



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích
motorů a kolejových vozidel

Návrh pohonného řetězce pro
jednostopé vozidlo typu range
extender

Design of powertrain for single track
vehicle of range extender type

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
2019**

Bc. Martin DVOŘÁK

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Jan Baněček, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dvořák Jméno: Martin Osobní číslo: 469568
Fakulta/ústav: Fakulta strojní
Zadávací katedra/ústav: Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Studijní program: Dopravní a transportní technika
Specializace: Motorová vozidla

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh pohonného řetězce pro jednostopé vozidlo typu range extender

Název diplomové práce anglicky:

Design of powertrain for single track vehicle of range extender type

Pokyny pro vypracování:

Navrhnout přestavbu pohonného řetězce jednostopého vozidla na hybridní uspořádání typu range extender.

1. Rešerše známých provedení vozidel typu range extender.
2. Návrh výkonnostních parametrů vozidla a kapacity zásobníků energie.
3. Výběr vyhovujících komponent pohonného řetězce.
4. Konstrukční studie uspořádání agregátu ve vozidle.

Seznam doporučené literatury:

Monti, F.: Hybrid and Electric vehicles. Powertrain Architecture and Sizing Design, Doctor Thesis, Politecnico di Torino, Marco 2010
Hodkinson R., Fenton J.: Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design, Butterworth-Heinemann 2001, ISBN 0 7506 5092 3
Dhameja S.: Electric Vehicle Battery Systems, Butterworth-Heinemann 2002, ISBN 0-7506-9916-7
Liu W.: Introduction to Hybrid Vehicle System Modelling and Control. John Wiley & Sons, Inc. 2013, ISBN 978-1-118-30840-0

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Baněček, Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

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

Datum zadání diplomové práce: 14.04.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 14.07.2021

Platnost zadání diplomové práce: 19.09.2021

Ing. Jan Baněček, Ph.D.
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

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

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Martin Dvořák
Název práce: Návrh pohonného řetězce pro jednostopé vozidlo typu range extender
Anglický název: Design of powertrain for single track vehicle of range extender type

Rozsah práce:
60 stran
29 obrázků
15 tabulek

Akademický rok: 2020/2021
Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Dopravní a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Jan Baněček, Ph.D.

Klíčová slova: Dálník, range extender, sériový hybrid
Key words: Cabin motorcycle, range extender, serial hybrid



Abstrakt

Teoretická část práce pojednává o existujících vozidlech typu range extender, neboli sériových hybridech. Dále se zabývá přestavbou skůtru Suzuki Burgman na dálník s pohonem typu range extender. Konkrétně návrhem nového pohonného řetězce, návrhem jeho výkonových parametrů, volbou jednotlivých komponent a konstrukční studii rozmístění zvolených komponent v původním rámu motocyklu.

Abstract

The theoretical part of this thesis focuses on existing range extender vehicles also called serial hybrid. Another part of this thesis focuses on rebuild of scooter Suzuki Burgman to cabin motorcycle with range extender. Specifically on design of the new powertrain, it's output parameters, the selection of specific components and on design studies of placement of the chosen components in the original motorcycle frame.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh pohonného řetězce pro jednostopé vozidlo typu range extender vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 14.7.2021

.....

(podpis autora)



Poděkování

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Baněčkovi, Ph.D. za pravidelné konzultace, vstřícný přístup a poskytnutí odborných rad a věcných připomínek.

Děkuji také panu profesorovi Ing. Jaroslavu Novákovi, CSc. za konzultaci ohledně elektrických součástí a panu Borisovi Guičovi za jeho rady vycházející z praxe v oboru elektrických vozidel.

V neposlední řadě pak mým rodičům za jejich podporu.



Obsah

1 Úvod.....	9
2 Rešerše stávajících řešení	10
2.1 Vozidla typu dálník	10
2.2 Hybridní pohony	11
2.2.1 Sériový a paralelní hybridní pohon.....	11
2.3 Známa provedení sériových hybridů	13
2.3.1 BMW i3 REX.....	13
2.3.2 Chevrolet Volt.....	14
2.4 Typy elektrických motorů	15
2.4.1 Stejnoseměrné motory.....	15
2.4.1.1 Řízení stejnosměrných motorů	16
2.4.2 Indukční motor	16
2.4.2.1 Řízení indukčního motoru	16
2.4.3 Motory s permanentními magnety	17
2.4.3.1 Řízení motorů s permanentními magnety	18
2.4.4 Srovnání jednotlivých konstrukcí	18
2.5 Typy baterií	18
2.5.1 Olověné akumulátory	18
2.5.2 Niklové akumulátory	19
2.5.3 Lithiové akumulátory.....	19
3 Výběr vhodných komponent	20
3.1 Návrh výkonových parametrů	20
3.1.1 Výpočty režimu 1	21
3.1.2 Výpočty režimu 2	22
3.1.3 Výpočty režimu 3	22
3.1.4 Výpočty režimu 4	23
3.1.5 Výpočty režimu 5	23
3.1.6 Návrh kapacity zásobníků energie.....	23
3.2 Výsledné požadavky na výkon	24
3.3 Volba komponent	25
3.3.1 Trakční motor	26



3.3.2 Trakční měnič.....	28
3.3.3 Baterie	29
3.3.4 Range extender.....	31
3.3.5 Spalovací motor	31
3.3.6 Generátor	33
3.3.7 Usměrňovač.....	33
3.4 Celkový návrh zapojení.....	34
4 Konstrukční studie rozmístění ve vozidle	36
4.1 Spalovací motor a generátor	37
4.1.1 Návrh řemenového převodu	38
4.2 Trakční baterie	38
4.2.1 Teplotní zatížení baterie	39
1.1 Trakční motor	41
4.2.2 Měření a výpočty původního motoru	43
4.2.3 Návrh převodovky	45
4.2.3.1 Hřídel trakčního motoru	47
4.2.3.2 Ozubené soukolí 3, 4	48
4.2.3.3 Převodová skříň a ložiska.....	48
4.2.3.4 Nosič převodové skříně	49
4.3 Trakční měnič a usměrňovač	50
4.4 Výsledná poloha těžiště.....	51
4.5 Chlazení komponent pohonného řetězce	52
4.6 Konečný výkon.....	53
5 Závěr	54
6 Použitá literatura	55



1 Úvod

Cílem práce bude navrhnout pohonný řetězec typu range extender pro vozidlo typu dálník. To bude postaveno na základě skútru Suzuki Burgman 650, ze kterého bude použit rám a podvozek. Dálník nabízí komfort automobilu zkombinovaný s jízdními vlastnostmi motocyklu a zároveň dostatek prostoru pro umístění všech komponent, potřebných pro hybridní pohon.

Na začátku projektu je nutné stanovit požadavky na výsledné vozidlo, ze kterých bude možné vyjít při návrhu jednotlivých komponent pohonného řetězce. Po stanovení základních požadavků na vozidlo a z nich vypočtených požadovaných výkonů bude nutné vybrat vhodné komponenty dostupné na trhu, které bude možné pro tuto aplikaci vhodně využít.

Po zvolení všech komponent bude provedena konstrukční studie rozmístění těchto součástí v rámu vozidla a jejich vzájemného propojení.

Součástí celého projektu je také návrh karoserie a výklopných koleček, zabraňujících překlopení při zastavení vozidla. Ten provádí Bc. Jan Cahyna a některé části konstrukční studie úzce souvisí s výsledným návrhem.

Na obrázku 1 je pro představu pracovní skica z počátku projektu, kterou zpracoval pan Peter Chládek.



Obr. 1 – Pracovní skica projektu



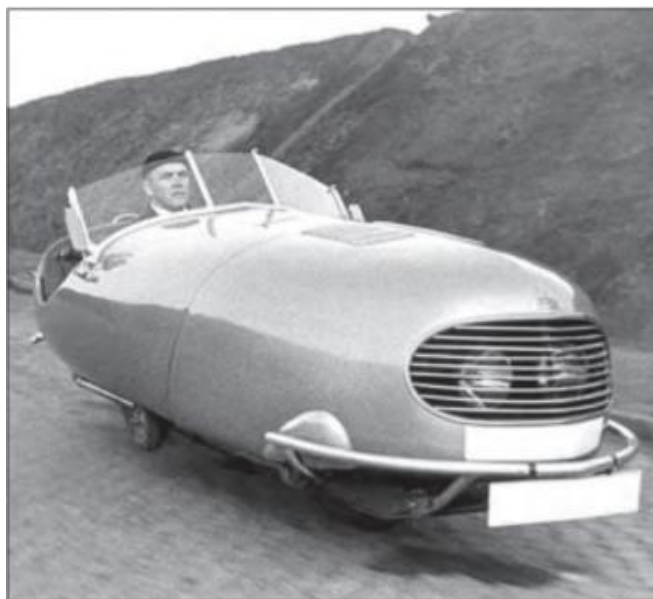
2 Rešerše stávajících řešení

V současné době neexistuje kabinový motocykl s pohonem typu range extender. Kabinové motocykly vyrábí firma PERAVES CZ, a.s. aktuálně pouze ve verzi s elektrickým pohonem.

Automobil s pohonem typu range extender vyrábělo například BMW. Jednalo se o vůz BMW i3 REx, jehož výroba byla ukončena v roce 2019. Dalším vozem byl Chevrolet Volt, jehož výroba byla také již ukončena.

2.1 Vozidla typu dálník

První vozidlo nazvané dálník vyrobil pilot a konstruktér firmy Aero Jan Anderle v roce 1941 v české republice (Obr. 2). Pojmenování dálník se později ujalo pro všechna jednostopá vozidla s postranními opěrnými kolečky včetně moderních kabinových motocyklů. Taková vozidla poskytují komfort a bezpečí téměř jako automobil v kombinaci s jízdním pocitem motocyklu.



Obr. 2 – První dálník [1]

Později bylo vyrobeno několik dalších modelů, včetně pokusů amatérských konstruktérů inspirovaných výtvořou pana Anderleho. [1]

V roce 1991 se setkal švýcarský pilot Arnold Wagner, otec moderních kabinových motocyklů, s českým vývojářem armádních bezpilotních letounů Gustavem Procházkou. To vedlo v roce 2009 k založení firmy PERAVES CZ sídlící v Brně, kde v dnešní době probíhá kompletní vývoj a produkce této firmy. [2,3]

V současné době jde o kabinový motocykl Monoracer s elektrickým pohonem. Dříve byla v nabídce i benzínová verze Monoraceru poháněná



motorem BMW o objemu 1200 ccm. Její výroba ale byla ukončena v roce 2016. [2,3]

2.2 Hybridní pohony

Hybridní pohon znamená kombinaci 2 nebo více různých zdrojů energie pro pohon jednoho dopravního prostředku. Nejčastěji jde o kombinaci chemické energie (spalovacího motoru) a elektrické (elektromotoru). Může však jít i o kombinaci spalovacího motoru se setrvačником, nebo dle definice například o elektrokolo, které také kombinuje elektrickou energii a energii člověka. [4]

Hybridní vozidla mají jako každý jiný typ pohonu určité výhody a nevýhody. Mezi nejčastěji zmiňované klady zejména u plug-in hybridů patří nižší spotřeba fosilních paliv, která je zapříčiněna využitím jiného zdroje energie. Nejde tedy o snížení celkové energetické spotřeby. U hybridních vozidel kombinujících elektrický a spalovací motor je to ale příčinnou odsunu části lokálních emisí mimo města a snížení nákladů na pohonné hmoty. Nevýhodou těchto vozidel je větší množství součástek spojené převážně se značným nárůstem hmotnosti a pořizovací ceny oproti konvenčnímu vozidlu poháněnému spalovacím motorem.

Pro hybridní vozidla existuje několik druhů dělení do kategorií. Jedním z nich je například rozdělení podle uspořádání hnacího ústrojí na sériový, paralelní nebo kombinovaný hybrid. Další dělení pak může být například podle stupně hybridizace na mild hybrid, full hybrid, plug-in hybrid atd.

Mild hybridy jsou vybaveny méně výkonným elektromotorem, který může fungovat také v generátorickém režimu. Je využíván převážně pro krátkodobé zvýšení výkonu například při rozjezdech. Příkladem tohoto uspořádání je například Toyota RAV 4.

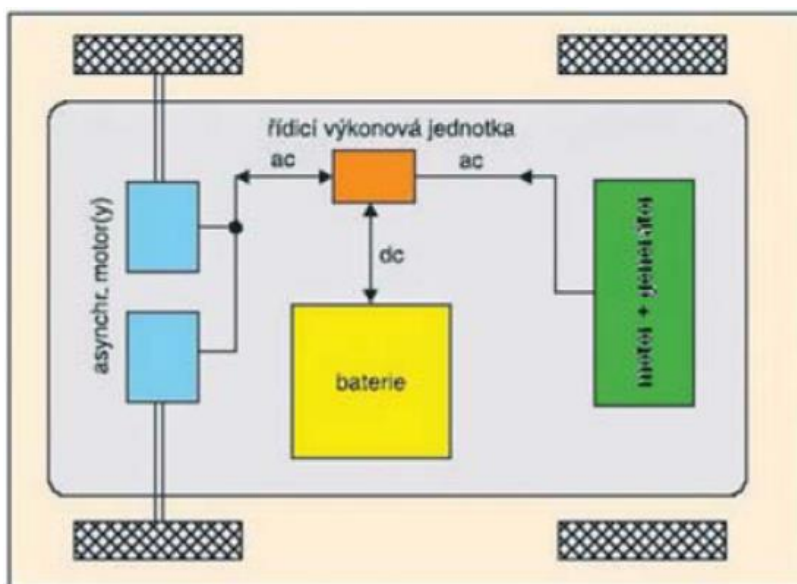
Full hybridy jsou oproti tomu schopné krátkého provozu na čistě elektrický pohon, což může být využito například pro jízdu po městě. Z toho se dále vyvinuly plug-in hybridy, kde je možné dobíjení provést z externího zdroje elektrické energie. Příkladem pro tento vývoj je Toyota Prius.[4]

2.2.1 Sériový a paralelní hybridní pohon

U sériového hybridního pohonu (Obr. 3) je spalovací motor spojen s generátorem elektrické energie, která je dále ukládána do zásobníků,



nebo využívána k pohonu trakčního elektrického motoru vozidla. Motor tedy není nijak mechanicky propojen s koly. Jinými slovy lze toto uspořádání označit za vozidla typu range extender. Díky tomu je možné motor naladit a provozovat v optimálních otáčkách a provozovat ho s maximální možnou účinností.

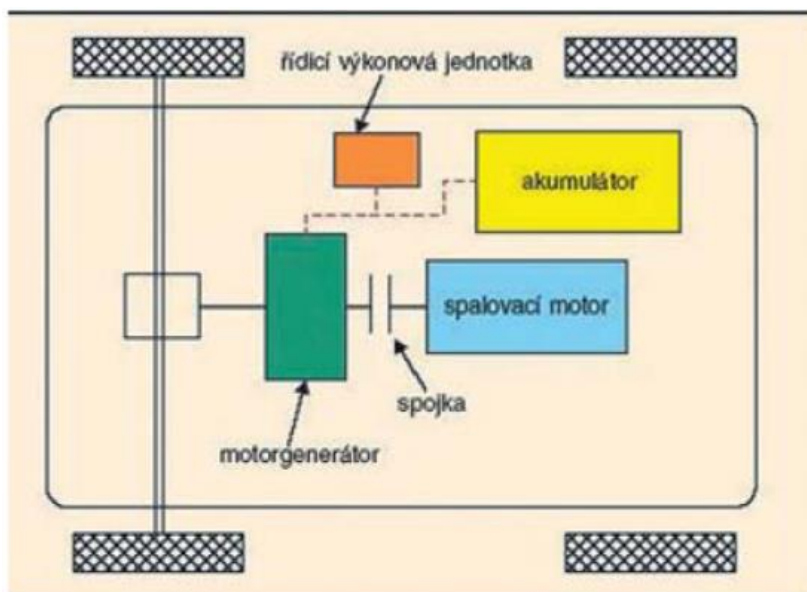


Obr. 3 – Sériový hybrid [4]

Spalovací motory a generátory není nutné dimenzovat na velký výkon. Stačí, když pokryjí např. jízdu v mimoměstském provozu ustálenou rychlostí, nebo jízdu ustálenou rychlostí po dálnici. Trakční motor bývá výkonnější, ale může být omezen nedostatečnou kapacitou nebo výkonem zásobníku energie. Maximálních parametrů vozidlo dosahuje zpravidla při nastartovaném spalovacím motoru, kdy je energie trakčnímu motoru dodávána z obou zdrojů.

Nevýhodou tvoří větší celkové ztráty způsobené vícenásobnými přeměnami energie v pohonném řetězci.

Nejčastějším uspořádáním současných automobilů je takzvaně paralelní hybrid (Obr. 3). V tomto případě je elektromotor a spalovací motor mechanicky propojen a oba mohou přenášet hnací moment na kola vozidla. Toto propojení bývá často provedeno planetovou převodovkou, která umožňuje více funkčních režimů, jako například čistě elektrický, hybridní, nebo využití elektromotoru jako generátoru a dobíjení baterií. [4, 5]



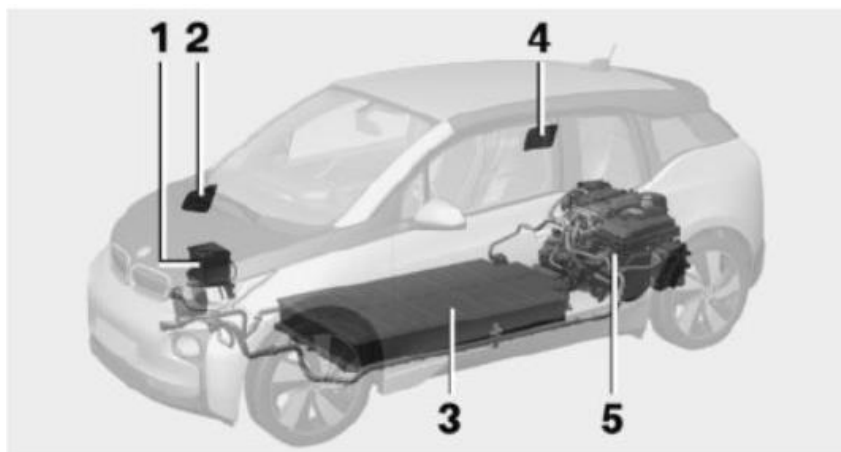
Obr. 4 – Paralelní hybrid [4]

2.3 Známá provedení sériových hybridů

Jak již bylo řečeno, většina současných vozidel je v provedení paralelního hybridu, nebo umožňuje jak sériový tak paralelní mód. Příkladem toho může být Honda Cr-v hybrid, která je osazena elektrickým motorem i generátorem a má jak sériový, tak paralelní režim.

2.3.1 BMW i3 REX

Velice známým sériovým hybridem, který je běžné označován právě jako range extender, je BMW i3 REX. BMW i3 je elektrické vozidlo, které je ve verzi REX doplněno o spalovací motor s generátorem. Rozmístění komponent ve vozidle je patrné z obrázku č. 5, kde je číslem 2 označeno hrdlo nádrže, 4 dobíjecí zásuvka a pohonné agregáty jsou umístěny v zadní části vozu.



Obr. 5 – Rozmístění komponent BMW i3



BMW se snažilo co nejvíce eliminovat nevýhodu ve vysoké hmotnosti vozu tím, že na konstrukci, včetně interiéru, použilo moderní konstrukční materiály.

Range extender jednotka je tvořena motorem o objemu 650 ccm, která je ovládána palubním počítačem. Ten ji startuje v případě, že dojde k vybití trakční baterie ke stanovené hranici. Jednotka však dodává pouze výkon potřebný k pohonu vozidla, ale není využívána k dobíjení trakční baterie. Ta tak zůstává na její aktuální hodnotě nabití.

Pokud nedojde k aktivaci range extenderu z důvodu vybití baterie, automobil ho v určitých intervalech pravidelně startuje, aby zajistil jeho správnou funkci. [6]

2.3.2 Chevrolet Volt

Dalším vozem tohoto typu je Chevrolet Volt. Chevrolet uvádí, že jde o „extended range electric vehicle“ tedy ERVC, kde je hlavním zdrojem energie elektřina a spalovací motor je až sekundárním zdrojem energie.

Primární elektrický mód je dostupný do doby, než úroveň trakční baterie klesne pod stanovenou hodnotu. I při tomto módu může v některých případech být nastartovaný motor. Jde například o regulaci teploty baterie

Stejně jako u BMW i3 dojde při poklesu nabití baterie k nastartování spalovacího motoru a přechodu do druhého módu, kdy je energie dodávána generátorem. Opět nedochází k nabíjení trakční baterie, ale jen k prodloužení dojezdu.

Chevrolet nabízí také tzv. Hold mód, který je možné aktivovat manuálně. Při jehož aktivaci dojde k nastartování range extenderu a udržení úrovně nabití baterie. Je doporučován například pro jízdu po dálnicích, kde nabízí dobrou efektivitu. [7]



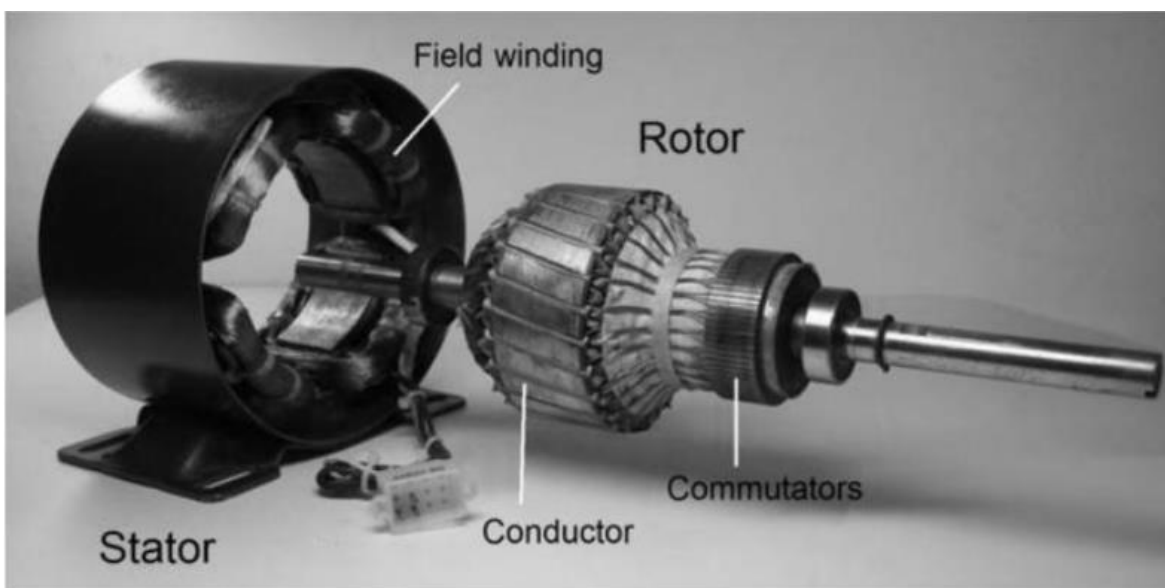
2.4 Typy elektrických motorů

Elektrické motory jsou zařízení, která mění elektrickou energii na mechanickou, kterou lze dále využít pro pohon zařízení nebo vozidel. Zároveň mohou fungovat v generátorickém režimu, kdy je dodávána mechanická energie a z ní je vytvářena energie elektrická.

Existují různé typy elektrických motorů, které se liší v konstrukci a funkci, proto je vždy nutné zvolit vhodný typ podle konkrétní aplikace.

2.4.1 Stejnosměrné motory

Stejnosměrné elektrické motory, také označované jako kartáčové stejnosměrné motory se skládají z magnetického pole tvořeného permanentními magnety neb elektromagnetem, které tvoří stator (U nových motorů jde zpravidla o permanentní magnety). Uvnitř statoru je rotor, který je tvořen elektrickým vinutím a je napájen přes komutátor (Obr. 6). Na komutátor je přivedeno vedení pomocí kartáčů, které na něj dosedají. Kartáče způsobují, že stejnosměrné motory vyžadují mnohem více údržby než jiné typy elektrických motorů a omezují jejich maximální



Obr. 6 – Stejnosměrný motor [8]

otáčky. Dochází k jejich znečištění a také nadměrnému zahřívání.

Směr rotace je dán Flemingovým pravidlem levé ruky, které popisuje směr pohybu elektrického vodiče (rotoru) v magnetickém poli statoru. Vinutí na rotoru musí být správně pootočená vůči kontaktům na komutátoru, aby nedošlo k jeho zastavení. [5, 8]



2.4.1.1 Řízení stejnosměrných motorů

Smyslem řízení motoru je pomocí regulace vstupních parametrů řídit výstupní parametry motoru. Těmi může být například rychlost, kroutící moment, nebo poloha motoru. Vstupním parametrem je pouze vstupní napětí do elektrického motoru. K řízení stejnosměrného motoru je tedy vždy využívána změna vstupního napětí motoru.

Motor lze řídit systémem otevřených nebo uzavřených smyček. U otevřených smyček je vhodné znát přesně parametry použitého motoru, protože zde není měřena žádná zpětná vazba na výstupu z motoru.

U systému uzavřených smyček naopak jsou měřeny různé výstupní parametry (kroutící moment, rychlost otáčení, proud atd.). Podle nich jsou potom upraveny ovládací parametry motoru tak, aby systém splňoval požadavky. [8]

2.4.2 Indukční motor

Který je taky nazýván asynchronní motor je tvořen statorem, na kterém je budící vinutí motoru. Ve statoru je potom uložen rotor, který je někdy nazýván kotvou. Kotva může dále být buď vinutá nebo s na krátko. Mezi statorem a rotorem je kvůli maximalizaci efektivity co nejmenší vzduchová mezera. [9]

Do statoru je přiváděno třífázové střídavé budící napětí, které vytvoří takzvané točivé magnetické pole. Toto točivé magnetické pole indukuje v rotoru napětí a tím pádem tam vzniká i proud. Působením magnetického pole na proud indukovaný v rotoru dochází ke vzniku momentu a tím roztočení rotoru. Pokud bude mít rotor větší otáčky než stator, začne vznikat indukované napětí naopak ve statorovém vinutí a motor přechází do generátorického režimu. [5, 9]

Výhodou indukčních motorů je jejich jednoduchá konstrukce, což z nich činí poměrně levné stroje. Pro aplikaci v motorových vozidlech jsou s ohledem na svou charakteristiku vhodné pro rovinné oblasti s dlouhými dálničními úseky. [5, 9]

2.4.2.1 Řízení indukčního motoru

Indukční motory jsou motory napájené střídavým proudem a prakticky jedinou možností, jak dosáhnout plynulého řízení indukčního motoru, včetně hladkého rozjezdu z nulových otáček je změna frekvence budícího napětí. Z baterie je v motorových vozidlech dodáváno



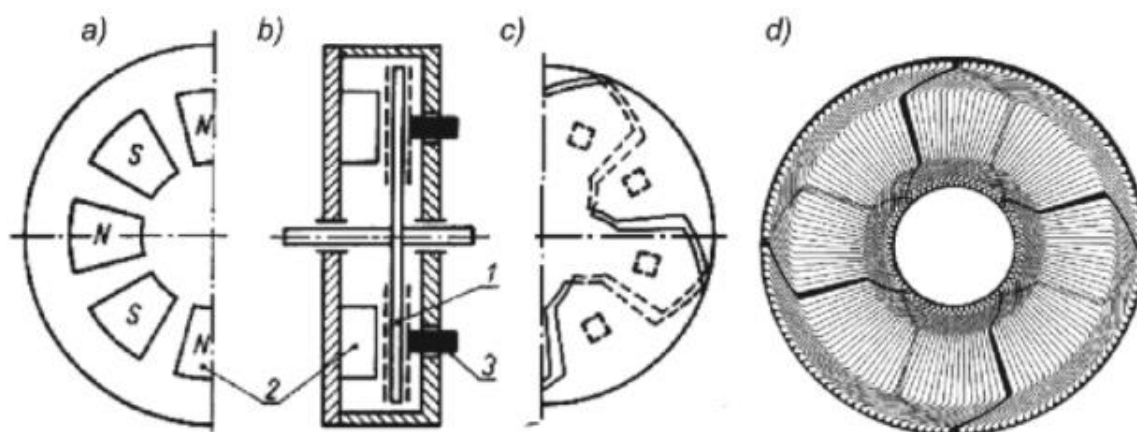
stejnosemné napětí. Proto se k řízení asynchronních motorů používá polovodičová řídicí jednotka, která napájí motor střídavým napětím s proměnnou frekvencí. [9]

2.4.3 Motory s permanentními magnety

Někdy jsou také nazývány jako bezkartáčové stejnosměrné motory. Stator těchto motorů je konstrukčně prakticky stejný jako u indukčních motorů. Skládá se z třífázového střídavého vinutí. Rotor je tvořen permanentními magnety tvořenými nejčastěji ze vzácných zemin jako například neodym-železo-bor. Díky tomu se dosahuje vysokého magnetického toku.

Tento typ motorů je pro vozidlo využíván na evropských silnicích vhodnější než motory indukční. Stejně tak se využívá i v mild hybridních vozidlech. [5, 9]

Speciálním typem motoru s permanentními magnety je takzvaný „axial flux“ motor. U tohoto typu motoru je směr magnetického toku axiální místo radiálního, jak je to u většiny jiných motorů. Konstrukce je u těchto motorů mírně odlišná. Stator a rotor tvoří dva disky se společnou osou. (Obr. 7 - V části a) je vidět rotor s permanentními magnety. Obrázky c) a d) zobrazují vinutí tohoto motoru a na obrázku b) je vidět jejich vzájemné uspořádání) [10]



Obr. 7 – Motor s axiálním magnetickým tokem [10]

Permanentní magnety mohou být i z obou stran vinutí, což zvyšuje výsledný výkon motoru. Fungování a řízení tohoto typu motorů je shodné s motorem s permanentními magnety a radiálním magnetickým tokem.



2.4.3.1 Řízení motorů s permanentními magnety

Pro hladký rozběh motoru s permanentními magnety je nutné, aby byl motor osazený senzorem polohy rotoru. Princip řízení rychlosti otáčení je opět stejný jako u indukčního motoru, kdy je změna prováděna pomocí změny frekvence budícího napětí statoru.

2.4.4 Srovnání jednotlivých konstrukcí

Stejnoseměrné motory jsou kvůli komutátoru a kartáčům náročné na údržbu i konstrukci, a tak i s ohledem na jednodušší řízení nejsou ve vozidlových aplikacích využívány.

Indukční motory mají oproti motorům s permanentními magnety nevýhodu hlavně ve své hmotnosti a rozměrech. Jejich výroba je ale levnější a jsou využívány například v elektrických centrálách jako generátory elektrické energie.

Motory s permanentními magnety nabízí nejlepší poměr výkonu vůči velikosti a hmotnosti motoru. Tento poměr se ještě zlepšuje u motorů s axiálním magnetickým tokem. Kvůli menšímu rozšíření této konstrukce a vyšším nárokům na kvalitu zpracování roste ale i cena.

2.5 Typy baterií

Bateriové články se skládají z několika základních částí. To jsou elektrody (katoda a anoda), elektrolyt, obal baterie a případně svorky. Bateriové články se dále skládají do větších sestav, které se používají pro pohony elektrických vozidel.

Elektrody a elektrolyty mají u různých typů baterií odlišné chemické složení. elektrolyty se také často liší svým skupenstvím, které může být například tekuté u olověných akumulátorů nebo pevné u lithiových baterií. Ve své podstatě je baterie elektrochemický článek, ve kterém díky rozdílnému potenciálu na katodě a anodě vzniká elektrické napětí.

Pokud je z baterií odebírán elektrický proud, dochází k chemickým změnám uvnitř baterie, které lze vrátit do původního stavu naopak dodáváním elektrické energie. [5, 11]

2.5.1 Olověné akumulátory

V olověném akumulátoru jsou elektrody tvořeny oxidem olova a elektrolytem je směs kyseliny sírové a destilované vody. Elektrody jsou ploché a jsou prokládány mikroporézním materiálem, který jejich dotyku



a zkratování a zároveň nebrání průběhu chemické reakce. Olověná baterie vyžaduje pravidelnou údržbu v podobě dolévání destilované vody do jednotlivých článků.

Olověné akumulátory byly postupně vylepšovány a tak vznikla například technologie AGM, kde je elektrolyt absorbován skelnou tkaninou, která je vložena mezi elektrody. Ta opět umožňuje průběh chemických reakcí a zároveň zabraňuje dotyku a zkratování elektrod. Tento typ baterie je oproti klasickému olověnému akumulátoru mnohem méně náročný na údržbu a nehrozí u něj únik kyseliny.

Dalším provedením olověného akumulátoru je gelová baterie, kde je elektrolyt ve formě křemičitého gelu, který se nalije do baterie a nechá ztuhnout. To má obdobné výhody jako AGM baterie. Není nutné je dolévat a nehrozí únik kyseliny. [5, 11]

2.5.2 Niklové akumulátory

Jako první se začaly rozvíjet Ni-Cd baterie někdy v polovině 20. století. Později v 80. letech se začaly na trhu šířit i Ni-MH baterie, které vynikaly zejména možností většího zatížení. Tyto baterie se začaly rychle šířit v elektrických vozidlech, protože na rozdíl od olověných akumulátorů poskytují téměř dvojnásobnou kapacitu na kilogram. [5, 11]

2.5.3 Lithiové akumulátory

Lithium je kov s největším negativním potenciálem a zároveň nejmenší atomovou hmotností, proto mají lithiové baterie ve vozidlových aplikacích největší využitelnost. Existují dva základní typy lithiových baterií. Těmi jsou lithium iontové Li-ion baterie a lithium polymerové Li-pol baterie. Tato technologie byla vyvinuta již v 60. letech minulého století. Kvůli její náročnosti a vyšším nárokům na správnou údržbu, zejména požadavkům na správné nabíjení probíhal její vývoj pomaleji než vývoj ostatních technologií.

Zároveň je ale lithiové baterie je možné nabíjet a vybíjet rychleji než olověné a niklové akumulátory. Jsou také o více než polovinu menší a lehčí než niklové baterie. Zároveň jsou šetrnější k přírodě než niklové baterie. Tyto vlastnosti způsobily to, že lithiové baterie dnes v trakčních aplikacích téměř vytlačily všechny ostatní druhy baterií. I přesto jsou ale baterie nejvíce limitujícím faktorem současných elektromobilů a stále probíhá jejich intenzivní vývoj. [5, 11]



3 Výběr vhodných komponent

Cílem této práce je návrh pohonného řetězce typu range extender pro jednostopé vozidlo. Jde o jednostopé vozidlo typu dálník, které je navrhováno na podvozku motocyklu Suzuki Burgman 650, ze kterého je převzatý rám a podvozek.

3.1 Návrh výkonových parametrů

Pro návrh výkonových parametrů bylo zvoleno několik jízdních režimů, které kladou nároky na výkon vozidla. Z těchto režimů lze dále stanovit výkony jednotlivých komponent potřebné pro splnění daných požadavků.

1. Při maximálním výkonu vozidla rychlost 135 km/h do maximálního stoupání dálnice (6,5 %)
2. Trvalá cestovní rychlost po dálnici 135 km/h při 0% stoupání
3. Maximální stoupavost 12 % stálou rychlostí 25 km/h
4. Zrychlení 0,3g při rychlosti 20 km/h
5. Dostatečný výkon range extenderu pro ustálenou rychlost 90 km/h při 0% stoupání
6. Dojezd 30 km ustálenou rychlostí 60 km/h

Pro vypočtení potřebných výkonů vozidla je nejprve nutné z dostupných parametrů stanovit jízdní odpory.

$$F_k = O_v + O_f + O_a + O_\alpha \quad (1)$$

Kde O_v značí aerodynamický odpor, O_f odpor valení, O_a odpor způsobený zrychlením a O_α odpor od stoupání. Tyto odpory lze spočítat pomocí následujících rovnic.

$$O_v = \frac{1}{2} * \rho * c_x * S * v^2 \quad (2)$$

$$O_f = m * g * f * \cos(\alpha) \quad (3)$$

$$O_a = m * \delta_a * a \quad (4)$$

$$O_\alpha = m * g * \sin(\alpha) \quad (5)$$

Po dosazení do rovnice (1) dostáváme výsledný vztah.

$$F_k = \frac{1}{2} * \rho * c_x * S * v^2 + G * f * \cos(\alpha) + m * \delta_a * a + m * g * \sin(\alpha) \quad (6)$$

A dále pro výpočet výkonu.

$$P = F_k * v \quad (7)$$



Pro korektní výsledek je nutné přepočítat stoupání (s) zadané v % na odpovídající úhel podle rovnice (8).

$$\alpha = \arctg \frac{s}{100} \quad (8)$$

Jako hmotnost vozidla je uvažována maximální povolená hmotnost motocyklu Suzuki Burgman 650, ze kterého byl použit rám a podvozek. Další komponenty jsou vhodně odhadnuty z dříve naměřených hodnot podobných vozidel (viz. Tabulka 1).

Parametry vozidla			
Hmotnost	m	450	kg
Součinitel odporu vzduchu	c_x	0,28	
Plocha	S	1,764	m^2
Součinitel odporu valení	f	0,015	
Součinitel odporu ze zrychlení	δ_α	1,1	
Tíhové zrychlení	g	9,81	m/s^2
Hustota vzduchu	ρ	1,25	kg/m^3
Dynamický poloměr pneumatiky	r_d	0,274	m

Tabulka 1 – Parametry vozidla

Z těchto hodnot byly vypočítány požadavky na výkonové parametry vozidla podle rovnic (1) (2) (3) (4) (5) (7) a (8).

3.1.1 Výpočty režimu 1

Režim 1 zajišťuje, aby vozidlo bylo schopno udržet stálou cestovní rychlost po dálnici za všech standardních podmínek.

Nejprve bylo převedeno stoupání v procentech na úhel stoupání podle vzorce (8).

$$\alpha = \arctg \frac{6,5}{100} = 3,434^\circ$$

Dále byly vypočteny jednotlivé jízdní odpory podle vzorců (2), (3) a (5). Odpor zrychlení je v tomto režimu roven 0, protože vozidlo jede rovnoměrnou rychlostí.

$$O_v = \frac{1}{2} * 1,25 * 0,28 * 1,764 * \left(\frac{135}{3,6}\right)^2 = 434,109 \text{ N}$$

$$O_f = 450 * 9,81 * 0,015 * \cos(3,434) = 66,099 \text{ N}$$

$$O_\alpha = 450 * 9,81 * \sin(3,434) = 287,122 \text{ N}$$



Nyní je možné všechny jízdní odpory sečíst podle rovnice (1).

$$F_k = 434,109 + 66,099 + 0 + 287,122 = 787,33 \text{ N}$$

A po vynásobení jízdního odporu rychlostí dle vzorce (7) vyjde požadovaný výkon vozidla v jízdním režimu 1.

$$P = 787,33 * \frac{135}{3,6} = 29\,524,92 \text{ W}$$

Z výpočtu je vidět, že největší vliv na jízdní odpory má v tomto režimu vysoká rychlost vozidla, která i přes nízký součinitel odporu vzduchu tvoří nejvýraznější složku odporové síly.

3.1.2 Výpočty režimu 2

Pro režim 2 postupujeme analogicky jako v režimu 1.

$$O_v = \frac{1}{2} * 1,25 * 0,28 * 1,764 * \left(\frac{135}{3,6}\right)^2 = 434,109 \text{ N}$$

$$O_f = 450 * 9,81 * 0,015 * \cos(0) = 66,218 \text{ N}$$

Odpor způsobený stoupáním bude v tomto režimu roven 0, takže výsledný jízdní odpor v režimu 2 se vypočte následovně.

$$F_k = 434,109 + 66,099 + 0 + 0 = 500,33 \text{ N}$$

A z toho výsledný potřebný výkon vozidla.

$$P = 500,33 * \frac{135}{3,6} = 18\,762,26 \text{ W}$$

Opět platí, že v režimu 2 má největší vliv na jízdní odpory a potřebný výkon vysoká rychlost vozidla.

3.1.3 Výpočty režimu 3

V režimu 3 stanovujeme požadavek na jízdu do maximálního stoupání, kdy musí být udržena stálá rychlost 25 km/h. Odpor ze zrychlení bude tedy opět roven 0. Nejprve je nutné opět přepočítat stoupání v procentech na stoupání ve stupních.

$$\alpha = \arctg \frac{12}{100} = 6,843^\circ$$

$$O_v = \frac{1}{2} * 1,25 * 0,28 * 1,764 * \left(\frac{25}{3,6}\right)^2 = 14,887 \text{ N}$$

$$O_f = 450 * 9,81 * 0,015 * \cos(6,843) = 65,746 \text{ N}$$

$$O_\alpha = 450 * 9,81 * \sin(6,843) = 525,984 \text{ N}$$

Výsledná hnací síla a z ní vypočtený výkon pro tento režim bude.

$$F_k = 14,887 + 65,746 + 0 + 525,984 = 606,617 \text{ N}$$



$$P = 606,617 * \frac{25}{3,6} = 4\,212,618 \text{ W}$$

V tomto jízdním režimu převažuje síla způsobená prudkým stoupáním, ale kvůli nízké požadované rychlosti je výsledný potřebný výkon poměrně malý.

3.1.4 Výpočty režimu 4

Režim 4 stanovuje požadavky na rovnoměrné zrychlení vozidla při jízdě. Stanovuje, že vozidlo musí být schopné zrychlovat 0,3 násobkem g při jízdě 20 km/h. Musí tedy při jízdě rychlostí 20 km/h být schopno vyvinout rovnoměrné zrychlení 2,943 m/s².

$$O_v = \frac{1}{2} * 1,25 * 0,28 * 1,764 * \left(\frac{20}{3,6}\right)^2 = 9,528 \text{ N}$$

$$O_f = 450 * 9,81 * 0,015 * \cos(0) = 66,218 \text{ N}$$

$$O_a = 450 * 1,1 * 2,943 = 1\,456,785 \text{ N}$$

$$F_k = 9,528 + 66,218 + 1\,456,785 + 0 = 1\,532,530 \text{ N}$$

$$P = 1\,532,53 * \frac{20}{3,6} = 8\,514,060 \text{ W}$$

Je patrné, že na zrychlení 0,3g je potřeba vysoká hnací síla, která téměř 3x převyšuje potřebnou hnací sílu pro jízdu na dálnici. Opět ale vzhledem k tomu, že je požadavek stanoven při nízké rychlosti nevychází potřebný výkon vyšší než pro režim 2.

3.1.5 Výpočty režimu 5

Režim 5 stanovuje požadavky na range extender. Konkrétně říká, že vozidlo musí být schopno jet ustálenou rychlostí 90 km/h pouze při napájení z range extenderu a tím stanovuje jeho maximální výkon.

$$O_v = \frac{1}{2} * 1,25 * 0,28 * 1,764 * \left(\frac{90}{3,6}\right)^2 = 192,938 \text{ N}$$

$$O_f = 450 * 9,81 * 0,015 * \cos(0) = 66,218 \text{ N}$$

$$F_k = 192,938 + 66,099 + 0 + 0 = 259,156 \text{ N}$$

$$P = 259,156 * \frac{90}{3,6} = 6\,478,9 \text{ W}$$

3.1.6 Návrh kapacity zásobníků energie

Pro návrh kapacity baterie byla jako minimální hodnota stanovena jízda ustálenou rychlostí 60 km/h na vzdálenost alespoň 30 km. Stejně



jako u předchozích výpočtů je nutné stanovit potřebnou hnací sílu a výkon vozidla.

$$O_v = \frac{1}{2} * 1,25 * 0,28 * 1,764 * \left(\frac{60}{3,6}\right)^2 = 85,75 \text{ N}$$

$$O_f = 450 * 9,81 * 0,015 * \cos(0) = 66,218 \text{ N}$$

$$F_k = 85,75 + 66,099 + 0 + 0 = 151,968 \text{ N}$$

$$P = 151,968 * \frac{60}{3,6} = 2\,532,8 \text{ W}$$

Z požadovaného výkonu a času, po kterou je nutné výkon dodávat je dále možné stanovit potřebnou kapacitu baterii ve Wh. Ze stanovených podmínek vychází, že tento čas bude roven přesně 0,5h. Pokud tedy vynásobíme potřebný výkon touto hodnotou, vyjde nám kapacita baterie 1 266,4 Wh.

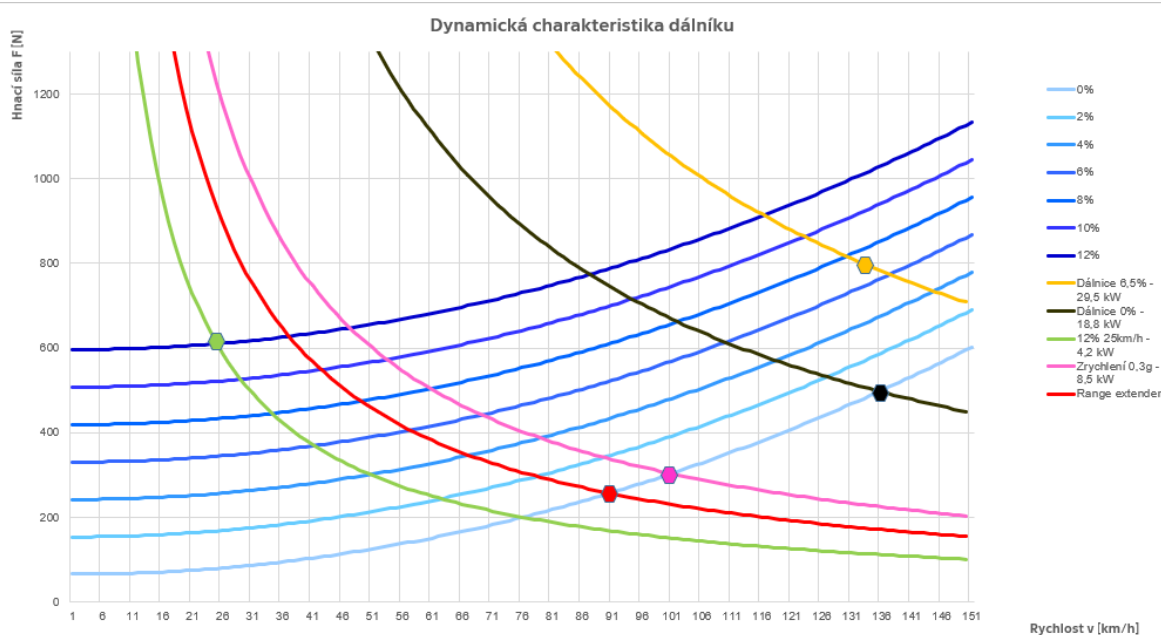
Dojezd vozidla na energii dodávanou range extenderem by měl dosahovat 200km. Pro návrh kapacity nádrže je ale nejprve nutné zvolit spalovací motor a dle jeho spotřeby postupovat dále.

3.2 Výsledné požadavky na výkon

Požadavky na výkon					
Režim	Rychlost	Stoupání	Zryhlení	Hnací síla	Výkon
	[km/h]	[%]	[m/s ²]	[N]	[W]
1.	135	6,5	0	787,33	29 524,92
2.	135	0	0	500,33	18 762,26
3.	25	12	0	606,62	4 212,62
4.	20	0	2,943	1 532,53	8 514,06
5.	90	0	0	259,16	6 478,875

Tabulka 2 – Vypočtené požadované výkony vozidla

Dále si z vypočtených hodnot můžeme sestavit výslednou dynamickou charakteristiku vozidla, ve které jsou pomocí bodů vyznačeny jednotlivé režimy jízdy (Obr. 8).



Obr. 8 – Dynamická charakteristika

těchto hodnot je nyní patrné, že požadavky 3 a 4 jsou nepodstatné. Z ostatních vypočtených parametrů lze určit maximální požadavky na jednotlivé komponenty vozidla.

Požadavek číslo 1 udává maximální požadovaný výkon vozidla při krátkodobém přetížení hnacích komponent. Z toho vychází výkon trakčního motoru při přetížení a celkový maximální výkon zásobníků energie. Tzn. Výkon baterie spojený s výkonem range extenderu.

Požadavek číslo 2 určuje trvalou rychlost pro jízdu po dálnici. Z toho vyplývá že trakční motor musí být schopen dodávat požadovaný výkon, aniž by došlo k přehřátí. To samé platí i o zdrojích energie pro trakční motor. Zde je možné zkombinovat maximální výkon range extenderu s trvalým výkonem baterií.

Poslední důležitý požadavek číslo 5 udává maximální výkon range extenderu, kdy je celé vozidlo poháněno pouze generovanou elektřinou a nedochází k vybíjení trakční baterie. [12]

3.3 Volba komponent

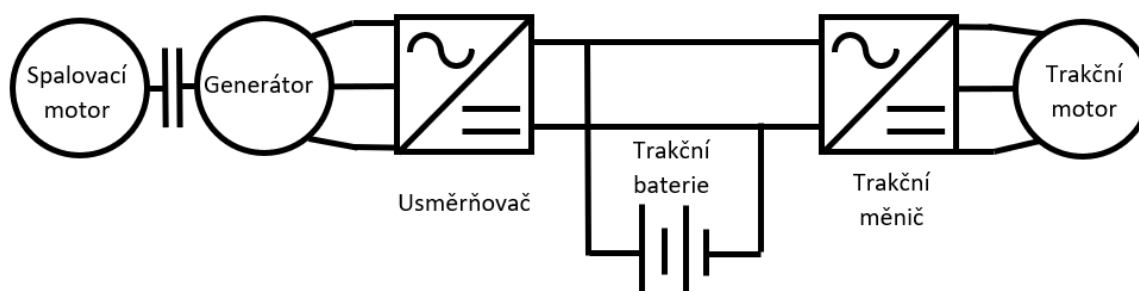
Při volbě finálních komponent byly zohledňovány požadavky vypočtené v předchozí kapitole. Dalšími limitujícími požadavky byla s ohledem na koncept vozidla hmotnost a případně cena jednotlivých variant.



Je nutné brát v potaz, že všechny elektrické komponenty musí spolupracovat a být navrženy na stejné napěťové a proudové zatížení, proto jsou tyto volby úzce spojeny a nelze je provádět nezávisle na sobě. U žádné z komponent nesmí v žádném jízdním režimu dojít k překročení stanovených limitů. V tom případě hrozí přehřátí, případně poškození dané součásti.

Z toho důvodu se takto zatěžované díly osazují teplotními senzory, které při překročení stanovených teplot postupně snižují jejich výkon. V krajním případě může dojít i k úplnému omezení funkčnosti, což může mít v dané aplikaci nepříjemné následky.

Schéma zapojení jednotlivých komponent je na obrázku 9. Jde o typické zapojení u vozidel typu sériový hybrid, což odpovídá pohonnému řetězci typu range extender.



Obr. 9 – Schéma zapojení

3.3.1 Trakční motor

Trakční motor musí být podle navržených parametrů poskytnout trvalý výkon 18,8 kW a špičkový výkon 29,5 kW. Kvůli snížení počtu dílů, ušetření prostoru a zjednodušení zástavby do vozidla je preferován motor chlazený vzduchem. Do finálního výběru byly zahrnuty motory, které jsou s ohledem na projekt volně dostupné na trhu, a není nutná zakázková výroba, která je taky jednou z možností.

Dále bude nutné uvažovat i účinnost motoru a dalších komponent hnacího řetězce, což ovlivní výslednou hnací sílu na kolech vozidla. To lze vyčíslit až po návrhu všech ostatních částí.

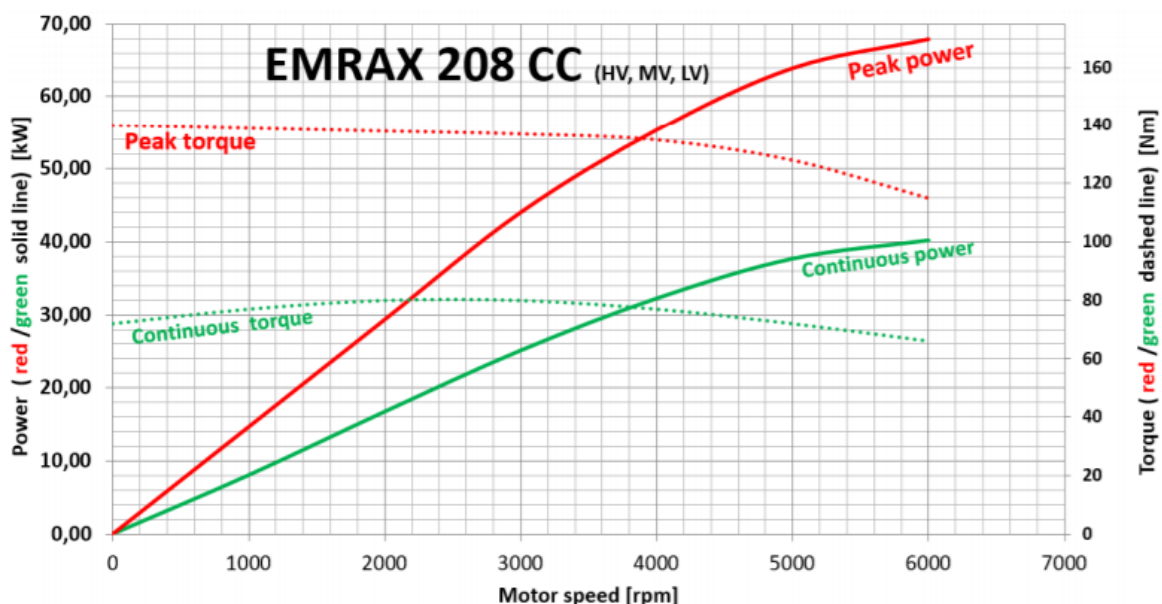
Do užšího výběru byly zahrnuty motory HPEVS AC-35 a Emrax 208, jejichž důležité parametry jsou v tabulce 3. Oba motory dosahují těchto parametrů při provozním napětí cca 100 V.



	HPEVS AC-35	Emrax 208
Konstrukce motoru	Asynchronní	Axial flux PMAC
Max. výkon [kW]	47,3	68
Nepřetržitý výkon [kW]	26	33
Rozměry L x d [mm]	333 x 235	85 x 208
Hmotnost [kg]	38,5	9,1
Cena [€]	1 880	2 630

Tabulka 3 – Srovnání trakčních motorů [13, 14]

Z tabulky je viditelné, že motor Emrax 208 při násobně menší hmotnosti i rozměrech poskytuje vyšší výkon. To je způsobeno konstrukcí s permanentními magnety a axiálním magnetickým tokem oproti asynchronní konstrukci motoru AC - 35. Z těchto důvodů byl nakonec pro tuto aplikaci zvolen motor Emrax 208, jehož výkonové parametry jsou zobrazeny v grafu (Obr. 10.). [13, 14]



Obr. 10 – Výkonové parametry motoru Emrax 208 [13]

Maximální otáčky motoru jsou 6000, krátkodobě 7000 otáček za minutu. Pro správnou funkci motoru a rezervu pro přetočení jsou zvoleny otáčky motoru 5000 otáček za minutu pro jízdu rychlostí 135 km/h, která je zadána ve vstupních parametrech vozidla. Suzuki Burgman 650 má zadní pneumatiku 160/60 - R14, která má dynamický poloměr

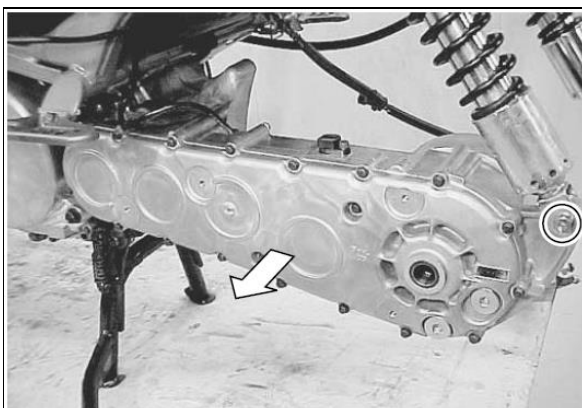


pneumatiky $r_d = 274$ mm. Z toho dle rovnice (9) vypočteme otáčky zadního kola a dále podle rovnice (10) celkový převod mezi motorem a zadním kolem.

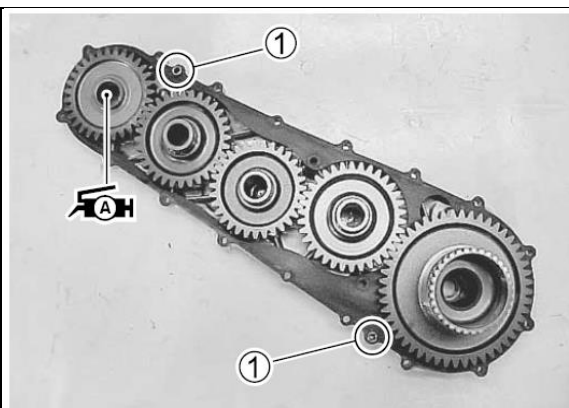
$$n_k = \frac{30 * v}{\pi * r_d} = 1306,9 \quad (9)$$

$$i_c = \frac{n_{motor}}{n_{kolo}} = 3,826 \quad (10)$$

S ohledem na zachování původního podvozku motocyklu je zachován i stálý převod integrovaný do zadního kyvného ramene (obrázky 11,12), který má velikost $i_s = 1,581$.



Obr. 11.: Sekundární převod suzuki Burgman AN 650 [15]



Obr. 12 - Vnitřní pohled na sekundární převod [15]

Převod mezi motorem a vstupem do zadního kyvného ramene tedy musí být roven $i_m = \frac{i_c}{i_s} = 2,420$.

3.3.2 Trakční měnič

Trakční měnič plní funkci DC/AC převodníku mezi trakční baterií, která dodává stejnosměrné napětí a trakčním motorem, který vyžaduje třífázové střídavé napětí. Další důležitou funkcí, kterou většina současných trakčních měničů poskytuje je možnost pomocí CAN rozhraní ovládat další prvky vozidla, připojit spínací skříňku nebo doplňkové příslušenství v podobě displeje, plnění funkci palubního počítače, který z otáček motoru přepočítává aktuální rychlost, nebo zobrazuje předpokládaný dojezd na baterie.

Do užšího výběru byly zvoleny dva trakční měniče. Konkrétně UniTec Bamocar D3 a Curtis model 1239E. Jejich základní parametry jsou shrnuty v tabulce (4).



	Bamocar D3	Curtis 1239E
Minimální napětí baterie [V]	12	50,4
Maximální napětí baterie [V]	400	120
Trvalé proudové zatížení [A]	200	200 (60 minut)
Špičkové proudové zatížení [A]	400	650 (2 minuty)
Trvalý výkon při 94 V [kW]	18,8	18,8
Špičkový výkon při 94 V [kW]	37,6	61,1
Chlazení	Vodní	Vzduchem

Tabulka 4 – Srovnání trakčních měničů [16, 17]

Nakonec byl z několika důvodů zvolen trakční měnič Curtis 1239E-76xx. Jedním z nich je opět jednodušší montáž z důvodu chlazení vzduchem. Další důvod je vyšší krátkodobá přetížitelnost, ta umožňuje využít špičkový výkon motoru, který dosahuje 68kW.

Zároveň je dodáván společností s velkým množstvím zkušeností a globální působností, která má několik poboček v Evropě a poskytuje zákaznický servis při instalaci zařízení a doplňkové příslušenství v podobě dříve zmiňovaných palubních počítačů a dalších doplňkových modulů.

3.3.3 Baterie

Baterie je klíčovým a zároveň limitujícím prvkem pro jakékoliv elektrické nebo hybridní vozidlo. Nejčastěji používanými bateriemi jsou Li-ion články, kterých je na trhu velké množství. Napřed je tedy nutné zvolit vhodný článek s ohledem na stanovené požadavky.

Původní požadavek na kapacitu baterie vycházel z požadavku 6) v kapitole 3.1.. Tato kapacita bude ale ve výsledku překonána, aby baterie vyhověla stanoveným výkonovým požadavkům. Pokud stanovíme, že při nejvýkonnějším režimu vozidla (dálnice s 6,5% stoupáním) bude vždy nastartovaný range extender, který má výkon 6,5 kW, musí být baterie schopná dodat 23kW výkonu. Zároveň bude při zastavení vozidla s nastartovaným range extenderem výkon range extenderu plně využit pro dobíjení baterie. Tím klademe další požadavek na vysoké maximální nabíjecí proudy jednotlivých článků.

Z článků dostupných na trhu byly vybrány články, které jsou často využívány v energeticky náročných aplikacích (Tabulka 5).



	VTC6	Samsung 40T	Samsung 25R
Rozměr článku	18650	21700	18650
Nominální napětí [V]	3,6	3,6	3,6
Maximální vybíjecí proud [A]	20	35 (45 do 80°C)	20
Maximální nabíjecí proud [A]	3	6	4
Kapacita [Wh]	10,8	14	9
Hmotnost [g]	46,6	70	45

Tabulka 5 – Srovnání Li-ion článků [18, 19, 20]

Z tabulky vyplývá, že i přes větší rozměry má nejlepší vlastnosti článek Samsung 40T, ze kterých bude následně navržena výsledná baterie.

S ohledem na ostatní komponenty byl stanoven požadavek na nominální napětí baterie na cca 96 V. 27 sériově zapojených článků dává dohromady nominální napětí 93,6V, což se nejvíce přibližuje požadované hodnotě.

Dále byly podle vztahu (11), kde je uvažována nominální hodnota napětí, vypočteny maximální požadované nabíjecí a vybíjecí proudy.

$$P = U * I [W] \quad (11)$$

$$I_{vybíjecí} = \frac{P}{U} = \frac{23\,000}{93,6} = 245,726 \text{ W}$$

$$I_{nabíjecí} = \frac{P}{U} = \frac{6\,500}{93,6} = 69,444 \text{ W}$$

Dostáváme, že požadavek pro maximální vybíjecí proud 246 A a maximální nabíjecí proud 69 A. Z toho vyplývá, že limitujícím faktorem bude nabíjecí proud 70 A, kde je potřeba 12 paralelně spojených článků. Pro vybíjecí proud 245 A by teoreticky stačilo 7 paralelně spojených článků.

Výsledná baterie bude tedy v konfiguraci tzv. 27s12p, což znamená 27 sériově spojených skupin, složených z 12 paralelně zapojených článků.

Výsledné parametry baterie tedy jsou:

- Nominální napětí 93,6 V
- Maximální nabíjecí proud 72 A
- Maximální vybíjecí proud 420 A
- Celková kapacita baterie 4 368 Wh
- Celková hmotnost článků 20,8 kg



Jak je vidět z výsledných parametrů, zbývá prostor i pro přetížení baterie, což opět umožní využít větší část špičkového výkonu hnacích komponent, případně není nutné startovat range extender ani při jízdě v nejnáročnějším požadovaném režimu.

Výsledná hmotnost bude dále ovlivněna spojovacím materiálem, hmotností BMS (battery management system) a dalších konstrukčních prvků.

Dále byla uvažována možnost využít některých již stávajících řešení kompletních bateriových sad. Na trhu jsou dostupné například baterie využívané ve vozech Tesla. Ty ale neodpovídají konkrétním požadavkům tohoto vozidla, a to by zapříčinilo několika násobný nárůst objemu a hmotnosti výsledné baterie.

3.3.4 Range extender

Původní myšlenkou bylo využití jako range extenderu již hotové elektrické centrály, která by byla zakomponována do vozidla jako celek. To se ukázalo jako nevhodné řešení, a to hlavně z hlediska prostorové náročnosti, vysoké hmotnosti a komplikací spojených s výstupní elektronikou, protože u centrály, i pokud má požadovaný výkon, je výstupní napětí vyvedeno jako 230V střídavých, které by bylo nutné dále konvertovat na stejnosměrné dobíjecí napětí baterie.

Z toho důvodu bylo rozhodnuto využít samostatného spalovacího motoru a samostatného generátoru, ke kterému bude připojena vlastní elektronika ovládající dobíjení baterií. Toto řešení umožňuje větší variabilitu ve volbě finálních komponent, i v rozmístění těchto komponent do rámu vozidla.

3.3.5 Spalovací motor

Podmínkou pro volbu spalovacího motoru byla opět dostupnost na trhu. Spalovací motor bude ve vozidle pracovat s konstantními otáčkami a jeho výstupní hřídel bude připojena k elektrickému generátoru.

Při výběru bylo zohledněno několik možností. Jednou z variant bylo využití spalovacího motoru z menšího motocyklu s požadovaným výkonem. Zde je problém, že součástí bloku těchto motorů ve většině případů bývá i převodová skříň, která pro využití v range extenderu není žádoucí.

Jako další varianty se ukázal motor honda GX 390, který je často využíván v elektrických centrálách s vyšším výkonem, zahradních



a pracovních strojích, případně v motokárových závodech. Další možnosti jsou motory Rotax využívané v rovněž motokárových závodech, nebo rotační motory od britské firmy Advancet Innovative engineering. Jejich srovnání je v následující tabulce

	Honda GX 390	Rotax 125 MINI	AIE 80S
Konstrukce	4T OHV	2T	Rotační
Výkon [kW/otáčky]	8,7 / 3600	9,6 / 7500	11,2 / 10 000
Hmotnost [kg]	31,7	21,6	5 (holý blok)
Výška [mm]	448	?	190
Šířka [mm]	460	?	188
Délka [mm]	380	?	180
Klíčové vlastnosti		Servisní intervaly v řádu hodin	Cena 19 400 liber

Tabulka 6 – Srovnání spalovacích motorů [21, 22, 23]

Na základě těchto informací bylo rozhodnuto využít motor Honda GX 390, který je snadno dostupný, jsou na něj dostupné náhradní díly, má dlouhé servisní intervaly a spotřebu 3,5l na 1 hodinu provozu při konstantních otáčkách 3600 otáček za minutu.

Nyní lze navrhnout také kapacitu benzínové nádrže. Požadavek byl stanoven na dojezd 200 km na jedno natankování. Pokud budeme uvažovat průměrnou cestovní rychlost 60 km/h, ujede vozidlo 200 km za 3,33 h. Pokud tuto dobu vynásobíme hodinovou spotřebou spalovacího motoru, vychází minimální kapacita nádrže na 11,66 l.

Motor rotax je sice menší a lehčí, ale jde o motor určený převážně pro závodní účely a podle toho je konstruovaný. Vyžaduje výměny oleje každých 5 hodin provozu a vzhledem ke dvoutaktní konstrukci by kvůli emisním normám mohl být problém s jeho provozem na pozemních komunikacích.

Rotační motor AIE 80S má sice udávanou hmotnost pouhých 5 kg, jde ale o samotný blok motoru bez výfukových a sacích komponent. Tato firma vyrábí motory na zakázku až po objednání, kdy čekací doba na dodání motoru je 16 týdnů a cena 19 400 liber, což odpovídá asi 576 000 Kč. Cena motoru Honda GX 390 se pohybuje podle zvolené varianty od 25 000 Kč do 45 000 Kč. [21, 22, 23]



3.3.6 Generátor

Jako generátor lze použít synchronní nebo asynchronní třífázové elektrické motory (jejich funkce je podrobněji popsána v kapitole 2.4). Asynchronní motory jsou využívány ve většině elektrických centrál dostupných na trhu, oprati generátorům s permanentními magnety jsou ale těžší a rozměrnější. Jejich výhodou je hladší chod.

V následující tabulce je srovnání tří dostupných generátorů.

	Emrax 188	Mecc Alte S20W-110	Heinzmann PGS120
Konstrukce	3f Synchronní	1f Asynchronní	3f Synchronní
Výkon [kW]	25	8,4	7,8
Otáčky [min^{-1}]	6500	3600	6000
Hmotnost [kg]	7	30,5	12,3
Průměr [mm]	188	240	230
Šířka [mm]	117	339	160

Tabulka 7 – Srovnání elektrických generátorů [24, 25, 26]

Z tabulky je vidět, že asynchronní 1f generátor není svými rozměry a hmotností vhodný pro aplikaci do vozidla. Jako generátor pro hybridní dálník byl zvolen generátor Emrax 188. Jde o obdobný motor, který je použit jako trakční, ale bude zapojený v generátorickém režimu. [24, 25, 26]

3.3.7 Usměrňovač

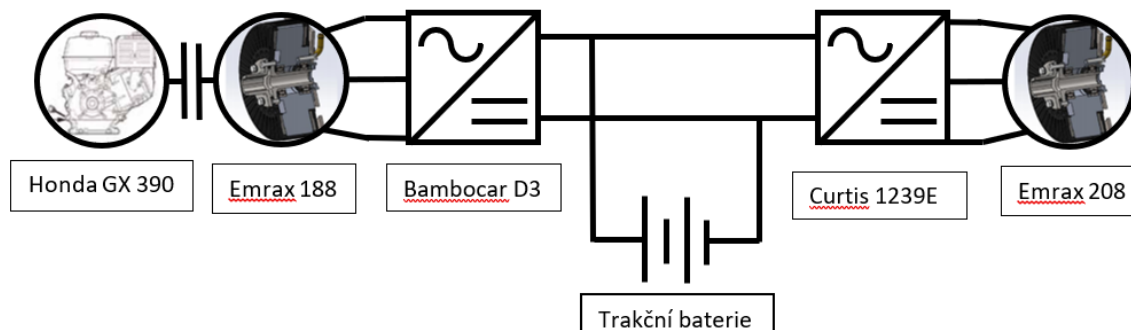
Vzhledem k použití 3f generátoru, který dodává 3 fázový střídavý proud, je potřeba použít vhodnou elektroniku k usměrnění proudu a regulaci na vhodné napětí pro dobíjení baterií, případně napájení trakčního motoru. Tato problematika byla konzultována přímo s výrobcem motorů a generátorů EMRAX, který doporučil vhodné elektronické jednotky. Jde o jednotky, které lze zároveň využít i pro motorický režim, což vede k možnosti startovat pomocí generátoru spalovací motor přímo z trakční baterie, a tím ušetřit prostor a hmotnost startéru a 12V baterie a celkovému zjednodušení konstrukce pohonu.

S ohledem na tyto vlastnosti byl zvolen měnič Bamocar D3, který už byl zmiňován v kapitole 3.2.2.. Je vhodný pro použití v generátorickém režimu, kde je využíván menší výkon (omezený výkonem motoru na 8,7 kW), a proto je možné ho plně využít bez použití vodního chlazení.



3.4 Celkový návrh zapojení

V závěru volby jednotlivých komponent je nutné spojit je do komplexního celku, zkontrolovat vzájemné vazby a případně nastavit omezení pro některé komponenty.



Obr. 13 – Schéma zapojené s konkrétními komponentami

Pro range extender, skládající se ze spalovacího motoru Honda GX 390 a generátoru Emrax 188 je výkonovým omezením spalovací motor, který je schopný dodat maximální výkon 8,7 kW. Jednotka Bamocar D3 bude tento elektrický výkon usměrňovat a konvertovat na nabíjecí napětí baterie, které je 113 V. Z rovnice (11) vychází proud 77 A, což je 5 A nad maximálním povoleným dobíjecím proudem. Bude tedy nutné v řídicí jednotce range extenderu nastavit omezení, pro maximální výkon při zastaveném trakčním motoru.

Výkonová část pohonu se skládá z baterie, trakčního motoru Emrax 208 a trakčního měniče Curtis 1239E. Povolené hodnoty těchto komponent jsou v tabulce 8.

	Emrax 208	Baterie	Curtis 1239E
Maximální napětí [V]	120	113	120
Maximální proud [A]	800	420	650
Maximální výkon [kW]	68	47,46	78

Tabulka 8 – Srovnání parametrů trakčních motorů

Z tabulky je patrné, že hlavním omezením bude baterie. Pokud bude současně nastartován i range extender, zvedne se celkový elektrický výkon ze zdrojů energie o 8,7 kW (bez započítání ztrát), tedy na 56,16 kW, což bude odpovídat maximálnímu výkonu vozidla. V tomto případě jde o krátkodobý špičkový výkon značně omezený rychle rostoucími teplotami jednotlivých komponent, který bude prakticky nedosažitelný.



Vzhledem k použití mechanických komponent sekundárního převodu z původního motocyklu, který dosahuje maximálního výkonu 41 kW, bude maximální špičkový výkon výsledné přestavby s ohledem na bezpečnost omezen na stejnou hodnotu.



4 Konstrukční studie rozmístění ve vozidle

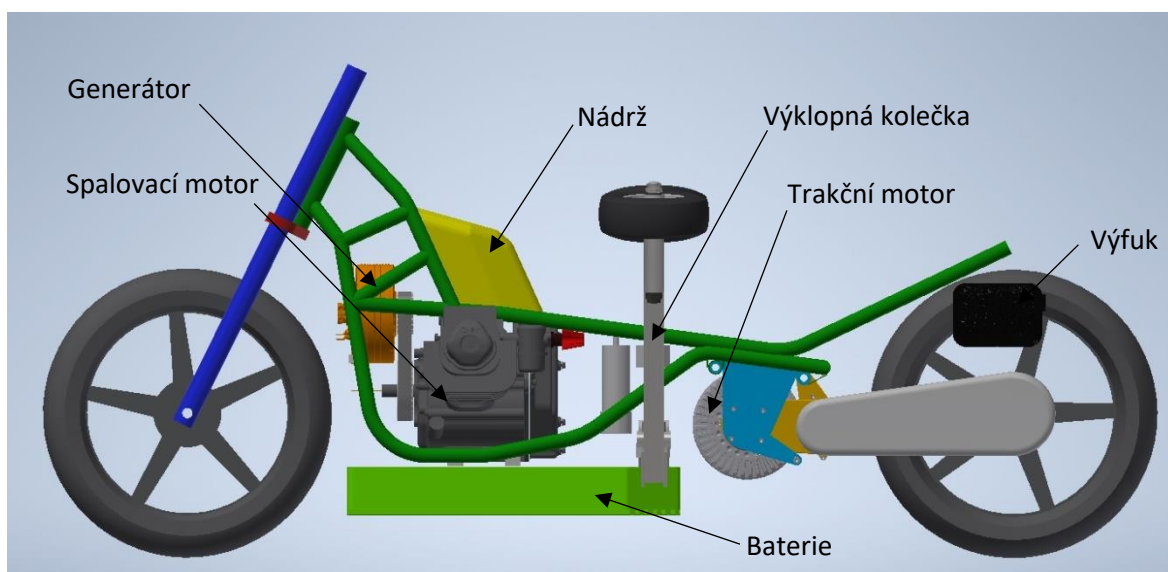
Správné rozmístění komponent ve vozidle bylo z hlediska objemu a hmotnosti poměrně složité. Z rámu byl odstraněn původní motor a veškerá kapotáž. Vzniklé místo bylo potřeba využít správným způsobem, aby nedošlo k zásadnímu ovlivnění jízdních vlastností například posunutím těžiště a narušením původního rozložení hmotnosti mezi přední a zadní kolo. To by mohlo zásadním způsobem ovlivnit celkové dynamické vlastnosti podvozku, kde zásadně ovlivňují citlivost vozidla vůči samobuzeným kmitům.

Měření polohy těžiště původního vozidla provedl pan Bc. Jan Cahyna. Vzhledem k tomu, že výsledné vozidlo bude jednomístné, bylo dále počítáno s těžištěm motocyklu zatíženého řidičem o odhadované hmotnosti 90 kg.

Vozidlo po úpravě je vzhledem ke konstrukci osazeno také mechanismem výklopných koleček, kterému je nutné se vyhnout a zachovat prostor pro jejich pohyb.

Umístění a uchycení některých komponent zároveň úzce souvisí s provedením karoserie a interiéru, proto je navrženo jejich umístění, ale finální provedení zatím není možné dokončit.

Náhled na celkové rozmístění je patrný z obrázku 14.



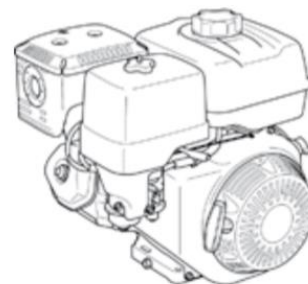
Obr. 14 – Boční pohled na sestavu



4.1 Spalovací motor a generátor

Spalovací motor s generátorem elektrické energie jsou umístěny v přední části rámu v místech, kde byla původní hnací jednotka. Spalovací motor bude umístěn ve vozidle podélně a s generátorem bude propojen ozubeným řemenem.

Spalovací motor je dodáván v sestavě společně s nádrží, vzduchovým filtrem a výfukem, které jsou umístěny nad samotným spalovacím motorem a tvoří kompaktní blok (Obrázek 10). Toto rozložení ovšem nevyhovuje zamýšlenému využití. Ze sestavy bude zachován spalovací motor, který bude dále odlehčen o elektrický i ruční startér. Tuto funkci bude plnit generátor.



Obr. 15 – Spalovací motor [21]

Výfuk je jedna z komponent, které nelze umístit bez návrhu karoserie. Na obrázku 9 je vidět orientační umístění původní koncovky výfuku (černý box) v zadní části vozidla. Další možností je umístit výfuk pod trakční motor, je ale nutné, aby neomezoval světlou výšku a maximální náklon vozidla, který byl stanoven na 55°.

Airbox a původní vzduchový filtr bude kvůli svým rozměrům nahrazen otevřeným filtrem. Možností je například filtr KN RC – 2290, který se používá na těchto motorech v motokárách. Před namontováním motoru do vozidla doporučuji s ohledem na změny v sání i výfukovém potrubí provést naladění karburátoru za pomoci motorové brzdy, aby bylo dosaženo optimálního výkonu i spotřeby.

Nádrž bude umístěna nad spalovacím motorem. Na obrázku 9 je naznačena žlutou barvou. Její výsledná podoba a umístění je opět úzce spojeno s interiérem a karoserií vozu, proto je zatím stanoveno pouze její orientační umístění, které musí zajistit přísun paliva bez použití palivového čerpadla. Další podmínkou je vypočtená minimální kapacita 11.66 l, aby byl zachován požadovaný dojezd vozidla.

Pro uchycení motoru i generátoru budou do rámu navařeny příčky, ke kterým budou agregáty přišroubovány. U spalovacího motoru budou mezi příčkami a agregátem pryžové podložky, které utlumí vibrace, ale zároveň se nedeformují tolik, aby mohlo dojít k přeskočení řemene (viz kapitola 4.1.1). Při montáži je s ohledem na propojení ozubeným



řemenem potřeba pomocí vymežovacích podložek co nejpřesněji sladit souosost obou řemenic.

4.1.1 Návrh řemenového převodu

Návrh byl proveden v aplikaci Autodesk Inventor 2020. Pracovní otáčky spalovacího motoru byly zvoleny na 3600 otáček za minutu a otáčky generátoru, který má širší pracovní rozsah s dostatečným výkonem na cca 5000. Z toho byl zvolený poměr zubů na ozubených řemenicích 28/20.

Řemen byl zvolen z normalizované řady typu H jako 240 H 100. Jeho parametry jsou v tabulce 9.

Řemen 240 H 100	
Počet zubů	48
Rozteč [mm]	12,7
Šířka [mm]	25,4
Výpočtová délka [mm]	609,6
Výsledná osová vzdálenost [mm]	151,536

Tabulka 9 – Parametry řemenu

Řemenice u generátoru bude plnit funkci výstupní hřídel generátoru, řemenice na straně spalovacího motoru bude k hřídeli připojena pomocí těsného pera.

4.2 Trakční baterie

Baterie bude kvůli své hmotnosti umístěna ve spodní části vozidla, což je nejvhodnější poloha s ohledem na ovladatelnost a polohu těžiště.

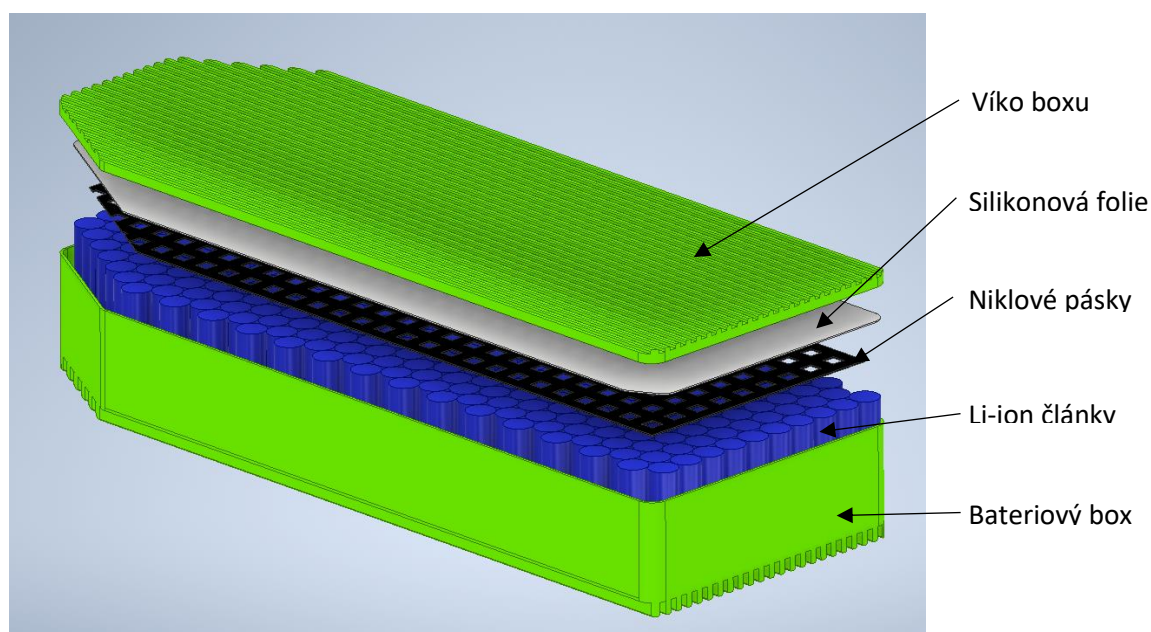
Dále bude představen návrh baterie, který musí být konzultován s vybraným výrobcem. Návrh splňuje veškeré funkční požadavky, které jsou na baterii kladeny.

Uchytení baterie bude dále řešeno společně s návrhem karoserie, protože bateriový box bude součástí spodního dílu karoserie. Jeho finální podobu bude nutné konzultovat jak s výrobcem finální baterie, tak s návrhářem karoserie. Na spodní straně bateriového boxu je vytvořeno žebrování, které zvyšuje účinnou chladič plochu boxu a zároveň zvyšuje jeho pevnost a ochranu baterií před mechanickým poškozením.

Ochrana baterií proti mechanickému poškození je menším nedostatkem tohoto typu uložení. S ohledem na hmotnost je ale nevhodné baterii umísťovat do větší výšky nad vozovkou a kvůli bezpečnosti není možné umístit ji do vnitřní části karoserie do blízkosti řidiče, kde by při vznícení hrozily vážné následky.



Základem je 324 článků Samsung 40T v konfiguraci 27s12p. Ty jsou umístěny na stojato v bateriovém boxu a jsou mezi sebou pospojovány bodovým svařováním niklovými pásky. Na niklových páscích je potom 2mm silná teplovodivá silikonová folie, která zajišťuje odvod tepla z baterií do hliníkového boxu, který plní funkci pasivního chladiče, a zároveň elektrickou izolaci mezi hliníkovým boxem a bateriemi. Jde o silikonovou teplovodivou fólii, která se používá k elektrické izolaci a odvodu tepla jak v elektronice, tak i v automobilovém průmyslu. (Obr. 16)



Obr. 16 – Rozpad baterie

Součástí baterie musí být i tzv. Battery management system, zkráceně BMS, který řídí nabíjení a vybíjení jednotlivých sériově spojených sad článků. Pokud by toto nebylo správně ošetřeno, mohlo by dojít k tomu, že se po několika nabíjecích cyklech hodnoty napětí na sériích začnou výrazněji lišit a časem by docházelo napřed k přebíjení více nabitých sérií a podbíjení méně nabitých sérií a nakonec k destrukci baterie. Prostor na BMS a další nutnou elektroniku je v přední části vozidla nad baterií a musí být zkontrolován s konečným výrobcem.

4.2.1 Teplotní zatížení baterie

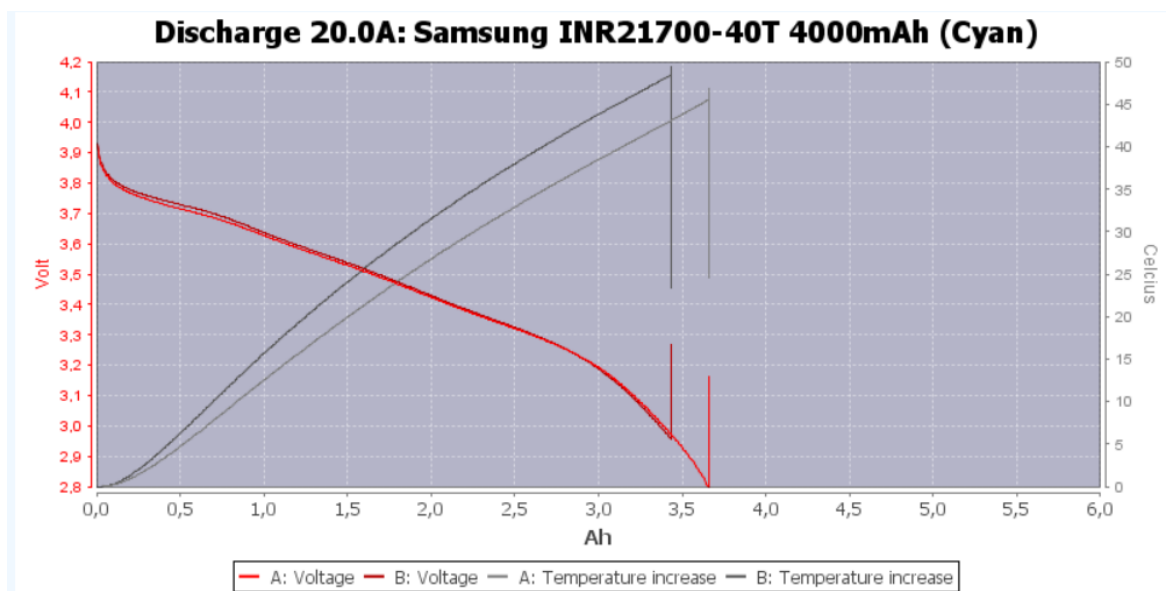
Kvůli zajištění provozních teplot pro baterii, které jsou omezeny na 80 °C, budou mezi bateriemi rovnoměrně rozmístěny termočlánky, díky kterým bude možné včas omezit výkon trakčního motoru, případně nastartovat range extender, což sníží výkon baterie a tím i její ohřívání.



Pro ověření možnosti zatížení jednotlivých článků požadovanými proudy a dodržení teplotních omezení byla použita data z nezávislého testu, provedeného na webu <https://lygte-info.dk/>, kde jsou prováděny zátěžové testy různých Li-ion článků v rámci výrobcem stanovených parametrů. Mimo to lze na tomto webu najít i testy nabíječek a dalších elektronických zařízení.

Testy jsou prováděny tak, že je baterie připojena k zařízení, které ji vybíjí různými hodnotami konstantního proudu vždy z plného nabití 4,2 V na hodnotu 2,8 V a během těchto cyklů je měřeno napětí na baterii a její teplota. Následně jsou z naměřených hodnot vytvořeny grafy.

Z hodnot vypočtených v kapitole 3.2.3. vyplývá, že maximální požadovaný proud na jeden článek je 20,4 A. Proto je nejvíce relevantní graf pro zatížení 20 A (Obr. 17).



Obr. 17 – Test baterií Samsung 40T – 20 A [27]

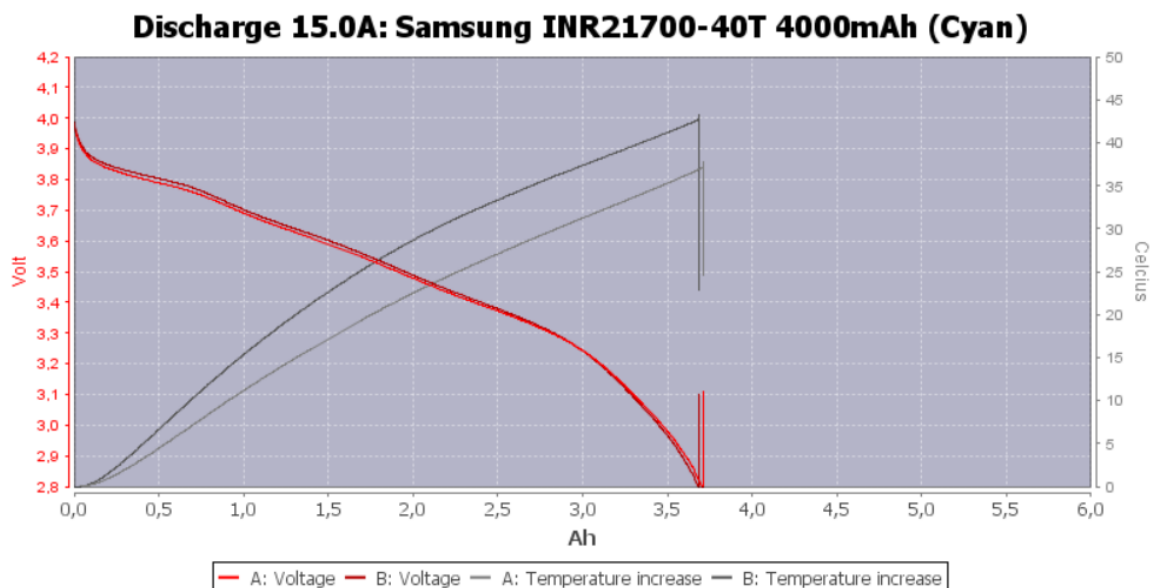
Z šedých křivek lze vyčíst změnu teplot dvou různých článků A a B při vybíjení baterie proudem 20 A. Došlo ke změně teploty o 48 °C, což může být při letních okolních teplotách hraniční hodnota s ohledem na to, že maximální provozní teplota baterií je 80 °C. Jde však o hodnotu proudu, která je dosahována pouze při jízdě do kopce se stoupáním 6% dálniční rychlostí a baterii trvá vybití tímto proudem cca 11 minut. Proto v běžném provozu k takto prudkým ohřevům pravděpodobně nebude docházet.

Při karosování vozidla je nutno věnovat pozornost proudění vzduchu kolem bateriového boxu. A to tak, aby výsledné proudění vzduchu mělo pozitivní vliv na teplotu článků.



Pokud bude uvažován režim jízdy po dálnici konstantní rychlostí s nastartovaným range extenderem, bude trakční baterie zatěžována přibližně 10 A, pro tento stav bohužel není dostupný graf z měření. Bez nastartovaného range extenderu bude velikost proudu bude proudové zatížení jednoho článku rovno 16,7 A. To lze přirovnat k zatěžování baterie 15 A viditelnými na grafu na obrázku 13.

Při tomto stavu dojde k ohřátí o 43 °C a čas vybití baterií se zvýší na 15 minut.

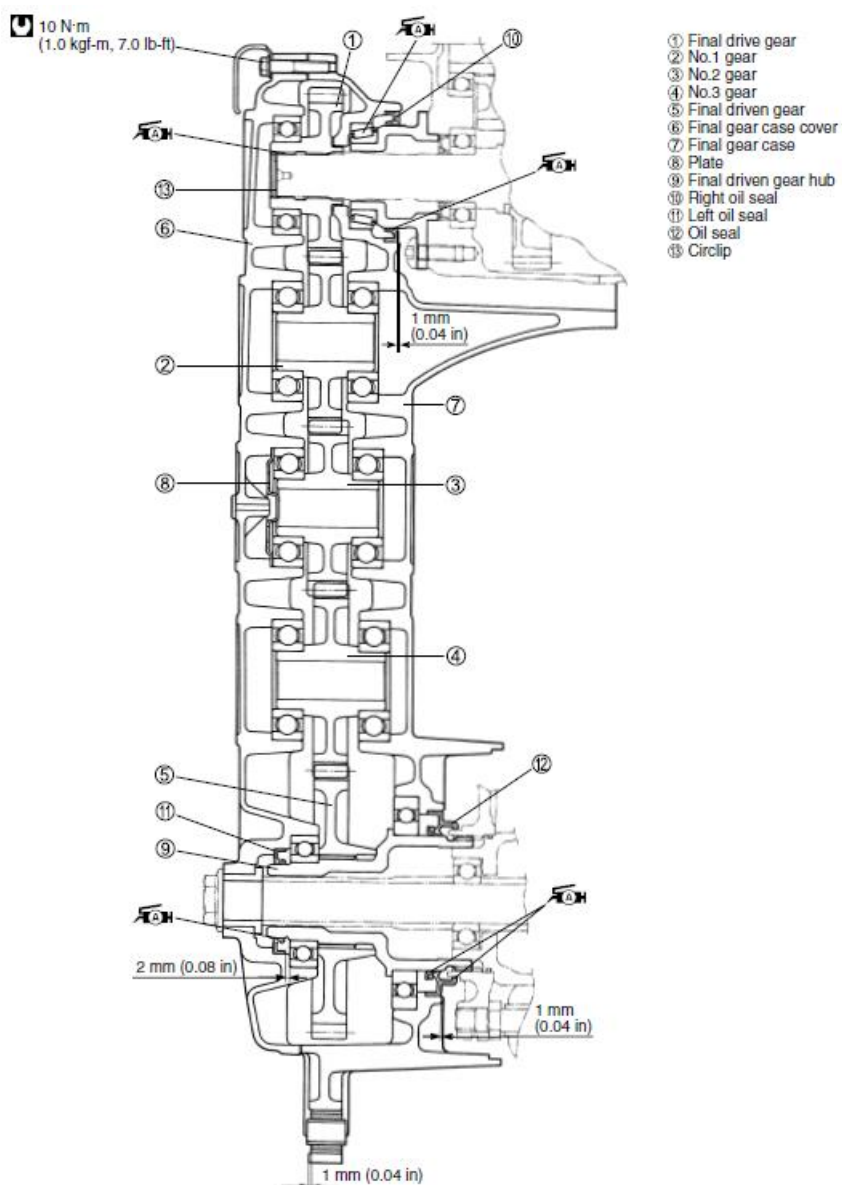


Obr. 18 – Test baterií Samsung 40T – 15 A [27]

4.3 Trakční motor

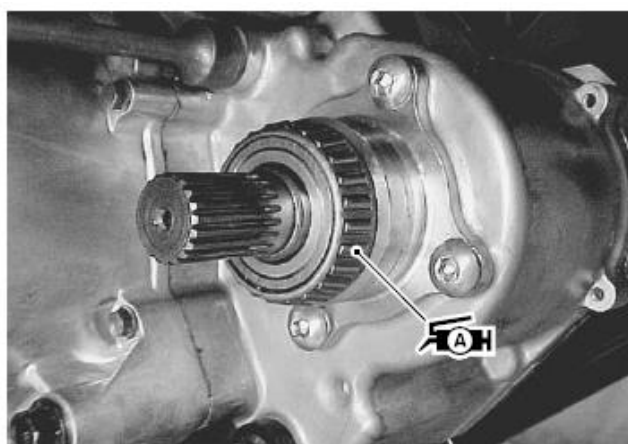
Vzhledem k tomu, že bylo rozhodnuto, použít kompletní podvozek z původního motocyklu, objevil se při umístění trakčního motoru problém se zadní kyvnou vidlicí, která je na původním motocyklu přimontována k bloku motoru, a ne k rámu vozidla. Zadní kyvná vidlice obsahuje také sekundární převod, na který je nutné se vhodným způsobem napojit.

Sekundární převod je v tomto motocyklu nestandardně proveden pomocí řady ozubených kol integrovaných přímo do levého ramene kyvné vidlice (Obr. 12 a Obr. 19).



Obr. 20 – Řez ramenem kyvné vidlice [15]

První ozubené kolo je přes evolventní drážkování napojeno na výstupní hřídel z motoru (Obr. 13).



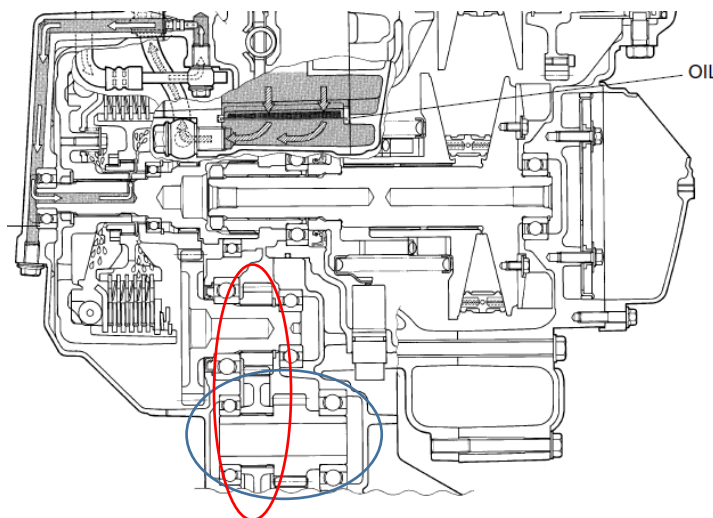
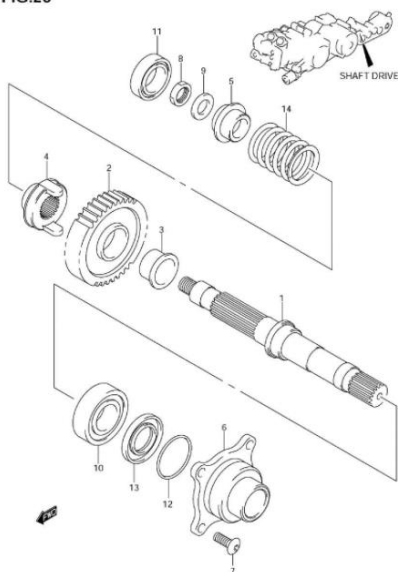
Obr. 19 – Výstupní hřídel z motoru



Hnací hřídel je dále přes další dvě ozubení připojena k výstupu ze spojky. S ohledem na úsporu a ověřenou funkčnost a životnost použitých komponent bylo rozhodnuto využít kompletní hnací hřídel, další ozubená kola a ložiska a navrhnout vhodnou převodovou skříň, na kterou bude uchycený jak trakční motor, tak zadní vidlice.

Z webu Parts depot [28] byly zjištěny velikosti většiny ložisek a počty zubů ozubených kol. Z technické dokumentace v servisním manuálu Suzuki Burgman byly naměřeny zbylé potřebné hodnoty a z nich provedeny výpočty použité k návrhu převodovky.

FIG.26



Obr. 22 – Řez motorem Suzuki Burgman 650

Obr. 21 – Rozstřel hnací hřídele [28]

Ozubené kolo nasazené na hnací hřídeli spoluzabírá s modře zakroužkovaným ozubeným kolem na obrázku 15. To bude ve výsledné převodovce otočené drážkováním na opačnou stranu, čímž dojde k posunutí těžiště sestavy blíže k ose vozidla.

Původním záměrem bylo použít i červeně zakroužkované soukolí na obrázku 15. S tím ale vzniká nevhodný převod mezi motorem a zadním kolem, proto bude muset být nahrazeno.

4.3.1 Měření a výpočty původního motoru

Pro identifikaci v tabulce byla ozubená kola očíslována od hnací hřídele dále. Ozubené kolo na hnací hřídeli je tedy kolo 1, spoluzabírající ozubené kolo má číslo 2, ozubené kolo na hřídeli s kolem 2 je kolo 3 a poslední kolo, které bude napojeno na trakční motor je kolo 4.



Oz. kolo	Počet zubů	Naměřený roztečný průměr [mm]	Vypočtený modul	Modul z norm. řady
1	40	88,110	2,203	2,25
2	22	50,118	2,278	2,25
3	43	84,818	1,973	2
4	25	50,512	2,020	2

Tabulka 10 – Parametry ozubených kol

Součástí kyvné vidlice je stálý převod (viz Obrázek 12), kde první ozubené kolo v řadě má 31 zubů a poslední 49 zubů.

$$i = \frac{Z_{výstupní}}{Z_{vstupní}} \quad (12)$$

$$i_{stálý} = \frac{49}{31} = 1,5806$$

Celkový převod bude potom součinem všech za sebou sériově řazených převodů.

$$i_{celkový} = \frac{z_1}{z_2} * \frac{z_3}{z_4} * i_{stálý} \quad (13)$$

$$i_{celkový} = \frac{40}{22} * \frac{43}{25} * 1,5806 = 4,943$$

Bylo zvoleno, že trakční motor bude mít při rychlosti 135 km/h asi 5000 otáček za minutu. Z toho byl dále vypočítán požadovaný převodový poměr a porovnán s celkovým převodovým poměrem při zachování původních komponent.

Pro zadní kolo byly následujícím postupem vypočteny otáčky.

$$\omega_{kolo} = \frac{v}{r_d} \quad (14)$$

$$\omega_{kolo} = \frac{37,5}{0,274} = 136,86$$

$$n = \frac{30 * \omega}{\pi} \quad (15)$$

$$n = \frac{30 * 136,86}{3,14} = 1306,917$$

Z toho dále požadovaný převodový poměr.

$$i_{požadovaný} = \frac{n_{motor}}{n_{kolo}} \quad (16)$$

$$i_{požadovaný} = \frac{5000}{1306,917} = 3,826$$



Při zachování původního převodu by otáčky motoru při 135 km/h dosahovaly hodnoty 6464 otáček za minutu, což přesahuje maximální otáčky trakčního motoru. Je tedy nutné výsledný převodový poměr snížit. Proto bylo rozhodnuto nahradit ozubené kolo 4 kolem, které bude mít 33 zubů. Výsledný převodový poměr tím pádem bude mít podle rovnice (13) hodnotu 3,745.

Dále byly kvůli návrhu převodové skříně vypočteny osové vzdálenosti jednotlivých ozubených kol.

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m * (z_1 + z_2)}{2} \quad (17)$$

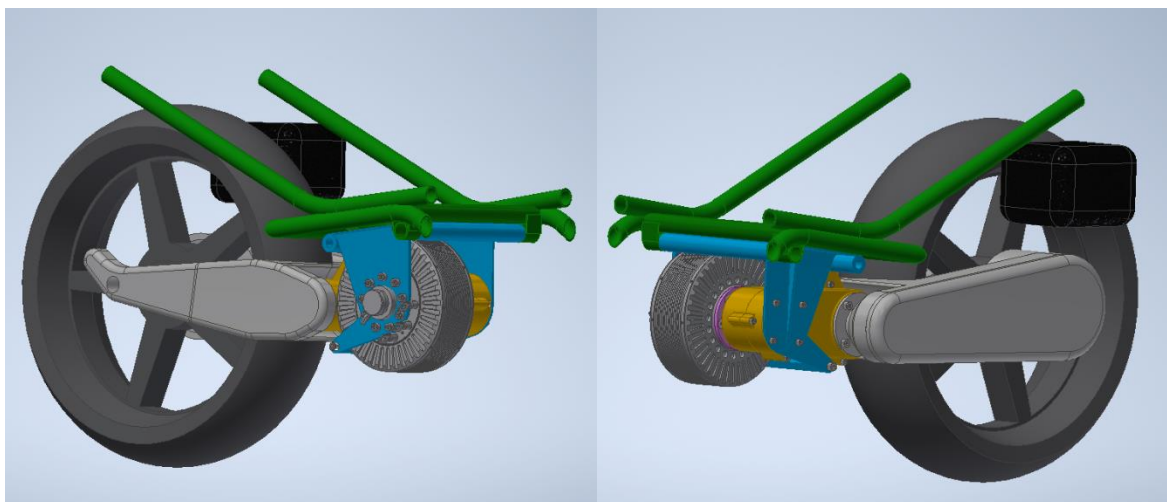
$$a_{12} = \frac{2,25 * (40 + 22)}{2} = 69,75 \text{ mm}$$

$$a_{34} = \frac{2 * (43 + 33)}{2} = 76 \text{ mm}$$

S těmito hodnotami lze nyní provést návrh převodové skříně, která bude nést zadní kyvnou vidlici a zajistí přenos výkonu z trakčního motoru na zadní kolo. Celý motocykl má výkon 41 kW, proto by bylo vhodné omezit maximální výkon trakčního motoru na tuto hodnotu, aby nedošlo k porušení některých součástí. Zároveň byla v převodové skříně použita stejná ložiska, jako v původním motoru, což opět zajišťuje vhodné dimenzování.

4.3.2 Návrh převodovky

Navržená převodovka je na obrázku 23. Bude nutné vyrobit převodovou skříň, pastorek na straně u motoru a spoluzabírající ozubené kolo. Zbytek dílů bude převzatý z původního motoru. Sestavný výkres a seznam částí jsou v přílohách 1 a 2.

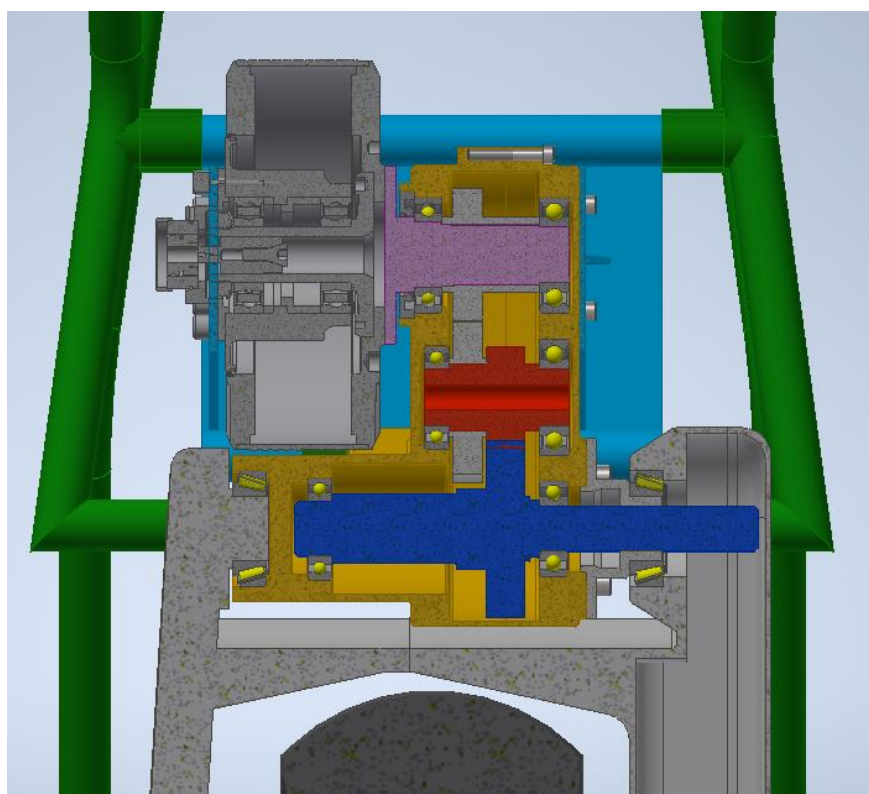


Obr. 23 – Návrh převodové skříně a připojení kyvné vidlice



Převodová skříň společně s motorem budou dále uloženy v rámu motocyklu v navrženém nosiči (na obrázku 22 a 23 modrá barva). Jeho uchycení k rámu je navrženo tak, aby byla zvýšena tuhost uložení zadní kyvné vidlice, ze které budou do převodové skříně přenášeny veškeré působící síly. Proto je v přední části co nejširší, aby byly pohyby minimální a nebyla ovlivněna tuhost uložení a ovladatelnost vozidla. Dále drží pohromadě motor s převodovou skříní, proto je ve spodní části před motorem ještě doplněn příčkou, která opět zvyšuje jeho pevnost.

Pro návrh ozubeného soukolí, které bude nutné vyrobit, byl použit nástroj aplikace Autodesk Inventor 2020 a je uvedena v příloze 3.



Obr. 24 – Řez převodovou skříní

V tabulce 11 je návrh parametrů ozubeného soukolí. Toto soukolí je navrženo na maximální požadovaný výkon 30kW. Při maximálním výkonu 41 kW odpovídajícím maximálnímu výkonu původního motocyklu se bezpečnost v dotyku snižuje na 1,082 u kola 4 a 1,096 u kola 3. To již není ideální hodnota, Ale soukolí bude stále dostatečně nadimenzované pro přenos výkonu.



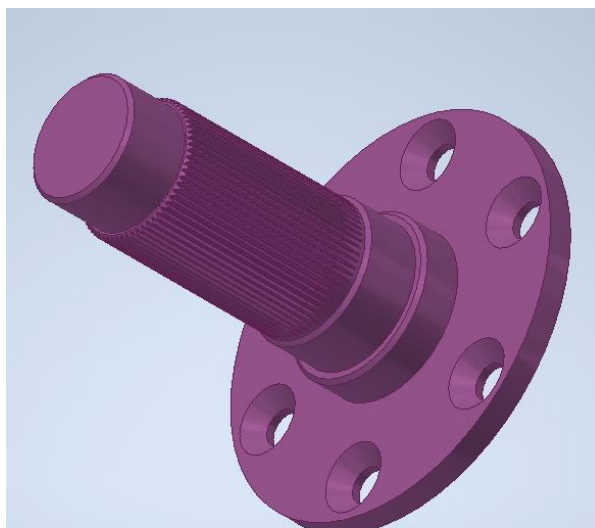
	Kolo 4	Kolo 3
Počet zubů	33	43
Šířka kola [mm]	16	16
Modul [mm]	2	2
Úhel profilu [°]	20	20
Úhel sklonu [°]	0	0
Jednotková korekce	0	0
Vzdálenost os [mm]	76	
Výkon [kW]	30	29,4
Otáčky [min ⁻¹]	4894	3756
Krouticí moment [Nm]	58,537	74,75
Účinnost	0,98	
Rozměry		
Vzdálenost os [mm]	76	
Roztečná [mm]	66	86
Základní [mm]	62,02	80,814
Patní [mm]	61	81
Hlavová [mm]	70	90
Bezpečnost		
v ohybu	2,795	2,857
V dotyku	1,191	1,207

Tabulka 11 – Návrh ozubení

4.3.2.1 Hřídel trakčního motoru

Hřídel motoru bude k motoru uchycena pomocí 7 šroubů se zápusťnou hlavou ISO 10642 M8x16 a přenos výkonu mezi ozubeným kolem 4 a hřídelí motoru je proveden pomocí evolventního drážkování ISO 4156 33x0,5.

S ohledem na správnou funkci je důležité dodržet geometrickou toleranci kolmosti mezi osou hřídele a připojovací plochou k motoru a zároveň souosost připojovacích děr a osy. Pokud by tyto tolerance nebyly dodrženy, docházelo by za chodu motoru k vibračním a hrozilo by poškození. (Výrobní výkres se všemi podrobnostmi je v příloze 4)



Obr. 25 – Hřídel trakčního motoru



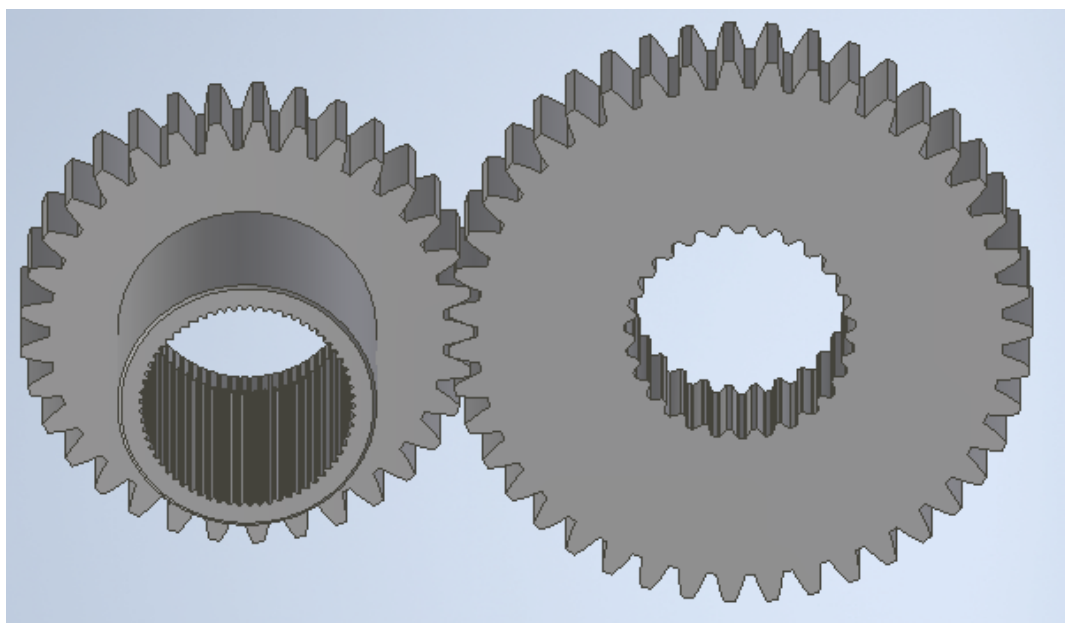
4.3.2.2 Ozubené soukolí 3, 4

Ozubené kolo 4 plní funkci pastorku motoru. Kvůli smontovatelnosti ale nemůže být součástí hřídele. Je proto k hřídeli připojeno přes evolventní drážkování 33x0,5 ISO 4156. Dále funguje ve skříni jako dorazový prvek mezi oběma ložisky, ve kterých je hřídel uložena.

Převodový poměr mezi oběma ozubenými koly je dán 43 zuby na ozubeném kole 3 a 33 zuby na ozubeném kole 4. Konstrukce soukolí je patrná z obrázku 26. Výrobní výkresy ozubených kol jsou v přílohách 5 a 6.

Přenos výkonu mezi ozubeným kolem 3 a ozubeným kolem 2, které je součástí hřídele, je provedeno opět přes evolventní drážkování. Ozubené kolo 2 je již převzato z původního motoru. Doporučuji ověřit správnost označení drážkování před výrobou převodové skříně. Z měření a počtu zubů vyplývá, že se jedná o evolventní drážkování ISO 4156 35x1,25.

Druhé ozubené soukolí (kola 1 a 2) jsou převzata z původního motocyklu. Ozubené kolo 1 je součástí sestavy hnací hřídele z obrázku 14. V modelu je tato sestava znázorněna schematicky, jako jedna součást.



Obr. 26 -Ozubené soukolí 3, 4

4.3.2.3 Převodová skříň a ložiska

Požadavky na převodovou skříň tvoří správné uložení kyvné vidlice a dostatečná tuhost pro přenos všech vnějších sil. Zároveň musí zprostředkovat přenos výkonu z trakčního motoru na zadní kolo. Jde tedy



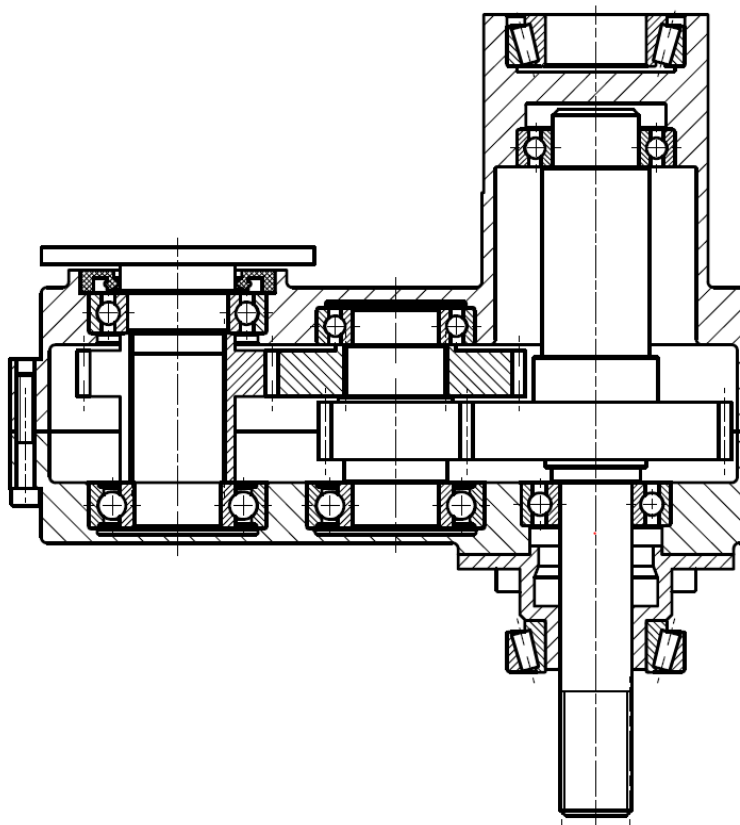
především o uložení ložisek pro jednotlivé hřídele a těsnost, pro zajištění mazání ozubených soukolí.

Ložiska byla zachována z původního motocyklu, to usnadňuje dimenzování a zároveň je to nutnost, vzhledem k použití původních komponent. Veškeré tolerance pro uložení ložisek byly vytvořeny dle doporučení výrobce SKF.

Skříň je smontována pomocí 5 šroubů s válcovou hlavou ISO 4762 M6x40. V zadní části je připojena přímo na původní uložení motoru, v přední části je potom z jedné strany přimontována k nosiči skříně pomocí 4 šroubů ČSN 02 1143 – M6x14.

U výstupní hřídele z převodové skříně je pro uložení ložiska a těsnění zachován díl z původního spalovacího motoru, který je 4 šrouby upevněn k převodové skříně. Tento díl je možné vidět na rozpadu hnací hřídele na obrázku 14.

Výrobní výkresy obou polovin skříně jsou v přílohách 7 a 8.



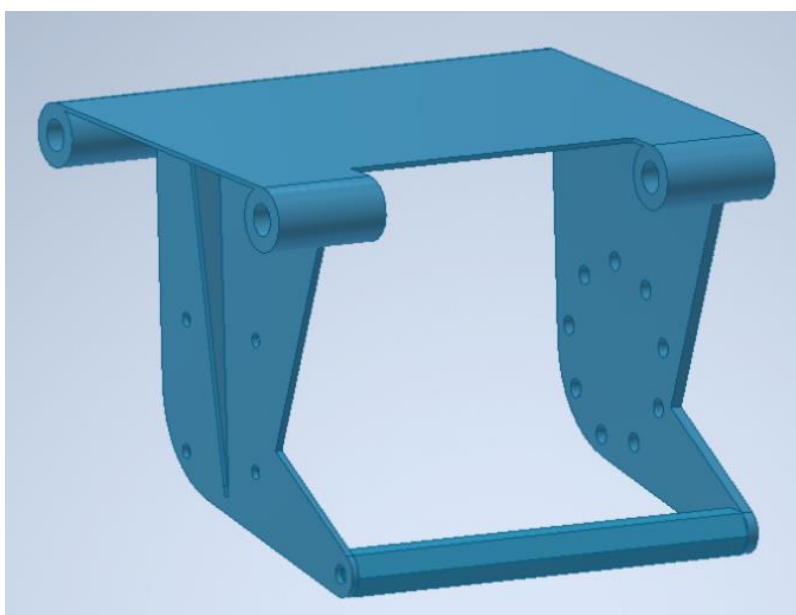
Obr. 27 – Řez převodovou skříní

4.3.2.4 Nosič převodové skříně

Nosič převodové skříně bude k rámu upevněn pomocí 14mm osy přes silenbloky uložené v připravených uloženích na rámu motocyklu.



Pokud by byla převodová skříň uložena přímo k rámu bez nosiče, její malé rozměry by nezajišťovaly dostatečnou tuhost uložení, a to by mělo negativní výsledky na přenos sil působících od zadního kola. Jak je vidět



Obr. 28 – Nosič převodové skříně

z obrázku, využitím nosiče došlo ke značnému rozšíření uchycovacích prvků. (Obr. 28)

Zároveň funguje nosič převodové skříně také jako nosič trakčního motoru a nahrazuje výrobcem dodávaný nosič ve tvaru X, přes který je uchycen generátor. Kvůli vyšší pevnosti je nosič ve spodní části spojen 6 hranou příčkou, která zvyšuje jeho pevnost a zabraňuje deformacím.

4.4 Trakční měnič a usměrňovač

	Bamocar D3	Curtis 1239E
Výška [mm]	105	102
Šířka [mm]	310	275
Délka [mm]	230	232
Hmotnost [kg]	8,5	5,45

Tabulka 12 – Rozměry elektrických měničů

Z tabulky 12 je patrné, že jak trakční měnič, tak usměrňovač jsou poměrně rozměrná zařízení. Kvůli tomu není zatím rozhodnuto o jejich finálním umístění. Jednou z možností je, že se bude při návrhu karoserie počítat s jejich umístěním na dno nebo stranu nákladového prostoru, který bude za sedadlem řidiče. Vzhledem k tomu, že nejde o příliš těžká zařízení, nebude problém s jejich umístěním ve větší výšce nad zemí.

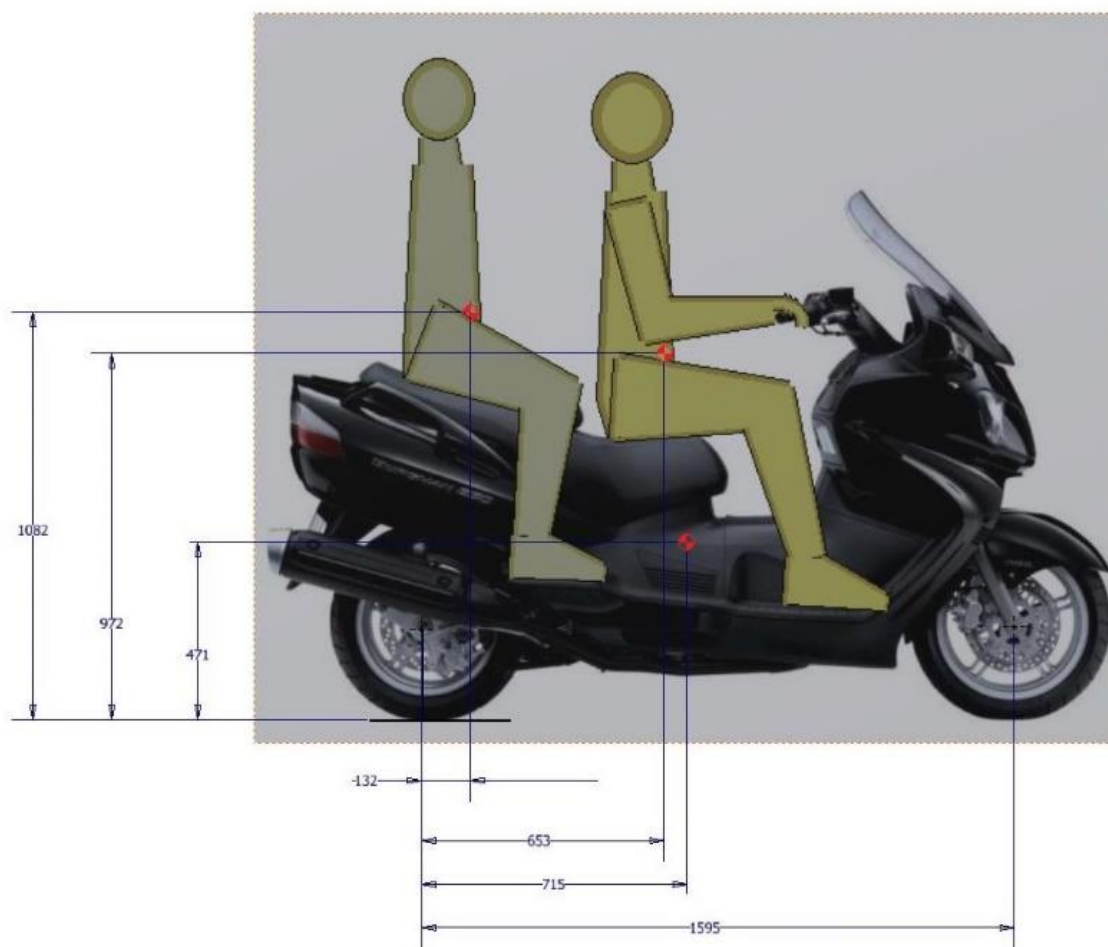


Problémem tohoto řešení by ale mohlo být ohrožení bezpečnosti posádky elektrickým proudem.

4.5 Výsledná poloha těžiště

Poloha těžiště je vypočtena s aktuálně dostupnými údaji k rozmístění komponent ve vozidle. Nadále ale bude ovlivňována přidáváním prvků řízení, interiéru a zejména karoserií. Je ale nutné tyto údaje průběžně aktualizovat.

Původní těžiště bylo změřeno panem kolegou Bc. Janem Cahynou na sériovém vozidle (Obr 29).



Obr. 29 – Naměřené hodnoty původního těžiště

Dále byly změřeny přibližné polohy těžišť jednotlivých komponent pohonného řetězce. Tyto data byla shrnuta v tabulce 13.

Z těchto hodnot byla z momentové rovnováhy vypočtena poloha těžiště pro nové vozidlo a také z naměřených dat původního těžiště byly vypočteny hodnoty pro zatížení motocyklu pouze řidičem a řidičem i spolujezdcem. To jsou dva zátěžové stavy přípustné pro původní



vozidlo. Samozřejmě závisí na hmotnostech řidiče i spolujezdce. Pro tento účel byla uvažována hmotnost pasažerů 90 kg.

	Vzdálenost od osy předního kola [mm]	Hmotnost [kg]
Generátor	345	9
Spalovací motor	572	32
Baterie	617	31
Výklopná kolečka	905	12
Trakční motor	1024	15
Řidič	1190	90
Elektrické měniče	1350	14

Tabulka 13 – Data pro výpočet těžiště

Rovnice pro výpočet polohy těžiště.

$$y_t = \frac{\sum(m_i * y_i)}{\sum m_i} \quad (18)$$

Z těchto dat byla vytvořena tabulka s jednotlivými vypočtenými polohami těžiště.

	Původní motocykl s řidičem	Původní motocykl s 2 pasažéry	Výsledné vozidlo s řidičem
Poloha těžiště [mm]	895,3	1007,4	949,5

Tabulka 14 – Poloha těžiště

Z tabulky vyplývá, že výsledné těžiště je mezi oběma původními zátěžovými stavy, což znamená, že navrženému rozmístění v konstrukční studii nic nebrání.

4.6 Chlazení komponent pohonného řetězce

V rámci vnitřní aerodynamiky je nutné zajistit dostatečné chlazení všech komponent pohonného řetězce.

To je úzce spjato s konstrukcí karoserie, která by měla zohledňovat dostatečné chlazení spalovacího motoru, jehož prostor musí být také vhodně odvětráván ideálně ven z karoserie a na chlazení trakčního motoru by měl být použit čerstvý neohřátý vzduch z okolí.

Bylo by vhodné zajistit i proudění z vrchní strany bateriového boxu, což zlepší chlazení baterií a bude méně hrozit omezení výkonu kvůli jejich přehřátí.



Generátor elektrické energie by dle údajů výrobce neměl být zatěžován k limitním hodnotám, z toho vyplývá, že nebude pravděpodobně nutné se na jeho chlazení více zaměřovat.

4.7 Konečný výkon

Konečný výkon pohonného řetězce bude ve výsledku ovlivněn účinností jednotlivých komponent. Tyto účinnosti jsou shrnuty v tabulce 15. Účinnost motoru a generátoru je udávána výrobcem jako 92% - 98%. Pro výpočet byla brána střední hodnota rozsahu. U usměrňovače je udávána maximální ztráta výkonu 3 kW pro maximální špičkový výkon 160 kW. Z toho vyplývá, že jeho minimální účinnost je 98%.

	Účinnost
Řemenový převod	0,98
Generátor	0,95
Usměrňovač	0,98
Trakční měnič	0,98
Trakční motor	0,95
Sekundární převod	0,98

Tabulka 15 – Účinnost pohonného řetězce

Z těchto hodnot je možné vypočítat výsledné výkony při jednotlivých režimech.

Range extender je tedy schopen dodat na zadní kolo výkon snížený o účinnost jednotlivých komponent. Při výkonu motoru 8,7 kW je výsledný výkon po započtení účinností 6,89 kW. To znamená, že požadavek na výkon range extenderu, kterým byl výkon 6,5 kW, je splněn.

Výkony ostatních komponent pohonného řetězce jsou v porovnání se stanovenými požadavky značně naddimenzované. Jejich výsledný výkon bude záležet na nastavení trakčního měniče, kde by měl být maximální výkon s ohledem na původní sekundární převod omezen na maximálně 41 kW.



5 Závěr

Cílem práce byla rešerše existujících vozidel s pohonným řetězcem typu range extender, návrh vlastního pohonného řetězce tohoto typu a zpracování konstrukční studie umístění jednotlivých komponent ve vozidle.

Ukázala se určitá omezení v malém výběru vhodných komponent na běžném trhu. I tak ale byla všechna kritéria navržená na začátku projektu splněna a podařilo se všechny komponenty umístit do rámu vozidla. Konkrétně převzatý rám a podvozek navržený původně pro jiný typ pohonu představoval komplikace, které by bylo možné vyřešit konstrukcí rámu navrženého přímo pro konkrétní aplikaci.

Některé části konstrukční studie, jako například finální umístění tlumiče výfuku, výfukového potrubí, nebo uchycení bateriové sestavy, která bude kvůli chlazení součástí spodní části karoserie, je nutné řešit současně s návrhem karoserie, který zatím není zpracován.

Řízení celého pohonného řetězce bude vyžadovat další množství práce. Bude nutné zajistit správnou součinnost range extenderu a trakčního pohonu, aby nedocházelo k přetěžování jednotlivých komponent.

Zajímavou možností by také bylo využít prostor a hmotnost zabraný range extenderem pro zvětšení trakční baterie, což by celé vozidlo zjednodušilo a jeho finální realizace by byla méně komplikovaná.



6 Použitá literatura

- [1] ŠUMAN-HREBLAY, Marián. Encyklopedie automobilů: české a slovenské osobní automobily od r. 1815 do současnosti. Brno: CPress, 2018. Autosalon (CPress). ISBN 978-80-264-1852-8.
- [2] Jak se vyrábějí dálníky: Let v nulové výšce | SvetMotoru.cz. SvetMotoru.cz - Svět motorů [online]. Copyright © 2001 [cit. 04.04.2021]. Dostupné z: <https://svetmotoru.auto.cz/clanek/servis/5473/jak-se-vyrabeji-dalniky-let-v-nulove-vysce.html>
- [3] Monoracer Cabin Motorcycle | Historie. Monoracer Cabin Motorcycle | Home [online]. Copyright © 2021 PERAVES CZ, a.s. [cit. 04.04.2021]. Dostupné z: <https://www.peravescz.com/cz/historie/>
- [4] HRMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 80-247-4455-4
- [5] FENTON John, HODKINSON Ron. Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design. Butterworth-Heinemann, 4th July 2001. ISBN 978-0-7506-5092-2
- [6] Bayerische Motoren Werke AG. Uživatelský manuál k vozu BMW i3, únor 2015, dostupné z <https://manualsbrain.com/en/manuals/801094/>
- [7] General Motors. Uživatelský manuál k vozu Chevrolet Volt, 2019, dostupné z https://my.chevrolet.com/content/dam/gmownercenter/gmna/dynamic/manuals/2019/Chevrolet/volt/19_CHEV_Volt_OM_en_US_U_84044803A_2018JUN22.pdf
- [8] SANG-HOON, Kim. Electric Motor Control: DC, AC and BLDC motors. Cambridge, United States: Elsevier Science, 2017. ISBN 978-0-12-812138-2
- [9] UHLÍŘ, Ivan. Elektrické stroje a pohony. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0
- [10] GIERAS, Jacek Franciszek, Rong-Jie WANG a Maarten J. KAMPER. Axial flux permanent magnet brushless machines. 2nd ed. [New York]: Springer, c2008. ISBN 978-1-4020-6993-2
- [11] DHAMEJA, Sandeep. ELECTRIC VEHICLE BATTERY SYSTEMS. Woburn, United states: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 0-7506-9916-7
- [12] SVOBODA, Jiří. Teorie dopravních prostředků: vozidla silniční a terénní. Vyd. 4. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03005-9
- [13] EMRAX inovative E-motors. Manual for EMRAX motors/generators. Verze 5.4, 2020, dostupné z https://emrax.com/wp-content/uploads/2020/03/manual_for_emrax_motors_version_5.4.pdf



- [14]HPEVS: Hi performance electric vehicle systems [online]. 2021 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://www.hpevs.com/hpevs-ac-electric-motors-ac34-ac35-for-automotive-mining-utility-ground-support-vehicles%20.htm>
- [15]SUZUKI MOTOR CORPORATION. Servisní manuál Suzuki AN 650, 2002
- [16]UNITEK industrie Elektronik. Manual Bambocar-PG-D3-700/400-400. V4. Leutenbach-Nellmersbach, 2020
- [17]CURTIS. On-Road AC Motor Controller Model 1239E - Datasheet [online]. 5/2019 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: https://cdn.curtisinstruments.com/products/datasheets/1239E_datasheet_en.pdf
- [18]SAMSUNG SDI Co., Ltd. Specification of INR21700-40T [online]. 12/2017 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://www.dnkpower.com/wp-content/uploads/2019/02/SAMSUNG-INR21700-40T-Datasheet.pdf>
- [19]SONY Energy Device corporation. Technical information US18650VTC6 [online]. 6/2015 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://www.orbtronic.com/content/sony-VTC6-datasheet-specs.pdf>
- [20]SAMSUNG SDI Co., Ltd. Specification of INR18650-25R [online]. 3/2014 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <http://dalincom.ru/datasheet/SAMSUNG%20INR18650-25R.pdf>
- [21]HONDA Motor Co., Ltd. Uživatelská příručka Gx 390 [online]. 2010 [cit. 2021-6-24]. Dostupné z: <https://www.hondastroje.cz/res/archive/052/006555.pdf?seek=1564488916>
- [22]125 MINI MAX evo MY20. [online]. Copyright © 2021 BRP [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://www.rotaxkart.com/en/Products/MAX-Engines/4-125-MINI-MAX-evo-MY20>
- [23]Advanced Innovative Engineering (UK) Ltd [online]. Copyright © 2021. All Rights Reserved. [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://www.aieuk.com/80s-15bhp-wankel-rotary-engine/>
- [24]Advanced Innovative Engineering (UK) Ltd [online]. Copyright © 2021. All Rights Reserved. [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://www.aieuk.com/80s-15bhp-wankel-rotary-engine/>
- [25]HEINZMANN Electric Drives. HEINZMANN Electric Motors [online]. Copyright © Heinzmann GmbH [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://www.heinzmann-electric-motors.com/produkte/synchronmotoren-generatoren/pgs-generatoren>
- [26]Mecc Alte. Portable Alternators [online]. [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://www.meccalte.com/en/products/alternators/portable>



- [27] Test of Samsung INR21700-40T 4000mAh (Cyan). Flashlight information [online]. Dostupné z: [https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Samsung%20INR21700-40T%204000mAh%20\(Cyan\)%20UK.html](https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Samsung%20INR21700-40T%204000mAh%20(Cyan)%20UK.html)
- [28] PartsDEPOT [online]. [cit. 2021-7-3]. Dostupné z: <https://www.partsdepot.cz/originalni-dily/skutry/Suzuki/2009/AN650%2CA++Burgman/61733/>



Seznam obrázků

Obr. 1 – Pracovní skica projektu	9
Obr. 2 – První dálník [1]	10
Obr. 3 – Sériový hybrid [4].....	12
Obr. 4 – Paralelní hybrid [4].....	13
Obr. 5 – Rozmístění komponent BMW i3	13
Obr. 6 – Stejnoseměrný motor [8].....	15
Obr. 7 – Motor s axiálním magnetickým tokem [10].....	17
Obr. 8 – Dynamická charakteristika.....	25
Obr. 9 – Schéma zapojení	26
Obr. 10 – Výkonové parametry motoru Emrax 208 [13]	27
Obr. 11.: Sekundární převod suzuki Burgman AN 650 [15]	28
Obr. 12 – Vnitřní pohled na sekundární převod [15].....	28
Obr. 13 – Schéma zapojené s konkrétními komponentami	34
Obr. 14 – Boční pohled na sestavu	36
Obr. 15 – Spalovací motor [21].....	37
Obr. 16 – Rozpad baterie.....	39
Obr. 17 – Test baterií Samsung 40T – 20 A [27]	40
Obr. 18 – Test baterií Samsung 40T – 15 A [27]	41
Obr. 19 – Výstupní hřídel z motoru	42
Obr. 20 – Řez ramenem kyvné vidlice [15]	42
Obr. 21 – Rozstřel hnací hřídele [28]	43
Obr. 22 – Řez motorem Suzuki Burgman 650.....	43
Obr. 23 – Návrh převodové skříně a připojení kyvné vidlice	45
Obr. 24 – Řez převodovou skříní	46
Obr. 25 – Hřídel trakčního motoru	47
Obr. 26 -Ozubené soukolí 3, 4	48
Obr. 27 – Převodová skříň s motorem.....	49
Obr. 28 – Nosič převodové skříně.....	50
Obr. 29 – Naměřené hodnoty původního těžiště	51



Seznam tabulek

Tabulka 1 – Parametry vozidla.....	21
Tabulka 2 – Vypočtené požadované výkony vozidla	24
Tabulka 3 – Srovnání trakčních motorů [13, 14]	27
Tabulka 4 – Srovnání trakčních měničů [16, 17].....	29
Tabulka 5 – Srovnání Li-ion článků [18, 19, 20]	30
Tabulka 6 – Srovnání spalovacích motorů [21, 22, 23].....	32
Tabulka 7 – Srovnání elektrických generátorů [24, 25, 26]	33
Tabulka 8 – Srovnání parametrů trakčních motorů.....	34
Tabulka 9 – Parametry řemenu	38
Tabulka 10 – Parametry ozubených kol.....	44
Tabulka 11 – Návrh ozubení	47
Tabulka 12 – Rozměry elektrických měničů	50
Tabulka 13 – Data pro výpočet těžiště	52
Tabulka 14 – Poloha těžiště	52
Tabulka 15 – Účinnost pohonného řetězce	53



Seznam příloh

- 1) Sestavný výkres převodové skříně
- 2) Seznam částí
- 3) Návrh ozubení
- 4) Výrobní výkres motorové hřídele
- 5) Výrobní výkres Ozubeného kola 3
- 6) Výrobní výkres ozubeného kola 4
- 7) Výrobní výkres levé poloviny skříně
- 8) Výrobní výkres pravé poloviny skříně
- 9) Výrobní výkres nosiče převodové skříně