

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Diferenciály silničních vozidel

Differential Gears of Road Vehicles

Student: Daniel Rapala

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Richtář, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Rapala**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Diferenciály silničních vozidel**
Differential Gears of Road Vehicles

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problému
3. Stálý převod, diferenciál, svornost
4. Zhodnocení a doporučení
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II, Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Vlk, F. Motorová vozidla I, Brno: VUT Brno, 1989, ISBN 80-214-0038-2
Kovanda, J., Resl, I., Socha, J.: Konstrukce automobilů. Praha: ČVUT Praha, 1997. 120 pp., ISBN 80-01-01624-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 16.5.2016



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16. 5. 2016


.....
Podpis

Adresa trvalého pobytu autora práce

Daniel Rapala

Zahradní 1535

742 58 Příbor

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RAPALA, D. *Diferenciály silničních vozidel: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016. Vedoucí práce: Ing. Richtář Michal Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou rozdělení hnacího momentu na hnaná kola nápravy. Obsahuje přehled používaných typů konstrukcí diferenciálů a stálých převodů v automobilové produkci osobních a nákladních vozů. Součástí je stanovení výhod a nevýhod jednotlivých konstrukčních řešení a jejich nejčastější použití. V závěru se nachází doporučení pro výběr vhodného typu diferenciálu a jeho nastavení.

Klíčová slova: stálý převod, diferenciál, diferenciál se závěrem, samosvorný diferenciál, nastavení diferenciálu

ANNOTATION OF THESIS

RAPALA, D. *Differential gears of road vehicles: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of engineering, Institute of transport, 2016. Thesis head: Ing. Richtář Michal Ph.D.

This bachelor thesis deals with the distribution of drive torque to the drive wheels. It contains an overview of the types and structure differentials and final drive in cars and trucks automobile production. There are also included the advantages and disadvantages of each design solution and their appropriate use. In conclusion, there are recommendations in choosing the appropriate type of differential and its settings.

Keywords: final drive, differential, differential lock, self-locking differential, settings of differential

Obsah

Seznam použitých zkratk a výrazů	8
1. Úvod	9
2. Teoretický rozbor problému	10
3. Stálý převod	12
3.1. Jednostupňový stálý převod.....	12
3.1.1. Kuželové soukolí s přímým ozubením.....	13
3.1.2. Kuželové soukolí se šikmými zuby.....	14
3.1.3. Kuželové hypoidní soukolí.....	14
3.1.4. Soukolí s čelním ozubením.....	14
3.2. Dvoustupňový stálý převod	15
3.2.1. Dvojnásobný sloučený převod.....	15
3.2.2. Dvojnásobný vnější pastorkový převod	15
3.2.3. Dvojnásobný vnější planetový.....	16
3.2.4. Dvojnásobný vnější s kuželovými diferenciály	16
3.3. Druhy uložení hnacího pastorku rozvodovky	17
4. Diferenciály	18
4.1. Rozdělení diferenciálů	19
4.2. Otevřený diferenciál	19
4.1.1- Kuželový diferenciál.....	20
4.1.2- Čelní diferenciál	21
4.2. Diferenciál se závěrem.....	22
5. Svornost diferenciálu	26
5.1. Vyjádření obecných závislostí u kuželového diferenciálu se zvýšeným třením.....	27
5.1. Vačkové samosvorné diferenciály	29
5.2. Diferenciály se zvýšeným třením	30
5.2.1. Samosvorný diferenciál Torsen	31
5.2.2. Samosvorný diferenciál s viskózní spojkou	33
5.2.3. Samosvorný diferenciál s třecí spojkou.....	35
5.2.4. Průběhy svornosti diferenciálů se zvýšeným třením a jejich změny	39
5.3. Automatické diferenciály	40
6. Nastavení svornosti a jeho vliv na jízdu.....	41

6.1. Diferenciál s viskózní spojkou.....	42
6.2. Diferenciál s třecí spojkou	44
6.3. Diferenciál Torsen.....	47
6.4. Nastavení rozdělení hnacího momentu mezi nápravy.....	47
7. Zhodnocení a doporučení	47
8. Závěr	49
Literatura.....	50

Seznam použitých zkratk a výrazů

tzn.	– to znamená
tzv.	– takzvaný
1,5-WAY	– jedno a půl cestný diferenciál
1-WAY	– jednocestný diferenciál
2-WAY	– dvoucestný diferenciál
Dif.	– diferenciál
FWD	– Vozidlo s pohonem předních kol
LSD	– limited slip differential (diferenciál s omezeným prokluzem)
RWD	– Vozidlo s pohonem zadních kol
CIRCUIT	–provoz závoděním na okruzích
DRIFTING	–provoz vozidla závoděním v jízdě řízeným smykem
RALLY	–provoz závoděním typu Rally
STREET	– provoz sportovního vozidla na veřejných pozemních komunikacích
TIME ATTACK	–provoz vozidla závoděním na čas

1. Úvod

Diferenciály jsou velice důležitým a nezbytným komponentem všech moderních automobilů. Zajišťuje plynulou a bezpečnou jízdu, dobrou ovladatelnost a jeho funkce ovlivňuje spoustu jízdních vlastností vozidla. Společně s diferenciálním soukolím najdeme zpravidla v jedné skříni také soukolí stálého převodu, což nám dohromady tvoří rozvodovku. Tato převodová skříň může být u tuhých náprav součástí mostu hnací nápravy. U nezávislého zavěšení kol je pak rozvodovka jako samostatný komponent připevněná k rámu nebo k samonosné karoserii.

Diferenciál je převodné ústrojí, které svou funkcí umožňuje rozdělení hnacího momentu z hnací hřídele na zpravidla dvě hnané hřídele. Tyto hnané hřídele mohou mít jak stejné, tak i rozdílné otáčky. Toto je základní vlastnost, kterou od tohoto komponentu požadujeme. Tato práce se zabývá převážně nápravovými diferenciály a tedy rozdělením hnacího momentu mezi dvě hnaná kola na jedné nápravě.

Stálý převod, který je většinou v podobě kuželového soukolí, slouží ke zvýšení hnacího momentu přicházejícího z převodovky. Převodový poměr stálého převodu má přímý vliv na velikost otáček a velikost hnacího momentu na kolech. V kombinaci s jednotlivými převodovými stupni převodovky nám určuje celkový převodový poměr a tedy i maximální otáčky a velikosti hnacích sil na kolech. Tento převod by měl být navržen tak, aby vozidlo jedoucí na nejvyšší převodový stupeň mělo na kolech dostatečné otáčky a hnací sílu k dosažení požadované maximální rychlosti.

Na diferenciál jsou v dnešní době kladeny velmi vysoké požadavky z pohledu životnosti, spolehlivosti a hlučnosti. Vysoká mechanická účinnost není vždy výhodou. Nevýhody příliš vysoké mechanické účinnosti jsou popsány v kapitole svornosti diferenciálu.

2. Teoretický rozbor problému

Automobil se při průjezdu zatáčkou pohybuje po kružnici. Vnitřní a vnější kola se odvalují po kružnicích různých poloměrů a tedy opisují jinak dlouhé dráhy. To způsobuje, že se tyto kola otáčejí rozdílnými otáčkami. V případě absence diferenciálu by se kola nuceně otáčela stejnými otáčkami. Aby mohly opsat různé dráhy, musí dojít u jednoho nebo obou kol k prokluzu. [1]

Toto by mělo za následek:

1. zvýšené opotřebení pneumatik
2. Nárůst ztrát výkonu o podíl, vynaložený na práci při prokluzování a smýkání pneumatiky
3. Zvýšení spotřeby paliva
4. Zhoršení ovladatelnosti

Momentové a otáčkové závislosti otevřeného diferenciálu

Rozdíl v otáčkách kol při průjezdu zatáčkou nám umožňuje diferenciální soukolí a zabraňuje nežádoucímu zkrucování hnaných hřídelů.

Při jízdě v přímém směru tedy platí:

(Index l má levé kolo, index p pravé)

$$\omega_l = \omega_p \quad (2.1)$$

$$n_l = n_p \quad (2.2)$$

Točivý moment M_t přivedený na klec diferenciálu je rozdělen stejným dílem na obě hnací hřídele

$$M_l = M_p = \frac{M_t}{2} \quad (2.3)$$

$$M_l + M_p = M_t \quad (2.4)$$

Při průjezdu zatáčky se vnější kolo odvaluje po větším poloměru kružnice a má větší otáčky, vnitřní kolo má vždy otáčky menší.

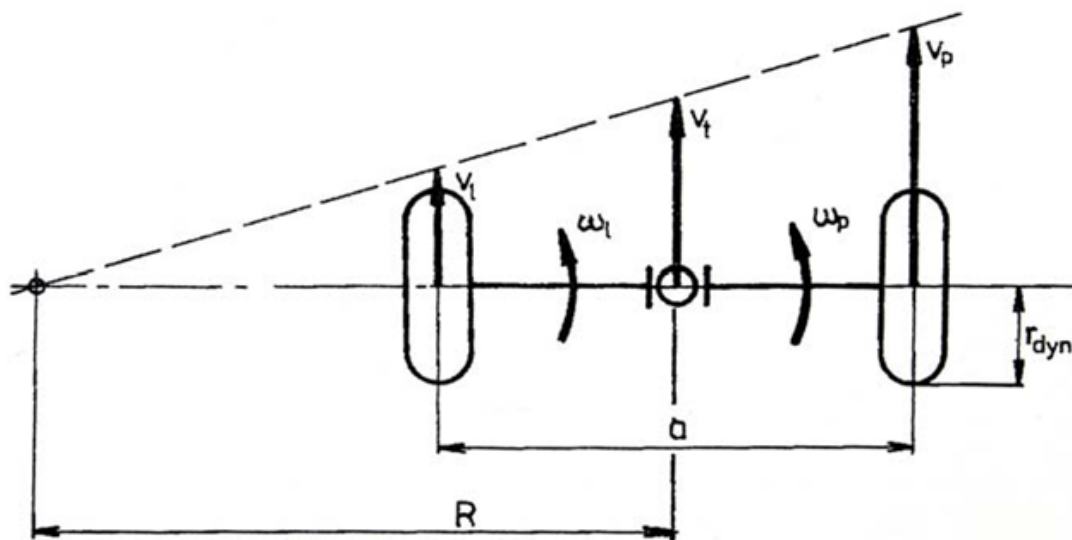
Nechť je rozchod kol a , poloměr kol r_d , poloměr kružnice opisující střed nápravy R , rychlost tohoto středu v_t , obvodové rychlosti levého a pravého kola v_p, v_l a úhlové rychlosti levého a pravého kola ω_l, ω_p . Pak při průjezdu zatáčkou platí:

$$\frac{v_l}{v_t} = \frac{R - \frac{a}{2}}{R} \quad \frac{v_p}{v_t} = \frac{R + \frac{a}{2}}{R} \quad (2.5)$$

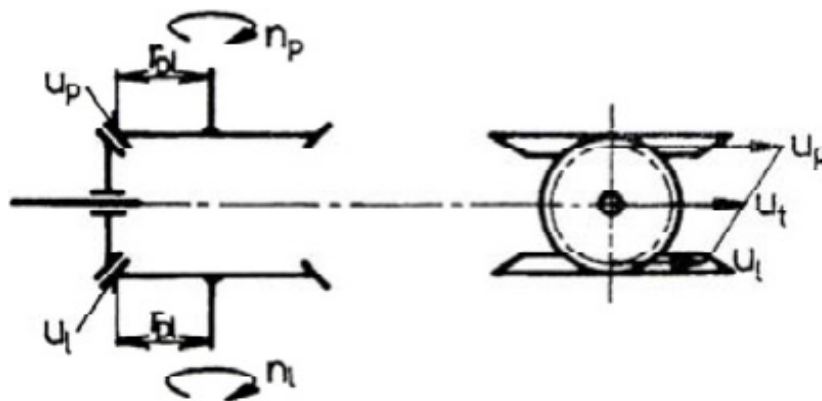
$$\omega_l = \frac{v_l}{r_d} = v_t \cdot \frac{R - \frac{a}{2}}{r_d \cdot R} \quad \omega_p = \frac{v_p}{r_d} = v_t \cdot \frac{R + \frac{a}{2}}{r_d \cdot R} \quad (2.6)$$

Skříň diferenciálu se pohybuje úhlovou rychlostí ω_t a je aritmetickým průměrem úhlových rychlostí vozidlových kol a je roven úhlové rychlosti kola myšleného ve středu nápravy.

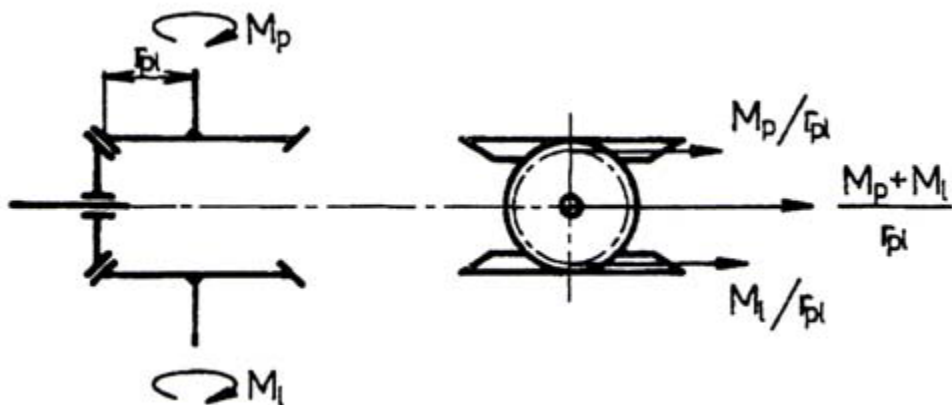
$$\omega_t = \frac{\omega_l + \omega_p}{2} = \frac{v_t}{R} \quad (2.7)$$



Obr. 1 Činnost diferenciálu při zatáčení automobilu [1]



Obr. 2 Kinematické poměry kuželového diferenciálu (otevřeného) [1]



Obr. 3 Silové poměry kuželového diferenciálu bez tření (otevřeného) [1]

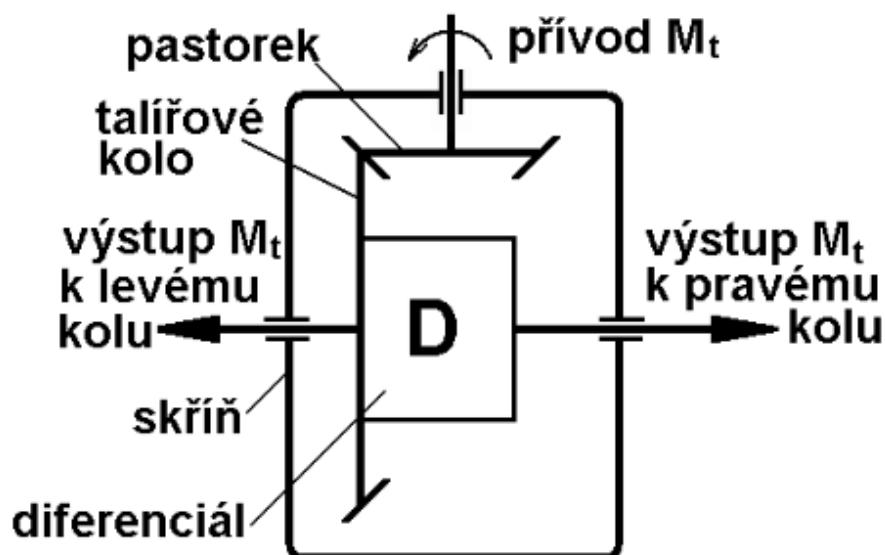
3. Stálý převod

V úvodu již bylo uvedeno, že stálý převod slouží ke zvýšení točivého momentu přicházejícího z motoru. Tyto stálé převody mohou být jednostupňové nebo dvou a více stupňové. Závisí to na typu automobilu a jeho parametrech. Zpravidla se u osobních a lehkých nákladních automobilů používá jednostupňový stálý převod. Těžké nákladní automobily často vyžadují velký převodový poměr a je nutné použít dvoustupňový stálý převod.

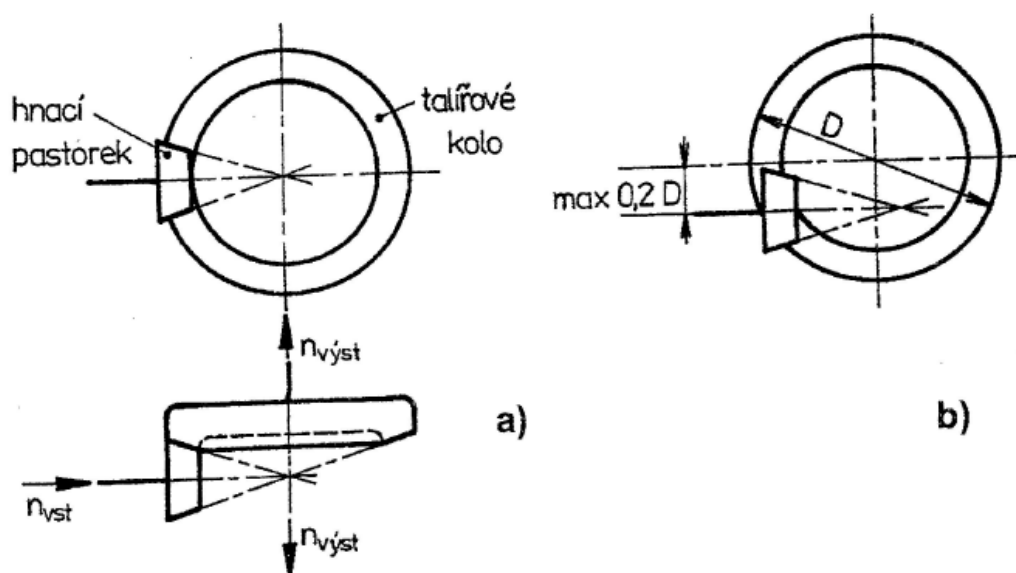
3.1. Jednostupňový stálý převod

Jednostupňový stálý převod nebo také tzv. jednostupňová rozvodovka má obvykle u osobních automobilů $i_r \approx 3,5 \div 4$ a u nákladních $i_r > 6$. Nejčastější a nejjednodušší konstrukční provedení je pomocí kuželového soukolí. Na tomto soukolí lze použít jak přímé ozubení, tak ozubení šikmé. Speciálním případem je pak hypoidní kuželové soukolí. U vozidel, kde lze použít rovnoběžný hnací a hnaný hřídel se pak nejčastěji používá soukolí s přímými zuby. Všechny typy ozubení mají samozřejmě své klady a zápory.

Soukolí stálého převodu rozvodovky je trvale v provozu a záběru. Proto toto soukolí musí být schopno přenášet jak vysoké točivé momenty za nízkých otáček (nízké převodové stupně), tak i nižší točivé momenty za velmi vysokých otáček (vysoké převodové stupně). To vše při zachování velmi vysoké životnosti. Důležitou vlastností je také schopnost přenášet točivý moment oběma směry tzn. z motoru na kola i od kol do motoru (brzdění motorem). Velmi velkou roli při životnosti a hlučnosti tedy hraje tuhost celého systému. Zejména pak uložení hnacího pastorku. [1]



Obr. 4 Stálý převod řešený kuželovým soukolím [4]



Obr.5 Druhy kuželových soukolí používaných pro rozvodovky a) soukolí se zakřivenými zuby b) hypoidní soukolí s mimoběžnými osami [1]

3.1.1. Kuželové soukolí s přímým ozubením

Kuželová soukolí stálého převodu s přímým ozubením mají výhodu v menším vzniku axiálních sil při přenosu točivého momentu a tím také menší zatížení ložisek. Nevýhody u tohoto typu ozubení však převažují. Jsou to zejména vysoké nároky na výrobní a montážní přesnost. Při nepřesnostech mohou při zatížení lehce vzniknout deformace a koncentrace napětí. Značnými nevýhodami je také menší únosnost ozubení a vysoká hlučnost.

3.1.2. Kuželové soukolí se šikmými zuby

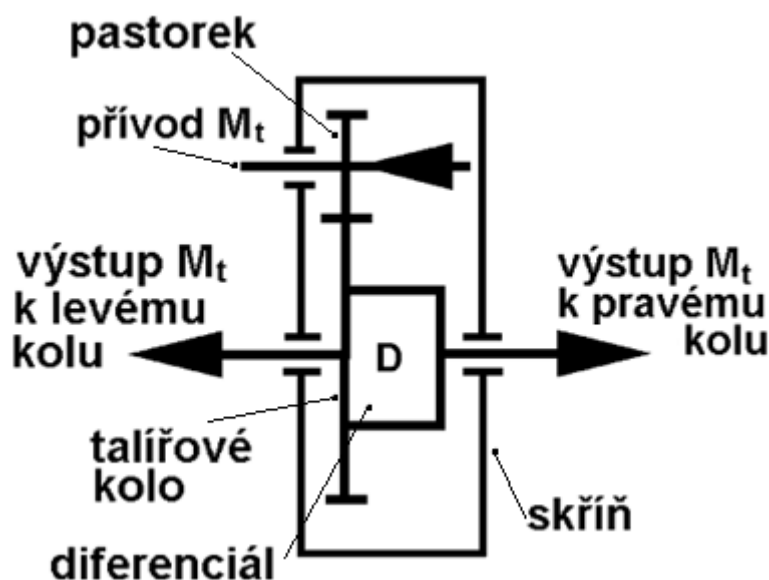
Dnešní trend výroby automobilů má stále větší nároky na výkonovou únosnost a hlučnost. Z tohoto důvodu se dnes používá převážně šikmé ozubení. Předností tohoto ozubení je vysoká únosnost, velmi tichý chod, menší citlivost na nepřesnosti výroby a montáže a v neposlední řadě také možnost dosáhnout většího převodového poměru. Nevýhodou pak je vznik větších axiálních sil než u ozubení přímého.

3.1.3. Kuželové hypoidní soukolí

Hypoidní soukolí se vyznačuje svou vlastností mimoběžných os ozubených kol. Konkrétně osa pastorku je pod osou talířového kola, což nám umožňuje nižší polohu kloubového hřídele a tím snížení středového tunelu karoserie. Toto je značným přínosem pro osobní automobily se standardním pohonem. Ozubení je vhodné pro větší zatížení, není tak citlivé na montážní přesnost a má tichý chod. Nutno však použít speciální olej odolný na stlačení z důvodu vzniku přídatného podélného skluzu.

3.1.4. Soukolí s čelním ozubením

Tento typ řešení lze použít pouze u vozidel s motorem uloženým napříč. Teoreticky lze zhotovit tento stálý převod s přímými i šikmými zuby. Prakticky se však z důvodu požadavku tichého chodu, vysoké únosnosti a malých rozměrů používá pouze šikmé ozubení. Pastorek se nachází na konci hnacího hřídele a hnané kolo je přišroubováno ke kleci diferenciálu. Tento typ soukolí má nejvyšší mechanickou účinnost.



Obr. 6 Stálý převod řešený čelními koly [4]

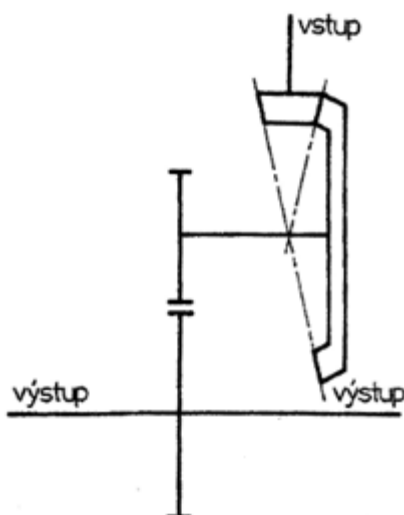
3.2. Dvoustupňový stálý převod

Těžké nákladní automobily musí pro svůj provoz disponovat mnohonásobně většími točivými momenty. Z tohoto důvodu by jednostupňová rozvodovka běžně dosahující maximálního převodového poměru okolo $i_r \approx 7$ nestačila. K základnímu kuželovému soukolí lze přidat další převod a tím rozdělit celkový převodový poměr stálého převodu do dvou stupňů.

Základní principy uspořádání dvoustupňového stálého převodu.

3.2.1. Dvojnásobný sloučený převod

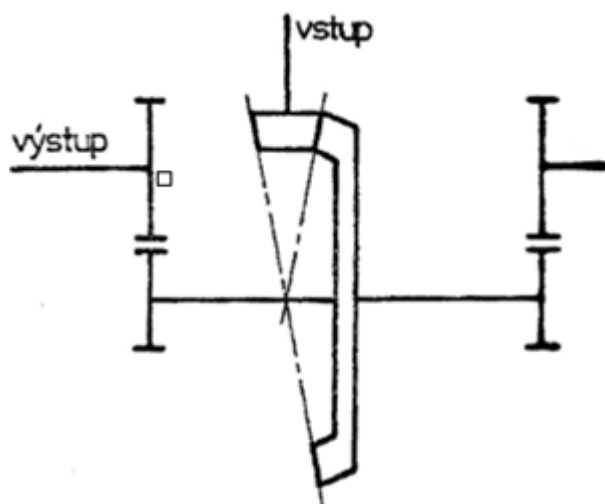
Tato dvoustupňová rozvodovka je složena z jednoho kuželového soukolí a jednoho soukolí čelního. Převodový poměr takovéto rozvodovky je pak součinem převodových poměrů jednotlivých soukolí. Výhodou této konstrukce je možnost docílit vysokého převodového poměru a současně udržet malé svislé rozměry rozvodovky. Výsledkem je pak zvýšení světlé výšky vozidla pod rozvodovkou.



Obr. 7 Dvojnásobný sloučený převod [1]

3.2.2. Dvojnásobný vnější pastorkový převod

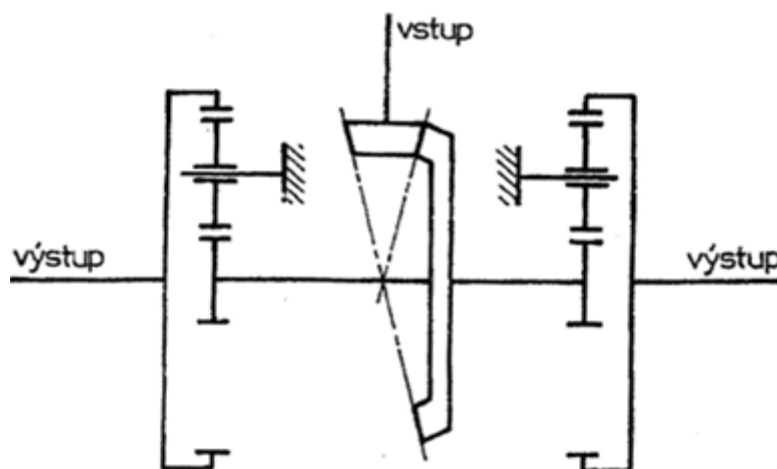
U tohoto řešení se v náboji kola nachází předlohové soukolí. První převod je uskutečněn kuželovým soukolím v rozvodovce a druhý pomocí pastorku a ozubeného kola, které je nasazeno přímo na náboji hnaného kola vozidla. Výhodou tohoto řešení je, že osa hnací hřídele kola nemusí procházet osou náboje kola. Toto lze úspěšně využít u terénních automobilů při nutnosti zajistit vysokou světlou výšku vozidla, nebo naopak u nízkopodlažních autobusů. V obou případech je využito vlastnosti, že hnací hřídel nesměruje do středu hnaného kola.



Obr. 8 Dvojnásobný vnější pastorkový převod [1]

3.2.3. Dvojnásobný vnější planetový

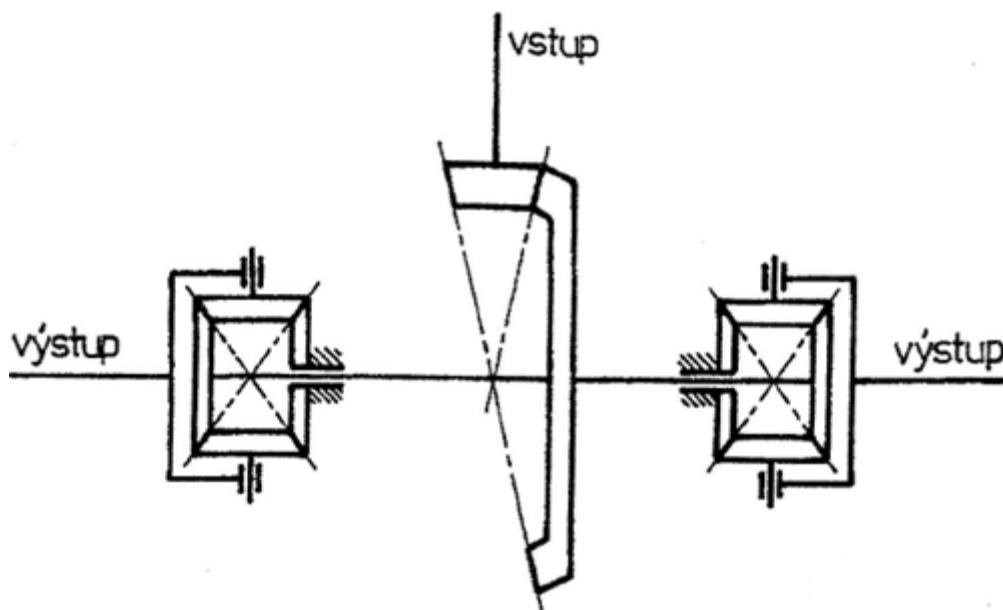
Vnější planetový převod se skládá z jednoho kuželového soukolí a jednoho planetového soukolí umístěného na vnějších stranách nápravy. Planetové soukolí je tvořeno korunovým ozubeným kolem, centrálním ozubeným kolem a několika satelity. Náboj kola může být pevně spojen buďto s unášecem satelitů, nebo s korunovým kolem.



Obr. 9 Dvojnásobný vnější planetový převod [1]

3.2.4. Dvojnásobný vnější s kuželovými diferenciály

Tento převod obsahuje v každém náboji malý kuželový diferenciál, který redukuje otáčky kola na polovinu a současně dvojnásobně zvětšuje točivý moment.

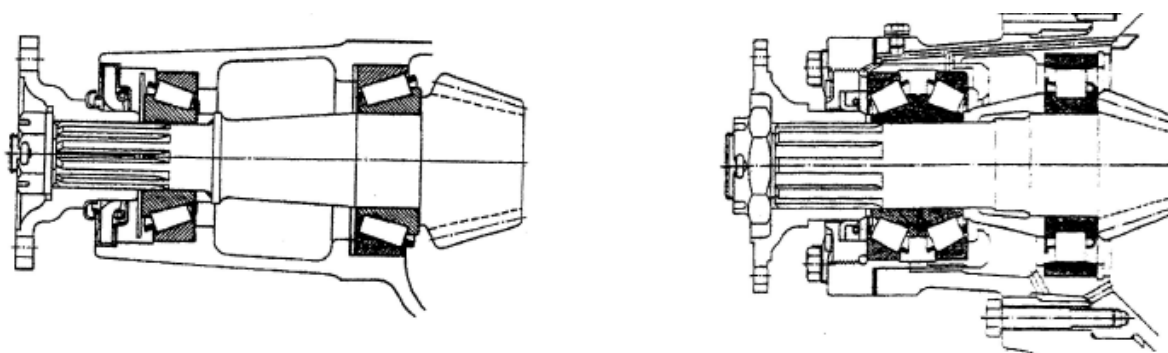


Obr.10 Dvojnásobný vnější s kuželovými diferenciály [1]

3.3. Druhy uložení hnacího pastorku rozvodovky

Jak již bylo zmíněno, uložení hnacího pastorku má přímý vliv na tuhost a životnost celého systému. Často používané kuželové soukolí se zakřivenými zuby způsobuje nejen vysoké radiální síly a z toho plynoucí ohyb hnací hřídele, ale také velmi značné axiální síly. Uložení musí být schopno přenášet tyto axiální síly v obou směrech. Vhodné konstrukční řešení používá kuželíková ložiska s kosoúhlým stykem. Ložiska musí být uložena tak, aby jedno (zpravidla větší) ložisko zachycovalo axiální síly při jízdě dopředu a druhé zachycovalo axiální síly při jízdě dozadu. Správná poloha pastorku vůči talířovému kolu je nezbytná pro tichý chod a vysokou životnost. Vzájemná poloha se kontroluje metodou zrcadlových obtisků záběrových ploch zubů. Uložení pastorku může být letmé nebo oboustranné.[1]

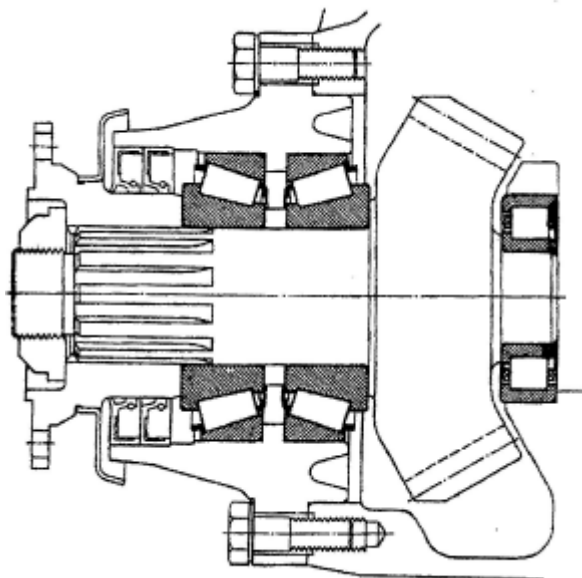
Letmé uložení



Obr.11 Letmé uložení hnacího pastorku stálého převodu [1]

Oboustranné uložení

Toto konstrukční provedení se používá u nákladních automobilů, kde jsou točivé momenty mnohonásobně vyšší. Díky uložení konce hnací hřídele do dalšího ložiska je zamezeno vytlačování pastorku ze záběru ozubení.



Obr.12 Pastorkový hřídel uložen na hlavě pastorku ve válečkovém valivém ložisku

[1]

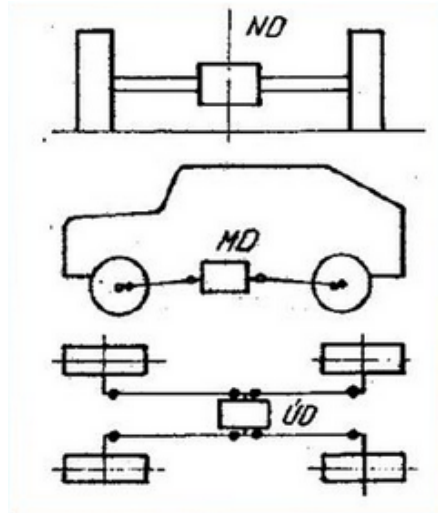
4. Diferenciály

Účel a nezbytnost diferenciálu již byly popsány v kapitole 2. Skříň diferenciálu je pevně spojena s talířovým ozubeným kolem stálého převodu. Diferenciální planetové soukolí se skládá z planetových kol pevně spojených s hnacími hřídeli jednotlivých hnacích kol a satelitů, které jsou volně uloženy na čepech. Tyto čepy jsou pevně spojeny se skříní diferenciálu, která se vždy otáčí stejnými otáčkami jako talířové ozubené kolo. Za předpokladu, že se levé i pravé kolo otáčí stejnými otáčkami, se klec diferenciálu otáčí jako jeden celek a satelity se neodvalují po planetových kolech. Pokud nastane situace, že se při průjezdu zatáčky jedno z hnacích kol začne otáčet rychleji nebo pomaleji než druhé, pak tento rozdíl začnou vyrovnávat odvalující se satelity.

4.1. Rozdělení diferenciálů

- **Podle účelu:**

- Nápravové diferenciály (ND)
- Mezinápravové diferenciály (MD)
- Ústřední diferenciály (ÚD)



Obr.13 Rozdělení diferenciálů [4]

- **Podle konstrukce:**

- Kuželové
- Čelní

- **Podle provozních vlastností:**

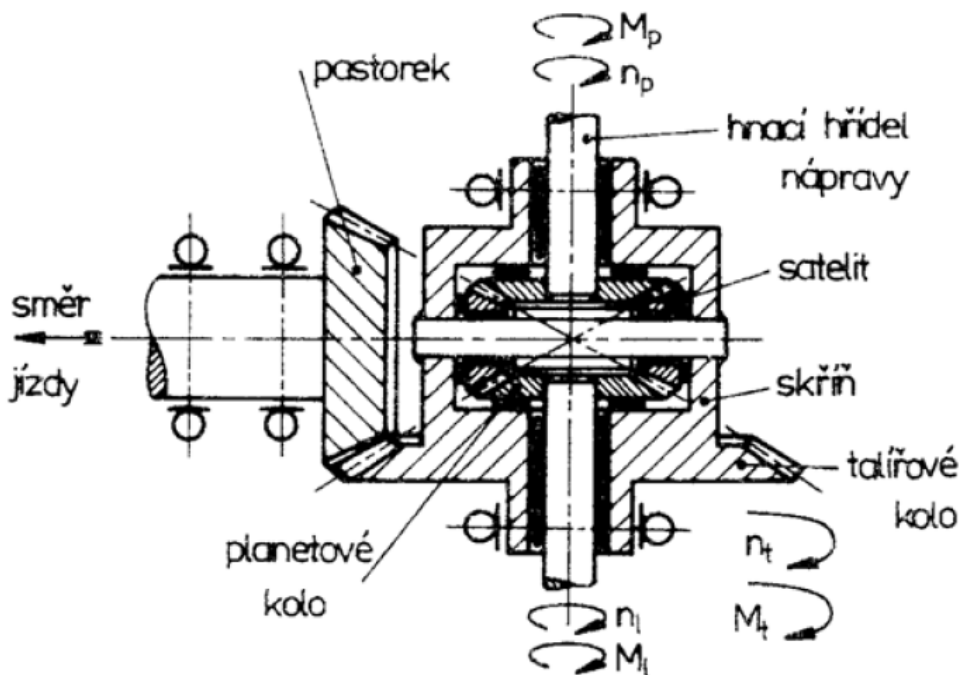
- Otevřené
- Se závěrem
- Samosvorné
- Symetrické
- Nesymetrické

4.2. Otevřený diferenciál

Je to nejpoužívanější typ diferenciálu pro běžná vozidla sériové výroby. Otevřené diferenciály se vyznačují velmi vysokou účinností a nemají tedy schopnost rozdělovat na kola hnací moment v nestejném poměru. Tyto typy jsou vhodné pro běžný provoz na zpevněných komunikacích. V případě potřeby úspěšně přenášet hnací moment na vozovku s nestejnými adhezními podmínkami pro jednotlivá kola, je nutno použít jednu z pokročilejších konstrukcí diferenciálu uvedených v následujících kapitolách.

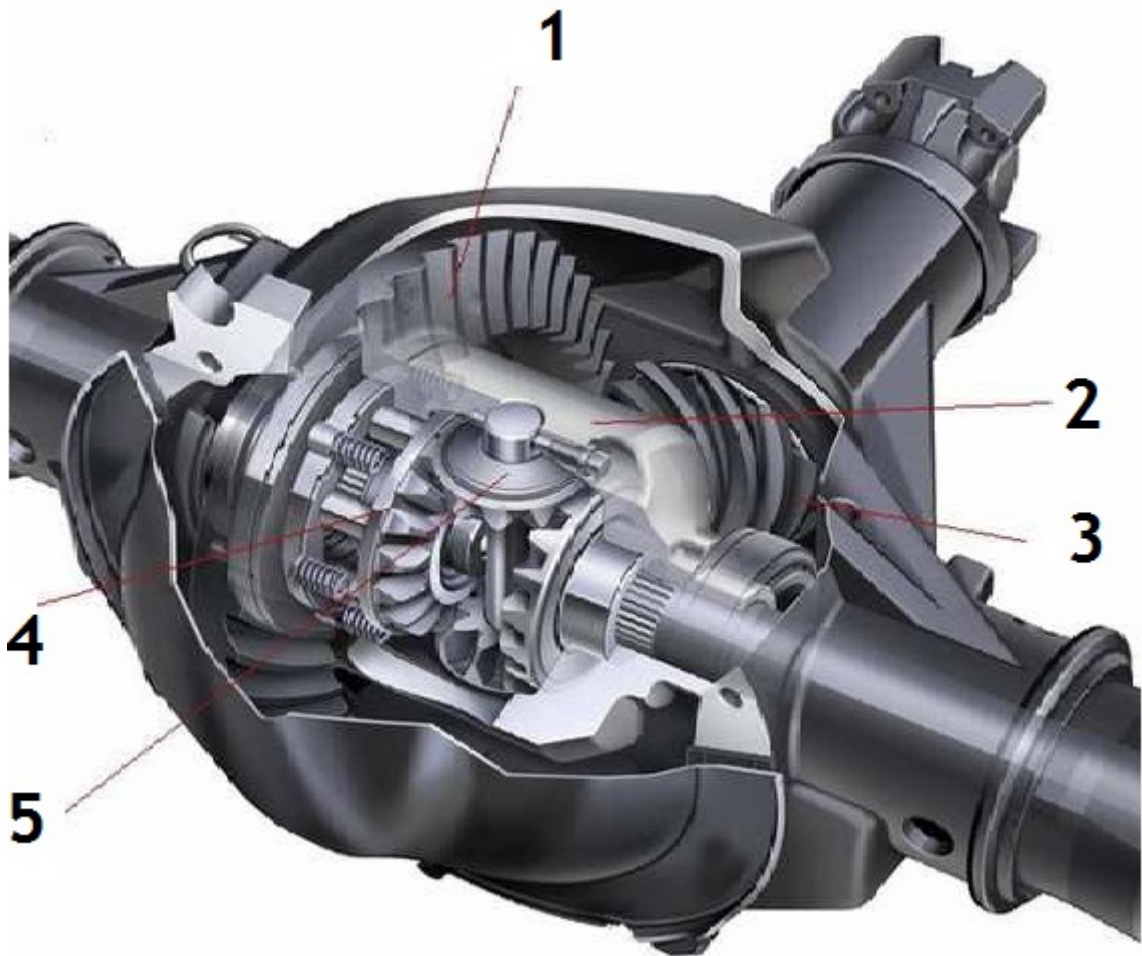
4.1.1- Kuželový diferenciál

Tento typ konstrukce je nejrozšířenější a vycházejí z ní i další pokročilé typy diferenciálu jak se závěrem, tak i s omezenou svorností. V kleci diferenciálu, která je pevně spojena s talířovým ozubeným kolem stálého převodu se nacházejí dvě kuželová planetová kola, přenášející točivý moment na hnací hřídele a dva nebo čtyři kuželové satelity volně uložené na čepech vetknutých do klece diferenciálu.



Obr.14 Uspořádání kuželového diferenciálu bez tření [1]

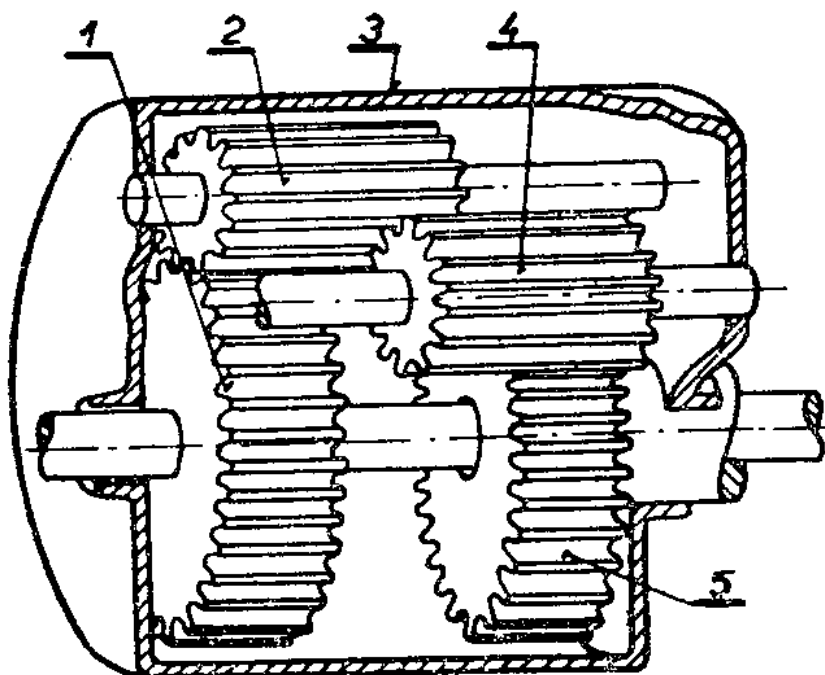
Z momentové rovnice otevřeného diferenciálu uvedené v kapitole 2 je zřejmé, že nevýhodou otevřeného kuželového diferenciálu je jeho rozdělování hnacích momentů vždy ve stejném poměru. To v praxi znamená, že pokud se jedno hnané vozidlové kolo dostane do zhoršených adhezních podmínek, tak ani kolo s dobrými adhezními podmínkami nepřenesou větší točivý moment než kolo s adhezními podmínkami špatnými.



Obr.15 Kuželový diferenciál jako součást mostu zadní nápravy 1-Talířové ozubené kolo, 2- Klec diferenciálu, 3- Pastorek stálého převodu, 4- Planetové ozubené kolo, 5- Satelit [3]

4.1.2- Čelní diferenciál

Tato méně častá konstrukce využívá pouze čelních ozubených kol. Uspořádání je tedy značně rozlišné. Jednotlivé satelity zde již nejsou v přímém záběru s oběma planetovými koly. Jeden satelit je polovinou své šířky zubů v záběru s jedním planetovým kolem a druhou polovinou je v záběru s druhým satelitem, který je teprve v záběru i s druhým planetovým kolem. Hnací moment je tedy opět přenášen klecí diferenciálu na čepy satelitů, samotné satelity a nakonec na planetová kola. Odvalováním satelitů se vyrovnávají nestejně otáčky hnaných kol. Pokud mají hnané kola stejné otáčky, satelity se po planetových kolech neodvalují. Pro správné vyvážení bývají v čelním diferenciálu dva páry planetových kol umístěných po 180°.



Obr.16 Uspořádání čelního diferenciálu 1- Planetové kolo, 2- Satelit, 3- Klec diferenciálu, 4- Satelit, 5- Planetové kolo [4]

Rozdělení točivého momentu na hnací hřídele se opět děje ve stejném poměru jako tomu bylo u kuželového otevřeného diferenciálu. Z toho plyne i stejná nevýhoda tohoto řešení. Účinnost čelního diferenciálu je tak vysoká, že i malá změna adhezních podmínek jednoho z kol může zapříčinit protáčení jednoho kola. Z tohoto důvodu je většinou tento typ diferenciálu vybaven závěrem.

4.2. Diferenciál se závěrem

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, nevýhoda běžného diferenciálu se při rozdílných adhezních podmínkách pro jednotlivá kola projeví velmi znatelným poklesem maximálního celkového přenášeného momentu, protože pro otevřený diferenciál platí rovnost přenášených momentů levého a pravého kola.

Pro otevřený diferenciál platí:

$$M_l = M_p \tag{4.1}$$

Maximální přenositelné momenty jednotlivých kol jsou pak vyjádřeny vztahy:

$$M_{lmax} = \mu_l \cdot F_l \cdot r_d \tag{4.2}$$

$$M_{pmax} = \mu_p \cdot F_p \cdot r_d \tag{4.3}$$

Za předpokladu, že $\mu_l < \mu_p$ a pro zjednodušení $F_l = F_p = F$ se pak maximální přenositelné momenty vypočítají dle vztahu:

$$M_{lmax} = M_{pmax} = \mu_l \cdot r_d \cdot F \quad (4.4)$$

$$M_{tmax} = 2 \cdot \mu_l \cdot r_d \cdot F \quad (4.5)$$

Z těchto vztahů je tedy zřejmé, že celkový maximální přenositelný moment je dán dvojnásobkem maximálního přenositelného momentu na kole s horšími adhezními podmínkami. V tomto případě nikdy nevyužijeme maximální přenositelný moment na kole s lepšími adhezními podmínkami. Zjednodušeně řečeno: Pokud nastane situace, kdy se jedno kolo nachází na ledu a druhé na suchém asfaltu, pak maximální přenositelný součet momentů obou kol bude zhruba odpovídat takové velikosti, jako by obě kola byla na ledu. Nastane protáčení kola s horšími adhezními podmínkami a otáčky tohoto kola budou dvojnásobně větší než klece diferenciálu, přičemž kolo s lepšími adhezními podmínkami stojí. Protáčeující kolo klade jen velmi malý odpor proti otáčení a zpravidla nedostačuje k uvedení vozidla do pohybu. Tento dočasný problém lze účinně vyřešit vyřazením diferenciálu z provozu. Kola se pak budou chovat tak, jako kdyby byla na společné hnací hřídeli. Budou mít vždy stejné otáčky, točivý moment se bude rozdělovat v nestejném poměru dle adhezních podmínek jednotlivých kol a obě kola tak přenesou příslušný maximální moment daný svými adhezními podmínkami. Toto nám umožňuje tzv. závěr diferenciálu.

Tento závěr funguje tak, že zabrání otáčení planetových kol vůči kleci diferenciálu. V tomto případě se tedy nemohou otáčet ani satelity a celá klec diferenciálu se otáčí jako celek. Diferenciály se závěrem se používají u vozidel pohybujících se v extrémních podmínkách. Jsou to zejména terénní vozy a těžké nákladní vozy pracující i mimo zpevněné komunikace.

Nejčastější využití je při zapadnutí vozu a neschopnosti se s otevřeným diferenciálem uvést zase do pohybu, nebo pro zvýšení průjezdnosti terénem nebo sněhem při nízkých rychlostech. Závěr jde uvést do činnosti pouze u stojícího vozidla, jinak hrozí mechanické poškození diferenciálu. Nevýhodou je, že po překonání obtížného terénu nebo pro zvýšení cestovní rychlosti je nutné závěr okamžitě vyřadit z provozu, jinak se na vozidle začnou projevovat negativní vlastnosti vozidla bez diferenciálu. Těmi je zejména výrazné zhoršení

ovladatelnosti vozu, vznik kmitů a rázů v převodovém ústrojí, zvýšení spotřeby paliva a opotřebení pneumatik.

Pro vozidla se zapnutým závěrem diferenciálu pro výpočet maximálního celkového přenositelného momentu platí:

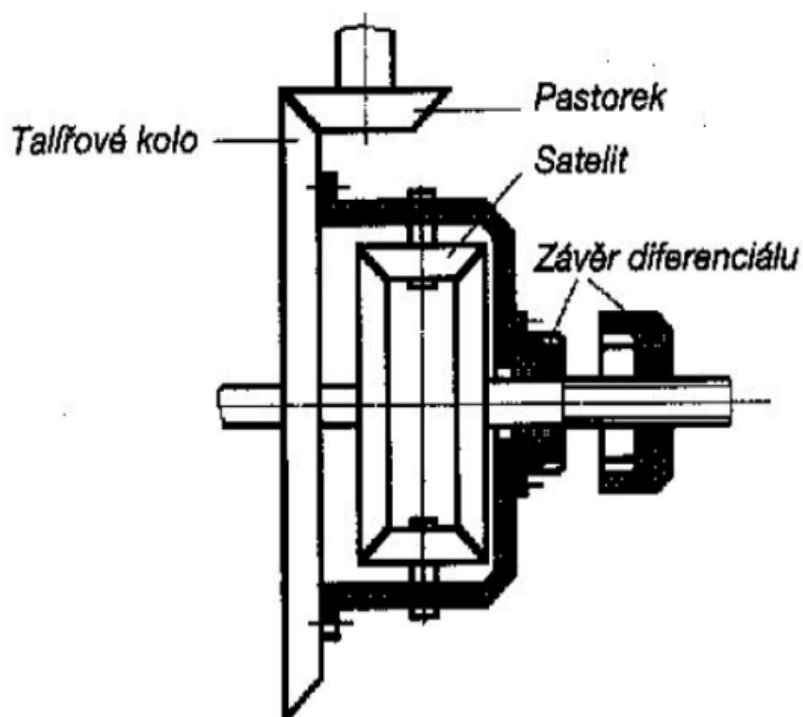
$$M_{tmax} = M_{lmax} + M_{pmax} = (\mu_l \cdot F_l + \mu_p \cdot F_p) \cdot r_d \quad (4.6)$$

Za předpokladu:

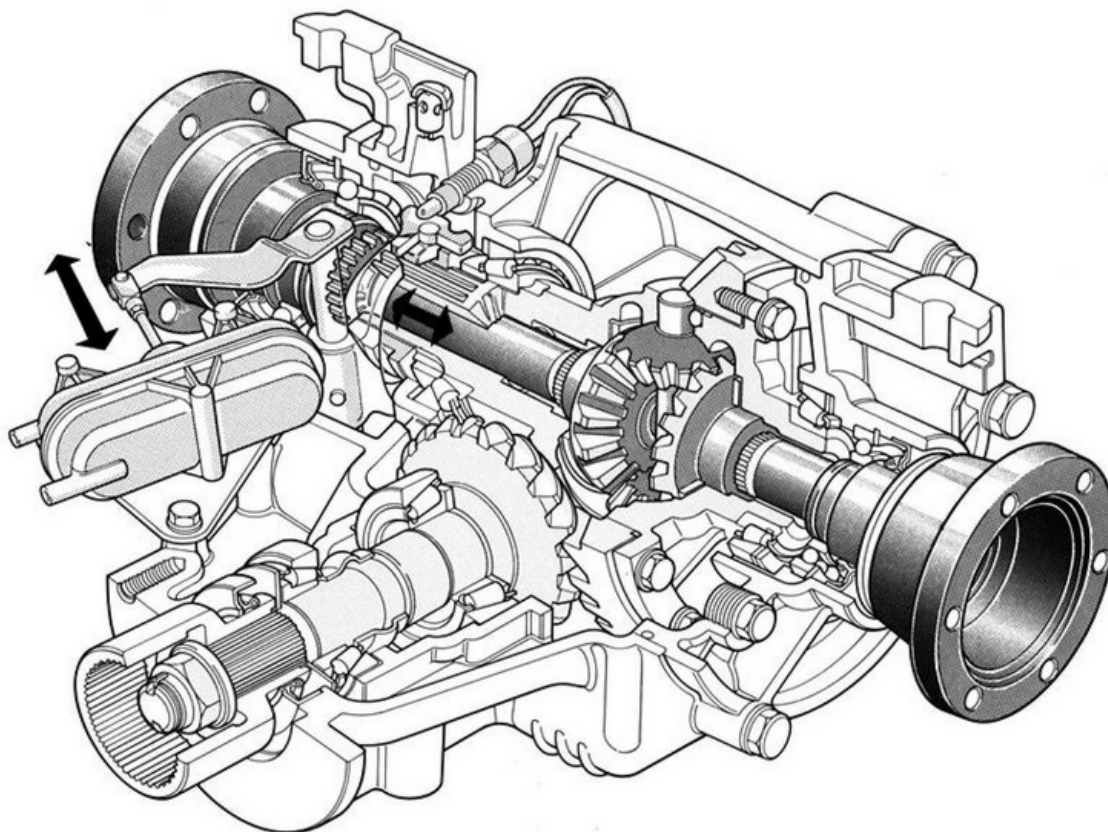
$$F_l = F_p = F \quad (4.7)$$

pak platí:

$$M_{tmax} = (\mu_l + \mu_p) \cdot r_d \quad (4.8)$$



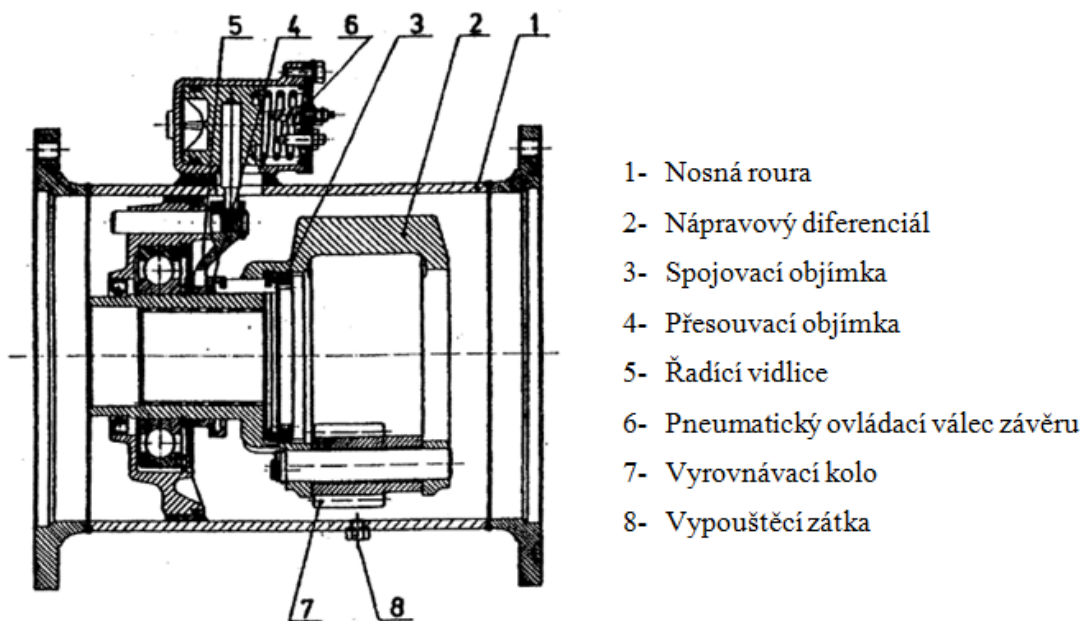
Obr.17 Uspořádání kuželového diferenciálu se závěrem [4]



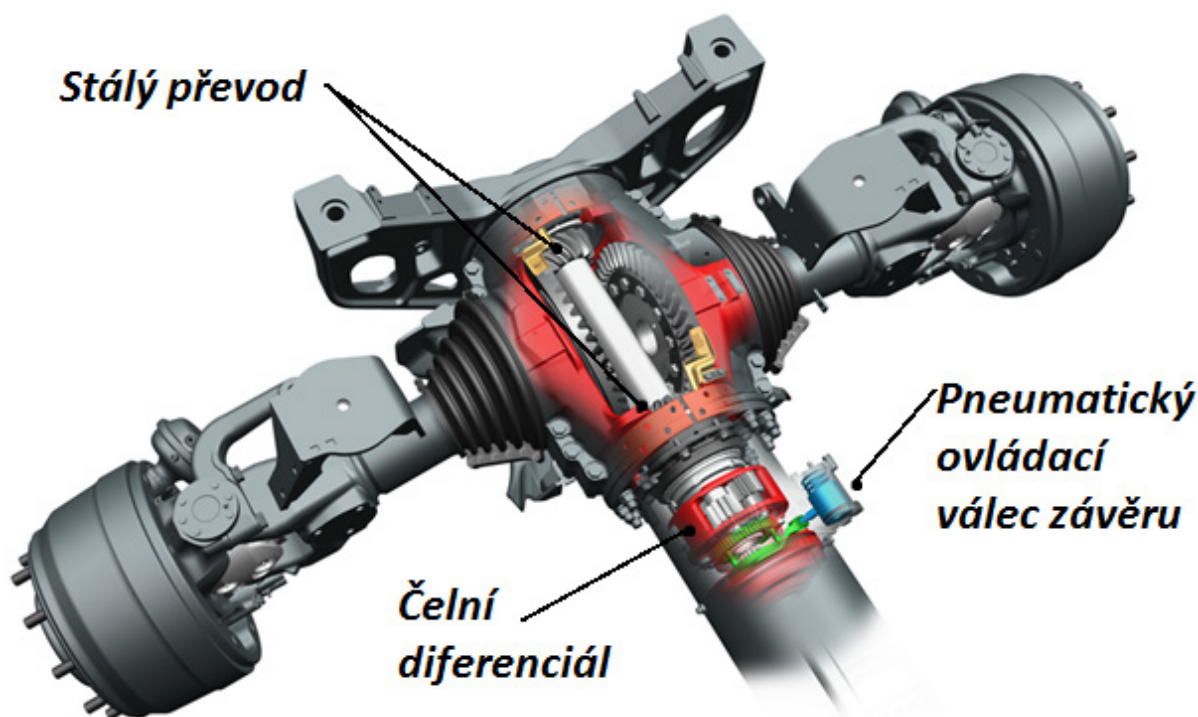
Obr.18 Kuželový diferenciál se závěrem řešeným přesuvnou objímkou [5]

Diferenciál se závěrem samozřejmě nemusí být zákonitě vždy kuželový. Například automobilka Tatra, která vyrábí nákladní automobily s vynikající prostupností v terénu, používá čelní diferenciály se závěrem.

Uspořádání takového diferenciálu v praxi pak vypadá takto.



Obr.19 Čelní diferenciál se závěrem v řezu-konstrukce TATRA [1]

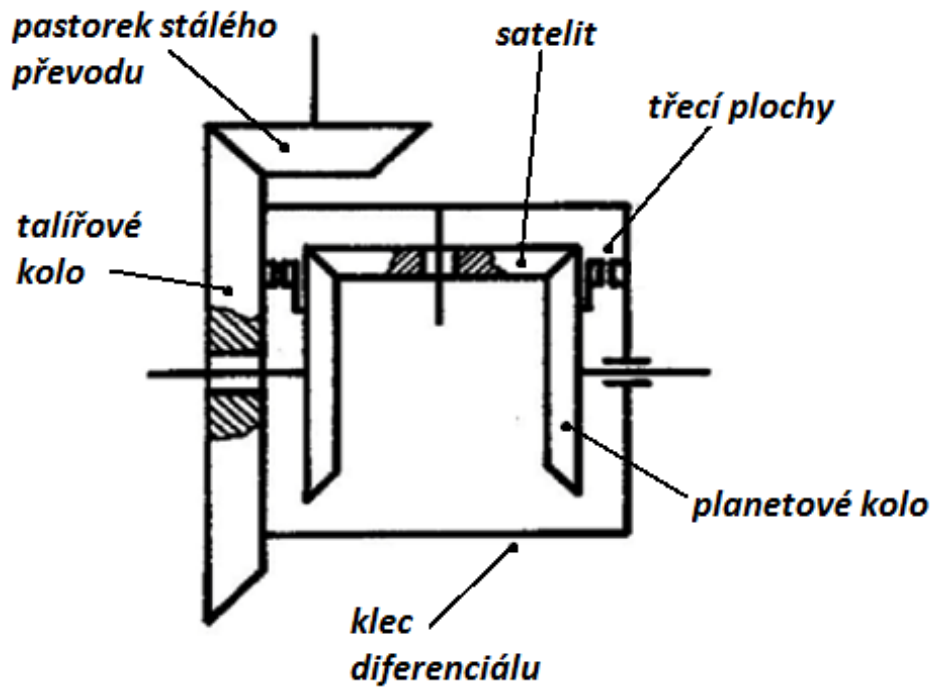


Obr.20 Čelní diferenciál se závěrem-konstrukce TATRA [7]

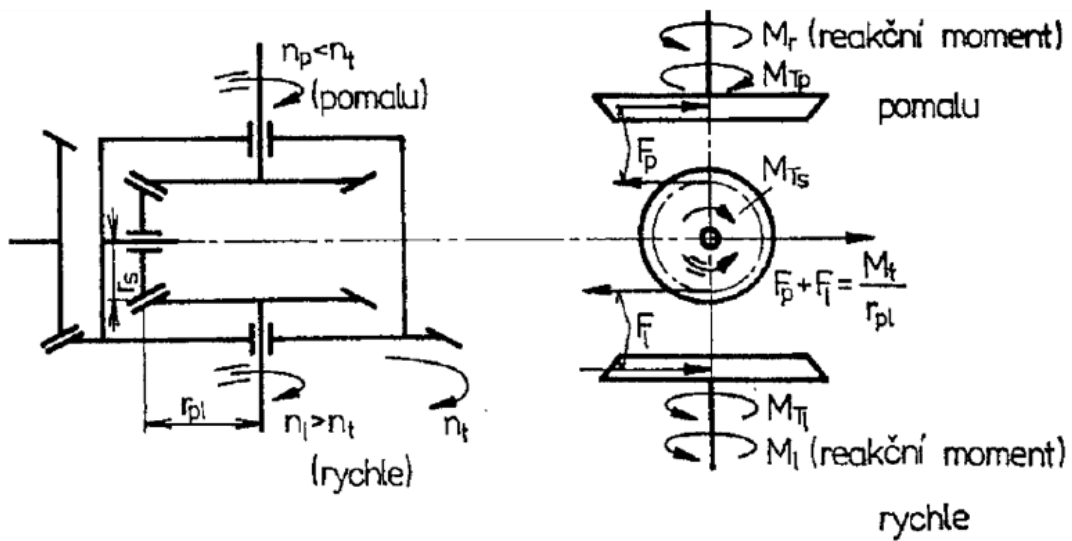
5. Svornost diferenciálu

Nejpoužívanější konstrukce v sériové produkci osobních automobilů rozdělují hnací moment vždy pouze na dva stejně velké momenty. Nevýhoda této vlastnosti byla popsána v kapitole diferenciálů se závěry. Závěry nám vyřadí diferenciál z provozu úplně a rozdělí moment nerovnoměrně dle potřeby. Zapínání a vypínání nám ale komplikuje ovládání vozidla. S diferenciálem úplně vyřazeným z provozu se navíc můžeme pohybovat jen velmi pomalu a ovladatelnost je značně ztížená. Pro nerovnoměrné rozdělení točivých momentů ve vyšších rychlostech je třeba diferenciál vyřadit z provozu jen částečně. Uměle tedy snížíme jeho mechanickou účinnost. Také potřebujeme, aby se diferenciál uzavíral samočinně dle aktuálních podmínek. Toto nám umožňují tzv. samosvorné diferenciály.

Maximální svornost diferenciálu se liší dle typických provozních podmínek jednotlivých vozů. Jinou svornost bude mít sportovní vůz pro běžné použití, jinou bude mít závodní speciál. Příliš vysoká svornost může jízdní vlastnosti i zhoršit. Například vysoká svornost u automobilu s nízkým výkonem může razantně zvýšit jeho nedotáčivost v zatáčkách. Obecně lze říci, že u sériových modelů sportovních vozů se můžeme setkat se svorností do 30%. U závodních vozů pak může být 30 ÷ 75% dle podmínek a požadavků.



Obr.21 Uspořádání kuželového samosvorného diferenciálu s třecími plochami [4]



Obr.22 Kinematické a silové poměry na diferenciálu se zvýšeným třením [1]

5.1. Vyjádření obecných závislostí u kuželového diferenciálu se zvýšeným třením

Označíme-li třecí momenty na levém a pravém planetovém kole M_{Tl} , M_{Tp} , na satelitu M_{Ts} , pak za předpokladu $n_l > n_p$ (tedy $n_l > n_t > n_p$) platí dle **Obr.20** :

Hnací moment:

$$M_t = (F_l + F_p) \cdot r_{pl} \quad (5.1)$$

Moment na levé planetě:

$$F_l \cdot r_{pl} - M_{Tl} = M_l \Rightarrow F_l \cdot r_{pl} = M_l + M_{Tl} \quad (5.2)$$

Moment na pravé planetě:

$$F_p \cdot r_{pl} - M_{Tp} = M_p \Rightarrow F_p \cdot r_{pl} = M_p + M_{Tp} \quad (5.3)$$

Moment na satelitu:

$$F_p \cdot r_s - M_{Ts} = F_l \cdot r_s \quad (5.4)$$

Rozšíříme-li poslední rovnici o poloměr r_{pl} dostaneme:

$$F_p \cdot r_{pl} = F_l \cdot r_{pl} + M_{Ts} \cdot \frac{r_{pl}}{r_s} \quad (5.5)$$

Dle výše uvedených závislostí momentů levé a pravé planety plyne z posledního vztahu:

$$M_p - M_{Tp} = M_l + M_{Tl} + M_s \cdot \frac{r_{pl}}{r_s} \quad (5.6)$$

A tedy:

$$M_p = M_l + M_{Tl} + M_{Tp} + M_{Ts} \cdot \frac{r_{pl}}{r_s} \quad (5.7)$$

Z uvedených závislostí je zřejmé, že moment na pomalejší hřídeli M_p , je větší než na hřídeli M_l , které se otáčí rychleji. [1]

Velikosti třecích momentů jsou tím větší, čím více jsou planetová kola tlačena ke skříni diferenciálu. Přítlak lamel je vzhledem k ozubení proporcionální dle přenášeného momentu. Například za předpokladu $M_{Tp} = M_{Tl} = M_{Ts} = 0,1 \cdot M_l$; dále $\frac{r_{pl}}{r_s} = 1,5$ pak plyne pro poměr

$$\frac{M_p}{M_l} = 1 + 0,1 + 0,1 + 0,15 = 1,35 \quad (5.8)$$

Moment přenášený talířovým kolem plyne z výše uvedených vztahů:

$$M_t = M_l + M_p + M_{Tl} - M_{Tp} \quad (5.9)$$

Za předpokladu, že jsou vlevo i vpravo stejné třecí momenty pak platí:

$$M_t = M_l + M_p = M_l \cdot \left(1 + \frac{M_p}{M_l}\right) \quad (5.10)$$

Pro maximální přenášený moment v případě, že levé kolo má menší přilnavost:

$$M_l \cdot \left(1 + \frac{M_p}{M_l}\right) = r_d \cdot \mu_l \cdot F \cdot \left(1 + \frac{M_p}{M_l}\right) \quad (5.11)$$

Pro výše uvedený číselný příklad $\frac{M_p}{M_l} = 1,35$ bude maximální celkový přenášený moment:

$$M_{Tmax} = 2,35 \cdot r_d \cdot \mu_l \cdot F \quad (5.12)$$

Je tedy zřejmé, že za těchto okolností tento samosvorný diferenciál přenesse zhruba o 17,5% větší točivý moment než diferenciál otevřený. Svornost je 1,35.

Samotnou svornost lze vyjádřit těmito vztahy:

$$S = \frac{M_l}{M_p} = \frac{1}{\eta_d}$$

Kde η_d - je účinnost diferenciálu

S- svornost diferenciálu

Nejpoužívanější diferenciály se zvýšenou svorností (se sníženou účinností) můžeme rozdělit do tří základních skupin.

- vačkové diferenciály
- diferenciály se zvýšeným třením
- automatické diferenciály

5.1. Vačkové samosvorné diferenciály

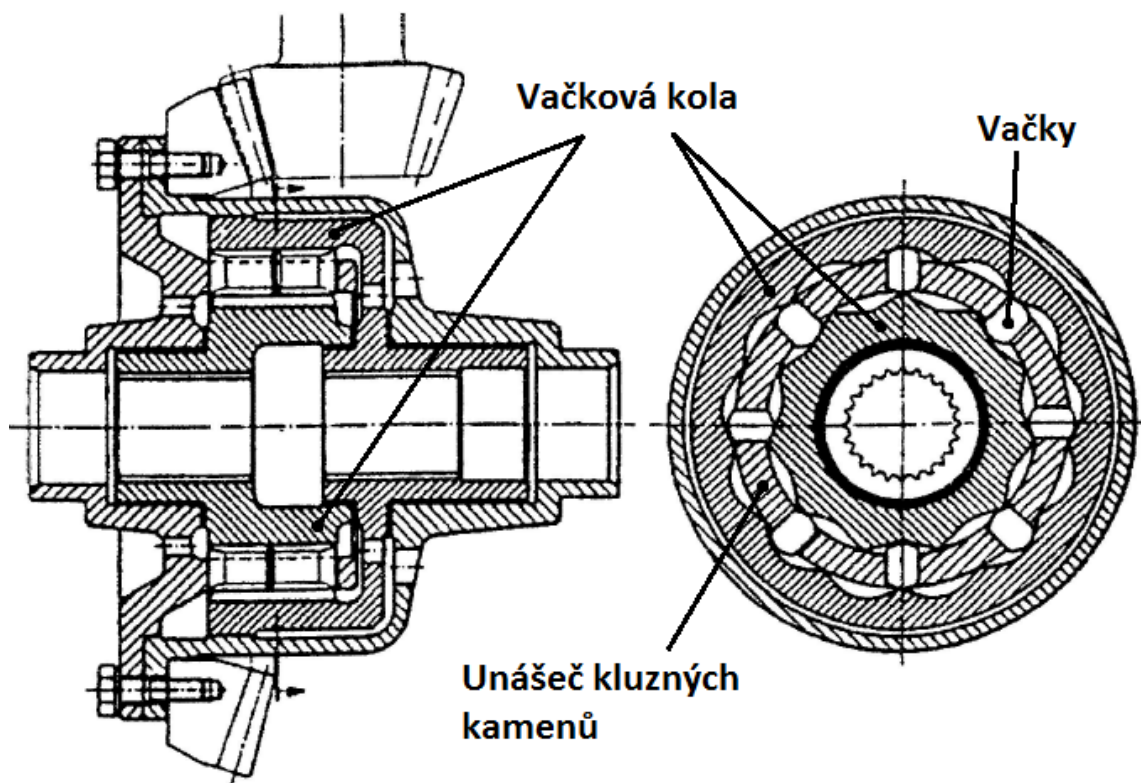
Mechanismus je složen z unášече kolíků (kluzné kameny), který je součástí talířového kola a z vačkových kol, pevně spojených s hnacími hřídeli jednotlivých kol. Vnitřní tření kluzných kamenů v jejich vedení a na stykových plochách je určeno tak, že při průjezdu zatáčkou nebo nestejných adhezních podmínkách pro jednotlivá kola, vznikne samosvornost.

Přednosti této konstrukce diferenciálu jsou v jednoduchosti, malých rozměrech a nízkých výrobních nákladech. Z důvodu velice rychlého opotřebení součástí diferenciálu se však tento typ prakticky nepoužívá. Možné využití je motorsport, protože malá

Životnost většinou není překážkou a prioritou jsou jízdní vlastnosti. Jízda s vačkovým diferenciálem je pro závodníky citlivá a čitelná.

Dle uspořádání vaček existují dva typy vačkového diferenciálu:

- radiální
- axiální



Obr.23 Uspořádání samosvorného radiálního vačkového diferenciálu [1]

5.2. Diferenciály se zvýšeným třením

Nejpoužívanější kategorií jsou diferenciály se zvýšeným třením (Limited Slip Differential). Tyto můžeme rozdělit do třech nejčastějších konstrukcí.

- Diferenciál typu Torsen
- Diferenciál s viskózní spojkou
- Diferenciál s třecí lamelovou spojkou

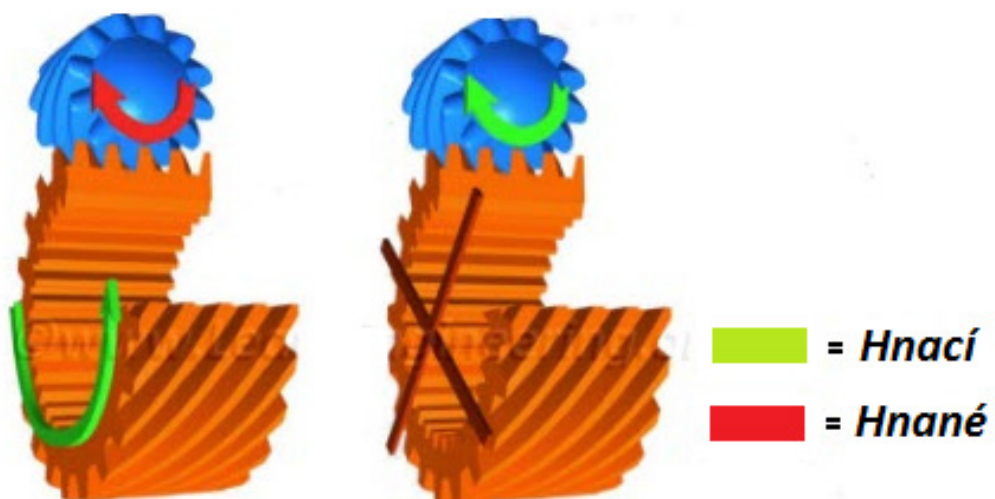
5.2.1. Samosvorný diferenciál Torsen

Název tohoto diferenciálu vznikl ze spojení dvou anglických slov Torque-Sensing neboli citlivý na točivý moment. Tento typ diferenciálu je z konstrukčního hlediska kombinací dvou jednodušších konstrukcí. Tou je diferenciál čelní (nesamosvorný) a diferenciál šnekový (samosvorný). Svornost je vyvolávána nízkou mechanickou účinností šroubového ozubení.

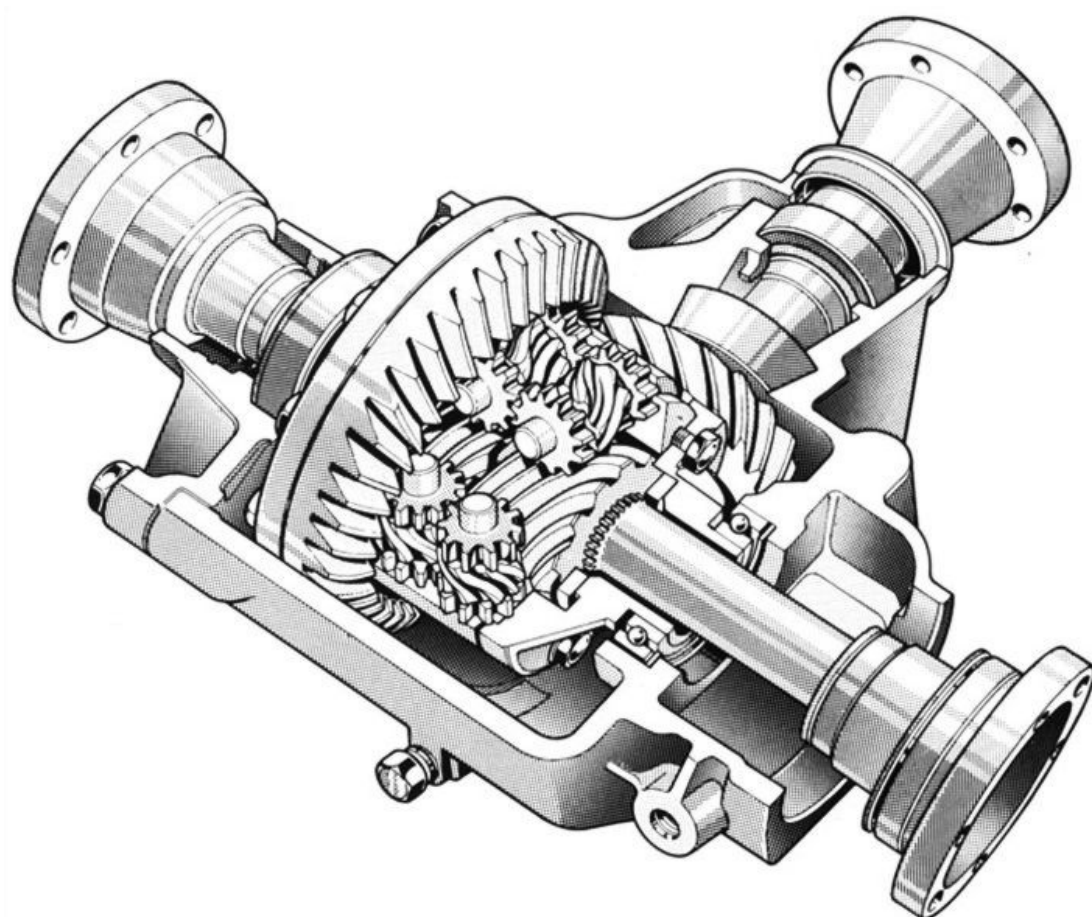
Tato konstrukce se skládá z dvou planetových šnekových kol a ze tří párů šnekových satelitů. Satelity stejné dvojice jsou mezi sebou v záběru pomocí čelních ozubených kol s přímým ozubením, přičemž současně je každý ze satelitů svým šnekovým ozubením v záběru s jedním planetovým kolem. Planetová šneková kola jsou spojena s hnacími hřídeli jednotlivých kol. Satelity jsou volně uloženy na čepích vetknutých do klece diferenciálu. Tok momentu je tedy ze stálého převodu na klec diferenciálu, z klece na čepy satelitů a přes samotné satelity na planetová šneková kola. Konstrukce využívá vlastnosti, že přenos otáčivého pohybu je možný pouze z planetového kola na satelit, nikoliv však naopak.

Při jízdě po přímce za stejných adhezních podmínek se diferenciál otáčí jako celek a klec diferenciálu má stejné otáčky jako obě hnací hřídele. V tomto případě se moment rozděluje rovnoměrně ve stejném poměru. V případě zhoršení adhezních podmínek jednoho z kol, nemůže dojít k protáčení kola, protože přenos otáčivého pohybu ze satelitu na planetové kolo není možný. Díky svornosti se zvětší podíl točivého momentu připadající kolu s lepšími adhezními podmínkami. Toto však při průjezdu zatáčkou nebrání tomu, aby se jednotlivá kola otáčela různými otáčkami odpovídajícími jejich dráze. Velikost svornosti diferenciálu je dána geometrií ozubení šnekového převodu. Lze dosáhnout svornosti až do 90%, což odpovídá mechanické účinnosti pouhých 10%. Průběh svornosti se dá měnit pouze geometrií šnekového ozubení tzn. pouze výměnou šnekového soukolí za jiné. Diferenciál má výhodu ve své vysoké životnosti a spolehlivosti. Nevýhodou je náročná výroba a z toho plynoucí vysoká cena. Nevýhodou pro závodní použití je také výše zmíněná neschopnost ladění svornosti dle potřeby.

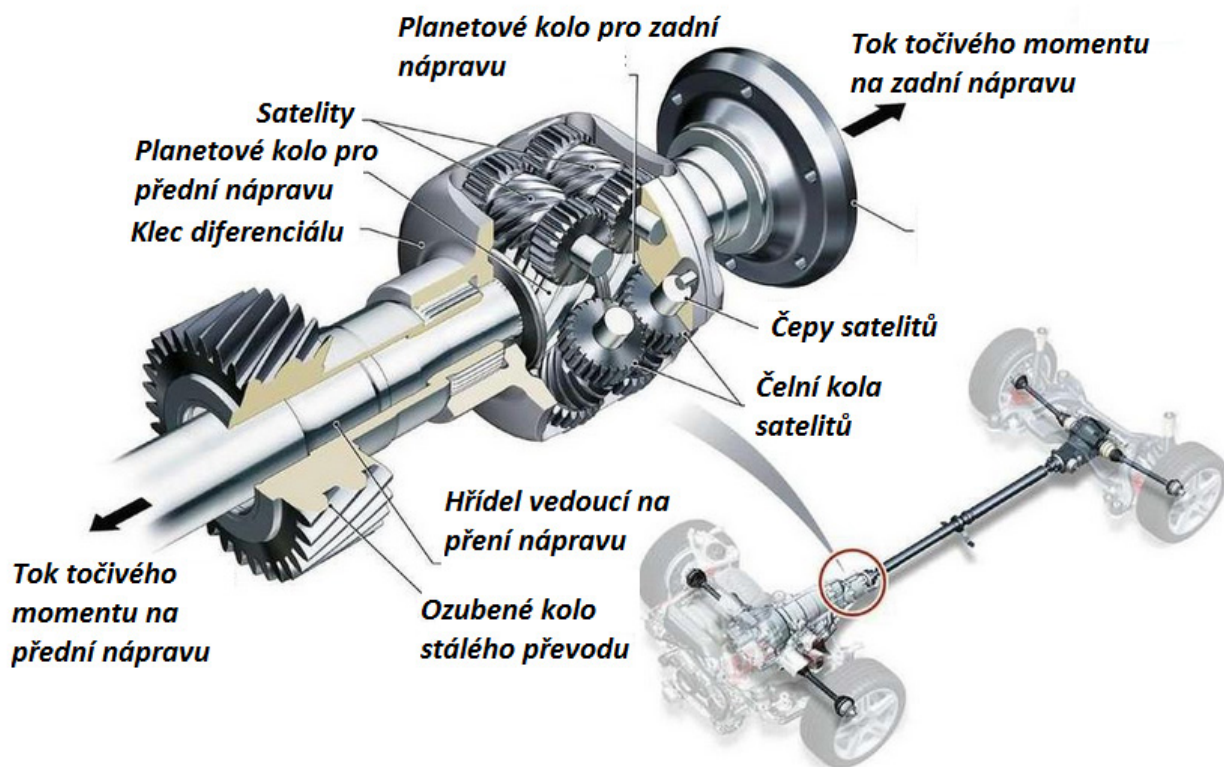
Tento typ diferenciálu lze použít také jako diferenciál mezinápravový.



Obr.24 Možný přenos točivého pohybu ve šnekovém soukolí [9]



Obr.25 Samosvorný diferenciál typu Torsen [5]



Obr.26 Samosvorný diferenciál Torsen použitý jako mezinápravový [7]

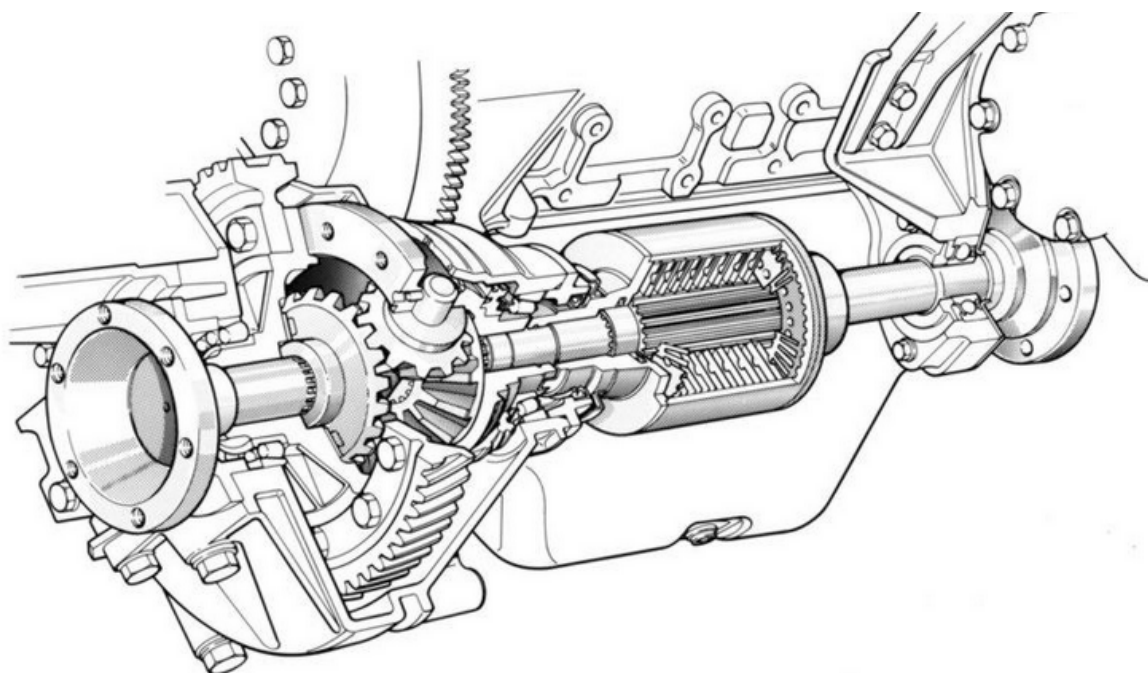
5.2.2. Samosvorný diferenciál s viskózní spojkou

Předchozí typ diferenciálu byl citlivý na rozdíl hnacích momentů. Tento typ diferenciálu je naopak citlivý na rozdíl otáček hnacích hřídelů. Svornost tedy vzniká až při prokluzu. Čím větší je rozdíl otáček, tím větší je svornost diferenciálu. Z této vlastnosti vyplývá, že je vhodný především jako mezinápravový diferenciál u vozidel s pohonem všech kol. Používá se ale také jako nápravový diferenciál.

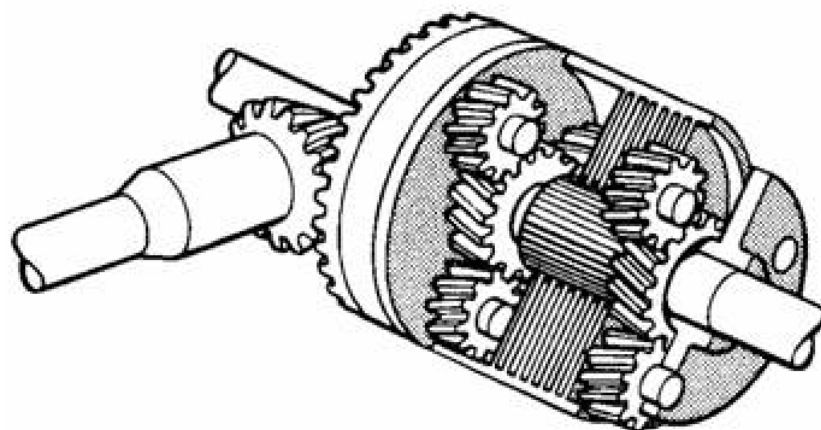
Jeho konstrukce spočívá ve dvou sadách lamel, přičemž každá ze sad je spojena s jedním hnacím hřídelem. Pokud nedochází k prokluzu, otáčí se obě sady současně jako celek. Lamely jsou od sebe odděleny malými spárami, které jsou naplněny kapalinou o vysoké viskozitě. Touto kapalinou bývá většinou speciální silikonový olej. Při zvětšujícím se rozdílu otáček jednotlivých hnacích hřídelů roste v závislosti na viskozitě kapaliny odpor proti vzájemnému otáčení sad lamel. Tímto vzniká svornost diferenciálu a při prokluzu se plynule zvětšuje část hnacího momentu připadající hřídeli vedoucí na kolo nebo kola s lepšími adhezními podmínkami. Při průjezdu zatáčkou nejsou rozdíly otáček příliš velké a otáčení sad lamel vůči sobě je pomalé. Při nízkém rozdílu otáček je tedy svornost velice malá.

Celková svornost a její průběh se mění s viskozitou použitého silikonového oleje. Průběh lze tedy měnit výměnou oleje za jiný s větší nebo menší viskozitou. Velkou výhodou vůči jiným diferenciálům je velmi plynulá změna účinnosti a samočinnost. Předností je také velice tichý chod a životnost. Jednotlivé lamely mezi sebou nejsou v přímém kontaktu, takže nedochází k opotřebení. Také působí jako tlumič záběru a chrání převodové ústrojí před rázy.

Viskózní spojka za účelem vytvoření svornosti diferenciálu může být použita jak u mezinápravového diferenciálu tak u nápravového.



Obr.27 Viskózní spojka použita k vytvoření samosvornosti otevřeného kuželového diferenciálu (v tomto případě nápravového) [5]



Obr.28 Viskózní spojka použita pro vytvoření samosvornosti u čelního diferenciálu

[10]

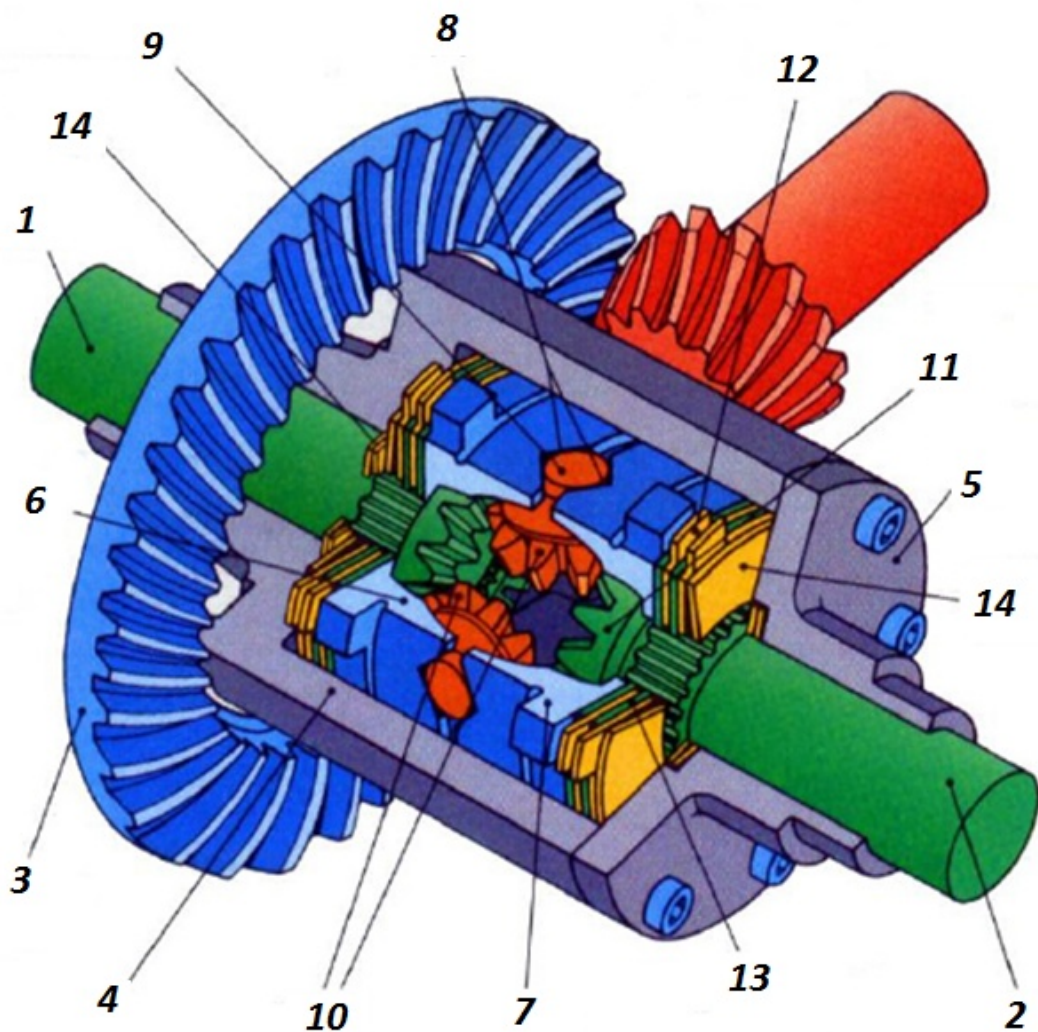
5.2.3. Samosvorný diferenciál s třecí spojkou

Diferenciál Lok-O-Matic

Tento systém používá kuželové diferenciální soukolí s třecími lamelami. Samosvornost je vyvozena lamelovou brzdou, jejíž intenzita je úměrná přenášenému momentu. Je vhodný především jako nápravový diferenciál.

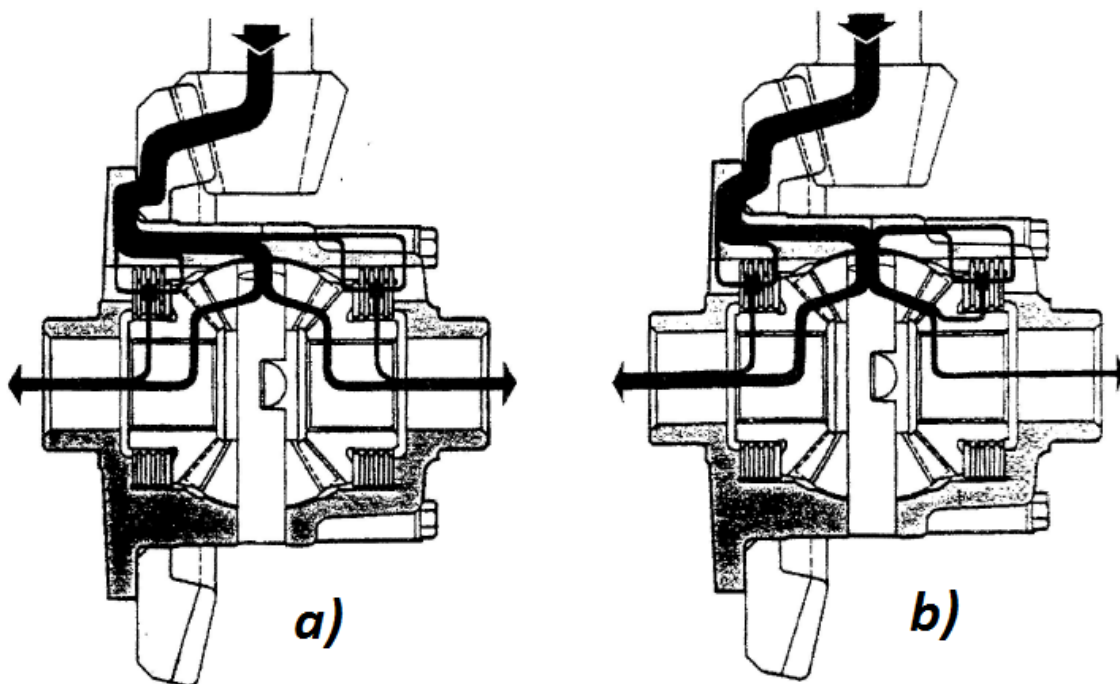
Diferenciál se skládá z následujících částí. Stálý převod s talířovým ozubeným kolem připevněným ke kleci diferenciálu. Klec diferenciálu obsahuje diferenciální kuželové soukolí, čtyři sady třecích lamel a dva přitlačné kroužky, které se mohou axiálně pohybovat. Na každé straně diferenciálu je jedna sada spojena s vnitřním axiálním drážkováním klece diferenciálu a druhá sada je spojena vnějším axiálním drážkováním na hnací hřídeli. Čepy satelitů tentokrát nejsou pevně vetknuty do klece diferenciálu, ale jsou sevřeny do klínovité drážky mezi dva přitlačné kroužky. Tyto kroužky jsou uloženy v axiálních drážkách v kleci diferenciálu. Diferenciál může být doplněn o talířové nebo vinuté pružiny určené pro vyvození stálého předpětí lamel.

Funkce je tedy taková, že točivý moment přicházející ze stálého převodu na klec diferenciálu, dále je díky axiálním drážkám přenášen na přitlačné kroužky. Z těchto kroužků se točivý moment přenáší na čepy satelitů, které díky uložení v klínových drážkách kroužků tyto kroužky od sebe rozevírají a vytvářejí přitlak na třecí lamely. Svornost tohoto typu diferenciálu je tedy nejvíce citlivá na přenášený moment přicházející ze stálého převodu. Pro rychlejší reakci diferenciálu při prudké změně smyslu zatáčení vozu nebo při prudké změně adhezních podmínek mezi koly jsou lamely stále přitlačovány výše zmíněnými pružinami.



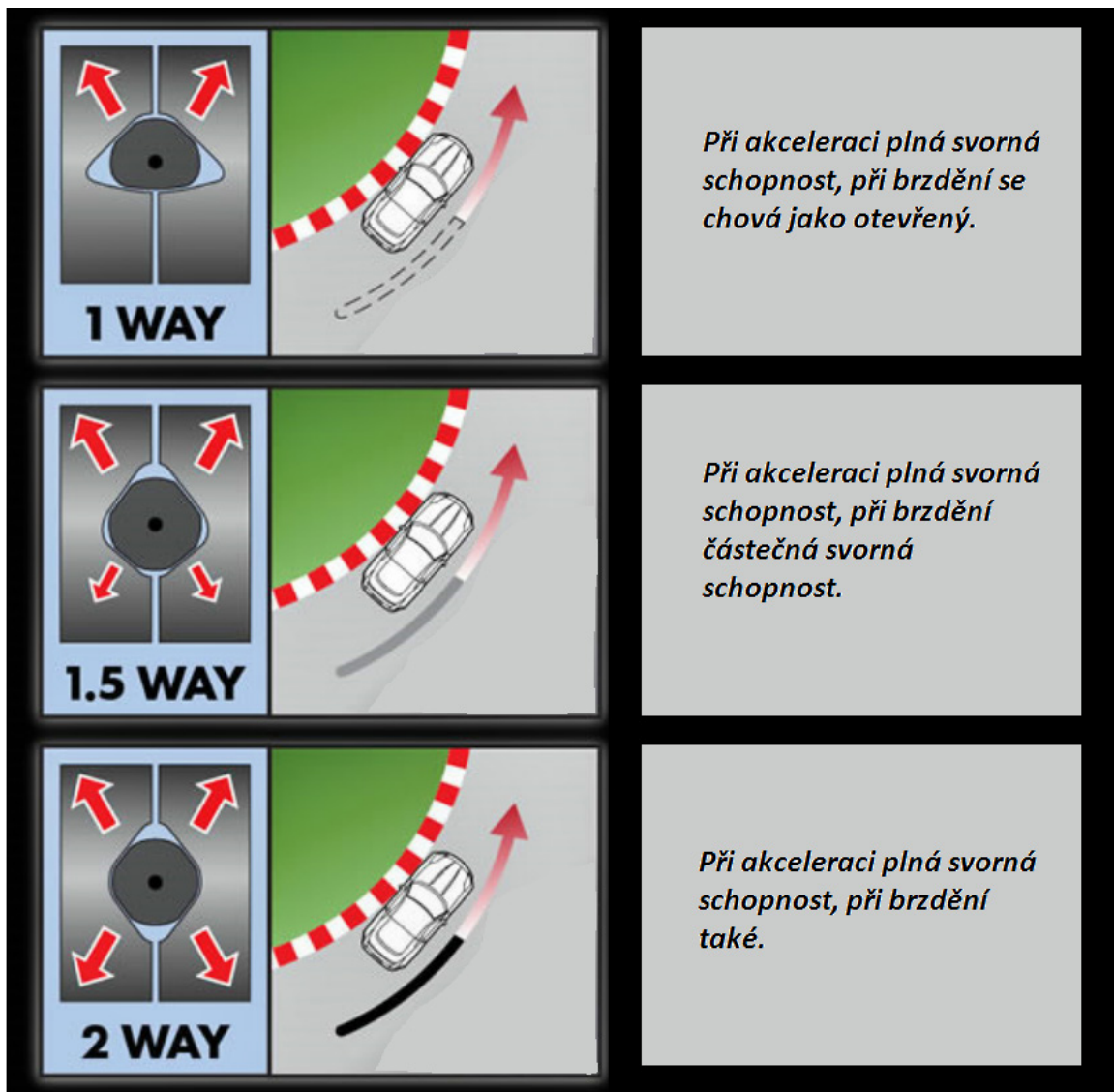
Obr.29 Uspořádání samosvorného diferenciálu s třecí spojkou [10]

- 1- Hnací hřídel levého kola
- 2- Hnací hřídel pravého kola
- 3- Talířové ozubené kolo stálého převodu
- 4- Klec diferenciálu
- 5- Víko klece diferenciálu
- 6- Levý přítlačný kroužek
- 7- Pravý přítlačný kroužek
- 8- Klínovitá drážka
- 9- Čep satelitů
- 10- Satelity
- 11- Planetové ozubené kolo
- 12- Sada lamel spojená s klecí diferenciálu
- 13- Sada lamel spojená s hnací hřídelí
- 14- Talířová pružina



Obr.30 Tok hnacího momentu a) při stejné adhezi a přímé jízdě
b) při rozdílné adhezi nebo při zatáčení [1]

Obrovskou výhodou tohoto diferenciálu jsou rozsáhlé možnosti ladění svornosti. Pouhou záměnou určitých komponentů lze velmi rychle měnit průběhy i velikosti svornosti. Z tohoto důvodu bývá hojně používán pro závodní účely. Stálou svornost (předpětí lamel) lze jednoduše změnit záměnou talířových nebo vinutých pružin. Průběh svornosti lze modifikovat různou geometrií klínovité drážky (jejím úhlem) přitlačných kroužků. Celkovou maximální svornost lze modifikovat různým uspořádáním třecích lamel. Velmi velkou předností oproti jiným konstrukcím samosvorných diferenciálů je také možnost nastavit rozdílné průběhy svornosti při toku momentu z motoru a při toku momentu od kol (akcelerace a brzdění). Dle tvaru klínovité drážky lze rozdělit svorné diferenciály s třecí spojkou na jednocestné, jedno a půl cestné a dvoucestné. V případě jednocestné ho tvaru je geometrie klínovité drážky taková, že k přitlačování lamel dochází pouze při akceleraci. U jednoho a půl cestného je geometrie taková, že při akceleraci dochází k plnému svornému účinku a při brzdění k částečnému svornému účinku. U dvoucestné konstrukce dochází ke svornému účinku jak při akceleraci tak při brzdění.

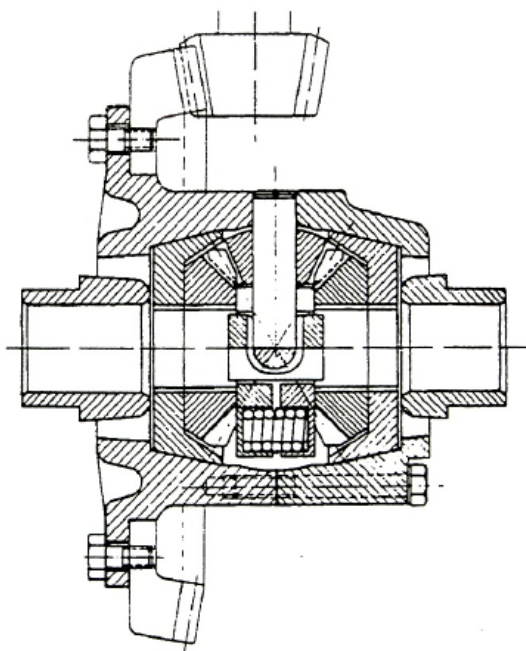


Obr.31 Vliv tvaru klínové drážky v přitlačných kroužcích [10]

Nevýhodou tohoto typu diferenciálu je jeho zahřívání a životnost. Lamely jsou ve stálém kontaktu a dochází k jejich opotřebení. Zahřívání diferenciálu lze řešit u běžných sportovních vozů pasivním chlazením vzduchem. U závodních vozů je nutno do mazacího systému diferenciálu zařadit chladič s elektrickým nebo mechanickým čerpadlem.

Diferenciál Borg - Warner

Diferenciál Borg - Warner funguje na podobném principu jako Loc-O-Matic. Místo třecích lamel však obsahuje kuželové třecí spojky umístěné mezi skříní a planetovými koly. Třecí moment je zde vyvozován axiálními silami v záběru zubů a také přitlačnými vinutými pružinami. Nedisponuje tak širokými možnostmi nastavení jako předchozí typ. Nevýhody jsou podobné, opotřebení a zahřívání diferenciálu.



Obr.32 Diferenciál Borg – Warner [1]

5.2.4. Průběhy svornosti diferenciálů se zvýšeným třením a jejich změny

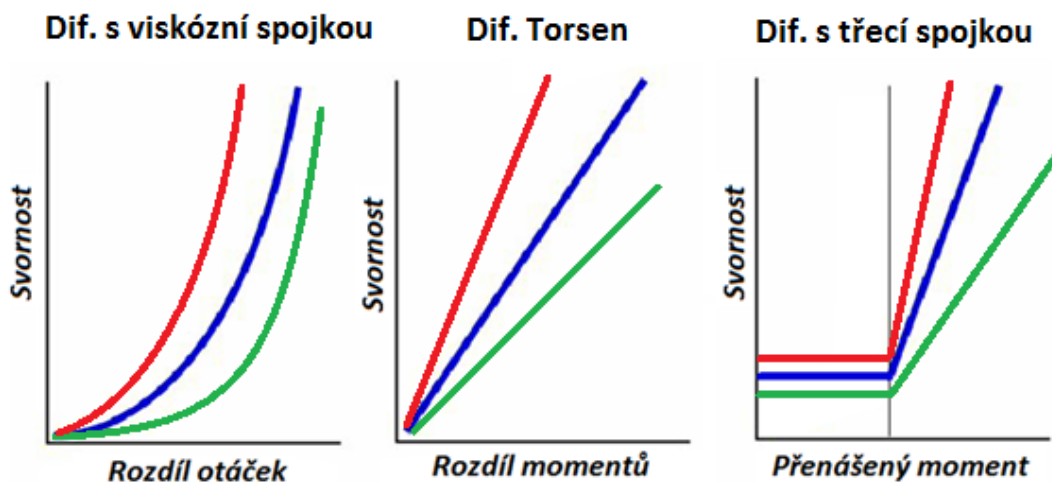
Průběhy svornosti jsou u každého typu diferenciálu se zvýšeným třením odlišné. Následující obrázek ukazuje tvary křivek průběhu měnící se svornosti. Sklony těchto křivek ovlivňují faktory uvedené pod jednotlivými průběhy.

U diferenciálu s viskózní spojkou vyšší sklon křivky znamená, že diferenciál sníží svou mechanickou účinnost při nižším rozdílu otáček (zavírá dříve). Červená křivka znázorňuje změnu, pokud použijeme olej o vyšší viskozitě, nebo zvýšíme míru naplnění diferenciálu olejem. Zelená pak ukazuje změnu, pokud použijeme olej o nižší viskozitě, nebo snížíme míru naplnění skříně diferenciálu olejem.

U diferenciálu Torsen vyšší sklon křivky znamená, že mechanická účinnost diferenciálu klesá s rozdílem hnacích momentů rychleji. Zelená křivka znázorňuje použití šnekového ozubení s vyšší mechanickou účinností. Červená křivka znázorňuje použití šnekového ozubení s nižší mechanickou účinností.

U diferenciálu s třecí spojkou je vodorovná přímka hodnotou předpětí svornosti a šikmá přímka vyjadřuje, jak rychle s rostoucím momentem přicházejícím ze stálého převodu klesá mechanická účinnost diferenciálu. Zelená vodorovná přímka znamená, že bylo pro předpětí svornosti použito méně pružin nebo pružiny o nižší tuhosti. Červená vodorovná přímka ukazuje použití více pružin nebo použití pružin o vyšší tuhosti. Šikmá přímka znázorňuje nástup svornosti s rostoucím přenášeným momentem. Zelená přímka

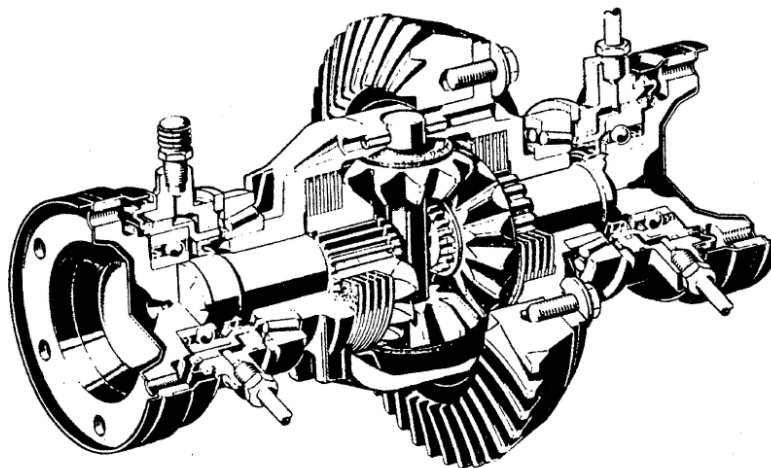
znázorňuje použití méně ostrého úhlu v klínové drážce přítlačných kroužků lamel. Červená přímka reprezentuje geometrii klínové drážky s ostřejším úhlem. Maximální svornost je dána uspořádáním třecích lamel. Toto uspořádání je dáno výrobcem závodního diferenciálu.



Obr.42 Průběhy svornosti u nejpoužívanějších typů samosvorných diferenciálů [10]

5.3. Automatické diferenciály

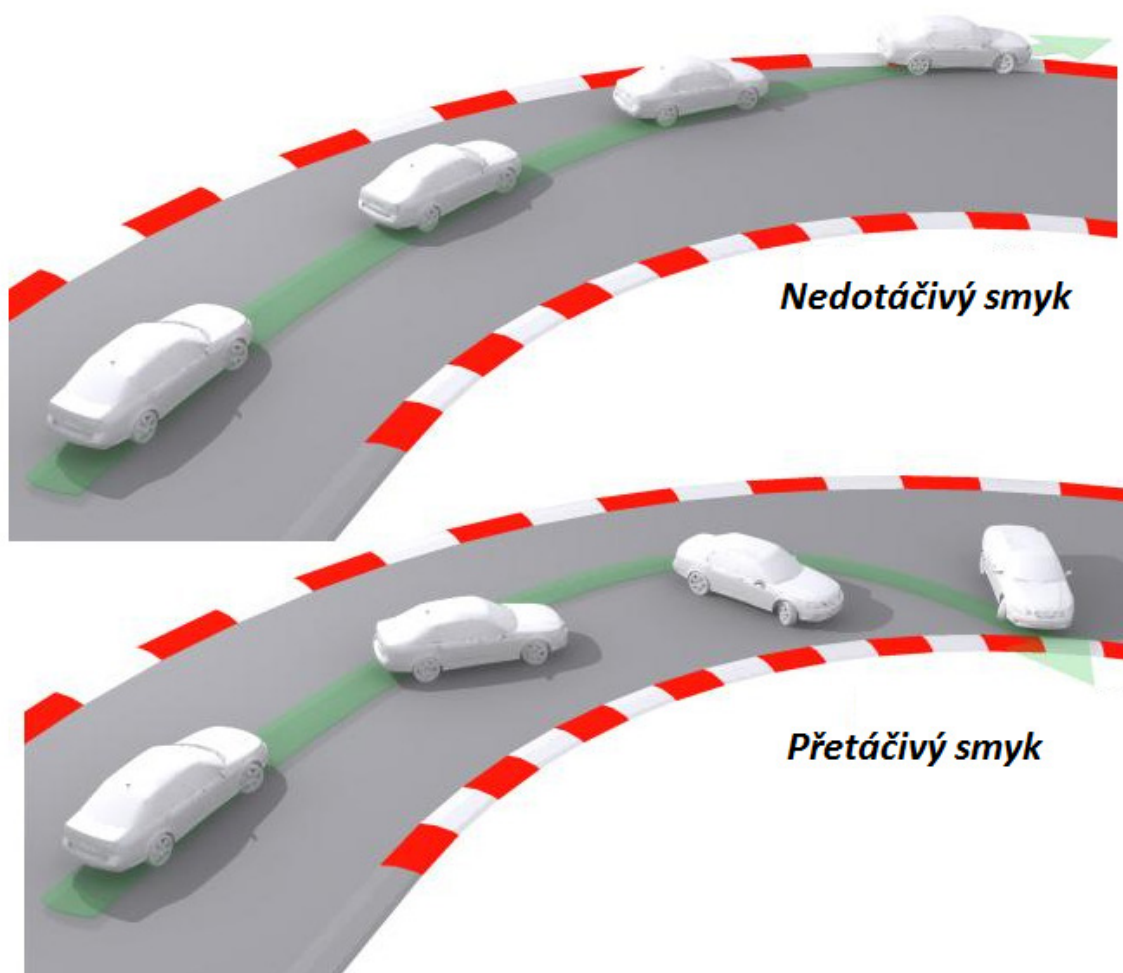
Za pomoci elektronických systémů je možno ovládat svornost pomocí elektrohydraulických ventilů dle aktuální situace. Pomocí čidel jsou snímány otáčky jednotlivých vozidlových kol a hnacího pastorku stálého převodu. Otáčky zadních vozidlových kol jsou porovnávány s otáčkami kol předních. Při vzniklých odchylkách od očekávaného odvalování vozidlových kol řídicí jednotka pomocí elektrohydraulických ventilů zvýší svornost diferenciálu. Názvy těchto protiprokluzových systémů mají různé názvy dle výrobce. Pro ukázkou je uveden systém ASD firmy Mercedes – Benz.



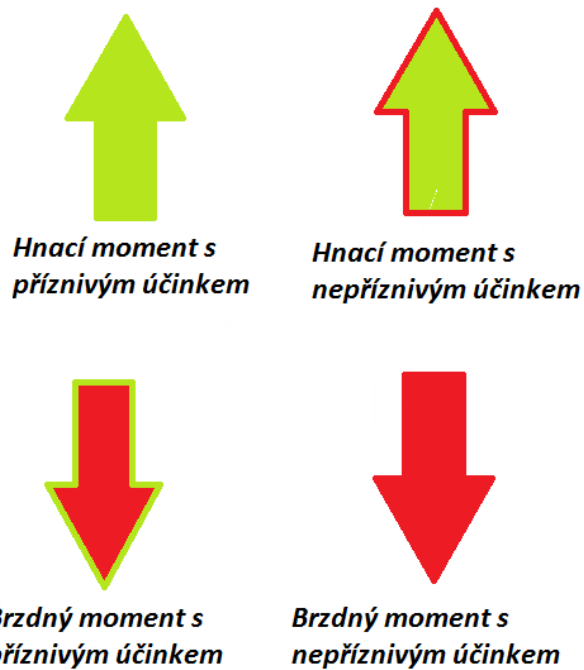
Obr.33 Automatický blokovací diferenciál Mercedes-Benz ASD [1]

6. Nastavení svornosti a jeho vliv na jízdu

V předchozích kapitolách bylo popsáno, jak jednotlivé konstrukce diferenciálů fungují a co jejich funkci ovlivňuje. V této kapitole se nachází doporučení pro správné nastavení diferenciálu tak, aby bylo dosaženo optimálního chování vozu a také co nejlepších výsledků. Diferenciál nejvíce ovlivňuje chování vozu při průjezdu zatáčkou, proto následující text popisuje různé situace, které mohou při průjezdu zatáčkou nastat. Nejprve je nutné definovat problémy, které mohou při průjezdu nastat. Jedná se zejména o přetáčivý a nedotáčivý smyk. Při přetáčivém smyku dříve ztrácí adhezi zadní náprava a automobil má tendenci se otočit okolo přední nápravy. Při nedotáčivém smyku dříve ztrácí adhezi přední náprava, automobil přichází o schopnost pokračovat v zatáčení a automobil je odstředivými silami tažen ven ze zatáčky. Tyto dva nežádoucí jevy jsou zobrazeny na obrázku **Obr.34**.



Obr.34 Rozdíl mezi přetáčivým a nedotáčivým smykem [12]

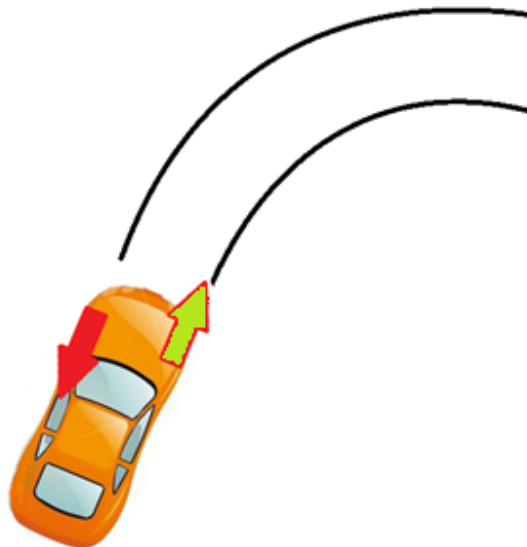


Obr.35 Význam šipek používaných v následujících schématech [10]

6.1. Diferenciál s viskózní spojkou

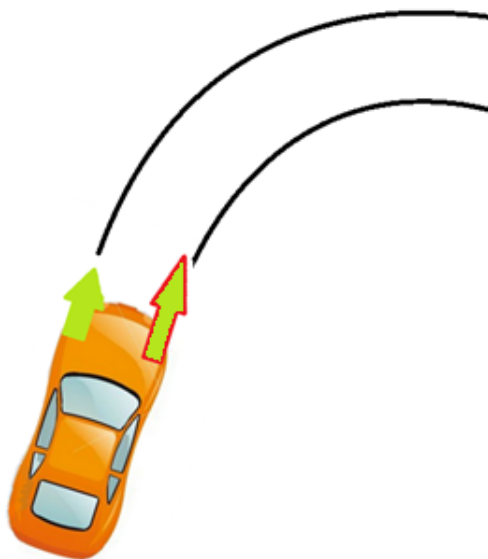
V této kapitole je popsáno chování vozu při průjezdu zatáčkou, pokud je vybaven diferenciálem s viskózní spojkou. Situace jsou popsány na vozidle s předním náhonem.

Větší viskozita oleje znamená, že diferenciál začne uzavírat dříve (při menším rozdílu otáček). Nevýhodou tohoto je, že pokud u vozů s předním náhonem neprojždíme zatáčku pod plynem, tak se zvýší jeho nedotáčivost, neboť nám zvýšená svornost přibrzdí vnější kolo a urychluje vnitřní.



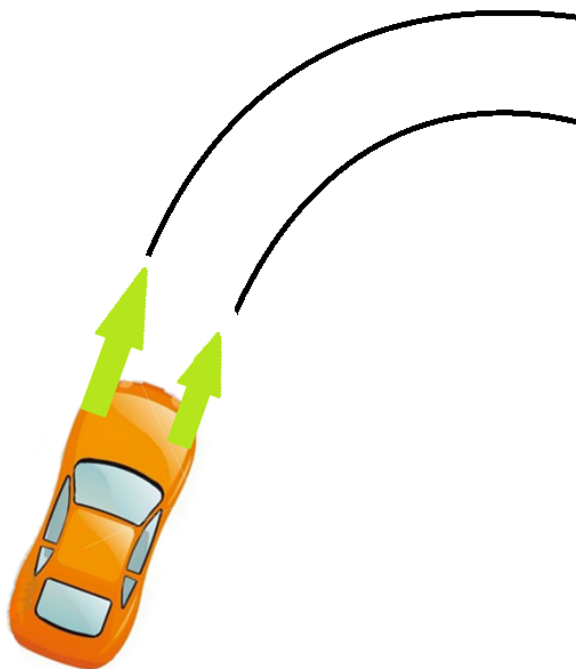
Obr.36 FWD vůz, viskózní diferenciál, průjezd zatáčkou bez plynu [10]

Při průjezdu zatáčky pod plynem nám viskózní diferenciál také zvětšuje nedotáčivost.



Obr.37 FWD vůz, viskózní diferenciál, průjezd zatáčkou pod plynem [10]

Až při průjezdu zatáčkou pod plynem a za hranicí adheze vnitřního kola, začne diferenciál přenášet větší točivý moment na vnější kolo než na kolo vnitřní. Pokud nás netrápila přetáčivost vozu tak až v tomto okamžiku je pro nás funkce viskózního diferenciálu přínosem.



Obr.38 FWD vůz, viskózní diferenciál, průjezd zatáčkou po plynem za hranicí adheze vnitřního kola [10]

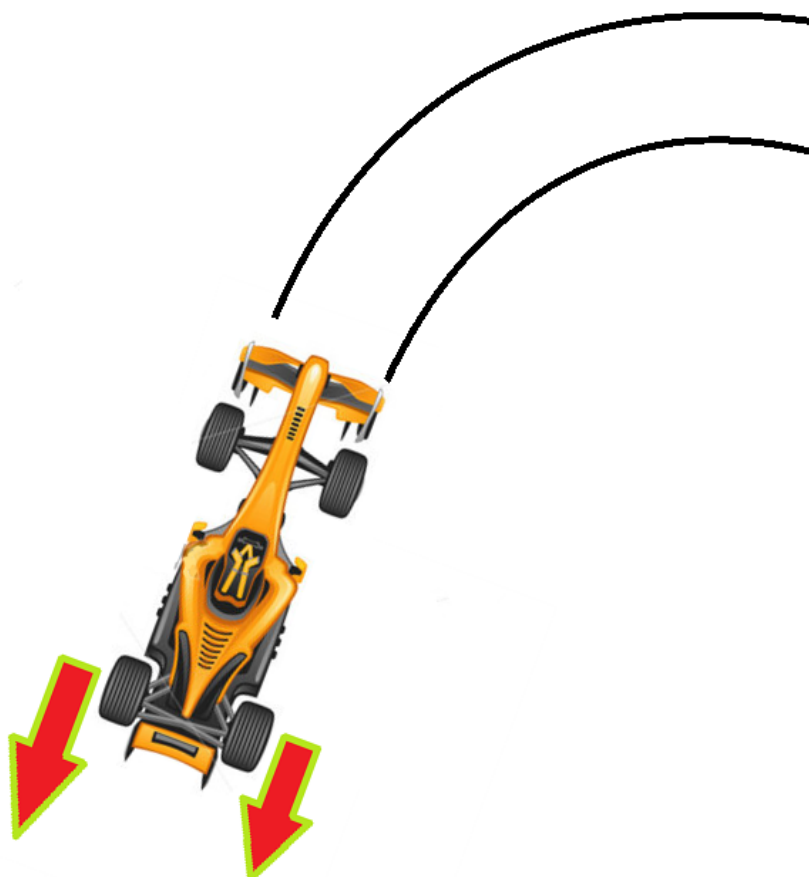
U vozidel se zadním náhonem funguje viskózní diferenciál podobně. Avšak u vozidel se zadním náhonem většinou není problém s nedotáčivostí, proto je tento typ diferenciálu vhodný především pro slabší vozy se zadním náhonem.

6.2. Diferenciál s třecí spojkou

Nejvíce používaný typ diferenciálu pro sportovní a závodní vozidla je diferenciál Loc-O-Matic využívající třecí lamelové spojky. U tohoto typu diferenciálu lze měnit průběh svornosti při brzdění, při akceleraci a také předpětí svornosti. Různé situace při průjezdu zatáčkou budou popsány na vozidle se zadním náhonem.

- Vliv svornosti při brzdění

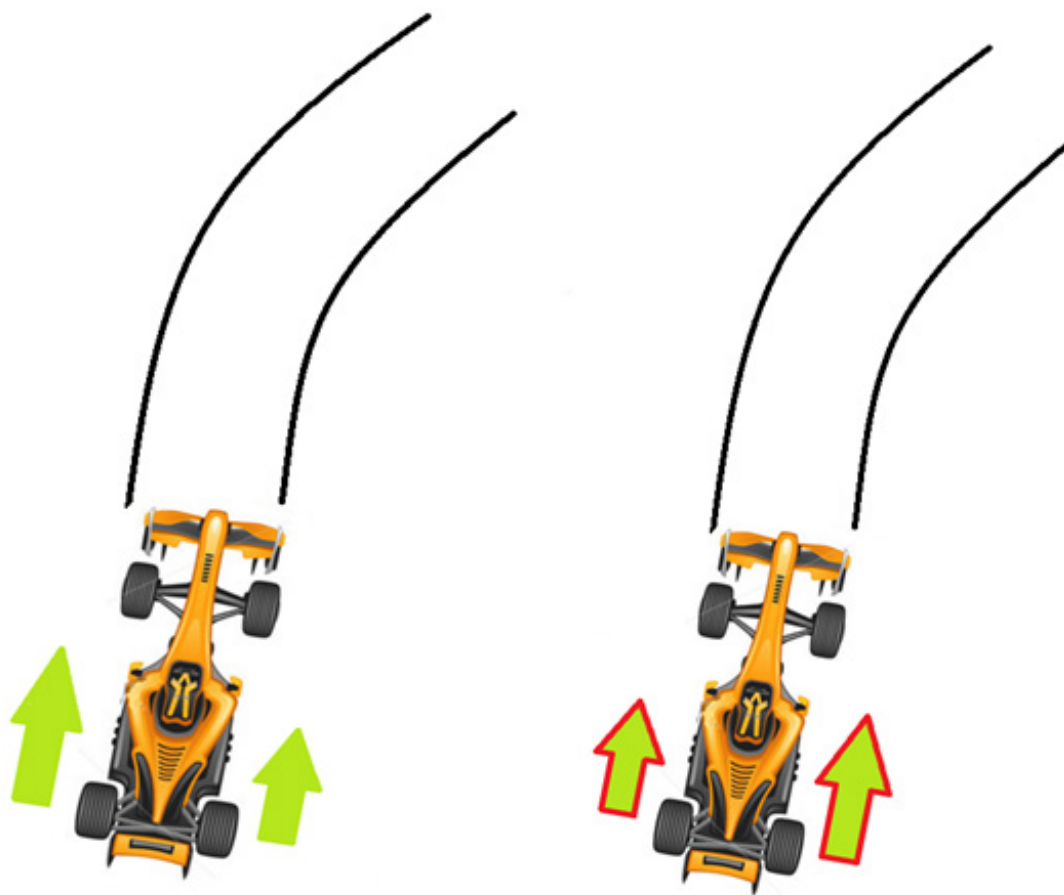
Vysoká svornost při brzdění nám v situaci, kdy je vnitřní kolo na hranici své adheze, sníží pravděpodobnost zablokování tohoto kola a přenesou větší brzdný moment na kolo vnější. Tímto se sníží přetáčivost. Malá hodnota svornosti nám přetáčivost zvýší. Čím větší svornost, tím větší část brzdného momentu nám diferenciál při extrémním brzdění přenesou na vnější kolo.



Obr.39 RWD vůz, diferenciál s třecí spojkou, brzdění za hranicí adheze vnitřního kola při nájezdu do zatáčky [10]

- **Vliv svornosti při akceleraci**

Velká svornost při akceleraci sníží pravděpodobnost protáčení pouze jednoho z kol. Příliš velká svornost však zvýší přetáčivost vozu. V případě, že vůz akceleruje na výjezdu ze zatáčky za hranicí adheze vnitřního kola, pak diferenciál svým třením vyvolá větší hnací moment na vnějším kole (kole s lepšími adhezními podmínkami). Pokud však vůz akceleruje před hranicí adheze vnitřního kola (kolo se ještě neprotáčí), pak diferenciál svým třením toto kolo urychluje, vytváří na něm větší hnací moment a zvětšuje nedotáčivost. Obě situace jsou znázorněny na obrázku (**Obr.38**).

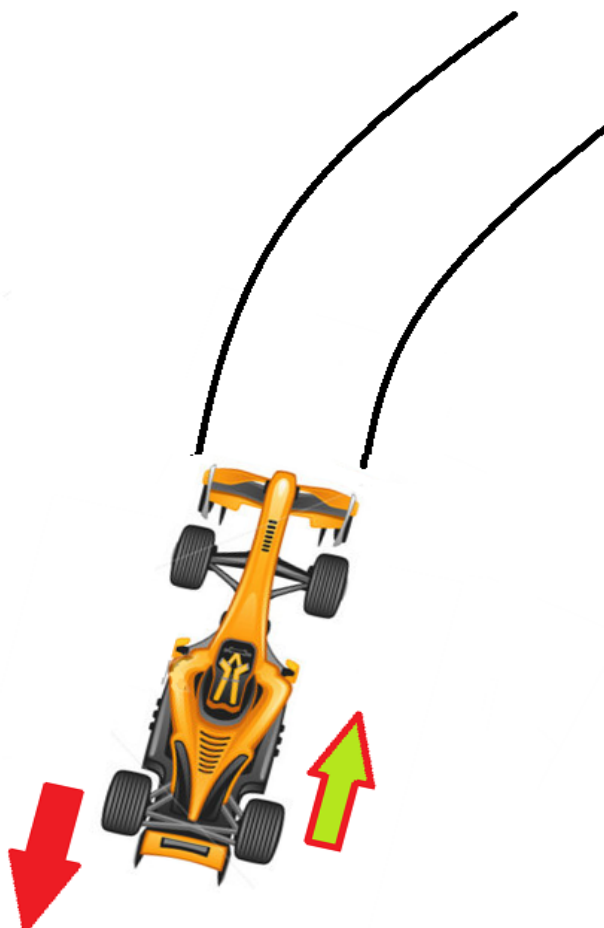


Obr.40 VLEVO: RWD vůz, diferenciál s třecí spojkou, akcelrace za hranicí adheze vnitřního kola

VPRAVO: RWD vůz, diferenciál s třecí spojkou, akcelrace před hranicí adheze vnitřního kola [10]

Vliv předpětí svornosti.

Velikost předpětí svornosti určuje, jak rychlou bude mít diferenciál reakci při přechodu z levé zatáčky do pravé a naopak. V rychlých průjezdech zatáček opačného smyslu by diferenciál nereagoval dostatečně rychle. Příliš velké předpětí však způsobuje nedotáčivost vozu při průjezdu zatáčkou bez plynu. Při vysoké svornosti je vůz také klidnější z přechodu z brzdění na akceleraci.



Obr.41 RWD vůz, diferenciál s třecí spojkou, vliv vysokého předpětí svornosti při průjezdu zatáčkou bez plynu [10]

U vozidel s předním náhonem je obecně většinou problém s nedotáčivostí. Proto je vhodné používat vysoké hodnoty svornosti při akceleraci, neboť po ztrátě adheze na vnitřním kole je mnohem větší moment přenášen na kolo vnější a vůz je mnohem méně nedotáčivý. Vysoké hodnoty předpětí svornosti u vozidel s předním náhonem mnohem znatelněji zvyšují jeho nedotáčivost, než jak tomu bylo u vozidel s náhonem zadním. Poměry hnacích momentů na kolech jsou stejné, jako na obrázcích vozidel se zadním náhonem.

6.3. Diferenciál Torsen

U tohoto typu diferenciálu nelze nezávisle měnit svornosti při akceleraci a brzdění, jako tomu bylo u diferenciálu s třecí lamelovou spojkou. Nastavení celkové svornosti proto musí být vždy kompromisem daných vlastností, které budou vhodné pro předpokládané využití vozidla.

6.4. Nastavení rozdělení hnacího momentu mezi nápravy

U vozidel s pohonem všech kol mezinápravové diferenciály často navíc umožňují nesymetricky rozdělit hnací moment mezi přední a zadní nápravu. Nápravy mají totiž většinou rozdílné adhezní podmínky (zejména svislou sílu působící na vozidlové kolo). Proto je vhodné rozdělit hnací moment nesymetricky podle rozložení váhy vozu, nebo dle požadavků na chování vozu. Pokud preferujeme při průjezdu zatáčkou pod plynem nedotáčivost, nastavíme na přední nápravu okolo 40% nebo více točivého momentu. Pokud však preferujeme, aby dříve ztrácela adhezi náprava zadní (přetáčivost) nastavíme podíl hnacího momentu připadající na přední nápravu 25% nebo méně.

7. Zhodnocení a doporučení

Z předchozích kapitol je zřejmé, že při výběru diferenciálu máme široké možnosti a každý typ má své klady a zápory. Proto je vhodné zvážit, v jakých provozních podmínkách se automobil bude pohybovat nejčastěji a co od něj očekáváme.

U diferenciálu lze volit mezi diferenciálním soukolím s čelními nebo kuželovými ozubenými koly. Diferenciální soukolí pomocí čelních ozubených kol má velmi vysokou mechanickou účinnost a proto dochází k téměř dokonalému dělení momentů přesně na poloviny. Proto tento typ bývá většinou doplněn závěrem diferenciálu, který v nízkých rychlostech a nepříznivých adhezních podmínkách dokáže vyřadit diferenciál z provozu. Toto konstrukční řešení hojně využívá ve svých nákladních vozech automobilka Tatra. Diferenciál řešený soukolím kuželových ozubených kol je v dnešní době u běžných osobních automobilů rozšířen nejvíce. Je kompromisem mezi životností, spolehlivostí, funkčností a cenou. Pokud uvažujeme, že se automobil bude často pohybovat i ve špatných adhezních podmínkách mimo zpevněné komunikace (například terénní vozidla), je velmi vhodné zvolit diferenciál se závěrem. Závěr diferenciálu však lze používat pouze při jízdě v přímém směru nebo při malých rychlostech v obtížném terénu.

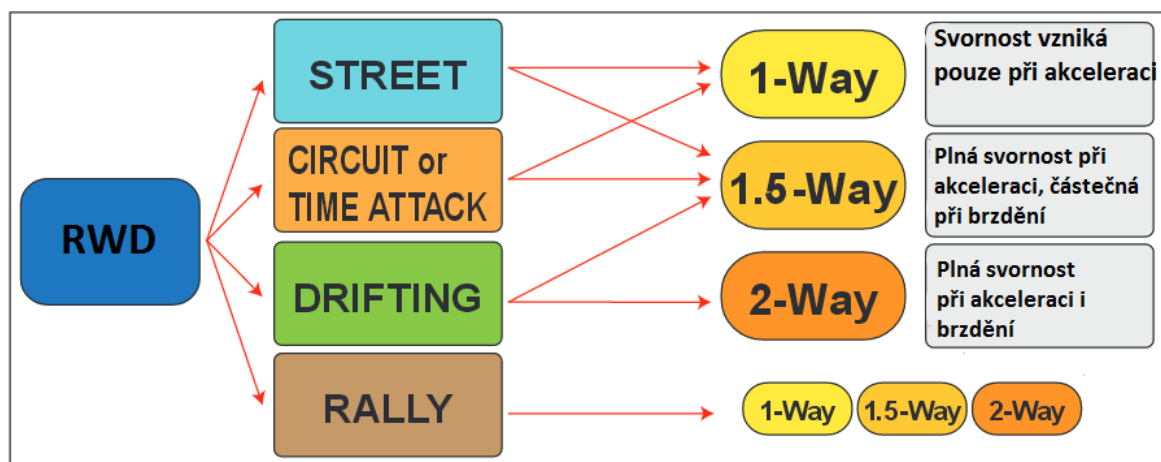
Pokud lze zvažovat, že provoz vozidla bude spočívat pouze v přímých jízdách bez zatáčení a je prioritou hlavně co nejlepší přenos točivého momentu na vozovku (například

závodní speciály pro závody typu sprint s pevným startem), pak lze volit rozvodovku, která obsahuje pouze stálý převod bez diferenciálu. Druhou možností je opět diferenciál se závěrem.

U sportovních vozů nejčastěji požadujeme rozdělení hnacího nebo brzdného momentu v nelineárním poměru, avšak je nutné zachovat funkčnost diferenciálu. Toto nám umožňují tzv. samosvorné diferenciály. Výběr správného typu samosvorného diferenciálu závisí na typických provozních podmínkách sportovního nebo závodního vozu. Obecné doporučení je uvedeno v následujících tabulkách. Hodnoty maximálních svorností nápravových diferenciálů se běžně pohybují u sportovních vozů pro běžný provoz mezi 10 ÷ 30%. Řidič tak může využít výhod poskytující samosvorný diferenciál, ale současně příliš nepociťuje jeho neblahé vlivy v určitých situacích. Hodnoty maximálních svorností u závodních vozů řízených zkušenými závodníky se pohybují mezi 30 ÷ 70%.

Druh vozidla ↓	Funkce diferenciálu →	Nápravový diferenciál FWD	Nápravový diferenciál RWD	Mezinápravový diferenciál
Terénní vozidlo		Dif. se závěrem	Dif. se závěrem	Dif. se závěrem
Sportovní vozidlo		Dif. s třecí lamelovou spojkou	Dif. s viskózní spojkou, Dif. s třecí lamelovou spojkou	Torsen, Dif. s viskózní spojkou
Závodní vozidlo		Dif. s třecí lamelovou spojkou	Dif. s třecí lamelovou spojkou	Dif. s třecí lamelovou spojkou, Torsen

Obr.42 Obecné doporučení pro výběr samosvorného diferenciálu [10]



Obr.43 Tabulka pro výběr samosvorného diferenciálu s třecími lamelami pro vozidlo se zadním náhonem [13]

8. Závěr

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral, protože bych rád nově nabyté vědomosti využil v praxi v rámci projektu Formula student a také ve své soukromé zálibě ve sportovních vozech. Práce obsahuje vypracování přehledu nejpoužívanějších konstrukcí stálých převodů a diferenciálů v automobilovém průmyslu. Dále vysvětlení jejich funkce, stanovení jejich výhod a nevýhod, navržení jejich vhodného použití a nastavení.

Majoritní část práce se věnuje diferenciálům pro sportovní a závodní vozy. Tyto tzv. samosvorné diferenciály uměle samy snižují svou mechanickou účinnost za účelem nerovnoměrného rozdělení hnacích momentů. V této oblasti se zdá nejpokročilejším diferenciálem typ Loc-O-Matic, který disponuje velmi širokými možnostmi nastavení. Nastavení samosvorných diferenciálů je však nelehký úkol, neboť je nutné dokonale pochopit funkci daného typu diferenciálu, uvědomit si dynamiku jízdy daného vozidla a také jak nastavení diferenciálu ovlivní jízdní vlastnosti vozu. Správné nastavení, které povede k co nejlepším výsledkům je většinou velice náročným procesem pokusů a omylů. Toto mi bylo také potvrzeno při konzultaci s firmou Válek Autosport, která má mnohaleté zkušenosti s provozem závodních speciálů značky BMW. Jakékoli znalosti a zkušenosti z této problematiky je často dobře střežené „Know-how“ každého závodního týmu.

Dále byl vypracován souhrn vysvětlených situací, které mohou při průjezdu zatáčkou s různými typy vozidel a diferenciálů nastat. Práce také obsahuje návod, jaké lze očekávat změny jízdních vlastností vozu při různých změnách nastavení diferenciálu. Závěrem bylo navrženo obecné doporučení pro výběr správného typu diferenciálu.

Literatura

- [1] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. 1. vydání Brno: Ing. František Vlk, DrSc., 2000, 312 s. ISBN 80-238-5275-2.
- [2] Achtenová, Gabriela. *Převodná ústrojí motorových vozidel-Diferenciály a děliče momentu*. 1. dotisk 1.vydání ČVUT: Doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová, 2015, 312 s. ISBN 978-80-01-04855-9.
- [3] Autorubik [online]. [cit. 2016-04-20]. *Diferenciál, samosvorný diferenciál Torsen a diferenciál s obmedzenou svornosťou LSD*.
Dostupné z WWW: <<http://www.autorubik.sk/clanky/diferencial>>.
- [4] Rozvodovky. *Dvě základní části- Stálý převod-Diferenciál*, Petr Müller [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.slideplayer.cz/slide/3186573/>>.
- [5] Diferenciály obecně. [online]. [cit. 2016-04-19].
Dostupné z WWW: <<http://www.diopan.cz/citroenbx/diferencial.htm>>
- [6] Samosvorné diferenciály. [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z WWW:
<<http://cs.aston-martin-club.com/clanek/samosvorne-diferencialy-304>>
- [7] Tatrovácká koncepce. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/tatrovacka-koncepce/>>
- [8] All-wheel-drive systems. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.cnet.com/roadshow/pictures/all-wheel-drive-systems-and-how-they-work-photos>>
- [9] Torsen Differential. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.learnengineering.org/2014/11/Torsen-Differential.html>>
- [10] Archiv a tvorba autora.
- [11] Pokročilejší nastavení vozu. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z WWW:
<http://cz.lfsmanual.net/wiki/Pokročilejší_nastavení_vozu>
- [12] TopDrive- návod pro řidiče, jak přežít zimu [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.topdrive.cz/clanky/topdrive-navod-pro-ridice-jak-prezit-zimu/>>
- [13] CUSCO LSD Guide [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z WWW:
<<http://www.cusco.co.jp/en/pdf/LSD%20Guide%20Final.pdf>>