



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## PŘEVODOVKY AUTOMOBILŮ

CAR GEARBOXES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Charvát

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Adam Charvát**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Převodovky automobilů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem práce je komplexní studium problematiky automobilových převodovek s cílem zvýšit informovanost aktivní laické veřejnosti.

### Cíle bakalářské práce:

Ucelený přehled problematiky převodovek automobilů včetně vlastního kritického hodnocení jednotlivých koncepcí.

### Seznam doporučené literatury:

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B. a kol. Automobily 2, Převody, Brno, 2006, Avid, s.r.o., 3. vyd., ISBN 80-903671-5-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o nejvíce rozšířených převodových ústrojích osobních automobilů a jejich komponent se zaměřením na převodovky manuální, automatické, převodovky řazené pod zatížením, převodovky s plynulou změnou převodu a převodová ústrojí pro elektrické a hybridní vozidla. Práce se zabývá konstrukcí, principem činnosti a porovnáním vlastností těchto zařízení. Součástí práce je i pohled na vývojové trendy v oblasti převodovek.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Převodovka, převodová ústrojí, DSG, vývojové trendy, elektrifikace, CVT, manuální převodovky, automatické převodovky

## ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on the most common transmission types of passenger cars and their components with a focus on manual transmissions, automatic transmissions, dual-clutch transmissions, continuously variable transmissions, and transmissions for electric and hybrid vehicles. The work deals with the construction, principle of operation and comparison of the properties of these devices. Thesis also contains a look at development trends of these transmissions.

## KEYWORDS

Gearbox, transmission, DSG, development trends, electrification, CVT, manual transmission, automatic transmission

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHARVÁT, Adam. *Převodovky automobilů*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 39 s. Vedoucí diplomové práce Zdeněk Kaplan.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Adam Charvát

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Kaplanovi, CSc. za jeho ochotu, cenné rady a věcné připomínky při tvorbě této práce. Dále chci poděkovat rodině za velkou podporu během studia.



# OBSAH

Úvod .....	10
<b>1 Převodová ústrojí.....</b>	<b>11</b>
1.1 Požadavek zpřevodování .....	11
1.2 Převodový poměr .....	12
1.3 Účinnost převodového ústrojí .....	13
1.4 Základní rozdělení převodovek.....	13
<b>2 Příslušenství převodovek .....</b>	<b>16</b>
2.1 Spojky .....	16
2.2 Rozvodovka .....	17
<b>3 Manuální převodovky .....</b>	<b>19</b>
3.1 Dvuhřídelové převodovky .....	19
3.2 Tříhřídelové převodovky .....	19
3.3 Řazení rychlostních stupňů .....	20
3.4 Synchronizace .....	21
<b>4 Automatické převodovky .....</b>	<b>22</b>
4.1 Hydrodynamický měnič momentu.....	22
4.2 Konstrukce automatické převodovky .....	23
4.3 Způsob řazení v automatické převodovce.....	24
<b>5 Dvouspojkové převodovky.....</b>	<b>26</b>
5.1 Konstrukce dvouspojkové převodovky .....	26
5.2 Princip činnosti dvouspojkové převodovky .....	27
<b>6 Převodovky s plynulou změnou převodu.....</b>	<b>28</b>
6.1 Konstrukce CVT .....	28
6.2 Princip činnosti převodovky CVT .....	29
6.3 Speciální konstrukce CVT .....	30
<b>7 Převodovky elektrických a hybridních pohonů.....</b>	<b>31</b>
<b>8 Vývojové trendy převodovek.....</b>	<b>33</b>
Závěr .....	35
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	39

## ÚVOD

Převodovka tvoří nepostradatelnou součást automobilů se spalovacím motorem. Motivací pro práci bylo získat obecný přehled v problematice moderních převodových ústrojí a podrobně popsat konstrukci a princip činnosti nejrozšířenějších koncepcí převodovek, se kterými se lze setkat u moderních osobních automobilů. Snahou bylo vytvořit souhrn informací, který dokáže uvést do problematiky i čtenáře z řad laické veřejnosti.

K čemu slouží převodovka, kvůli čemu ji ve vozidlech potřebujeme a jak funguje, tím se autor zabývá v první části práce. Další část práce je věnována komponentám převodového ústrojí, doplňující funkci převodovky, mezi něž patří spojka a rozvodovka. Hlavní část práce se zabývá konstrukcí a fungováním převodovek manuálních, automatických s hydrodynamickým měničem, dvouspojkových převodovek a převodovek s plynulou změnou převodu. Na hlavní část navazuje oddíl věnovaný narůstajícímu zájmu o elektromobilitu, a tedy převodovým ústrojím pro elektrické a hybridní osobní automobily. V poslední části jsou zhodnoceny vývojové trendy a zastoupení jednotlivých konstrukcí převodovek na trhu v různých částech světa.

# 1 PŘEVODOVÁ ÚSTROJÍ

Spalovací motory stále patří celosvětově k nejpoužívanějším pohonným jednotkám osobních automobilů. I přes jejich mnohé výhody je u spalovacích motorů z hlediska přenosu výkonu nutné řešit několik problémů. Aby bylo docíleno vyhovující spotřeby a výkonu, je potřeba dosáhnout optimálních otáček, jejichž rozsah je poměrně úzký. Podobné je to i s točivým momentem, který se zvyšuje s otáčkami na rozdíl od elektromotoru. Ten dodává potřebný točivý moment prakticky od nulových otáček.

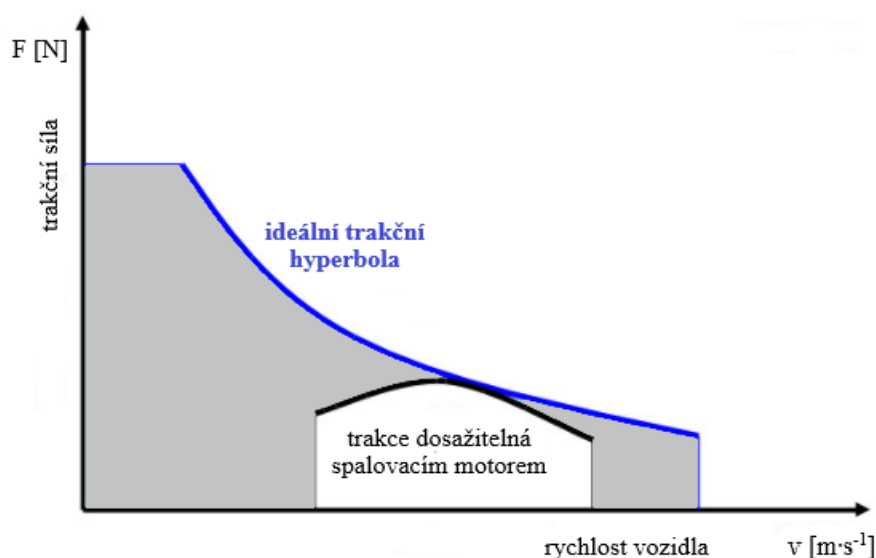
Kvůli těmto vlastnostem je nutné, aby byl každý automobil poháněn spalovacím motorem vybaven také převodovkou. Právě ta překonává výše zmíněné nedostatky a umožňuje tak změnu úhlové rychlosti a točivého momentu přenášeného na hnací kola, změnu smyslu otáčení a přerušení přenosu výkonu pomocí spojky.

## 1.1 POŽADAVEK ZPŘEVODOVÁNÍ

Z pohledu trakce je největší trakční síla požadována při rozjezdu a se zvyšující se rychlostí vozidla klesá. Trakční sílu lze spočítat podle rovnice (1) takto:

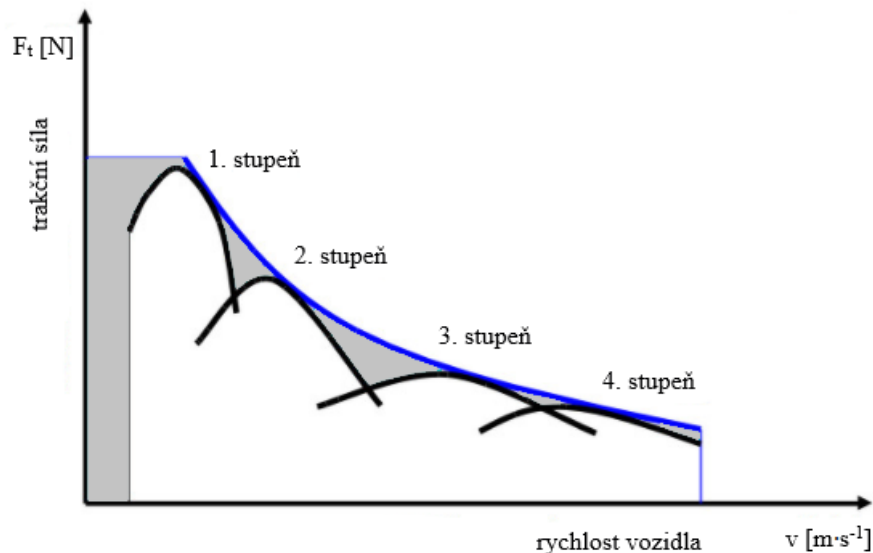
$$F_t = \frac{P_{max}}{v}, \quad (1)$$

kde  $P_{max}$  je maximální výkon motoru a  $v$  rychlost vozidla. Pokud by byl maximální výkon motoru dostupný po celou dobu provozu a konstantní pro všechny otáčky, dostali bychom ideální trakční hyperbolu. Nicméně vzhledem k tomu, že spalovací motor dodává požadovaný výkon pouze při určitých otáčkách, tak jím generovaná trakční síla na hnací kola nepokrývá celou šíři provozních podmínek [1].



Obr. 1 Ideální trakční hyperbola a charakteristika spalovacího motoru [2]

Aby byl spalovací motor schopný přiblížit se co nejvíce ideální trakční hyperbole, je potřeba modifikovat jeho výstupní otáčky a točivý moment. Tuto funkci zajišťuje právě převodovka, která upravuje výstupní trakční sílu motoru tak, aby vyhovovala okamžitým jízdním podmínkám. Použitím víceúrovňové převodovky lze aproximovat charakteristiku spalovacího motoru tak, aby se přiblížila ideální trakční hyperbole [2].



Obr. 2 Ideální trakční hyperbola a aproximovaná charakteristika spalovacího motoru [2]

Pro lepší aproximaci ideální trakční hyperboly, a tudíž efektivnější využití spalovacího motoru lze zvýšit počet převodových stupňů. Obecně se udává, že nejnižší počet převodových stupňů pro optimální využití dnešních motorů z hlediska výkonu a spotřeby je sedm [3].

## 1.2 PŘEVODOVÝ POMĚR

Změny otáček, respektive velikost převodu, udává převodový poměr. Ten lze spočítat jako poměr počtu zubů, nebo otáček hnaného a hnacího ozubeného kola. U plynule měnitelných převodů jsou to průměry řemenic na vstupu a na výstupu. Rovnice pro výpočet převodového poměru:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}, \quad (2)$$

kde  $n$  jsou otáčky vstupního a výstupního hřídele a  $z$  je počet zubů ozubeného kola a pastorku. Pro  $i > 1$  se jedná o převod do pomalu a pro  $0 < i < 1$  jde o převod do rychla. Laicky řečeno převod  $i=3,5$  znamená, že hnací hřídel vykoná 3,5 otáčky na jednu otáčku hřídele hnaného. Převod  $i=0,5$  znamená, že hnací hřídel vykoná půl otáčky na jednu otáčku hřídele hnaného. Ve stejném poměru se zvýší – sníží velikost točivého momentu na výstupní straně převodu [3].

Jinými slovy vyššího převodového stupně je potřeba dosáhnout při nižších rychlostech a pro rozjezd vozidla, kdy je potřeba větší točivý moment. Naopak pro dosažení nejvyšší rychlosti vozidla je požadován nízký převodový poměr.

Při provozu vozidla je točivý moment při určitých aplikacích nutno zvýšit až na 20násobek, například při rozjezdu do kopce. Pro takový převodový poměr by ozubená kola byla rozměrově příliš velká a konstrukce převodové skříně by se tím značně komplikovala. Proto se kromě převodového poměru převodovky využívá i stálý převodový poměr, který obstarává rozvodovka s diferenciálem. Tento převod je neměnný a s převodovým poměrem převodovky se násobí. Tím dostáváme celkový převodový poměr mezi motorem a hnacími koly [3].

### 1.3 ÚČINNOST PŘEVODOVÉHO ÚSTROJÍ

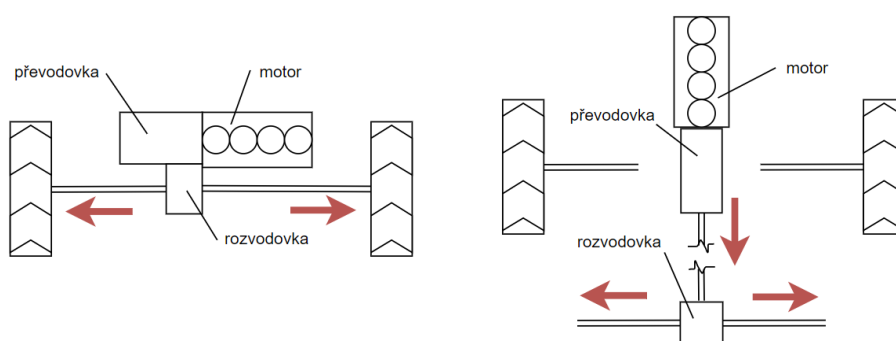
Ačkoliv přenesený výkon je teoreticky konstantní. V praxi vždy počítáme se ztrátami způsobenými například třením mezi ozubenými koly nebo třením v ložiscích. Stejně jako pro celkový převodový poměr se i účinnost jednotlivých komponent násobí. Pro výpočet účinnosti platí následující vztah [5]:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \% = \frac{\omega_2 M_2}{\omega_1 M_1} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

kde  $P$  je výkon,  $M$  je moment a  $\omega$  jsou otáčky na hřídeli. Celková účinnost převodovek pro osobní automobily se běžně pohybuje v rozmezí 85-90 %, přičemž by neměla klesnout pod uvedenou dolní hranici. Za dobrou převodovku se potom považuje převodové ústrojí s celkovou účinností vyšší jak 93 % [5].

### 1.4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PŘEVODOVEK

Důležitým faktorem při návrhu převodové skříně je zejména druh vozidla a pohonu. Na základě těchto parametrů se volí konstrukce a uspořádání převodovky. Uspořádáním převodové skříně se v tomto případě myslí její poloha ve vozidle nebo orientace vůči hnacímu ústrojí. U nynějších automobilů se lze setkat se dvěma nejběžnějšími koncepcemi, kde je převodovka umístěna buďto s motorem napříč, nebo je uložena podélně za ním. Spolu s vnějšími rozměry je uspořádání důležité například při adaptování již existující konstrukce do různých vozidel.



Obr. 3 Uspořádání převodovky v automobilu vzhledem k motoru

Jak už bylo naznačeno, převodovka má několik základních funkcí. Podle toho, jak jsou tyto funkce vykonávány lze převodovky rozdělit konstrukčně. Například rozjezd automobilu lze řešit několika způsoby. Jeden z nejběžnějších je mechanicky (pomocí třecí spojky), ale existují i konstrukce fungující na principu hydraulickém či elektromechanickém [1].

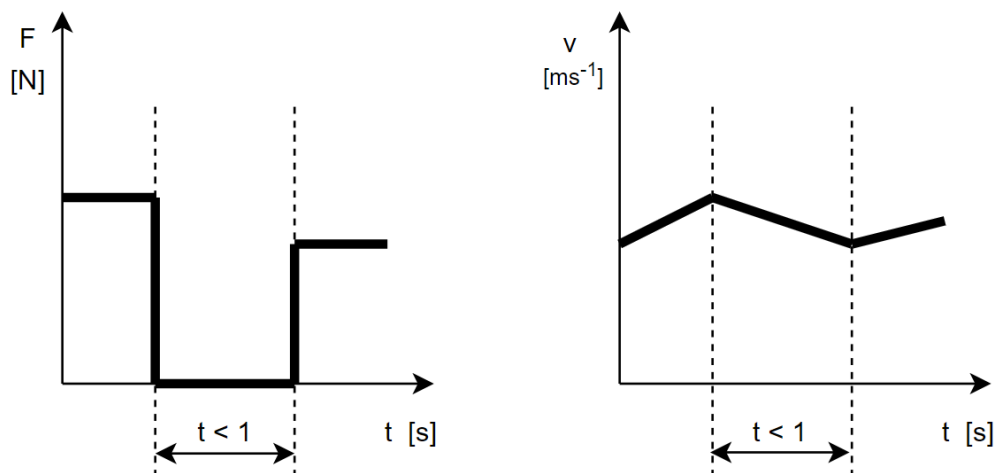
Další funkcí je změna převodového poměru. Této změny je v převodovkách osobních automobilů dosaženo pomocí čelních ozubených kol, planetových soukolí, nebo ocelovým pásem či řetězem pro plynulou změnu převodu.

Pro širokou veřejnost zřejmě nejznámější rozdělení, je na takzvané „manuály“ a „automaty“. Toto členění vyjadřuje stupeň automatizace volby převodového stupně a je jedním z hlavních kritérií zákazníků při výběru automobilu.

- Manuální – rychlostní stupeň volí řidič pomocí řadicí páky, spojku ovládá manuálně
- Automatické – řidič pouze reguluje rychlost vozidla a volí jízdní režim, volba rychlostního stupně probíhá samočinně a obstarává ji řídicí jednotka

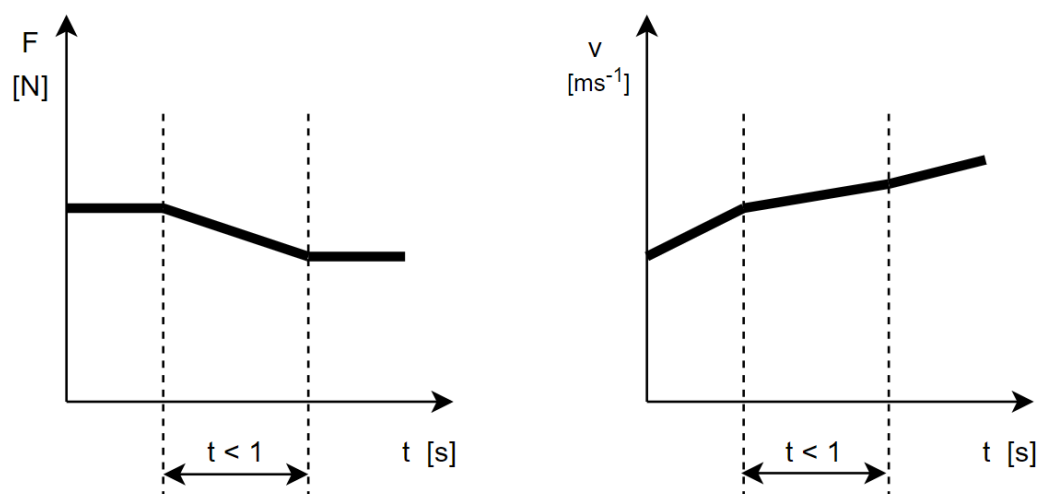
Většina dnešních automobilů s automatickou převodovkou umožňuje volit rychlostní stupeň i manuálně, a to většinou elektronicky za pomoci „pádel“ a tlačítek na volantu, nebo pákou voliče na středovém panelu. Převodovku v tomto režimu lze považovat za poloautomatickou.

Řazení rychlostních stupňů lze provést několika způsoby. Jedním z nich je řazení bez zatížení. Tedy během operace řazení je úplně přerušeno přenos točivého momentu od motoru do převodovky například pomocí spojky. To způsobuje ztrátu rychlosti a je proto nutné, aby řazení probíhalo co možná nejrychleji [1].



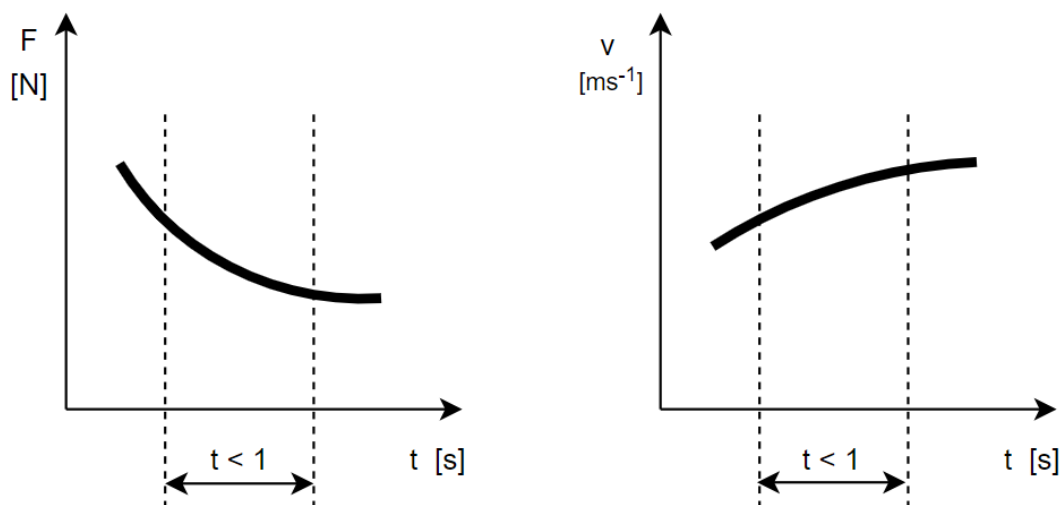
Obr. 4 Průběh trakční síly (vlevo) a rychlosti vozidla (vpravo) při řazení bez zatížení [1]

Dalším řešením je řazení pod zatížením. Jak už z názvu plyne, nedochází k přerušení přenosu točivého momentu a tím pádem při řazení ani neklesá rychlost vozu. V tomto případě probíhá vyřazení jednoho převodového stupně a zařazení dalšího současně. Na tomto principu fungují například dvouspojkové převodovky [1].



Obr. 5 Průběh trakční síly a rychlosti vozidla při řazení pod zatížením [1]

Převodovky typu CVT mění převodový poměr nikoli stupňovitě, nýbrž plynule. Tato charakteristika přeměny výstupních parametrů je teoreticky nejideálnější, jelikož při ní nedochází ke ztrátám výkonu řazením [1].



Obr. 6 Průběh trakční síly a rychlosti vozidla při plynulé změně převodu [1]

## 2 PŘÍSLUŠENSTVÍ PŘEVODOVEK

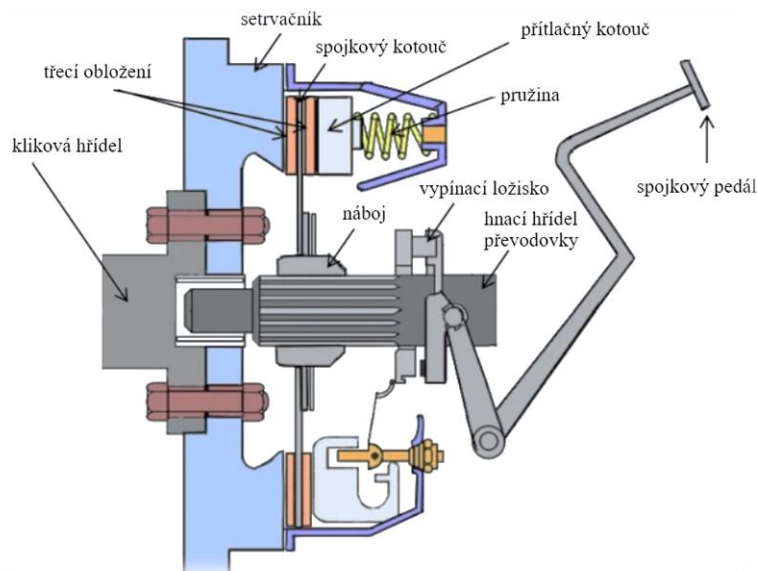
Součástí převodových systémů jsou i zařízení doplňující jejich funkci. Zde jsou zmíněny zejména zařízení pro přenos výkonu z motoru do převodovky a odtud na hnací kola. Ve většině dnešních automobilů s motorem napříč tvoří spolu s převodovkou jeden celek a jsou umístěny pohromadě v jedné skříni.

### 2.1 SPOJKY

Hlavní funkcí spojky, jak už ze samotného názvu plyne je spojení motoru s převodovkou. Většina konstrukcí dosahuje tohoto spojení výhradně třecí silou. U některých typů se využívá i dynamického účinku kapaliny, či elektromagnetických sil.

U třecích spojek přenos výkonu probíhá pouze třením. Hlavní veličinou pro výpočet spojky je přenášený točivý moment motoru. Přenosu většího výkonu lze dosáhnout zvětšením třecích ploch, což je vhodné pro zvýšení životnosti spojky. Zvětšením přítláčné síly lze dosáhnout menších rozměrů. Volba materiálu s vyšším koeficientem tření je v dnešní době velmi obtížná, jelikož moderní materiály obložení jsou na horní hranici třecího koeficientu. Používají se zejména kombinace kovu a obložení s měděnými dráty. V poslední době též materiály na keramické či uhlíkové bázi, které mají sice lepší vlastnosti, ale jsou dražší [3].

Typickým zástupcem je jednokotoučová suchá třecí spojka. Silový tok od klikového hřídele jde na setrvačnický spojovací kotouč s unášecím kotoučem. Talířová pružina přitlačí axiálně pohyblivý přítláčkový kotouč na těleso spojky a unášecí kotouč. Tím je vytvořené spojení motor – převodovka. Sešlápnutím spojkového pedálu dojde k odtlačení pružiny, a tudíž přerušeno silového toku [7].



Obr. 7 Schéma jednokotoučové třecí spojky [6]



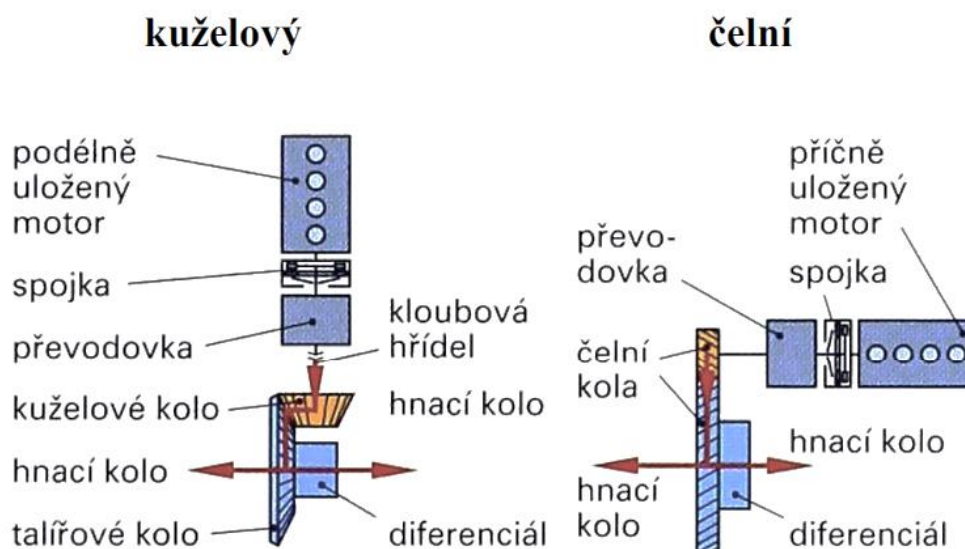
Pro přenos větších zatížení nebo kvůli menším rozměrům se používají i vícekotoučové spojky. Toto je případ hlavně u nákladních či sportovních vozů. Kromě suchých třecích spojek existují i mokré třecí spojky. Ty pracují v olejové lázni nebo v rozprášeném oleji, proto se lépe chladí a zvládnou vyšší zátěž na úkor ztráty části točivého momentu. Používají se zejména u motocyklů [7]. U osobních automobilů se s mokkými spojkami lze setkat u některých konstrukcích dvouspojkových převodovek.

Na odlišném principu funguje hydrodynamická spojka, jinak nazývána měnič točivého momentu z anglického torque converter. Používá se výhradně u automatických převodovek s planetovými soukolími a u některých typů převodovek s plynulou změnou převodu. Konstrukce a princip hydrodynamického měniče je blíže popsán v části 4.1.

## 2.2 ROZVODOVKA

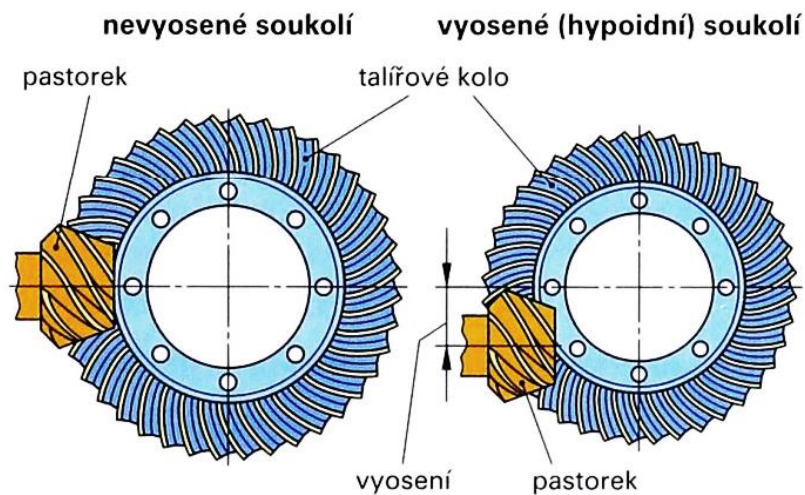
Rozvodovka se skládá ze soukolí stálého převodu a diferenciálu. Svou funkcí doplňuje částečně funkci převodovky a má velký vliv na jízdní vlastnosti vozidla. U moderních osobních automobilů se stálý převod s diferenciálem často slučuje do jednoho celku s převodovkou. Dosáhne se tím úspory místa a snížení hmotnosti.

Stálý převod osobního automobilu je v podstatě jednoduché soukolí zajišťující trvalé snížení otáček a zvýšení točivého momentu dodávaného na hnací kola. U osobních automobilů s předním pohonem a motorem uloženým napříč se používá čelní soukolí se šikmými zuby. V případě motoru uloženého podélně se používají soukolí kuželová [8].



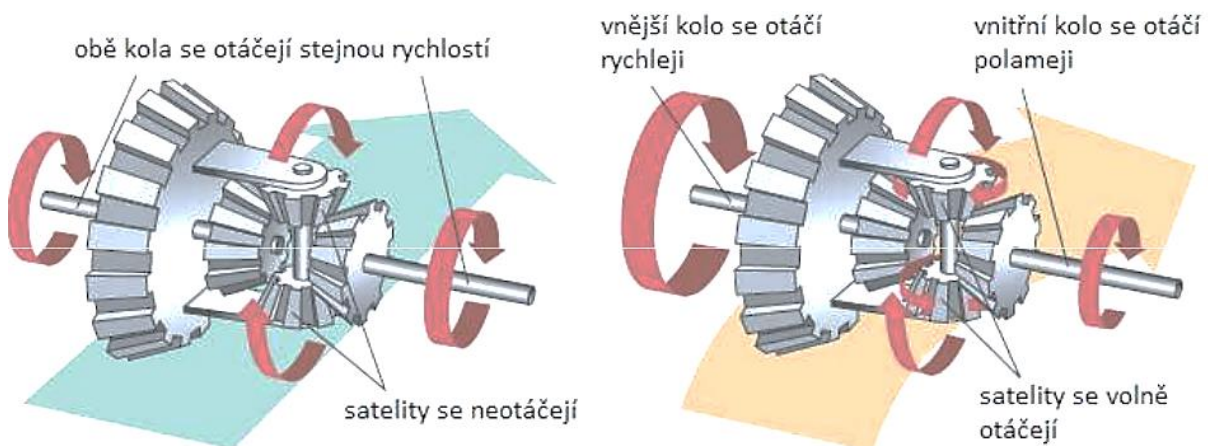
Obr. 8 Schéma kuželového a čelního stálého převodu [8]

Kuželové stálé převody mohou mít osy buďto různoběžné nebo mimoběžné (hypoidní). U těchto převodů se používá zakřivených ozubení typu Gleason, Klingenberg či Oerlikon. Výhodou hypoidního soukolí je vyšší únosnost při zachování stejných rozměrů [9].



Obr. 9 Kuželový stálý převod [8]

Diferenciál zajišťuje rovnoměrný přenos točivého momentu mezi obě kola nápravy v závislosti na jejich odporu valení. Opět rozdělujeme několik různých konstrukcí diferenciálu. V osobních automobilech se nejčastěji setkáme s kuželovým. Ten je tvořen symetrickým planetovým převodem s kuželovým soukolím [11].



Obr. 10 Princip činnosti diferenciálu [9]

Nevýhodou tohoto diferenciálu je vysoká mechanická účinnost, která se projevuje tím, že při odlehčení jednoho kola, například při rozjezdu na povrchu s výrazně nižší přilnavostí, dojde k přenesení většiny momentu na toto kolo. Z toho důvodu se využívá různých způsobů k omezení svornosti diferenciálu. Nejjednodušším řešením je zablokování planetových kol vůči sobě mechanickou uzávěrkou ovládanou řidičem [3].

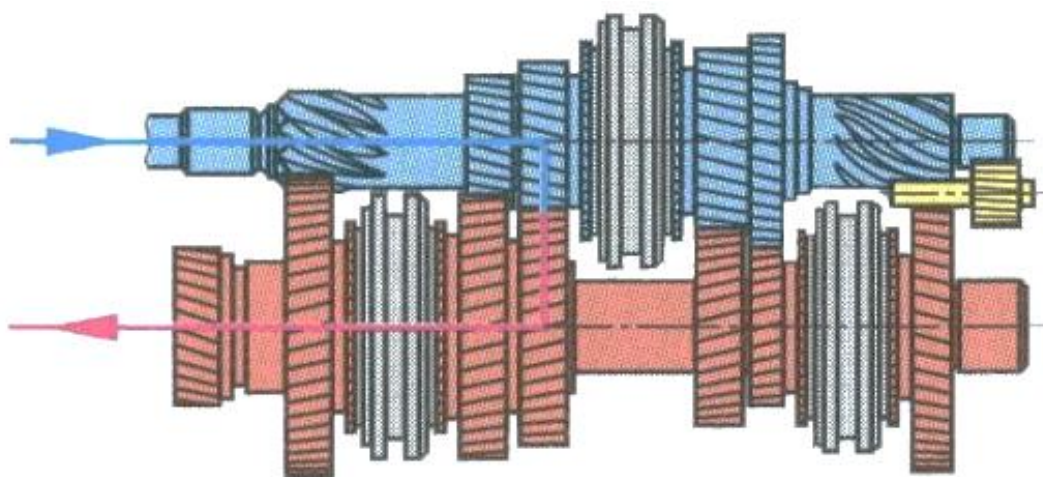
Existují i diferenciály samosvorné. Ty omezují svornost mechanicky pomocí třecí spojky či hydraulicky brzděním planetových kol vůči sobě. Velikost brzdící síly udává svornost, která se vyjadřuje v procentech. Při 100% svornosti je činnost diferenciálu nulová, což znamená úplné zablokování planetových kol vůči sobě. Dnešní elektronické systémy dokážou řídit svornost diferenciálu automaticky podle okamžitých provozních podmínek [3].

### 3 MANUÁLNÍ PŘEVODOVKY

Mechanické manuální převodovky jsou v Evropě stále nejrozšířenějším typem převodových ústrojí. Jejich výroba je v porovnání s jinými konstrukcemi relativně levná. Dnešní osobní automobily mají zpravidla minimálně pětistupňové převodovky, které dokážou udržovat chod motoru v optimálních otáčkách. U výkonnějších motorů se využívají šestistupňové a v některých případech (například Porsche 911 8. generace) dokonce sedmistupňové manuální převodovky [12]. Vyšší počet převodových stupňů zajišťuje optimálnější chod motoru při různých provozních podmínkách na úkor vyšší ceny, větších rozměrů a komplexnosti. Z pohledu konstrukce lze rozdělit manuální převodovky pro osobní automobily na dvouhřídelové a tříhřídelové.

#### 3.1 DVOUHŘÍDELOVÉ PŘEVODOVKY

Dvouhřídelové převodovky jsou typické pro přední pohon s motorem napříč. Skládají se ze dvou hřídelů, hnacího, na který je přes spojku přenesen výkon od motoru a hnaného, odkud je výkon přenesen přes rozvodovku na hnací kola [10].



Obr. 11 Schéma dvouhřídelové převodovky [14]

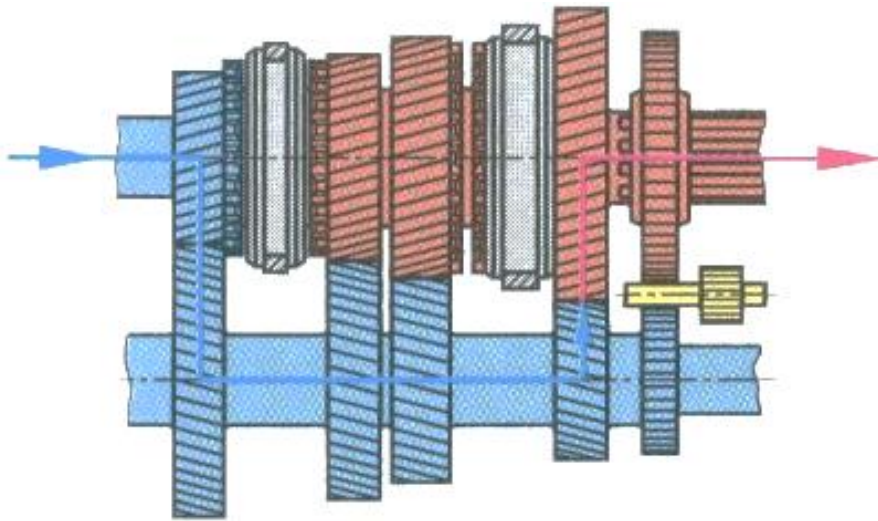
Tyto hřídele jsou uloženy rovnoběžně vedle sebe. Ozubená kola jsou neustále v záběru, kde jedno z kol je pevně spojeno s hřídelem pomocí vnitřního drážkování a protilehlé kolo převodového stupně je uloženo volně společně se zubovou spojkou. Na konci hnaného hřídele bývá pastorek stálého převodu rozvodovky [14].

#### 3.2 TŘÍHŘÍDELOVÉ PŘEVODOVKY

Tříhřídelové převodovky se používají u vozidel s motorem vpředu a pohonem zadních kol, tedy zejména u většiny sportovních vozů [14]. Princip fungování je stejný jako u dvouhřídelových převodovek. Rozdíl je v tom, že hnací a hnaný hřídel leží v jedné ose a jsou doplněny o třetí předlohový hřídel. Ten je trvale poháněn hnacím hřídelem pomocí stálého převodu. Z předlohového hřídele se výkon přenáší pro jednotlivé stupně příslušným



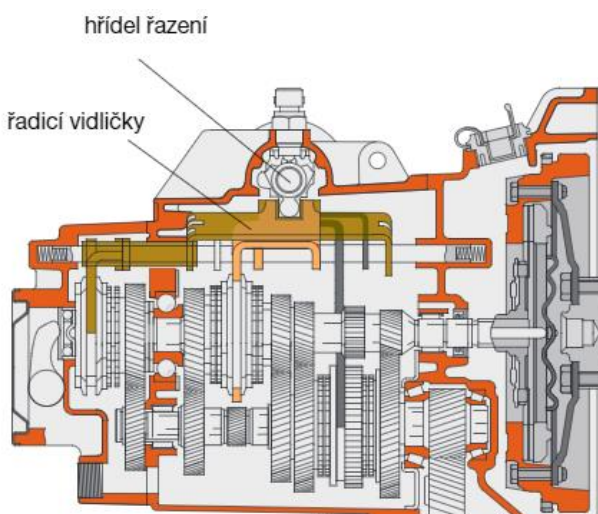
párem kol na hřídel hnaný. Ozubená kola na předlohovém hřídeli jsou s ním pevně spojena, zatímco protilehlá kola na hřídeli hnaném jsou uložena volně.



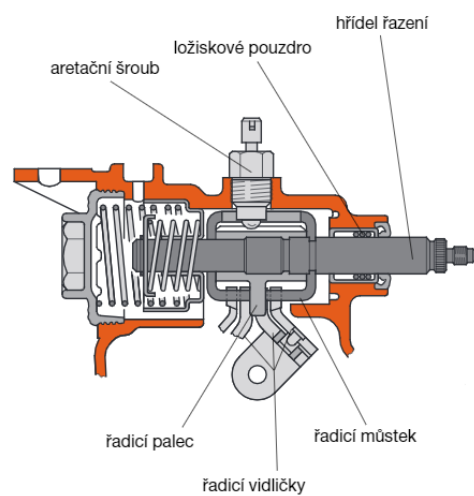
Obr. 12 Tříhřídelová převodovka [14]

### 3.3 ŘAZENÍ RYCHLOSTNÍCH STUPŇŮ

Proces zařazení daného stupně v manuální převodovce je zajištěn pomocí řadicího mechanismu. Princip je stejný u dvou i tříhřídelových převodovek. Jedním z běžných konstrukčních řešení řadicího mechanismu je řazení pomocí řadicích vidlic, tyčí a řadicího hřídele. Řadicí vidlice je trvale vsunuta do vnější drážky objímky synchronizace a na druhé straně uložena na řadicí tyči. Při volbě rychlosti se pohybuje hřídel řazení s řadicím palcem v axiálním směru. Při řazení rychlosti se řadicí palec spolu s hřídeli otáčí a tím posune příslušnou vidlici [13].



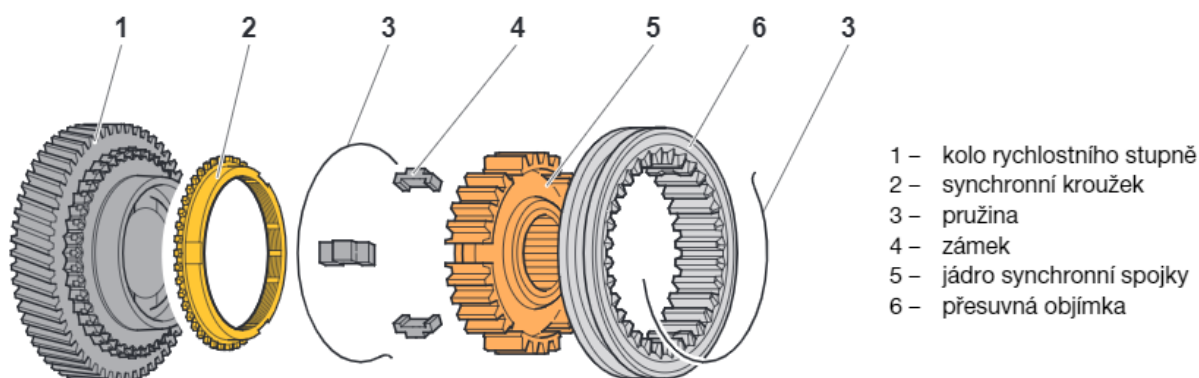
Obr. 13 Mechanická převodovka 02K [13]



Obr. 14 Hřídel řazení [13]

### 3.4 SYNCHRONIZACE

Aby bylo možné jednotlivé převodové stupně hladce a bezhlučně zařadit, je nutné vyrovnat otáčky hřídele a příslušného kola. K tomuto účelu se využívá synchronizační spojka. Skládá se z jádra s vnitřním ozubením, synchronního kroužku a přesuvné objímky [3].



Obr. 15 Konstrukce převodovkové synchronizace [13]

Každé řazené ozubené kolo má na svém boku třecí kuželovou plochu a přidavné ozubení. Přenesením řadicí síly, dojde k vysunutí přesuvné objímky z její středové polohy. Vysunutí se přenesse na synchronní kroužek. Dojde ke styku třecího kužele synchronního kroužku s třecím kuželem kola rychlostního stupně. Kolo rychlostního stupně tak bude při řazení na vyšší rychlostní stupeň přibrzďováno a při řazení na nižší stupeň zrychlováno. K dalšímu posunutí přesuvné objímky dojde, jakmile se vyrovnají otáčky jádra synchronní spojky a kola rychlostního stupně. Jsou-li otáčky stejné, zapadne přesuvná objímka do řadicího ozubení. Tím je zajištěn přenos točivého momentu [13].

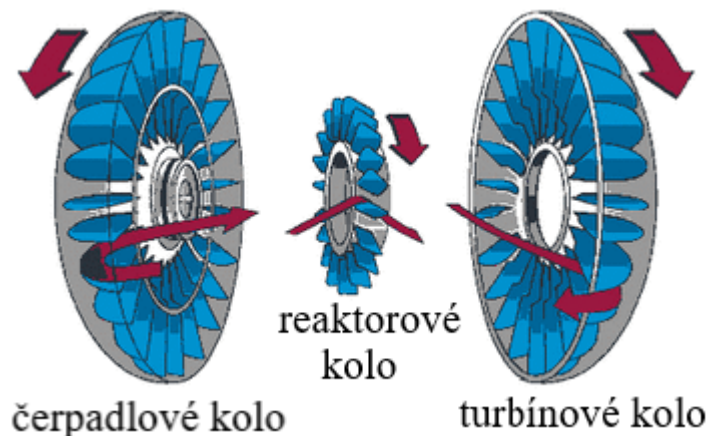
## 4 AUTOMATICKÉ PŘEVODOVKY

Řazení správných převodových stupňů ve správnou dobu představuje v dnešní době pro některé řidiče bez technického citu stále větší problém. Nejen kvůli tomu, ale například i kvůli většímu jízdniému komfortu se využívají samočinné převodovky.

Automatické řazení lze řešit několika způsoby. Pro automatizaci klasické manuální převodovky se využívá servomotorů, jež ovládají jak funkci spojky, tak řazení jednotlivých rychlostních stupňů převodovky [4]. Toto řešení se stalo oblíbeným zejména z hlediska ceny, jelikož lze dostat plně automatickou, relativně jednoduchou, převodovku s podstatně nižšími náklady. Nicméně je zde řazení ovládáno elektronicky řídicí jednotkou, která se snaží předpovědět chování řidiče, což v praxi znamená ztrátu jízdniého komfortu, kvůli občasnému přeražení v nevhodný okamžik [16]. Diskomfort je u těchto převodovek také zčásti způsoben tím, že je zde při řazení, stejně jako u manuálních převodovek, nutné přerušit přenos točivého momentu. Tento problém eliminuje použití hydrodynamického měniče momentu s planetovými soukolími. Konstrukce s hydrodynamickým měničem byla a stále je nejpoužívanějším řešením pro automatické převodovky [4].

### 4.1 HYDRODYNAMICKÝ MĚNIČ MOMENTU

Toto zařízení plní u automatických převodovek funkci kapalinové spojky a zároveň násobí točivého momentu. Hydrodynamický měnič se skládá ze tří kol s radiálními lopatkami uzavřenými v kapalinou naplněné skříni. Je to kolo čerpadlové, pevně spojené s klikovým hřídelem motoru. Kolo turbínové spojené se vstupním hřídelem převodovky a kolo reaktorové opatřené jednosměrným ložiskem a zakřivenými lopatkami [18].



Obr. 16 Hydrodynamický měnič momentu [15]

Při běhu motoru je vlivem odstředivé síly kapalina vhnána mezi lopatkami čerpadlového kola na jeho obvod, odkud je dále usměrněna na lopatky turbínového kola. Kinetická energie kapaliny roztáčí turbínu a tím dojde k přenosu točivého momentu do převodovky. Kapalina proudí dále na reaktorové kolo, kde je proud kapaliny zakřivenými lopatkami změněn zhruba o 90°, čímž vzniká reakční síla, která zvyšuje točivý moment turbíny [18]. Čím více jsou lopatky zakřivené, tím většího znásobení momentu lze dosáhnout, což má však i své meze. V praxi se dosahuje dvou až trojnásobného zvýšení kroutícího momentu [4].

Problémem u hydrodynamického měniče je skluz kapaliny, ke kterému dochází prakticky neustále a dochází tak ke snížení celkové účinnosti. Zatímco při startu zajišťuje tato vlastnost plynulý rozjezd, při vyšších rychlostech dochází ke ztrátám energie a zvýšení spotřeby. Tento problém lze eliminovat přemostěním měniče klasickou třecí spojkou, kterou dnes disponují již téměř všechny nové automatické převodovky [4].

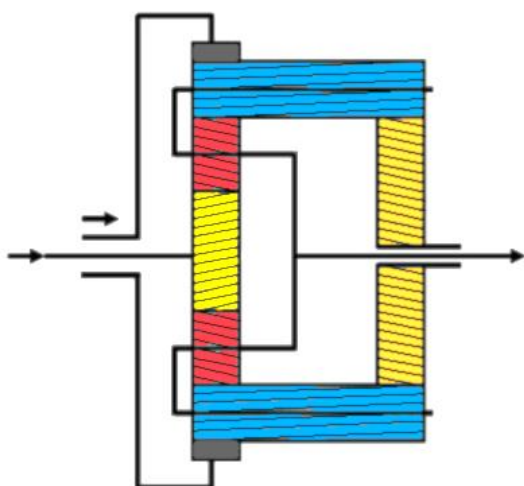
Podle německé firmy LuK, která se zabývá výrobou a vývojem spojek nebude hydrodynamický měnič točivého momentu ani v budoucnu zcela vytlačený alternativními koncepty a vývoj stávajícího systému skládajícího se z měniče a převodovky bude pokračovat [7].

## 4.2 KONSTRUKCE AUTOMATICKÉ PŘEVODOVKY

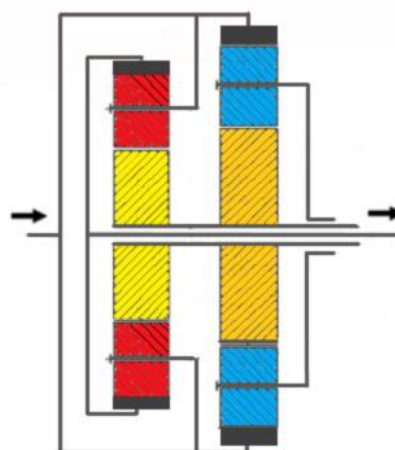
Hlavními částmi převodového ústrojí jsou hnací a hnaný hřídel, které jsou u automatických převodovek vždy uloženy v jedné ose. Jednotlivých převodových poměrů je dosaženo pomocí planetových soukolí, jejichž hlavní výhodou je dosažení velkých převodových poměrů při relativně kompaktních rozměrech soukolí [17].

Planetové soukolí tvoří centrální kolo s vnějším čelním ozubením uložené na hřídeli, satelity s čelním vnějším ozubením jsou spojeny s unašečem a trvale v záběru jak s centrálním kolem, tak s kolem korunovým, které má vnitřní čelní ozubení [17]. Jednoduché planetové soukolí je pro použití v automatické převodovce nevyhovující, zejména kvůli nevhodnému odstupňování rychlostních stupňů a nutnosti přepínání výstupu točivého momentu. Z toho důvodu se používá více soukolí za sebou, nebo složená planetová soukolí typu Simpson, či Ravigneaux [20].

Planetové soukolí Ravigneaux je složeno ze dvou planetových soukolí, které mají společné korunové kolo a unašeč satelitů, jenž zároveň funguje jako výstup. Vstup momentu je na první centrální kolo nebo na korunové kolo [20].



Obr. 17 Složené soukolí typu Ravigneaux [20]



Obr. 18 Složené soukolí typu Simpson [20]

Planetové soukolí Simpson má oproti tomu uložená obě centrální kola na společném hřídeli, dvě sady satelitů, dvě korunová kola a dva unašeče, z nichž jeden je pevně spojen s korunovým kolem druhého soukolí [20].

Planetové soukolí se vyrábí se šikmými zuby a je výrobně dražší v porovnání s klasickým soukolím u manuálních převodovek, protože se musí vyrábět s vyšším stupněm přesnosti. To vzhledem k více současně zabírajícím kolům zajišťuje zachování dobré mechanické účinnosti [17].

Součást automatické převodovky, respektive její řadící mechanismus tvoří několik třecích lamelových spojek a třecích brzd. Ty jsou ovládány pomocí tlakového oleje systémem hydraulických ventilů. V moderních „automatech“ to jsou převážně solenoidové ventily ovládané řídicí jednotkou [17].

### 4.3 ZPŮSOB ŘAZENÍ V AUTOMATICKÉ PŘEVODOVCE

Vzhledem k vlastnosti planetových převodů má vždy jedno z kol či unašeč funkci vstupního člene, jedno je stacionární, nebo volně otočné a jedno funguje jako výstupní člen. Řazení jednotlivých rychlostních stupňů v automatické převodovce probíhá sepínáním právě zmíněných třecích spojek a brzd, které umožňují přenos výkonu na jednotlivé členy soukolí, nebo jejich zablokování. Princip činnosti lze vysvětlit na schématu (obr. 19) a pomocí tabulky Tab. 1.

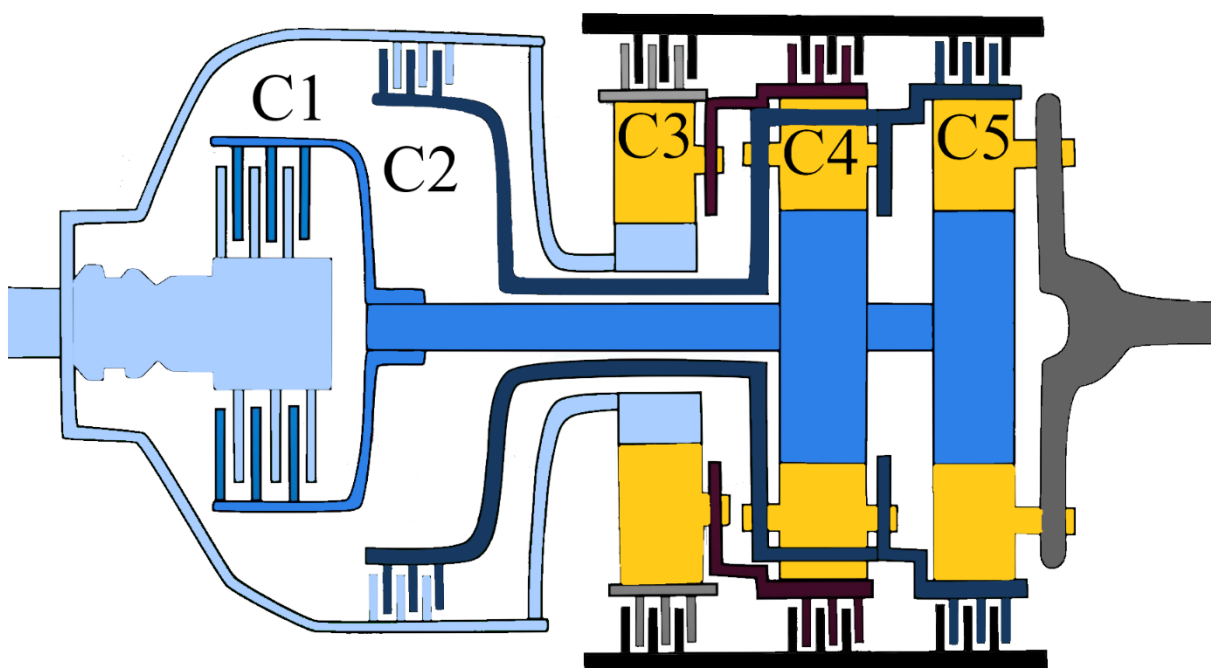
Tab. 1 Poloha spojek planetové převodovky pro jednotlivé rychlosti

Rychlostní stupeň	Spojka				
	C1	C2	C3	C4	C5
1.	+	-	-	-	+
2.	+	-	-	+	-
3.	+	-	+	-	-
4.	+	+	-	-	-
5.	-	+	+	-	-
6.	-	+	-	+	-
R	-	-	+	-	+

Pozn.: + spojka sepnutá; - spojka vypnutá

Například sepnutím spojky C1, tím dojde k přenosu výkonu na centrální kola, a zablokováním korunového kola spojkou C5 dosáhneme prvního rychlostního stupně. Pro přeřazení na druhý stupeň řídicí jednotka vypne spojkou C5 a zároveň dojde k sepnutí spojky C4. Takto převodovka řadí pod zatížením i všechny ostatní převodové stupně, kromě zpětného chodu. V tomto případě čtvrtý převodový stupeň představuje převod 1:1, kdy se korunové i centrální kolo, a tudíž i unašeč otáčejí stejnou úhlovou rychlostí [19].





Obr. 19 Schéma planetové převodovky [19]

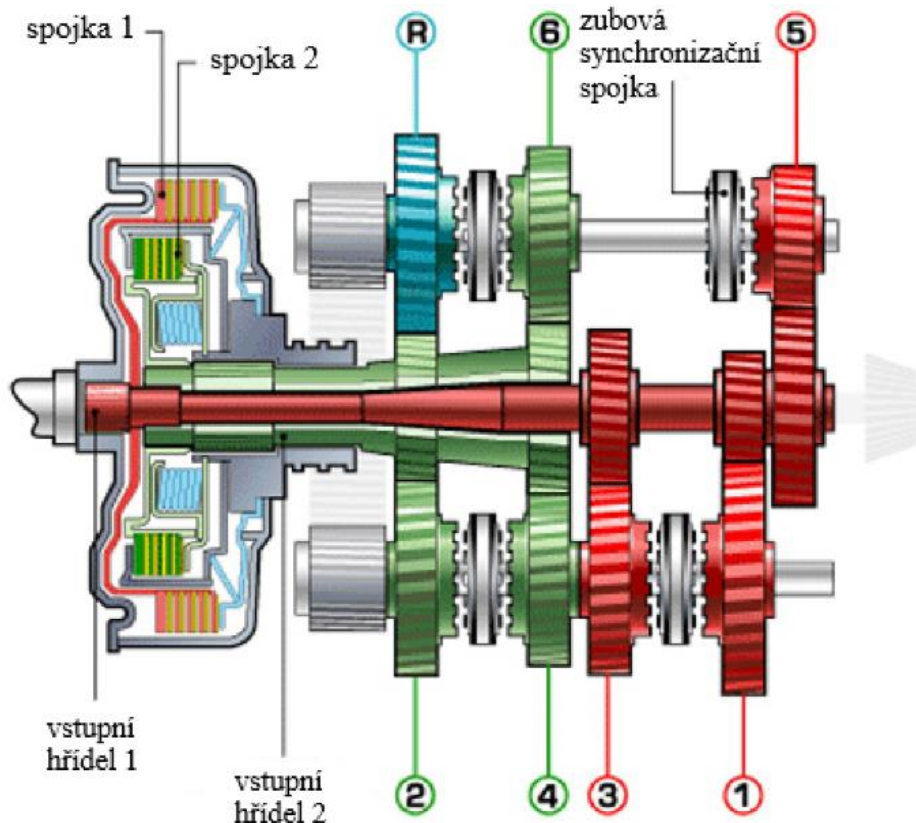
Existuje mnoho různých typů automatických převodovek, jelikož každý výrobce volí vlastní uspořádání podle vlastních požadavků, jimiž může být například počet převodových stupňů nebo orientace převodovky v automobilu vzhledem k požadovanému typu pohonu. Mezi největší výrobce patří firmy ZF, Allison, a Aisin, ale i několik automobilek jako například Toyota, GM, Ford nebo Mercedes-Benz.

## 5 DVOUSPOJKOVÉ PŘEVODOVKY

Patent na dvouspojkovou převodovku získal již v roce 1939 Adolphe Kegresse, avšak do automobilu se dvouspojková převodovka dostala až v 80. letech. Využívalo je Porsche ve svých závodních speciálech a později i Audi v modelu Sport Quattro S1. Hlavně díky moderní elektronice a hydraulice bylo možné dvouspojkové převodovky začít používat pro klasické osobní automobily. Zejména za posledních 20 let prošli velkým vývojem a byly zavedeny do sériových modelů několika automobilkami [21].

### 5.1 KONSTRUKCE DVOUSPOJKOVÉ PŘEVODOVKY

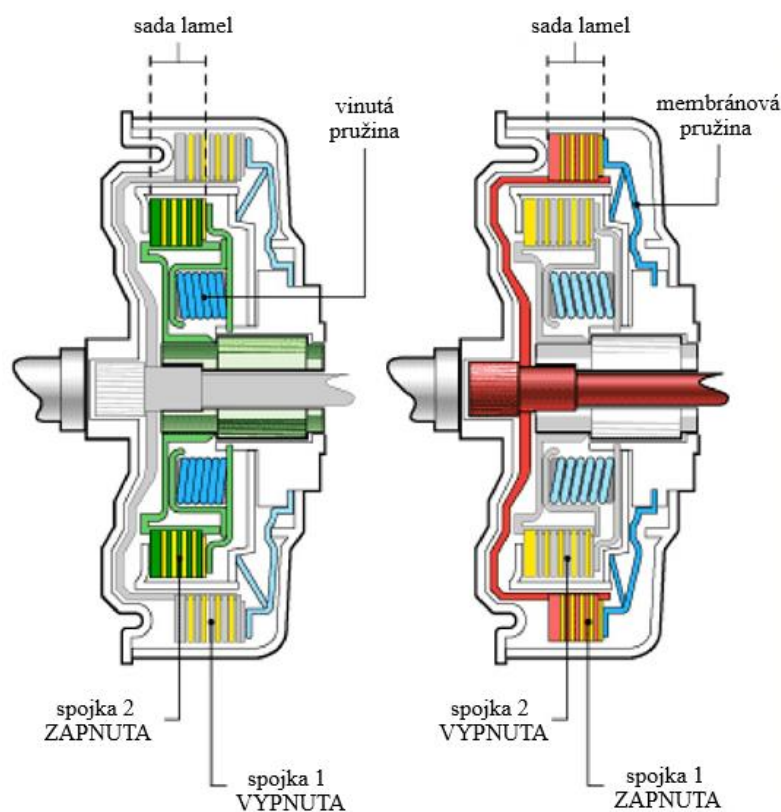
Základem dvouspojkové převodovky je dvojice paralelně uspořádaných převodovek, kterou tvoří dva hnací a dva hnané hřídele. Hnací hřídele jsou vloženy do sebe, tudíž jeden z hřídelů je vždy dutý. Uspořádání převodů je uskutečněno tak, že na jednom vstupním hřídeli jsou pouze liché převodové stupně a na druhém vstupním hřídeli naopak pouze sudé [21].



Obr. 20 Schéma dvouspojkové převodovky s paralelním uspořádáním [22]

Důležitou částí této převodovky je vícelamelová třecí dvojité spojky. Obě spojky v této konstrukci jsou soustředné, kde jedná má větší průměr než druhá, nebo jsou umístěny za sebou [4]. Lamelové kotouče pracují v olejové lázni, která zároveň chladí a maže, čímž je umožněna delší životnost spojky. Nevýhodou této konstrukce je potřeba neustále pohánět

olejové čerpadlo, což přispívá ke ztrátám výkonu. Využívá se i varianta se suchými spojkami, která je určena zejména pro slabší motory s nižším točivým momentem. Díky absenci olejové lázně lze dosáhnout vyšší účinnosti, a tudíž snížit spotřebu i emise CO<sub>2</sub> [21]. Absencí olejové lázně suché dvojité spojky trpí nadměrným opotřebením, vzdušnou korozí a občasným přehříváním, v praxi tak mají, za cenu vyšší účinnosti, nižší životnost [24].



Obr. 21 Schéma dvojité spojky [22]

## 5.2 PRINCIP ČINNOSTI DVOUSPOJKOVÉ PŘEVODOVKY

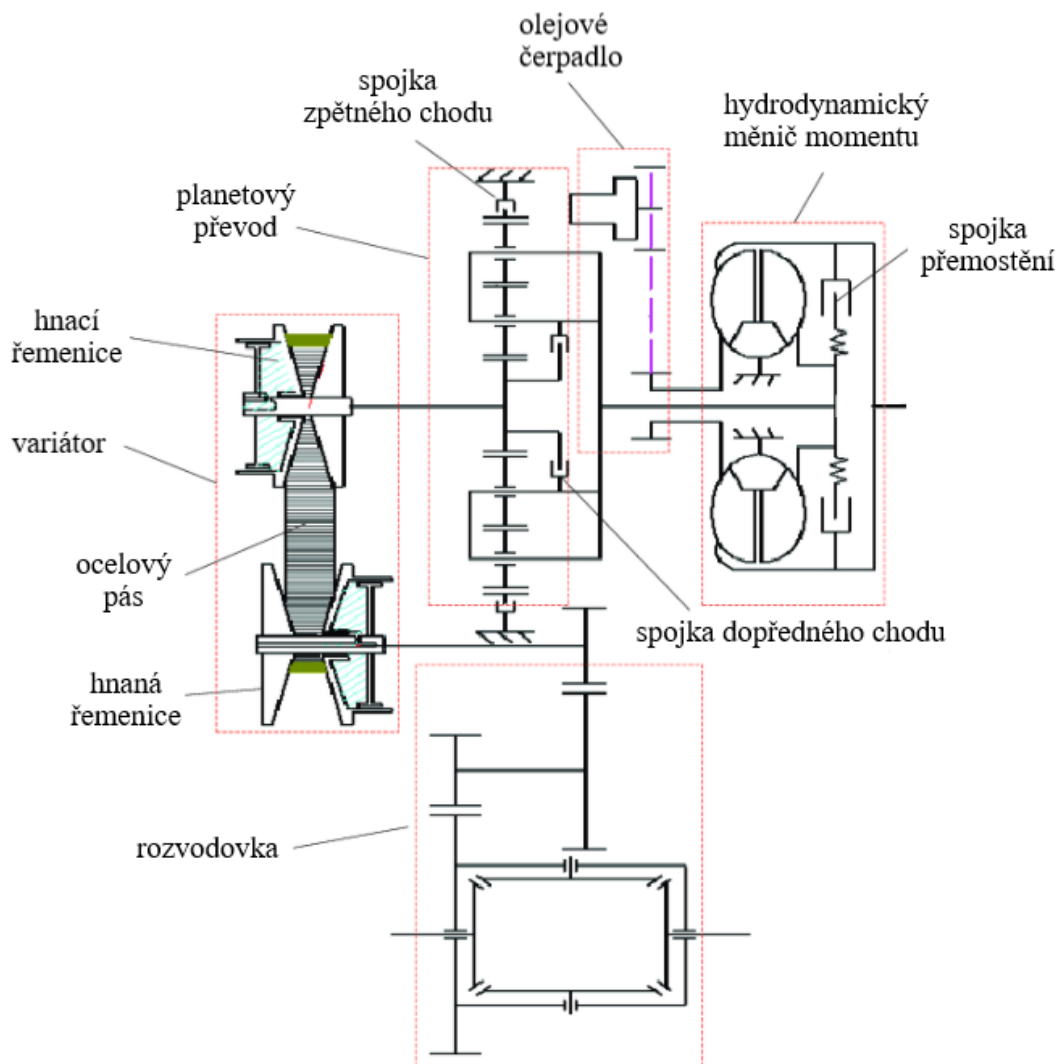
Dvouspojková převodovka kombinuje vysokou účinnost manuálních převodovek a komfort automatického řazení pod zatížením převodovek automatických. Řazení probíhá pomocí elektro-mechanického nebo elektro-hydraulického systému ovládaného počítačem. Na základě několika snímaných veličin, jako jsou například otáčky motoru nebo poloha plynového pedálu systém vyhodnotí, který převodový stupeň má zařadit. Při rozjezdu je zařazen první a druhý stupeň zároveň. Sešlápnutím plynového pedálu dojde k aktivaci spojky prvního stupně, zatímco soukolí druhého stupně běží naprázdno. Při procesu řazení dojde pouze k současnému vypnutí první spojky a sepnutí spojky druhého stupně. Po vypnutí oné první spojky systém automaticky zařadí a připraví další převodový stupeň. Naopak při brždění převodovka chystá nižší převodové stupně. Je-li potřeba, dokáže přeřadit i o více stupňů tak, že elektronika celou operaci rozdělí na dvě (například z šestého stupně nejdříve podřadí na pátý stupeň a posléze na druhý stupeň [23]).

## 6 PŘEVODOVKY S PLYNULOU ZMĚNOU PŘEVODU

Klasické převodovky, ať už manuální či automatické, mají pevně stanovené převodové stupně, což spalovacímu motoru ne vždy umožňuje chod v optimálním rozsahu otáček. Převodovky s plynulou změnou převodu neboli CVT, dokážou převodový poměr měnit plynule v celém rozsahu. Teoreticky jsou tak nejvhodnějším řešením převodu pro spalovací motory, nicméně plynulé změny převodu nelze dosáhnout pomocí ozubených kol, proto převodovky CVT používané v osobních automobilech přenášejí výkon zejména třením [1].

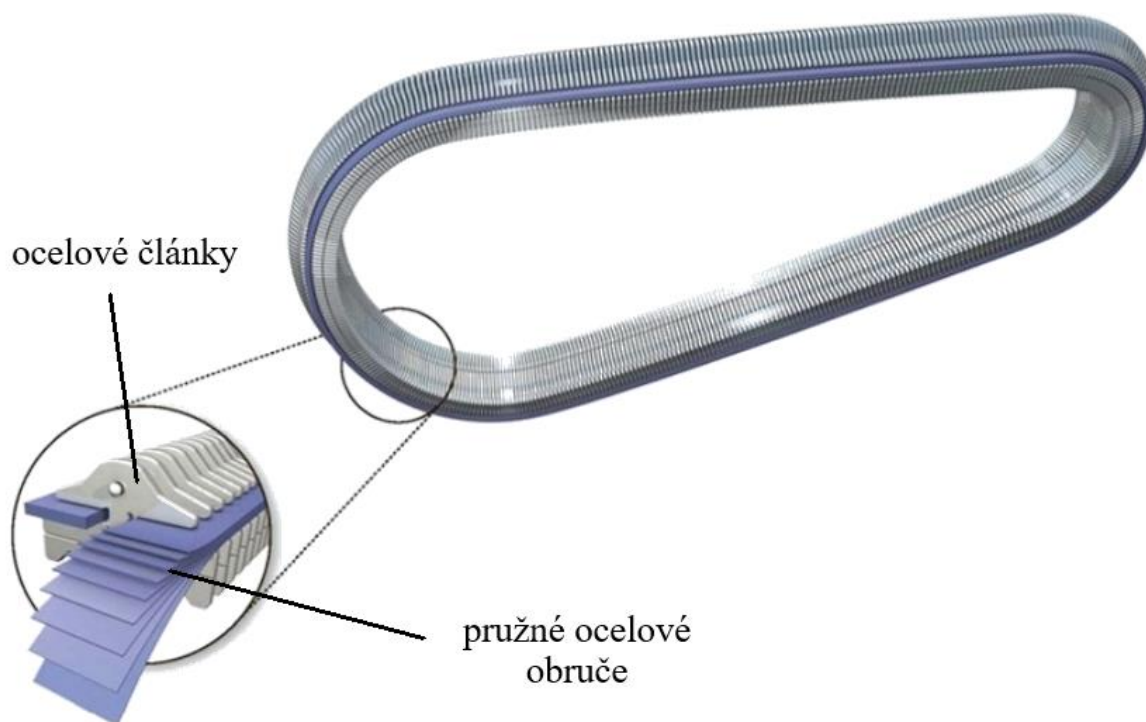
### 6.1 KONSTRUKCE CVT

V běžné konstrukci s ocelovým pásem je točivý moment přenášen přes hydrodynamický měnič a planetový převod, který funguje zároveň jako mechanismus zpětného chodu, dále na variátor. Ten se skládá ze dvou řemenic a ocelového pásu, který slouží k přenosu točivého momentu mezi hnací a hnanou řemenicí [30].



Obr. 22 Schéma převodovky CVT [30]

Řemenice se skládají ze dvou ocelových kuželových kol, z nichž jedno kolo z každého páru je pevně uloženo, zatímco druhé je axiálně posuvné. K nastavení řemenic se využívá hydraulický systém ovládaný řídicí jednotkou. Ta na základě okamžitých jízdních podmínek volí optimální převodový poměr. Kritickou částí převodovky je zmíněný ocelový pás, sloužící k přenosu výkonu. Ten se skládá z několika ohebných ocelových obručí, na kterých je navlečena sada ocelových článků [26].

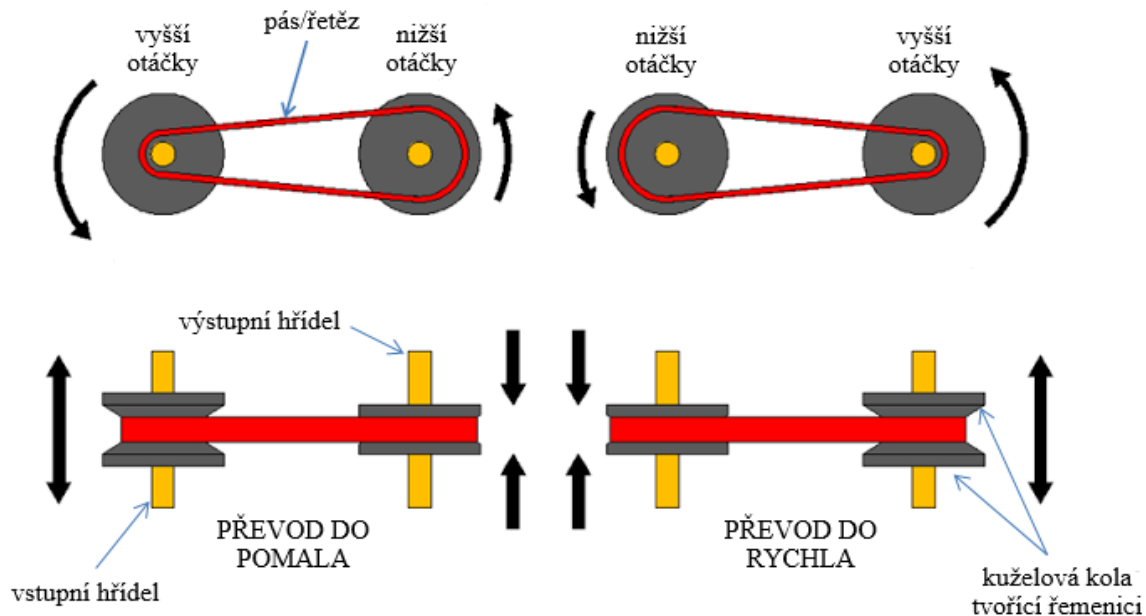


Obr. 23 Ocelový pás převodovky CVT [27]

Kromě ocelového pásu se u některých konstrukcích lze setkat s řetězy. Převodovka Multitronic ve vozech Audi a Seat využívá speciální lamelový řetěz, zatímco Mercedes-Benz pro svou převodovku Autotronic posuvný článkový řetěz [28]. Většina automobilek však od tohoto konceptu úplně ustoupila, výjimku tvoří například Subaru se svou převodovkou Lineartronic, která plošně nahradila dříve používané samočinné převodovky u většiny modelů této značky.

## 6.2 PRINCIP ČINNOSTI PŘEVODOVKY CVT

Požadované změny převodového poměru je dosaženo axiálním posunem vždy jedné poloviny řemenice pomocí hydrauliky. Posun obou pohyblivých částí musí být synchronizovaný, aby byl ocelový pás stále napnutý. Přiblížením nebo oddálením kuželových kol se mění aktivní průměr řemenic a tím i výsledný převod. Pro rozjezd je řemenice u motoru nejmenší, a tudíž celkový převod je největší. Při jízdě po dálnici je její oběžný průměr největší, takže celkový převod je nejmenší [29].



Obr. 24 Princip činnosti variátoru [25]

Schopnost plynulé změny převodu umožňuje motor neustále udržovat v optimálních otáčkách, a tak převodovky typu CVT dosahují nízké spotřeby paliva. Akcelerace při konstantních otáčkách ale může působit nepřírozně, proto jsou moderní převodovky CVT ve většině případů vybaveny virtuálními stupni, které simulují chování klasických stupňových převodovek.

### 6.3 SPECIÁLNÍ KONSTRUKCE CVT

V roce 2018 automobilka Toyota představila převodovku D-CVT (Direct shift Continuously Variable Transmission). Zde je klasická konstrukce převodovky CVT doplněna o převod pomocí ozubených kol, který převodovka využívá při rozjezdu automobilu a nižších rychlostech. Po dosažení určité rychlosti je kroutící moment motoru přenesen na variátor pomocí dvou spojek, podobně jako u převodovek DSG. Podle automobilky tím dosáhne mimo jiné většího rozsahu převodových poměrů a zlepšení spotřeby až o 6 % [31].

Na konci druhého tisíciletí uvedl Nissan na trh model převodovky Extroid CVT. Pracuje na stejném principu jako klasický variátor, avšak místo pásu nebo řetězu a řemenic využívá soustavu toroidních disků a kladek. Jeden z disků je připevněn na hnací hřídel, druhý na hřídel hnaný. K přenosu výkonu slouží kladky, které se otáčí kolem své osy a jejich naklápěním lze měnit převodový poměr. Tento typ převodovky umožňuje přenos větších točivých momentů a odstraňuje tak jednu z nevýhod klasických CVT, avšak praktická účinnost je vyšší až u prostorově větších provedení, proto se u osobních automobilů neuchytili, ale jsou nadále využívány v zemědělské a stavební technice [32].



## 7 PŘEVODOVKY ELEKTRICKÝCH A HYBRIDNÍCH POHONŮ

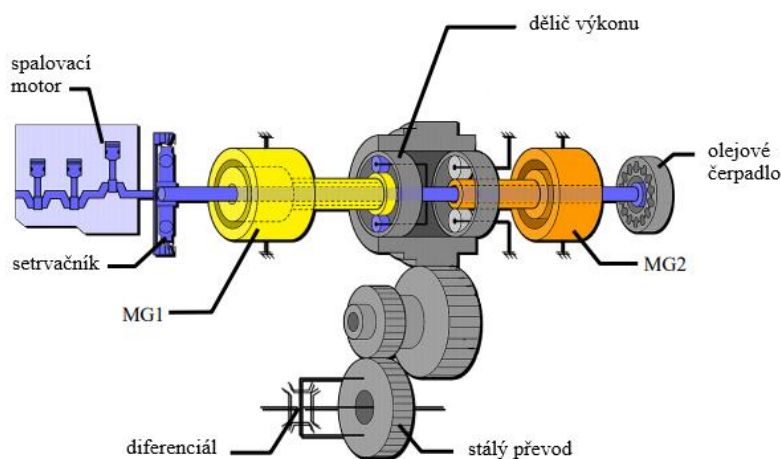
Kvůli globálnímu oteplování je zejména v Evropě vyvíjen stále větší tlak na automobilní průmysl. Automobilky jsou nuceny splňovat přísné emisní normy a legislativa Evropské unie je tak jednou z hlavních příčin rozvoje alternativních pohonů. To sebou přináší i potřebu vývoje nových převodových ústrojí, ale i optimalizaci těch stávajících.

Čistě elektrická vozidla, nebo sériové hybridy, jelikož ke svému přímému pohonu používají elektrický motor, nevyžadují vícestupňovou převodovku. Místo toho se u těchto vozidel využívá jednoduchá jedno-rychlostní redukční převodovka. Toto řešení omezuje buďto akceleraci, nebo maximální rychlost, proto několik výrobců jako ZF nebo GKN vyvíjí vícestupňové převodovky pro sportovní vozy. Důvodem je, stejně jako u spalovacích motorů, optimálnější výkon při větším rozsahu rychlostí [33]. S dvoustupňovými převodovkami se lze setkat například u sériově vyráběných modelů Porsche Taycan turbo S, nebo BMW i8. Závodní speciály formule-E využívají dokonce třístupňové převodovky.



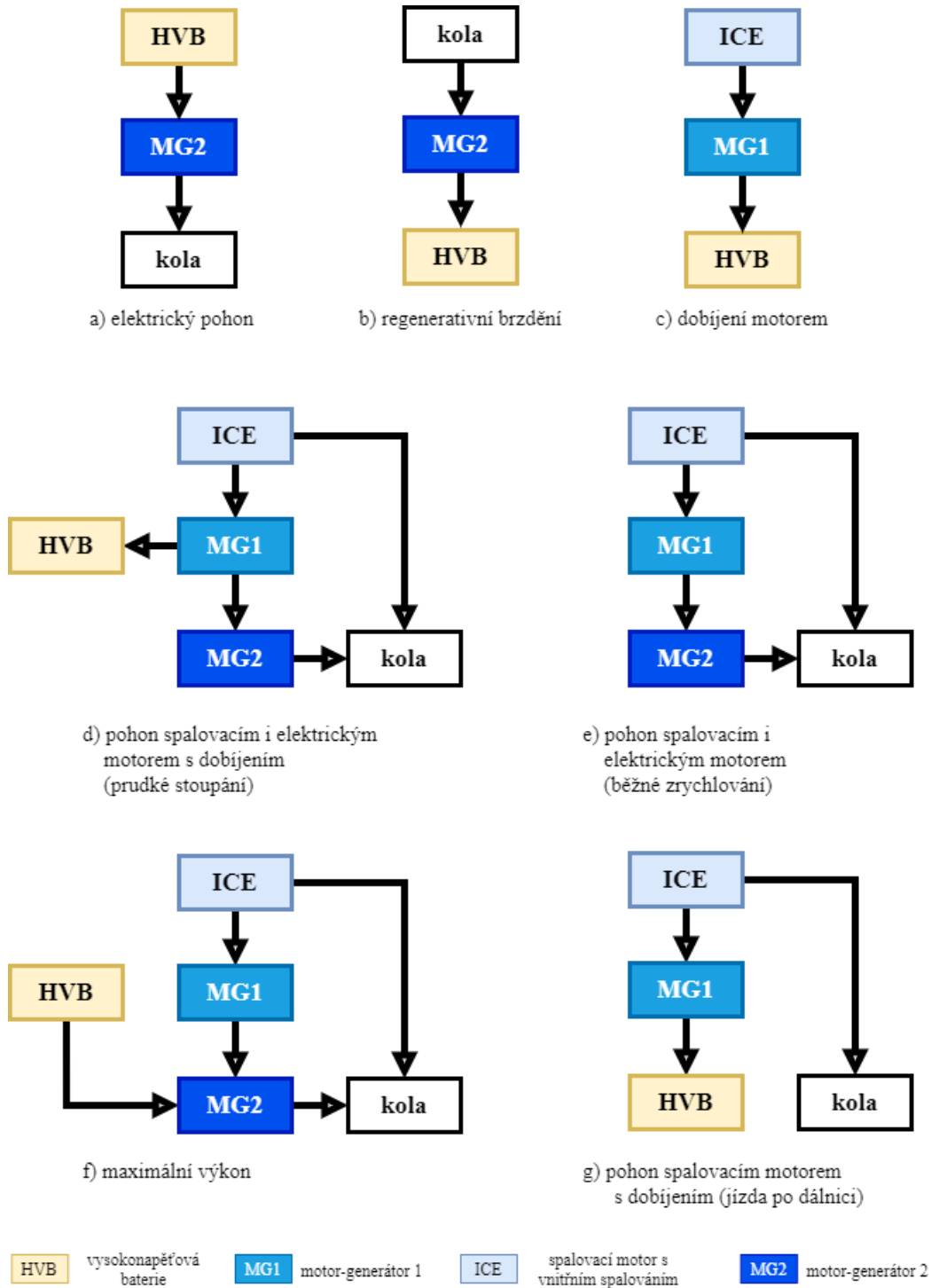
Obr. 25 Převodová ústrojí elektrických vozidel [34]

Paralelní hybridní automobily jsou většinou vybaveny klasickými převodovkami CVT nebo DSG s modifikacemi umožňujícími připojení elektromotoru. U některých hybridních vozidel se používají takzvané elektricky variabilní převodovky EVT [36].



Obr. 26 převodovka EVT [35]

Automobilka Toyota, jenž s tímto konceptem přišla jako první označuje svůj systém jako Hybrid Synergy Drive. Skládá se ze dvou elektromotorů (MG1, MG2) a planetového soukolí, které funguje jako dělič výkonu. MG1 nahrazuje funkci startéru a alternátoru, zatímco MG2 slouží jako pohon kol [35]. Princip děliče výkonu a jednotlivé jízdní režimy jsou vidět na obrázku 27.



Obr. 27 Schéma rozdělení výkonu u systému HSD

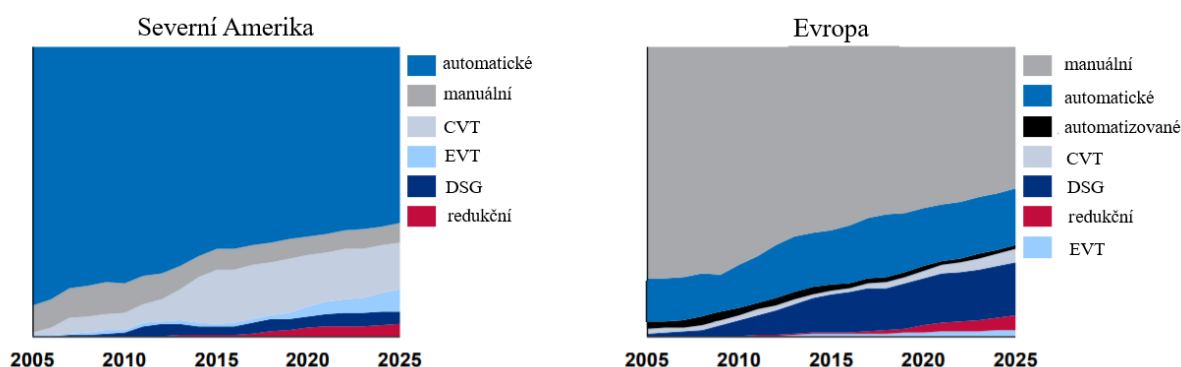


## 8 VÝVOJOVÉ TRENDY PŘEVODOVEK

Zastoupení jednotlivých konstrukcí je jiné na všech trzích po celém světě. V zájmu všech výrobců převodovek je prozkoumat trh a odhadnout směr, jakým se bude vyvíjet poptávka po různých typech pohonů a s nimi spojených převodových ústrojí. Na základě těchto odhadů lze předpovědět, u jakých konstrukcí může v nejbližší době dojít k významnějšímu technologickému pokroku.

Elektrifikace by se mimo jiné měla dotknout i řadicích mechanismů a ovládání spojky. Čistě mechanické ovládání, ale i hydraulika už je dnes na ústupu a do budoucna se počítá více s elektrohydraulickými, či elektromechanickými systémy. V případě samotných spojek, využívaných u převodovek DSG, je pravděpodobné, že se budou nadále využívat obě varianty se suchou i mokrou spojkou. Suché primárně pro vozidla nižších výkonnostních a cenových kategorií, mokré pro automobily střední a vyšší třídy [34].

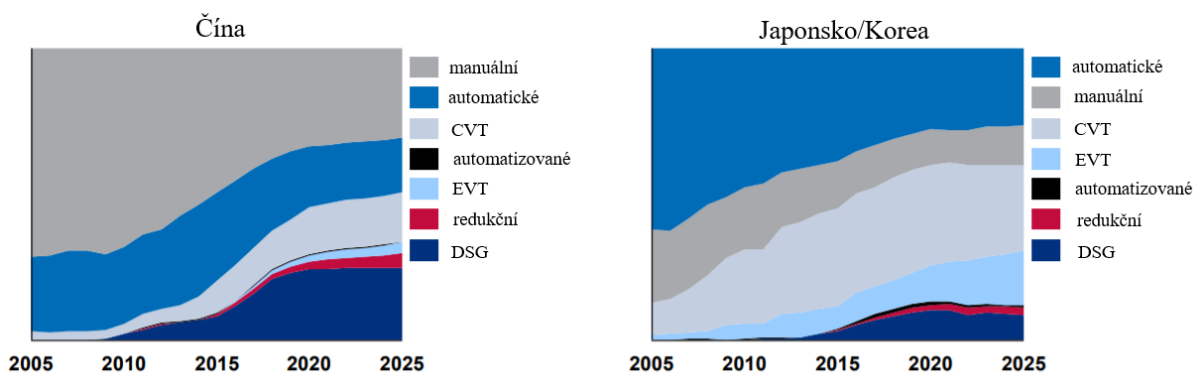
Detaily jednotlivých průzkumů, zejména v hodnotách dat, se mírně liší, avšak v několika základních bodech lze najít shodu. Na obrázku 28 a 29 jsou data uvedena firmou Ricardo v roce 2017.



Obr. 28 Zastoupení konstrukcí na trhu podle regionu [34]

V Severní Americe je dlouhodobě největší poptávka po automatických převodovkách s hydrodynamickým měničem. Vyšší spotřeba a větší produkce emisních plynů zatím není tamní legislativou tak výrazně omezována jako v jiných částech světa. Nicméně snaha o snižování emisí může vést k vyšší poptávce po alternativních konstrukčních řešeních. Stále větší zájem je o převodovky typu CVT [34].

Na Evropském trhu je situace zcela odlišná. Manuální převodovky stále tvoří největší část trhu. Automatické převodovky s hydrodynamickým měničem se nabízejí spíše u luxusních modelů značek. Nicméně zájem o automatické převodovky stále roste a lze předpokládat, že na Evropském trhu bude díky vyšším nárokům na spotřebu a účinnost velký zájem hlavně o dvouspojkové převodovky [34]. Už dnes automobilka Škoda nabízí převodovku DSG u vybraných motorizací všech vyráběných modelů, vyjma plně elektrického modelu Škoda Enyaq iV.



Obr. 29 Zastoupení konstrukcí na trhu podle regionu [34]

Největším automobilovým trhem na světě je Čína. Podíl manuálních převodovek velice rychle klesá a největší investice jsou vkládány do vývoje dvouspojkových převodovek DSG. Dalším významnou část asijského trhu tvoří Japonsko a Korea. V obou zemích narůstá již několik let zájem o převodovky CVT na úkor klasických automatických převodovek s hydrodynamickým měničem. Snaha o přechod na alternativní paliva bude mít za následek hlavně navýšení zájmu o převodovky pro hybridní a elektrická vozidla [34].

## ZÁVĚR

Problematika převodových ústrojí je velmi rozsáhlá, proto aby práce určená pro čtenáře nejen z řad laické veřejnosti byla přehledná a zároveň obsahovala veškeré důležité informace, bylo zapotřebí prostudovat množství odborné literatury a internetových článků. Cílem bylo zároveň zhodnotit jednotlivé konstrukce na základě získaných vědomostí a poznatků.

Klasické manuální převodovky jsou oproti samočinným relativně levné, mají nižší hmotnost a jsou jednodušší na údržbu. Konstrukce těchto převodovek se za celou dobu jejich existence, zejména během posledních let, výrazně měnila. Byli navrženy převodovky s vyšším počtem rychlostních stupňů a čistě mechanické ovládání bylo nahrazeno elektrickým, hydraulickým, či kombinací těchto dvou systémů. Nicméně tyto převodovky začínají pomalu ustupovat samočinným převodovkám, kvůli jejich zlepšující se cenové dostupnosti a spolehlivosti.

Automatické převodovky s hydrodynamickým měničem jsou větší, těžší a dražší. Jejich vlastnosti se odvíjí téměř výhradně právě od hydrodynamického měniče, jehož použití má sice za následek vyšší spotřebu, ale nabízí nejhladší řazení a nejkomfortnější jízdu v porovnání s ostatními typy převodovek. I u těchto zařízení se vývoj zaměřil na zvýšení počtu rychlostních stupňů a snižování spotřeby přemostěním hydrodynamického měniče. Do budoucna se nejspíš stanou výsadou dražších limuzín a SUV, jelikož ve středním a nižším segmentu jsou stále více rozšířené dvouspojkové převodovky. Je to díky jejich nižší pořizovací ceně a nižší spotřebě paliva, která je podobná jako u manuálních převodovek.

Převodovky CVT nejsou vhodné v kombinaci se silnějšími motory, a tedy ani pro sportovní jízdu. Absence rychlostních stupňů má za následek nepřírozený hluk při akceleraci. Jejich předností je nízká spotřeba a při šetrném zacházení i dobrá spolehlivost. Díky tomu se rozšířili u hybridních automobilů.

Obecně lze říct, že vývoj nových převodových ústrojí se zaměřuje na zvýšení účinnosti a lepší efektivitu v kombinaci s daným spalovacím motorem. U odstupňovaných převodovek již nemá smysl navyšovat počet rychlostních stupňů a další pokrok bude spočívat nejspíš v optimalizaci ztrát třením a použití nových materiálů.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] LECHNER, Gisbert a Harald NAUNHEIMER. *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*. Berlin: Springer, 1999. ISBN 3-540-65903-X.
- [2] Why do we need gears? *X-engineer* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/drivetrain/transmissions/why-do-we-need-gears/>
- [3] ČECH, Jiří. Převodová ústrojí II. *Mondeo TechWeb* [online]. 2004-10-26 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://mtw.fordclubs.org/article.php?article=45&rubrik=4>
- [4] ČECH, Jiří. Převodová ústrojí III. *Mondeo TechWeb* [online]. 2004-12-16 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://mtw.fordclubs.org/article.php?article=46&rubrik=4>
- [5] FORMÁNEK, Josef. Převodovka v osobním automobilu. *Měření rychlosti* [online]. Plzeň: ZČU v Plzni - Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů., 2014 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/mereni\\_rychlosti/prevodovka.htm](http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/mereni_rychlosti/prevodovka.htm)
- [6] MAJEED, Mahir H., Dheyaa E. KADHIM a Oday I. ABDULLAH. *Numerical analysis of thermal problem in dry friction clutches based on the interactive design approach* [online]. 10 March 2020 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1007/s12008-020-00660-1](https://doi.org/10.1007/s12008-020-00660-1)
- [7] *Kurz spojek LuK* [online]. Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co., 2012 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.repxpert.cz/cs/mediadocument/LuK-TecBr-Clutch-Course-PC/cs>
- [8] KAPLAN, Zdeněk. Stálý převod [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha\\_fs.php?dpid=176367&skupina=dokument\\_priloha](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha_fs.php?dpid=176367&skupina=dokument_priloha)
- [9] Rozvodovky 4x4. *Střední škola automobilní* [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí, [2021] [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Rozvodovky\\_5\\_2.pdf](https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Rozvodovky_5_2.pdf)
- [10] Převodovky. *Střední škola automobilní* [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí, [2021] [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/01/Prevody\\_22\\_1.pdf](https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/01/Prevody_22_1.pdf)
- [11] Rozvodovky a diferenciály. *ELUC: elektronická učebnice* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1479>
- [12] Identity shaping in three digits: the new 911. *Porsche Engineering Magazine* [online]. Porsche Engineering Group, 2012, (1), 14 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.porscheengineering.com/filestore/download/peg/en/pemagazin-01-2012-artikel-siebengang-schaltgetriebes/default/ae8c5212-c26a-11e4-a19d-001a64c55f5c/The-Development-of-the-New-Seven-Speed-Manual-Transmission-Porsche-Engineering-Magazine-01-2012.pdf>

- [13] ... ozubená kola se starají o pohyb v p ř e d! *DocPlayer* [online]. © 2021 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/2679192-Ozubena-kola-se-staraji-o-pohyb-v-p-r-e-d.html>
- [14] Mechanické převodovky. *Převodovky AP* [online]. Praha: Převodovky AP [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://prevodovkyap.cz/prevodovky/mechanicke/>
- [15] Stages of operation. *The Physics of Torque Converter* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/211\\_fall\\_2014/Chase\\_Delatush/1446047202547574a981aa0/stages-of-operation.html](http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/211_fall_2014/Chase_Delatush/1446047202547574a981aa0/stages-of-operation.html)
- [16] VALÁŠEK, Dominik. Typy automatických převodovek a jak se s nimi jezdí. *Garáž.cz* [online]. 16.7.2020 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/automaticke-prevodovky-21004288>
- [17] Automatické převodovky. *ELUC: elektronická učebnice* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1477>
- [18] Hydrodynamický měnič točivého momentu. *Střední průmyslová škola, Ostrava – Vítkovice* [online]. 28.3.2013 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/hydrodynamick%C3%BD-m%C4%9Bni%C4%8D-UT.pdf>
- [19] Automatic Transmission, How it works ? *Youtube* [online]. 30.07.2016 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=Ugao6jTyM7k&ab\\_channel=Lesics](https://www.youtube.com/watch?v=Ugao6jTyM7k&ab_channel=Lesics)
- [20] BODLÁK, Miroslav. Složené planetové převody. *SlidePlayer* [online]. prosinec 2012 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11226504/>
- [21] SAJDL, Jan. Převodovka DSG. *Autolexicon* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/prevodovka-dsg/>
- [22] Jak funguje dvouspojková převodovka? *Autodily EXIST* [online]. 25. dubna 2013 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.exist.ru/document/articles/1911>
- [23] LÁNÍK, Ondřej. Převodovka DSG: Podrobný popis. *Auto.cz* [online]. 9.6.2004 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prevodovka-dsg-podrobny-popis-16887>
- [24] SIXTA, Ivan. DSG převodovky vydrží. *Sixta Převodovky* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://www.prevodovky-sixta.cz/index.php/clanky-o-dsg-prevodovkach-a-reference>
- [25] MISHRA, Pankaj. How CVT works: Continuously Variable Transmission. *Mechanical Booster* [online]. 11 December 2018 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.mechanicalbooster.com/2018/12/how-cvt-works-continuously-variable-transmission.html>
- [26] SRIVASTAVA, Nilabh a Imtiaz HAQUE. *A review on belt and chain continuously variable transmissions (CVT): Dynamics and control* [online]. January 2009 [cit. 2021-5-

- 4]. ISSN 0094-114X. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2008.06.007](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2008.06.007).
- [27] MATUŠEK, Jiří. Nový Koleos. *Rnews.cz* [online]. 3.7.2017 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.rnews.cz/prvni-jizda-novy-koleos/>
- [28] OLIVÍK, Pavel. Převodovky CVT: nekonečně převodů. *Autorevue.cz* [online]. 10.9.2011 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [https://www.autorevue.cz/prevodovky-cvt-nekonecne-prevodu\\_1](https://www.autorevue.cz/prevodovky-cvt-nekonecne-prevodu_1)
- [29] Lineartronic: Jak funguje a jak ho plně využít. *Zažijte Subaru* [online]. SUBARU, © 2020, 11. ledna 2011 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://zazij.subaru.cz/lineartronic-jak-funguje-a-jak-ho-plne-vyuzit/>
- [30] FU, Bing, *et al.* Research on Power Loss of Continuously Variable Transmission Based on Driving Cycles. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/5/052054](https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/5/052054)
- [31] Toyota Announces New Powertrain Units Based on TNGA. *Toyota* [online]. Toyota Motor Corporation, 26 February 2018 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/21179861.html>
- [32] FALLAH, Saber. Electric and Hybrid Vehicles - Technologies, Modeling and Control: A Mechatronic Approach. *ResearchGate* [online]. April 2014 [cit. 2021-5-4].
- [33] *GKN Automotive's multi-speed eAxle explained* [online]. GKN Automotive [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.gknautomotive.com/en/insights/multispeed-eaxle/>
- [34] *Transmission trends and the way forward* [online]. Ricardo India, 11 April 2017 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://cdn.ricardo.com/rsc/media/assets/transmission-trends-and-the-way-forward.pdf>
- [35] Case Study: Toyota Hybrid Synergy Drive. *Wroclaw University of Science and Technology* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430\\_HEV\\_Toyota.pdf](http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430_HEV_Toyota.pdf)
- [36] Hybrid Transmissions. *Infineum Insight* [online]. Infineum International, 11 January 2017 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.infineuminsight.com/en-gb/articles/transmissions/hybrid-transmissions/>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$F_t$	[N]	Trakční síla
$i$	[-]	Převodový poměr
$M_1$	[Nm]	Moment na vstupním hřídeli
$M_2$	[Nm]	Moment na výstupním hřídeli
$n_1$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky vstupního hřídele
$n_2$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky výstupního hřídele
$P_1$	[W]	Výkon na vstupním hřídeli
$P_2$	[W]	Výkon na výstupním hřídeli
$P_{max}$	[W]	Maximální výkon motoru
$v$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost vozidla
$z_1$	[-]	Počet zubů ozubeného kola na vstupním hřídeli
$z_2$	[-]	Počet zubů ozubeného kola na výstupním hřídeli
$\eta$	[-]	Účinnost převodového ústrojí
$\omega_1$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	Úhlová rychlost na vstupním hřídeli
$\omega_2$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	Úhlová rychlost na výstupním hřídeli
<i>DSG</i>		Direct shift gearbox
<i>CVT</i>		Continuously variable transmission
<i>D-CVT</i>		Direct shift continuously variable transmission
<i>EVT</i>		Electric variable gearbox