



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

DIFERENCIÁLY AUTOMOBILŮ

CAR DIFFERENTIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Sedláček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Petr Sedláček
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:

Diferenciály automobilů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle bakalářské práce:

Ucelený přehled problematiky automobilových diferenciálů se zvláštním zřetelem k diferenciálům samosvorným, včetně vlastního kritického zhodnocení používaných koncepcí.

Seznam doporučené literatury:

JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily 2., Převody, Brno, Avid, 2009, ISBN 978-80-87143-12-4.

ACHTENOVÁ, Gabriela, TŮMA, Vlastislav. Vozidla s pohonem všech kol. 1. vyd. Praha, 2009, BEN – technická literatura, 380 s., ISBN 978-80-7300-236-7.

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 diferenciálech s důrazem na diferenciály samosvorné. V první části se věnuje převodovému ústrojí, následuje část s uvedením do problematiky diferenciálů, jejich rozdělení a popis jednotlivých konstrukcí. Ke konci práce najdeme řešení samosvorných diferenciálů s důrazem na diferenciály typu Torsen. Cílem práce bylo vytvořit ucelený přehled problematiky diferenciálů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Diferenciál, kuželový diferenciál, samosvorný diferenciál, rozvodovka, stálý převod

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with differentials with emphasis on self-locking differentials. The first part deals with the transmission system, followed by a part introducing the issue of differentials, their distribution and description of individual structures. At the end of the work we find the solutions of self-locking differentials with focus on Torsen type differentials. The aim of the work was to create a comprehensive overview of differential issues.

KEYWORDS

Differential, bevel differential, self-locking differential, gearbox, permanent transmission

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEDLÁČEK, Petr. Diferenciály automobilů [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133177>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Zdeněk Kaplan.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 21. května 2021

.....

Petr Sedláček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Zdeňkovi Kaplanovi, CSc. za cenné rady a připomínky při vedení mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za jejich podporu při mém studiu.

OBSAH

Úvod	10
1 Spalovací motory	11
2 Převodová ústrojí.....	12
2.1 Spojka	12
2.1.1 Třecí spojky	13
2.1.2 Hydrodynamická spojka	14
2.2 Volnoběžky	14
2.3 Převodovky	14
2.3.1 Manuální převodovky	14
2.3.2 Automatické převodovky	14
2.4 Kloubové hřídele.....	15
3 Stálý převod.....	16
4 Diferenciál	18
5 Otevřené diferenciály	19
5.1 Kuželový diferenciál	19
5.2 Čelní diferenciál.....	20
5.3 Závěr diferenciálu	20
6 Aktivní diferenciály	21
7 Samosvorné diferenciály	22
7.1 Kuželový diferenciál s viskózní spojkou	22
7.2 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou - LSD	23
7.3 Šnekové diferenciály.....	25
7.4 Diferenciály Torsen	25
7.4.1 Torsen diferenciál typ 1 (typ A)	25
7.4.2 Torsen diferenciál typ 2 (typ B)	26
7.4.3 Torsen diferenciál typ 3 (typ C)	27
7.5 Svorné diferenciály bez ozubených kol	27
7.5.1 Viskózní spojka	27
7.5.2 Količkový diferenciál.	28
7.5.3 Vačkový diferenciál.....	28
7.5.4 Vačkový diferenciál s posuvnými kameny.....	29
Závěr	30

ÚVOD

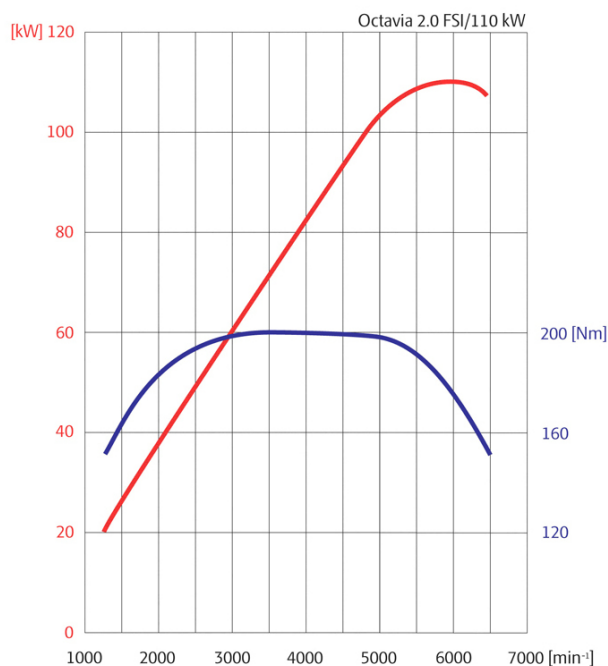
V poslední době se k automobilům přistupuje jen jako k běžnému užitému zařízení, kde po stisku startovacího spínače uvedete motor do chodu, a není potřeba se zabývat tím, co se s automobilem děje během jízdy. Zároveň samotná problematika přenosu točivého momentu z motoru na kola není běžnému uživateli objasněna, a rozlišuje pouze mezi pohonem přední či zadní nápravy a pohonem všech kol.

Cílem této práce je vysvětlit, jakým způsobem dochází k přenosu točivého momentu, objasnění funkce diferenciálů s důrazem na diferenciály samosvorné, které mají velký vliv na chování vozidla, a samotnou trakci.

Důvod, proč jsem si vybral toto téma bakalářské práce je, že k problematice diferenciálů není tak snadný přístup. Jak můžeme pozorovat u aktuálních recenzí aut, které se věnují především výkonu, krouticímu momentu a elektronickým funkcím.

1 SPALOVACÍ MOTORY

Důvod nutnosti přerušit či změnit smysl točivého momentu vyplývá ze samotné charakteristiky spalovacích motorů. Jak můžeme vidět v grafu (Obr. 1), tak z počátku se zvyšujícími se otáčky motoru roste výkon i kroutící moment. Tento trend však nepokračuje a dostáváme se do bodu kde výkon i kroutící moment začne klesat, díky vzrůstu vnitřních ztrát motoru. Dále vzniká riziko nedostatečného mazání motoru. Bez převodového ústrojí by ekonomika, efektivita i dynamika jízdy byla značně omezená a pohyb vozidla vzad nemožný.



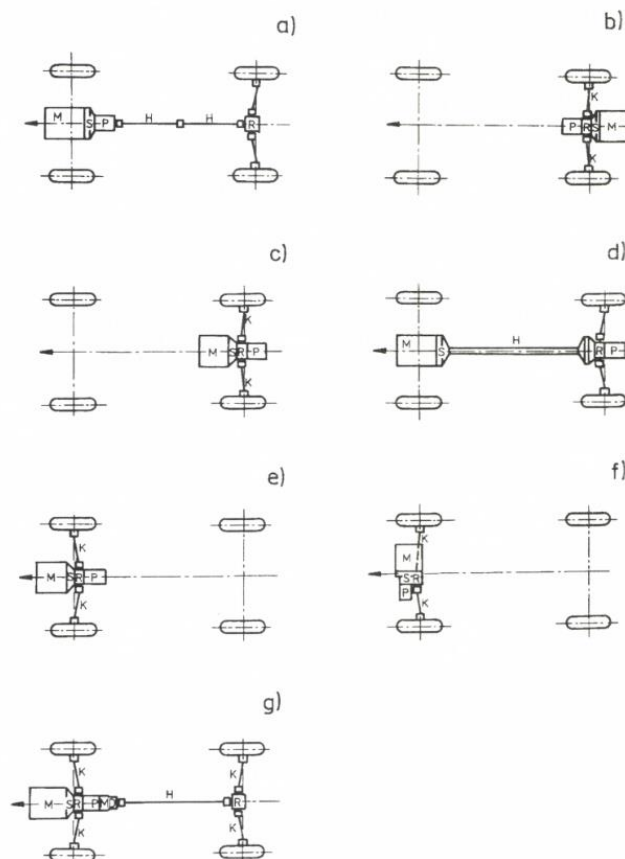
Obrázek 1 Křivky výkonu a kroutícího momentu [16]

2 PŘEVODOVÁ ÚSTROJÍ

Převodová ústrojí automobilu jsou všechna ústrojí, která jako celek spojují motor s hnacími koly vozidla za účelem přenosu točivého momentu nebo jeho přerušování i za účelem změny jeho velikosti nebo smyslu.[1]

Úkolem převodů jako celku je umožnit pohyb vozidla za všech podmínek, které přicházejí v při provozu úvalu. A to tak, aby ekonomičnost a životnost byla co nejvyšší.[2]

Velký vliv na sestavení převodového ústrojí má uložení motoru a počet hnaných náprav. Tyto uspořádání můžeme typově rozlišit.



Obrázek 2 Uspořádání převodového ústrojí [3]

Uspořádání převodového ústrojí: a) motor vpředu – pohon zadní nápravy, b) motor vzadu – pohon zadní nápravy, c) motor mezi nápravami - pohon zadní nápravy, d) transaxle princip, e) motor vpředu - pohon přední nápravy, f) příčně uložený motor, g) pohon 4x4 [3]

2.1 SPOJKA

Slouží k rozpojení hnané a hnací hřídele za jízdy, pro přerušování nebo ke změně převodového stupně, umožňující plynulý rozjezd vozidla a zmírnit vibrace vyvolané motorem na zbytek převodového ústrojí. Nachází se mezi výstupem motoru a převodovkou. [1]

U automobilů se můžeme setkat s různými druhy spojek, jako mechanické nebo hydraulické. Konkrétní typ spojky se odvíjí od použitého motoru a typu převodového ústrojí. [1]

Dělení dle způsobu spojení:

- Pevné – trvalé spojní hřídeli
- Výsuvné – umožňují přerušení spoje hřídelí

Dělení dle způsobu přenosu točivého momentu:

- Třecí – přenos kroučícího momentu přes stykové plochy spojky, přítlačná síla může být vyvolána mechanicky, odstředivou silou nebo elektromagneticky
- Hydraulické – přenos kroučícího momentu je zprostředkován kapalinou
- Elektromagnetické – rotační pohyb z hnaného na hnací hřídel je uskutečněn pomocí feromagnetického prášku v elektromagnetickém poli

Dělení dle konstrukčního uspořádání:

- Kotoučové – pracují v suchém prostředí, mají jeden až tři kotouče
- Lamelové – mají vyšší počet lamel (kotoučů), pracují v mokřém prostředí

Dělení dle způsobu řízení:

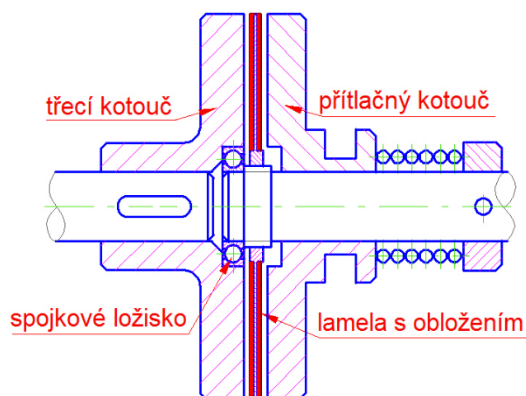
- Manuální – řidič vozidla ovládá rozepínání spojky
- Automatické – ovládání spojky je řízeno řídicí jednotkou

2.1.1 TŘECÍ SPOJKY

Jedná se o nejrozšířenější mechanickou spojku, která může být ovládána mechanicky, hydraulicky nebo elektromagneticky. Kde je nejčastěji uložena v tělese setrvačnicku spojeného s klikovou hřídelí. Setrvačnick pohlcuje vibrace od motoru. Samotný kotouč spojky bývá radiálně odpružený, aby se snížily vibrace. [5]

Spojkový kotouč je z ocelového plechu s drážkovaným nábojem, který dovoluje axiální pohyb kotouče. Obložení je na kotouč připevněno pomocí nýtování nebo přilepeno. Teploty při rozjezdech mohou dosahovat až 600 °C s rostoucí teplotou klesá třecí koeficient a snižuje se maximální přenositelný kroučící moment, který je schopná spojka přenést. [5]

Nejčastěji se můžeme setkat s kotoučovou spojkou u automobilů s manuálně ovládanou převodovkou. [5]



Obrázek 3 Třecí spojka s lamelou [10]

2.1.2 HYDRODYNAMICKÁ SPOJKA

Hydrodynamická spojka je konstrukčně nejjednodušší hydrodynamické zařízení k přenosu kroutícího momentu. Umožňuje plynulé rozjezdy při jakémkoli zařazeném převodovém stupni. Výhodou je velmi nízký přenos kmitů od motoru do dalších částí převodového ústrojí. Nedochozí téměř k žádnému opotřebenosti. [5]

Velkou nevýhodou je nižší účinnost této spojky a proměnlivé vlastnosti při ohřevu kapaliny ve spojce. [5]

2.2 VOLNOBĚŽKY

Volnoběžka je spojka, která umožňuje samočinné rozpojení hřídelů, když hnaný hřídel má vyšší otáčky než hnací. Dříve se používali místo nápravových diferenciálů pro usnadnění změny převodového stupně. [1]

V dnešní době se však používá s lamelovou spojkou pro přerušení spoje mezi nápravami pro zvýšení stability vozidla při brzdění. [1] [2]

2.3 PŘEVODOVKY

Jedná se o mechanické zařízení, které umožňuje vozidlu jízdu vpřed, vzad a nezatížený stav (tzv. neutrál). Převodovku můžeme z pravidla najít za spojkou (směrem od motoru). Jak jsem nastínil v kapitole 1 Spalovací motory, převodové ústrojí nám umožňuje jízdu vyššími rychlostmi při optimálním zatížení motoru a nižší spotřebou. [4]

Požadavky kladené na převodovky:

- Změna rychlostního stupně bez rázů za co nejkratší dobu
- Zamezení samovolnému či neúmyslnému zařazení dvou rychlostních stupňů zároveň
- Zamezení samovolnému zařazení či vyřazení převodového stupně
- Vysoká mechanická účinnost, malá hlučnost, výrobní jednoduchost, cena výroby, snadná údržba a dostatečná životnost

V automobilu se můžeme setkat s manuální, automatickou či poloautomatickou převodovkou, které nabízí různé výhody, nevýhody a jízdní vlastnosti.

2.3.1 MANUÁLNÍ PŘEVODOVKY

V dnešní době se můžeme nejčastěji setkat s dvouhřídelovou či tříhřídelovou synchronizovanou převodovkou, kde typ se odvíjí od uložení motoru a hnané nápravy. Synchronizace nám umožňuje změnu převodu pouze s jedním sešlápnutím spojkového pedálu. [13]

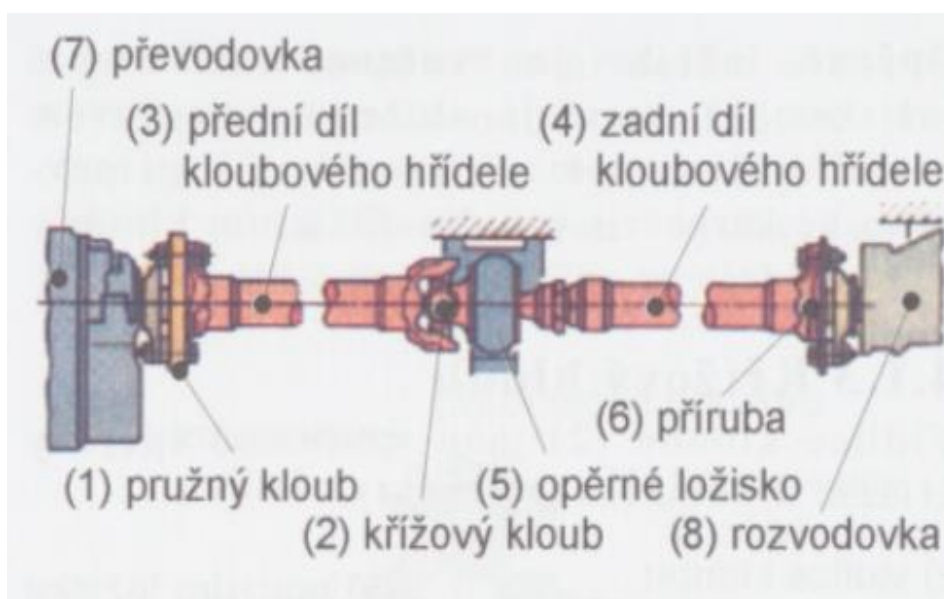
2.3.2 AUTOMATICKÉ PŘEVODOVKY

Poslední dobou můžeme sledovat trend elektronizací veškerých komponentů aut. Ani převodovkám se tento trend nevyhnul. Další důvod zvýšení produkce automatických převodovek je, že ekonomika provozu identického vozidla s manuální a automatickou převodovkou začíná vyrovnávat. Dále to může být pohodlí při obsluze takového vozidla. [14]

2.4 KLOUBOVÉ HŘÍDELE

Kloubové hřídele slouží ke spojení částí převodového ústrojí, které mění svoji vzájemnou polohu. To znamená, že musí umožnit přenos kroutícího momentu při změně polohy os a změně vzdálenosti. Nejčastěji se můžeme setkat s dvoudílným kloubovým hřídelem. [6]

Přední díl (3) je spojen s převodovkou (7) pružným kloubem (1) a druhý konec je uložen v opěrném ložisku (5). Před opěrným ložiskem je křížový kloub (2), který je zakončený jemným drážkováním, který umožňuje axiální posuv zadní části. Zadní díl kloubové hřídele (4) je spojený pomocí příruby (6) k rozvodovce (8). [1]



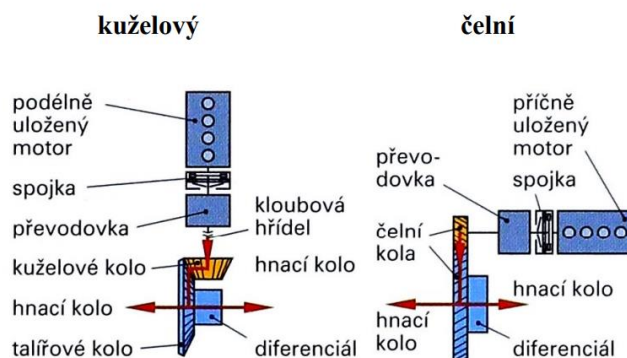
Obrázek 4 Kloubová hřídel [1]

3 STÁLÝ PŘEVOD

Účelem stálého převodu je přizpůsobit výstupní otáčky motoru na vhodné k pohybu vozidla. Dále může sloužit ke zvýšení nebo snížení světlé výšky díky vyosení u hypoidního otupení. Při konstrukci se musí dbát na plynulý a bezrázový chod, nízkou hmotnost a vysokou účinnost. [1]

1. Dle typu ozubeného soukolí:

- Kuželové soukolí – používá se při podélném uložení pohonné jednotky
- Čelní soukolí – vhodné při příčném uložení pohonné jednotky ve vozidle



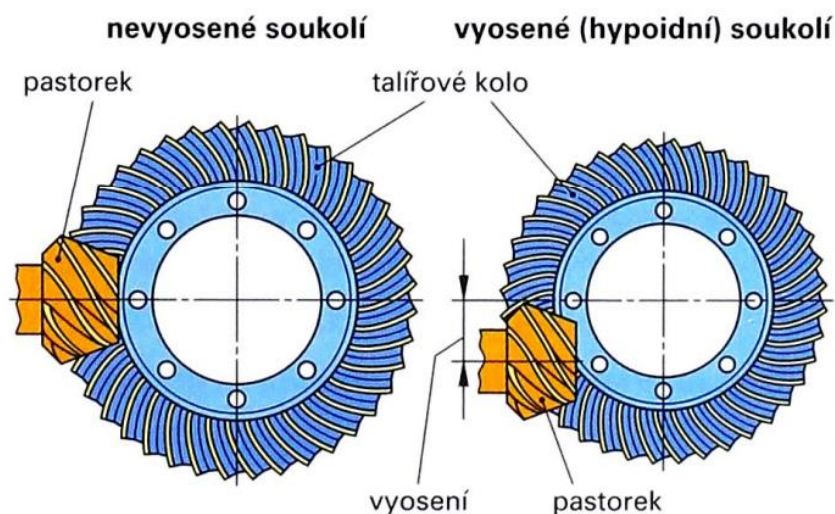
Obrázek 5 Uložení motoru s typem stálého převodu [21]

2. Dle typu vyosení:

- Nevyosené soukolí – menší výrobní náklady, nižší nároky na mazací kapalinu a nižší účinnost
- Vyosené skoulí – tiší chod, větší únosnost a životnost a menší rozměry

3. Dle druhu ozubení:

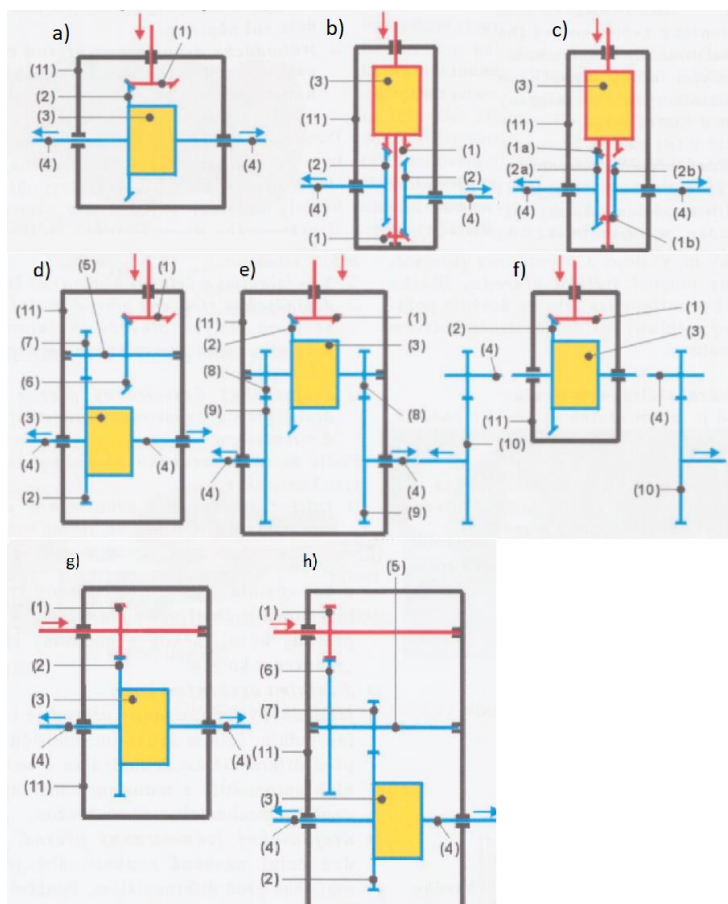
- Ozubení Gleason – šířka zubu není konstantní, ale zvětšuje se vzdáleností od středu kola a jedná se nejčastěji používaný typ
- Ozubení Klingelberg – šířka zubu je konstantní



Obrázek 6 Vyosení pasterku, vlevo Gleason oz, v pravo Klingelberg [21]

4. Dle typu zřevodování:

- S kuželovými ozubenými koly (a, b, c)
- S kuželovými a čelními ozubenými koly (d, e, f)
- S čelními ozubenými koly (g, h)

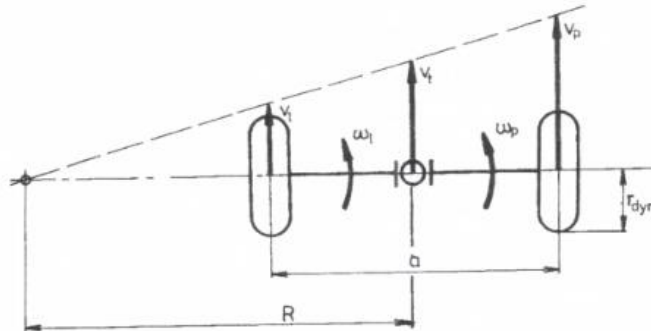


Obrázek 7 Schématické znázornění různých druhů stálých převodů [1]

- | | |
|---|--|
| 1 – hnací kolo stálého převodu | 7 – hnací kolo vloženého hřídele |
| 2 – hnané kolo stálého převodu | 8 – hnací kolo druhého stupně stálého převodu |
| 3 - diferenciál | 9 – hnané kolo druhého stupně stálého převodu |
| 4 – hnací hřídele kola | 10 – soukolí druhého stupně stálého převodu (redukce v kolech) |
| 5 – vložený hřídel stálého převodu | 11 – skříň rozvodovky |
| 6 – hnané kolo vloženého hřídele | |
| 7 – hnací kolo vloženého hřídele | |
| 8 – hnací kolo druhého stupně stálého převodu | |

4 DIFERENCIÁL

Při průjezdu vozidla zatáčkou, jak můžeme vidět (Obr. 8), každé kolo opisuje jinou vzdálenost. Kdyby byla kola připevněna na jedné hřídeli docházelo by ke smýkání jednoho z kol, namáhání řídicího ústrojí opotřebování pneumatik a nestabilitě v zatáčkách. Ke stejným problémům by docházelo i při průjezdu vozidla po nezpevněném povrchu. Z těchto důvodů se používají u dvoustopých vozidel diferenciály, které umožňují změnu otáček hnaných kol. [1]



Obrázek 8 Schéma hnané nápravy [22]

Rozdělení diferenciálů

Podle umístění:

- Nápravové
- Mezinápravové – používané pouze pro automobily s pohonem více náprav

Podle konstrukce:

- Otevřené
- Samosvorné
- Aktivní

5 OTEVŘENÉ DIFERENCIÁLY

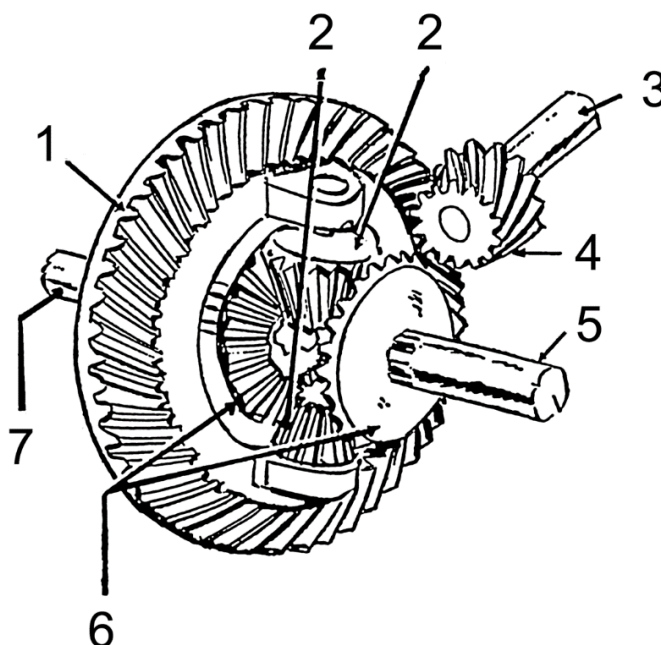
Nejčastěji se s ním můžeme setkat u běžných osobních vozidel, výhodou je nízká výrobní cena, minimální nároky na servis a vysoká životnost. Na zpevněné vozovce při běžném používání plně dostačuje. [19]

Jedna z největších nevýhod je, že při zhoršení adhezních podmínek či jízdě po nezpevněné vozovce kdy hrozí riziko odlehčení jedno ze zabírajících kol, může dojít ke snížení schopnosti přenou trakční síly. Tahle vlastnost plyne ze samotné konstrukce a distribuce kroutícího momentu v poměru 1:1. [2] [7]

5.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL

Díky jednoduchosti a bezúdržbovosti se jedná o jeden z nejčastěji používaných diferenciálů u osobních automobilů k běžné přepravě. [1]

Samotný diferenciál je tvořen planetovými (6) koly, které jsou připevněny k poloosám, satelity (2) otočně připevněnými ke kleci diferenciálu po 90° nebo 180°. Na kleci je talířové kolo (1) na které je přiváděn kroutící moment od pastorku (3). Při jízdě v přímém směru se satelity (2) neotáčí, pouze jsou unášeny klecí diferenciálu. Jestli-že vozidlo projíždí zatáčkou začnou se satelity (2) otáčet, aby vyrovnaly rozdíl otáček kol. Pokud dojde k situaci, že se jedno z kol odlehčí nebo snížení trakce tak že nedokáže s vozem pohybovat, začne se kolo volně otáčet (7) bez přenosu trakční síly na vozovku a uvíznutí vozidla na místě. Druhé kolo s dostatečnou adhezí se nebude otáčet vůbec (5). [19]



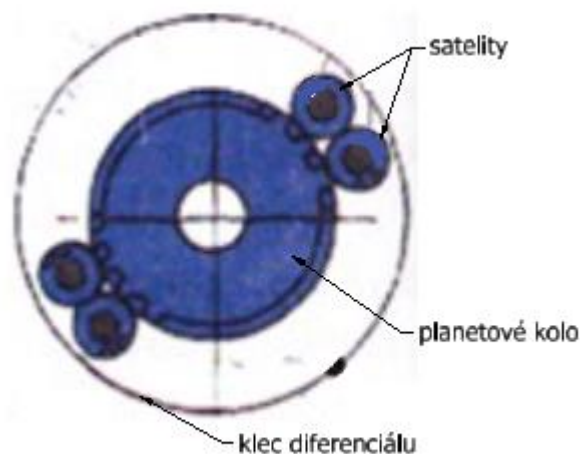
Obrázek 9 Kuželový diferenciál [20]

5.2 ČELNÍ DIFERENCIÁL

Diferenciál je opět tvořen klecí diferenciálu, která je poháněna stálým převodem. V kleci jsou opět usazeny satelity v tomto případě s přímým ozubením, které jsou v záběru s centrálními koly, které jsou připevněny na poloosy. Satelity bývají čtyři nebo šest s tím, že polovina je vždy v záběru s jedním z centrálních kol. [2]

Princip činnosti je identický s otevřeným kuželovým diferenciálem, při běžném používání plně dostačuje. Co se týče rozměrů, tak oproti kuželovým diferenciálům mají menší průměr klece, ale bývají však delší. Výhodou jsou však nulové axiální síly. Dříve byly používány automobilkou Tatra, kde byly vybaveny uzávěrkou diferenciálu. [2]

Satelity unášeny klecí, která je vstupním členem a dělí vstupní moment na planetová kola v poměru 1:1. Na rozdíl od kuželového diferenciálu, kde jedno satelitové kolo zabírá s oběma planetovými koly, v tomto případě je jeden satelit v záběru s jedním planetovým kolem a jedním satelitem, který je v záběru s druhým planetovým kolem.[1]



Obrázek 10 Čelní diferenciál [15]

5.3 ZÁVĚR DIFERENCIÁLU

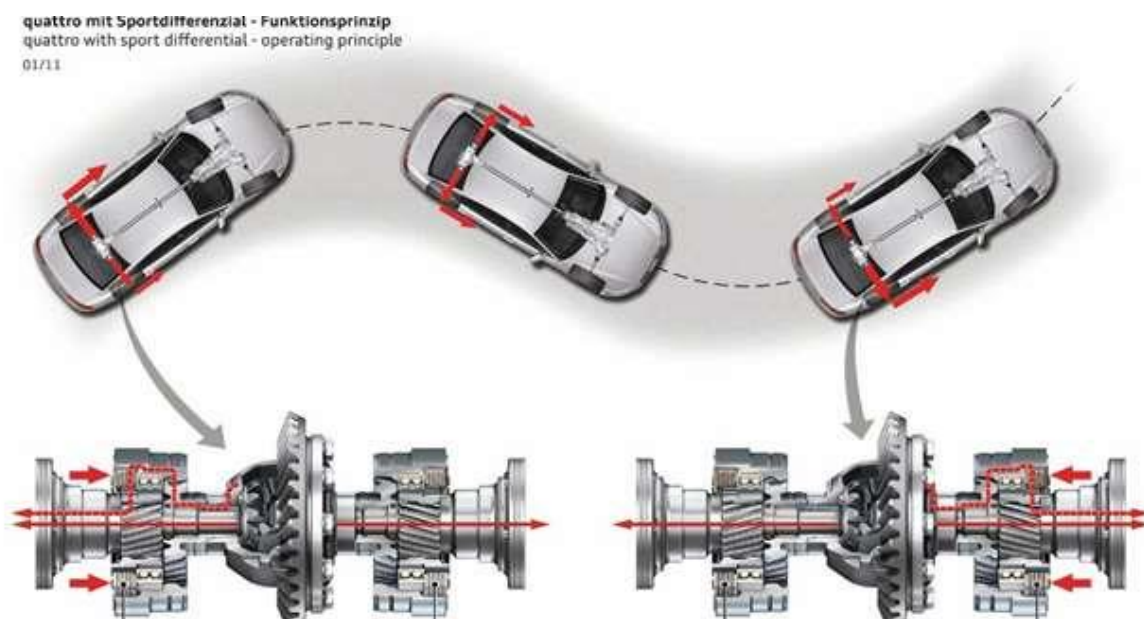
Jedná se o mechanismus, který slouží k vyřazení činnosti diferenciálu. Relativní otáčení kol je žádoucí při vyšších rychlostech po zpevněném povrchu. Není však žádoucí při pomalé jízdě po nezpevněném povrchu s proměnlivou adhezí. Například bláto, led, sníh a jiná měkká podloží. [2]

Závěrka diferenciálu zamezí relativnímu pohybu jedné z poloosy kola s klecí diferenciálu. Díky tomuto spojení se kola začnou otáčet stejnou rychlostí. K sepnutí může dojít jak mechanicky, tak elektropneumaticky. Ovládací prvek závěru bývá zpravidla u řidiče. Nevýhodou takového řešení je, že řidič musí ovládat závěr diferenciálu. Při zapomenutí rozpojení závěru značně zhorší ovládací vlastnosti vozidla na silnici a může přímo vést k autonehodě.[2]

6 AKTIVNÍ DIFERENCIÁLY

Aktivní diferenciály umožňují libovolně měnit velikost točivého momentu hnacích kol. Počítačová jednotka zpracovává data na základě, kterých upravuje chování diferenciálu, velikost točivého momentu a přibrzdování jednotlivých kol. Moderní systémy dokážou i předpovídat následující podmínky a vlastnosti vozovky. [8]

S aktivními diferenciály se můžeme setkat u dražších vozů. Celý systém aktivních diferenciálu napomáhá stabilitě vozidla tím, že dokáže aktivně předcházet nežádoucím kritickým situacím a umožňuje velmi dobrou ovladatelnost ve smyku.[8]



Obrázek 11 Audi sport differential [8]

7 SAMOSVORNÉ DIFERENCIÁLY

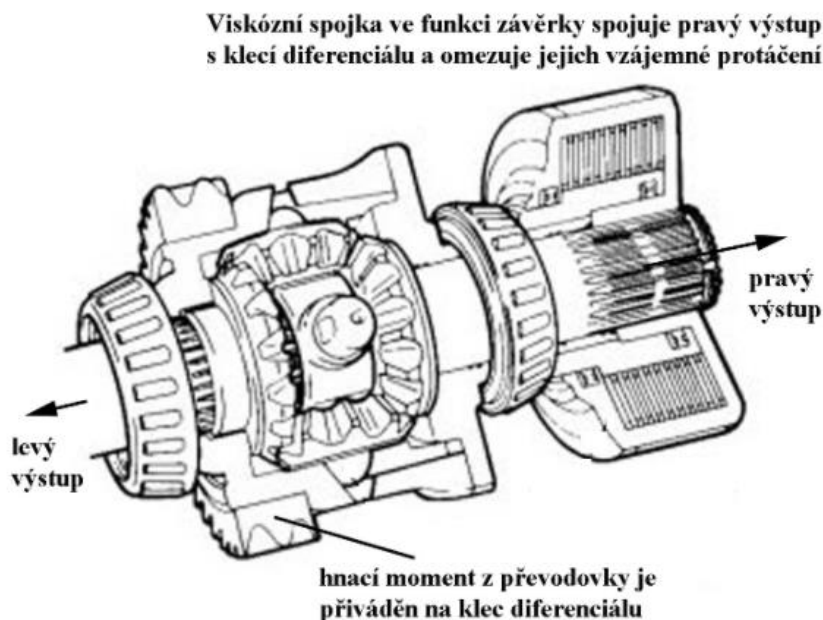
Jak jsem naznačil v kapitole 5 Otevřené diferenciály, tak obsluha vozu s ruční uzávěrkou komplikuje řidiči ovládání vozidla. Také pro terénní či sportovní jízdu otevřené diferenciály nejsou zcela vhodné. Proto se do vozů začaly montovat diferenciály s omezeným prokluzem, které se na silnici chovají stejně jak otevřené, kromě nižší účinnosti. Však rozdíl nastává při zhoršených adhezních podmínkách, kde svornost diferenciálu řidič takového vozidla uvítá. [1][2]

7.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL S VISKÓZNÍ SPOJKOU

Konstrukčně vychází z kuželového otevřeného diferenciálu. Samosvornost je řešena viskózní spojkou montovanou na klec diferenciálu a jedním výstupním hřídelem. Samotné rozdělení momentu se pohybuje od poměru 1:1 až 1:0 v závislosti na trakci kol a dimenzování spojky. [1]

Skříň spojky je naplněna vysoce viskózní silikonovou kapalinou. Při jízdě vpřed se spojka i diferenciál otáčí jako jeden celek. Při protáčení jednoho z kol se začínají otáčet i lamely s vnitřním ozubením. Díky relativní rychlosti otáčení lamel dochází k odtrhávání silikonové kapaliny a zvýšení tření ve spojce a točivý moment se se přenáší na kolo točící se nižší rychlostí. [12]

Nevýhodou tohoto diferenciálu je jeho proměnlivá svornost. Záleží na teplotě kapaliny, opotřebování lamel a vnější teplotě.

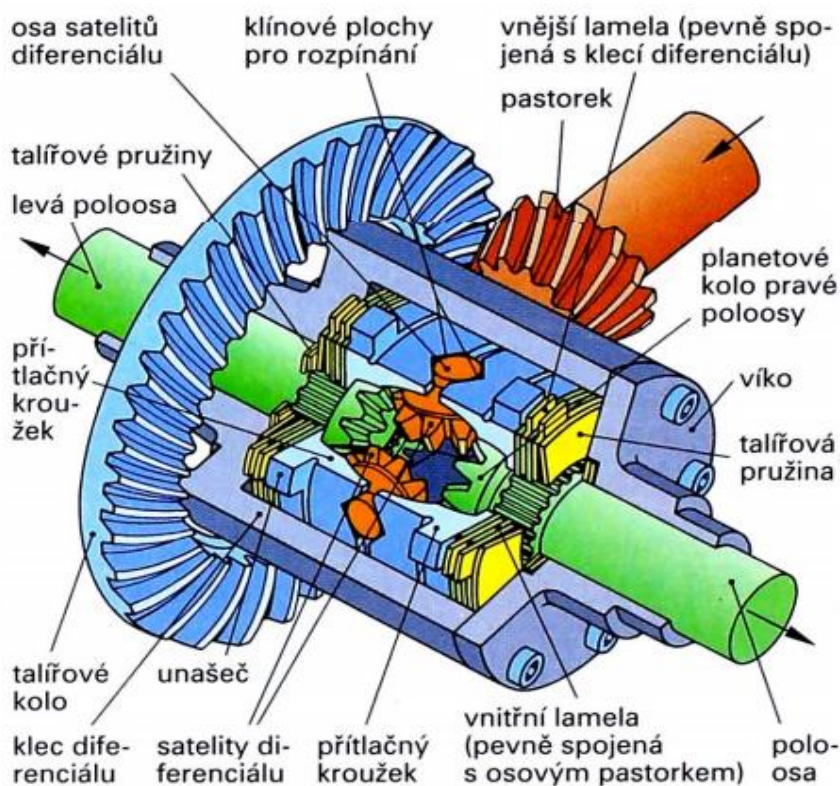


Obrázek 12 Otevřený diferenciál s lamelovú viskózní spojkou [12]

7.2 SAMOSVORNÝ DIFERENCIÁL S TŘECÍ LAMELOVOU SPOJKOU – LSD

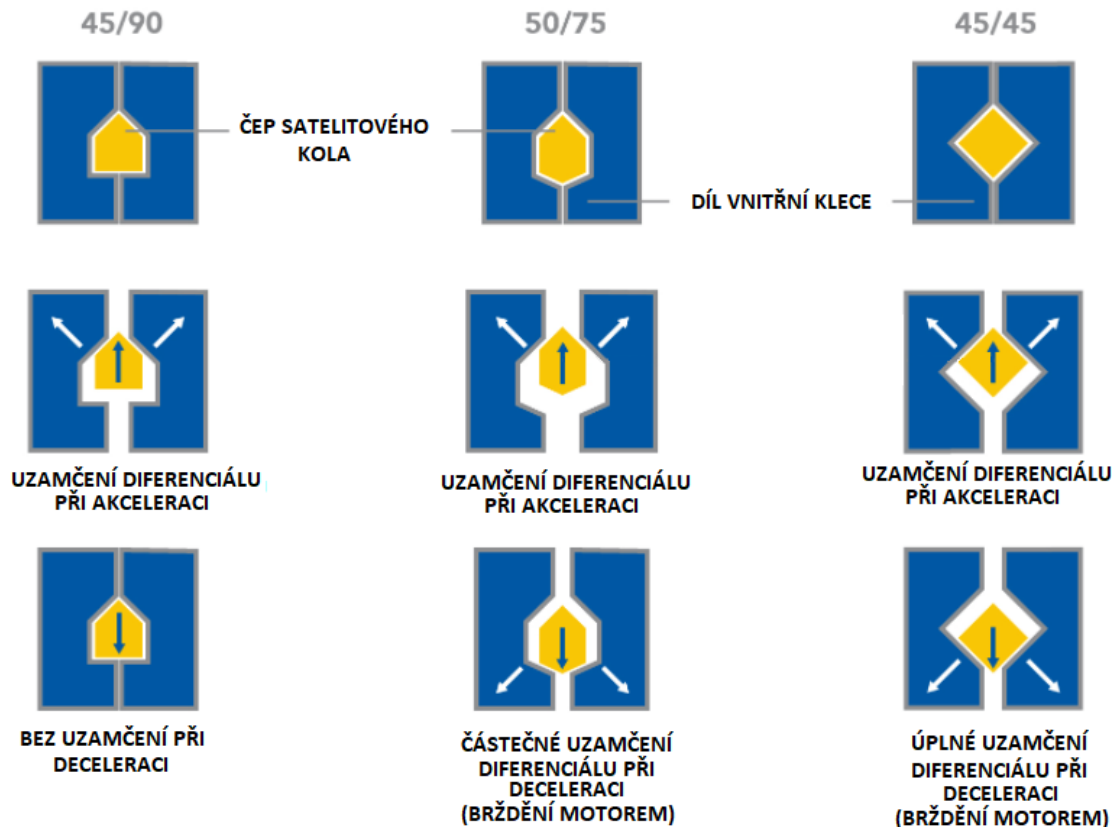
LSD – Limit Speed Differential je konstrukčně podobný kuželovému diferenciálu, kde je svornost řešena třením vnitřní kece a lamelovými spojkami. [9]

Dvoudílná vnitřní klec je unášena a uložena v kleci diferenciálu tak, aby byl umožněn její axiální posuv. Ve vnitřní kleci jsou vyfrézované klínové drážky, ve kterých jsou uloženy čepy satelitů. Nejčastěji se můžeme setkat se čtyřmi satelity v LSD diferenciálech. Při přenášení momentu čepy tlačí do klínových drážek ve vnitřní kleci což způsobuje její axiální posuv. Vnitřní sada lamel s vnějším drážkovaním je spojena s vnitřní klecí pomocí drážky a vnější sada s klecí diferenciálu. Předpětí v lamelách je tvořeno talířovými pružinami. [2][9]



Obrázek 13 LSD diferenciál [22]

Svornost diferenciálu je ovlivňována počtem lamel, úhlem a tuhostí talířových pružin. Dále svornost ovlivňuje typ klínových drážek. Můžeme se setkat s drážkováním umožňující svornost při akceleraci, tak s částečnou svorností při deceleraci i s úplnou svorností v akceleraci tak deceleraci.



Obrázek 14 Schématické znázornění vlivu drážky na svornost diferenciálu [9]

Při jízdě na rovné vozovce s konstantní adhezí se diferenciál otáčí jako jeden celek. Pokud jedno z kol začne prokluzovat, začnou čepy satelitů tlačít na vnitřní klec v klínových drážkách, to způsobí axiální posuv vnitřní klece a začne přibližovat lamely mezi kterými vznikne tření a začne docházet ke zvyšování svornosti a k přenosu točivého momentu na kolo s lepší adhezí.

7.3 ŠNEKOVÉ DIFERENCIÁLY

Tento diferenciál spadá do kategorie symetrických diferenciálů. Můžeme se setkat i s řešením stálého převodu šnekovým soukolím. Díky své atypičnosti nabízí odlišné vlastnosti, z kterých plynou různé výhody a nevýhody. [2]

První výhodou je, že umožňuje přenášet velké výkony a také možnost dosáhnout velkého převodového poměru v jednom stupni. [2]

Nevýhodou je velký skluz v ozubení, který přináší ztráty třením, dále vyšší náklady na výrobu samotného ozubení a kratší životnost soukolí. [2]

Samotná účinnost diferenciálu se odvíjí od stoupání šneku, počtu zubů (šroubovic na šneku) a tvaru šnekového kola. Ztráty mohou činit až 30 % při volbě válcového šnekového soukolí s jednochodým šnekem. Tento způsob konstrukce nedisponuje dostatečnou únosností. Nejideálnější volbou, co se týče únosnosti je volba globoidního šneku i šnekového kola. Kde můžeme docílit dvou až tří násobné únosnosti oproti válcovému soukolí. Také při volbě vícechodého šneku můžeme dosáhnout 90% účinnosti. [2]

7.4 DIFERENCIÁLY TORSEN

Jeden z nejpoužívanějších samosvorných diferenciálů typu Torsen vychází ze šnekového diferenciálu. Slovo Torsen vyplynul ze spojení dvou slov Torque Sensitive, což můžeme volně přeložit jako citlivý na točivý moment. Už jen díky názvu si můžeme odvodit, že tyto typy diferenciálů budou citlivé na rozdíly točivých momentů na jednotlivých kolech. Dále je kroutící moment distribuován na kola v závislosti na adhezních podmínkách. [18]

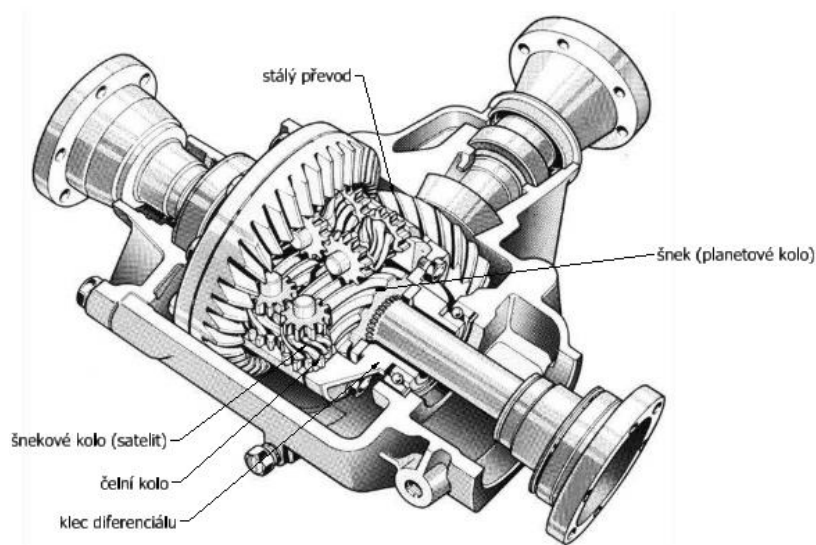
7.4.1 TORSEN DIFERENCIÁL TYP 1 (TYP A)

Jedná o nejstarší a nejpoužívanější Torsen diferenciál.

Diferenciál se konstrukčně velmi liší od dosavadních diferenciálů tím, že většina ozubeních je šnekové. Vstupním prvkem je skříň diferenciálu, přes kterou se přenáší točivý moment na satelity. Satelitová kola tvoří tři páry šnekových kol. Jednotlivé páry jsou spojeny koly s čelním ozubením, aby byla zajištěna jejich stejná úhlová rychlost. Jeden z párů satelitů je v záběru s jedním planetovým šnekem (výstupem). [2]

Pokud vozidlo jede po rovném povrchu s konstantní adhezí tak se diferenciál otáčí jako jeden celek. Při průjezdu zatáčkou nebo protočení jednoho z výstupních hřídelů začne docházet ke tření mezi šnekovými koly a šneky. Důsledkem toho se točivý moment začne distribuovat nerovnoměrně na výstupní poloosy. S tím ale přichází nižší účinnost diferenciálu, která se pohybuje kolem 80 - 40%. Tato vlastnost umožňuje lepší ovladatelnost vozidla při smyku, tak při průjezdu těžším terénem. [18]

V posledních letech je využívá především automobilka Ford v modelech Focus a Mondeo.



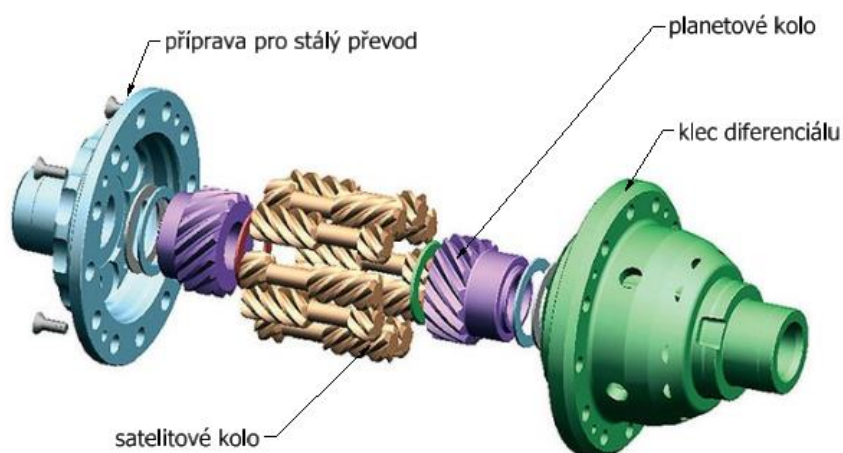
Obrázek 15 Samosvorný diferenciál Torsen typu 1 [18]

7.4.2 TORSEN DIFERENCIÁL TYP 2 (TYP B)

Jedná se o obdobný diferenciál jako v předcházející kapitole, rozdíl spočívá v tom, že šneková kola a šneky jsou nahrazeny čelními koly se šikmým ozubením. Satelitní kola nejsou uložena na čepech, jak u předchozích typů, nýbrž jsou vloženy ve výřezech v kleci diferenciálu tak, aby byly v záběru s planetovými koly a mezi sebou. Díky šikmému ozubení vznikají axiální síly, které napomáhají svornosti diferenciálu. [2]

Samotná svornost vzniká třením boků planetových a satelitních kol o klec diferenciálu, třením hlavových průměrů satelitních kol o klec diferenciálu a samotným šikmým ozubením. Svornost je předdefinována výrobními parametry, tudíž ji nelze měnit v průběhu používání. Díky geometrii ozubení můžeme svornost nastavit v rozmezí 16 až 50 %. [2]

Při přímé jízdě je točivý moment rozdělen 1:1 podobně jako u typu 1.

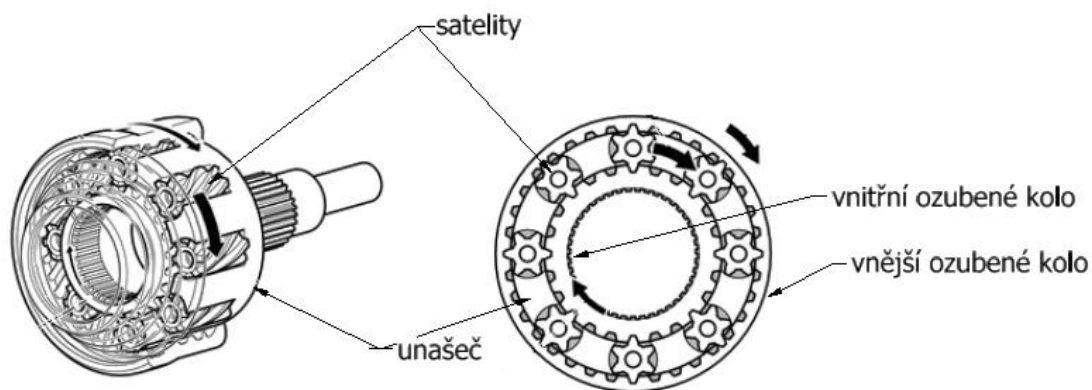


Obrázek 16 Samosvorný diferenciál Torsen typu 2 [22]

7.4.3 TORSEN DIFERENCIÁL TYP 3 (TYP C)

Svorný diferenciál typu C je nesymetrický planetový diferenciál. Proto díky této vlastnosti je vhodné ho používat jako mezinápravový. U klasického planetového převodu jsou satelity uloženy na čepech. V případě torsenu typu C jsou satelity uloženy do unašeče. Protože planetové, oběžné a satelitová kola mají šikmé ozubení, vyvolávají axiální síly. Tato skutečnost nám opět (jak u typu B) zvyšuje svornost, protože dochází ke tření mezi bokem satelitu a třecím kroužkem. Dále k svornosti přispívá i tření obvodu satelitu a unašeče. [17]

Jako mezinápravový diferenciál může být doplněn o závěr diferenciálu.



Obrázek 17 Samosvorný diferenciál Torsen typu 3 [17]

7.5 SVORNÉ DIFERENCIÁLY BEZ OZUBENÝCH KOL

Ačkoliv k přenosu točivého momentu bývá nejčastěji používána ozubená kola, tak se můžeme setkat s výjimkami. Můžeme si je rozdělit na tři kategorie. [2]

Kolíčkové diferenciály

Vačkový diferenciál

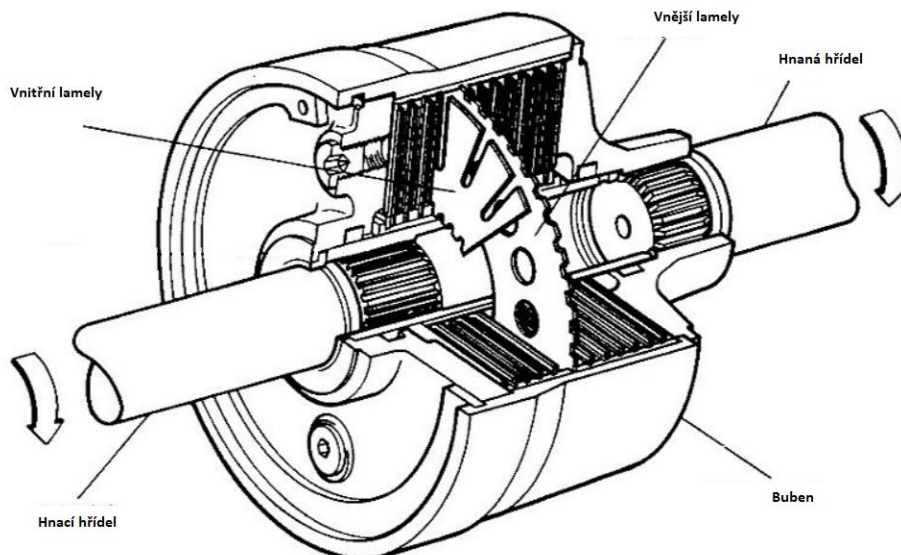
Viskózní spojka

7.5.1 VISKÓZNÍ SPOJKA

Svornost takového diferenciálu je stejná jako svornost kuželového diferenciálu s viskózní spojkou. Rozdíl můžeme nalézt v tom, že zde chybí kuželový diferenciál. Nejčastěji se s tímto diferenciálem můžeme setkat jako s mezinápravovým. [11]

Svornost se odvíjí od počtu lamel, rozdílu otáček jednotlivých hřídelů a na viskozitě oleje. Lamely se speciální povrchovou úpravou jsou uloženy ve skříní ponořené ve speciální silikonovém oleji s vysokou viskozitou. Lamely ve dvou sadách jsou ve skříní uloženy střídavě na hnací hřídeli a v hnaném bubnu spojky bez axiálního zajištění. [11]

Pokud vozidlo projíždí zatáčkou nebo se sníží adheze na jednom z kol dokáže mezinápravový diferenciál přenést točivý moment na nápravu s nižšími otáčkami. Při jízdě v přímém směru se diferenciál chová jako otevřený.



Obrázek 18 Viskózní spojka [11]

7.5.2 KOLÍČKOVÝ DIFERENCIÁL.

Vstupním prvkem, který se neliší od diferenciálů je klec. Ve které jsou unášeny posuvné kolíčky, které jsou v záběru s výstupními koly vačkovitého tvaru. Důležitým parametrem je počet výstupů na výstupních kolech. V případě stejného počtu výstupků by se kola postavila do vzájemné polohy tak, že by nedocházelo k přenosu kroutícího momentu na kola a k prokluzu kolíčků přes hřeben vačkovitých výstupů. Předjetí prokluzu je možné pouhou změnou počtu z jednoho vačkovitých výstupků na výstupním kole. [2]

Protože počet výstupků je rozdílný na výstupních kolech, aby byla zajištěna funkce diferenciálu, potom můžeme říct že se jedná o nesymetrický diferenciál.

Podle polohy kolíčků můžeme je rozdělit na diferenciál s axiálními a radiálními kolíčky. Svornost obou diferenciálů je způsobena třením kolíčků o výstupky kolíčků a vodící klec. [2]

7.5.3 VAČKOVÝ DIFERENCIÁL

Princip funkce je velmi podobný kolíčkovým diferenciálům. Rozdíl však je v prvku umístěném mezi výstupními koly. Prstencem se zaobleným ozubením na čelech je spojen přes čepy s klecí diferenciálu. Při průjezdu zatáčkou se výstupní kola (také se zaobleným ozubením na straně čela směre k prstenci) otáčejí různými rychlostmi a vzniká tření mezi špičkami zubů prstencem a výstupních kol, Axiální posuv prstence je také další zdroj tření.

Opět velmi záleží na počtech zubů výstupních kol a prstence. Aby byla zajištěna správná funkce diferenciálu mají obě výstupní kola n zubů a prsteneček má na jedné straně $n+1$ a na druhé $n-1$. [2]

7.5.4 VAČKOVÝ DIFERENCIÁL S POSUVNÝMI KAMENY

Nejčastěji se s ním můžeme setkat jako s mezinápravovým diferenciálem, především u Japonských automobilek. [2]

Jak z vypovídá název, tak můžeme usoudit, že se jedná opět o diferenciál na vačkovém mechanismu. Mezi výstupní kola (opatřeny vačkovým profilem) jsou vloženy axiálně pohyblivé kameny, které jsou unášeny klecí diferenciálu.

„ Předpokládejme, že vozidlo projíždí zatáčkou, tedy oba výstupní kotouče se otáčejí různými rychlostmi. Vůči střední rychlosti klece se tak levý kotouč otáčí pomaleji o hodnotu označenou šipkou Z a pravý vačkový rychleji o hodnotu Y . Mezi kotouči jsou uloženy šestiboké kameny. Kámen A je výstupkem B levého vačkového kotouče 2 odtlačován a pohybuje se směrem k pravému vačkovému kotouči 3 ve směru naznačené šipky. To se děje až do okamžiku, kdy náběžná hrana vačkového výstupku C pravého výstupního kotouče 3 začne kámen odtlačovat zpátky k levému kotouči 2. Stejný pohyb „zažívají“ i všechny ostatní kameny, do doby, než se obě kola nápravy začnou otáčet stejnými úhlovými rychlostmi. “ [2]

ZÁVĚR

Cílem práce bylo shrnout a ucelit problematiku diferenciálů v osobních automobilech se zaměřením na diferenciály samosvorné.

Základním typem diferenciálů jsou diferenciály otevřené, kde se můžeme nejčastěji setkat s čelním nebo kuželovým diferenciálem.

S kuželovými diferenciály se můžeme setkat ve většině aut. Jedná se o ideální řešení při běžném používání. Plní základní požadavky na nízkou údržbu, vysokou účinnost a nízké výrobní náklady. Můžeme se setkat s tímto diferenciálem doplněným o uzávěrku.

Čelní otevřený diferenciál se je svými vlastnostmi velmi podobný kuželovému diferenciálu, používala je zejména automobilka Tatra.

Diferenciály typu Torsen jsou velmi unikátní mezi diferenciály. Díky celkové konstrukci pomocí šnekových soukolí a využití jejich základní vlastnosti svornosti. Výhodou tohoto diferenciálu je předvídatelné chování za jakýkoliv podmínek. Protože podmínku svornosti lze přesně předdefinovat, která vyplývá z podstaty šnekového soukolí.

V posledních letech můžeme sledovat trend implementování elektroniky do veškerých zařízení. Proto elektronika zasahuje i do vývoje diferenciálů. Tyto diferenciály se nazývají aktivní. Dokážou měnit velikost točivého momentu na jednotlivých kolech, aniž by došlo k prokluzu kol a mnoho dalšího. S takovými diferenciály se můžeme setkat u dražších vozidel.

Přestože trend směřuje k elektronizaci diferenciálů, která umožňuje lepší vlastnosti a ovladatelnost. S ohledem na životnost a spolehlivost se mi jako nejlepší řešení jeví při běžném používání vozu otevřený kuželový diferenciál vybaven uzávěrkou. Takové řešení nám umožní velmi vysokou účinnost s nízkými náklady a údržbou, zároveň umožní v případě potřeby omezit po dobu nezbytně nutnou vyřadit funkci diferenciálu v náročnějším terénu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. Automobily 2. 2. vydání. Brno: Avid, 2009. ISBN 978-80-87143-12-4.
- [2] ACHTENOVÁ, Gabriela a Vlastislav TŮMA. Vozidla s pohonem všech kol. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-236-7.
- [3] VLK, František. Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky: převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
- [4] Převodovky [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/01/Prevody_22_1.pdf
- [5] Převodová ústrojí [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí, 2019 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2019/09/Hurych-Spojka.pdf>
- [6] Kloubové hřídele [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Kloubove_hridele_5_2.pdf
- [7] Rozvodovky [online]. Ústí nad Orlicí: Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí, 2021 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Rozvodovky_5_2.pdf
- [8] OLIVÍK, Pavel. Aktivní zadní diferenciál: jako po kolejích. Autorevue.cz [online]. 2011 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/aktivni-zadni-diferencial-jako-po-kolejich_1
- [9] BMW Limited Slip Differential Upgrades. <https://www.turnermotorsport.com/> [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.turnermotorsport.com/t-Differential_Upgrade_Guide
- [10] Seznam druhů spojek. Cs.wikipedia.org [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_druh%C5%AF_spojek#T%C5%99ec%C3%AD_spojky
- [11] NOVÝ, Ivo. Systémy pohonů 4x4 pod lupou: nenechte se vodit za nos. Autoforum.cz [online]. 2016 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/systemy-pohonu-4x4-pod-lupou-nenechte-se-vodit-za-nos/?2>
- [12] NOVÝ, Ivo. Systémy pohonů 4x4 pod lupou: nenechte se vodit za nos. Autoforum.cz [online]. 2016 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/systemy-pohonu-4x4-pod-lupou-nenechte-se-vodit-za-nos/?3>

- [13] MECHANICKÉ PŘEVODOVKY. Prevodovkyap.cz [online]. Praha [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://prevodovkyap.cz/prevodovky/mechanicke/>
- [14] DSG PŘEVODOVKY. Prevodovkyap.cz [online]. Praha [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://prevodovkyap.cz/prevodovky/dsg/>
- [15] ŘÍHA, Ludvík. VY_32_INOVACE_AUT2_05 Diferenciál: Diferenciál. Slideplayer.cz [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11193412/>
- [16] , roox. Škoda Octavia II 2.0 FSI 110kW Elegance. Moje.auto.cz [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://moje.auto.cz/roox/muf-2-0.html>
- [17] , Eugenio. Toyota all-wheel drive. Torsen AWD. Toyota-club.net [online]. 2020 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://toyota-club.net/files/faq/20-02-10_faq_torsen_4wd_eng.htm
- [18] Citroen BX 1.9 GTi 16V 4x4: Co je Diferenciál a jak to vlastně všechno funguje? Diopan.cz [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://www.dioipan.cz/citroenbx/diferencial.htm>
- [19] NOVOTNÝ, Ivan. Diferenciál, jak vlastně funguje? Autorevue.cz [online]. 2006 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/diferencial-jak-vlastne-funguje_4
- [20] Diferenciál (mechanika). Cs.wikipedia.org [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_\(mechanika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_(mechanika))
- [21] 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
- [22] KAPLAN, Zdeněk. Diferenciály [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha_fs.php?dpid=176368&skupina=dokument_priloha