřídel obsahují všechny spojovací elementy a ozubená kola. Výhodou této konfigurace je minimální počet převodových komponent (hřídelí, ložisek, ozubených kol). Toto uspořádání snižuje délku převodovky (350 mm) a snížený počet komponent vede též ke snížení nákladů. Aktivace spojovacích prvků umožňuje různé režimy s různými převodovými poměry, které jsou vidět na Obrázku 47. Základním elementem tohoto konceptu pro tok výkonu je jediné planetové soukolí, u kterého je našeč přímo spojen s výstupní hřídelí, korunové kolo s elektromotorem a satelit se spalovacím motorem. Planetové soukolí je klíčovým prvkem pro režim EVT. Tento specifický režim (EVT) vyžaduje přesnou kontrolu otáček a kroutícího momentu obou motorů, aby se nepřekročil maximální výstupní kroutící moment a tím se zvýšila účinnost řazení. Při startu vozidla závisí na stavu nabití baterie, zda bude vybrán režim čistě elektrický nebo EVT. Pokud není baterie dostatečně nabitá, tak je vybrán režim EVT, jinak je výhodnější čistě elektrický režim. V hybridním režimu je kroutící moment zajištěn kombinací spalovacího motoru a elektromotoru. Elektromotor je v tomto režimu použit jako generátor nebo jako hnací motor a umožňuje tak funkci boost a rekuperaci. Tato převodovka je čtyřstupňová, ale může se chovat jako pětistupňová díky režimu EVT.



Obrázek 46: Schéma konceptu Punch Powerglide [34]

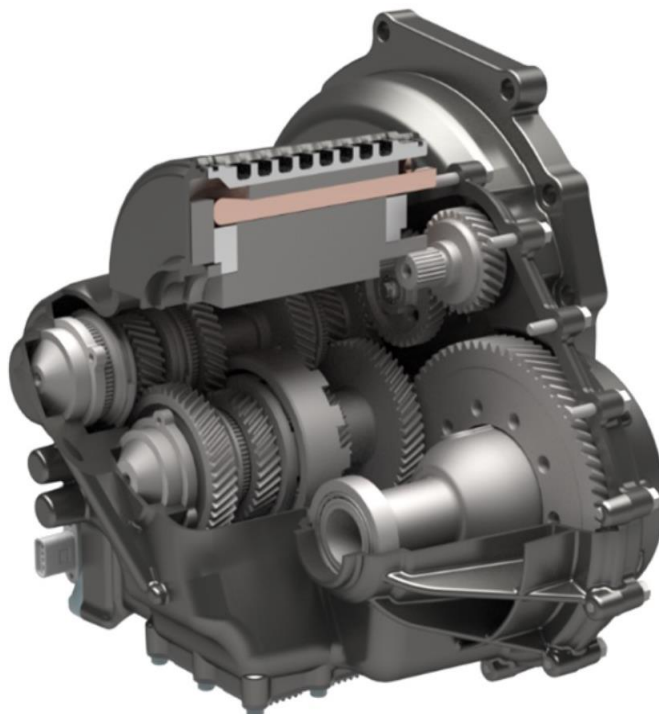
Režimy	ICE Ratio	EM Ratio	C0	C1	C2	C3
Hybrid drive 1	8,8	5,8	X	X		
Hybrid drive 2	6,1	8,7	X		X	
Hybrid drive 3	4,2	10,8	X			X
Hybrid drive 4	2,9	12,2	X			
Electric mode	0,0	10,8				X
EVT mode	14,1 ↔ 15,3		X			
Serial mode 2	0,7				X	
Serial mode 4	0,2					

Obrázek 47: Jízdní režimy Punch Powerglide [34]



Obrázek 48: Znárodnění režimů v závislosti na rychlosti vozu a momentu [34]

Obrázek 48 znázorňuje tažnou sílu v každém režimu tohoto konceptu. Tažná síla závisí na poměru výkonů spalovacího motoru a elektromotoru, která se může u konfigurací lišit. Základní variantu uvádí výrobce jako čtyřstupňovou, která je kompromisem mezi funkčností a cenou systému. Koncept lze upravit a přizpůsobit dvoustupňové převodovce s režimem EVT nebo dokonce jednostupňové převodovce. 3D model (Obrázek 49) zobrazuje čtyřstupňovou variantu s elektromotorem o výkonu 50 kW (150 N.m) a spalovacím motorem 70 kW (150 N.m). Převodovka plní hybridní funkce jako jsou režim rekuperace, boost a sériový režim. Jedná se o řešení, které splňuje podmínky nízké ceny, jednoduchosti, efektivity a menších zástavbových rozměrů; [34], [35].



Obrázek 49: 3D model konceptu Punch Powerglide [35]

#### 5.5.4. Magna DHTeco, DHTplus

Kanadská společnost Magna vyvíjí dvě varianty speciální hybridní převodovky s minimální složitostí pro mild hybridní vozidla v uspořádání P2,5. Jádrem modelů je hybridní dvouspojková převodovka, u které hybridizaci zajišťuje 48 V elektromotor o výkonu 120 kW. Oproti klasické DCT převodovce je snížen počet rychlostních stupňů. Elektromotor zajišťuje chod pro první převodový stupeň se zpátečkou, zatímco pro pokrytí spalovacího motoru jsou k dispozici čtyři až pět mechanických převodů. Změna převodových stupňů je u těchto konceptů pomocí synchronizačních spojek; [36].

Kvůli striktním požadavkům na emise bude elektrifikace nevyhnutelná, a proto jsou tyto koncepty slibným řešením. Oproti přídavnému řešení (Add-on), které Magna též vyrábí je koncept méně složitý, levnější, rozměrově úspornější a efektivnější. U varianty DHTeco výrobce navíc uvádí, že možnost čistě elektrického režimu je do 135 km/h. Podrobnější informace zatím výrobce neuvádí.

*Tabulka 2: Parametry konceptů Magna DHTeco a DHTplus*

<b>Magna</b>	<b>DHTeco</b>	<b>DHTplus</b>
Počet stupňů [-]	4	5
Kroutící moment ICE [Nm]	230	400
E-boost + ICE [Nm]	300	500
Max. výkon elektromotoru [kW]	120	120
Kroutící moment elektromotoru [Nm]	200	200
Délka ústrojí [mm]	350	360
Hmotnost [kg]	98	113



*Obrázek 50: Magna DHTeco [36]*



*Obrázek 51: Magna DHTplus [36]*

### 5.5.5. Vitesco DHT

Německá firma Vitesco (Continental Powertrain) roku 2019 přišla s návrhem DHT převodovky, která by měla být vhodná zejména pro PHEV. Jedná se o čtyřstupňovou automatickou převodovku, ve které je integrován vysokonapěťový elektromotor na výstupní straně skříně. Zpátečka, první a druhý rychlostní stupeň jsou ovládány pomocí elektromotoru. Systém těží z jednoduchosti, neboť obsahuje pouze čtyři páry kol bez jakékoliv spojky, což se projeví na rozměrech, hmotnosti a nákladech. Dále je uvedeno, že vozidlo by mělo být schopné plně elektrického režimu do 120 km/h a hybridního do 160 km/h. Kombinace této technologie s levným benzínovým motorem pomůže výrobcům PHEV snížit náklady. Výrobce uvádí, že jízdní komfort je srovnatelný s konvenční šestistupňovou převodovkou. Dojezdová vzdálenost v čistě elektrickém režimu se pohybuje okolo 50 km; [37], [38].

Více informací o konceptu zatím není k dispozici.

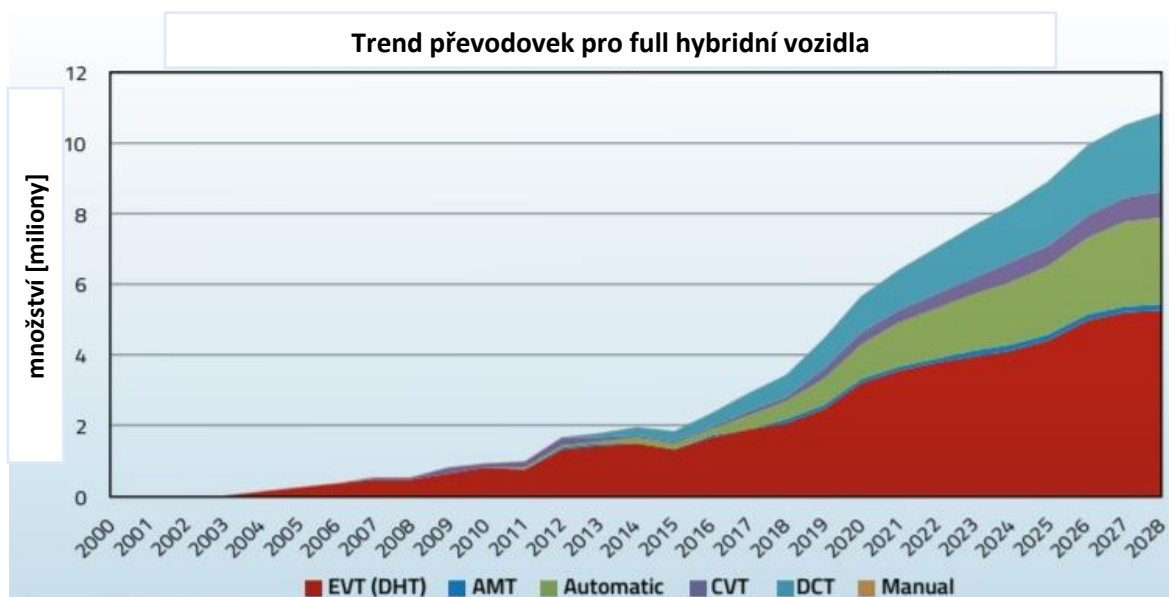


*Obrázek 52: Konstrukce Vitesco DHT [38]*

Další koncepty jako např. L.E.M.O.N. DHT (GWM), GETEC jsou taktéž zatím ve fázi vývoje a výrobci bohužel zatím nenabízí dostatek informací.

## 5.6. Využití DHT převodovek

Jelikož se jedná o speciální hybridní automobilovou převodovku, tak oblast využití se nachází v automobilovém průmyslu se specializací na HEV a PHEV vozidla. Od vzniku (r.1997) byly DHT převodovky využity převážně na asijském trhu (Toyota, Honda). S odstupem času našly širší pole působnosti i v evropských a amerických společnostech, které se zabývají návrhy převodových ústrojí (Volkswagen, Renault, GM, Schaeffler, GKN, AVL, FEV, Oerlikon, Getrag). V současnosti jsou trendem DHT převodovky i ve full hybridních vozech a počítá se se zvýšením jejich produkce (Vitesco), jak lze vidět na Obrázku 53. Lze tedy konstatovat, že potenciál této technologie je obrovský a zájem o nekonvenční hybridní pohonný systém v podobě DHT převodovek bude v nadcházející době narůstat.



Obrázek 53: Trend převodovek pro full hybridní vozidla [23]

## 5.7. Výhody a nevýhody DHT převodovek

Vhodným pohonným systémem lze snížit nevýhody hybridních vozidel. Jedná se zejména o vyšší cenu, nároky na údržbu, větší složitost a hmotnost. Tyto negativa můžeme částečně eliminovat, díky DHT převodovému ústrojí, neboť se jedná o lehčí, levnější a v některých případech i jednodušší variantu (sériově-paralelní) oproti konvenčním hybridním převodovkám. Tyto převodovky nabízí množství režimů uzpůsobených pro různé jízdní podmínky. Přítomnost druhého zdroje výkonu (elektromotoru) zvětšuje spektrum optimálních otáček motoru a s tím související účinnost celého pohonného systému, což příznivě ovlivňuje spotřebu vozidla. Dalším pozitivem je, že se dají vyvinout ze stávajících konceptů převodovek (DCT, CVT).

Znatelnou nevýhodou je cena vývoje, neboť se jedná o novější odvětví a je třeba řada investic. Dále je často vytýkán monotónní jízdní projev v režimu e-CVT. Výhody a nevýhody daných konceptů jsou uvedeny v jednotlivých kapitolách.

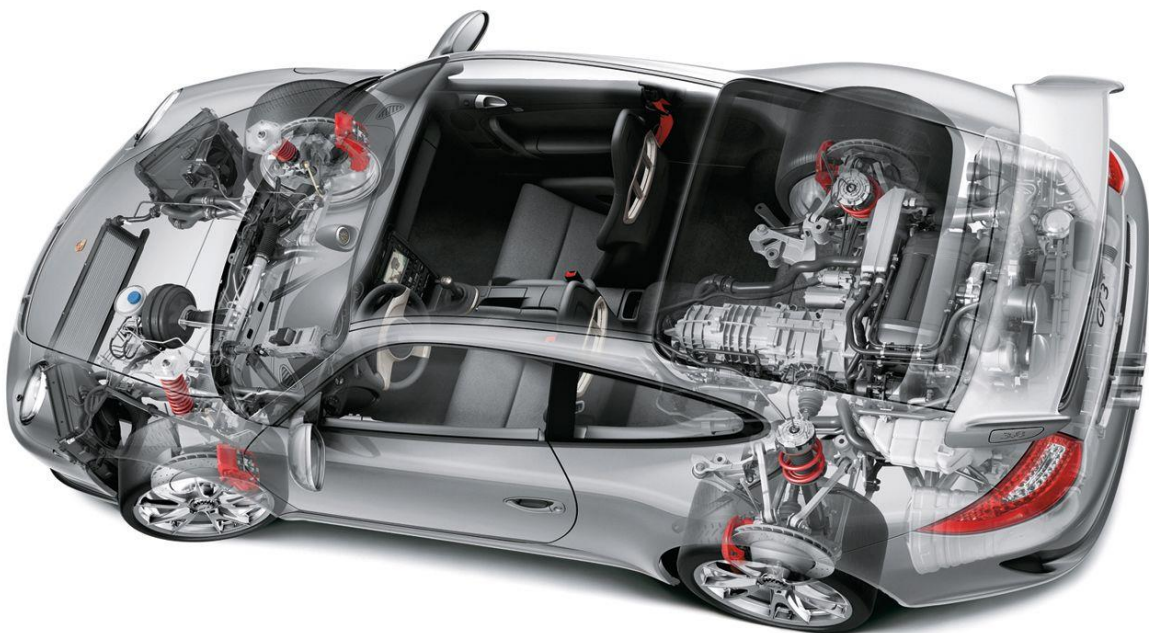
## Výpočtová část

### 6. NÁVRH Odstupňování převodovky

Návrh byl proveden pro sportovní vůz Porsche 911 GT3 s manuální šestistupňovou převodovkou. Vůz je uzpůsoben na každodenní používání i na rychlou jízdu. Zvláštností firmy Porsche je umístění motoru za zadní nápravou. K výpočtu uvažuji typ s šestiválcovým benzínovým motorem o zdvihovém objemu 4 litry; [41].

#### 6.1. Parametry vozidla pro výpočet

Max. výkon motoru:	$P_{\max} = 368 \text{ kW}$ při $n = 8250 \text{ min}^{-1}$
Max. točivý moment motoru	$M_m = 460 \text{ N.m}$ při $n = 6000 \text{ min}^{-1}$
Max. otáčky motoru:	$n_{\max} = 9\,000 \text{ min}^{-1}$
Max. rychlost:	$v_{\max} = 320 \text{ km/h}$
Max. točivý moment:	$M_{\text{mot}} = 470 \text{ N.m}$
Součinitel čelního odporu vozu:	$c_x = 0,31$
Čelní plocha vozu:	$S = 2,036 \text{ m}^2$
Čas zrychlení 0-100 km/h:	$t_{0-100} = 3,9 \text{ s}$
Pohotovostní hmotnost vozidla:	$m_p = 1\,430 \text{ kg}$
Provozní hmotnost:	$m = 1\,510 \text{ kg}$ (přičteno 80 kg řidiče)
Dynamický poloměr kola:	přední (245/35 R20): $r_{dp} = 0,33 \text{ m}$ zadní (305/30 R20): $r_{dz} = 0,335 \text{ m}$



Obrázek 54: Design a pohonná jednotka vozu Porsche 911 GT3 [45]

## 6.2. Návrh mezních převodových poměrů

Problematiku návrhu převodových poměrů můžeme rozdělit do několika kroků. V prvním kroku se navrhuje celkové převodové poměry pro mezní rychlostní stupeň, z čehož vypočteme rozsah převodovky. Dále pomocí metody progresivního odstupňování získáme zbývající převody, které nakonec rozdělíme mezi stálý převod rozvodovky a převodovku. Návrh vychází z parametrů, které jsou uvedeny v kapitole 6.1.

### 6.2.1. Návrh celkového převodového poměru pro 1. stupeň

Pro návrh nejvyššího převodového poměru vycházíme ze zadaného času, který je potřeba pro zrychlení z klidového stavu na 100 km/h. Uvažují konstantní zrychlování na první rychlostní stupeň, tudíž si mohou dovolit snížit hodnotu času  $t_{0-100}$  o sekundu, protože nedochází ke zpoždění způsobenému přeřazením na druhý rychlostní stupeň ( $t_{0-100}=2,9$  s). Dále určují odporové síly, ke kterým dochází při rozjezdu vozidla. Odpor valení kol určím ze vztahu:

$$O_f = f \cdot G \cdot \cos(\alpha) = f \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)$$

Předpokládám jízdu po rovině, tedy úhel sklonu vozovky  $\alpha = 0^\circ$  a součinitel tření pro jízdu za nízké rychlosti po asfaltu volím  $f_n = 0,01$ .

Pro odpor ze zrychlení platí:

$$O_a = m \cdot \lambda \cdot a$$

Součinitel rotačních hmot závisí na celkovém převodu. Pro první stupeň uvažují  $\lambda = 1,3$ . Za zrychlení dosazují:

$$a = \frac{v}{t_{0-100}} = \frac{100}{3,6 \cdot 2,9} = 9,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Platí silová rovnováha mezi odporovou a hnací silou  $F_h$ :

$$F_h = O_f + O_a$$

Do rovnováhy dosadíme a převedeme ji na rovnováhu momentovou, protože hnací síla závisí na výstupním momentu motoru. Celkovou účinnost  $\eta$  spočteme jako součin účinnosti rozvodovky (cca 0,95) a účinnosti převodovky (cca 0,98). Celková účinnost ústrojí je tedy  $\eta = 0,931$ . Dynamický poloměr zadní nápravy využijeme jako poloměr působení hnací síly.

$$\eta \cdot M_m \cdot i_1 = m \cdot r_{dz} \cdot (\lambda \cdot a + g \cdot f)$$

Z rovnice vyjádřím celkový převod pro první stupeň  $i_1$ , který se bude následně dělit mezi převodovku a konstantní stálý převod.

$$i_1 = \frac{m \cdot r_{dz} \cdot (\lambda \cdot a + g \cdot f)}{\eta \cdot M_m} = \frac{1510 \cdot 0,335 \cdot (1,3 \cdot 9,58 + 9,81 \cdot 0,01)}{0,931 \cdot 460} = 14,8$$



### 6.2.2. Návrh celkového převodového poměru pro 6. stupeň

Tento stupeň slouží pro jízdu maximální rychlostí, již dosahuje při maximálním výkonu, který je v katalogu předepsán při otáčkách  $n = 8\,250 \text{ min}^{-1}$ . Za těchto otáček musí platit, že úhlová rychlost motoru vydělená celkovým převodem se rovná úhlové rychlosti kol. Vztah pro hledaný převodový poměr tedy je:

$$i_6' = \frac{r_{dz} \cdot \omega_m}{v_{max}} = \frac{r_{dz} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot 60}{v_{max} \cdot 1000} = \frac{0,335 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 8250 \cdot 60}{320 \cdot 1000} = 3,26$$

Tuto variantu můžeme ověřit pomocí silové rovnováhy. Uvažuji jízdu konstantní rychlostí po rovině, kdy tedy proti rychlosti působí odpor valení a odpor vzduchu, pro který platí:

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S$$

Silová rovnováha:

$$F_h = O_f + O_v$$

Převodový poměr vyjádřím jako:

$$i_6 = \frac{(f_v \cdot m \cdot g + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S) \cdot r_{dz}}{\eta \cdot M_{m2}}$$

Uvažuji jízdu vozidla za vysoké rychlosti, a tudíž volím větší součinitel tření, který roste nelineárně s rychlostí ( $f_v = 0,06$ ). Za hustotu vzduchu dosazuji  $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , což je tabulková hodnota pro teplotu 21 °C. Moment motoru při této rychlosti volím blízký jeho maximu  $M_{m2} = 450 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Po dosazení:

$$i_6'' = \frac{(0,06 \cdot 1510 \cdot 9,81 + \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{320}{3,6}\right)^2 \cdot 0,31 \cdot 2,036) \cdot 0,335}{0,931 \cdot 450} = 2,99$$

Toto ověření naznačuje, že maximální rychlosti je dosaženo za vyšších otáček, tedy až za výkonovým maximem. Volím proto převodový poměr  $i_6 = 3,3$ , jemuž by odpovídaly otáčky motoru přibližně  $8\,400 \text{ min}^{-1}$ .

### 6.3. Stanovení rozsahu a zbylých převodových poměrů

V této části použiji metodu progresivního odstupňování. Zde platí, že poměry sousedních převodů  $q$  nejsou totožné. Metoda je používána u osobních vozidel, protože využívají převážně vyšší rychlostní stupně. Čím vyšší rychlostní stupeň, tím menší bude rozsah mezi nimi. U vozu Porsche 911 GT3 volím šestistupňovou převodovku. Větší výkon při nižších rychlostních stupních umožní lépe překonat větší rozdíl mezi převody. U vyšších převodů bude menší změna otáček a průběh komfortnější. Mezní převodové stupně byly vypočteny v předchozí části a poměr sousedních převodů  $q_{5-6}$  byl zvolen dle skript; [42].

Tabulka 3: Stanovené mezní převodové stupně ( $i_{1,6}$ ), zvolený poměr sousedních převodů ( $q_{5-6}$ ) a počet převodových stupňů  $z$

$i_1$	$i_6$	$q_{5-6}$	$z$
14,8	3,3	1,15	6

### 6.3.1. Rozsah převodovky

$$R_i = \frac{i_1}{i_6} = \frac{14,8}{3,3} = 4,48$$

### 6.3.2. Zbývající převodové poměry

Nyní je třeba určit zbylé převodové poměry. Zavádím faktor progresse, který dává do poměru dva sousední převody:

$$y = \frac{q_{1-2}}{q_{2-3}} = \frac{q_{2-3}}{q_{3-4}} = \frac{q_{3-4}}{q_{4-5}} = \frac{q_{4-5}}{q_{5-6}} = \frac{q_{(z-2)-(z-1)}}{q_{(z-1)-z}}$$

Po úpravě dostaneme:

$$q_{1-2} = y \cdot q_{2-3} = y^2 \cdot q_{3-4} = y^3 \cdot q_{4-5} = y^4 \cdot q_{5-6} = y^{z-2} \cdot q_{(z-1)-z}$$

Dále lze říci, že:

$$\frac{i_1}{i_2} = y \cdot \frac{i_2}{i_3} = y^2 \cdot \frac{i_3}{i_4} = y^3 \cdot \frac{i_4}{i_5} = y^4 \cdot \frac{i_5}{i_6} = y^{z-2} \cdot \frac{i_{z-1}}{i_z}$$

Faktor progresse lze z předchozích rovnic určit jako:

$$y = \frac{z^2 - 3z + 2}{2} \sqrt{\frac{R_i}{q_{(z-1)-z}^{z-1}}} = \frac{6^2 - 3 \cdot 6 + 2}{2} \sqrt{\frac{4,48}{1,15^{6-1}}} = 1,083$$

Nyní lze spočítat jednotlivé zbývající převodové poměry:

$$q_{1-2} = y^4 \cdot q_{5-6} = 1,083^4 \cdot 1,15 = 1,58$$

$$i_2 = \frac{i_1}{q_{1-2}} = \frac{14,8}{1,58} = 9,37$$

$$q_{2-3} = \frac{q_{1-2}}{y} = \frac{1,58}{1,083} = 1,49$$

$$i_3 = \frac{i_2}{q_{2-3}} = \frac{9,37}{1,49} = 6,29$$

$$q_{3-4} = \frac{q_{1-2}}{y^2} = \frac{1,58}{1,083^2} = 1,35$$

$$i_4 = \frac{i_3}{q_{3-4}} = \frac{6,29}{1,35} = 4,66$$

$$q_{4-5} = \frac{q_{1-2}}{y^3} = \frac{1,58}{1,083^3} = 1,24$$

$$i_5 = \frac{i_4}{q_{4-5}} = \frac{4,66}{1,24} = 3,76$$

*Tabulka 4: Vypočtené celkové převody*

převod n	1	2	3	4	5	6
poměr $i_n$	14,8	9,37	6,29	4,66	3,76	3,3

*Tabulka 5: Vypočtený rozsah převodovky  $R_i$ , faktor progresivity  $y$  a poměry sousedních stupňů  $q$* 

$R_i$	$y$	$q_{1-2}$	$q_{2-3}$	$q_{3-4}$	$q_{4-5}$	$q_{5-6}$
4,48	1,083	1,58	1,49	1,35	1,24	1,15

$$q_{1-2} > q_{2-3} > q_{3-4} > q_{4-5} > q_{5-6}$$

Následně musíme rozdělit převodové poměry mezi převodovku a rozvodovku. Jeden z vyšších stupňů je výhodné navrhovat jako tzv. přímý převod. Při něm je převodový poměr roven jedné a vstupní hřídel s výstupním jsou přímo spojeny. Pro svůj návrh volím jako přímý převod pátý stupeň, z čehož plyne, že výsledný převod stálého převodu rozvodovky je  $i_5 = 3,76$ . Dále tedy můžeme určit navržené hodnoty převodových poměrů pro samotnou převodovku. Je nutné zmínit, že vypočtené hodnoty jsou pouze teoretické a byly určeny pro ideální podmínky s přibližnými hodnotami součinitelů.; [40], [42], [43], [46].

*Tabulka 6: Vypočtené převodové poměry převodovky*

$i_{1vyp}$	$i_{2vyp}$	$i_{3vyp}$	$i_{4vyp}$	$i_{5vyp}$	$i_{6vyp}$
3,94	2,49	1,67	1,24	1	0,88

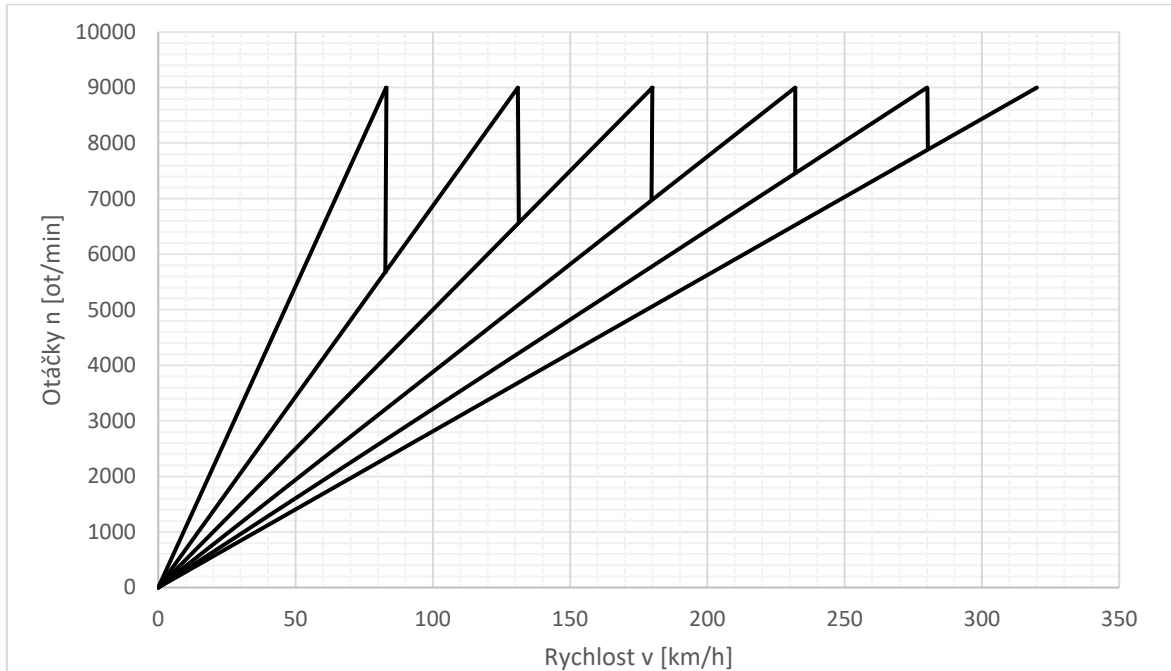
Na závěr výpočtové části uvádím pro porovnání skutečné hodnoty převodových poměrů, které jsou uvedeny v katalogu Porsche. Srovnání dokazuje, že návrh se blíží realitě, a to zejména u vyšších převodových stupňů. Postup řešení byl tedy zvolen správně.

*Tabulka 7: Skutečné převodové poměry Porsche 911 GT3 [41]*

$i_{1real}$	$i_{2real}$	$i_{3real}$	$i_{4real}$	$i_{5real}$	$i_{6real}$
3,75	2,38	1,72	1,34	1,08	0,88

## 6.4. Pilový diagram

Pilový diagram znázorňuje závislost rychlosti vozidla na otáčkách motoru pro vypočtené rychlostní stupně metodou progresivního odstupňování. Velikost svislých čar je úměrná velikosti poměrů sousedních stupňů  $q$ .



Obrázek 55: Pilový diagram vozu Porsche 911 GT3

## 7. ZÁVĚR

V teoretické části mé bakalářské práce se v úvodu věnuji vývoji, rozdělení a komponentům hybridních vozidel. V další fázi jsem uvedl informace ohledně převodovek vyskytujících se v hybridních vozidlech se specializací na DHT převodovky. Shrnuj poznatky o tomto typu převodovek a uvedl přední koncepty, které vznikly v minulosti a jejich parametry. Nalezené koncepty následně doplňuji o aktuální návrhy, které by se mohly stát další generací těchto převodovek (Koncept I-II a Koncept A-B), neboť vývojově prokazují lepší vlastnosti. U novějších konceptů jsem čerpal informace především z odborných publikací SAE Technical Papers, CTI MAG a katalogů výrobců.

Se zvyšující se hybridizací automobilového průmyslu je nutností přizpůsobit převodové ústrojí tomuto trendu. DHT převodovky, které jsou speciálně určené do hybridních vozů vykazují velký potenciál na trhu. Pro svůj chod tato kategorie vyžaduje elektromotor a převod bez něj není funkční. Elektromotor tak může výhodně sloužit jako generátor nebo jako hnací element. Výhody DHT jsou zejména nízká cena, jednoduchost a vyšší účinnost oproti jiným převodovkám. Zvýšené účinnosti je dosaženo díky několika možným jízdním módům, které jsou uzpůsobeny jízdním podmínkám. Tento druh převodovek je vhodný i pro vozidla nižších tříd s požadavky na jednoduchost a nízkou cenu, ale zároveň poskytuje všechny výhody hybridní koncepce. Cílem dalších generací tohoto typu převodovek je překonat nedostatky stávajících DHT např. novými možnostmi dělení výkonu. Tato kategorie představuje směr vývoje HEV/PHEV vozidel.

Ve výpočtové části jsem se pokusil navrhnout odstupňování převodovky s klasickou koncepcí pohonu pro zvolený vůz Porsche 911 GT3. Pro návrh jsem zvolil metodu progresivního odstupňování, protože se v praxi běžně využívá u vozidel tohoto typu. V závěru práce jsem sestrojil pilový diagram, který uvádí závislost otáček motoru na rychlosti vozidla s vypočtenými převodovými poměry. Uvedl jsem i porovnání se skutečnými převodovými poměry, které uvádí firma Porsche pro tento vůz. Vypočtené poměry se přibližně shodují se skutečnými. Tato část měla nejprve pokračovat návrhem odstupňování DHT převodovky, ale po konzultaci s mým vedoucím práce jsme usoudili, že by tento návrh přesahoval rozsah bakalářského studia a bylo by třeba mít detailnější znalosti o tomto komplexním problému.

## 8. ZDROJE

- [1] Toyota hybrid [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/hybrid-innovation/>
- [2] PROCHÁZKA, Jan. Trendy vývoje hybridních pohonů. Praha, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [3] První hybridní vůz [online]. 2011 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://www.autorevue.cz/lohner-porsche-semper-vivus-prvni-hybridni-auto\\_1](https://www.autorevue.cz/lohner-porsche-semper-vivus-prvni-hybridni-auto_1)
- [4] Lohner-Porsche Semper Vivus [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://automix.denik.cz/galerie/lohner-porsche-semper-vivus-a-dalsi-modely.html?back=2745591500-8483-115&photo=4>
- [5] Ropná krize: konflikt, který navždy změnil nejen automobilový svět. Idnes.cz [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.idnes.cz/auto/historie/ropna-krize-general-motors-ford-ropa>
- [6] Everything you need to know about hybrid cars [online]. 2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.admiral.com/magazine/guides/motor/everything-you-need-to-know-about-hybrid-cars>
- [7] Dynamic's analysis of EU CO2 emissions in 2020 [online]. 2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.jato.com/jato-dynamics-analysis-of-eu-co2-emissions-in-2020/>
- [8] Why hybrid vehicles? [online]. 2008 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://www.fsb.unizg.hr/miv/razno/korisno/Prius\\_eng.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/miv/razno/korisno/Prius_eng.pdf)
- [9] Hybridní pohon [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/hybridni-pohon/>
- [10] TERŠÍP, Jakub. Hybridní pohony sportovních a soutěžních vozidel. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [11] MORKUS, Josef. Hybridní pohony 2020 - přednášky [online]. Praha, České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150\\_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202020/](https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202020/)
- [12] KRAJÁNEK, Vladimír. Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [13] Englisch A., Pfund T., Reitz D., Simon E., Kolb F. (2017) Synthesis of various hybrid drive systems. In: Liebl J. (eds) Der Antrieb von morgen 2017. Proceedings. Springer Vieweg, Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-19224-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-658-19224-2_4)
- [14] KROUPA, Jiří. Prodlužovače dojezdu elektromobilů. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
- [15] MHEV architectures [online]. 2018 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/vehicle/hybrid/mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-architectures/>
- [16] The 48-volt starter generator [online]. 2018 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://efficiencywins.nexperia.com/innovation/the-48-volt-starter-generator.html>



- [17] POLCAR, Petr. Automatické převodovky. Brno, 2012. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta.
- [18] Typy automatických převodovek a jak se s nimi jezdí? [online]. 2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/automaticke-prevodovky-21004288>
- [19] Hydrodynamická převodovka [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrodynamick%C3%A1\\_p%C5%99evodovka](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrodynamick%C3%A1_p%C5%99evodovka)
- [20] Autoforum [online]. 2016 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/zivot-ridice/5-veci-ktete-byste-nikdy-nemeli-delat-v-aute-s-dvouspojkovou-prevodovkou/>
- [21] Co je DSG převodovka a na jakém principu funguje [online]. 2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/co-je-dsg-prevodovka-jak-funguje>
- [22] CTI MAG: Dedicated hybrid transmissions [online]. 2015 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://docplayer.net/94992870-Cti-dedicated-hybrid-transmissions-dht-interview-with-charles-gray-director-transmission-driveline-engineering-ford-motor-company.html>
- [23] CTI MAG: The Effect of Vehicle Electrification on Transmissions and the Transmission Market [online]. 2016 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://drivetrain-symposium.world/downloads/pdf/CTImag\\_7\\_web.pdf](https://drivetrain-symposium.world/downloads/pdf/CTImag_7_web.pdf)
- [24] Chen, H., Li, L., Lange, A., and Küçükay, F., "Innovative Dedicated Hybrid Transmission Concepts in the Next Generation of Hybrid Powertrains," SAE Int. J. Alt. Power. 8(1):75-88, 2019, <https://doi.org/10.4271/08-08-01-0005>.
- [25] IAV: Dediziertes Hybridgetriebe für Plug-In-Fahrzeuge [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.iav.com/was-uns-bewegt/dediziertes-hybridgetriebe-fuer-plug-in-fahrzeuge/>
- [26] Honda to extend application of i-MMD two-motor hybrid system across lineup [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2019/07/20190709-honda.html>
- [27] 2020 Honda CR-V Hybrid Gets More Power, More Torque, More Grip [online]. 2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.autoweek.com/drives/a31652258/2020-honda-cr-v-hybrid-gets-more-power-more-torque-more-grip/>
- [28] Toyota details powertrain advances in Gen4 Prius; available E-Four system for all-wheel drive (not for US) [online]. 2015 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2015/10/20151013-prius.html>
- [29] Goppelt, G. The DHT Redefining Hybrid Transmissions. MTZ Worldw 77, 8–15 (2016). <https://doi.org/10.1007/s38313-016-0124-0>
- [30] GM provides technical details of the Gen 2 Voltec propulsion system used in the 2016 Volt [online]. 2015 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2015/04/20150423-voltec.html>
- [31] Schaeffler představil inovativní řešení pro budoucí elektrické a hybridní pohony [online]. 2018 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/vyrobci/38386,schaeffler-predstavil-inovativni-reseni-pro-budouci-elektricke-a-hybridni-pohony>

- [32] SCHAEFFLER: How the Transmission Becomes a Powertrain [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://schaeffler-events.com/symposium/lecture/h6/index.html#introduction>
- [33] Fact Sheet Schaeffler Kolloquium 2018 [online]. 2018 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://schaeffler-epaper.com/kolloquium-2018/html5.html#/268>
- [34] CTI MAG: Dedicated Hybrid Transmission (DHT) by PUNCH Powerglide [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://drivetrain-symposium.world/downloads/pdf/CTImag-2019-2.pdf>
- [35] Punch: Dedicated Hybrid Transmission – DHT [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.punchpowerglide.com/en/dedicated-hybrid-transmission-dht>
- [36] Magna: DHT [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://electrification.magna.com/dedicated-hybrid-transmissions/>
- [37] Vitesco Technologies presents cost-effective dedicated hybrid transmission for PHEVs [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2019/12/20191210-vitesco.html>
- [38] Vitesco Technologies Cuts Costs for Plug-In Hybrid Powertrain [online]. 2019 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/2019-12-09-phev-solutions-204180>
- [39] Küçükay, F. Comparison of Hybrid Transmissions. ATZ Worldw 119, 78 (2017). <https://doi.org/10.1007/s38311-016-0187-1>
- [40] KANĚRA, Jaroslav. Přehledy a trendy ve vývoji samočinných převodovek. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [41] Porsche 911 GT3 technical data [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.porsche.com/international/models/911/911-gt3-models/>
- [42] ACHTENOVÁ, Gabriela; TAJZICH, Václav. PUM1 2013 – přednášky [online]. Praha, České vysoké učení technické, Fakulta strojní, [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211131\\_PUM1/prednasky/](https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211131_PUM1/prednasky/)
- [43] ACHTENOVÁ, Gabriela; BANĚČEK, Jan; KOLÁŘ, Josef. Převodná ústrojí vozidel: Návrh odstupňování převodovek. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014, 103 s. ISBN 978-80-01-05557-1.
- [44] KANĚRA, Jaroslav. Planetový dělič pro hybridní pohon. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [45] Porsche 911 GT3 [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/features/a16579991/2010-porsche-911-gt3s-dynamic-engine-mounts/>
- [46] JASNÝ, Michal. Přehled a trendy ve vývoji mezinápravových diferenciálů vozidel se stálým pohonem všech kol. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.



## 9. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

DHT	Dedicated Hybrid Transmission	(Speciální hybridní převodovka)
CNG	Compressed Natural Gas	(Zemní plyn)
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide	(Oxid uhličitý)
NO <sub>x</sub>	Nitrogen Oxides	(Oxidy dusíku)
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure	(Celosvětově harmonizovaný zkušební postup pro lehká vozidla)
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor	(Synchronní motor s permanentními magnety)
OEM	Original Equipment Manufacturer	
MHEV	Mild Hybrid Electric Vehicle	(Mild hybridní vozidlo)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	(Plug-in hybridní vozidlo)
HEV	Hybrid Electric Vehicle	(Hybridní vozidlo)
REX	Range Extender	(Prodlužovač dojezdu)
EV	Electric Vehicle	(Elektromobil, elektro-režim)
BEV	Battery Electric Vehicle	(Bateriový elektromobil)
FCV	Fuel Cell Vehicle	(Vozidlo s palivovými články)
Li-ion	Lithium-ion	(Lithium-iontová baterie)
Ni-MH	Nikl-metalhydrid	(Nikl-metalhydridová baterie)
ICE = Engine	Internal Combustion Engine	(Spalovací motor)
EM1/2	Electric motor	(Elektromotor 1/2)
PGS1/2	Planetary Gear Set	(Planetové soukolí)
CVT (e-CVT)	Continuously Variable Transmission (electronically)	(Převodovka s plynule měnitelným převodovým poměrem (elektronicky))
e-AWD	Electronic-All Wheel Drive	(Systém pohonu všech kol)
AT	Automatic Transmission	(Automatická převodovka)
HSD	Hybrid Synergy Drive	(Toyota hybridní pohonný systém)
DH-ST	Dedicated Hybrid Shift Transmission	
DH-CVT	Dedicated Hybrid Transmissions with Continuously Variable Ratio	
DCT, DSG, PDK		(Dvouspojková převodovka)
Inverter		(Měnič napětí)
One-way clutch		(Volnoběžka)