

## **Bakalářská práce**

# **Malý vůz 4×4 s kombinovaným pohonem**

*Studijní program:*

*Autor práce:*

*Vedoucí práce:*

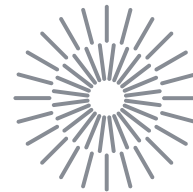
B0715A270008 Strojírenství

**Jan Kozák**

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

Katedra vozidel a motorů

Liberec 2024



## Zadání bakalářské práce

### Malý vůz 4×4 s kombinovaným pohonem

<i>Jméno a příjmení:</i>	<b>Jan Kozák</b>
<i>Osobní číslo:</i>	S20000053
<i>Studijní program:</i>	B0715A270008 Strojírenství
<i>Zadávací katedra:</i>	Katedra vozidel a motorů
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

#### Zásady pro vypracování:

Návrh přestavby klasického hnacího ústrojí malého automobilu pro pohon 4×4. Konstrukční návrh úpravy zadní nápravy a řetězce hnacího ústrojí.

1. Rešerše současných a předpokládaných variant hnacího ústrojí pro pohon všech kol automobilů nižší třídy a malých SUV.
2. Koncepce a varianty vlastního návrhu
3. Proveďte návrh úprav zástavby s ohledem na optimální funkci zavěšení kol a pohonu.
4. Zpracujte dokumentaci návrhu ve formě 3-D modelu

*Rozsah grafických prací:* Dokumentace 3-D modelu, výkresová dokumentace  
*Rozsah pracovní zprávy:* 40 – 50 stran textu  
*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická  
*Jazyk práce:* čeština

**Seznam odborné literatury:**

- [1] PFEFFER, Peter E. (Ed.) 7th International Munich Chassis Symposium 2016. Springer, Wiesbaden 2017. ISBN 978-3-658-14218-6
- [2] VLK, František. Stavba motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství. 1. vydání. Brno, 2003, ISBN 80-238-8757-2
- [3] Technische Unterrichtung Bosch: Bremssysteme mit ABS-ASR. 2. Ausgabe 94/95, Stuttgart, VDI 1994
- [4] Graaf,R., Zagelaar, P., Nehls, O., Burgio, G., Hofmann, O. "Integrierte Fahrdynamikregelung mit Lenkung und Bremse", 15. Aachener Kolloquium Fahrzeug-und Motorentechnik, 2006.

*Vedoucí práce:* doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
Katedra vozidel a motorů

*Datum zadání práce:* 9. listopadu 2022  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 22. května 2024

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
garant studijního programu

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

# Malý vůz 4x4 s kombinovaným pohonem

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce je návrh úpravy hnacího ústrojí pro zajištění pohonu všech kol. Rešeršní část je zaměřená na popis druhů pohonů všech kol a vysvětlení konstrukce a principu činnosti jejich hlavních částí. Hlavní součásti jsou rozvodovka, diferenciál a rozdělovací převodovka. V praktické části bude proveden návrh přestavby hnacího ústrojí již existujícího automobilu pro pohon všech kol.

## Klíčová slova

Pohon všech kol, diferenciál, motor, elektromotor, baterie

# Small 4x4 car with combined drive

## Abstract

The content of the bachelor thesis is a proposal for a modification of the drivetrain to ensure all-wheel drive. The research part is focused on the description of the types of all-wheel drives and the explanation of the design and principle of operation of their main components. The main parts are the gearbox, differential and transfer case. In the practical part, a proposal for the reconstruction of the drivetrain of an existing car for all-wheel drive will be carried out.

## Keywords

All-wheel drive, differential, motor, electric motor, battery

## Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Miroslavu Malému, CSc. za cenné rady, odborné vedení a konzultování mé bakalářské práce, Ing. Josefu Brouškovi, Ph.D. za poskytnutí pomoci při návrhu trakčního akumulátoru a celé své rodině a přátelům za podporu při studiu.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Druhy pohonů všech kol</b> .....	<b>12</b>
2.1	Základní konstrukční prvky .....	13
2.1.1.1	Rozvodovka .....	13
2.1.2	Diferenciál.....	14
2.1.3	Rozdělovací převodovka.....	18
2.2	Stálý pohon všech kol.....	19
2.2.1	Mezinápravový diferenciál .....	19
2.2.2	Viskózní spojka.....	21
2.3	Samočinně připojitelný pohon druhé nápravy .....	23
2.3.1	Mezinápravová rozvodovka Viscomatic .....	23
2.3.2	Mezinápravová lamelová spojka Haldex .....	24
2.4	Manuálně připojitelný pohon druhé nápravy.....	25
<b>3</b>	<b>Příklady pohonu všech kol u osobních automobilů</b> .....	<b>26</b>
3.1	Systém AllGrip .....	26
3.1.1	AllGrip AUTO .....	26
3.1.2	AllGrip SELECT .....	27
3.1.3	AllGrip PRO .....	28
3.2	Systém Quattro .....	28
3.2.1	Podélný systém Quattro .....	28
3.2.2	Příčný systém Quattro.....	29
3.3	Systém Toyota AWD-i .....	30
3.4	Inovace v oblasti pohonů všech kol.....	31
<b>4</b>	<b>Návrh přestavby na pohon všech kol</b> .....	<b>32</b>
4.1	Parametry automobilu.....	33
4.2	Pohon automobilu.....	34
4.3	Nápravy automobilu .....	34
4.3.1	Přední náprava .....	35
4.3.2	Zadní náprava.....	35
4.4	Pneumatiky .....	36
4.5	Pohon všech kol.....	36



4.5.1	Elektromotory Elaphe .....	37
4.5.2	Elektromotory Protean .....	38
4.6	Zdroj pro napájení elektromotorů .....	39
4.7	Zdroj pro dobíjení baterií .....	42
4.8	Systém ovládání pohonu .....	43
4.8.1	Schéma zapojení .....	43
4.8.2	Připojení zadní nápravy .....	44
<b>5</b>	<b>Konstrukční provedení pohonu zadní nápravy .....</b>	<b>45</b>
5.1	Náboj zadních kol .....	45
5.2	Elektromotor .....	46
5.3	Zadní náprava .....	50
5.4	Umístění komponentů do zástavby vozu .....	52
<b>6</b>	<b>Vyhodnocení a diskuse výsledků .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>54</b>

## Seznam symbolů zkratek

ms	milisekunda
ABS	Protiblokovací systém
ASR	Systém regulace prokluzu kol
ESP	Elektronický stabilizační program
AWD-i	Inteligentní samočinně připojitelný pohon všech kol
PCU	Programovatelná řídicí jednotka
mm	Milimetr
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
Nm	Newton metr
R18	Poloměr 18 placů
V	Volt
SUV	Sportovní užitkové vozidlo
cm	Centimetr
kWh	Kilowatthodina
Ah	Ampérhodina
mΩ	Miliohm
h	Hodina
°C	Stupeň celsia

# 1 Úvod

Automobilový průmysl a s ním spojená doprava je nedílnou součástí našeho každodenního života. Automobily jako takové jsou využívány v nejrůznějších oblastech, například v zaměstnání nebo pro transport nákladu či osob. V současné době lze na trhu nalézt nespočet různých druhů osobních automobilů, které jsou mezi sebou rozlišovány podle nejrůznějších aspektů. Kromě rozdílného stupně vybavení jednotlivých vozidel, lze do těchto aspektů zařadit například typy karoserie, druh paliva, kterým je vůz poháněn, či zdali je pohon vozu realizován pomocí přední nápravy, zadní nápravy nebo pomocí všech čtyř kol.

Jednotlivé modely vozidel a s nimi spojená technická řešení prošly několika letým vývojem a zdokonalováním za účelem zajištění co největší efektivity a kvality s ohledem na ekonomičnost návrhu a maximální bezpečnost posádky vozu. Od převážně mechanických řešení se postupem času přešlo k zakomponování nejrůznějších řídicích a asistenčních elektronických systémů, které výrazně ulehčily obsluhování vozu a zajistily větší bezpečnost pro posádku. Lze prohlásit, že určitým vylepšením prošly snad veškeré oblasti vývoje automobilů. Jednou a velmi důležitou oblastí jsou i hnací ústrojí.

Jedním z aspektů, na který je v posledních letech upřena pozornost jsou emise vzniklé při spalování. Při vývoji motorů se právě na emise v současné době hledí nejvíce. Vývojáři si při návrhu motorů musí počínat takovým způsobem, aby splnili stále přísnější emisní normy. Kromě v současné době velice častého používání nízko objemových motorů přepřínovaných turbodmychadlem, se ke snížení emisí používají další možnosti, jako jsou například vypínání válců motoru, či zdvojené vstřikování benzínu.

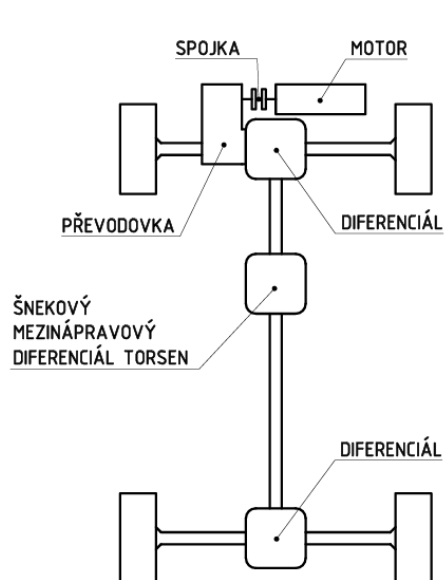
Další z cest jak snížit emise vozu či dokonce vytvořit bezemisní vozidlo je elektrifikace. Samozřejmě je nutné toto tvrzení brát s jistou rezervou, jelikož emise vznikají také při výrobě automobilu, nebo při výrobě elektrické energie, která je následně použita jako zdroj paliva. Kromě elektromobilů lze na trhu nalézt vozy s takzvaným hybridním pohonem. Hybridní pohon je kombinace spalovacího motoru a jednoho či více elektromotorů, které kromě snižování spotřeby kapalného paliva napomáhají také ke snížení emisí vozů. Existuje několik druhů hybridních motorizací, od mild hybridního systému, využívajícího malou baterii, která je dobíjena rekuperací – kinetickou energií uvolněnou brzděním, až po plug-in hybrid, který využívá baterii o mnohem větší kapacitě a dobíjí se přes klasické nabíječky pro elektrická vozidla. Hybridní pohony umožňují poměrně jednoduché zajištění pohonu všech kol ale zároveň efektivně negují jednu z hlavních nevýhod klasických čtyřkolek, kterou je vyšší spotřeba paliva.

Tato bakalářská práce je zaměřená na návrh úpravy tradičního pohonu na pohon všech kol, který by měl umožnit lépe využít trakční možnosti při jízdě v obtížných podmínkách. Předmětem úpravy by mělo být hnací ústrojí vozidla nižší střední třídy.

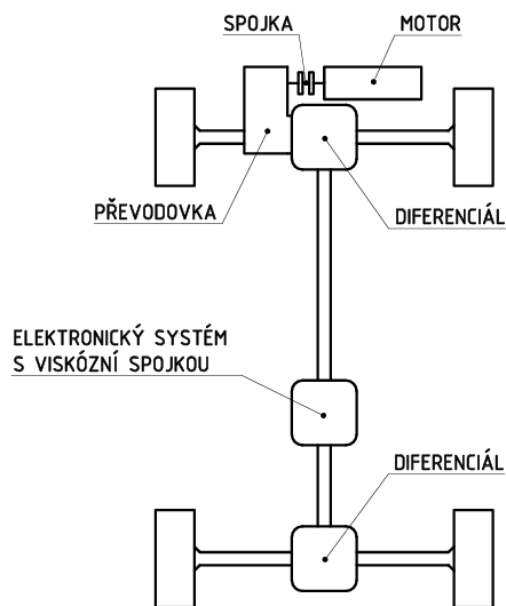
## 2 Druhy pohonů všech kol

V dnešní době lze najít velké množství koncepcí pro pohon všech kol, lišící se použitým systémem a součástmi. Obecně však lze tyto koncepce rozdělit do tří základních kategorií:

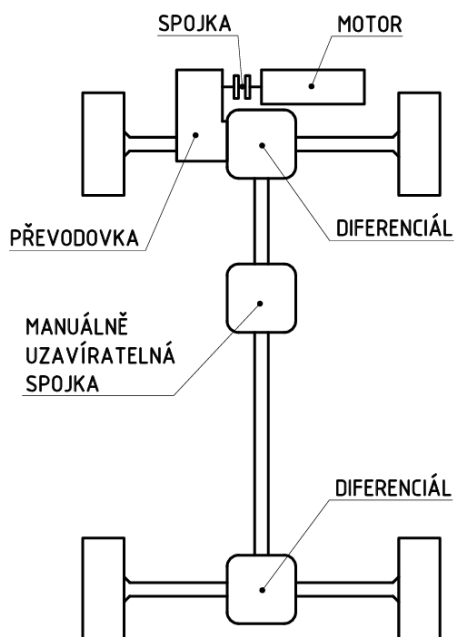
- stálý pohon všech kol
- samočinně připojitelný pohon druhé nápravy
- manuálně připojitelný pohon druhé nápravy



**Obr. 1** – Stálý pohon všech kol



**Obr. 2** – Samočinně připojitelný pohon druhé nápravy



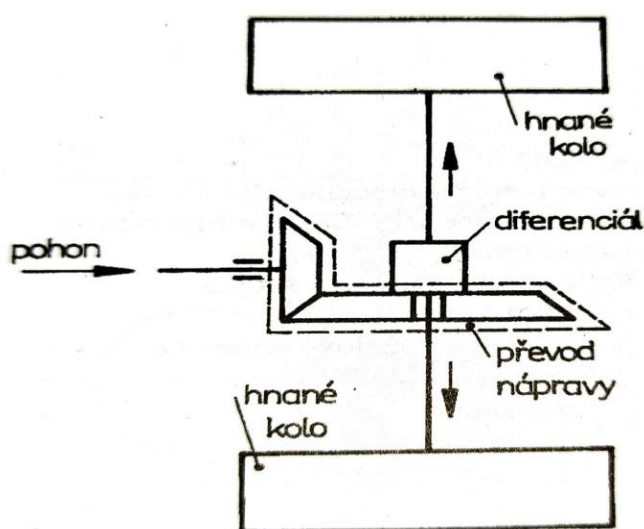
**Obr. 3** – Manuálně připojitelný pohon druhé nápravy

## 2.1 Základní konstrukční prvky

Konstrukce hnacího ústrojí automobilů s pohonem všech kol obsahuje kromě pohonné jednotky, spojky a manuální nebo automatické převodovky také tři další konstrukční prvky, kterými jsou rozvodovka, diferenciál a rozdělovací převodovka.

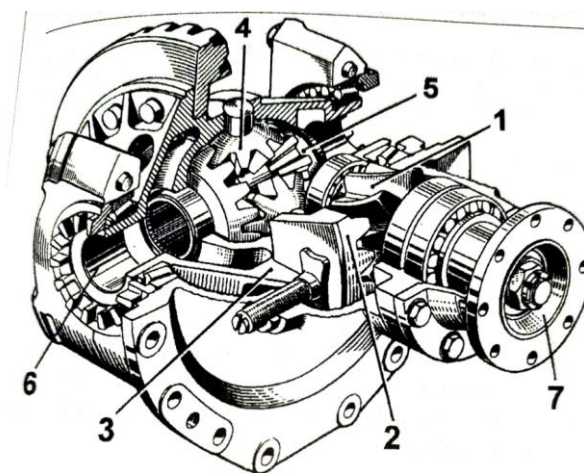
### 2.1.1.1 Rozvodovka

Rozvodovka je mechanismus převodového ústrojí v automobilu skládající se ze stálého převodu hnací nápravy a diferenciálu (obr.4). [1]



Obr. 4 – Schématické znázornění pohonu nápravy [1]

Rozvodovky mohou být buď jednostupňové (obr. 5), které jsou nejčastěji používány u osobních automobilů anebo dvoustupňové. Ty bývají používány spíše u automobilů nákladních, kde je vyžadován velký převod hnací nápravy.



Obr. 5 – Rozvodovka s diferenciálem [1]

1 – hnací pastorek, 2 – talířové kolo, 3 – klec diferenciálu,  
4 – kuželový satelit, 5 – kuželové planetové kolo, 6 – pohon vozového kola, 7 – příruba pro kardanův hřídel

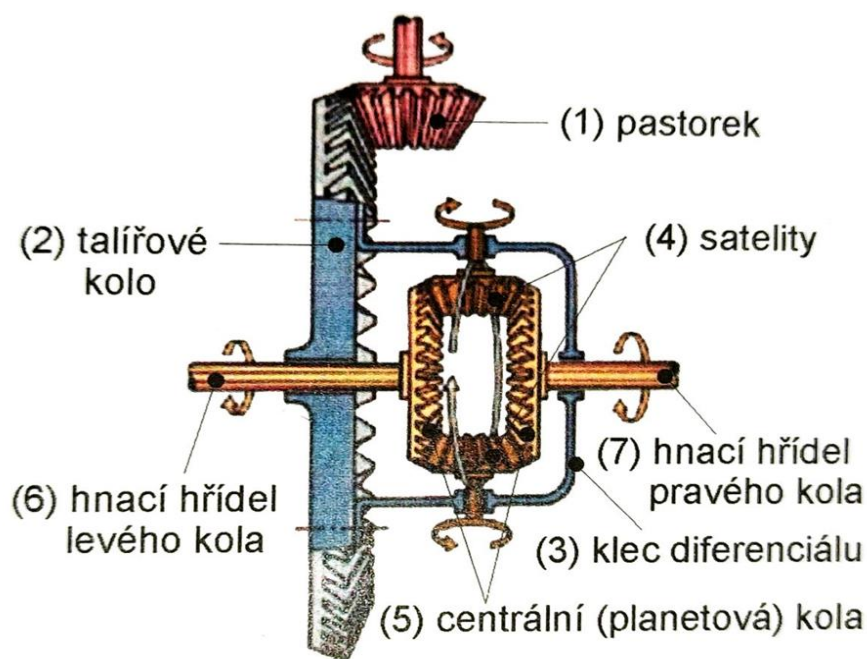
## 2.1.2 Diferenciál

Diferenciál je převodové ústrojí, které umožňuje rozdílné otáčky hnacích kol a rovnoměrně rozděljuje točivý moment na obě hnací kola. Nejčastěji se používají diferenciály kuželové a čelní.

Diferenciál najde své využití především při jízdě zatáčkou, kdy se vnější kola odvalují po větším poloměru a opisují delší dráhu než kola vnitřní. Je tedy nutné, aby bylo umožněno dosahovat rozdílných otáček hnacích kol. Pokud by tomu tak nebylo a takto poháněná kola by byla upevněna na společné hnací hřídeli, docházelo by k prokluzu jednoho z kol, což způsobuje nadměrné opotřebení pneumatik, zhoršuje boční vedení pneumatiky, zvyšuje namáhání převodového ústrojí a do jisté míry i znesnadňuje řízení.[1] [2]

Rozdělení točivého hnacího momentu je rovnoměrné například v poměru 50%: 50% a to i v případě rozdílných otáček hnacích kol. [1]

### Kuželový diferenciál



**Obr. 6** – Schéma rozvodovky s kuželovým diferenciálem s kuželovým stálým převodem rozvodovky [2]

Kuželový diferenciál je nejčastěji používaný diferenciál u osobních automobilů.

### Konstrukce

„Kuželový hnací pastorek (1) (obr.6) stálého převodu je v záběru s talířovým kolem (2), ke kterému je přišroubována klec diferenciálu (3). S klecí diferenciálu je pevně spojen čep satelitů, na kterém jsou otočně uložena kuželová ozubená kola s přímým ozubením – satelity (4). U osobních automobilů se používá jeden čep s dvěma satelity, ty jsou ve stálém záběru s oběma centrálními (planetovými) koly (5). Každé centrální kolo je spojeno s hnacím hřídelem kola (6,7) buď pomocí drážkování (tuhé hnací nápravy) nebo prostřednictvím posuvného

kloubu (výkyvné hnací nápravy). Skříň převodovky je naplněna převodovým mazacím olejem.“ [2]

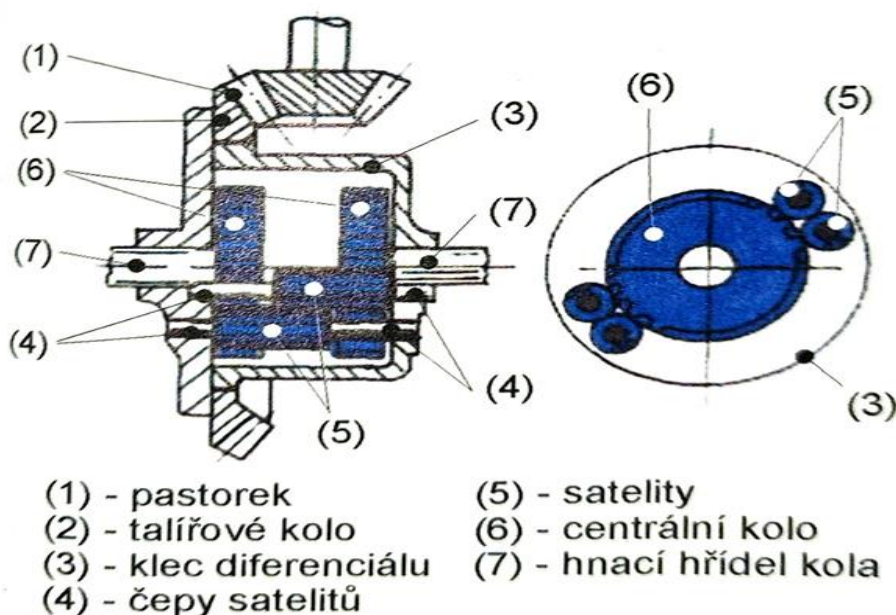
### Princip činnosti

„Při jízdě v přímém směru, kdy hnací kola vykonají stejnou dráhu, jsou jejich otáčky stejné, to znamená, že budou shodné otáčky obou hnacích hřídelů (6,7) a obou centrálních kol (5). Točivý moment se přenáší z pastorku (1) na talířové kolo (2) stálého převodu. Společně s talířovým kolem (2) se otáčí i klec diferenciálu (3) a satelity (4). V tomto případě tvoří satelity (4) nepohyblivou zubovou spojku mezi klecí diferenciálu (3) a centrálními koly (5). satelity (4) se neotáčejí, pouze obíhají stejnými otáčkami jako klec diferenciálu (3) kolem hlavní osy převodu. Centrální kola (5) mají stejné otáčky jako klec diferenciálu (3) a točivý (hnací) moment se rozděluje na obě centrální kola (5) a přes hnací hřídele (6 a 7) na kola vozidla.“ [2]

„Jakmile vozidlo vjede do zatáčky, začne se zpomalovat vnitřní kolo jedoucí po kratší dráze, poklesnou jeho otáčky. S ním se zpomalí i jeho hnací hřídel (6) a příslušné centrální kolo (5). Obíhající satelity (4) se začnou po zpomaleném centrálním kole (5) odvalovat a otáčet se. Tím začnou urychlovat druhé centrální kolo (5) a s ním i hnací hřídel (7) a kolo jedoucí po vnějším oblouku, úměrně se zvýší i jeho otáčky. Satelity (4) přitom vykonávají pohyb oběžný a otáčivý.“ [2]

### Čelní diferenciál

Alternativou ke kuželovému diferenciálu může být diferenciál čelní (*obr.7*). Princip jeho činnosti je stejný jako u kuželového diferenciálu. Rozdílná je pouze konstrukce, diferenciál je tvořen klecí (3) ve které jsou uloženy čepy satelitů (4). Satelity (5) jsou čelní ozubená kola s přímým ozubením, obvykle bývají čtyři nebo šest a jejich jedna polovina je vždy v záběru s jedním centrálním kolem (6), a druhá polovina s druhým satelitem, který je v záběru s druhým centrálním kolem. Centrální kola jsou propojena s hnacími hřídeli kol (7). [2]

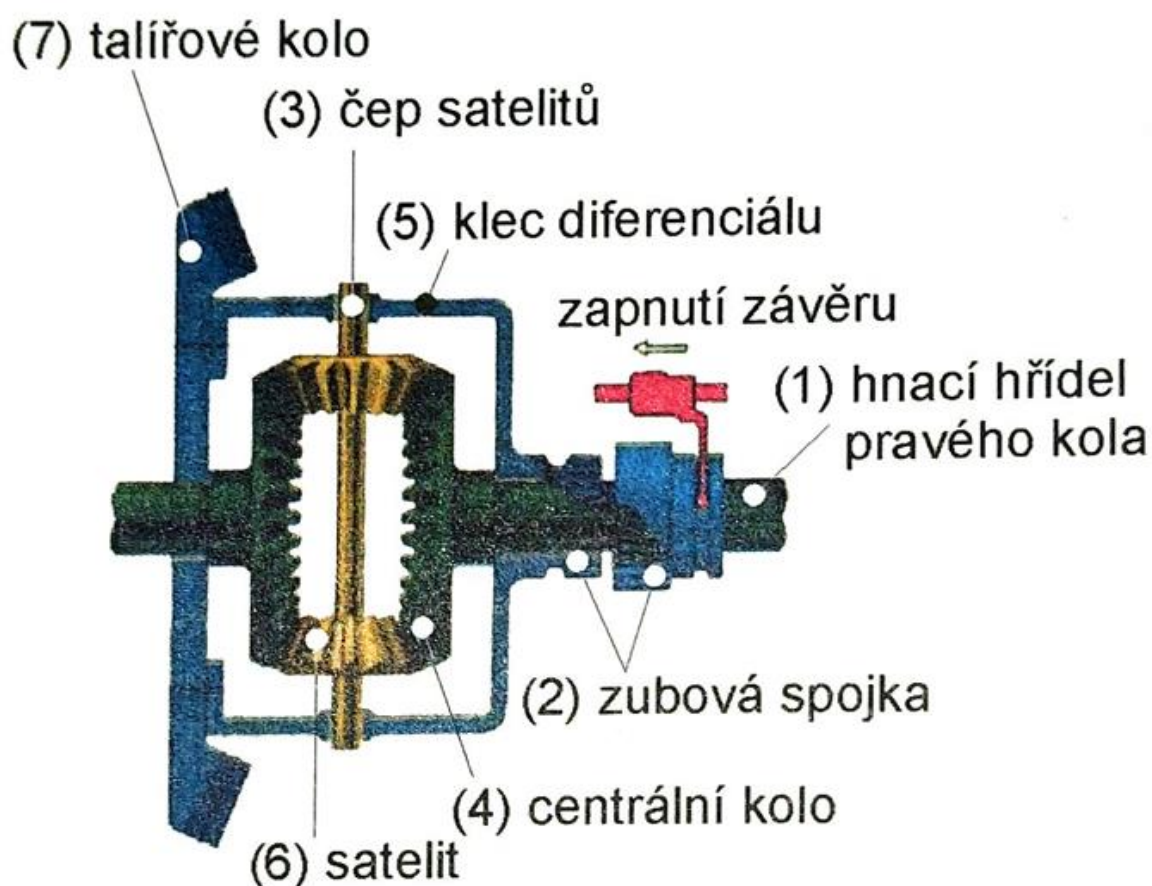


Obr. 7 – Schéma čelního diferenciálu [2]

„V porovnání s kuželovým diferenciálem mají čelní diferenciály menší vnější průměr klece diferenciálu, bývají však delší.“[2]

### Závěr diferenciálu

Výše uvedené diferenciály mají společnou ale dosti podstatnou nevýhodu. Při jízdě po vozovce s nižší adhezí – po měkkém terénu, kluzké vozovce, ledu nebo blátě může dojít k prokluzu jednoho z kol. Diferenciál i za těchto podmínek rozděluje točivý moment na obě kola rovnoměrně, prokluzující kolo však nemá dostatečný odpor proti otáčení, tedy točivý moment je velmi nízký. Automobil tak stojí na místě a prokluzující kolo se otáčí dvojnásobnými otáčkami než klec diferenciálu. Aby bylo možné vozidlo vyprostit, je nutné diferenciál vyřadit z provozu. K tomu slouží závěr diferenciálu. Nevýhodou použití mechanického závěru diferenciálu však může být jeho obsluha, která může stěžovat řízení vozidla.



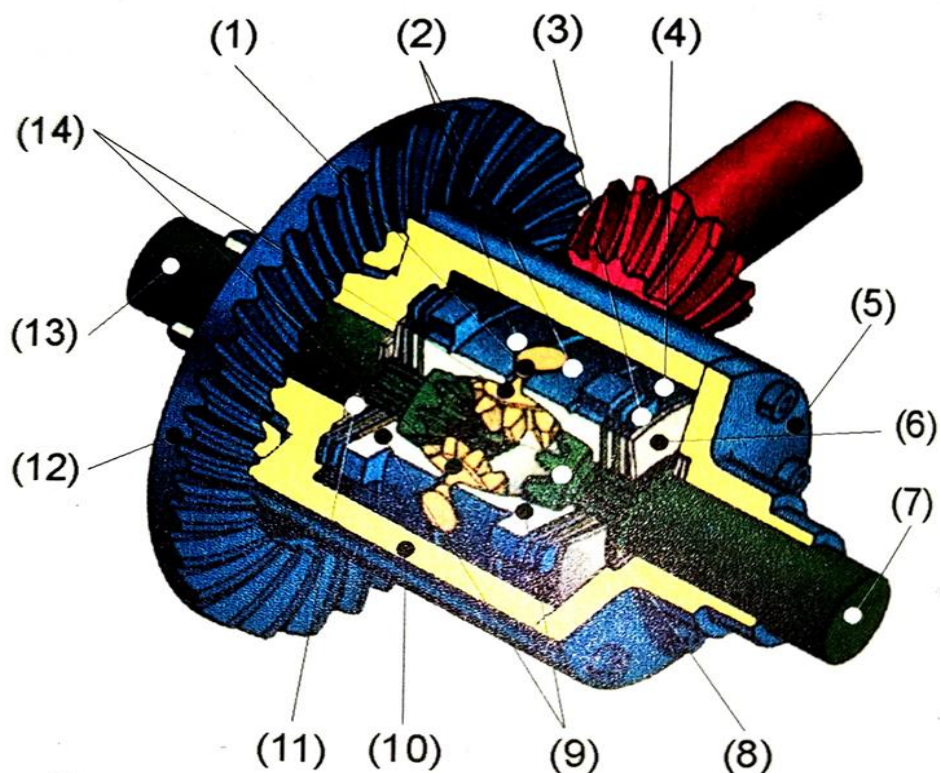
Obr. 8 – Závěr diferenciálu se zubovou spojkou [2]

„Závěr diferenciálu znehybňuje centrální kolo vůči diferenciálu. K tomu může být použita například zubová spojka (obr.8). Princip její činnosti je jednoduchý, při sepnutí závěru diferenciálu je pomocí vnitřního ozubení přesuvné objímky a vnějšího ozubení jádra spojky pevně spojen pravý hnací hřídel kola s klecí diferenciálu. Satelity se tím pádem nemohou odvalovat po centrálním kole. Diferenciál má 100 % svornost a obě centrální kola mají za všech jízdních podmínek stejné otáčky.“ [2]



## Samosvorný diferenciál

Tento typ diferenciálu eliminuje nevýhodu diferenciálu otevřeného (kuželový, čelní). Při prokluzu jednoho z kol vzniká v diferenciálu zvýšené tření, to dovoluje jen určitý rozdíl otáček levého a pravého kola a zabraňuje tak volnému protáčení mezi nimi. Točivý moment tak není rozdělován rovnoměrně na obě kola, ale jeho větší část je přiváděna na neprokluzující kolo. Mezi nejpoužívanější samosvorné diferenciály patří diferenciály s lamelovou spojkou (obr. 9) a šnekové diferenciály Torsen. [2]



**Obr. 9** – Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou [2]

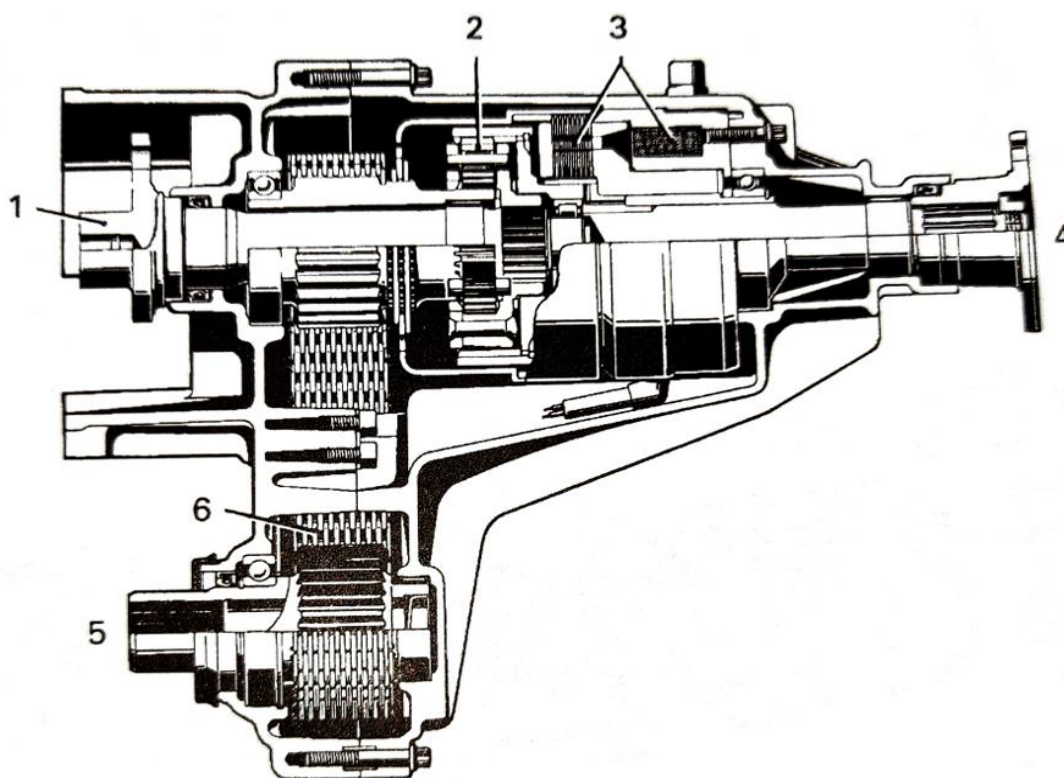
(1) – čep satelitů, (2) – klínové výřezy, (3) – vnější lamely spojené s klecí diferenciálu, (4) – vnitřní lamely spojené s centrálním kolem, (5) – víko klece diferenciálu, (6) – talířová pružina, (7) – hnací hřídel pravého kola, (8) – centrální kolo, (9) – přítlačné kotouče, (10) – klec diferenciálu, (11) – talířová pružina, (12) – talířové kolo, (13) – hnací hřídel levého kola, (14) – satelity

### 2.1.3 Rozdělovací převodovka

„U dvounápravových automobilů s pohonem všech kol je přenos hnací síly k oběma nápravám zajištěn pomocí kloubových hřídelů z rozdělovací převodovky. Podle druhu vozidla a provozních podmínek se konstruují různé typy rozdělovacích převodovek:“ [1]

- jednostupňové rozdělovací převodovky
- dvoustupňové rozdělovací převodovky
- rozdělovací převodovky bez diferenciálu
- rozdělovací převodovky s uzávěrkou diferenciálu

Na *obr. 10* je rozdělovací převodovka pro osobní automobily s permanentním pohonem všech kol a automatickou uzávěrkou mezinápravového diferenciálu. Zubový řetěz slouží k přenosu hnacího momentu na přední nápravu. Planetové soukolí rozděljuje hnací moment na nápravy vpředu/vzadu v poměru 36:64. Automatická uzávěrka diferenciálu je provedena viskózní spojkou. [1]



**Obr. 10** – Rozdělovací převodovka pro osobní automobily s permanentním pohonem obou náprav a automatickou uzávěrkou mezinápravového diferenciálu [1]

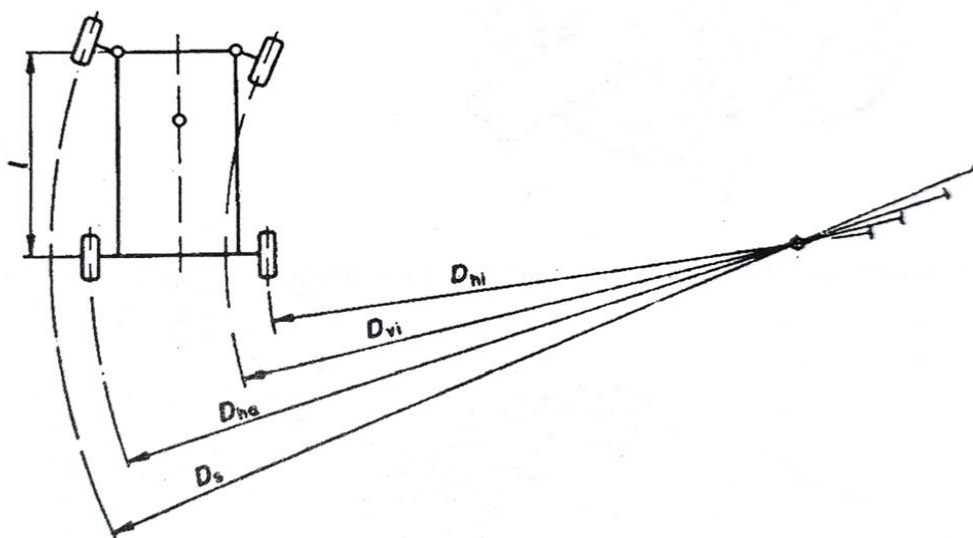
1 – pohon od přímo řazené převodovky, 2 – mezinápravový diferenciál, 3 – lamelová spojka pro uzávěrku diferenciálu, 4 – výstup k zadní nápravě, 5 – výstup k přední nápravě, 6 – ozubený řetěz

## 2.2 Stálý pohon všech kol

U tohoto typu pohonu jsou trvale poháněna všechna čtyři kola. K rozdělení točivého momentu a propojení přední a zadní nápravy je použita viskózní spojka nebo centrální mezinápravový diferenciál.

### 2.2.1 Mezinápravový diferenciál

Mezinápravový diferenciál slouží hlavně k odstranění nežádoucího namáhání hnacího ústrojí. To vzniká při zatáčení vozidla, kdy se přední kola vlivem větších poloměrů zatáčení (*obr.11*) otáčejí rychleji než kola zadní. Diferenciál vyrovná rozdíl otáček mezi koly přední a zadní nápravy a zabrání tím nebezpečnému namáhání, které by ohrožovalo celou pohonnou soustavu. Dále pak optimálně přenáší výkon na hnací kola, která díky tomu mají lepší trakci a jízda je tak bezpečnější. [1]



**Obr. 11** – Rozdílné poloměry zatáčení jednotlivých kol [1]

„Mezinápravový diferenciál rozděluje točivý moment na přední a zadní nápravu v poměru 50% : 50%, což přibližně odpovídá statickému rozložení hmotnosti částečně zatíženého vozu. K zablokování diferenciálu se používají viskózní spojky nebo diferenciály s uzávěrkou, která působí v závislosti na momentovém toku. Diferenciály jsou zablokovány, jestliže kola v důsledku příliš velkého hnacího momentu prokluzují – tedy mají rozdílné rychlosti otáčení.“ [1]

„Při rozdílné adhezi předních a zadních kol jejichž prokluz signalizují řídicí jednotce čidla otáček kol společná pro protiblokovací soustavu, blokuje tento diferenciál elektronicky ovládaná vícelamelová spojka a v mezním případě přenesou celý točivý moment jedna náprava. Elektronická řídicí jednotka reaguje na počínající prokluz takřka okamžitě, se zpožděním jen cca 20 ms. Jeden z nejčastěji používaných mezinápravových diferenciálů je šnekový diferenciál Torsen se závěrným účinkem.“ [1]

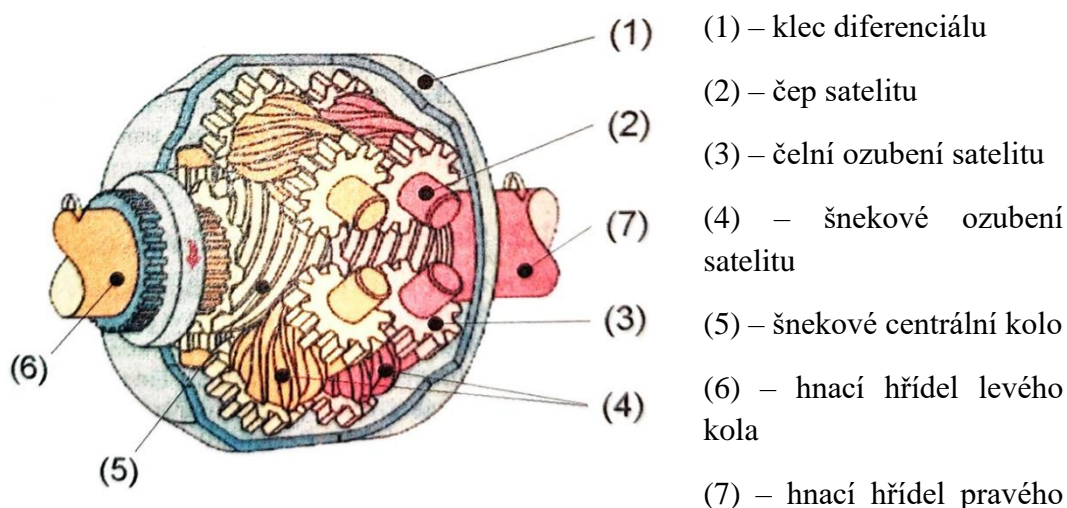
## Diferenciál Torsen

Tento diferenciál jako každý jiný umožňuje rozdílné otáčky hnacích kol a rozvádí na ně točivý moment. Zároveň je samosvorný a využívá se u něho skutečnost, že základní šnekový převod může přenášet sílu prakticky pouze ze strany šnekového kola. Rozdělení točivého momentu není v konstantním poměru ale v závislosti na aktuálních adhezních podmínkách. Lze jej použít jako diferenciál mezinápravový nebo nápravový.

### Konstrukce

„Diferenciál (obr.12) se skládá ze tří párů satelitů, které jsou uloženy otočně na čepch satelitů (2) a jsou opatřeny šnekovým (4) a čelním ozubením s přímými zuby (3). Šnekovým ozubením (4) je satelit v záběru se šnekovým centrálním (planetovým) kolem (5), čelním ozubením (3) je v záběru s čelním ozubením párového satelitu.“ [2]

„Točivý moment je přiváděn z převodovky přes stálý převod, klec diferenciálu (1), čepy satelitů (2), čelní (3) a šnekové (4) ozubení satelitů a šnekové centrální kolo (5) na oba hřídele hnacích kol (6,7).“ [2]



**Obr. 12** – Šnekový samosvorný diferenciál Torsen [2]

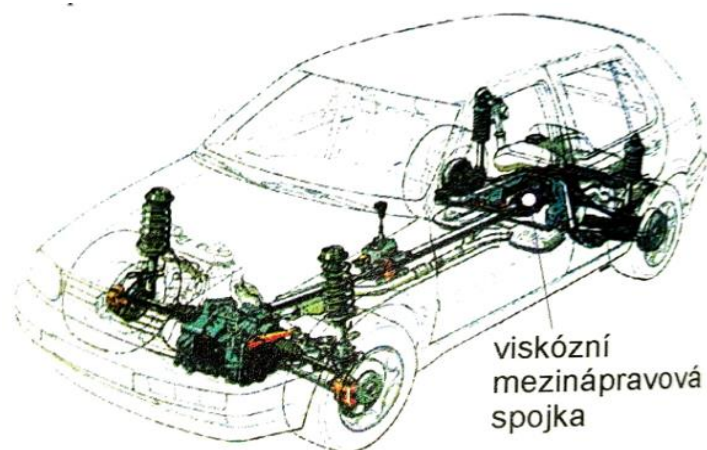
### Princip činnosti

„Mají-li hnací kola stejné otáčky, satelity se na čepch neotáčejí a pracují pouze jako zubové spojky. Točivý moment je rozdělen na obě hnací kola ve stejném poměru. Při jízdě v zatáčce se začnou satelity otáčet na čepch (2) a tím umožňují rozdílné otáčky hnacích kol.“ [2]

„Pokud se začne jedno hnací kolo protáčet (v důsledku nízké adheze), zvýší se tření ve šnekovém ozubení (4,5). Vlivem třecího odporu ve šnekovém ozubení dojde k přibrzdění prokluzujícího kola. V tomto případě se větší točivý moment přenáší na kolo s větší adhezí (na neprokluzující kolo). Diferenciály Torsen jsou konstruovány tak, aby jejich svornost byla asi 35% (účinnost diferenciálu asi 65%).“ [2]

## 2.2.2 Viskózní spojka

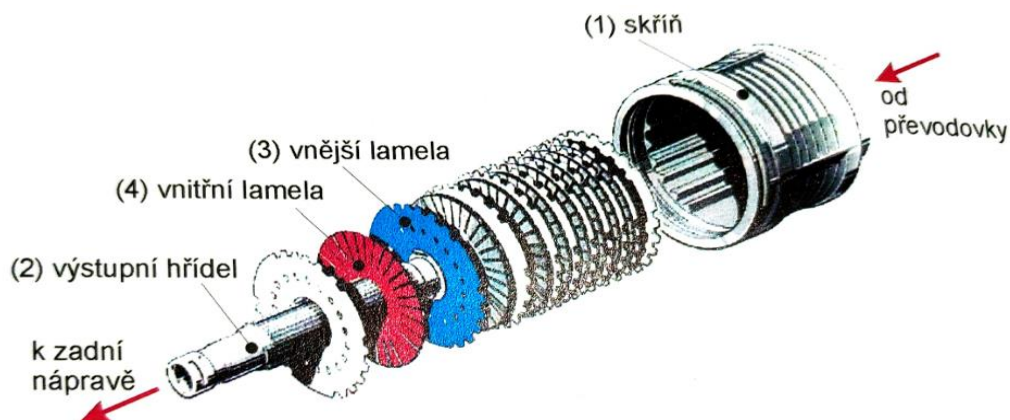
„U automobilů s pohonem všech 4 kol plní viskózní spojka funkci samosvorného mezinápravového diferenciálu. Při pohybu v přímém směru jízdy s dostatečným součinitelem adheze, mají hnací i hnané lamely spojky stejné otáčky, spojka se otáčí jako celek a systém se chová jako tuhý pohon všech kol.“ [2] Na *obr. 13* je možné vidět umístění viskózní spojky v převodovém ústrojí automobilu VW Golf Syncro.



**Obr. 13** – Umístění viskózní spojky v převodovém ústrojí automobilu VW Golf Syncro [2]

### Konstrukce

Viskózní spojka (*obr.14*) je tvořena hnací skříní (1) z hliníkové slitiny, která má na vnitřní straně axiální drážky. V těchto drážkách se nachází vnější hnané lamely (3). Další důležitou součástí viskózní spojky je hnaný výstupní hřídel (2), který má ve svých axiálních drážkách uloženy vnitřní hnané lamely, jejichž úkolem je tuto hřídel unášet. [2] „Hnací a hnané lamely jsou ve skříní uloženy střídavě. Lamely nejsou zajištěny proti axiálnímu posuvu, ale jsou mezi nimi mezery 0,2 mm až 0,4 mm. Spojka je utěsněna, protože je ze 75% až 92% objemu své vnitřní části naplněna speciálním silikonovým olejem, jehož viskozita se zvyšuje se zvyšující se teplotou.“ [2]

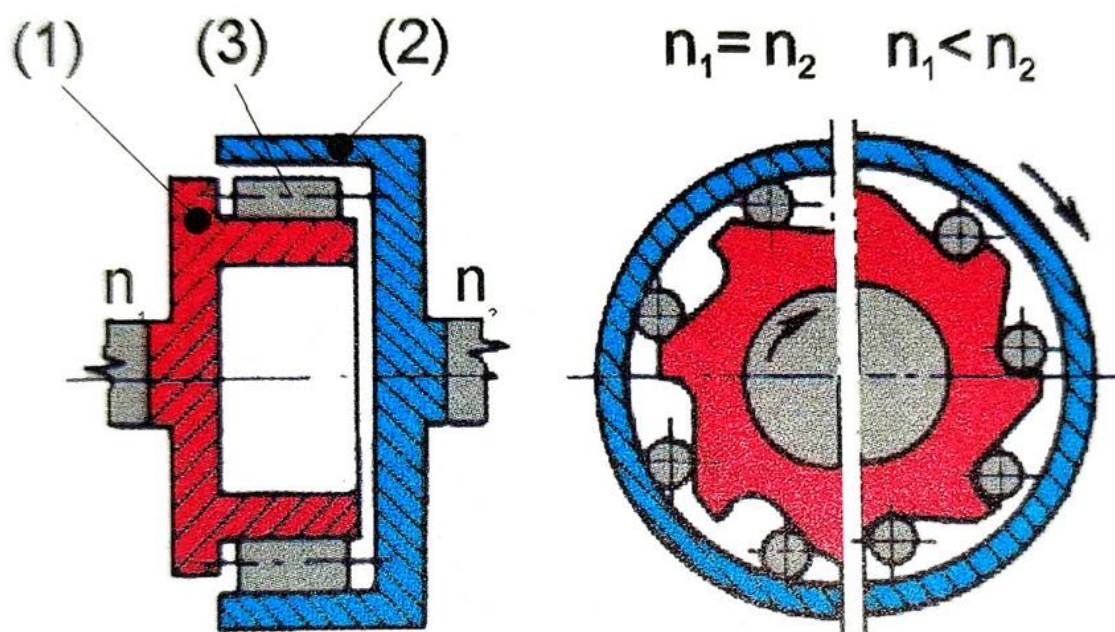


**Obr. 14** – Viskózní spojka v rozloženém stavu [2]

## Princip činnosti viskózní spojky

Viskózní spojka začíná pracovat při rozdílných otáčkách přední a zadní nápravy. Pokud k tomu dojde, je nutné přerozdělit hnací moment, který je přenášen přední a zadní nápravou. Pokud jsou otáčky rozdílné dojde k narušení soudržnosti oleje, následně dojde k „přestřihnutí“ oleje, který se nachází na středové ploše mezi lamelami. Jelikož má olej velkou viskozitu, vzniká tak velké kapalinové tření. Lamely jsou z oceli a jsou speciálně povrchově upravené, z důvodu lepší přilnavosti mezi lamelou a silikonovým olejem. Dále jsou také opatřeny kruhovými otvory, což se výhodné pro přenos větších hnacích momentů. [2]

V některých vozidlech, například právě v automobilu VW Golf Syncro je součástí pohonu i volnoběžka (*obr. 15*). Jejím úkolem je zajištění nerušené činnosti protiblokovacího brzdového systému ABS. Své opodstatnění má ale i ve vozidlech, které systémem ABS nedisponují. V případě zablokování předních kol při brzdění, kdy dojde k zastavení hnacího členu volnoběžky se následně odblokuje a její hnací člen se může dále otáčet původními otáčkami. Volnoběžka tím pádem zabrání smyku a vybočení zadní nápravy. [2]



- (1) - jádro volnoběžky
- (2) - věnec volnoběžky (hnaný kotouč)
- (3) - váleček

Obr. 15 – Volnoběžka [2]

## 2.3 Samočinně připojitelný pohon druhé nápravy

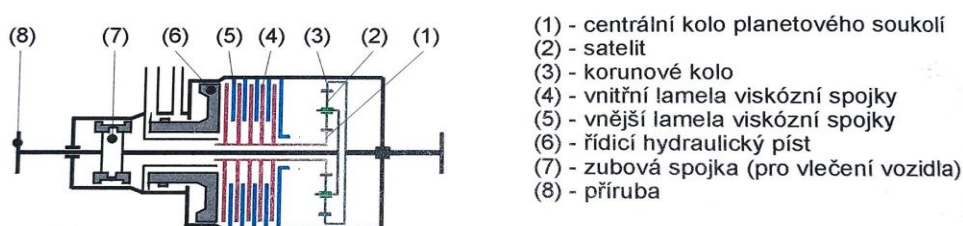
Nejčastěji se jedná o systémy s elektronickou regulací propojení pohonu všech kol, které odstraňují nedostatky stálého pohonu všech kol pomocí viskózní spojky. Mezi ně patří například omezení točivého momentu přenášeného na zadní kola, kdy stálý pohon není schopný rozpoznat, zdali se při rozdílu otáček jedná o prokluz kol, který vzniknul nadměrnou rychlostí, nebo z důvodu problémů s adhezí pneumatik. Jako další nevýhodu lze uvést nepříliš dobrou spolupráci se stále modernějšími protiblokovacími systémy brzd ABS, protiskluzovými systémy ASR nebo stabilizačními systémy ESP. Nejpoužívanější systémy pro samočinně připojitelný pohon druhé nápravy jsou mezinápravová rozvodovka Viscomatic, nebo mezinápravová lamelová spojka Haldex. [2]

### 2.3.1 Mezinápravová rozvodovka Viscomatic

Jedná se o elektronicky regulovaný pohon všech kol, který byl poprvé v sériové výrobě použit v roce 1992 v automobilu Alfa Romeo 164 Quadrifoglio 4. Základem tohoto systému je spojení jednoduchého planetového převodu a hydrostatické viskózní spojky. Díky této kombinaci lze jednoduše plynule měnit rozdělení točivého momentu. Převodovka je společně se spojkou spojena se zadní nápravou. [2]

#### Konstrukce

Konstrukci rozvodovky Viscomatic lze nejlépe pochopit z *obr. 16*. Hlavní částí rozvodovky je jednoduchý planetový převod, který se skládá z centrálního kola (1), satelitu (2) a kola korunového (3). Centrální kolo je spojené s vnitřními lamelami (4), které jsou střídavě uloženy s lamelami vnějšími (5). Vnější lamely jsou spojeny se skříní rozvodovky. Součástí rozvodovky je i řídicí hydraulický píst (6) a zubová spojka (7), která je určena pro vlečení vozidla. [2]



**Obr. 16** – Uspořádání rozvodovky Viscomatic [2]

#### Princip činnosti

V případě, že je spojka uvolněná, to znamená, že dojde k odbrzdění centrálního kola, se rozvodovka stává mechanismem se dvěma stupni volnosti. K přenosu hnacího momentu pak může dojít pouze na základě kapalinového tření oleje, kterým je spojka naplněna. Větší část hnacího momentu je tak přenášena na přední nápravu a hnací moment na zadní nápravě se mění plynule od 0% do 100%. To je způsobeno změnou vzdálenosti mezi vnějšími a vnitřními lamelami, která je vyvolána pohybem hydrostaticky ovládaného pístu. Tlak na píst je řízen

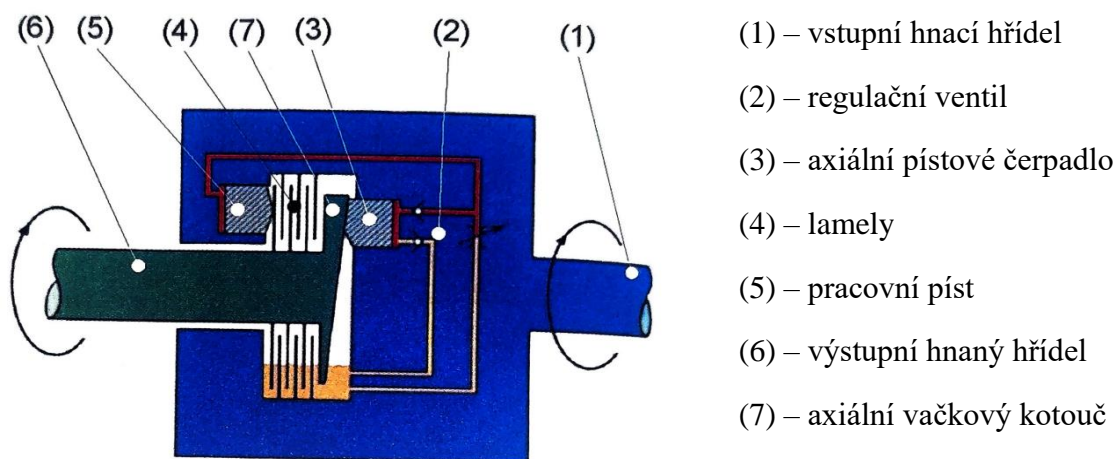
elektromagnetickým ventilem, který je řízen elektronickou řídicí jednotkou. Jednotka dokáže zaznamenat a uložit jakoukoliv závadu a po dobu jejího trvání nastavit náhradní program, aby bylo možné pokračovat v jízdě. [2]

### 2.3.2 Mezinápravová lamelová spojka Haldex

Jedná se o regulovaný systém pohonu všech kol vytvořený švédskou firmou Haldex ve spolupráci s automobilkami Volkswagen a Steyer – Daimler – Puch. V automobilu bývá připevněna k rozvodovce zadní nápravy a propojena se spojovacím hřídelem.

#### Konstrukce

Hlavní částí spojky Haldex (*obr.17*) je spojka lamelová, jejíž lamely (4) jsou ponořeny v olejové lázni. Se vzrůstajícím tlakem ve skříni dochází k postupnému přibližování lamel, čímž dochází k přenosu sil/momentu mezi lamelami (4) a axiálním vačkovým kotoučem (7). Z výstupu spojky se tak přenáší stále větší část výstupního točivého momentu. O nárůst tlaku se starají dvě axiální pístová čerpadla (3) poháněná axiálním vačkovým kotoučem (7). Kotouč je spojený s výstupním hřídelem (6). Spojka je v činnosti pouze jestliže mají výstupní (1) a vstupní hřídele (6) rozdílné otáčky. [2]



**Obr. 17** – Schéma lamelové spojky Haldex [2]

#### Princip činnosti

„Řídicí jednotka (8) vyhodnocuje všechny potřebné informace, jako např. otáčky kol, polohu akceleračního pedálu, otáčky motoru, činnost ABS a ASR atd. Informace dostává řídicí jednotka z datové sběrnice a na jejich základě reguluje hodnotu a průběh hydraulického tlaku působícího na lamely spojky (4). Velkou předností spojky Haldex je nejen vzájemná spolupráce s dalšími elektronickými systémy ale také její mimořádně rychlá reakce. Stačí vzájemné pootočení vstupního (1) a výstupního hřídele (6) o 45° a elektronická řídicí jednotka (8) vydá pokyn ke zvýšení tlaku ve skříni. Během jediné otáčky může lamelová spojka přenášet odpovídající točivý moment na kola zadní nápravy. Spojka Haldex tedy dovede rychle a plynule rozdělovat točivý moment na kola přední a zadní nápravy od nuly až do poměru 50:50.“ [2]



## 2.4 Manuálně připojitelný pohon druhé nápravy

V dnešní době se jedná o méně používanou metodu pro pohon všech kol, kterou lze najít především u vozidel určených pro jízdu v těžkém terénu. Při jízdě po silnici nebo v lehkém terénu pak vozidlo bývá poháněno jen jednou nápravou. V případě potřeby je pak možné pevně připojit i pohon druhé nápravy.

„U tohoto typu pohonu všech kol se rozdělovací převodovka skládá z dvoustupňové předlohy pro silniční a terénní převod a separátního připojení pohonu předních kol. Z toho plynou následující tři možnosti pro pohon vozidla:“ [1]

- silniční převod pouze s pohonem zadní nápravy
- silniční převod s pohonem přední i zadní nápravy
- terénní převod s pohonem přední i zadní nápravy

Rozdělovací převodovka se zapínatelným pohonem všech kol nebývá vybavena mezinápravovým diferenciálem. Hnací moment je rozdělen na přední a zadní kola v poměru 50:50. Nevýhodou manuálně připojitelného pohonu druhé nápravy je vysoké namáhání hnacího mechanismu. Při jízdě na zpevněném povrchu s dobrou adhezí také dochází k značnému opotřebením pneumatik. K částečné eliminaci této nevýhody bývá na připojované nápravě umístěna volnoběžka. Naopak výhody této koncepce pro pohon všech kol jsou výborná trakce a menší spotřeba pohonných hmot při jízdě s pouze jednou hnací nápravou. V současné době lze manuálně připojitelný pohon všech kol najít například u malého terénního vozidla Suzuki Jimny (*obr.18*).



**Obr. 18** – Suzuki Jimny [3]

## 3 Příklady pohonu všech kol u osobních automobilů

### 3.1 Systém AllGrip

Systém AllGrip je systém pro pohon všech kol vyvinutý v automobilce Suzuki. Systém je schopný pracovat s dalšími technologiemi podvozku a je dostupný ve třech variantách.

#### 3.1.1 AllGrip AUTO

Systém AllGrip AUTO instaluje automobilka Suzuki do svých nejmenších modelů, jako je například Ignis nebo Swift. Jeho největší předností je nízká hmotnost a kompaktní rozměry. Hlavní částí systému je viskózní spojka umístěná před zadním diferenciálem. Viskózní spojka je naplněna silikonovým olejem, který se v případě prokluzu předních kol zahřeje a dochází k jeho expanzi. Vlivem této expanze dojde k zvýšení tlaku silikonového oleje a sepnutí spojky. Točivý moment je poté přenášen i na zadní kola. [4, 5]

#### Grip Control

„Tato funkce slouží k plynulému rozjezdu na kluzkém povrchu, sněhu nebo blátě. Kolo, které se protáčí, je přibrzděno automatickým zásahem ESP, který vynutí přesun hnací síly na ta kola, jež mohou vůz pohánět vpřed. Současně se systémem Grip Control zasahuje i pokročilá kontrola trakce, která reguluje sílu motoru.“ [5]



**Obr. 19** – Znárodnění funkce Grip Control na vozidle Suzuki Ignis [4]

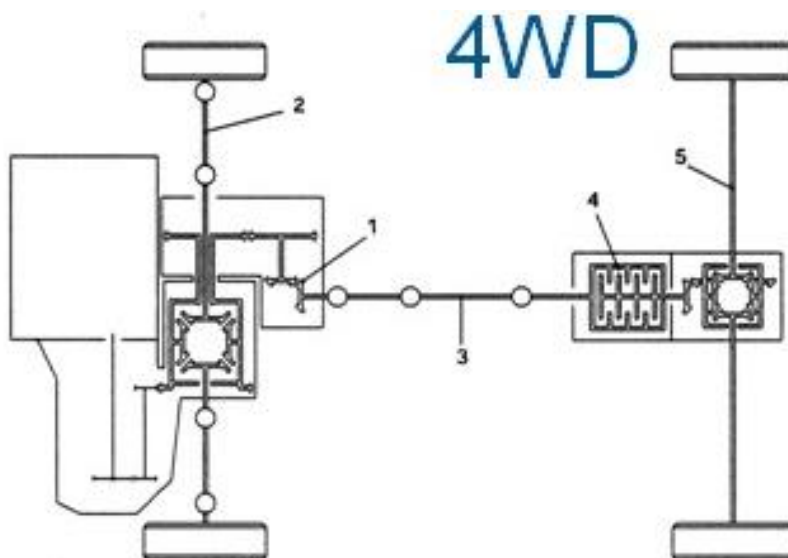
### 3.1.2 AllGrip SELECT

Druhý druh systému AllGrip s označením SELECT nabízí možnost vybrat si ze 4 jízdních režimů (AUTO, SPORT, SNOW a LOCK). Systém je elektronicky řízený a k výběru režimů se používá jednoduchý otočný ovladač, což umožňuje obsluze vozidla reagovat na jízdní podmínky nebo povrchy vozovky a v závislosti na tom zvolit vhodný režim během jízdy. Instalován je do modelů Vitara (*obr.20*) a S-cross. [5]



**Obr. 20** – Suzuki Vitara [4]

Základní součástí je v tomto případě elektromagnetická mezinápravová spojka. AllGrip SELECT (*obr.21*) dokáže kromě toho, že po detekci prokluzu předních kol, přidělit hnací moment kolům zadní nápravy, tento stav i předvídat. Systém sleduje povrch vozovky, polohu otevření škrtkové klapky, úhel natočení volantu a další faktory, na základě kterých je schopen předpovídat zapojení zadního pohonu. To vede ke zlepšení stability vozidla a zvýšení bezpečnosti jízdy. [4, 6]

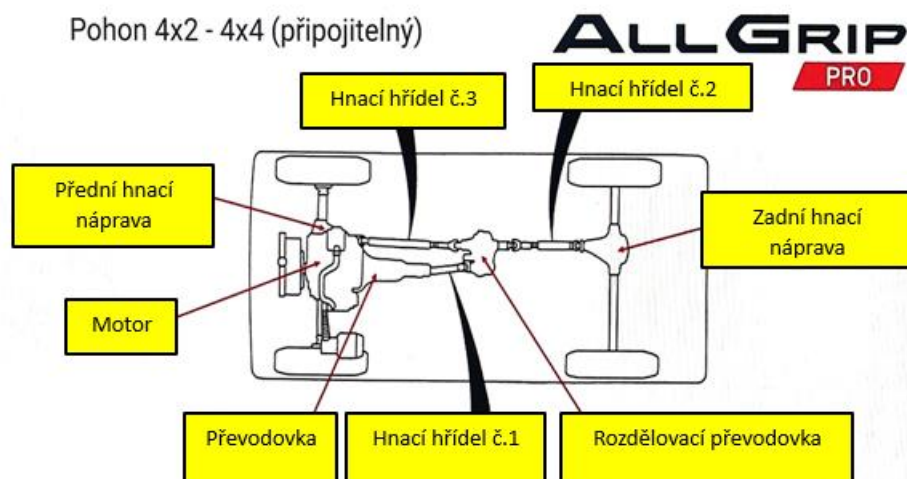


**Obr. 21** – Schéma systému pro pohon všech kol AllGrip SELECT [5]

1 – převodovka, 2 – přední poloosa, 3 – hnací spojovací hřídel, 4 – spojka EMCD, 5 – zadní poloosa

### 3.1.3 AllGrip PRO

AllGrip PRO (*obr.22*) je používán ve voze Suzuki Jimny. Jedná se o třetí druh systému AllGrip, určený pro nejnáročnější terén. Ve voze je instalována rozdělovací převodovka, která je propojena s hnacími hřídelemi předního a zadního nápravového diferenciálu. Pomocí rozvodovky lze přepínat mezi pohonem zadní nápravy nebo pohonem všech čtyř kol. Pohon všech čtyř kol je navíc možné zapnout ve dvou režimech, pro jízdu v lehkém anebo těžkém terénu. [5, 6]



**Obr. 22**– Schéma systému pro pohon všech kol AllGrip PRO [5]

## 3.2 Systém Quattro

Jedná se o koncepci pro stálý nebo samočinně připojitelný pohon všech kol vyvinutou automobilkou Audi. Zároveň je to první systém pro pohon všech kol v sériové výrobě na světě. Systém má dva druhy, první je označován jako podélný, druhý jako příčný.

### 3.2.1 Podélný systém Quattro

K realizaci pohonu byl do roku 2010 používán mezinápravový šnekový samosvorný diferenciál Torsen. Diferenciál rozděluje hnací sílu nepřetržitě v konstantním poměru 40:60. Jedná se o čistě mechanický prvek, což mu umožňuje pokračovat v činnosti i v případě, že dojde k závadě na nějaké elektrické součástce, například snímači rychlosti kola. Od roku 2010 byl diferenciál Torsen nahrazen diferenciálem s korunovým ozubením, který poskytuje širší rozsah přenosu mezi přední a zadní nápravou. V současné době je ho například možné nalézt v malém SUV Audi Q2 (*obr.23*). [7, 8]



**Obr. 23** – Audi Q2 [9]

### 3.2.2 Příčný systém Quattro

Jedná se o kompromis mezi trvalým pohonem všech kol a pohonem pouze přední nápravy. V této koncepci se využívá mezinápravová spojka Haldex, která samočinně zapojuje nebo vypojuje pohon zadní nápravy. Typickým vozidlem využívající příčný systém je Audi TT (*obr.24*), lze ho ale také nalézt u vozů značek Škoda nebo Volkswagen. Výhodou oproti podélnému systému je nižší spotřeba paliva a možnost lepšího rozložení hmot na jednotlivé nápravy. Nevýhodou je naopak zapojení zadní nápravy až při detekci problému a také fakt, že při brzdění motorem lze využít jen přední nápravu. [10]

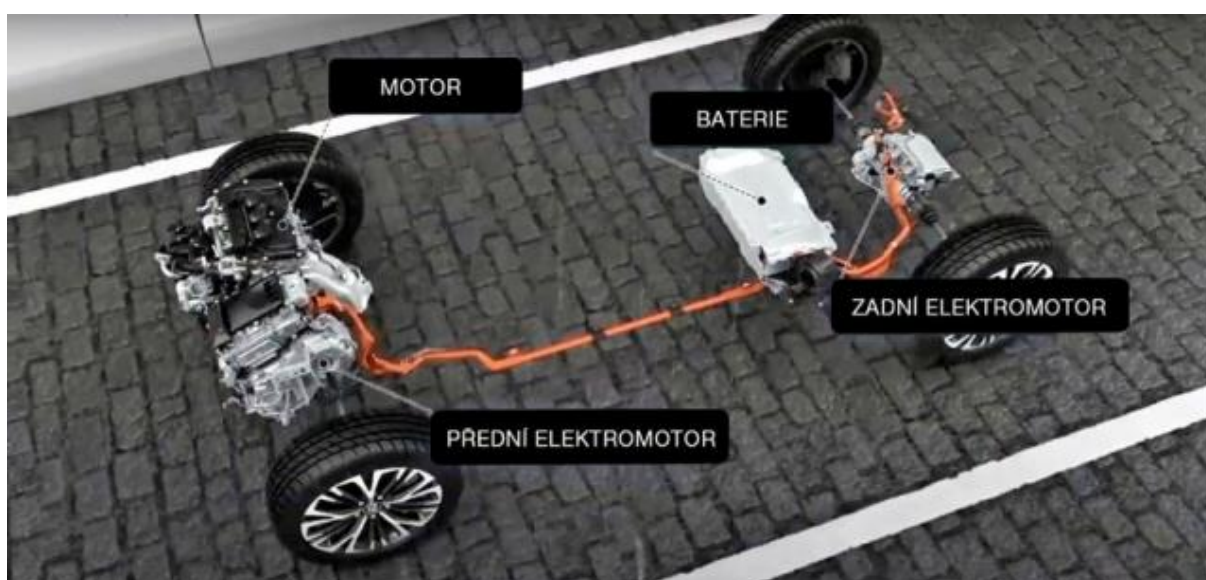


**Obr. 24** – Audi TT [10]

### 3.3 Systém Toyota AWD-i

Toyota AWD-i je označení pro inteligentní pohon všech kol, který se v současné době používá v hybridních automobilech značky Toyota, jako jsou například modely Yaris Cross nebo Corolla Cross. Cílem pohonu AWD-i je kombinace nízké spotřeby paliva a pohonu všech kol.

Hlavní odlišnost oproti ostatním systémům je v tom, že zde není žádné mechanické propojení přední a zadní nápravy. O tom, zda se má zadní náprava připojit rozhoduje počítač na základě okamžité analýzy dat. Systém se skládá z klasického spalovacího motoru, generátoru, elektromotorů umístěných na každé nápravě a trakční baterie (obr.25). Všechny součásti pak ovládá řídicí jednotka PCU prostřednictvím hybridní převodovky a měniče. V provozu je primárně pouze přední náprava, zadní náprava se připojí pouze, když si to vyžadují jízdní podmínky. Rozložení výkonu je tedy možné od 100 % pouze na přední nápravě až po rovnoměrné rozdělení mezi přední a zadní nápravu v poměru 50:50. [11, 12]



**Obr. 25** – Schéma pohonu AWD-i [13]

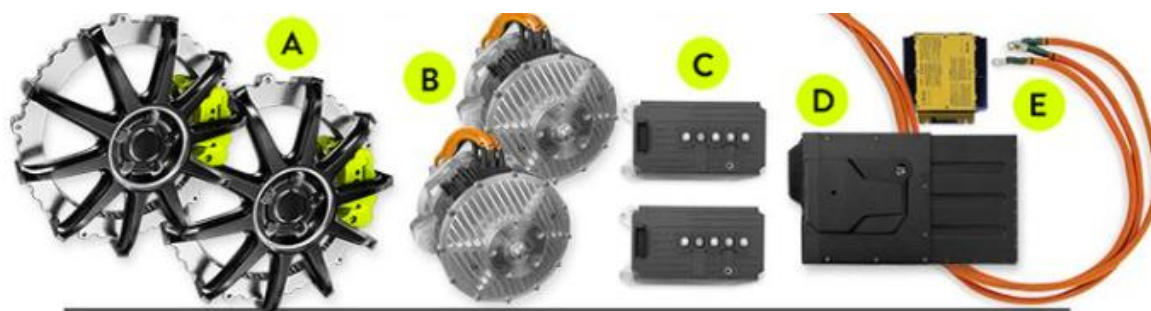
Mezi hlavní výhody tohoto typu pohonu patří zlepšení jízdních vlastností na vozovce i mimo ni. Oproti konkurenčním systémům zlepšuje a optimalizuje pohon AWD-i bezpečnost a efektivitu v každodenních jízdních podmínkách. Systém navíc pracuje dohromady s hybridním ústrojím, kdy je k pohonu zadní nápravy používána právě spíše energie hybridního systému. To má za následek nižší spotřebu paliva. Hybridní systém navíc umožňuje rekuperační brzdění a za určitých podmínek dokáže zachycovat energii vzniklou při brzdění z předního i zadního elektromotoru. [12]

### 3.4 Inovace v oblasti pohonů všech kol

V současné době se hledí především na ekologické problémy spojené s autodopravou a na to, jak je eliminovat. Emisní normy se zpřísnují a vývojáři se tomu snaží přizpůsobit. Kromě vývoje spalovacích motorů s nižší produkcí emisí se v poslední době zaměřili na vodíkový nebo čistě elektrický pohon. Jednou z možností je ale také pohon hybridní.

#### Elektromotory umístěné v kole

Jednou z možných budoucích koncepcí pro pohon všech kol je instalace elektromotorů přímo do prostoru uvnitř kola. Jedná se o jednu z možností pro získání hybridního pohonu všech kol u vozidel se spalovacím motorem a hnací přední nápravou. Tímto způsobem lze také zajistit čistě elektrický pohon všech kol. Umístění elektromotoru do prostoru kola není žádná převratná myšlenka. Poprvé s takovým nápadem přišel Ferdinand Porsche už v roce 1900. Následně se od tohoto nápadu upustilo, protože se viděl větší potenciál ve spalovacích motorech. Nyní se myšlenka umístit elektromotory do prostoru uvnitř kola opět oživila. V současné době se touto problematikou zabývá několik firem, které nabízí elektrokola různých konstrukcí, jednou z nich je například firma Orbis Electric. Ta nabízí kompletní balíček (obr.26) elektromotoru určeného pro umístění do prostoru kola. Součástí sestavy je kromě samotného elektromotoru i kotoučová brzda, ovladače, baterie a nabíječka s kabely.



**Obr. 26** – Sestava elektromotoru od firmy Orbis Electric [14]

A – kotoučová brzda + poklice, B – elektromotory, C – ovladače, D – baterie, E – nabíječka + kabely

Hlavní výhodou tohoto typu systému je, že se elektromotory instalují do prostoru uvnitř kola a nezabírají tak zástavbový prostor v podvozku vozidla, jako je tomu u klasických hybridních motorizací. Jako další výhodu lze uvést snížení spotřeby kapalného paliva a zlepšení jízdních vlastností. Nevýhodou je pak poměrně velká neodpružená hmotnost a nutnost zaimponovat do vozu i další součásti, jako je trakční baterie, nabíječka, řídicí jednotka nebo střídač napětí.

## 4 Návrh přestavby na pohon všech kol

V kategorii nižší střední třídy a malých SUV lze nalézt velké množství vozů (*tab. 1*), ne všechny jsou však vhodné pro přestavbu na pohon všech kol.

**Tab. 1** -Výpis některých vozidel nižší střední třídy a malých SUV

Vozidlo	Rok výroby	Motorizace	Palivo	Rozměry [mm]							Hmotnost [kg]
				Výška	Delka	Šířka	Rozvor	Rozchod vpředu	Rozchod vzadu	Pneumatiky	
Ford Fusion	2009	1,4 l, 58 kW	Benzín	1 543	4 013	1 724	2 486	1 477	1 435	195/60 R15	1 605
Ford Focus	2012	1,6 l, 80 kW	Nafta	1 484	4 358	1 823	2 648	1 535	1 531	205/55 R16	1 295
Honda Civic	2015	1,8 l, 104 kW	Benzín	1 440	4 370	1 795	2 595	1 540	1 540	205/55 R16	1 278
Hyundai i30	2013	1,4 l, 73 kW	Benzín	1 470	4 300	1 780	2 650	1 563	1 571	195/65 R15	1 260
Kia Cee'd	2018	1,4 l, 74 kW	Benzín	1 447	4 310	1 447	2 650	1 559	1 567	195/65 R15	1 260
Mazda 3	2010	1,6 l, 77 kW	Benzín	1 470	4 460	1 755	2 650	1 535	1 520	195/65 R15	1 180
Opel Astra	2010	1,4 l, 74 kW	Benzín	1 510	4 419	1 814	2 685	1 544	1 558	205/55 R16	1 298
Peugeot 307	2008	1,6 l, 80 kW	Benzín	1 560	4 428	1 762	2 708	1 505	1 509	195/65 R15	1 435
Seat Leon	2010	1,6 l, 75 kW	Benzín	1 455	4 315	1 768	2 578	1 541	1 517	195/65 R15	1 280
Škoda Octavia	2019	1,5 l, 110 kW	Benzín	1 470	4 689	1 829	2 686	1 543	1 535	225/45 R17	1 263
Škoda Fabia	2019	1,0 l, 55 kW	Benzín	1 467	3 997	1 732	2 470	1 463	1 457	205/45 R16	1 011
Škoda Kamiq	2019	1,5 l, 85 kW	Benzín	1 531	4 241	1 793	2 651	1 531	1 516	205/60 R16	1 139
Škoda Kodiaq	2016	1,4 l, 95 kW	Benzín	1 655	4 697	1 882	2 791	1 586	1 576	235/55 R18	1 578
Audi A3	2010	1,6 l, 75 kW	Benzín	1 421	4 268	1 765	2 578	1 534	1 507	205/55 R16	1 185
Peugeot 2008	2023	1,2 l, 74 kW	Benzín	1 550	4 300	1 770	2 605	1 550	1 550	215/60 R17	1 263
Volkswagen Golf	2015	1,6 l, 81 kW	Nafta	1 578	4 338	1 807	2 685	1 543	1 514	205/55 R16	1 420
Suzuki Ignis	2020	1,2 l, 61 kW	Benzín	1 605	3 700	1 690	2 435	1 460	1 460	175/60 R16	1 330
Suzuki Swift	2010	1,3 l, 68 kW	Benzín	1 500	3 760	1 690	2 380	1 570	1 480	164/70 R14	915
Dacia Sandero Stepway	2020	1 l, 74 kW	Benzín	1 587	4 099	2 007	2 604	1 489	1 492	205/55 R16	1 228
Fiat Panda	2012	1,2 l, 44 kW	Benzín	1 540	3 538	1 589	2 299	1 366	1 357	155/80 R13	940
Volkswagen T-Cross	2019	1 l, 70 kW	Benzín	1 558	4 107	1 760	2 563	1 526	1 504	205/60 R16	1 270



Některá uvedená vozidla jsou již přímo z výroby nabízena v konfiguraci s pohonem všech kol. Lze ale nalézt automobily, které touto možností nedisponují, což je jeden z aspektů, na který bylo při výběru vozidla pro naši přestavbu nahlíženo. Dalším důležitým parametrem, který rozhodoval při výběru vozidla pro jeho následnou úpravu, je světlá výška vozu. Lze předpokládat, že vozidlo vybavené pohonem všech kol, tuto výhodu uplatní nejen na sněhu, ledu, či blátě ale také v méně náročném terénu. Zde pro nás bude vyšší světlá výška výhodou.

Je důležité upozornit na to, že navrhnutá přestavba bude studií, založenou na znalostech získaných z vlastní zkušenosti, mnoha konzultací a z rešeršní části. Cílem práce je tedy teoretický návrh inovace hnacího ústrojí vozidla a návrh pohonu všech kol, za účelem zlepšení trakčních vlastností.

## 4.1 Parametry automobilu

K návrhu úpravy pro pohon všech kol byl vybrán vůz Peugeot 2008 2. generace (*obr.27*). Jedná se o malý vůz typu crossover, nabízený pouze ve variantě s pohonem přední nápravy. Vzhledem k tomu, že si velká část zákazníků v dnešní době u takového typu automobilu volí právě pohon všech kol, jedná se o vhodný typ vozidla pro naši přestavbu. Světlá výška je pak solidních 219 mm, takže se vůz nezalekne ani lehkého terénu, kde pro něj bude pohon všech kol výhodou.

Délka – 4 300 mm

Výška – 1 550 mm

Šířka – 1 770 mm

Rozvor – 2 605 mm

Rozchod kol vpředu – 1 550 mm

Rozchod kol vzadu – 1 550 mm



**Obr. 27** – Peugeot 2008 II [15]

## 4.2 Pohon automobilu

Vůz je poháněn přeplňovaným tříválcovým benzínovým spalovacím motorem o zdvihovém objemu válců 1,2 litrů s typovým označením Pure Tech 100. Disponuje maximálním výkonem 74 kW při 5 500 otáčkách za minutu a točivým momentem 205 N.m při 1 750 otáčkách za minutu. Tento typ motoru je do vozu montován společně s manuální 6-ti stupňovou převodovkou.

Pro návrh přestavby je nicméně možné využít mild hybridní motorizaci, která se skládá z již zmíněného 1,2 litrového spalovacího motoru a elektromotoru integrovaného v převodovce. Převodovka je v mild hybridní motorizaci automatická. Elektromotor má maximální výkon 21 kW a největší točivý moment 55 N.m. Celkový výkon pohonné soustavy je 95 kW a točivý moment 230 N.m.



**Obr. 28** – Pohled do motorového prostoru vozu

## 4.3 Nápravy automobilu

V rámci našeho návrhu bude možná žádoucí nějakým způsobem upravit nápravy automobilu, především tu zadní. Bude se jednat například o změnu zavěšení kol nebo změnu jejich odpružení. Proto je nutné si nápravy blíže popsat.

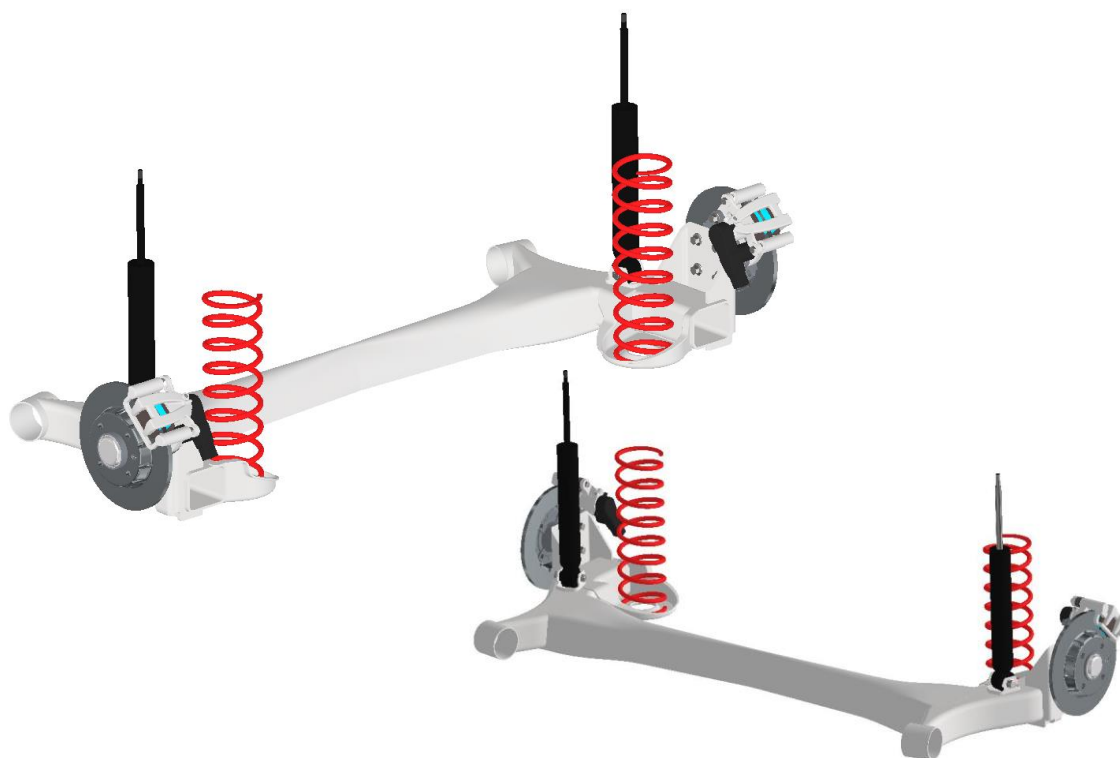
### 4.3.1 Přední náprava

Jedná se o nápravu MacPherson, která je tvořena trojúhelníkovým příčným ramenem uchyceným pod osou kola, pružicí a tlumicí jednotkou a spojovací tyčí řízení. Je to nejpoužívanější typ přední nápravy, jeho výhodou je především to, že potřebuje menší zástavbový prostor.

O pérování se stará vinutá pružina a o tlumení hydraulicko-pneumatický tlumič, uchycený na spodní třmen. Brzdy jsou kotoučové s vnitřním chlazením. V našem případě není nutné přední nápravu nijak upravovat.

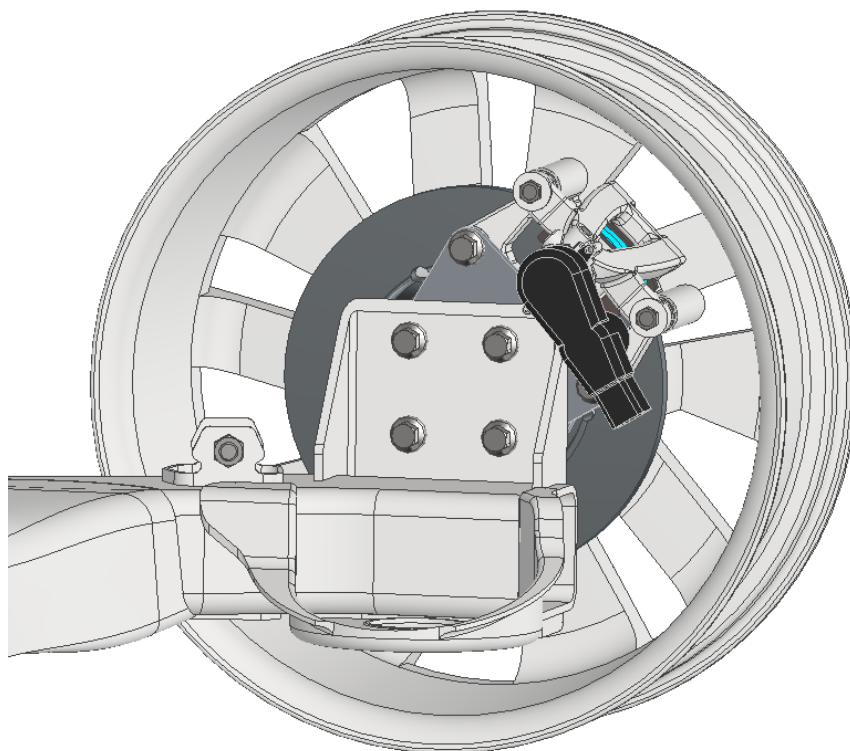
### 4.3.2 Zadní náprava

Zadní náprava (*obr.29*) je tvořena vlečenými rameny, která jsou spojena torzní příčkou. Výhodou této nápravy je jednoduchá konstrukce a prostorová nenáročnost.



**Obr. 29** – Zjednodušený model zadní nápravy

Odpružení je zajištěno vinutou pružinou a o tlumení se stará hydraulicko-plynový tlumič viz (*obr. 29*). Brzdy jsou kotoučové, což je pro návrh úpravy pohonu výhodou. Náboj, brzdový kotouč, brzdový třmen budou společně s elektromotorem součástí integrovaného elektrokola. Náprava bude poháněná, což znamená, že bude nutné navrhnout takové zavěšení kol, aby bylo možné přenášet i reakce od hnacích sil.



**Obr. 30** – Detailní pohled na ukotvení původního náboje a kotoučové brzdy k zadní nápravě

Na obr. 30 lze vidět ukotvení náboje k zadní nápravě automobilu. Náboj je uchycen k patce pomocí čtyř šroubů M12. Patka je navařena na vlečené rameno.

#### 4.4 Pneumatiky

Vůz může být osazen i disky o průměru 18 palců, proto budou použity pneumatiky s typovým označením velikosti 215/55 R18 99 V, které se nainstalují na originální hliníkový 18-ti palcový ráfek. Takto velký ráfek poskytuje uvnitř dostatek prostoru pro naši plánovanou přestavbu. Výška profilu pneumatiky je dostatečná pro provoz vozidla v lehkém terénu.

#### 4.5 Pohon všech kol

Pohon všech kol bývá proveden v rozmanitých variantách, o některých byl popis v kapitole 2. Z uvedených vyobrazení je zřejmé, že pro aplikaci tradičních pohonů je zástavba prostorově náročná a přestavba původního hnacího ústrojí obtížná. Z tohoto důvodu je pro nás výhodnější v návrhu přestavby využít hybridní pohon všech kol, tedy kombinaci motoru spalovacího a elektromotorů v zadních kolech.

Pohon všech kol bude realizován pomocí elektromotorů v zadních kolech. Výhodou této koncepce je potřeba malého zástavbového prostoru v podvozkové části vozidla. Zároveň není nutné dělat významné změny v konstrukci vozidla. V současné době se na elektromotory v kolech specializuje řada firem. Mezi nejznámější patří například firmy Elaphe Propulsion Technologies nebo Protean Electric.

## 4.5.1 Elektromotory Elaphe

Motory firmy Elaphe pracují na stejném principu. Jedná se o synchronní motory s permanentními magnety, které efektivně využívají prostor mezi brzdovým třmenem a ráfkem kola. Skládají se z robustního statoru s elektrickým vinutím, zároveň je k němu upevněn brzdový třmen. Rotor je osazený permanentními magnety a zároveň slouží jako ochranný kryt. Celý motor je tak chráněn před vodou a různými nečistotami. Motory v sobě mají integrované vlastní kotoučové brzdy. Pro vyšší účinnost je možné osadit motory dvěma brzdovými třmeny a tím zajistit dostatečné brzdné síly. Motory jsou dodávány spolu s řídicí jednotkou, softwarem a střídačem napětí. V současné době Elaphe nabízí několik modelů viz (tab.2).

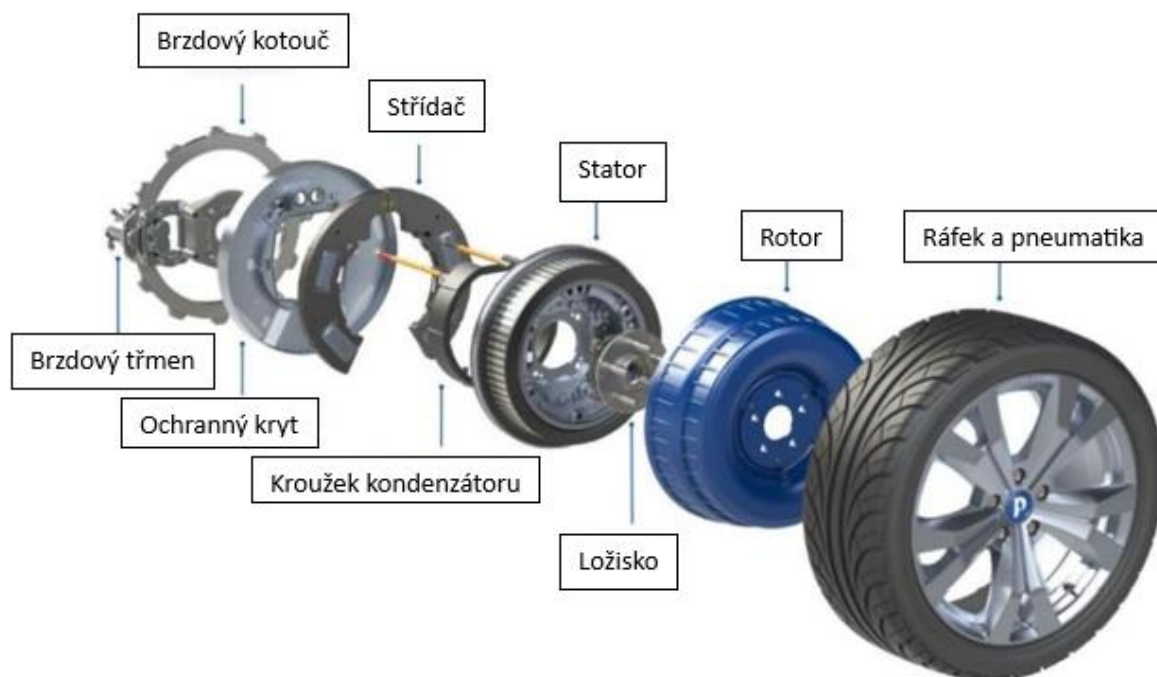
**Tab. 2** – Přehled motorů značky Elaphe včetně základních údajů [16]

Model	Velikost kola [“]	Váha [kg]	Výkon [kW]	Maximální výkon [kW]	Maximální točivý moment [Nm]	Maximální rychlost [ot/min]	Jmenovité napětí [V]
Elaphe S400	14	17,6	29	40	400	1560	48
Elaphe M700	15-16	23	50	75	700	1500	300
Elaphe L1500	20	34,8	77	110	1500	1250	370



**Obr. 31** – Elektromotor Elaphe S400 [16]

## 4.5.2 Elektromotory Protean



**Obr. 32** – Konstrukce elektromotoru Pd 18 [17]

Firma Protean v konstrukci využívá brzdový třmen uložený uvnitř brzdového kotouče viz (obr.32). Uvnitř statoru se pak nachází také střídač napětí a kondenzátorový kroužek. V současné době jsou v nabídce dva modely Pd16 a Pd18 viz (tab.3). Motory jsou také dodávány s řídicí jednotkou a softwarem.

**Tab. 3** – Přehled motorů značky Protean včetně základních údajů [18]

Model	Velikost kola [“]	Váha [kg]	Výkon [kW]	Maximální výkon [kW]	Maximální točivý moment [Nm]	Maximální rychlost [ot/min]	Jmenovité napětí [V]
Protean Pd16	16	28	26	40	800	1200	400
Protean Pd18	18	36	60	90	1400	1600	400

Pro naši úpravu byl vybrán elektromotor od firmy Elaphe S400. Při běžné zátěži bude výkon zadní nápravy dosahovat 56 kW a v případě potřeby lze dosáhnout výkonu 80 kW. Celkový výkon je tedy dostatečný i pro vozidlo typu SUV. Model S400 bude sloužit pouze k inspiraci, rozměry elektromotoru budou upraveny s ohledem na využití maximálního prostoru uvnitř kola.

## 4.6 Zdroj pro napájení elektromotorů

Elektromotory v zadní nápravě včetně hybridního elektromotoru v převodovce budou napájeny akumulátorem. Vzhledem k tomu, že zmíněné elektromotory mají být napájeny 48 V napětíovou sítí, bude na toto jmenovité napětí navržen i akumulátor. Při návrhu je nutné brát v potaz několik důležitých aspektů. Zaprvé bude celý akumulátor umístěn v prostoru v podlaze kufru, pro to je k dispozici zástavbový prostor o rozměrech 100 x 80 x 14 cm, přičemž poslední rozměr lze mírně navýšit. Dále je nutné si uvědomit, že vzhledem k poměrně častému využití zadního pohonu v obtížných podmínkách je nutné navrhnout kapacitu akumulátoru o dost vyšší než je u původní mild hybridní motorizace. Baterie bude navrhována pro plug-in hybridní motorizaci a její kapacita by se tedy měla pohybovat v rozmezí 10-20 kWh.

Při instalaci je nutné dodržet všechny obecné požadavky pro návrh a užití trakčních akumulátorů, jako je například zaimponování všech důležitých elektronických součástí, řídicí jednotky, konektorů či chlazení.

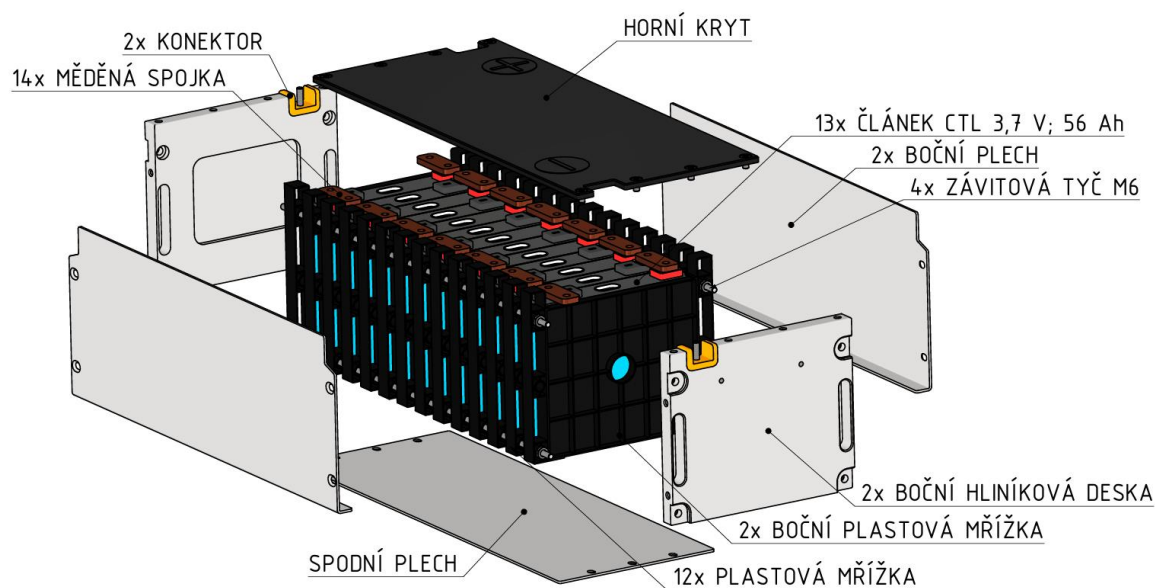
Ke konstrukci akumulátorového setu budou použity lithium iontové bateriové články od výrobce CATL. Nominální napětí jednoho článku je 3,7 V, kapacita poté 65 Ah. Další parametry včetně rozměrů, či hmotnosti jsou zobrazeny v *tab.4*.

**Tab. 4** – Základní parametry bateriového článku [19]

Položka		Specifikace parametru
Bateriový modul		NCM65AH
Jmenovitá kapacita		65 Ah
Minimální kapacita		65 Ah
Jmenovité napětí		3,7 V
Vnitřní odpor		≤ 0,5 mΩ
Nabíjení	Maximální nabíjecí proud	130 A
	Maximální nabíjecí napětí	4,25 V
Vybíjení	Maximální vybíjecí proud	520 A
	Vybíjecí mezní napětí	2,8 V
Nabíjecí čas	Standartní nabíjení	1 h
	Rychlé nabíjení	0,5 h
Provozní rozsah teplot	Nabíjení	-5 °C ÷ 55 °C
	Vybíjení	-30 °C ÷ 55 °C
Skladovací rozsah teplot	Krátkodobý	-20 °C ÷ 45 °C
	Dlouhodobý	-20 °C ÷ 25 °C
Hmotnost		1,2 kg
Rozměry		148 x 130 x 27 mm

Zapojením 13 článků do série se získá bateriový modul o jmenovitém napětí 48,1 V a jmenovité kapacitě 3,126 kWh. Samotný modul (*obr.33*) bude kromě článků obsahovat také několik rámečků umístěných mezi jednotlivé články a na jejich kraje. Rámečky budou propojeny pomocí závitových tyčí. Celá sestava pak bude zapouzdřena. Pouzdro bude vyrobeno ze spodního a dvou bočních plechů, dvou bočních hliníkových desek a vrchního plastového

krytu. Hliníkové desky budou opatřeny závitovými otvory, aby bylo možné celé pouzdro spojit dohromady, a také konektorem pro kladný nebo záporný výstup z modulu.

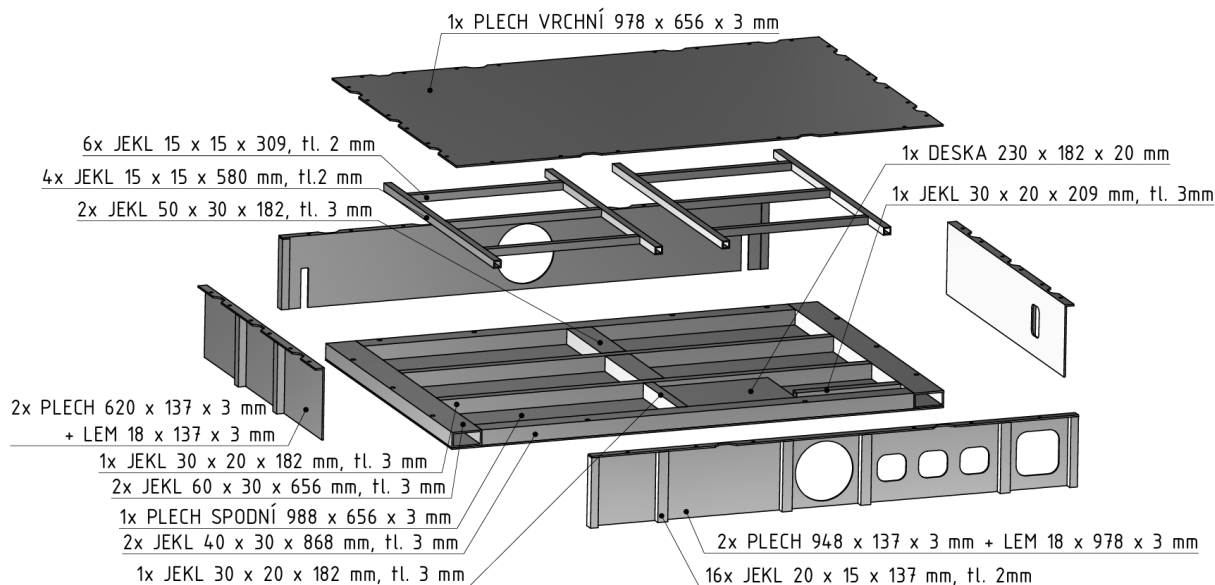


**Obr. 33** – Konstrukce bateriového modulu

Zástavbové místo pro baterii je voleno s ohledem na prostorové možnosti tak, aby byla zajištěna dostatečná kapacita akumulátoru i s ohledem na zachování místa pro elektroniku a konektory. Z tohoto důvodu bude použito 5 modulů, paralelně propojených dohromady. Takové zapojení poskytuje celkovou kapacitu baterie 15,6 kWh, což je pro navrhovanou přestavbu dostačující. Použitím 5 modulů je zároveň zachován dostatečný prostor pro kontejner, ve kterém bude baterie uskladněna, dále pro nezbytnou elektroniku a také pro povinnou výbavu vozidla.

Kontejner (*obr.34*), který bude sloužit k uložení bateriových modulů a elektroniky, bývá nejčastěji z důvodu sériové výroby navržen jako hliníkový odlitek, což je jedna z variant. Nicméně v našem případě bylo rozhodnuto, že kontejner bude vyroben za pomoci hliníkových plechů a profilů. Základna kontejneru bude tvořena plechem o rozměrech 988 x 666 mm a tloušťce 3 mm. Na tento plech poté bude přivařen rám tvořený 2 obdélníkovými profily o rozměrech 60 x 30 mm a tloušťce stěny 3 mm a dvěma profily o rozměrech 40 x 30 mm o stejné tloušťce. Doprostřed rámu bude umístěno několik dalších profilů, které utvoří místa pro jednotlivé moduly. Z boku bude konstrukce tvořena plechy o tloušťce 3 mm, které budou na jedné delší straně opatřeny lemem o délce 18 mm. Boční plechy pak budou vyztuženy několika profily 20 x 15 mm o tloušťce stěny 2 mm. Vrchní kryt kontejneru bude opět tvořen 3 mm tlustým plechem, vyztuženým několika čtvercovými profily o rozměrech 15 x 15 mm a tloušťkou stěny 2 mm. Tyto profily po přimontování víka zároveň zamezí pohybu modulům v ose Z. Víko bude přichyceno k bočním plechům pomocí několika šroubových spojů, celý kontejner je pak stejným způsobem ukotven na dno vany kufru. Relé se namontují na hliníkovou desku o tloušťce 20 mm, řídicí jednotka baterie na obdélníkové profily.





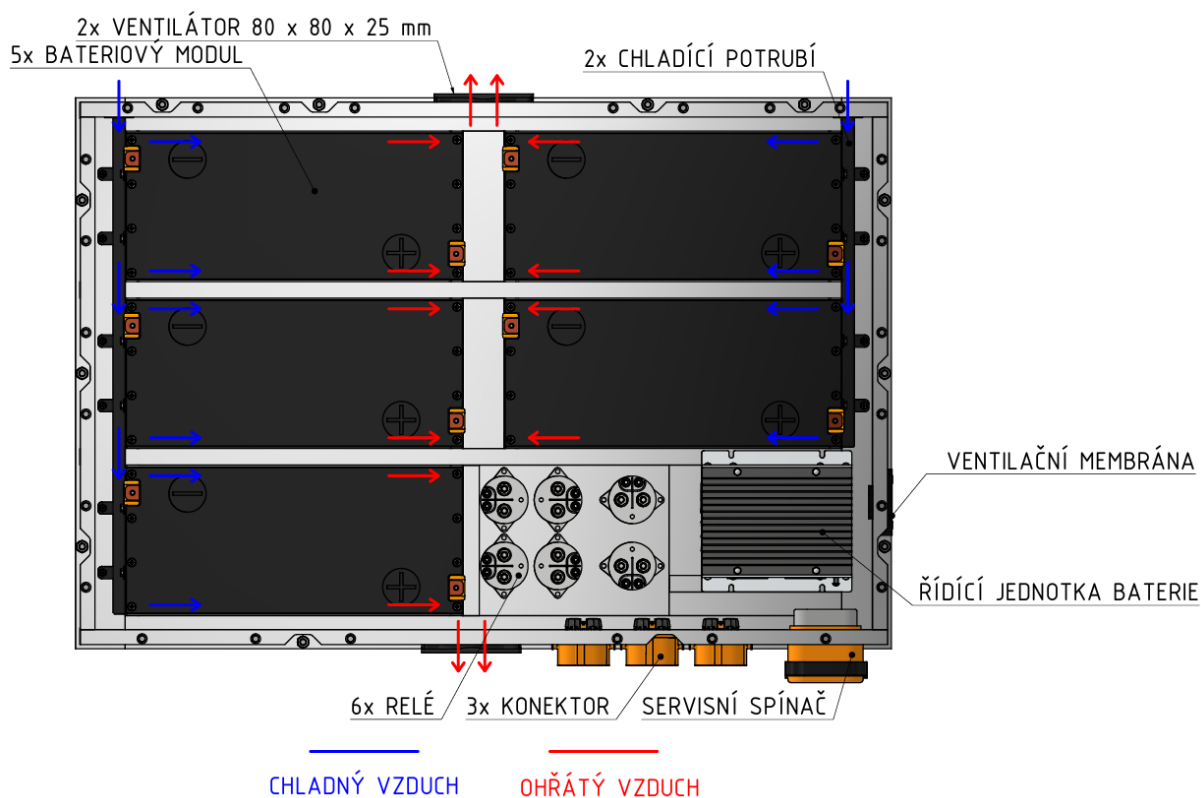
**Obr. 34** – Konstrukce kontejneru baterie

Nakonec bude kontejner obsazen všemi nezbytnými součástmi, jako je například trojice konektorů, přičemž jeden bude sloužit pro zadní elektromotory, druhý pro elektromotor v převodovce a třetí se bude starat o nabíjení. Trojici konektorů doplní servisní odpojovač, jehož úkolem je přerušení napětí při servisování baterie a ventilační membrána. Ta má pro změnu za úkol vyrovnání tlaku uvnitř kontejneru při nějaké poruše. Součástí kontejneru bude dále šestice relé, které slouží k odpojení obvodu například při vypnutí klíčku vozu a také řídicí jednotka baterie od firmy Orion s typovým označením Orion BMS 2 a konfigurací vhodnou pro 24–72 článků.

Důležitou součástí bateriového kontejneru je chlazení. V našem případě bylo zvoleno chlazení vzduchem. Jednou z variant je nasávání vzduchu z kabiny vozidla, kdy by sací ventilátory mohly být umístěny například pod zadními sedadly (viz. hybridní systém Toyota Prius), dále by šlo zajistit sání vzduchu například napojením na nějaký průduch v karoserii, který při jízdě zajišťuje protékání vzduchu automobilem. Nasávaný vzduch by byl pomocí tvarovek a potrubí rozváděn do prostoru kontejneru baterie, ať už přímo do jednotlivých modulů, nebo do mezer mezi nimi. Co se týče odsávání ohřátého vzduchu z prostoru baterie, je zde opět několik možností. V našem případě byly přední a zadní stěna baterie opatřeny ventilátory, které budou vzduch odsávat. Takto ohřátý vzduch lze pak pomocí potrubí svést do odvětrávacích mřížek v kufu.

Jinou variantou uspořádání může být použití ventilátorů ze spodu baterie a vzduch odvádět do prostoru pro rezervu kola. Tento prostor bude však využit pro umístění nabíječky a duálního střídače napětí pro zadní elektromotory.

O něco složitější ale zase účinnější varianta je pak použití chlazení vodního, to sebou přináší návrh oběhu pro kapalinu a chladiče a tím pádem i zabrání dalšího zástavbového prostoru. Z tohoto důvodu bylo zvoleno vzduchové chlazení, nicméně při podrobnějším návrhu baterie by vodní chlazení určitě stálo za uvažovou. Celá sestava baterie je zobrazena na obr.35.



**Obr. 35** – Sestava baterie

Celkové rozměry baterie jsou 988 x 666 x 170 mm, hmotnost pak 105 kg. Baterie bude uložena v podlaze kufru. Hloubku vany kufru lze o 1 cm zvýšit a původní podlaha kufru se potom zvedne jen o 4 cm, což sice způsobí zmenšení objemu kufru, na druhou stranu se však nejedná o nijak zásadní změnu.

## 4.7 Zdroj pro dobíjení baterií

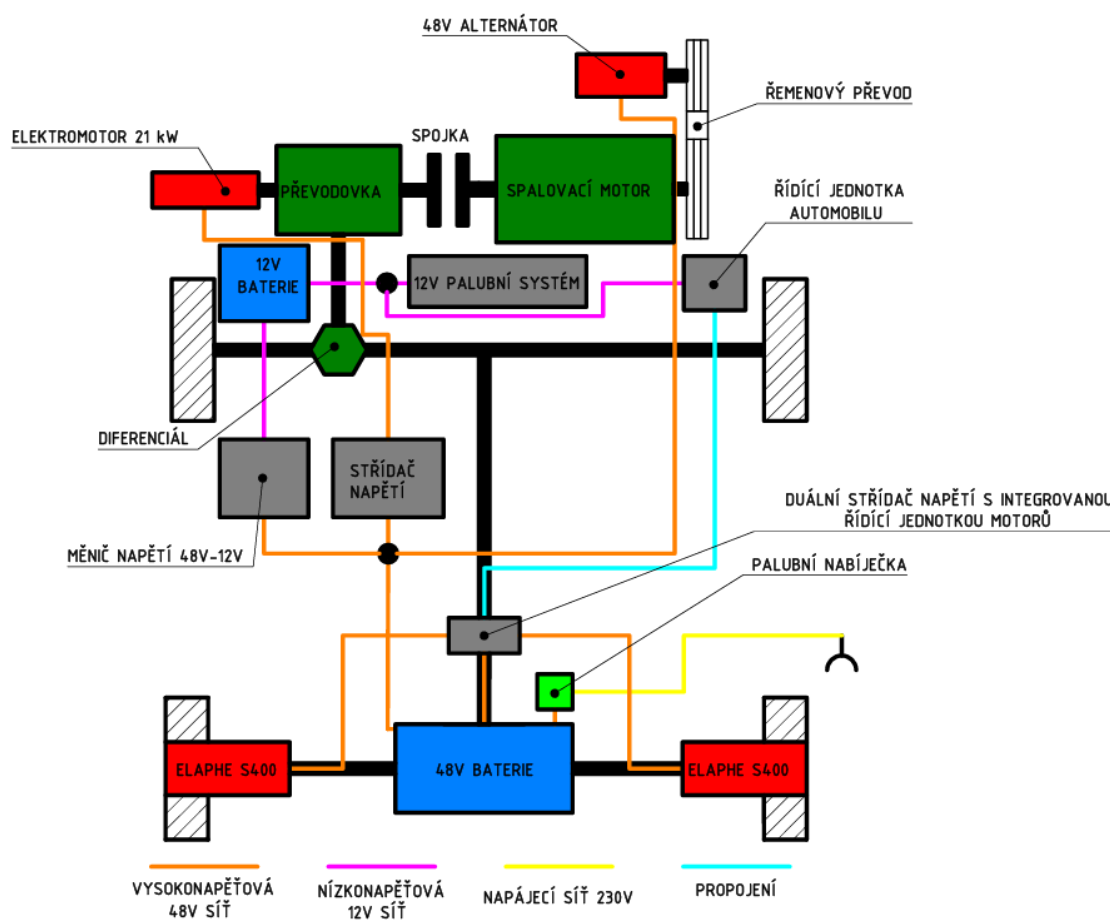
Dobíjení trakční baterie bude zajištěno několika způsoby. Elektromotory na zadní nápravě a elektromotor v převodovce dokáží pracovat jako generátory a tedy umožní rekuperaci – využívat kinetickou energii vzniklou při brzdění a převádět ji na energii elektrickou. Elektromotor v převodovce pak jako generátor pracuje i při setrvačné jízdě automobilu. Součástí pohonného ústrojí je jako zdroj elektrické energie i 48 V alternátor. Vzhledem k velikosti kapacity baterie bude ve voze zajištěna i možnost dobíjení baterie ze zásuvky. Z vozidla se tedy stane plug-in hybrid, s tím rozdílem, že provoz na čistě elektrický pohon umožněn nebude. Tím lze předejít výraznému vybití akumulátoru, což by mělo za následek nemožnost použití zadního pohonu. Palubní nabíječka akumulátoru pak bude uložena v prostoru pro náhradní kolo vozu. Zásuvka pro dobíjení bude umístěna na opačné straně, než je otvor pro tankování paliva. Palubní nabíječka od firmy Deligreen Power Co. bude disponovat nabíjecím výkonem 6.6 kW. Stav plného nabití by tedy mělo být dosaženo za 2 a čtvrt hodiny.

## 4.8 Systém ovládání pohonu

Jednotlivé komponenty bude nutné správně propojit a zajistit jejich funkčnost. Dále je nutné popsat, v kterých situacích dojde k připojení zadního pohonu kol.

### 4.8.1 Schéma zapojení

Na obr. 36 lze vidět zapojení všech elektrických komponentů, nutných k zajištění funkčnosti celého systému a provozu schopnosti vozidla.



Obr. 36 – Schéma zapojení elektrických komponentů

Vůz pracuje se dvěma napěťovými hladinami. Oranžově značená hladina je vysokonapěťová 48 V síť, jejímž srdcem je 48 V trakční baterie. Baterie slouží jako úložiště pro elektrickou energii, která napájí elektromotor v převodovce vozu a zároveň dva elektromotory na zadní nápravě. Elektromotor umístěný v převodovce je s baterií propojen přes střídač napětí, který mění stejnosměrné napětí na napětí střídavé, pomocí kterého je elektromotor napájen. Střídač dokáže pracovat i v opačném režimu a je tedy možné využít rekuperační energii při brzdění k dobíjení akumulátoru. Stejným principem jsou napájeny i dva elektromotory na zadní nápravě, s tím rozdílem, že střídač napětí je v tomto případě duální a má v sobě integrovanou řídicí jednotku, která ovládá oba motory.

Součástí pohonného ústrojí je i 48 V alternátor, který je s klikovou hřídelí spalovacího motoru spojen pomocí řemenového převodu. I alternátor tedy bude využíván pro dobíjení 48 V trakční akumulátoru. Trakční baterie a klasická 12 V baterie jsou mezi sebou propojené pomocí měniče napětí, který mění napětí z 48 V na 12 V a dobíjí tak klasickou 12 V baterii. 12 V napěťová síť, ve schématu značena fialově, slouží k napájení klasického 12 V palubního systému a ostatních spotřebičů, jako je například řídicí jednotka vozidla. Ta je kromě dalších řídicích jednotek, jako je například řídicí jednotka systému ABS, propojena s řídicí jednotkou elektromotorů v kolech, což je ve schématu znázorněno pomocí tyrkysové barvy. Součástí vozu bude také palubní nabíječka, pomocí které se bude trakční baterie dobíjet ze zásuvky. Žlutě je pak naznačena napájecí 230 V síť.

#### 4.8.2 Připojení zadní nápravy

Pohon zadní nápravy bude pracovat jako samočinně připojitelný. Díky dvou motorům, které jsou propojeny s jejich samostatnou řídicí jednotkou vznikne na zadní nápravě diferenciál. Řídicí jednotka pak bude na základě několika aspektů rozhodovat o jejich zapojení do pohonu vozidla, zároveň také rozhodne, jak velký výkon bude na jednotlivé kola přiveden.

Jednou ze situací, kdy bude docházet k připojení zadního pohonu, bude při prokluzu předních kol. Prokluz předních kol je detekován systémem regulace prokluzu kol, který je běžně označován zkratkou ASR. Úkolem tohoto systému je zajištění ideálního spojení hnací nápravy a vozovky. K tomu jsou využívány senzory umístěné na kolech, které sledují jejich otáčky a v případě, že jsou otáčky hnané nápravy větší než otáčky nápravy nepoháněné, dojde k úpravě parametrů na poháněných kolech.

K prokluzu předních kol nejčastěji dochází na povrchu s nižší přilnavostí jako je například mokrá vozovka, led, sníh nebo bláto. V případě, že systém ASR detekuje prokluz předních kol, vyšle hlavní řídicí jednotka vozidla signál řídicí jednotce elektromotorů, která ihned přidělí jednotlivým kolům požadovaný hnací moment takovým způsobem, aby bylo zajištěno vyproštění vozidla, jeho stabilita a přilnavost pneumatik. Tím se zajistí, že vozidlo zůstane v pohybu.

Další situací, při které bude využíván pohon zadních kol budou rozjezdy. I při rozjezdech může dojít k prokluzu předních kol, řídicí jednotka tedy zapojí pohon zadní nápravy na dobu nezbytně nutnou pro zajištění přilnavosti pneumatik a uvedení vozidla do pohybu a poté ho zase odpojí. Při rozjezdech do kopce se pak pohon zadní nápravy přiřadí automaticky za účelem výpomoci pohonu předních kol. Poté co bude vozidlo uvedeno do pohybu dojde opět k odpojení zadního pohonu.

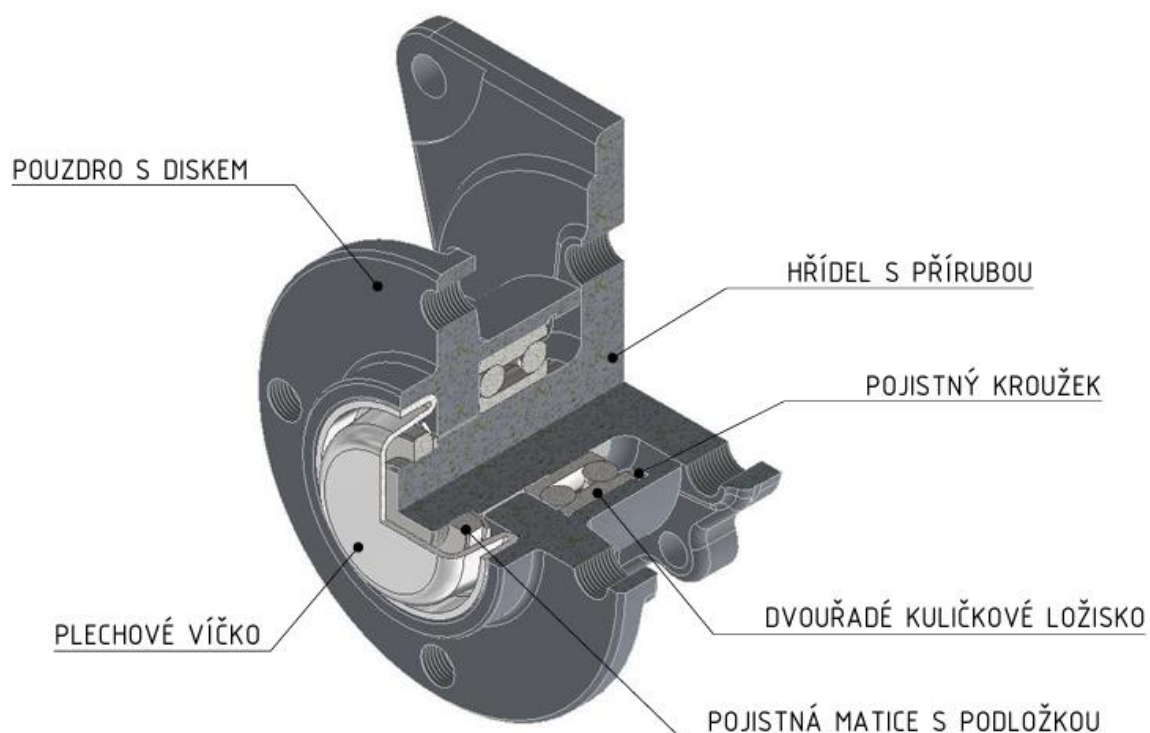
Pohon zadních kol bude také využíván při jízdě v lehkém terénu. K jeho přiřazení bude docházet například při zdolávání menších nerovností či při jízdě po louce. Předpokládá se, že na zadní kola bude vždy přiváděn takový výkon, aby zůstalo vozidlo v pohybu. Pohon zadní nápravy bude tedy v záběru pouze v omezených časových intervalech, nutných k zajištění takového stavu a poté dojde k jeho odpojení. Pohon nebude využíván pro čistě elektrickou jízdu ani nedojde k jeho zapojení po dobu delší vzdálenosti.

## 5 Konstrukční provedení pohonu zadní nápravy

V následující kapitole bude popsán konstrukční návrh nábojů zadních kol a elektromotorů, které na ně budou nasazeny. Zároveň bude popsán způsob, jakým se motory připevní k zadní nápravě automobilu.

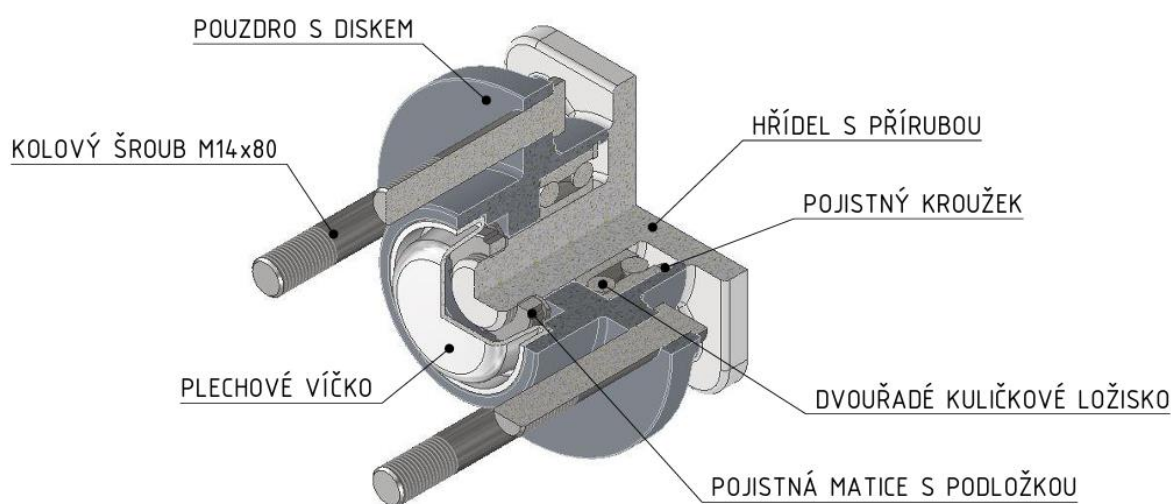
### 5.1 Náboj zadních kol

Konstrukce nového náboje zadních kol bude vycházet z toho původního. Náboj je nutné navrhnout tak, aby byla zajištěna jeho optimální funkce s ohledem na co nejmenší úpravy v konstrukci zadní nápravy. Původní náboj (*obr. 37*) se skládá z hřídele s přírubou, která je opatřena čtyřmi závitovými otvory pro upevnění celého náboje na zadní nápravu a dvěma otvory pro upevnění brzdového třmenu. Na hřídel je nasazeno dvouřadé kuličkové ložisko v pouzdře zajištěné pojistným kroužkem. Součástí pouzdra je disk, který slouží k upevnění brzdového kotouče a kola automobilu. Pouzdro také obsahuje integrované ABS čidlo, které z důvodu zjednodušení celého náboje není v modelu vyobrazeno. K zajištění pouzdra na hřídeli slouží pojistná matice s podložkou, které jsou schované pod plechovým víčkem.



**Obr. 37** – Původní náboj kola

Nově navržený náboj (*obr.38*) bude obsahovat hřídel o stejném průměru s pozměněnou délkou. Hřídel bude na jedné straně opatřená čtvercovou přírubou se závitovými otvory pro upevnění celého náboje k zadní nápravě. Na hřídel pak bude nasazeno původní ložisko v pouzdře. Vnitřní část pouzdra bude mírně upravená, tak aby se zmenšila válcová část mezi přírubou hřídele a diskem pro upevnění brzdového kotouče. Disk bude téměř totožný s tím rozdílem, že místo závitových otvorů bude opatřen 4 kolovými šrouby M14 x 80, pomocí kterých bude k náboji připevněno kolo. Válcová část, na kterou je nasunut brzdový kotouč se prodlouží, jelikož se na ní bude nasazovat i rotor elektromotoru. Pouzdro bude na hřídeli zajištěno stejným způsobem, tedy pomocí pojistné matice a podložky, schovaných pod plechovým víčkem. Součástí pouzdra bude opět ABS čidlo.



**Obr. 38** – Náboj původní koncepce upravený pro použití elektrokola

## 5.2 Elektromotor

Při návrhu elektromotoru se bude vycházet z modelu S 400 od firmy Elaphe. Ten je navržený tak, aby pasoval to klasického 14-ti palcového kola. V naše případě lze využít skutečnosti, že je automobil osazený 18-ti palcovými koly. Smysl konstrukčního řešení elektromotoru bude tedy zachován, dojde pouze k úpravě celkového průměru motoru a jeho šířky. Tím se z velké části eliminuje změna rozchodu zadních kol, která by při použití původního modelu elektromotoru zcela jistě nastala. Se zvětšením celkového průměru elektromotoru bude nutné počítat s navýšením jeho výkonu a hmotnosti. Navýšení hmotnosti lze určitým způsobem eliminovat zmenšením původní šířky elektromotoru.

Elektromotor Elaphe S400 funguje na principu třífázového synchronního motoru s permanentními magnety. Skládá se ze statoru, tedy pevné netočící se části, na kterou je připevněno vinutí. Součástí statoru je také připojení napětí. Celá tato konstrukce je pak zapouzdřena v rotoru osazeným permanentními magnety. Rotor je spojený s nábojem kola a přenáší na něj hnací moment. Tím pádem dochází k roztočení kola.

„Princip synchronního motoru s permanentními magnety je založen na interakci stálého magnetického pole rotoru s točivým polem na statoru. Točivé magnetické pole ve statoru vzniká přivedením elektrického proudu na jeho vinutí, přičemž magnetické pole rotoru vytváří nalepené permanentní magnety. Motory s permanentními magnety dosahují větší účinnosti, než asynchronní stroje, dodávají stejný nebo i větší výkon při celkově menších rozměrech. Permanentní magnety zvyšují magnetický tok ve vzduchové mezeře motoru a celkový točivý moment je tak výrazně vyšší než u indukčních motorů bez magnetů.“ [20]

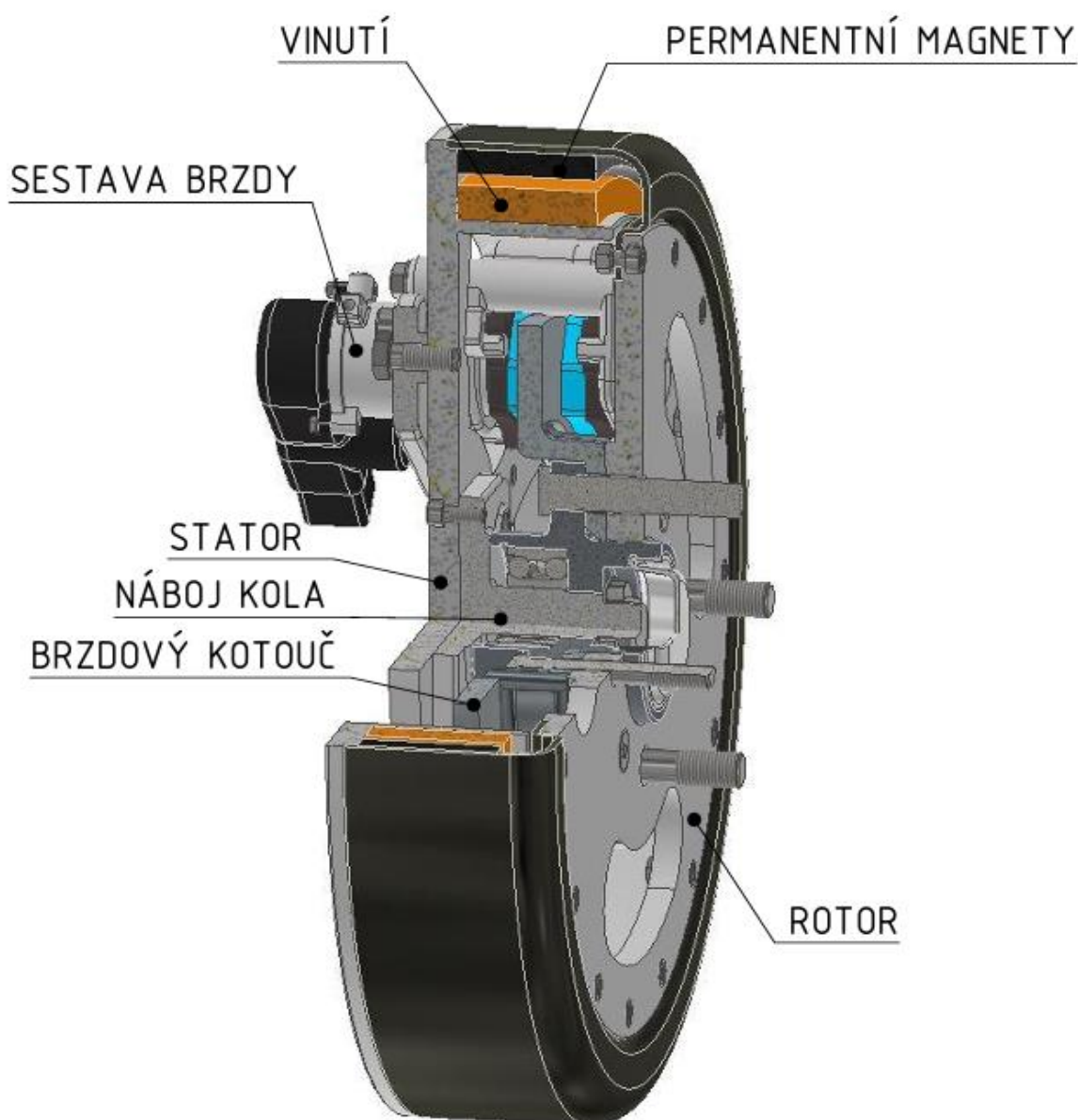


**Obr. 39** - Stator

Hlavní částí našeho elektromotoru bude stator (*obr.39*). Ten je navržen jako rotační součást, z jedné strany otevřená a z druhé opatřena otvory pro přidělení k zadní nápravě, otvory k uchycení brzdy a pěti žebry. Průduchy mezi jednotlivými žebry umožňují vsunutí kotoučové brzdy do vnitřní části motoru, zároveň skrz ně může proudit vzduch a ochlazovat tak kotoučovou brzdu při její činnosti. Na stator bude nasunuto a připevněno elektromagnetické vinutí. Součástí statoru je také připojení elektrického napětí.

Dále bude navrhnutá rotorová část motoru. Ta se skládá z vytvarovaného plechu o tloušťce 3 mm, na který budou zevnitř nalepeny permanentní magnety. K plechu je pomocí několika šroubových spojů připojena kovová deska opatřená průduchy pro odvod vzduchu z prostoru brzdy.

Celou sestavu elektromotoru lze vidět na *obr.40*. Postup sestavení bude probíhat následujícím způsobem. Zezadu bude do prostoru statoru umístěna část dělené kotoučové brzdy. Poté se z druhé strany vloží celé tělo náboje kola včetně brzdového kotouče, na kterém budou nasazeny brzdové destičky. Brzdový kotouč má lehce zmenšený průměr oproti kotouči původnímu. Náboj se přichytí ke statoru pomocí dvou šroubů a poté se k sobě spojí součásti dělené brzdy, která je blíže popsána na konci této kapitoly. Na stator se následně umístí elektromagnetické vinutí. Na celý tento celek se poté nasadí rotor s permanentními magnety. Tím pádem bude elektronická část motoru chráněná proti vniknutí různých nečistot, vody nebo bláta. Kovová deska rotoru bude vystředěna a vyvážena podle válcové části náboje kola, na kterou bude nasazena, tedy stejným způsobem jako je vyvážen brzdový kotouč. Díky tomu bude zajištěno hladké otáčení rotoru bez nežádoucího chvění či drhnutí.



**Obr. 40** – Elektromotor – pohled v řezu





**Obr. 41** – Elektromotor – pohled zepředu a zezadu

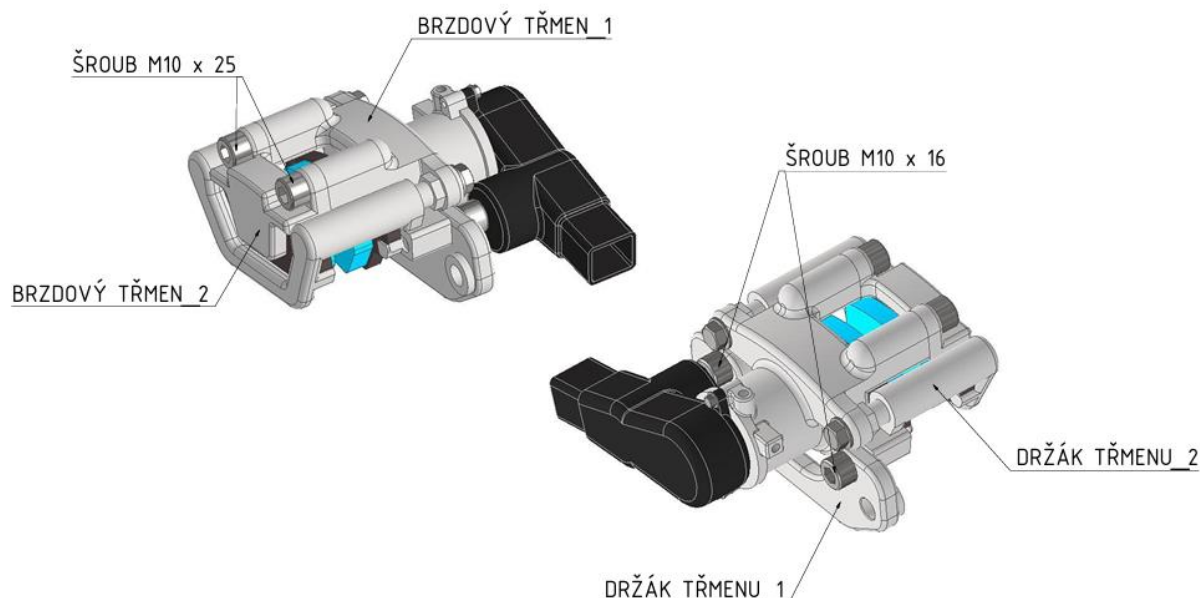
Původní elektromotor, který byl předlohou pro náš návrh, měl hmotnost 17,6 kg. Hmotnost námi navrhnutého motoru samozřejmě vzroste, v *tab.5* lze vidět hrubý odhad hmotnosti celého elektromotoru včetně náboje kola a brzdy, celková hmotnost tedy vzroste zhruba o 12 kg. Lze také očekávat, že vlivem změny průměru elektromotoru dojde k navýšení jeho výkonu. Po odečtení hmotnosti původního náboje kola, brzdového kotouče a brzdy, které budou velmi podobné, lze nárůst neodpružené hmotnosti odhadnout zhruba na 22 kg na každém kole.

**Tab. 5** – Hmotnost jednotlivých částí elektromotoru

Součást	Stator	Rotor	Náboj kola	Brzdový kotouč	Brzda	Vinutí	Magnety	Celková hmotnost
Hmotnost [kg]	9	6,8	2,9	2,9	1,1	3,6	3,2	29,5

## Kotoučová brzda

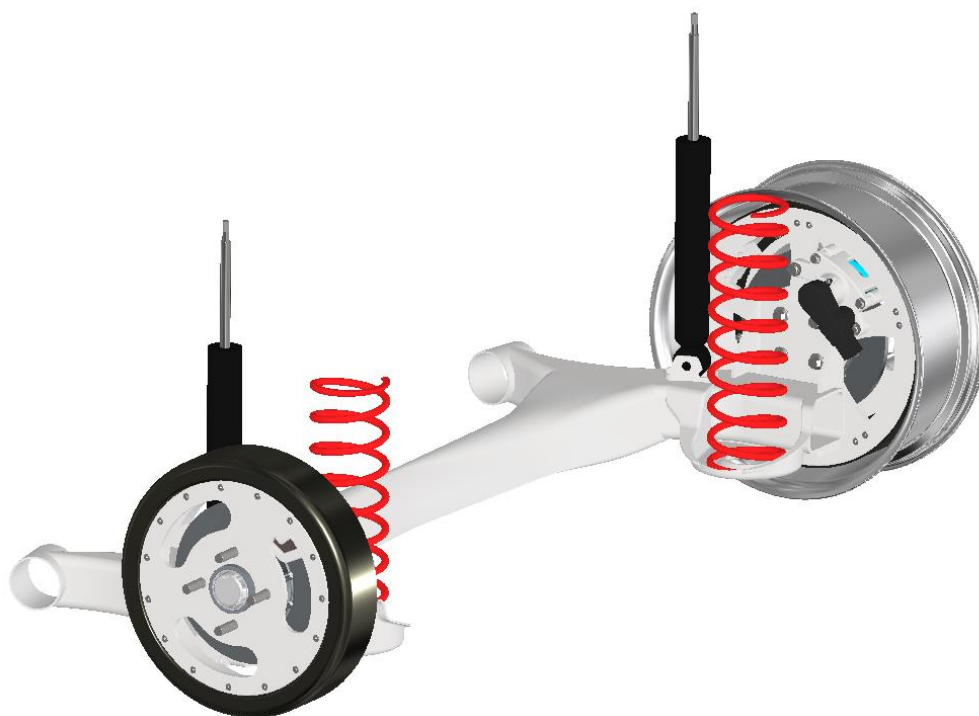
Tělesa kotoučové brzdy, konkrétně třmen a držák třmenu (*obr.42*), jsou atypická. S ohledem na montáž a údržbu jsou oba díly dělené tak, aby umožnily snadnou montáž a pozdější výměnu brzdových destiček bez demontáže celého elektrokola.



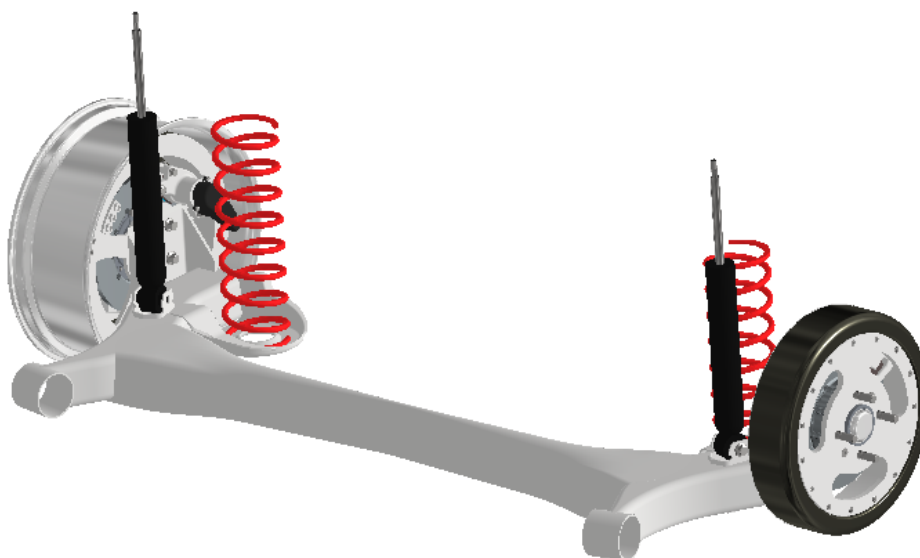
**Obr. 42** – Část kotoučové brzdy – třmen a držák třmenu

## 5.3 Zadní náprava

Těleso zadní nápravy zůstane konstrukčně neupraveno. Sestava elektromotoru bude k nápravě uchycena stejným způsobem jako původní náboj kola, tedy na patku pomocí čtyř šroubů. Patka je k ramenu nápravy přivařena. Nejslabší místo vlečené nápravy spojené torzní příčkou bývá nejčastěji ve svarovém spojení příčky a ramen. V našem případě se jedná o poměrně velké svary, lze tedy předpokládat, že jejich pevnost je pro přestavbu dostatečná. Zároveň předpokládáme, že je čepové uložení nápravy, kromě sil vzniklých při brzdění, schopné přenést síly, které vzniknou při záběru motoru. Z důvodu zvětšení neodpružené hmoty na zadní nápravě budou původní tlumič a pružina nahrazeny novými s větší tuhostí. Sestavu zadní nápravy včetně elektromotorů a ráfku kola lze vidět na *obr.43* a *obr.44*. Při použití originálních 18-ti palcových hliníkových ráfků bude rozchod zadních kol činit 1564 milimetrů. Oproti původní zástavbě dojde na každé straně k posunutí pneumatiky o 7 milimetrů ven směrem od středu nápravy. Protože je hodnota velmi malá, téměř až zanedbatelná, lze předpokládat, že taková změna rozchodu kol nebude mít vliv na jízdní vlastnosti automobilu.



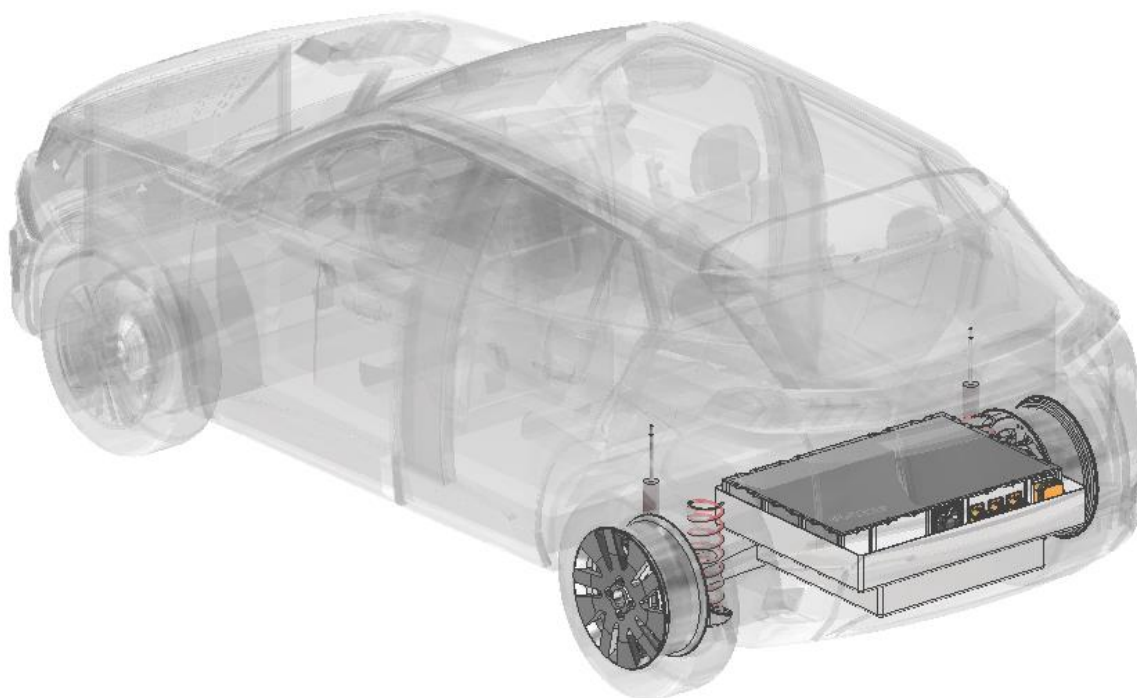
**Obr. 43** – Model nové zadní nápravy – zadní pohled



**Obr. 44** – Model nové zadní nápravy – přední pohled

## 5.4 Umístění komponentů do zástavby vozu

Na *obr. 45* lze vidět umístění nápravy a bateriového kontejneru do zástavby vozu. Komponenty jako je DC/DC měnič napětí z 48 V na 12 V a střídač napětí, který mění stejnosměrné napětí na napětí střídavé, pomocí kterého je napájen elektromotor umístěný v převodovce, jsou umístěny v motorovém prostoru vozu. V tomto náhledu pak nejsou zobrazeny, jelikož jsou součástí původní mild hybridní motorizace.



**Obr. 45** – Přibližný náhled umístění navržených komponentů

V prostoru pro rezervu kola pak bude uložen duální střídač napětí s integrovanou řídicí jednotkou. Firma Elaphe používá duální střídač od firmy Ideas & Motion S.r.l. s typovým označením DDM048V500A1. Střídač má v sobě integrovanou řídicí jednotku pro dva elektromotory, které jsou napájeny jmenovitým napětím 48 V. Dále tam bude uložena také palubní nabíječka.

## 6 Vyhodnocení a diskuse výsledků

Pohon vozu byl navržen jako hybridní. V našem případě se použila sériově vyráběná mild hybridní motorizace a doplnila se dvěma elektromotory v zadních kolech a dalším akumulátorem s velkou kapacitou. Na zadní nápravě je navrhován pohon s funkcí uzavíratelného diferenciálu. Jedná se tedy o samočinně připojitelný pohon všech kol. Funkce pohonu jsou řízeny řídicí jednotkou, která bude zadní nápravu připojovat pouze pokud to bude na základě provozních podmínek potřeba. V úvahu připadá i možnost, že k připojení nápravy může dojít i na pokyn řidiče. Vozidlo je konstruováno jako plug in hybrid.

I když se při navrhování žádným velkým způsobem nezasáhlo do původní konstrukce vozu, nastalo po zaimponování naší přestavby několik změn. Jednou z nich je zvýšená neodpružená hmotnost vozidla. Ta vzrostla o 22 kg na každém zadním kole a lze předpokládat s tím spojené negativní vlastnosti. Existuje několik studií, od výrobců elektromotorů, o změně jízdních vlastností po namontování elektromotorů do prostoru uvnitř kola, tvrdících, že průměrný řidič vozidla nepozná nijak markantní rozdíl ve změně chování vozidla. I přesto návrh předpokládá, že se vozidlo osadí jinými tlumiči a pružinami s vyšší tuhostí. Tím lze negativní vlastnosti spojené s neodpruženou hmotou částečně eliminovat.

S nárustem neodpružené hmoty a zaimponováním nových součástí do konstrukce automobilu souvisí i jeho celková hmotnost. Ta se samozřejmě zvýší také, zároveň dojde k změně rozložení hmoty na jednotlivé nápravy. Na zadní nápravu se vlivem umístění baterie a dalších komponent do podlahy kufru dá předpokládat mnohem větší zatížení, než tomu bylo doposud. Lze očekávat, že případné změny jízdních vlastností by nemusely být až tak velké. Celková pohotovostní hmotnost vozidla se zvětší o necelých 149 kg na 1385 kg. Tím bude omezena i maximální nosnost vozidla. Rovněž v důsledku úpravy zavazadlového prostoru – dno bude o 4 cm vyšší oproti standartnímu provedení – bude objem zavazadlového prostoru o 32 l menší.

Přestavba sebou přináší také několik výhod. Hlavní z nich je již zmíněný pohon zadních kol, díky kterému lze očekávat zlepšení trakčních vlastností při jízdě vozidla terénem, na kluzkých površích, či do kopce. Pohon zadních kol pomůže klasickému konvenčnímu pohonu také při rozjezdech. Druhou výhodou navrhované přestavby je zachování hybridního systému. Díky tomu lze očekávat i přijatelnou spotřebu paliva a soulad parametrů s emisními limity. Přestavba je tedy vedena podle současných trendů v automobilovém průmyslu.

Samozřejmě je nutné si uvědomit, že se jedná pouze o návrh, studii. Teprve po důkladném přezkoumání a nejrůznějším testování lze prohlásit, zda se taková přestavba vyplatí či nikoliv. Rozhodně se ale může říct, že je to jedna z možností, kterou se v budoucnu lze zabírat.

## 7 Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřená na pohon všech kol u automobilů střední třídy a malých SUV. V praktické části práce jsou nejprve vysvětleny a popsány některé hlavní součásti, které většina hnacích ústrojí pro pohon všech kol potřebuje ke své činnosti. Jedná se zejména o diferenciál, rozvodovku a rozdělovací převodovku. Následně jsou popsány hlavní typy pohonu všech kol, které se v této třídě automobilů používají a to stálý pohon, samočinně připojitelný pohon a ručně připojitelný pohon všech kol.

Kromě obecného popisu je detailně popsána konstrukce a princip činnosti součástí, které tyto druhy pohonů používají. V případě stálého pohonu je to například diferenciál Torsen či viskózní spojka. U samočinně připojitelného pohonu všech kol se pak jedná o mezinápravovou spojku Haldex nebo rozvodovku Viscomatic.

Dále je uvedeno několik již existujících a používaných koncepcí pohonů v současných automobilech. Konkrétně se jedná například o systém AllGrip od automobilky Suzuki. Další příklad je systém Quattro od automobilky Audi, která je průkopníkem v oblasti pohonu všech kol. Ta ve svých vozech využívá buďto příčný nebo podélný systém. Naopak automobilka Toyota používá ve svých vozech inteligentní pohon všech kol s názvem AWD-i. Ten se oproti všem ostatním pohonům poměrně dost liší, jelikož zde odpadá mechanické propojení přední a zadní nápravy. Pohon zadních kol je zajištěn pomocí elektromotoru uloženého na zadní nápravě. Toyota zároveň svůj pohon všech kol kombinuje s hybridní motorizací.

Rovněž je zmíněn směr, který byl inspirací pro řešení bakalářské práce. Podstatou konstrukce hybridního uspořádání jsou dva elektromotory umístěné v každém ze zadních kol, a společně s náboji a brzdou tvoří kompaktní celek. Mezi výhody takového uspořádání patří relativně jednoduchá zástavba bez potřeby větších změn v konstrukci zadní části vozidla a hybridní, či čistě elektrický pohon, který je k jejich provozu nutný.

Praktická část práce je pak zaměřena na vlastní návrh vestavby pohonu všech kol do již existujícího automobilu. K přestavbě byl vybrán malý vůz typu crossover Peugeot 2008 2. generace s mild hybridní motorizací. Hnací ústrojí zmíněného vozu je tvořeno spalovacím motorem se spojkou a automatickou převodovkou, pohon předních kol je v hybridním provedení ještě doplněn elektromotorem o výkonu 21 kW. Elektromotor je připojen k převodovce.

Podvozek uvedeného vozu je v zadní části poměrně jednoduchý, umožňuje připojení větších osmnáctipalcových disků, do nichž lze elektrický pohon umístit. Pro přestavbu byly vybrány třífázové synchronní elektromotory od firmy Elaphe s modelovým označením S400, poskytující výkon 28 kW. Poměrně velký zástavbový prostor uvnitř disků umožnil tyto elektromotory zvětšit a zúžit při zachování původní konstrukce. Využil se tak maximální zástavbový prostor uvnitř kola a nedošlo k zásadnímu zvětšení rozchodu zadních kol.

Protože původní hybridní baterie má pro zajištění napájení malou kapacitu byl navržen akumulátorový set s bateriovými moduly s celkovou kapacitou 15.6 kWh. Akumulátorový set je umístěn v zadní části vozu a bude kromě dvojice zadních elektromotorů napájet také elektromotor v převodovce a 12 V baterii. Ke konstrukci modulů byly vybrány lithium-iontové

články od výrobce CATL, které mají jmenovité napětí 3,7 V a kapacitu 65 Ah. Tyto články jsou po 13 kusech sériově řazeny do 5 modulů. Moduly jsou pak vloženy do hliníkového kontejneru, jehož součástí jsou pak tři konektory, servisní odpojovač, ventilační membrána, šestice relé a řídicí jednotka baterie.

Chlazení baterie je navrženo jako vzduchové. V případě podrobnějšího návrhu akumulátoru, což by mohlo být jedním z témat pro další bakalářskou práci, stojí rozhodně za zvážení chlazení vodní, které v tomto návrhu kvůli své prostorové náročnosti nebylo použito. Akumulátorový set je uložen do prostoru mezi podlahy v kufru a jeho celková hmotnost je přibližně 105 kg. Dobíjení je zajištěno jednak napájením z alternátoru, rekuperací ale i napájením z externí sítě – palubní nabíječka o výkonu 6,6 kW je uložena v prostoru rezervního kola a je schopná nabít baterii za 2 a čtvrt hodiny.

V prostoru pro rezervního kolo je také uložen duální střídač napětí s integrovanou řídicí jednotkou pro zadní elektromotory. Střídač napětí slouží k přeměně stejnosměrného napětí na střídavé, kterým jsou elektromotory napájeny. Řídicí jednotka pak vyhodnocuje provozní podmínky a ovládá zapojení/odpojení zadního pohonu. Mělo by k tomu docházet zejména při prokluzu předních kol, rozjezdech, jízdě do kopce či v terénu a to pouze po nezbytně nutnou dobu. Provoz pouze na čistě elektrický pohon nebude možný, z toho důvodu, aby se předešlo případnému vybití akumulátoru, což by mělo za následek nepoužitelnost zadního pohonu.

Zajištěním pohonu všech kol se předpokládá zlepšení jízdních vlastností vozu. Jako každá přestavba i tato přináší také nevýhody. Jednou z nich je neodpružená hmotnost, která se na každém zadním kole zvětší téměř o 22 kg. S tím se v návrhu počítá a vypružení zadní nápravy je upraveno – užití tužších pružin a tlumičů. Další a podstatná nevýhoda je zvětšení celkové hmotnosti vozidla, která souvisí nejen s elektropohonem, ale zejména s vestavbou akumulátorového setu s příslušenstvím. Se změnou hmotnosti je spojená také změna rozložení hmoty na jednotlivé nápravy, která ovlivní polohu těžiště vozidla a s tím spojené možné změny jízdních vlastností.

Přestavba vozu byla navržena s ohledem na aktuální trendy a požadavky v automobilovém průmyslu. Automobil lze využívat v nejrůznějších oblastech, ať už jako obyčejný užitkový vůz, vůz vhodný pro podnikatelskou a pracovní činnost, jako je například doručovatelství nebo poštovní a údržbářské služby, kde by vynikly jeho výhody spojené s pohonem všech kol.

## Použitá literatura

- [1] VLK, František. *Převody motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 978-80-239-6463-9.
- [2] JAN, Zdeněk; Bronislav ŽDÁNSKÝ; Jiří ČUPERA; Pavel SEDLÁK; Jan JETMAR et al. *Automobily. (2), Převody*. 5. vydání. Brno: Avid, spol. s r.o., 2018. ISBN 978-80-87143-39-1.
- [3] *Jimny - Magyar Suzuki Corporation Ltd. branch office Czech Republic, organizační složka*. Webové sídlo. Dostupné z: [https://www.suzuki.cz/auto/jimny/design\\_a\\_technologie.aspx](https://www.suzuki.cz/auto/jimny/design_a_technologie.aspx). [citováno 2024-02-15].
- [4] Suzuki | ALLGRIP for All People. online. In: *Suzuki / ALLGRIP for All People*. Dostupné z: <https://www.globalsuzuki.com/allgrip/>. [citováno 2024-02-13].
- [5] *Auto - Technologie: AllGrip - Magyar Suzuki Corporation Ltd. branch office Czech Republic, organizační složka*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://www.suzuki.cz/auto/technologie/allgrip.aspx>. [citováno 2024-02-13].
- [6] KRZEMIŃSKI, Wojciech. *Suzuki ALLGRIP - co warto wiedzieć o napędzie?*. 2017-12-12. Dostupné z: NaMasce, <https://namasce.pl/suzuki-allgrip-warto-wiedziec-o-napedzie/>. [citováno 2024-02-13].
- [7] *Technologie Audi quattro®*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://www.audi.cz/servis-a-prislusenstvi/konektivita-a-technologie/audi-quattro>. [citováno 2024-02-15].
- [8] MW. *How Does Audi Quattro Work?*. 2021-09-28. Dostupné z: Motor Werke, <https://www.motorwerke.ca/how-does-audi-quattro-work/>. [citováno 2024-02-15].
- [9] *Audi Q2 - Flexible Car Subscription with MILES*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://abo.miles-mobility.com/en/product/audi-q2-black-35497>. [citováno 2024-02-15].
- [10] SAJDL, Ing Jan; a PH.D. Quattro. online. 2011. In: *autolexicon.net*. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/quattro/>. [citováno 2024-02-15].
- [11] PELIKÁN, Josef. Toyota vysvětluje, jak funguje její inteligentní pohon všech kol AWD-i. online. 2022. In: *auto-mania.cz*. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/toyota-vysvetluje-jak-funguje-jeji-inteligentni-pohon-vsech-kol-awd-i/>. [citováno 2024-02-15].
- [12] *Toyota AWD-i*. Dostupné z: Wilsonville Toyota, <https://www.wilsonvilletoyota.com/awd-4wd-systems/awd-i/>. [citováno 2024-02-15].
- [13] INFO@SABRE.CZ, Sabre, www sabre cz, e-mail: *Toyota Yaris Cross – Velké-malé ambice / Automobil Revue*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://www.automobilrevue.cz/rubriky/presunuto-na-trucker-cz-truck-bus/predstavujeme/toyota-yaris-cross-velke-male-ambice-48829.html>. [citováno 2024-02-15].



- [14] EV in a Box Gives EV for EVERYONE! online. 2023. In: *Cheers & Gears*. Dostupné z: <https://www.cheersandgears.com/articles/news/industry/ev-in-a-box-gives-ev-for-everyone-r6597/>. [citováno 2024-03-13].
- [15] *Konfigurátor Peugeot e-2008 | Vaše SUV na míru*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://www.peugeot.cz/modelova-rada/suv-2008/konfigurator.html>. [citováno 2024-03-13].
- [16] *Elaphe's hub motors for all kind of electric vehicles...from Slovenia with love*. Dostupné z: Elaphe's hub motors for all kind of electric vehicles...from Slovenia with love, <https://tech-papyrus.blogspot.com/2019/01/elaphes-hub-motors-for-all-kind-of.html>. [citováno 2024-04-19].
- [17] *Pd18-Datasheet-Master.pdf* online. Dostupné z: <https://www.proteanelectric.com/f/2018/05/Pd18-Datasheet-Master.pdf>. [citováno 2024-04-19].
- [18] Technology. online. In: *Protean*. Dostupné z: <https://www.proteanelectric.com/technology/>. [citováno 2024-04-19].
- [19] *CATL 3.7V 65Ah NCM Lithium Battery Cell - LiFePO4 Battery*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://www.lifepo4-battery.com/Products/Lithium-NMC-Battery/CATL-BATTERY-65Ah.html>. [citováno 2024-04-30].
- [20] *Rotory s permanentními magnety | PZK Brno*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://www.pzk.cz/rotory-s-permanentnimi-magnety>. [citováno 2024-04-19].

## Seznam příloh

- P1 Výkres sestavy elektromotoru
- P2 Výkres sestavy upraveného náboje kola
- P3 Model původní zadní nápravy
- P4 Model elektromotoru
- P5 Model upravené zadní nápravy