



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Návrh hybridního agregátu vozidla

Design of hybrid vehicle unit

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2021

Jan ČEŘOVSKÝ

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hořenín

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čeřovský** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **475449**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh hybridního agregátu vozidla

Název bakalářské práce anglicky:

Design of hybrid vehicle unit

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši technických parametrů a rozměrů motor generátorů a startér generátorů pro hybridní agregáty.
Proveďte rešerši konstrukčních provedení jejich připojení k motoru.
V CAD systému vypracujte 3D model propojení spalovacího motoru s elektrickým strojem.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jindřich Hořenín, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **28.06.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **14.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jindřich Hořenín
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotační záznam

Jméno autora: Jan Čeřovský

Název práce: Návrh hybridního agregátu vozidla

Anglický název: Design of hybrid vehicle unit

Rozsah práce:

60 stran

27 obrázků

10 tabulek

0 grafů

Akademický rok: 2020/2021

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Strojírenství

Vedoucí práce: Ing Jindřich Hořenín

Klíčová slova: automobil, spalovací motor, elektromotor, hybridní pohon, P2 hybrid

Key words: vehicle, internal combustion engine, electric motor, hybrid powertrain, P2 hybrid

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je zorientovat se a seznámit se s dělením hybridních vozidel a se startér generátory v nich používanými. Dále si tato práce klade za cíl seznámit se s možnými variantami konstrukčního provedení hybridních jednotek. Podle těchto kritérií je cílem navrhnout a vymodelovat 3D model hybridního agregátu, který by zástavbovou délkou modulu odpovídal reálnému použití.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to orientate in the division of hybrid vehicles and to get acquainted with the division of hybrid vehicles and starter generators used in them. Furthermore, this work aims to get acquainted with possible variants of the design of hybrid units. According to these criteria, to design and model a 3D model of a hybrid unit, which would correspond to the actual use by the installation length of the module.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “ Návrh hybridního agregátu vozidla ” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne:

.....

(podpis autora)

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jindřichu Hořenínovi za cenné rady, připomínky a pomoc s hledáním materiálů pro sepsání této práce. Dále bych rád poděkoval přátelům a všem členům své rodiny za podporu po celou dobu mého bakalářského studia.

Obsah

1 Úvod.....	3
2 Dělení hybridních vozidel	4
2.1 Podle umístění elektropohonu	5
2.1.1 Umístění P0.....	5
2.1.2 Umístění P1.....	6
2.1.3 Umístění P2.....	6
2.1.4 Umístění P3.....	7
2.1.5 Umístění P4.....	8
2.2 Podle stupně hybridizace.....	8
2.2.1 Micro hybrid	9
2.2.2 Mild hybrid.....	9
2.2.3 Full hybrid	9
2.2.4 Plug-in hybrid.....	10
2.3 Podle uspořádání výkonové cesty	11
2.3.1 Sériové uspořádání	11
2.3.2 Paralelní uspořádání	11
2.3.3 Kombinované uspořádání	12
3 Elektromotory hybridních vozidel	14
3.1 Stejnoseměrný motor (DC)	14
3.2 Synchronní motor s permanentními magnety (PM)	15
3.3 Indukční motor (IM)	16
3.4 Reluktanční motor (SRM)	17
4 Způsoby spojení pohonných jednotek	19
4.1 Převodové prvky	19
4.1.1 Řemenový převod	19
4.1.2 Řetězový převod	21
4.1.3 Převod planetovým soukolím	22
4.2 Spojovací členy	23
4.2.1 Suchá spojka	23
4.2.2 Mokrý spojka	24
4.2.3 Zubová spojka	25
5 Konstrukční návrh hybridního modulu	26
5.1 Výběr konstrukčního provedení.....	26
5.2 Výběr pohonných jednotek.....	26
5.2.1 Výběr spalovacího motoru.....	27
5.2.2 Výběr Elektromotoru	27
5.2.3 Převodový poměr	28
5.3 Návrh spojení jednotlivých členů.....	29
5.3.1 Výpočet potřebného předpětí pro připojení setrvačnicku klikové hřídeli.....	29
5.3.2 Výpočet délky drážkování k přenosu momentu na spojovací člen	31
5.3.3 Návrh zubové spojky.....	32



5.3.4 Výpočet délky drážkování k přenosu momentu na spojku C1	34
5.3.5 Výpočet rozměrů třecí spojky C1	35
5.4 Návrh řemenového převodu.....	36
5.4.1 Volba řemene	36
5.4.2 Určení sil působících v řemeni	39
5.4.3 Výpočet dovolených odchylek polohy	40
5.5 Návrh ložisek	40
5.5.1 Volba ložisek	41
5.5.2 Výpočet zatížení ložisek	41
5.5.3 Životnost ložisek	42
5.6 Model agregátu	42
5.6.1 Popis agregátu	43
5.6.2 Ovládání spojek.....	44
5.6.3 Funkce agregátu	45
5.6.4 Připojení agregátu mezi spalovací motor a převodovou skříň	45
6 Závěr	48
7 Použité zdroje	49
8 Seznam obrázků.....	52
9 Seznam tabulek.....	53



1 Úvod

Je tomu téměř celé půlstoletí, co se osobní automobily staly nedílnou a nepostradatelnou součástí lidských domácností. Často se také stává, že jedna domácnost vlastní více než jedno vozidlo, a používá je pro různá použití, ať už se jedná o cestování do práce nebo o jízdu obtížným terénem uprostřed lesů. Většina těchto automobilů stále používá generacemi prověřený způsob pohonu, tedy motor s vnitřním spalováním.

V posledních letech se však s růstem lidské populace zvyšuje i počet automobilů na silnicích, a tak roste i produkované množství skleníkových plynů. Proto se většina výrobců rozhodla využívat i jiné druhy pohonů, které by napomohly ke snížení této produkce. Díky této snaze se tak rozšířila vozidla využívající hybridní nebo elektrický pohon.

Cílem této bakalářské práce je sestavit hybridní agregát vozidla, který by přispěl ke snížení škodlivých plynů a napomohl tak ekologické situaci naší planety. Mezi výrobci automobilů je toto téma oblíbené z toho důvodu, že každý výrobce se v otázce hybridního pohonu ubírá jiným druhem konstrukce pohonu.

Mou hlavní motivací pro výběr tohoto tématu byl zájem o právě se rozvíjející nové odvětví hybridních pohonů a možnou budoucnost civilní dopravy. Také mě zaujal fakt, že si mohu sám navrhnout model, který by mohl být použit i v mém budoucím vozidle.



2 Dělení hybridních vozidel

V této části mé práce jsem se zabýval několika různými rozděleními hybridních vozidel, které se běžně používají v odvětví hybridních pohonů. Každé rozdělení jsem charakterizoval podle hlavního kritéria, podle kterého se odvíjí dělení do jednotlivých kategorií. Každá kategorie je popsána jejími rozdíly vůči ostatním kategoriím a zmíněny jsou i některé výhody a nevýhody dané kategorie. Dále jsou zde uvedeny druhy elektromotorů používané v hybridních agregátech a jejich charakteristiky.

Pojmem hybridní vozidlo se rozumí vůz, který je poháněn kombinací více pohonů a využívá efektivně jejich vlastnosti. Toto vozidlo je také vybaveno nejméně dvěma zásobníky energie, přičemž je jeden ze zásobníků dobíjen během jízdy. [1]

Způsob provedení hybridních systémů vozidel se stejně jako u jiných výrobků liší v závislosti na výrobci. Existuje však několik hledisek, která mají všechna vozidla společná, a je tak možné je podle nich dělit. Každé rozdělení je vhodné použít pro jiné sdělení informací o vozu. Například výrobce vozidla bude s ohledem na konstrukci pohonné jednotky používat takové rozdělení, aby bylo jasné, ve kterém místě je používán elektromotor připojen na hlavní výkonovou cestu. Prodejce aut však bude volit jiné dělení, hlavně kvůli srozumitelnosti sdělovaných vlastností určených pro koncového zákazníka.

Jedním z dělení hybridů je podle umístění elektropohonu, který se dělí na:

- P0 – Umístění před spalovací motor
- P1 – Umístění za spalovací motor
- P2 – Umístění mezi spalovací motor a převodovou skříň
- P3 – Umístění v převodové skříni
- P4 – Umístění za převodovou skříni

Další dělení se týká stupně hybridizace a toho, jaké funkce je schopen elektromotor plnit. Podle tohoto dělení se hybridy dělí na:

- Micro hybrid
- Mild hybrid
- Full hybrid
- Plug – in hybrid

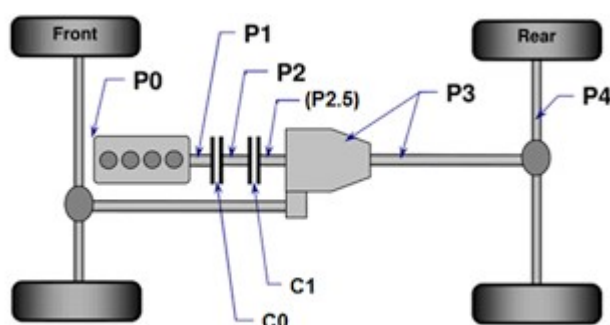


Poslední používané dělení je založeno na charakteristice toku výkonu hybridním agregátem. Podle toho se hybridy dělí na:

- Sériové hybridy
- Paralelní hybridy
- Kombinované hybridy

2.1 Podle umístění elektropohonu

Tento druh dělení hybridních pohonů se používá pro přesnější popis uspořádání pohonných jednotek v hlavní výkonové cestě vozidla. Hlavním kritériem tohoto dělení je místo připojení elektromotoru k hlavní výkonové cestě od spalovacího motoru přes převodovou skříň na kola vozidla. Podle tohoto kritéria je možné hybridní systém dělit do pěti různých kategorií. Pro každý stupeň se používají elektropohony s různými výkonovými parametry. Podle umístění elektromotoru také vznikají funkce, které hybridní pohon může plnit. Avšak nevýhodou tohoto dělení je fakt, že některé konstrukce jsou tak složité, že je není možné jednoznačně zařadit do jedné z těchto kategorií. [2]



Obr. 1 - Označení hybridů podle umístění elektromotoru [2]

2.1.1 Umístění P0

Systém s označením P0 je nejjednodušší, a tudíž pravděpodobně i nejlevnější řešení hybridního pohonu. V zásadě se tento systém neliší od standardního uspořádání v běžných automobilech. Alternátor je v tomto případě nahrazen takzvaným startér-generátorem. Alternátor plní ve vozidle jediný úkol, transformuje energii spalovacího motoru na elektřinu a dobíjí tak autobaterii. Startér-generátor je však schopný, mimo transformace kinetické energie na elektřinu a dobíjení baterie, vyvinout potřebný výkon na to, aby roztočil spalovací motor. Proto také tento jednoduchý systém dokáže zastavit a v krátkém čase znovu



rozběhnout spalovací motor a uspořít tak část paliva, kterou by za danou dobu nečinnosti motor spotřeboval. Tento systém se dnes hojně využívá pod názvem „Start & Stop“. [2] [3]

Zmiňovaný startér-generátor je v tomto případě připojen ke spalovacímu motoru stejným způsobem, jako byl připojen alternátor, a to pomocí řemenového převodu. Dále jej pohání systém o vyšším napětí, než poháněl alternátor. Pomocí tohoto vysokonapěťového systému je elektromotor schopen otáčet řemenici oběma směry, což umožňuje využívat brzdou energii vozidla. [2]

Zásadní nevýhodou tohoto systému je jeho nižší účinnost (až do 85 %) způsobená prokluzem použitého řemenu. Další nevýhodou systému P0 je fakt, že při rekuperaci energie z brzd se zvyšují ztráty způsobené v motoru, a snižuje se tak množství brzděné energie, které je přeměněné na elektřinu. [3]

2.1.2 Umístění P1

V případě P1 je elektromotor umístěn za motor a je pevně spojen s klikovým hřídelem motoru. Elektromotor může pracovat dvěma možnými způsoby. Pokud vozidlo spomaluje, elektromotor pracuje jako generátor a dobíjí tak baterie. Druhý režim je čistě motorický režim při rozjezdu vozidla, nebo jako asistence při akceleraci. [2]

Na rozdíl od P0 je P1 napojena přímo na klikový hřídel, tudíž není elektromotor limitován účinností a prokluzem řemenového převodu a dosahuje tak vyšší účinnosti (až 94 %). [3]

Toto spojení však přináší i jisté nevýhody. Jelikož zde nefiguruje žádný převod, musí být moment elektromotoru dostatečně velký, aby překonal moment tření spalovacího motoru a umožnil tak rozjezd vozidla i jízdu na čistě elektrický pohon. Tím pádem i rekuperace brzděné energie není tak velká (kvůli ztrátám způsobeným třením v motoru). Hlavními nevýhodami jsou však vysoká cena agregátu a dopad na konstrukci celého hnacího ústrojí vozidla. [2] [3]

2.1.3 Umístění P2

Umístění P2 je první konstrukční řešení, které není pevně spojeno s klikovým hřídelem spalovacího motoru. P2 je umístěno mezi spalovací motor a převodovou skříň, tedy podobně jako P1. Mezi spalovací motor a hybridní pohon je ale umístěna spojka C0, která odpojuje spalovací motor od pohonu. Právě díky této spojce pracuje P2 s vyšší účinností (až 95 %), než tomu bylo v předešlých případech. Vyšší účinnost je způsobena tím, že při



rozběhu nemusí elektromotor překonávat momenty, které jsou způsobeny třením ve spalovacím motoru. Zároveň je regenerace brzděné energie také účinnější, jelikož jsou odpojeny rotační hmoty motoru. [2] [3]

P2 má několik konstrukčních řešení. Jedno z řešení je použití elektromotoru v ose klikového hřídele spalovacího motoru. Druhou variantou je umístění elektromotoru rovnoběžně s osou pohonu. Výhodou této varianty je, že elektromotor nemusí produkovat vysoký moment, který je převodem zvětšený. [4]

Pro každé konstrukční řešení se používá jiná konstrukce elektromotoru. Pro in-line hybrid se používají motory s nízkými otáčkami, které jsou podobné otáčkám spalovacího motoru s vysokým momentem. Tyto elektromotory se označují pojmem „Integrated Starter Generator“ (ISG). Pro off-axis hybridní konstrukci se naopak používají elektromotory s vysokými otáčkami a malým točivým momentem, které se označují pojmem „Side-Attached Starter Generator“ (SSG). [5]



Obr. 3 - Model off-axis P2 hybridu



Obr. 2 - In-line P2 hybrid

2.1.4 Umístění P3

Tento případ je podobný předchozímu řešení. Rozdílem je, že elektromotor se řadí až na výstup převodové skříně. Konstrukční řešení neumožňuje elektromotoru pracovat s proměnlivými otáčkami a maximálně tak využít pracovní účinnost elektromotoru. I přesto je toto řešení účinnější (95 %) než možnosti P0 a P1. [3]

Díky svému umístění je možné při jízdě na elektrickou energii vynechat převodovou skříně a zamezit tak ztrátám, způsobeným setrvačností ozubených kol v převodovce. Avšak ze stejného důvodu není elektromotor schopen generovat elektrickou energii k dobíjení



baterie, pokud se vozidlo nepohybuje. To je řešeno připojením baterie přímo na spalovací motor. [2]

2.1.5 Umístění P4

Umístění P4 lze používat dvěma různými způsoby. [2]

V prvním případě se jedná o variantu, kde jsou použity dva elektromotory, běžně nazývané jako P0+P4. První elektromotor je umístěn na pozici P0 nebo P1, a jeho úkolem je dodávat točivý moment a podporovat tak spalovací motor. Druhý elektromotor může být spojen se zadní nápravou. Ta není spojena se spalovacím motorem a je tedy poháněna pouze elektrinou s možnou rekuperací. Vozidlo tak může pracovat i s omezeným způsobem náhonu na všechna kola. [2]

Účinnost tohoto způsobu je potenciálně vyšší při jízdě čistě na elektrický pohon a regeneraci brzdné energie kvůli tomu, že elektrický motor nemusí dorovnávat točivý moment motoru a odpadají tak ztráty v převodové skříní a setrvačnost. Hlavními výhodami jsou možnost využití AWD funkce a malé změny v konvenční hnací jednotce a ústrojí. Cena je však kvůli dvěma elektromotorům vyšší. [2]

Druhou možností je takzvaný „*P4 Only*“. V tomto případě je elektromotor použit pouze na nehnané nápravě a využívá tak výhod P0+P4, ale pozbývá možnosti přímého nabíjení, jelikož chybí elektromotor spojený se spalovacím motorem. Řešením je možnost nabíjení baterií pomocí spalovacího motoru. Takový způsob pracuje s nižší výkonností. [2]

2.2 Podle stupně hybridizace

Podle tohoto rozdělení můžeme hybridní vozidla rozdělit do kategorií v závislosti na tom, jak vysokou pozici v pohonném ústrojí vozidla zastává elektromotor. Zároveň je toto označování hybridních vozidel velice rozšířené při představování hybridních vozidel veřejnosti. S vyšší pozicí elektromotoru pak rostou jeho rozměry a požadovaný výkon, avšak s nárůstem výkonu a rozměrů elektromotoru klesají nároky na spalovací motor. Tím pádem můžeme říct, že s rostoucím stupněm hybridizace vozidla roste výkon elektromotorů, zároveň však klesá pracovní vytížení spalovacího motoru a jeho potřebný výkon. Ten pak může pracovat pouze v pásmu otáček, při které dosahuje spalovací motor nejvyšší účinnosti.



2.2.1 Micro hybrid

Micro hybridní vozidla pracují s nejjednodušším stupněm hybridizace, avšak se mezi normální hybridy neřadí. Jako využití elektrické energie se zde totiž používá pouze jednoduchý start/stop systém. Jde totiž jen o pouhé nahrazení standartního alternátoru za takzvaný reverzibilní alternátor, který slouží jako startér – generátor. [6]

Alternátor je stejně jako v případě obvyklého provedení automobilů se spalovacím motorem připojen ke klikové hřídeli pomocí řemenového převodu a pracuje s napětím 12 V a výkonem od 1 do 5 kW. Úspora paliva tohoto systému je takřka nepatrná. [5]

2.2.2 Mild hybrid

Tímto termínem se označují vozidla, která využívají nejčastěji kombinaci spalovacího motoru a elektromotoru, který je napájený napětím 48 V. Hlavní výhodou tohoto systému je, že dokáže pomocí rekuperace využít kinetickou energii při zpomalování a brzdění, která by se jinak mařila jako teplo odváděné do okolí vozidla. Jízda vozidla, které je pouze na elektřinu, není možná, jelikož se Mild hybridní systém stále spoléhá spíše na energii spalovacího motoru než elektrického. Ten slouží stále jako podporný pohon při rozjezdu, zrychlování, nebo jízdě při vysokých výkonech. Tento fakt se také projevuje ve výkonu elektromotorů používaných v těchto systémech, který se pohybuje v rozmezí 5–15 kW. [5] [7]

Dalšími výhodami jsou, kromě možnosti rekuperace kinetické energie a ukládání rekuperované energie do 48V baterie, nižší pořizovací cena oproti jiným hybridním vozidlům a nízká emisivita, která se pohybuje mezi 13-22 %. [5] [7]

2.2.3 Full hybrid

Full hybridní vozidla jsou prvním hybridním systémem, který dokáže pohánět vozidlo nejen za pomoci spalovacího pohonu v kombinaci s elektromotorem, ale elektromotor je dostatečně výkonný na to, aby poháněl vozidlo samostatně při malých rychlostech. Pokud se vozidlo začne pohybovat vyššími rychlostmi, k výkonu elektromotoru se automaticky přidá výkon generovaný spalovacím motorem. Kvůli možnosti používat k jízdě spalovací motor, elektromotor nebo jejich kombinaci, musí být ve vozidle dělič výkonu, který samostatný chod obou motorů i jejich kombinaci zajišťuje. [8]

Elektromotor je, jak již bylo řečeno, na rozdíl od předchozích stupňů, které umožňovali pouze rozjezd a podporu spalovacího motoru při akceleraci, schopen i



samostatně pohánět vozidlo. Proto musí mít elektromotor dostatečný výkon. Výkon těchto elektromotorů se pohybuje mezi 20 a 40 kW. Baterie pak může být dobíjena rekuperací kinetické energie při prudkém brzdění nebo může být dobíjena pomocí spalovacího motoru. [5] [8]

Výhodou full hybridů je, že umožňuje několik jízdních režimů. Další výhodou těchto vozidel je, že ze všech druhů hybridních vozidel zvládá full hybrid využít plně potenciál této technologie. Díky tomu je možné redukovat množství produkce oxidu uhličitého o 20–30 %. [5]

2.2.4 Plug-in hybrid

V technickém základu se plug-in hybrid výrazně neliší od full hybridního vozidla. Avšak rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že nabíjení baterie full hybridu je možné jen rekuperací při brzdění vozidla nebo pomocí spalovacího motoru. Kdežto baterii plug-in hybridů je možné dobíjet pomocí zásuvky, nebo dobíjecí stanice napojené na běžnou rozvodnou síť elektrického proudu. Tento druh hybridního vozidla je vybaven výkonnějším elektromotorem (výkon používaných elektromotorů se pohybuje mezi 60 až 120 kW) a silnější baterií s vyšší kapacitou (u běžných hybridů bývá kapacita baterie mezi 1 až 2 kWh, kapacita baterie se pohybuje od 5 do 10 kWh). Kvůli vyšší kapacitě této baterie je potom možné dosáhnout dojezdu až 50 km za pomoci elektrického pohonu bez toho, aby bylo nutné rozběhnout spalovací motor, což je velice užitečné v městském provozu. [5] [9]

Výhodami tohoto druhu je tedy vysoký dojezd pouze na elektrický pohon, který je u konvenčních hybridů nejdelší. S dlouhým, čistě elektrickým dojezdem, se pojí výhoda ekologie provozu vozidla. Tou je nízká emisivita vozidla, produkce nejnižšího množství oxidu uhličitého ze všech hybridních kategorií a nízké provozní náklady vozidla ve srovnání s vozidly s benzínovým nebo naftovým motorem. Je tak možné pořízením plug-in hybridního vozidla ušetřit. [10]

Naopak značnou nevýhodou je pořizovací cena vozidla a taktéž servisní náklady, které jsou kvůli přítomnosti spalovacího motoru s elektromotorem vyšší než u elektromobilů. Dalším nepříznivým faktorem je vyšší hmotnost vozidla a složitější konstrukce pohonu. [9] [10]

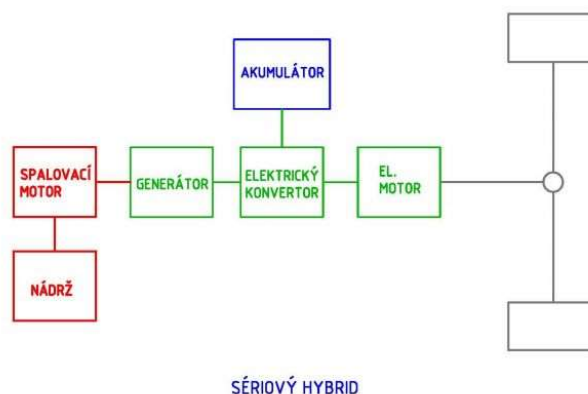


2.3 Podle uspořádání výkonové cesty

Hybridní vozidla lze také dělit na základě cesty toku mechanického a elektrického výkonu z motorů na poháněná kola. Podle daného uspořádání se mění uspořádání motorů, elektrického konvertoru, generátoru a akumulátoru. Podle základních uspořádání jednotlivých pohonných větví výkonu rozdělujeme tyto druhy uspořádání do tří různých kategorií. Jsou to kategorie sériové, paralelní a smíšené (neboli kombinované).

2.3.1 Sériové uspořádání

Jednotlivé prvky v tomto uspořádání jsou zapojeny za sebou, tedy sériově. V tomto uspořádání je vozidlo poháněno pouze elektromotorem, který má lepší průběh točivého momentu a rozsah otáček než spalovací motor. Proto není potřeba převodová skříně. Spalovací motor pohání pouze generátor, který vzniklým proudem pohání elektromotor nebo dobíjí akumulátor. [6]



Obr. 4 - Sériové uspořádání hybridu [6]

Hlavní výhodou sériového uspořádání je, že spalovací motor není připojen přímo na poháněnou nápravu, proto jej lze dimenzovat se stacionárními otáčkami tak, aby mohl pracovat s nejvyšší možnou účinností. Hlavní nevýhodou je pak vícenásobná přeměna energie. Mechanická energie mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou je maximálně 55 %. Ve srovnání s paralelním uspořádáním je sériově účinnější při nižších rychlostech, tedy při jízdě po městě. [8]

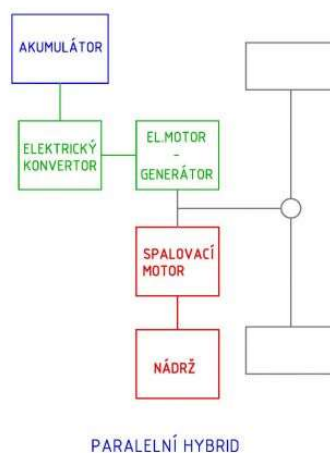
2.3.2 Paralelní uspořádání

Paralelní hybridy jsou v poslední době nejprodávanějším druhem hybridních pohonů. Jednotlivé komponenty jsou zapojeny paralelně a oba motory se podílejí na pohonu vozidla. Elektromotor se zde zpravidla umísťuje mezi motor a převodovou skříně nebo na výstupní



hřídel převodové skříně. Zároveň může elektromotor sloužit jako startér, alternátor a setrvačnick. Pro maximalizaci účinnosti spalovacího motoru jsou veškeré elektrické spotřebiče poháněny elektromotorem. [8]

Jelikož jsou oba motory spojeny hřídelem, je jejich okamžitý výkon dán součtem momentů na jednotlivých motorech.



Obr. 5 - Paralelní uspořádání hybridu [6]

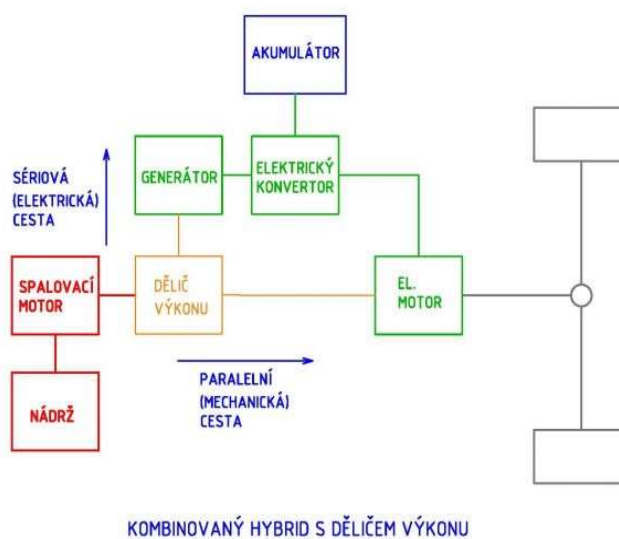
2.3.3 Kombinované uspořádání

Při kombinaci předchozích dvou uspořádání dochází ke sloučení výhod a zároveň k pokrytí některých nevýhod dřívějších spojení. Tento hybridní vůz bychom v závislosti na předchozích uspořádáních označili jako „full“ hybrid, plug-in hybrid nebo hybrid s označením P2, nebo P4.

Kombinované pohony můžeme dělit do dalších dvou kategorií. Těmito kategoriemi jsou přepínatelné hybridy a hybridy s dělením výkonu. Přepínatelné pohony mohou pracovat čistě jako sériový hybrid nebo čistě jako paralelní hybrid. Pohony s děleným výkonem využívá planetovou převodovka. Planetová převodovka dělí výkon mezi pohon hnané nápravy a pohon generátoru, který nabíjí akumulátor. [6]

Akumulátor pak podle potřeby napájí elektromotor mechanicky spojený s hnanou nápravou. Pohon může také pracovat v takzvaném nadsynchronním režimu, kdy je zaměněna funkce obou elektrických strojů. Elektromotor tedy funguje jako generátor a naopak. [6]

Výhodou pohonu s dělením výkonu je oproti sériovému uspořádání snížení ztrát a tím i vyšší účinnost. V současnosti jde o nejpoužívanější systém. [8]



Obr. 6 - Kombinované uspořádání hybridu [6]

Některé automobilové společnosti nabízejí v současné době u některých modelů vylepšenou verzi systému s děličem toku výkonu, který pohání pouze přední nápravu vozidla. Vylepšení spočívá v přidání třetího elektromotoru jako pohon zadní nápravy. Tento koncept se uplatňuje v hybridních verzích vozidel kategorie SUV. [11]



3 Elektromotory hybridních vozidel

Elektromotory jsou v současnosti nejpoužívanějším pohonem hybridního vozidla. Jak bylo zmiňováno, pro každý druh hybridního vozidla je vhodné využívat elektromotory o různých výkonech. Parametry elektromotorů se také liší v závislosti na jejich druzích.

Proto jsou v této kapitole uvedeny druhy elektromotorů, které by za určitých podmínek mohly být použity v hybridním voze, a zmíněny jsou jejich výhody odlišnosti od jiných druhů.

Pokud je pro hybridní pohon navržen určitý elektromotor, musí splňovat řadu nároků, které zaručují lepší parametry pohonu. Jedním z těchto nároků je například vysoký kroutící moment při nízkých otáčkách a zároveň vysoký výkon při vysoké rychlosti. Tento nárok je na elektromotor kladen proto, aby bylo možné vozidlo pohánět při rozjezdu nebo při jízdě ve stoupání a zároveň mohlo vozidlo využívat režimu plachtění. Dalším požadavkem je pak i co největší rozsah otáček pro pásma s konstantním momentem a konstantním výkonem, co nejvyšší účinnost a rozumná cena elektromobilu. [12]

Elektromotory se rozdělují v závislosti na elektrickém proudu, který jimi protéká. Takto se elektromotory dělí na střídavé a stejnosměrné. Střídavé motory pak můžeme dělit na synchronní a asynchronní motory, takzvané indukční. Synchronní motory se dále dělí na motory s permanentními magnety a reluktanční motory. [1]

3.1 Stejnosměrný motor (DC)

Stejnosměrný motor je napájen stejnosměrným proudem. Celý motor se skládá z rotorové a statorové části. Na rotor motoru je navinuta cívka, kterou proud protéká. Stator pak tvoří permanentní magnety nebo vinutí pod proudem. Jakmile je motor pod proudem, elektromagnetické pole vzniklé na rotoru je přitahováno a odpuzováno permanentními magnety statoru. Díky tomuto jevu se rotor motoru začne otáčet. Důležitým prvkem stejnosměrného motoru je komutátor, který zajišťuje změnu polaritu vinutí motoru, aby se motor nepřestal otáčet při střetnutí severního pólu statoru s jižním pólem vinutí statoru. [13]

Dříve byly stejnosměrné motory používány pro jejich dobrou závislost kroutícího momentu na otáčkách, která výborně odpovídala potřebným požadavkům na hybridní pohon, nízké ceně a snadnému řízení rychlosti. Nicméně mají tyto motory řadu nevýhod, kvůli kterým se již dnes nepoužívají. Těmito nevýhodami jsou například objemná konstrukce motoru, nízká účinnost a nízká spolehlivost. Největší nevýhodou je však nutnost časté údržby, která je zapříčiněna stykem mechanických částí, komutátoru a kartáčů. [12]



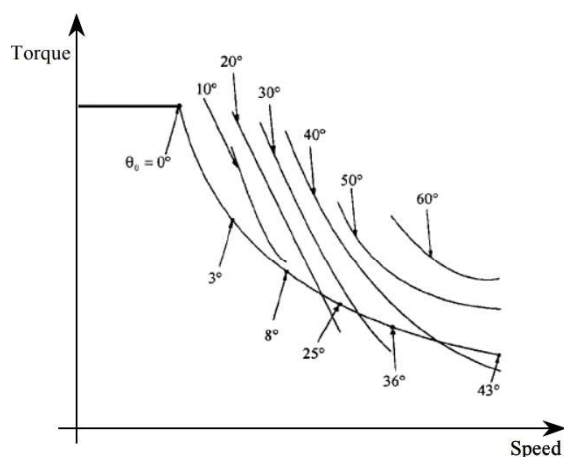
Hlavním představitelem využití tohoto druhu motorů byl francouzský automobilový koncern PSA Peugeot Citroën, který motory v systému zvaném Dynavolt používal ve známém modelu Berlingo. [12]

3.2 Synchronní motor s permanentními magnety (PM)

Princip pohonu motoru je podobný jako u všech elektromotorů, rotor motoru je tvořen permanentními magnety, nebo vinutím napájeným stejnosměrným proudem a stator je tvořen vinutím, kterým pochází střídavý elektrický proud. Při toku elektrického proudu statorom vzniká na statoru rotující elektromagnetické pole, které unáší rotor synchronními otáčkami. To znamená že otáčky rotoru se rovnají otáčkám elektromagnetického pole statoru. [14]

Synchronní motory jsou hojně využívány známými společnostmi kvůli výhodám konstrukce. Stejně jako u indukčních a reluktančních motorů zde nedochází k mechanickému kontaktu mezi rotorem a statorom motoru, a tak není zapotřebí časté údržby. [12]

Synchronní motor má řadu výhod, kterou je například vysoký tok výkonu vzhledem k malé hmotnosti a rozměrům motoru, vyšší účinnost, než dosahuje indukční motor a účinně odvádí teplo do okolí. Avšak pro použití v hybridním pohonu jej omezuje jeho příliš úzká oblast konstantního výkonu, která se využívá pro jízdu ve vysokých rychlostech. [12]



Obr. 7 - Momentová charakteristika PM motoru s ovládním účinníku [12]



Oblast konstantního výkonu je však možné až trojnásobně rozšířit a zvýšit i účinnost, se kterou v této oblasti motor pracuje. Toho je dosaženo řízením účinníku elektrického proudu procházejícího motorem. Toto ovládání má také své nevýhody, při vysokých rychlostech je nutné počítat s tím, že se rapidně zhorší účinnost elektromotoru a také se může stát, že se permanentní magnety použité v motoru demagnetizují. [12]

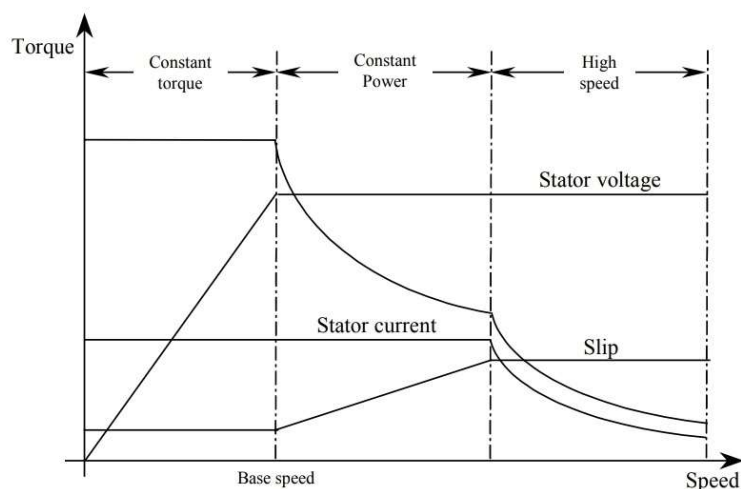
PM se používá v několika druzích, které se liší v usazení magnetů, výškou vzduchové mezery nebo počtem magnetů. Jedním z druhů je takzvaný hybridní PM. V tomto případě je v motoru vytvořeno magnetické pole, které je vytvořené ve vzduchové mezeře pomocí vinutí motoru. Další možný druh je motor, který je kombinací PM a reluktančního motoru. Tyto motory pak dosahují vysokých rychlostí, lepší účinnosti, ale mají také mnohem složitější konstrukce. [12]

3.3 Indukční motor (IM)

Nejrozvinutějšími a téměř nepoužívanějšími motory napříč veškerým průmyslem jsou asynchronní motory, které jsou poháněny indukovaným napětím ze statoru na kotvu rotoru. [12]

Princip indukčního motoru je ve výsledku podobný principu činnosti synchronního elektromotoru s permanentními magnety, ale v případě indukčního motoru se elektromagnetické pole rotoru opožděně otáčí za elektromagnetického pole statoru. Právě kvůli skluzu, který se odvíjí od zátěžového momentu, motor nikdy nedosáhne synchronních otáček a pracuje tak s otáčkami menšími, než jsou synchronní otáčky. [15]

Indukční motory jsou velkou konkurencí synchronním motorům a jsou též brány v potaz jako budoucnost hybridních pohonů kvůli svým rozměrům, spolehlivosti a velmi přívětivé ceně. Snížením magnetického toku dosahují indukční motory zvýšení otáček. Naproti výhodám indukčního motoru stojí i několik nevýhod, které omezují jeho používání. Ve srovnání se synchronním motorem má indukční motor nižší účinnost a vysoké ztráty zapříčiněné vinutím kotvy motoru a ztrátách vedením. Pro odstranění těchto nevýhod je však vyvíjeno vhodné ovládání pro zvýšení účinnosti. [12]

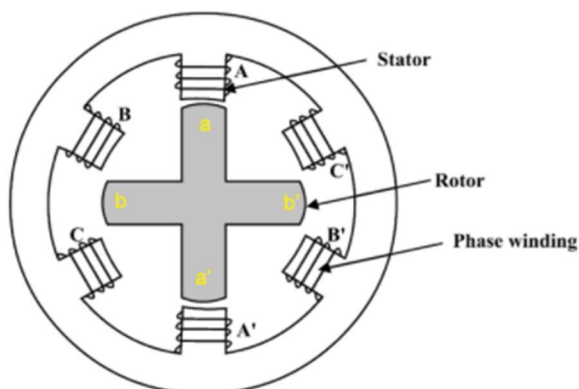


Obr. 8 - Momentová charakteristika indukčního motoru [12]

Na rozdíl od ostatních motorů jejich momentová charakteristika obsahuje i pásmo vysokých rychlostí, ve kterém se motor ocitne po překročení momentu zhroucení, který odděluje pásmo konstantního výkonu a vysokých rychlostí. [12]

3.4 Reluktanční motor (SRM)

Reluktanční motory pracují na principu změny reluktance v točivém magnetickém poli. Reluktance, která bývá často označována jako magnetický ekvivalent elektrického odporu, je závislá na výšce vzduchové mezery mezi státorem a rotorem motoru. Stator je vytvořen z plechů z měkkého kovu, na jejichž výstupky jsou navedeny jednotlivé fáze. Rotor na rozdíl od jiných motorů postrádá vinutí. [16]



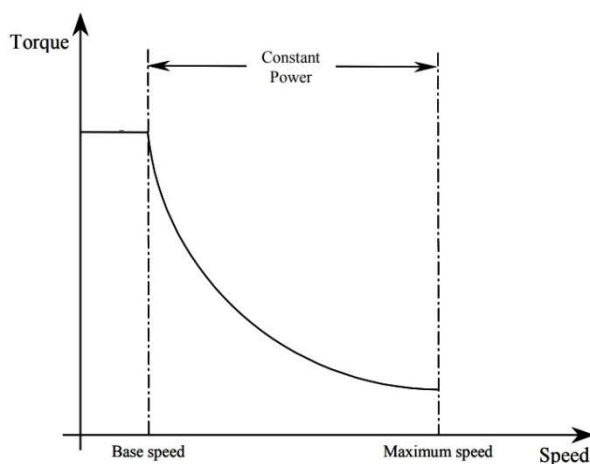
Obr. 9 - Uspořádání reluktančního motoru

Pokud je malá vzduchová mezera, reluktance magnetického pole je minimální. Pokud je magnetické těleso vystaveno magnetickému poli, samo se ustaví tak, aby reluktance byla co nejmenší. Pro pohyb rotoru protéká proud vždy jen jednou z fází na



statoru. Podle toho se natočí rotor a při dosažení polohy se proud ve fázi přeruší a proud teče jinou fází. Takto se rotor točí tím, že se vždy snaží dosáhnout stavu nejnižší reluktance a pomocí postupného přepínání fází jí nikdy nedosáhne.

Hlavní a nespornou výhodou reluktančního motoru je jeho momentová charakteristika, která se vyznačuje extrémně širokou oblastí konstantního výkonu. Nicméně má reluktanční motor několik nevýhod, které z velké míry převyšují přínos jeho výhod a jsou pro použití v automobilech nežádoucí. Tyto motory jsou velmi hlučné a potýkají se s nerovnoměrností produkce kroutícího momentu a přívodu proudu. [12]



Obr. 10 - Momentová charakteristika reluktančního motoru

Pokud by se reluktanční motory měly používat jako pohony hybridních vozidel, musely by být tyto nevýhody odstraněny nebo zmírněny na úroveň potřebnou k tomu, aby bylo možné je ve vozidlech používat. [12]



4 Způsoby spojení pohonných jednotek

Jelikož je hybridní agregát tvořen dvěma pohony, je nutné provést připojení jednoho pohonu na hlavní výkonovou cestu a zároveň realizovat takové připojení pohonu druhého, aby celý pohon mohl pracovat v několika různých režimech. Existuje mnoho možností, jak tyto dva pohony spojit, ale ne všechny způsoby jsou pro tento případ přenosu výkonu použitelné, ať už z důvodu hlučnosti, maximálního zatížení nebo obvodových rychlostí.

Kvůli tomu tato kapitola pojednává o způsobech napojení elektromotoru na hlavní výkonovou cestu vozidla. Poukazuje hlavně na ty způsoby, které se běžně používají v hybridních agregátech a shrnuje jejich výhody a nevýhody. Dále také pojednává o realizaci spojení mezi jednotlivými jednotkami pohonů a převodovým ústrojím, které umožňuje jízdu v několika jízdních stylech automobilu. Na základě parametrů popsaných v této kapitole jsou v následující kapitole navrženy způsoby spojení pohonných jednotek a spojovacích členů mezi nimi.

4.1 Převodové prvky

Tyto prvky se v hybridních pohonech používají pro spojení motorů nebo jako připojení jednoho pohonu k výkonové cestě hlavního pohonu. Převodový prvek pracuje nepřetržitě a není možné jej rozpojit a tok výkonu tak přerušit.

4.1.1 Řemenový převod

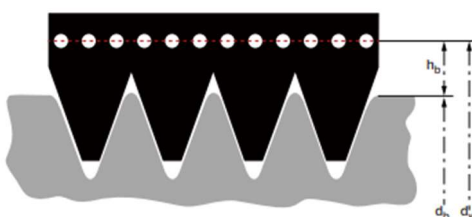
Přenos výkonu pomocí klínového řemene je nedílnou součástí běžných automobilů, kdy je pomocí řemene ke spalovacímu motoru připojen alternátor určený k nabíjení baterie. Tyto pohony jsou navrženy tak, aby poskytovaly točivý moment klikovému hřídeli při startování a ve fázi asistence pro zvýšení točivého momentu. Tento přenos momentu musí však fungovat i opačným směrem, tedy spalovací motor generuje moment pro nabíjení baterií.

Ať už je technologie nebo konstrukce hybridu jakákoli, všechny musí splňovat stejné požadavky. Nesplňování těchto požadavků by znamenalo zkrácení životnosti řemene, horší přenos výkonu a také omezení komfortu během jízdy v podobě hluku pohonu. Pro zachování výkonu nesmí docházet k prokluzu řemene. Proto by měl být řemen stále napínaný a tolerance řemene by měly být co nejlépe kompenzovány. Pro zvýšení životnosti pak pomáhá zmenšení dynamických špiček v pohonu, zamezení dotyku řemene s částmi, které nejsou



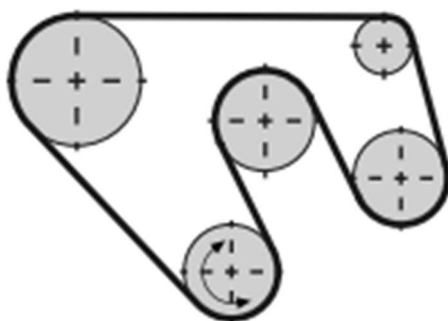
součástí řemenového převodu, aby nedocházelo k nadměrnému opotřebení řemene. Vlivem vysokých teplot dochází i k prodlužování řemene, a i tento faktor je nutné v rámci životnosti řešit. [17]

Každý výrobce vyrábí různé druhy řemenů. Může se jednat o řemeny klínové, ploché drážkované nebo ozubené. Každý druh řemenu vyhovuje jinému použití. V automobilech se převážně objevuje řemen drážkovaný. Tyto řemeny mohou podle druhu profilu přenášet různá zařízení při různých otáčkách, a dokáží tak přenést výkony od několika wattů až do 40 kW na jednu drážku řemene s účinností do 96 %. Pokud je však přenášén vysoký výkon, bývá zpravidla přenášén při nižších otáčkách než výkony nižší. [18]



Obr. 11 - Profil drážkového řemene

Výhodami řemenových převodů bývá jejich jednoduchá a levná výroba, tichý chod, nenáročná údržba, která je při provozu vozidel žádána, a možnost pohonu několika řemenic najednou. Proto bývá velmi často v hybridním pohonu k elektromotoru připojen i kompresor pohánějící klimatizaci vozidla. [18]



Obr. 12 - Příklad řemenového převodu

Ovšem řemenové převody s sebou nesou i řadu nevýhod. Přenášený výkon bývá kvůli prokluzu a nízkému úhlu opásání nestálý. Pás je dále náchylný na vysoké teploty a nečistoty. Napínání řemene také způsobuje větší síly v ložiskách. [19]

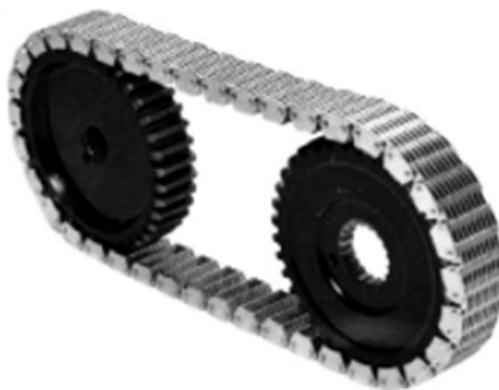


4.1.2 Řetězový převod

Řetězovým převodem se rozumí převod s tvarovým stykem pomocí mezičlenu. Kvůli tomu, že se jedná o převod s tvarovým stykem, nedochází na rozdíl od řemenového převodu k prokluzu a kolísání přenášeného výkonu. Celý převod je tvořen hnacím a hnaným řetězovým kolem a samotným řetězem.

Stejně jako u řemene, existuje několik druhů řetězů. Nejčastěji používanými řetězy jsou válečkové řetězy, které jsou vidět hlavně při pohonu bicyklů. Tyto řetězy mohou přenést v několikařadých variantách výkon pohybuující se ve stovkách kW, ale jsou limitovány malými úhlovými rychlostmi, což je pro použití v hybridních vozidlech nežádoucí. [20]

Pro účely přenosů velkých výkonů při vysokých rychlostech byly speciálně vyvinuty takzvané ozubené řetězy, které se používají i v rozvodech motorů. Ozubené řetězy zvládají přenášet výkon od 30 do 3000 kW při rychlostech od 500 do 12 000 otáček za minutu při malých rozměrech řetězu. [20]



Obr. 13 - Ozubený řetěz

Výhodou řetězových převodů je tedy jejich únosnost a rychlost, kterou dokáže řetěz pracovat. Toho je možné využít pro použití výkonnějších elektromotorů pro hybridní pohon. Další výhodou je oproti řemeni fakt, že řetězový převod neprokluzuje a pracuje tak s účinností až 99,7 %. [20]

Nevýhodou však je, že řetězové převody musí být mazány olejem nebo tukem, který se musí měnit. Proto musí být agregát v případě použití řetězu dobře utěsněn, což prodražuje celou konstrukci agregátu. Zároveň je nutné myslet i na způsob mazání řetězu- toto lze dvěma způsoby. Buďto lze použít takzvané mazání odstříkem, při kterém však dochází ke ztrátě výkonu kvůli brodění řetězu a řetězového kola v oleji. Druhým způsobem jsou rozvodové kanálky, do kterých čerpadlo rozvádí olej. U tohoto druhu mazání je nevýhodou

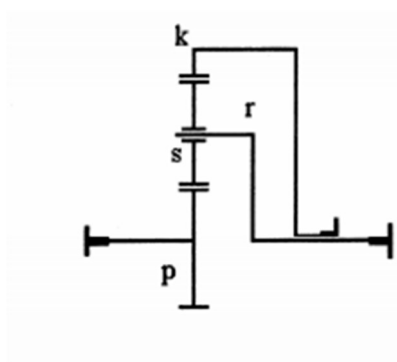


složitější konstrukce skříně a taktéž vyšší cena. Na rozdíl od řemenového převodu mají řetězy hlasitější chod. [20]

Převody pomocí řetězů je možné najít v hybridních modulech firmy BorgWarner. Tato firma se specializuje především realizací hybridních pohonů a systémů pro elektromobily společně s vývojem jednotlivých součástí a řídicích systémů.

4.1.3 Převod planetovým soukolím

Planetové převody jsou speciálním druhem ozubených převodů. Obecně se celé soukolí skládá z centrálního kola, satelitů, které zabírají centrálními koly nebo s jinými satelity, a unašečů. Centrální kola s vnitřním ozubením se často nazývají planety, kdežto centrální věnce s vnitřním ozubením se nazývají koruna. Unašeč, který spojuje satelitní ozubená kola je souosý s planetovým kolem a rotuje v závislosti na převodovém poměru. Kvůli rotaci pak satelity konají složený pohyb, který se skládá z rotace satelitu a případné rotace unašeče. [21]



Obr. 14 - Schématický náčrt planetové převodovky, (p) planeta, (s) satelit, (r) unašeč, (k) koruna

Tyto převody se také rozdělují podle stupňů volnosti na jednoduché převody a převody složené. Jednoduché převody mají maximálně 2°volnosti. Při 1°volnosti se rotačně pohybují jen dva prvky převodu a jeden z členů slouží jako reakční člen. Při pohybu s 2°volnosti rotují všechny členy převodu a žádný z členů tak nepůsobí jako člen reakční.

Složená planetová soukolí jsou složena z několika jednoduchých soukolí tak, aby tvořily složený mechanismus. Podle toho, jakým způsobem je pak výkon přenášen, se složená soukolí dělí na jednotoké, vícetoké neboli diferenciální a kombinované. [21]



Výhodou použití planetových převodů jsou malé zástavbové rozměry, které se velice hodí pro použití v malých dostupných prostorech. Další výhodou je možnost řazení bez potřeby přerušit tok výkonu. [21]

Převod planetovým soukolím se používá v hybridních vozidlech hlavně jako takzvaný dělič výkonu, který se používá v kombinovaných hybridech, jako jsou například vozidla, v nichž jsou použity systémy HSD (Hybrid synergy drive) produkované firmou Toyota. [6]

4.2 Spojovací členy

Tyto členy jsou velmi důležitou součástí automobilů, které se řadí mezi spalovací motor a převodovou skříň. Použití těchto spojovacích členů se odvíjí od zvoleného druhu převodového mechanismu. Základními funkcemi spojovacích členů jsou přerušování toku výkonu při změně převodového stupně a opětovné rychlé spojení motoru a převodové skříně bez toho, aby docházelo k prokluzu spojky.

4.2.1 Suchá spojka

Princip suchých spojek je založen na přenosu momentu pomocí vysokého tření, které je vyvoláno přitlačením drsného obložení lamely k rotujícímu setrvačníku. Suché spojky se používají hlavně pro převodové skříně s manuálním nebo automatickým manuálním řazením. [22]



Obr. 15 - Lamela třecí spojky, štit s talířovou pružinou a ovládacím ložiskem [22]

Funkce třecí spojky je v zásadě jednoduchá, lamela je přitlačována přitlačným kotoučem silou, kterou na kotouč působí pružiny. Jakmile vypínací ložisko zatlačí na spodní

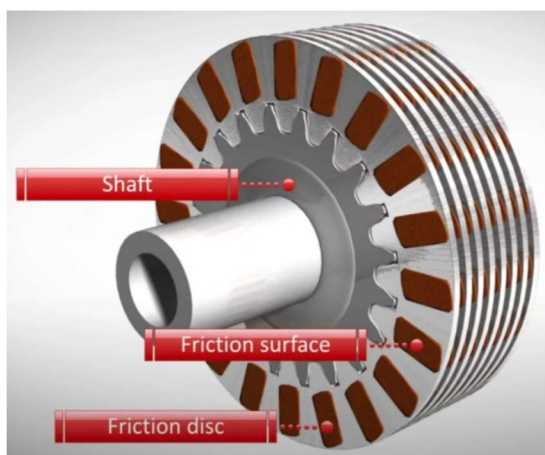


část pružiny, vnější část pružiny přestane silově působit na přítlačný kotouč, a ten se od lamely odtáhne. Lamela tak odskočí od setrvačnicku a spojka je rozpojena. Při opětovném sepnutí spojky stačí jen, aby se vypínací ložisko vrátilo zpět do původní polohy a talířová pružina znovu přitlačí kotouč na lamelu. [23]

Právě přenos momentu za pomoci suchých spojek přináší řadu výhod, mezi něž patří vysoká účinnost, nízké ztráty, a jsou vhodné pro použití při nízkých momentech. Naopak vysoké tření přináší několik nevýhod. Kvůli vysokému tření je životnost třecích spojek nižší, než je životnost mokrých spojek. Zároveň jsou třecí spojky hlučné a neschopné přenášet vysoké momenty. [24]

4.2.2 Mokrý spojka

Název „mokrý“ spojka se odvíjí od způsobu jakým spojka pracuje. Pracovním médiem je totiž olej, který obklopuje celou spojku, která se skládá z několika lamel, aby tak docházelo ke kompenzaci občasného prokluzu spojky. Mokrý spojky se používají hlavně při automatickém řazení používané v automatických převodových skříních vozidel. [24]



Obr. 16 - Lamelové obložení mokré spojky [24]

Princip funkce se výrazně neliší od principu suchých spojek, liší se jen konstrukcí lamel, přítlačného kotouče a způsobu ovládání. Na přítlačný kotouč jsou připevněny pružiny, které jsou druhým koncem přichyceny k ovládacímu prvku. Při přiblížení ovládacího prvku k lamelám je vyvolána v pružinách osová síla, kterou pružiny přitlačí lamely k sobě a přenáší se tak točivý moment. Při oddálení ovládacího prvku se spojka znovu rozpojí. [23]

Spojky tohoto typu se pak využívají pro přenos vysokých momentů a zároveň si drží vysokou životnost obložení. Dále je ve srovnání se suchou spojkou daleko tišší. Nevýhodou však je nutnost kompenzace malého součinitele tření pomocí navýšení počtu třecích ploch a



účinnost je s ohledem na přítomnost tekutiny mezi třecími plochami menší než u suché spojky. [24]

4.2.3 Zubová spojka

Zubové spojky se v automobilní dopravě nevyužívají, mají však několik výhod, které by mohly být pro použití v hybridním modulu užitečné. Zubové spojky přenášejí kroutící moment přímým stykem jednotlivých zubů, a proto nedochází k žádnému prokluzu. [25]



Obr. 17 - elektromagneticky ovládané zubové spojky [25]

Výhodou těchto spojek je množství momentu, které spojka dokáže přenést i při malých rozměrech a bez jakéhokoliv prokluzu. Další výhodou je možnost spojení částí spojky i během rotace a je možné ji použít v jakémkoliv prostředí, mokřém nebo suchém. [25]



5 Konstrukční návrh hybridního modulu

V této kapitole jsem se zabýval konstrukčním řešením hybridního agregátu vozidla. Dále jsem zde vybral pohonné jednotky vozidla, jejichž parametry jsou následně použity k návrhovým výpočtům. Následně je zde pomocí výpočtů proveden návrh všech použitých způsobů spojení, způsobu připojení elektromotoru a ložisek, a následné provedení kontroly navržených spojení a také pevnostní kontroly některých částí. Na závěr je zde představen 3D model celého hybridního agregátu a jsou zde popsány hlavní funkce některých použitých částí modelu.

5.1 Výběr konstrukčního provedení

Ze všech možných provedení agregátu hybridu jsem v návaznosti na vytvořené rešerše možných provedení způsobu pohonu vybral možnost, kterou je možné označit jako pohon Mild hybridního vozidla s umístěním elektromotoru P2.

Dalším parametrem hybridního modulu je způsob připojení elektromotoru. Pro náročnost návrhu planetových soukolí jsem se rozhodl připojit elektromotor paralelně, tedy způsobem Side - Attached hybridu. Při rozhodování použití převodového prvku jsem vycházel hlavně z faktu, že mild hybridní vozidla používají nejčastěji řemen, a tak jsem se rozhodl pro řemenový převod. S použitím řemenového převodu odpadá nutnost mazání, proto jsem jako spojku C1 zvolil třecí lamelovou spojku, která se používá i v běžných automobilech.

5.2 Výběr pohonných jednotek

Pro celou konstrukci agregátu je mimořádně důležité zvolit správné pohony. Při volbě spalovacího motoru jsem vycházel z předpokladu, že se hybridní vozidlo nejvíce využije v městském a případném meziměstském provozu. Za těchto okolností není nutné, aby byl výkon motoru vyšší než 100kW.

S ohledem na výběr konstrukčního provedení hybridního agregátu jsem vycházel z poznatků o mild hybridních pohonech. Výkon elektromotoru by měl být v rozsahu od 5 do 15 kW. [5]



5.2.1 Výběr spalovacího motoru

Spalovací motor, který jsem pro mé řešení zvolil je pohon, který automobilová společnost Škoda používá ve svých modelech Fabia, Scala a Octavia. Jedná se o tříválcový spalovací motor s označením 1.0 TSI/ 85kW. [26]



Obr. 18 - Spalovací motor 1.0 TSI/85kW [32]

Motor s takovýmto výkonem jsem zvolil z důvodu, že Mild hybridní vozidlo je určeno zejména pro městský a příměstský provoz. Při používání vozidla ve městě motor pracuje převážně v oblasti maximálního momentu. Dalším důvodem, proč jsem zvolil motor takového výkonu je také spotřeba paliva a množství výfukových plynů a také skutečnost, že pohon s výkonným spalovacím motorem není nutné doplnit o elektromotor.

Zde jsou důležité údaje o tomto motoru:

Maximální výkon	81 kW
Otáčky maximálního výkonu	5500 min ⁻¹
Maximální kroutící moment	200 Nm
Otáčky maximálního kroutícího momentu	2000–3000 min ⁻¹

Tab. 1 - Parametry spalovacího motoru

5.2.2 Výběr Elektromotoru

Osobně tento bod společně s výběrem způsobu připojení elektromotoru považuji jako velice stěžejní body celé práce. Výběr elektromotoru je podmíněn tím, že daný převodový



prvek musí přenést výkon elektromotoru a zároveň obvodové rychlosti hnacího prvku musí být nižší než rychlost dovolená.

Elektromotor použitý pro mé konstrukční řešení je navržen tak, aby výkonem odpovídal výkonům mild hybridních pohonů a zároveň mohl být připojen drážkovaným řemenem na hlavní výkonovou cestu. Jedná se o tekutinou chlazený 48V indukční elektromotor vyráběný firmou Vitesco Technologies. Jelikož je motor napájen třífázovým střídavým proudem, ale baterie vozidla uchovává proud stejnosměrný, je k motoru připojen i takzvaný inverter, který při průchodu proudu z baterie do motoru funguje jako střídač a při opačné cestě proudu jako usměřovač. [5] [27]



Obr. 19 - 48V elektromotor [27]

Hlavní parametry elektromotoru jsou uvedeny v tabulce:

Průběžný výkon	5 kW
Maximální výkon	15 kW
Maximální moment elektromotoru	60 Nm
Otáčky maximálního výkonu motoru	7000 min ⁻¹
Maximální otáčky motoru	15 750 min ⁻¹

Tab. 2 - Parametry elektromotoru

5.2.3 Převodový poměr

Elektromotor má vyšší otáčky, než má spalovací motor, jelikož by spalovací motor nemohl pracovat v maximálních otáčkách elektromotoru, je nutné zajistit, aby na hnané řemenici byly stejné maximální otáčky, jako má spalovací motor. Díky této úvaze dostaneme rovnici (1), tedy převodový poměr mechanismu. Tento převodový poměr je také důležitý při návrhu drážkovaného řemene. [28]

$$i = \frac{n_{el.motor}}{n_{motor}} \quad (1)$$



$$i = \frac{15\,750}{6300} = 2,5$$

Převodem se nemění výkon. Výkon je obecně u rotačních pohonů dán součinem otáček a kroutícího momentu. Pokud má být výkon stejný při nižších otáčkách, moment musí být zvětšen o převodový poměr. Podle této závislosti jsem zjistil maximální kroutící moment hnané řemenice. [28]

$$M_2 = M_1 \cdot i \quad (2)$$
$$M_2 = 60 \cdot 2,5 = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

5.3 Návrh spojení jednotlivých členů

Pro správný tok výkonu je nutné, aby všechna spojení byla dimenzována tak, aby požadovaný výkon přenesla. Těchto spojení je v hybridním agregátu několik, a pořadí výpočtu jednotlivých spojení je provedeno s ohledem na uspořádání spojení, jak jsou uspořádána na cestě od klikového hřídele motoru až na vstupní hřídel převodové skříně.

5.3.1 Výpočet potřebného předpětí pro připojení setrvačnicku klikové hřídeli

Při připojení setrvačnicku ke klikovému hřídeli je potřeba vyvodit předpětím šroubů takovou sílu, aby se moment z klikového hřídele přenesl na dvoumotový setrvačnick, přes který se moment dostává dál do hybridního agregátu.

Pro výpočet jsem zvolil tyto hodnoty:

Přenášený maximální moment	M	200 Nm
Součinitel tření	μ	0,15
Počet šroubů	n	6
Bezpečnost	β_{max}	1,3
Vnitřní průměr	D_i	100 mm
Vnější průměr spojení	D_e	50 mm

Tab. 3 - Parametry svěrného spojení setrvačnicku

Výpočet vychází z podmínky únosnosti svěrného spoje. [28]

$$M_T \geq M \cdot \beta_{max} \quad (3)$$

$$M_T = Q_0 \cdot i \cdot \mu \cdot R_s \quad (4)$$

$$R_s = \frac{D_e + D_i}{4} \quad (5)$$



$$R_s = \frac{100 + 50}{4} = 32,5 \text{ mm}$$

Spojením rovnic (3) a (4) vznikne konečný vztah, ze kterého jsem vyjádřil potřebné předpětí pro jeden šroub.

$$Q_0 \geq \frac{M_k \cdot \beta_{max}}{i \cdot \mu \cdot R_s} = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 1000}{6 \cdot 0,15 \cdot 32,5} = 7\,703,70 \text{ N}$$

Za pomoci strojnických tabulek jsem podle vypočtené osová síly ve šroubu určil potřebný průměr šroubu, a proto jsem navrhl pro toto spojení následující šrouby. [28]

ŠROUB ISO 4017 M8x30 4.8 A3L

Aby bylo dosaženo potřebného předpětí ve šroubech, navrhuji tyto šrouby utáhnout momentovým klíčem na hodnotu 13 Nm. Pak bude osová síla 8 097 N [28]

Dále je potřeba zkontrolovat, zda závity šroubu dané zatížení vydrží. Kontroloval jsem tedy zatížení závitu šroubu na namáhání tahem. Při kontrole jsem vycházel z rovnic (6), (7) a (8). Jako dovolené napětí v tahu jsem zvolil hodnotu meze kluzu v tahu pro daný materiál šroubu.

Ze strojnických tabulek jsem odečetl hodnoty pro zvolený průměr šroub a pevnostní třídu.

Osová síla ve šroubu $Q_0 = 8\,097 \text{ N}$

Střední průměr $d_2 = 7,188 \text{ mm}$

Průměr jádra $d_3 = 6,466 \text{ mm}$

Minimální dolní mez kluzu $R_e = 340 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$S = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2}{4} \quad (6)$$

$$S = \frac{\pi \cdot \left(\frac{7,188 + 6,466}{2}\right)^2}{4} = 36,61 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{Q_0}{S} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{8097}{36,61} = 221,194 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma \leq \sigma_D \quad (8)$$

$$221,194 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 340 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma} \quad (9)$$
$$k = \frac{340}{221,194} = 1,53$$

Pevnostní kontrola šroubů vyhovuje, je tedy možné je použít.

5.3.2 Výpočet délky drážkování k přenosu momentu na spojovací člen

Dvouhmotový setrvačnick je s mezičlenem, na který je nalisována hnací část třecí spojky, spojen pomocí evolventního drážkování. Spojení je nepohyblivé a pohyblivosti je v tomto případě zamezeno pomocí uložení s přesahem. Dovolený tlak proto je zvolen podle tabulky pro neposuvné nepříznivé spojení. Pro tento případ je navrženo drážkování:

EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ 135 x 1,5 x 9g ČSN 01 4952 [28]

Dále jsem pro výpočet minimální délky drážky zvolil tyto parametry:

Přenášený maximální moment	M	200 Nm
Průměr drážkování	D	135 mm
počet zubů	n	89
Modul drážkování	m	1,5
Opravný součinitel	ψ	0,8
Dovolený tlak	p_D	40 MPa

Tab. 4 - Parametry evolventního drážkování č. 1

$$l_v \geq \frac{M_{max}}{0,45 \cdot m^2 \cdot z^2 \cdot p_D \cdot \psi} \quad (11)$$

$$l_v \geq \frac{200 \cdot 100}{0,45 \cdot 1,5^2 \cdot 89^2 \cdot 40 \cdot 0,8}$$

$$l_v \geq 0,78mm$$

Na základě tohoto výpočtu a způsobu uložení spojení jsem zvolil výpočtovou délku spojení 10 mm.

Dále je prováděna kontrola tlaku ve spojení podle rovnic (12) a (13) se zjištěním bezpečnosti spojení.

$$p = \frac{M_{max}}{0,45 \cdot m^2 \cdot z^2 \cdot l \cdot \psi} \quad (12)$$
$$p = \frac{200 \cdot 1\,000}{0,45 \cdot 1,5^2 \cdot 89^2 \cdot 10 \cdot 0,8} = 3,11 MPa$$



$$p_D \geq p \quad (13)$$

$$40 \text{ MPa} \geq 3,11 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{p_D}{p} \quad (14)$$

$$k = \frac{40}{3,11} = 12,83$$

5.3.3 Návrh zubové spojky

Zubová spojka je vyrobena ze dvou částí, přičemž každá z částí je vyrobena z taženého plechu o tloušťce 4 mm. Tento plech je vytažen tak, aby rozměr vnějšího průměru spojky byl 168 mm. Kromě kontroly, zda je spojka schopna přenést maximální moment produkovaný spalovacím motorem se zde kontroluje spojka na krut a zuby spojky na otlačení.

Předpokládám, že síla vznikající momentem působí na zub ve středu plochy styků zubů. Protože jsou zuby na hnací i hnané části spojky stejné a obě části mají stejný počet zubů, mají v rovině působící síly všechny zuby spojky stejný průřez. Proto uvažuji, že celková plocha jedné části spojky, která je namáhána smykem odpovídá jedné polovině celkové plochy spojky. Rovnici (15) pro plochu mezikružjí jsem tedy upravil, aby odpovídala předpokladu. Pro kontrolu spojky na krut jsem použil rovnice (22) a (23). Pro kontrolu zubů na otlačení jsem použil rovnice (20) a (21).

Spojka má tyto parametry:

Přenášený maximální moment	M	20 Nm
Vnější průměr spojky	D	168 mm
Vnitřní průměr spojky	d	160 mm
počet zubů	n	120
Délka zubu	l	1 mm
Dovolené napětí ve smyku	τ_{Ds}	45 Nmm ⁻²
Dovolené napětí ve krutu	τ_{Dk}	45 Nmm ⁻²
Dovolený tlak	p_D	75 MPa

Tab. 5 - Parametry zubové spojky

Pomocí rovnic (16) a (17) jsem vyjádřil sílu působící ve střižné rovině spojky. Podle rovnice (19) vztahující se k namáhání smykem jsem zjistil, zda materiál 11 343 pro namáhání smykem vyhovuje.



$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (15)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot (168^2 - 160^2)}{4} = 2\,060,89 \text{ mm}^2$$

$$d_s = \frac{D + d}{2} \quad (16)$$

$$d_s = \frac{168 + 160}{2} = 164 \text{ mm}$$

$$F = \frac{2 \cdot M}{d_s} \quad (17)$$

$$F = \frac{2 \cdot 200 \cdot 1000}{164} = 2\,439,02 \text{ N}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} \quad (18)$$

$$\tau_s = \frac{2\,439,02}{2\,060,89} = 1,18 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\tau_D \geq \tau_s \quad (19)$$

$$45 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \geq 1,18 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Nyní jsem provedl kontrolu na krut.

$$W_k = \frac{\pi \cdot D^3 \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}{16} \quad (20)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 168^3 \left(1 - \left(\frac{160}{168}\right)^4\right)}{16} = 165\,067,1 \text{ mm}^3$$

$$\tau_k = \frac{M}{W_k} \quad (21)$$

$$\tau_k = \frac{200\,000}{165\,067,1} = 1,211$$

$$\tau_D \geq \tau_s$$

$$45 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \geq 1,21 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Kontrola spojky na krut vyhovuje.

Nakonec jsem provedl výpočet zubů spojky na otláčení.

$$S_{zubu} = l \cdot \frac{D - d}{2} \quad (22)$$

$$S_{zubu} = 1 \cdot \frac{168 - 160}{2} = 4 \text{ mm}^2$$



(23)

$$p = \frac{F}{n \cdot S_{zubu}}$$
$$p = \frac{2\,439,02}{120 \cdot 4} = 5,08 \text{ MPa}$$

Podle rovnice (13) jsem zjistil, že i této kontrole spojka vyhovuje.

Její použití je tedy vhodné.

5.3.4 Výpočet délky drážkování k přenosu momentu na spojku C1

Výstupní část zubové spojky je se setrvačnickem spojky C1 spojena stejným způsobem, jako je spojen dvoumotový setrvačník spojen s mezičlenem, tedy pomocí evolventního drážkování. V tomto případě je nutné, aby se hnaná část zubové spojky mohla volně pohybovat, a tak mohlo správně fungovat ovládání spojky C0. Kvůli tomuto důvodu je dovolený tlak zvolen podle tabulky pro posuvné nepříznivé spojení. Pro tento případ je tedy navrženo drážkování:

EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ 140 x 1,75 x 9g ČSN 01 4952 [28]

Dále jsem pro výpočet minimální délky drážkování zvolil tyto parametry:

Přenášený maximální moment	M	200 Nm
Průměr drážkování	D	140 mm
počet zubů	n	79
Modul drážkování	m	1,75
Opravný součinitel	ψ	0,8
Dovolený tlak	p_D	10 MPa

Tab. 6 - Parametry evolventního drážkování č. 2

Podobně jako u předchozího návrhu délky evolventního drážkování jsem následně použil rovnici (11), abych stanovil minimální výpočtovou délku styku.

$$l_v \geq \frac{200 \cdot 100}{0,45 \cdot 1,75^2 \cdot 79^2 \cdot 10 \cdot 0,8}$$
$$l_v \geq 2,9 \text{ mm}$$

Jelikož je tloušťka plechu, ze kterého je spojka vyrobena, 4 mm, minimální délka drážkování vyhovuje a není potřeba upravovat tak délku styku spojení.

Stejně jako předchozí drážkování se zde provádí kontrola tlaku v drážkování. Použil jsem tedy i v tomto případě rovnice (12) a (13). Pro určení bezpečnosti se využije rovnice (14).



$$p = \frac{200 \cdot 1000}{0,45 \cdot 1,75^2 \cdot 79^2 \cdot 4 \cdot 0,8} = 7,27 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{10}{7,27} = 1,38$$

Spojení vyhovuje kontrole tlaku a bezpečnost je dostatečná pro použití.

5.3.5 Výpočet rozměrů třecí spojky C1

Třecí spojka spojující hybridní modul a převodové ústrojí automobilu musí být navržena tak, aby bezpečně přenesla maximální možný točivý moment, který dokáže spalovací moment vyvinout. Tento moment je možné odečíst z vnější výkonové charakteristiky motoru. Pro výpočet rozměrů třecího kotouče spojky jsem použil údaje použité v tabulce.

Přenášený maximální moment	$M_{\text{souč}}$	350 Nm
Součinitel bezpečnosti	β	1,3
Dovolený tlak v obložení	p_D	0,25 MPa
Součinitel tření	μ	0,25
počet třecích ploch	n	2
Poměr třecích poloměrů	δ	0,6

Tab. 7 – Parametry suché třecí spojky

Za pomoci parametrů uvedených v tabulce a vyjádření několika rozměrů následujících rovnic jsem vypočítal rozměry obložení spojky.

$$M = n \cdot F_A \cdot \mu \cdot R_s \quad (24)$$

$$M = \beta \cdot M_{\text{souč}} \quad (25)$$

$$\delta = \frac{R_i}{R_e} \quad (26)$$

$$R_s = \frac{R_e + R_i}{2} = \frac{R_e + \delta \cdot R_e}{2} = \frac{R_e}{2} \cdot (1 + \delta) \quad (27)$$

$$F_A = p_D \cdot S = p_D \cdot \pi \cdot (R_e - R_i)^2 = p_D \cdot \pi \cdot (R_e - \delta \cdot R_e)^2 = p_D \cdot \pi \cdot R_e^2 (1 - \delta)^2 \quad (28)$$

$$\beta \cdot M_{\text{souč}} = n \cdot p_D \cdot \pi \cdot R_e^2 (1 - \delta)^2 \cdot \mu \cdot \frac{R_e}{2} \cdot (1 + \delta) \quad (29)$$

Z takto rozvedené rovnice se vyjádří vnější rozměr lamely spojky.

$$R_e = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \beta \cdot M_{\text{souč}}}{n \cdot p_D \cdot \pi \cdot (1 - \delta)^2 \cdot (1 + \delta) \cdot \mu}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,3 \cdot 350 \cdot 1000}{2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot (1 - 0,6)^2 \cdot (1 + \delta) \cdot 0,25}} =$$

$$= 262,8 \text{ mm}$$

$$R_i = \delta \cdot R_e = 0,6 \cdot 272 = 157,7 \text{ mm}$$



5.4 Návrh řemenového převodu

Při návrhu řemenového převodu jsem si ze všeho nejdříve vyhledal několik výrobců řemenů a zjistil, jaké druhy řemenů daný výrobce vyrábí a pro jaké výkony je možné dané řemeny použít. Po průzkumu jsem se rozhodl pro drážkovaný řemen Contitech Multirib-V vyráběný společností Continental. Pro tento řemen jsem potom vyhledal katalog a s ním veškeré výpočty a součinitele potřebné pro návrh daného řemene. Řemen je navrhnout podle maximálního výkonu elektromotoru.

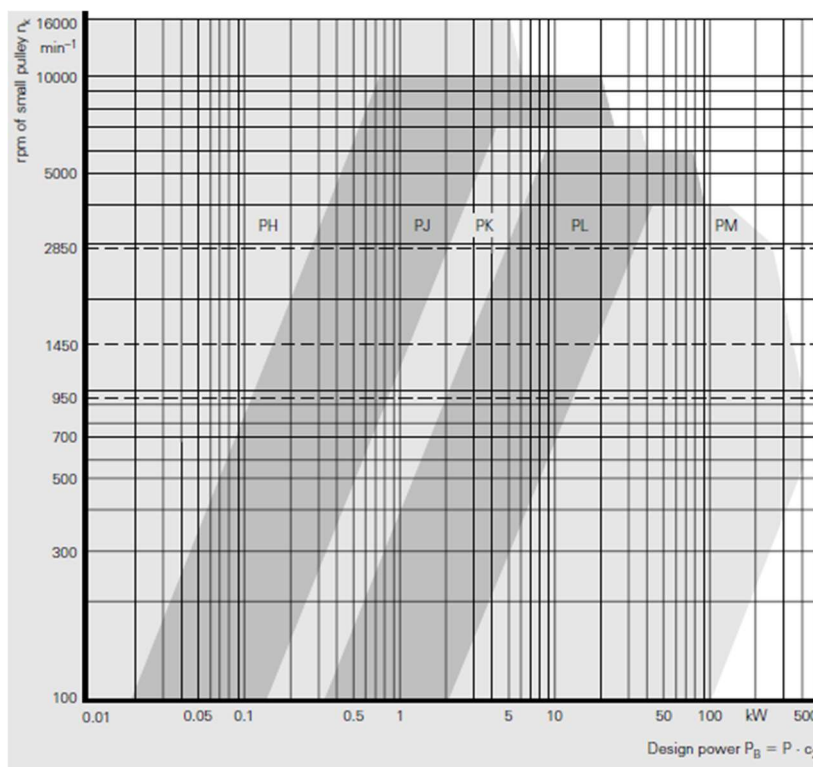
5.4.1 Volba řemene

Drážkový řemen se vyrábí v několika profilech a každý profil řemene je vhodný pro jinou kombinaci výkonu a otáček. Nejdříve se výkon elektromotoru vynásobí součinitelem zatížení, který zahrnuje míru rázů od pohonu, denní provozní dobu a počet otáček. Podle takto vypočteného výkonu se pak volí daný profil v diagramu, znázorňující Obr. 20. [29]

Podle tabulky v katalogu jsem odečetl daný součinitel zatížení.

Součinitel zatížení: $c_2 = 1,2$

$$P_B = P_{el} \cdot c_2 = 15 \cdot 1,2 = 18 \text{ kW}$$



Obr. 20 - Diagram pro určení profilu řemene [29]



Pomocí otáček maximálního výkonu a výkonu P_B z diagramu jsem odečetl profil řemene, který je vhodný pro mé konstrukční řešení agregátu.

V závislosti na odečtení z diagramu jsem zvolil pro svou konstrukční variantu drážkovaný řemen v provedení PJ.

Nejprve je potřeba znát základní průměr obou řemenic. Tento problém jsem vyřešil zvolením průměru hnací řemenice a dopočítání průměru hnané řemenice. K tomu jsem našel v katalogu hodnotu efektivního rozdílu vedení (h_b), který je dán variantou řemene. [29]

$$h_b = 1,2 \text{ mm}$$

Zvolený efektivní průměr řemenice: $d_{b1} = 75 \text{ mm}$

$$d_{b2} = d_{b1} \cdot i + 2 \cdot h_b \cdot (i - 1) \quad (30)$$
$$d_{b2} = 75 \cdot 2,5 + 2 \cdot 1,2 \cdot (2,5 - 1) = 191,1 \text{ mm}$$

Pro další návrh je potřeba určit osovou vzdálenost řemenic. Ta se volí v rozmezí daném rovnicí (31). Mezní osové vzdálenosti se dále vypočítají podle (32) a (33)

$$a_{min} \leq a \leq a_{max} \quad (31)$$

$$a_{min} = 0,7 \cdot (d_{b1} + d_{b2}) \quad (32)$$

$$a_{min} = 0,7 \cdot (75 + 191,1) = 186,27 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 2 \cdot (d_{b1} + d_{b2}) \quad (33)$$

$$a_{max} = 2 \cdot (75 + 191,1) = 532,2 \text{ mm}$$

$$186,27 \text{ mm} \leq a \leq 532,2 \text{ mm}$$

V návaznosti na tuto informaci jsem zvolil předběžnou osovou vzdálenost tak, aby nebylo možné střetnutí vnějších průměrů dvou hmotového setrvačnicku a vnějšího pláště motoru.

Předběžně volím: $a = 300 \text{ mm}$

Z této předběžné osové vzdálenosti je proveden výpočet předběžné délky řemene, podle které se poté stanoví normalizovaná délka dodávaná výrobcem.

$$L_b \approx 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_{b1} + d_{b2}) + \frac{(d_{b1} - d_{b2})^2}{4 \cdot a} \quad (34)$$
$$L_b \approx 2 \cdot 300 + \frac{\pi}{2} \cdot (75 + 191,1) + \frac{(75 - 191,1)^2}{4 \cdot 300}$$
$$L_b \approx 878,90 \text{ mm}$$

Podle přibližné délky řemene volím nejbližší normalizovanou délku řemene.



$$L_b = 1016 \text{ mm}$$

S výběrem normalizované délky řemene jsem podle rovnice (32) vypočetl skutečnou osobou vzdálenost řemenic.

$$a \approx \frac{1}{4} \cdot \left(L_b - \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} \cdot \pi \right) + \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\left(L_b - \frac{d_{b1} + d_{b2}}{2} \cdot \pi \right)^2 - 2 \cdot (d_{b2} - d_{b1})^2} \quad (35)$$
$$a \approx \frac{1}{4} \cdot \left(1016 - \frac{75 + 191,1}{2} \cdot \pi \right) + \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\left(1016 - \frac{75 + 191,1}{2} \cdot \pi \right)^2 - 2 \cdot (191,1 - 75)^2}$$
$$a \approx 293,26 \text{ mm}$$

Dosazením do rovnice (33) jsem zjistil úhel opásání hnací řemenice.

$$\beta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{d_{b2} - d_{b1}}{2 \cdot a}\right) \quad (36)$$
$$\beta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{191,1 - 75}{2 \cdot 293,26}\right)$$
$$\beta = 2,9433 \text{ rad} = 168,63^\circ$$

Podle rovnice (34) jsem vypočetl obvodovou drážkovaného řemene. Tato rychlost musí být menší, než je udávaná mezní rychlost řemenu. Řemenu s provedením PJ odpovídá maximální rychlost řemenu 60 m/s.

$$v = \frac{\pi \cdot (d_{b1} + 2 \cdot h_b) \cdot n_{el.mot}}{60 \cdot 1000} \quad (36)$$
$$v = \frac{\pi \cdot (75 + 2 \cdot 1,2) \cdot 15750}{60 \cdot 1000}$$
$$v = 58,63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost řemene je menší, než je maximální dovolená rychlost. Proto použití tohoto řemenu vyhovuje.

Další hodnotou v návrhu řemene je frekvence napínání řemene, kterou jsem určil podle rovnice (35). Hodnota k představuje bezpečnost, kterou volím, $k = 2$.

$$f_B = \frac{10^3 \cdot v \cdot k}{L_b + 2 \cdot \pi \cdot h_b} \quad (37)$$
$$f_B = \frac{10^3 \cdot 58,63 \cdot 2}{1016 + 2 \cdot \pi \cdot 1,2}$$
$$f_B = 124,4 \text{ s}^{-1}$$



Posledním důležitým údajem k návrhu řemenu je znát počet drážek řemene. Ten se určí podle vztahu (36). Pro tento výpočet je nejprve nutné podle profilu, otáček a průměru hnací řemenice určit dovolený výkon na jednu drážku řemene (P_R), součinitel c_1 , který se odečítá v závislosti na úhlu opásání, a součinitel c_3 , který je závislý na délce řemene. Pro mnou vypočtené parametry odečítám:

Výkon na jednu drážku	P_R	1,48 kW
Opravný součinitel výkonu v závislosti na úhlu opásání	c_1	0,97
Opravný součinitel výkonu v závislosti na délce řemene	C_2	1,05

Tab. 8 - Součinitele potřebné pro výpočet počtu drážek řemene

$$z_{er} = \frac{P_{el.mot} \cdot c_2}{P_R \cdot c_1 \cdot c_3} \quad (38)$$
$$z_{er} = \frac{15 \cdot 1,2}{1,48 \cdot 0,97 \cdot 1,05}$$
$$z_{er} = 11,94$$

Podle výpočtu počtu drážek bude mít řemen 12 drážek. Nyní jsou známy všechny parametry pro zvolení potřebného řemene. Volím tedy řemen:

CONTI-V MULTIRIB Belt 12 PJ 1016/400

5.4.2 Určení sil působících v řemeni

Pro správnou funkci se musí řemen předepnout. Tímto předepnutím se do celého převodu přivádí síla, která působí na řemenice. Tuto sílu je nutné spočítat kvůli návrhu ložisek. [29]

Nejdříve se vypočte síla vyvolaná tahem řemenu prací elektromotoru.

$$F_U = \frac{P_{el} \cdot 10^3}{v} \quad (39)$$
$$F_U = \frac{15 \cdot 10^3}{58,63}$$
$$F_U = 235,61 \text{ N}$$

Celková síla působící v převodu se vypočte podle (40). Tato síla je přenášena přes řemenice do ložiska elektromotoru a ložisek v modulu.

Konstanty k_1 a k_2 jsou instalační součinitele závislé na úhlu opásání a profilu řemene. Pro úhel opásání a profil řemene jsem odečetl:



Instalační součinitel	k_1	1,59
Instalační součinitel	k_2	0,009

Tab. 9 - Instalační součinitele

$$F_V = (k_1 \cdot F_U + 2 \cdot k_2 \cdot v^2 \cdot z) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (40)$$

$$F_V = (1,59 \cdot 235,61 + 2 \cdot 0,009 \cdot 58,63^2 \cdot 12) \cdot \sin \frac{163,64}{2}$$

$$F_V = 1\,243,96 \text{ N}$$

5.4.3 Výpočet dovolených odchylek polohy

Pro umístění řemenic je nutné znát přípustné odchylky, které jsou při montáži dovoleny. Tyto odchylky jsem vypočítal podle rovnic (39) a (40). Součinitel h_f je součinitel výšky řemene a určuje se podle profilu řemene. Pro řemen profilu PJ odečítám výškový součinitel:

$$h_f = 2,5 \text{ mm}$$

$$x = \frac{0,008 \cdot L_b}{\sin \frac{\beta}{2}} \quad (41)$$

$$x = \frac{0,008 \cdot 1\,016}{\sin \frac{168,63}{2}}$$

$$x = 8,168 \text{ mm}$$

$$y = \frac{0,005 \cdot L_b + \pi \cdot h_f \cdot \frac{\beta}{360}}{\sin \frac{\beta}{2}} \quad (42)$$

$$y = \frac{0,005 \cdot 1\,016 + \pi \cdot 2,5 \cdot \frac{168,63}{360}}{\sin \frac{168,63}{2}}$$

$$y = 6,732 \text{ mm}$$

5.5 Návrh ložisek

Uvnitř hybridního ústrojí pohonu je několik součástí, které se otáčejí různými rychlostmi i otáčkami. Zároveň je však nutné, aby všechny tyto součásti byly vystředěny



vůči sobě. Prvky pro toto ustavení ústrojí zde zastávají dvě ložiska, která od sebe dané části oddělují. Avšak jedno ložisko je v tomto případě nezátížené a slouží zde jen jako ustavovací člen, který odděluje součásti rotující rychlostí spalovacího motoru a součásti rotující rychlostí udávanou elektromotorem a zajišťuje tak, že součásti se mohou otáčet různými rychlostmi v případě, že je zubová spojka spojující oba pohony rozpojena.

5.5.1 Volba ložisek

S ohledem na uspořádání agregátu jsem pro vymezení vzájemné polohy a pohybu navrhoval ložiska hlavně podle rozměrů ložisek.

Pro vystředění polohy dvouhmotového setrvačnicku a setrvačnicku spojky C1, a zachycení sil způsobených řemenovým převodem jsem zvolil dvouřadé kuličkové ložisko od firmy SKF s označením 3306. Toto ložisko je k hřídeli uchyceno pomocí přitlačné desky přidržívané pomocí šroubu a pružné podložky. Vnější část ložiska se pak z jedné strany opírá o setrvačnick spojky a z druhé strany jej zajišťuje rozpěrný kroužek. [30]

Hlavním problémem bylo zvolit takové ložisko, které by bylo umístěno mezi setrvačnick spojky C1 a člen, na který je nalisována hnací část spojky C0, které by mělo co nejmenší vnější průměr kvůli dostatku prostoru pro zbytek konstrukce. Nakonec jsem zvolil jednořadé kuličkové ložisko 16014 od firmy SKF. Poloha ložiska vůči oběma částem je dána opřením jedné strany a pomocí rozpěrného kroužku na opačné straně ložiska. [31]

5.5.2 Výpočet zatížení ložisek

Zatížení, které ložiska musejí přenést, je způsobeno nastaveným předeprnutím drážkového řemene. Tento způsob převodu však nepřenáší žádné axiální zatížení, jediné zatížení které je přenášeno do ložiska, má charakter radiální síly, jenž se v ložisku projeví jako radiální reakce. Z tohoto důvodu teoreticky není nutné zajišťovat axiální polohu ložisek. Toto rozhodnutí by však mohlo mít za následek nechtěné posuvy v mechanismu, které by ohrozily správnost fungování hybridního agregátu. Z toho důvodu jsem pro obě zvolená ložiska použil zajištění v radiálním i axiálním směru.

Ložisko, které je použité mezi setrvačnickem třecí lamelové spojky (spojky C1) a členem pro přenos výkonu z dvouhmotového setrvačnicku na zubovou spojku (spojku C0), slouží jen pro zajištění možnosti rotace součástí nezávisle na sobě a nepřenáší tak žádné zatížení.



5.5.3 Životnost ložisek

Ohledně minimální životnosti ložisek jsem rozmýšlel, jakou hranici stanovit jako minimální počet hodin, při kterých by ložiska měla fungovat a nemusela být vyměněna. Nakonec jsem se rozhodl stanovit hranici podle odhadované doby denního provozu vozidla a průměrné doby záruky osobního automobilu. Ložiska by měla vydržet za předpokladu, že vozidlo bude v provozu 12 hodin denně po dobu 6 let využívat maximální použitelné otáčky motoru. Tímto předpokladem se mimo jiné snažím vnést do návrhu ložisek určitou míru bezpečnosti. Takto stanovená minimální životnost odpovídá, v přepočtu na provozní hodiny, 26 280 hodinám. Životnost ložisek jsem spočetl pomocí rovnice (41).

Životnosti použitých ložisek jsou:

Ložisko	Označení	Dynamická únosnost (C)
Dvouřadé kuličkové	3305	32 500 N
Jednořadé kuličkové	16014	29 100 N

Tab. 10 - Parametry navržených ložisek

$$L_N = \left(\frac{C}{P_C}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (43)$$

$$L_N = \left(\frac{32\,500}{1\,243,964}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 6\,300} = 47\,177\,h > 26\,280\,h$$

$$L_N = \left(\frac{29\,100}{1\,243,964}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 6\,300} = 33\,866\,h > 26\,280\,h$$

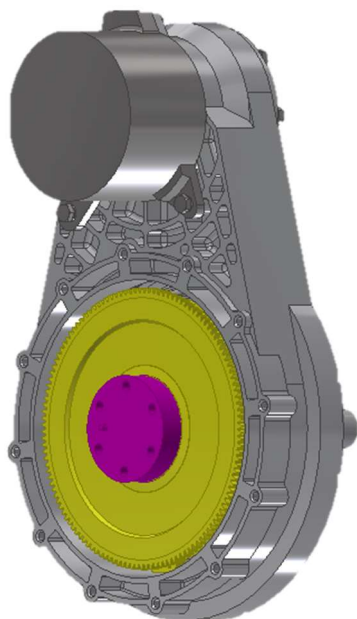
Obě ložiska by měla bez potíží přenést zatížení po dobu delší, než je mnou navržená minimální životnost. Proto obě ložiska vyhovují kritériu životnosti.

5.6 Model agregátu

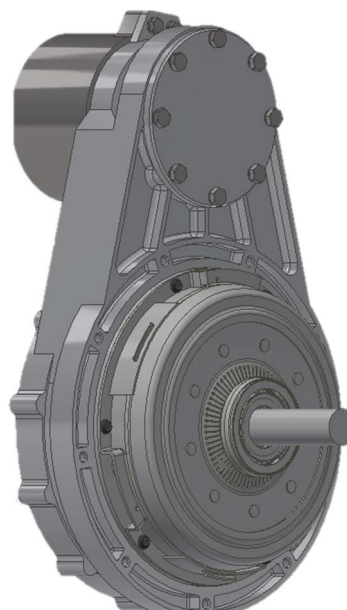
Souběžně s výpočty jsem v modelovacím programu Autodesk Inventor 2020 sestavoval model celého agregátu. Obecně se model skládá ze skříně, dvouhmotového setrvačnicku, který je připojen ke klikovému hřídeli spalovacího motoru. Setrvačník je dále spojen se spojovacím mezičlenem, který přenáší kroučící moment na spojku C0. Ta je dále pomocí drážkování spojena se spojkou C1, na které je připevněná hnaná řemenice řemenového převodu, jímž je připojen elektromotor, rozpojovací ložisko a ovládací spojky.



5.6.1 Popis agregátu



Obr. 22 - Vstupní část hybridního agregátu



Obr. 21 - Výstupní část hybridního agregátu

Model je tvořen několika díly, které jsem navrhl pro správnou funkci modelu s ohledem na kompaktnost a úsporu rozměrů.

Celý mechanismus v sobě skrývá skříň, která je odlita z hliníkové slitiny. V rámci úspory materiálu a snížení hmotnosti celého modelu při zachování tuhosti skříně, je skříň opatřena žebrováním. Na skříň je pomocí šroubů připevněn elektromotor s hnací řemenicí. Proti otvoru pro vložení elektromotoru je vytvořen otvor pro nasazení řemene na řemenici. Otvor je uzavřen víčkem a šrouby.

Ve spodní části skříně je umístěn dvoumotový setrvačnick, ke kterému je šrouby připevněn hřídel, na kterém je připevněno dvouřadé kuličkové ložisko. Toto ložisko přenáší zatížení sílu způsobenou předepnutím řemene přenášené do setrvačnicku spojky C1. Zároveň toto ložisko vymezuje vzájemnou polohu dvoumotového a setrvačnicku C1.

Setrvačnick je dále připojen evolventním drážkováním k mezičlenu, na který je nalisovaná hnací část spojky C0. Tento mezičlen je podpírán kuličkovým ložiskem, které zároveň střeďí polohu mezi spojkou C1 a mezičlenem. Ložisko je z jedné strany opřeno o mezičlen a z druhé strany vymezuje jeho polohu vnější kroužek.

Setrvačnick spojky C1 je osazen hnanou řemenicí, na kterou je nasazen řemen spojující řemenice. Mezi hnanou řemenicí a setrvačnickem se pohybuje ovládací prvek spojky



C0, který je vytvořen z plechu o tloušťce 2 mm. Zároveň je pomocí drážkování spojen s hnanou částí zubové spojky, ovládanou ovládacím prvkem spojky.

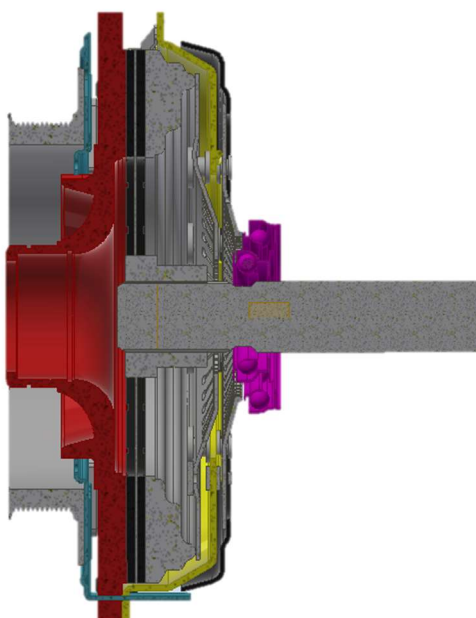
Na setrvačnick je přitlačována lamela spojky C1, která pak přenáší moment na výstupní hřídel. Lamelu přidržuje přítlačný kotouč ovládaný pomocí talířové pružiny bližší popis ovládání spojek, ten je lépe popsán v další části.

Model hybridního agregátu je přiložen k této práci jako soubor ve formátu STEP.

5.6.2 Ovládání spojek

Celý hybridní agregát je ovládán dvojicí spojek, které jsou ovládány pomocí vypínacího ložiska BRU – 0605. Pokud je potřeba rozpojit spojku C0, musí větší z dvojice ložiska zatlačit na vnější lamelu. Ta díky mechanismu podobnému pákovému mechanismu odtlačí ovládací kotouč napojený na ovládací prvek spojený s hnanou částí spojky C0 a spojka se tak rozpojí. Při uvolnění pružiny se ovládací kotouč přitlačí zpět na ovládací prvek spojky, která natlačí znovu spojku do sepnutého stavu.

Ovládání spojky C1 je obvyklé ovládání třecí lamelové spojky. Přidržený kotouč je tlačěn talířovou pružinou, která se při styku s rozpínacím ložiskem uvolní a kotouč tak přestane tlačit na lamelu a přenos výkonu se přeruší. Při oddálení ložiska od talířové pružiny dojde znovu k přitlačení kotouče pružinou a spojka tak znovu přenáší výkon.



Obr. 23 - Řez setrvačnicku spojky C1



5.6.3 Funkce agregátu

Hybridní agregát má několik pracovních režimů, které jsou specifikovány polohami spojek a prací pohonů.

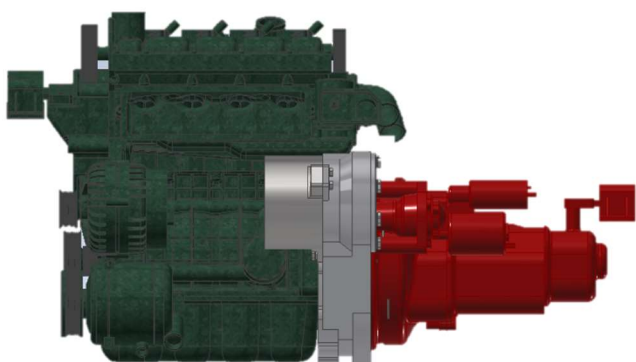
Jedním z režimů je rozjezd vozidla. Při rozjezdu je spalovací motor vypnutý a automobil se rozjíždí jen pomocí elektromotoru. Spojka C0 je rozpojena, zatímco spojka C1 je sepnuta. Elektromotor pracuje samostatně pouze do volnoběžných otáček spalovacího motoru. Jakmile otáčky na výstupní straně spojky C0 dosáhnou těchto otáček, spojka C0 sepne a kontrolu nad výkonem převezme spalovací motor.

Dalším významným režimem je přechod na jiný rychlostní stupeň. Při přechodu jsou obě spojky rozpojeny. Po opětovném spojení spojky C1 následuje stejný proces jako v případě rozjezdu vozidla. Spalovací motor se připojí k agregátu při rovnosti otáček na obou stranách spojky C0.

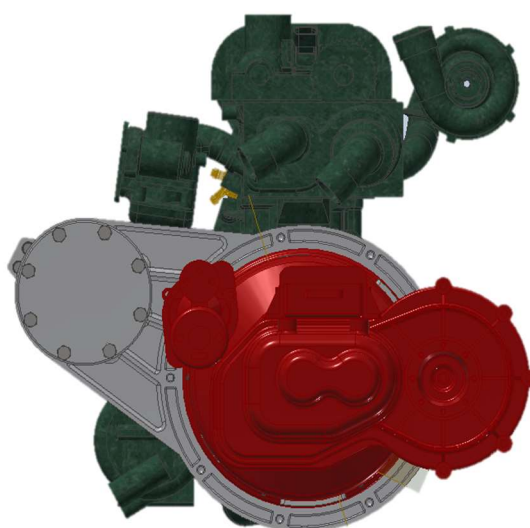
Při rekuperaci brzděné energie je spojka C0 rozpojena, aby se zabránilo ztrátám způsobeným rotačními hmotami ve spalovacím motoru.

Posledním režimem je dobíjení baterií při nízké kapacitě. Aby tento proces mohl probíhat i v případě, že se vozidlo nepohybuje. Proto, aby se vozidlo nepohybovalo, je spojka C1 rozepnuta a výkon spalovacího motoru je přenášen řemenovým převodem na elektromotor, který generuje napětí.

5.6.4 Připojení agregátu mezi spalovací motor a převodovou skříň



Obr. 25 - Spojení spalovacího motoru, hybridního agregátu a převodové skříně (přímý pohled)



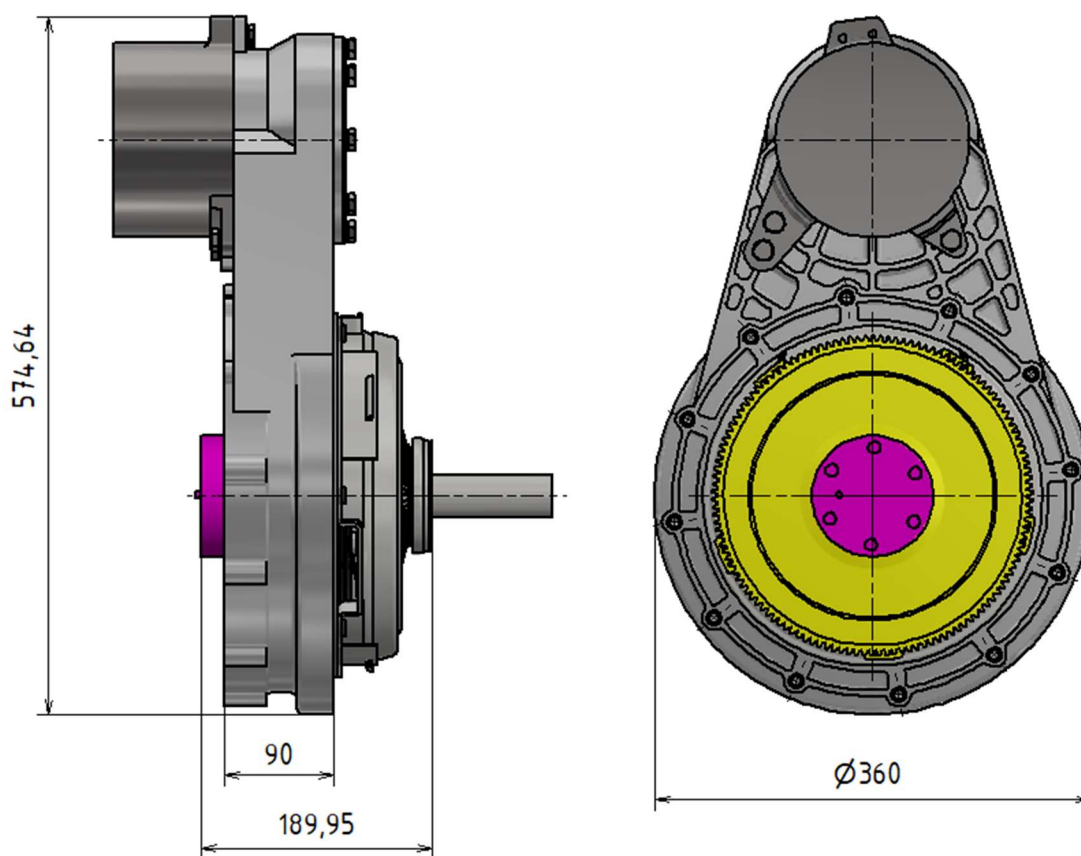
Obr. 24 - Spojení spalovacího motoru, hybridního agregátu a převodové skříně (boční pohled)

Po dokončení modelu jsem připojil agregát mezi modely spalovacího motoru a převodové skříně poskytnuté vedoucím práce. Jelikož je elektromotor připojen k agregátu

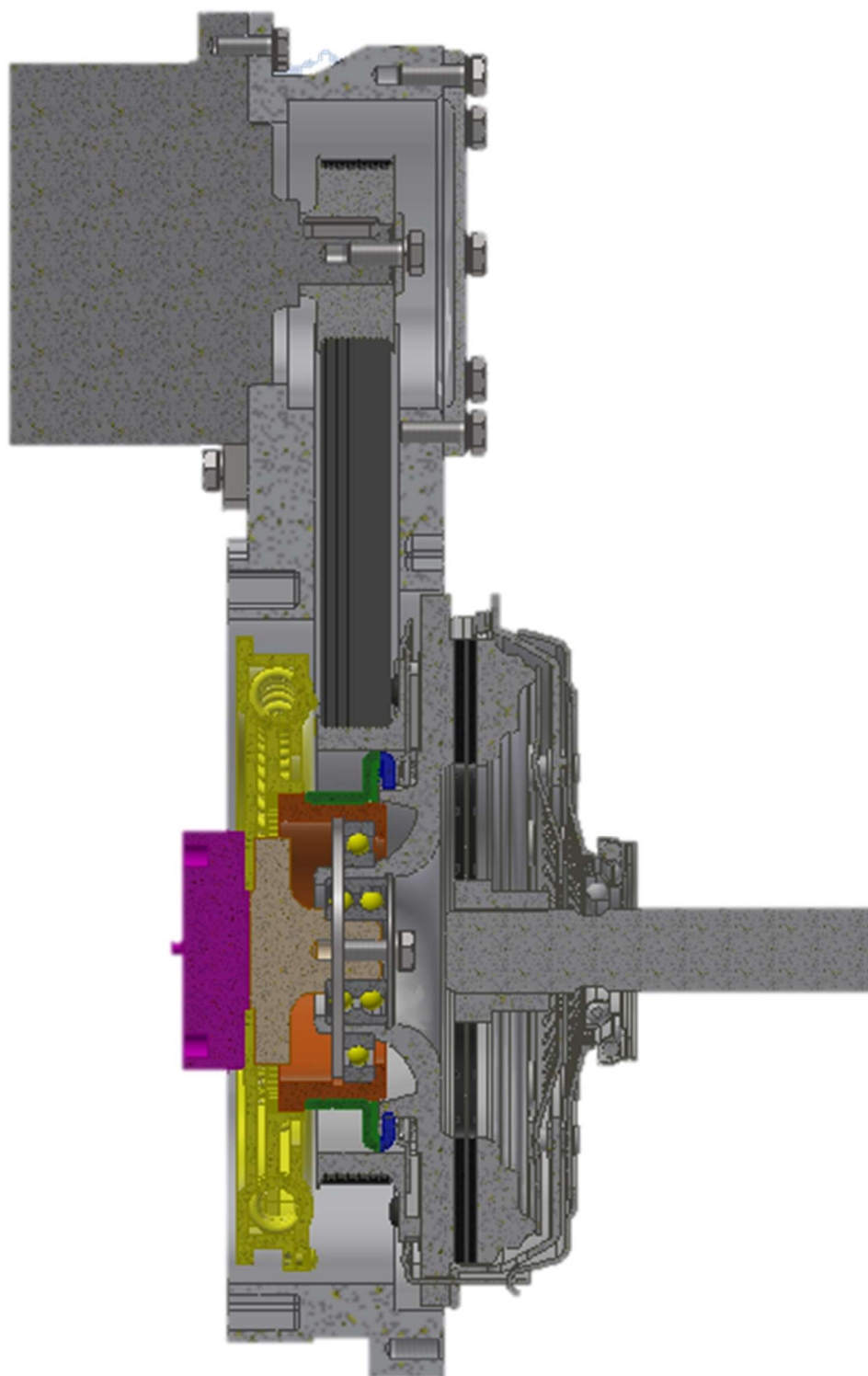


na straně motoru, agregát se připevní tak, aby elektromotor seděl před spalovacím motorem a nezasahoval tak do modelu spalovacího motoru.

Celý model jsem se snažil modelovat s co nejmenší zástavbovou délkou, aby po připojení agregátu byl rozdíl délek co nejmenší a celý pohon se tak vešel pod kapotu vozidla a vešel se i mezi kola. Celková délka modelu je 188 mm. Po připojení k převodové skříni je část modelu umístěna v prostoru pro spojku a její ovládání. Celková zástavbová délka se prodlouží o šířku skříně agregátu, která je 90 mm. Což znamená, že celková zástavbová délka pohonu se prodlouží na 931,510 mm.



Obr. 26 - Zástavbové rozměry agregátu



Obr. 27 - Řez celým hybridním agregátem



6 Závěr

V rámci této bakalářské práce jsem provedl návrh hybridního agregátu, který dokáže samostatně uvést vozidlo do pohybu a asistovat spalovacímu motoru při zrychlení.

Nejdříve jsem pro seznámení se s problematikou hybridních vozidel provedl rešerši, kde jsem zjistil, že hybridy se rozdělují podle několika různých kritérií, a každý druh označení je vhodný pro sdělení jiných informací. V návaznosti na tuto rešerši jsem se rozhodl navrhnout agregát pro mild hybridní vozidlo s označením P2.

Pro výběr elektromotoru jsem provedl další rešerši, abych zjistil, jaké druhy elektrických motorů se používají, jaké jsou výhody jednotlivých elektromotorů a rozdíly mezi jejich momentovými charakteristikami. V rámci této rešerše jsem se rozhodl pro použití indukčního motoru.

Poslední rešerši jsem provedl z důvodu ujasnění, jakým způsobem se provádí spojení elektromotoru a jaké se používají spojovací členy v hybridních agregátech. Na základě informací získaných z použité literatury jsem se rozhodl pro spojení motorů pomocí drážkovaného řemene a zubové a lamelové spojky.

V rámci praktické části jsem pro zvolený druh hybridu a zvolené připojení elektromotoru vybral příslušné pohonné jednotky s ohledem na výkon elektromotoru používaný pro mild hybridní vozidlo a druh provedení agregátu. Dále jsem navrhl spojení mezi jednotlivými členy agregátu tak, aby minimální bezpečnost byla 1,3. Následně jsem provedl návrh řemenového převodu s ohledem, aby řemen přenesl maximální výkon elektromotoru při daných otáčkách a nebyla překročena maximální rychlost řemene 60 m/s. Nakonec jsem navrhl řemen CONTI-V MULTIRIB Belt 12 PJ 1016/400. V poslední výpočtové část návrhu jsem navrhl ložiska, která přenesou zatížení od předepnutí řemene a vydrží mnou navrženou životnost. Nakonec jsem zvolil dvouřadé ložisko s kosoúhlým stykem 3305 a jednořadé kuličkové ložisko 16014 od firmy SKF.

Poslední část bakalářské práce se týká modelu vytvořeného v programu AUTODESK Inventor Professional 2020. Zde jsou popsány jednotlivé části modelu, ovládání spojek, možné jízdní režimy, ve kterých může agregát pracovat, a zhodnocení změny zástavbové délky při připojení agregátu mezi převodovou skříň a spalovací motor. Zástavbová délka celého ústrojí se připojením modulu prodlouží o 90 mm délky.



7 Použité zdroje

- [1] MORKUS, Josef. *Hybridní pohony*. Praha, 2020. Dostupné také z: https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150_HP/Hybridn%c3%ad%20pohony%202021/Morkus/
- [2] BAO, Ran, Victor AVILA a James BAXTER. Effect of 48 V mild hybrid system layout on powertrain system efficiency and its potential of Fuel economy improvements. *SAE Technical Papers* [online]. SAE International, 2017, , 11 [cit. 2021-06-26]. ISSN 0148-7191. Dostupné z: doi:10.4271/2017-01-1175
- [3] Mild hybrid electronic vehicle (MHEV) - architecture. In: *X-engineer* [online]. 2021 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/vehicle/hybrid/mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-architectures/>
- [4] RIETZ, Dierk, Will RUDER, Martin DILZER a Cedric BLAES. P2 High-Voltage Drive: Efficient Hybridization for all Transmissions. In: *Schaeffler* [online]. Baden: Schaeffler, 2018 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://schaeffler-events.com/symposium/lecture/h4/index.html>
- [5] KLEIN, Betnard a Oliver MAIWALD. *48 Volt Technology: For more efficiency and fun to drive*. 1. Munich: SZ Scala GmbH, 2016. ISBN 978-3-86236-102-1.
- [6] DUSIL, Tomáš. Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé druhy liší?. In: *Auto.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER a.s., c2008-2021 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/neni-hybrid-jako-hybrid-cim-se-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- [7] ZELINKA, Jiří. Mild-hybrid - co to znamená a jak se liší od ostatních hybridních pohonů. In: *Autohled* [online]. Praha: Autohled Group, 2017 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: autohled.cz/magazin/mild-hybrid-ndash-co-to-znamen-a-jak-se-lisi-od-ostatnich-hybridnich-pohonu/2166
- [8] Hybridní automobily 2. In: *Auto.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER a.s., c2008-2021 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://blog.auto.cz/baracudaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [9] ZELINKA, Jiří. Plug-in hybrid - co to znamená a jak se PHEV liší od ostatních hybridů. In: *Autohled* [online]. Praha: Autohled Group, 2019 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/plug-in-hybrid-ndash-co-to-znamen-a-jak-se-phev-lisi-od-ostatnich-hybridu/2188>
- [10] Druhy elektromobilů - znáte je všechny?. In: *ŠKODA Storyboard* [online]. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2019 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [11] LAŽANSKÝ, Milan. V označení hybridních aut panuje trochu chaos. Pomůžeme vám se vyznat. In: *Autorevue.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER a.s., 2021 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/v-oznaceni-hybridnich-aut-panuje-trochu-chaos-pomuzeme-vam-se-vyznat>
- [12] ZERAOULIA, Mounir, Mohamed BENDOUIZID a Demba DIALLO. Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. *IEEE VPPC'05* [online]. Chicago, 2005, s. 280-287 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00527584>
- [13] DC motor, how it works?. *Magnetic innovation: The direct drive motor company* [online]. Veldhoven [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.magneticinnovations.com/faq/dc-motor-how-it-works/>



- [14] Synchronous Motors: Applications, Starting Methods & Working Principle. *Electrical 4 U* [online]. Grandville: Electrical4U, 2021 [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.electrical4u.com/synchronous-motor-working-principle/>
- [15] Induction motor: Working Principle, Types & Definition. *Electrical 4 U* [online]. Grandville: Electrical4U, 2021 [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.electrical4u.com/induction-motor-types-of-induction-motor/>
- [16] Switched Reluctance Motor (SRM) Construction, Working, Types, Advantages. *Electrical 4 U* [online]. Electrical4U, c2017-2020 [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.electrical4u.net/induction-motor/switched-reluctance-motor-srm-construction-working-types-advantages/>
- [17] VALEO SERVICE. *Elektrické systémy: Od stop-start systému po hybridizaci*. 2010, 72 s. Dostupné také z: https://assets-valeo.keepeek.com/pm_8143_690_690451-72ymg3t21x.pdf
- [18] CONTITECH. *Conti V Multirib: Multiple V - Ribbed belts*. Hannover, 2016, 48 s. Dostupné také z: <https://www.continental-industry.com/getmedia/97cad0ed-bdb5-414a-bd33-621901f70137/PTG9271-DeEn-Multirib.pdf>
- [19] Řemenové převody. In: *ELUC* [online]. Olomouc [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1902>
- [20] *Transmission Catalogue*. Birmingham. Dostupné také z: https://pdf.directindustry.com/pdf/cross-morse/transmissions/20096-359463-_4.html
- [21] *Planetové převody: Pomůcka pro cvičení z předmětu Mobilní energetické prostředky*. Brno. Dostupné také z: https://web2.mendelu.cz/autozkusebna/docs/vozidla_zadani/planet_prevody_navody.pdf
- [22] How a clutch works. In: *X-engineer* [online]. 2021 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/drivetrain/coupling-devices/how-a-clutch-works/>
- [23] FERNIE, Michael. Different Types Of Clutches And How They Work: Clutches are the essential link between engine and drivetrain and can take many shapes and forms. *Car throttle* [online]. London: Car Throttle, 2009 [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.carthrottle.com/post/different-types-of-clutches-and-how-they-work/>
- [24] Wet clutch vs. Dry clutch - Pros and Cons of Each!. *Carblog India* [online]. Dehli: Car blog India, 2008 [cit. 2021-06-27]. Dostupné z: <https://www.carblogindia.com/dry-wet-clutch-comparison-advantages-disadvantages/>
- [25] Tooth clutches: correct torque transmission. *Sinfonia* [online]. Singapore: Sinfonia Technology Co. Ltd., 2009 [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: <https://www.sinfo-t.jp/eng/clutch/tooth/Default.htm>
- [26] Technická data - ŠKODA Scala. In: *ŠKODA Storyboard* [online]. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://cdn.skoda-storyboard.com/2019/01/TD-SCALA-cz-1.pdf>
- [27] 48V BSG Liquid-cooled. *Vitesco technologies* [online]. Hannover: Vitesco Technologies GmbH [cit. 2021-06-27]. Dostupné z: <https://www.vitesco-technologies.com/en/Home/Solutions/Products/48-V-BSG-Liquid-Cooled-en>



- [28] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky pro školu a praxi*. 1. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-718-3312-6.
- [29] CONTITECH. *Conti V Multirib multiple V-ribbed belts*. Hannover, 2002, 80 s.
- [30] 3306 ATN9: Angular contact ball bearings, double row. SKF [online]. Göteborg: SKF Group [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/double-row-angular-contact-ball-bearings/productid-3306%20ATN9>
- [31] 16014: Deep groove ball bearing. SKF [online]. Göteborg: SKF Group, 2013 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-16014>
- [32] *Nová ŠKODA Fabia Combi: Prostě jedinečná* [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/nova-skoda-fabia-combi-proste-jedinecna-tiskova-mapa/>



8 Seznam obrázků

Obr. 1 - Označení hybridů podle umístění elektromotoru [2]	5
Obr. 2 - In-line P2 hybrid.....	7
Obr. 3 - Model off – axis P2 hybridu	7
Obr. 4 - Sériové uspořádání hybridu [6]	11
Obr. 5 - Paralelní uspořádání hybridu [6]	12
Obr. 6 - Kombinované uspořádání hybridu [6].....	13
Obr. 7 - Momentová charakteristika PM motoru s ovládním účinníku [12]	15
Obr. 8 - -Momentová charakteristika indukčního motoru [12]	17
Obr. 9 - Uspořádání reluktančního motoru	17
Obr. 10 - Momentová charakteristika reluktančního motoru	18
Obr. 11 - Profil drážkového řemene	20
Obr. 12 - Příklad řemenového převodu	20
Obr. 13 - Ozubený řetěz.....	21
Obr. 14 - Schématický náčrt planetové převodovky, (p) planeta, (s) satelit, (r) unašeč, (k) koruna	22
Obr. 15 - Lamela třecí spojky , štít s talířovou pružinou a ovládacím ložiskem [22].....	23
Obr. 16 - Lamelové obložení mokré spojky [24]	24
Obr. 17 - elektromagneticky ovládané zubové spojky [25]	25
Obr. 18 - Spalovací motor 1.0 TSI/85kW [32]	27
Obr. 19 - 48V elektromotor [27]	28
Obr. 20 - Diagram pro určení profilu řemene [29]	36
Obr. 21 - Výstupní část hybridního agregátu	43
Obr. 22 - Vstupní část hybridního agregátu.....	43
Obr. 23 - Řez setrvačnicku spojky C1.....	44
Obr. 24 - Spojení spalovacího motoru, hybridního agregátu a převodové skříně (boční pohled).....	45
Obr. 25 - Spojení spalovacího motoru, hybridního agregátu a převodové skříně (přímý pohled)	45
Obr. 26 - Zástavbové rozměry agregátu	46
Obr. 27 - Řez celým hybridním agregátem	47



9 Seznam tabulek

Tab. 1 - Parametry spalovacího motoru	27
Tab. 2 - Parametry elektromotoru.....	28
Tab. 3 - Parametry svěrného spojení setrvačníku	29
Tab. 4 - Parametry evolventního drážkování č. 1	31
Tab. 5 - Parametry zubové spojky.....	32
Tab. 6 - Parametry evolventního drážkování č. 2	34
Tab. 7 – Parametry suché třecí spojky.....	35
Tab. 8 - Součinitele potřebné pro výpočet počtu drážek řemene	39
Tab. 9 - Instalační součinitele	40
Tab. 10 - Parametry navržených ložisek	42