



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DIFERENCIÁLY SPORTOVNÍCH VOZŮ RACE CAR DIFFERENTIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ANNA KIMLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MICHAL JANOUŠEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Anna Kimlová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 sportovních vozů

v anglickém jazyce:

Race car differentials

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte přehled konstrukčních řešení diferenciálů sportovních a závodních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

Úvod do problematiky

Popište konstrukci nejčastěji používaných systémů

Formulujte vývojové tendence v oblasti konstrukce

Závěr

Seznam odborné literatury:

[1] VLK,F. Převodová ústrojí motorových vozidel. ISBN 80-238-5275-2, Nakladatelství VLK, Brno 2001.

[2] VLK,F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-234-6573-0, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Janoušek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 9.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato práce pojednává o nejčastějších řešeních konstrukce diferenciálů. Část se zabývá důvody k montáži diferenciálů. Další část je přehledem nejčastěji používaných diferenciálů. Poslední část práce je věnovaná diferenciálům u sportovních a závodních automobilů, tj. samosvorným a aktivním diferenciálům.

KLÍČOVÁ SLOVA

diferenciál, kuželový diferenciál, uzávěrka diferenciálu, samosvorné diferenciály, aktivní systém

ABSTRACT

This thesis deals with the most common differential design solutions. The first part examines the reasons for mounting of differentials. The second part is a summary of the most commonly used differentials. The last part is dedicated to differentials used in sports and race cars, i.e. active and self-locking differentials.

KEYWORDS

differential, mitre-gear differential, differential lock, self-locking differentials, active system



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KIMLOVÁ, A. *Diferenciály sportovních vozů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Janoušek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Janouška a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Anna Kimlová



PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Janouškovi za vedení a pomoc při tvorbě této bakalářské práce. Dále děkuji členům Auto Classic Clubu Brno za odborné konzultace.



OBSAH

Úvod	9
1 Diferenciál	10
1.1 Účel diferenciálu	10
1.2 Princip činnosti	12
2 Otevřené diferenciály	14
2.1 Kuželový diferenciál	14
2.1.1 Konstrukce kuželového diferenciálu	14
2.1.2 Princip činnosti	15
2.2 Čelní diferenciál	16
2.2.1 Konstrukce čelního diferenciálu	16
2.2.2 Princip činnosti	17
2.3 Uzávěrka diferenciálu	18
2.3.1 Princip činnosti	19
2.3.2 Částečně svorný diferenciál	20
3 Samosvorné diferenciály	21
3.1 Diferenciál s třecí spojkou	23
3.1.1 Konstrukce diferenciálu s třecí spojkou	23
3.1.2 Princip činnosti	25
3.2 Šnekový samosvorný diferenciál typu Torsen	27
3.2.1 Konstrukce diferenciálu typu Torsen	27
3.2.2 Princip činnosti	27
3.3 Diferenciál s viskózní spojkou	29
3.3.1 Konstrukce diferenciálu s viskózní spojkou	29
3.3.2 Princip činnosti	29
4 Aktivní systémy	30
4.1 ATTS	30
4.2 DPC	31
4.3 Sportdifferenzial	32
4.4 DCCD	33
Závěr	34
Použité informační zdroje	35
Seznam použitých zkratk a symbolů	36



ÚVOD

Tématem bakalářské práce jsou diferenciály sportovních vozů. Diferenciály obecně jsou důležitou součástí rozvodovky automobilu. Bez nich by automobil neměl vlastnosti, které jsou pro bezpečnou a pohodlnou jízdu žádoucí.

Diferenciál je převodové ústrojí, které je namontováno na nápravě automobilu. Vyrovnává nestejně otáčky kol a navíc rovnoměrně rozděluje hnací moment na obě kola nápravy.

Cílem mé práce bylo pojednat zejména o diferenciálech ve sportovních vozech. Na tyto diferenciály jsou kladeny vyšší požadavky, zejména co se týče rychlosti záběru a přenosu výkonu. U závodních aut je požadavek na přenos výkonu ještě vyšší.

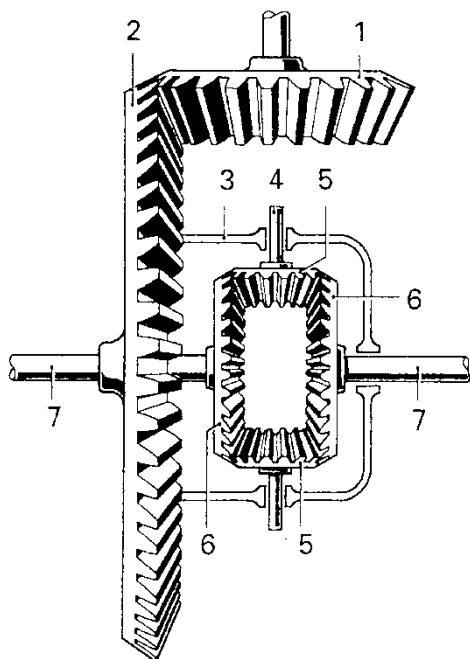
Z tohoto důvodu je část práce rozdělena na diferenciály samosvorné a pak na diferenciály aktivní.

Ve své práci jsem uvedla i konkrétní konstrukce diferenciálů.



1 DIFERENCIÁL

Diferenciál je převodové ústrojí, které rozděluje točivý moment na obě kola a umožňuje přitom jejich rozdílné otáčky. Jeho použití u automobilů umožňuje různé rychlosti vnějšího a vnitřního kola hnané nápravy při průjezdu zatáčkou. Pracuje na principu planetového převodu.



- 1- Pastorek
- 2- Talířové kolo
- 3- Klec diferenciálu
- 4- Čep satelitů
- 5- Kuželové satelity
- 6- Kuželové planety
- 7- Hnací hřídele kol vozidla

Obr. 1 Kuželové soukolí s hypoidním ozubením a diferenciál s kuželovými koly [4]

1.1 ÚČEL DIFERENCIÁLU

Jestliže kola poháněná nápravou mají stejný průměr a jsou upevněna na společné hnací hřídeli, mají za jízdy v přímém směru stejné otáčky a odvalují se po vozovce. Ve chvíli, kdy automobil zatáčí, je dráha vnitřního kola kratší než dráha kola vnějšího. Z tohoto důvodu by se vnitřní kolo mělo odvalovat nižšími otáčkami než kolo na straně vnější. Jelikož jsou však obě kola pevně spojena, tak aby mohla opsat různé dráhy, dochází k prokluzu jednoho nebo obou kol. Vlivem odstředivé síly většinou prokluzuje kolo vnitřní, které je odlehčeno. Rozdílné otáčky pravého a levého kola hnací nápravy mohou nastat také při jízdě v přímém směru po nerovné vozovce, rozdílném zatížení kol nebo při nestejném nahuštění pneumatik.

Prokluzováním a smýkáním se nadměrně opotřebovávají pneumatiky a znesnadňuje řízení, protože hnací kola udržují vozidlo v přímém směru, zvyšuje se jeho přetáčivost (u aut se zadním pohonem) a roste ztrátový výkon o část vynaloženou na práci při prokluzování a smýkání pneumatik, což vede ke zvýšené spotřebě paliva.

Diferenciál (diferenciální soukolí) vyrovnává rozdíly v otáčkách kol vzniklé vlivem nestejných drah při jízdě. [1,3]



Funkcí diferenciálu je rovnoměrné rozdělení točivého momentu na obě hnací kola i v případě jejich nestejných otáček. Velikost hnacích momentů přenášených koly na vozovku závisí na přilnavosti pneumatik.

Pro jízdu v přímém směru platí (levé kolo značí index l , pravé kolo index p):

$$\omega_l = \omega_p; \quad n_l = n_p, \quad (1)$$

kde ω značí úhlovou rychlost a n otáčky.

Točivý moment M_t , který je přiváděn na skříň otevřeného diferenciálu, na hnací hřídele je přenášen rovnoměrně:

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

Ve chvíli, kdy automobil zatáčí, je dráha, po které se pohybuje vnitřní kolo kratší než dráha kola vnějšího.

Pokud podle obr. 2 je R poloměr, který opisuje střed nápravy, v_t jeho rychlost, a je rozchod kol a r_d je poloměr kol, pak obvodové (v) a úhlové rychlosti kol (ω) jsou:

$$\frac{v_l}{v_t} = \frac{R - \frac{a}{2}}{R}; \quad \frac{v_p}{v_t} = \frac{R + \frac{a}{2}}{R}, \quad (3)$$

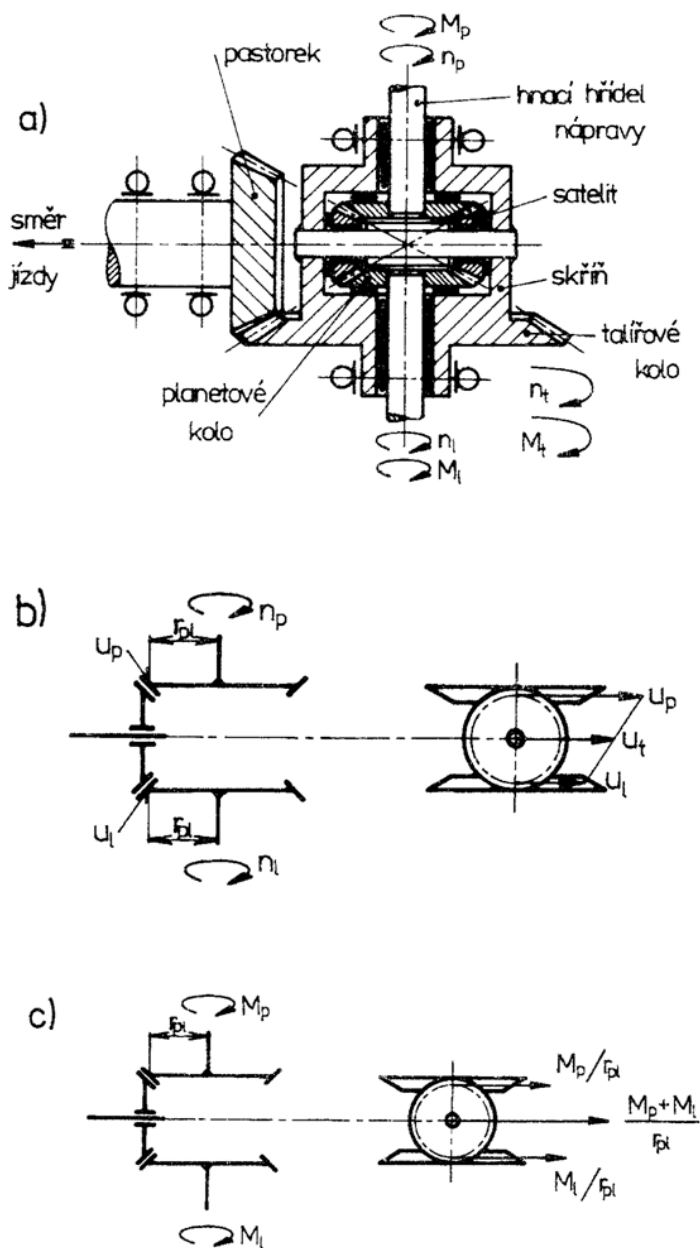
$$\omega_l = \frac{v_l}{r_d} = v_t \cdot \frac{R - \frac{a}{2}}{r_d \cdot R}, \quad (4)$$

$$\omega_p = \frac{v_p}{r_d} = v_t \cdot \frac{R + \frac{a}{2}}{r_d \cdot R} \quad (5)$$

Úhlová rychlost skříně diferenciálu, která je uprostřed nápravy, je pak:

$$\omega_t = \frac{\omega_l + \omega_p}{2} = \frac{v_t}{R} \quad (6)$$

[1]



Obr. 4 Princip činnosti kuželového diferenciálu (bez tření):
 a) uspořádání; b) kinematické poměry; c) silové poměry [1]



2 OTEVŘENÉ DIFERENCIÁLY

Otevřený diferenciál je nejrozšířenějším typem diferenciálu. Kvůli možnosti prokluzu jsou terénní vozidla vybavována uzávěrkou diferenciálu. Typy otevřených diferenciálů jsou diferenciály kuželové a čelní.

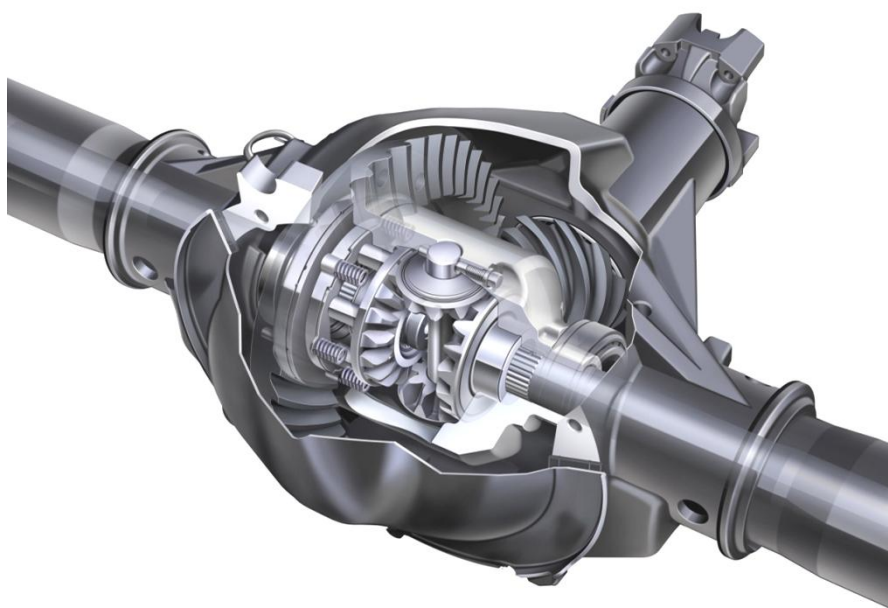
2.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL

Kuželový typ diferenciálu je u osobních automobilů nejrozšířenější. Z jeho stavby často vycházejí další konstrukce diferenciálů.

2.1.1 KONSTRUKCE KUŽELOVÉHO DIFERENCIÁLU

Ke kleci diferenciálu je připevněno talířové kolo, které je v záběru s kuželovým hnacím pastorkem stálého převodu. S klecí je pevně spojen čep, na kterém jsou otočně uložena kuželová ozubená kola s přímým ozubením, tzv. satelity. Tyto satelity zabírají s levým i pravým planetovým kolem. Každé kolo je spojeno s hnací hřídelí, buď pomocí výkyvného kloubu (typické pro výkyvné hnací nápravy) nebo drážkováním (tuhé hnací nápravy).

Celá skříň je naplněna převodovým mazacím olejem.



Obr. 5 Kuželový diferenciál - tuhá náprava [8]



2.1.2 PRINCIP ČINNOSTI

Za jízdy v přímém směru se stejnými průměry hnacích kol jsou otáčky obou kol stejné a kola se pohybují po stejné dráze. Klec diferenciálu a satelity se otáčejí společně s talířovým kolem. Satelity tvoří nepohyblivou zubovou spojku mezi planetovými koly a klecí diferenciálu a v tuto chvíli se neotáčejí, ale pouze obíhají kolem osy převodu se stejnými otáčkami jako klec diferenciálu.

Při zatáčení se vnitřní kolo zpomaluje a odvaluje se po kratší dráze než kolo vnější, které naopak zrychluje. Se zpomalením vnitřního kola se zpomalí jak příslušný hnací hřídel tak i jeho planetové kolo. Protože planetová kola zabírají do satelitů, začnou se satelity otáčet kolem své osy. Protože planetová kola mají stejný počet zubů, satelity upravují počet otáček na vnitřním a vnějším planetovém kole, tak aby se vnitřní kolo zpomalilo o tolik, o kolik se vnější kolo zrychlilo. [1,3]



Obr. 6 Vnitřní konstrukce kuželového diferenciálu s podélně uloženým motorem - vozy Škoda 1000MB-130 [14]



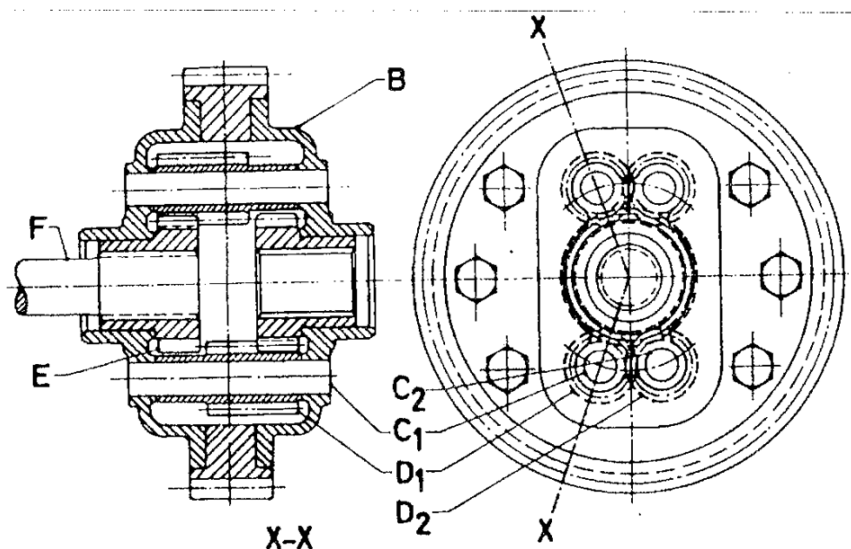
2.2 ČELNÍ DIFERENCIÁL

Čelní typ diferenciálu je méně častý. Diferenciál se většinou neobejde bez uzávěrky diferenciálu. Objevuje se například v konstrukci nákladních automobilů Tatra, jako mezinápravový diferenciál.

2.2.1 KONSTRUKCE ČELNÍHO DIFERENCIÁLU

Konstrukce diferenciálu čelního se liší od diferenciálu kuželového. Diferenciál je opět tvořen klecí diferenciálu, která je poháněna soukolím stálého převodu. V kleci jsou na čepech uloženy satelity, které mají přímé ozubení. Točivý moment se z klece diferenciálu opět přenáší na čepy satelitů, satelity a centrální kola. Satelity, které jsou v záběru s přímým ozubením planetových kol, tvoří zabírající dvojici. Satelity však nejsou v záběru s oběma centrálními koly. Jedna jejich polovina je v záběru s jedním planetovým kolem a druhá s druhým satelitem. Ten je v záběru s druhým planetovým kolem. V tomto případě se mohou otáčky jednoho centrálního kola zmenšovat a zároveň otáčky druhého kola vůči kleci diferenciálu zvětšovat. Pro vyvážení bývají v diferenciálu dva páry satelitů navzájem nastavené o 180° , popřípadě tři páry.

Oproti kuželovému diferenciálu jsou klece čelních diferenciálů menšího vnějšího průměru, ale jsou delší. [1,3]

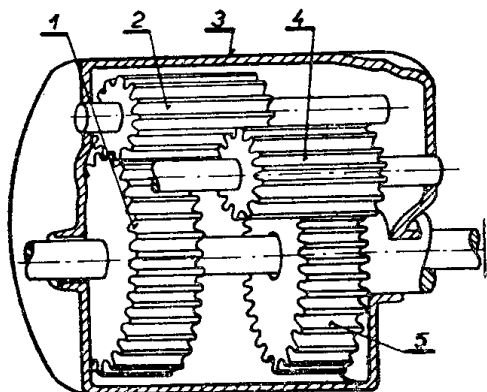


Obr. 7 Diferenciál s čelními koly: B- skříň nesoucí hnací čelní kolo a současně unášec satelitů; C1, C2- čepe satelitů; D1, D2- satelity; E- centrální kolo; F- hnací hřídel nápravy [1]



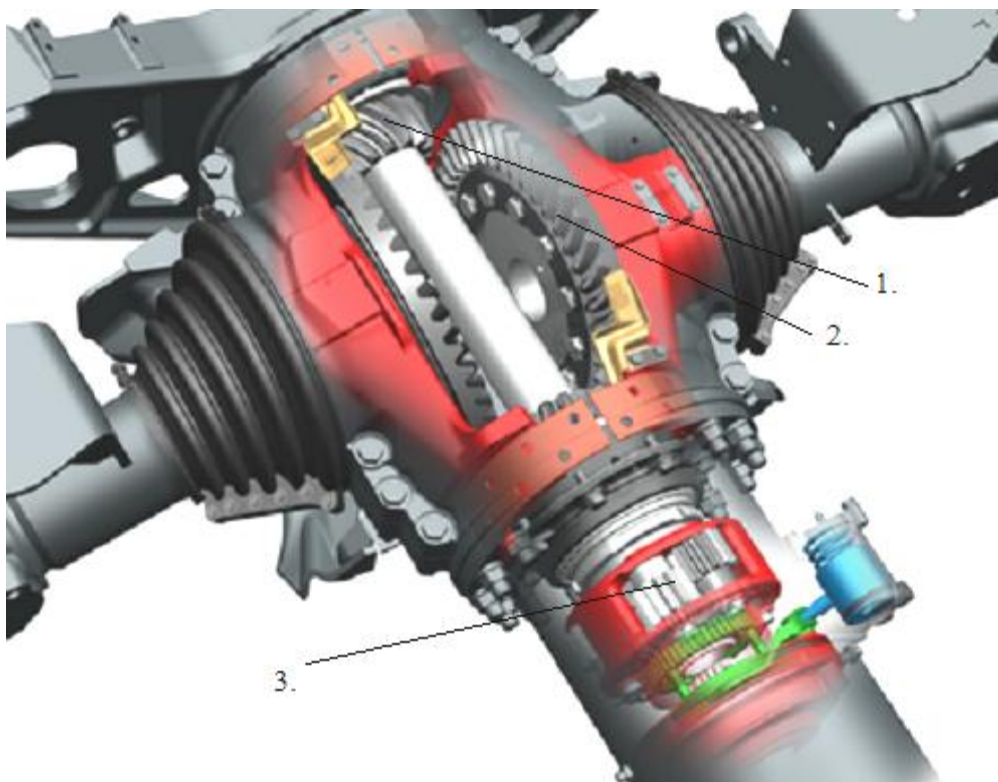
2.2.2 PRINCIP ČINNOSTI

Provoz diferenciálu čelního je stejný jako u diferenciálu kuželového. V průběhu rozdělení otáček se vnitřní planetové kolo začne zpožďovat a odvalováním satelitů po planetovém kole se vnější kolo začne urychlovat.



- 1- planetové kolo
- 2- satelit
- 3- klec diferenciálu
- 4- satelit
- 5- planetové kolo

Obr. 8 Čelní diferenciál [5]



Obr. 9 Příklad užití čelního diferenciálu na nápravě automobilu Tatra:
1. -pastorek, 2. -talířové kolo, 3. -čelní diferenciál [13]

Na obr. 9 je část nápravy nákladních automobilů Tatra. V této koncepci není diferenciál umístěn na nápravě, ale je v centrální nosné trubce, jako mezinápravový. Na nápravě je skříň s dvojicí talířových kol (na každou polonápravu) a dvojice pastorků. Ty přenášejí točivý moment od diferenciálu. [13]



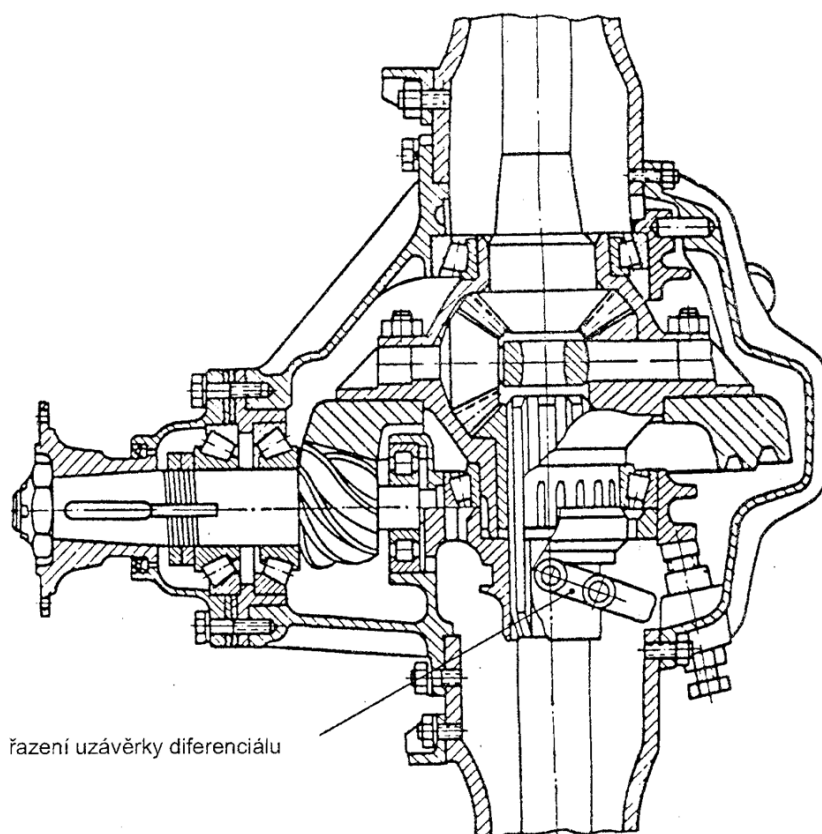
2.3 UZÁVĚRKA DIFERENCIÁLU

U otevřených diferenciálů je hnací moment rozdělován, bez ohledu na to jestli jsou otáčky pravého a levého kola stejné, na dva stejné výstupní točivé momenty M_p a M_l . Při nestejných adhezních podmínkách se ovšem rovnost hnacích momentů na pravém a levém kole projevuje nevhodně.

Relativní protáčení kol není za jízdy na kluzkém povrchu (v terénu) žádoucí. Při ztrátě adheze jednoho kola dojde na tomto kole k poklesu hnací síly, ale diferenciál stále rozděluje hnací moment rovnoměrně. Tedy hnací moment klesne i na kole které neprokluzuje. Prokluzující kolo se otáčí vyššími otáčkami než kolo, které neprokluzuje, to zpomaluje a kvůli poklesu hnacího momentu nemá dostatečnou sílu pro pohon vozidla.

V případě, že nastane tato situace je nutno diferenciál z funkce vyřadit. K odstranění tohoto nedostatku slouží uzávěrka diferenciálu.

Uzávěrka diferenciálu je tedy důležitá hlavně pro vozidla používaná v terénu. [4]



Obr. 10 Kuželový diferenciál s uzávěrkou [1]

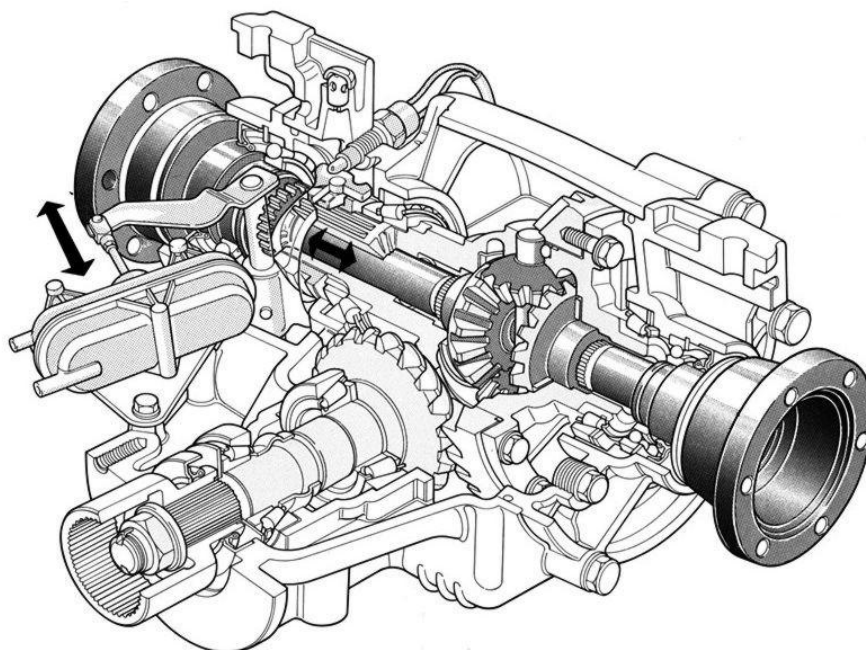


2.3.1 PRINCIP ČINNOSTI

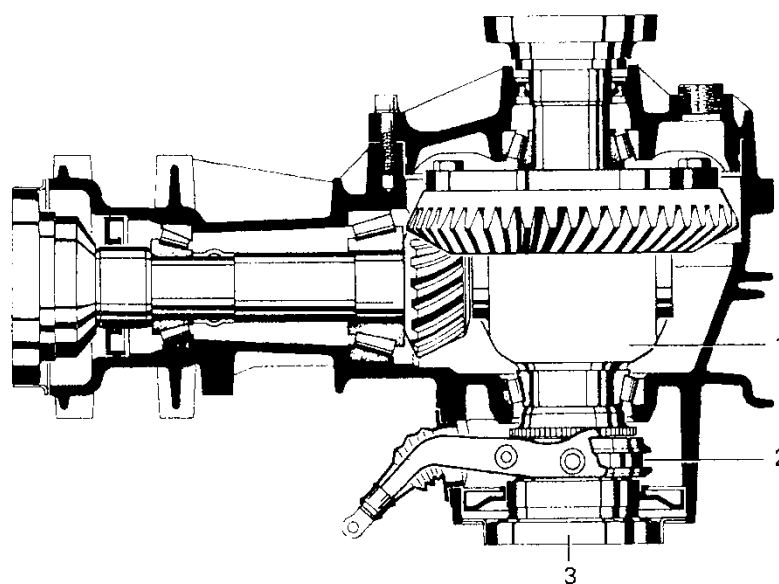
Závěr diferenciálu znehybňuje hnací hřídel kola vůči kleci diferenciálu tak, že se nemůže otáčet a diferenciál se musí otáčet celý.

Je ovládán z místa řidiče buď mechanicky, nebo elektropneumaticky.

K vyřazení diferenciálu se používá např. zubová spojka nebo přesuvná objímka.



Obr. 11 Uzávěrka diferenciálu [7]



Obr. 12 Kuželový diferenciál s uzávěrkou (VW): 1- skříň diferenciálu, 2- posuvná objímka, 3- boční hnací hřídel [4]



2.3.2 ČÁSTEČNĚ SVORNÝ DIFERENCIÁL

Na obr. 13-16 je Eaton G80 Locker.

Tento diferenciál má speciální uzávěrku, která se spíná pouze pro malé trakce, tj. zhruba do 40km/h.

Když automobil jede po suché silnici, diferenciál funguje jako normální otevřený. Ale jakmile se jedno kolo začne otáčet podstatně rychleji, než kolo druhé, regulátor se rychle roztočí, což otevře odstředivé závaží. To se pak zachytí západkou držáku a diferenciál se tímto zablokuje.

Během blokování, je diferenciál uzamknutý až do doby než se kola začnou otáčet stejnou rychlostí.

Při rychlosti nad 40 km/h se diferenciál chová už jen jako otevřený.

Tento typ diferenciálu je hodně využíván u terénních aut a starších typů aut Volvo.



Obr. 13 Diferenciál Eaton G80Locker [14]



Obr. 14 Vnitřní konstrukce [14]



Obr. 15 Detail uzávěrky [14]



Obr. 16 Uzávěrka – odstředivé závaží a západka [14]



3 SAMOSVORNÉ DIFERENCIÁLY

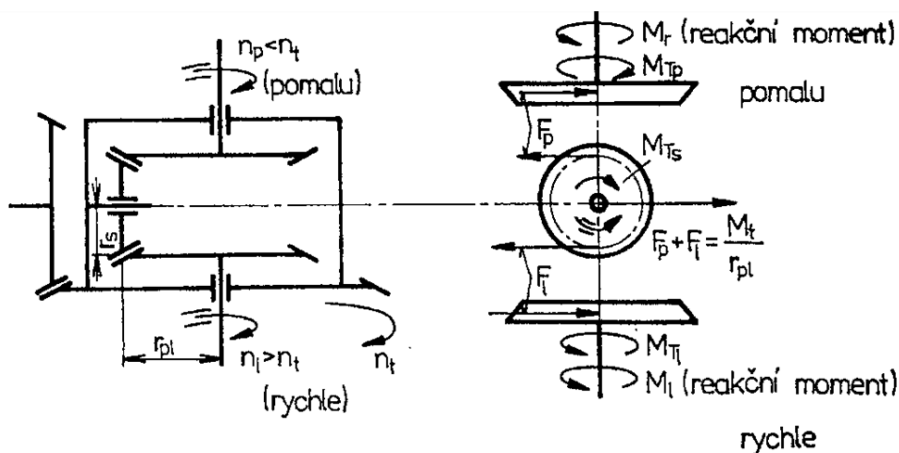
Tím že uzávěr diferenciálu nedovolí rozdílné otáčky v rychlosti obou kol a tím že pomáhá proti protáčení kol pouze v zapnutém stavu, je jeho použití pro jízdu mimo měkký terén nevhodné. Pro odstranění této nevýhody se u některých vozidel používají samosvorné diferenciály (diferenciály se samočinným uzavíráním). Jejich účinek se zakládá na zvýšeném tření v diferenciálu.

Samosvorné diferenciály plní na vozovce s dobrou přilnavostí svoji funkci stejně jako otevřený diferenciál čelní nebo kuželový. Jakmile ale jedno z kol začne prokluzovat nebo se otáčet výrazně rychleji než kolo druhé, vnitřní konstrukce samosvorného diferenciálu zamezí volnému protáčení jednoho kola vůči druhému.

Samosvorný diferenciál již nerozděluje točivý moment rovnoměrně, ale hnací moment rozděljuje na obě hnací kola v závislosti na jejich okamžité adhezi. Větší část hnacího momentu je přitom přiváděna na neprokluzující kolo. Tento požadavek by měl být splněn za všech jízdních podmínek. Tedy za jízdy v přímém směru i v zatáčce, a to bez zřetele na to, zda vozidlo jede dopředu nebo dozadu.

Samotná svornost se pro sportovní a závodní automobily liší. Pro závodní automobily je svornost požadována vyšší.

V případě nízkého výkonu a vysoké svornosti má auto při průjezdu zatáčkou nevyhovující jízdní vlastnosti. Zvyšuje se jeho nedotáčivost. [1,3]



Obr. 17 Kinematické a silové poměry na diferenciálu se zvýšeným třením [1]

Pokud označíme třecí momenty na levém kole M_{Tl} , na pravém M_{Tp} a na satelitu M_{Ts} , a za předpokladu $n_l > n_p$ ($n_l > n_t > n_p$), pak podle obr. 12 platí:

Hnací moment:

$$M_t = (F_l + F_p) \cdot r_{pl} \quad (7)$$



Moment na levé planetě

$$F_l \cdot r_{pl} - M_{Tl} = M_l \rightarrow F_l \cdot r_{pl} = M_l + M_{Tl} \quad (8)$$

Moment na pravé planetě

$$F_p \cdot r_{pl} + M_{Tp} = M_p \rightarrow F_p \cdot r_{pl} = M_p - M_{Tp} \quad (9)$$

Moment na satelitu

$$F_p \cdot r_s - M_{Ts} = F_l \cdot r_s \quad (10)$$

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

$$F_p \cdot r_{pl} = F_l \cdot r_{pl} + M_{Ts} \cdot \frac{r_{pl}}{r_s} \quad (11)$$

S výše uvedenými závislostmi pro momenty na levé a pravé planetě plyne z posledního vztahu:

$$M_p - M_{Tp} = M_l + M_{Tl} + M_{Ts} \cdot \frac{r_{pl}}{r_s} \quad (12)$$

A tedy:

$$M_p = M_l + M_{Tl} + M_{Tp} + M_{Ts} \cdot \frac{r_{pl}}{r_s} \quad (13)$$

Z tohoto vyplývá, že moment na pomalejší hřídeli (M_p) je větší než moment na hřídeli rychlejší. [1]

Omezené svornosti diferenciálu se nejčastěji dosahuje pomocí:

- Diferenciálu s třecí lamelovou spojkou
- Šnekového diferenciálu typu Torsen
- Viskózní spojky



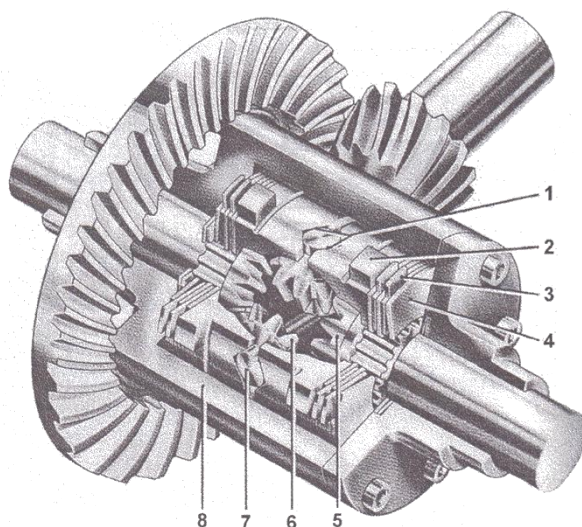
3.1 DIFERENCIÁL S TŘECÍ SPOJKOU

Diferenciál s třecí spojkou se používá jako nápravový. Je často využíván u závodních a sportovně laděných aut, protože počtem lamel popřípadě změnou úhlu klínových výřezů lze dobře nastavovat jeho vlastnosti.

3.1.1 KONSTRUKCE DIFERENCIÁLU S TŘECÍ SPOJKOU

Základem diferenciálu s třecí spojkou je diferenciál kuželový, ke kterému jsou přidány dva přítlačné kotouče a dvě lamelové spojky.

Přítlačné kotouče jsou poháněny klecí diferenciálu a jsou opatřeny drážkováním, aby se mohly vůči ní axiálně pohybovat. Mezi oběma přítlačnými koly jsou ve čtyřech vyfrézovaných výřezech sevřeny čepy satelitů s klínovým ukončením. Diferenciál má tedy čtyři satelity, vždy dva proti sobě na jednom čepu. Přenášením momentu se čepy vytlačují z klínových výřezů, tím se kroužky vzdalují a přitlačují se na lamely brzdy. Jeden pár lamely je mezi čelní plochou přítlačných kotoučů a čelní plochou klece diferenciálu. Vnější lamely jsou spojeny s drážkami na kleci diferenciálu a vnitřní jsou spojeny ozubením s kuželovým kolem, které je na hnací hřídeli. Předpětí v lamelách je dosaženo talířovými pružinami. [3,4]



- 1- Klínové plochy na přítlačných kroužcích
- 2- Přítlačný kroužek
- 3- Lamela s vnějším ozubením
- 4- Lamela s vnitřním ozubením
- 5- Kuželové planetové kolo
- 6- Kuželový satelit
- 7- Čep satelitů
- 8- Klec diferenciálu

Obr. 18 Samosvorný diferenciál ZF – DL [4]

Při provozu vznikají v diferenciálu vysoké teploty. U sériových aut stačí chlazení vzduchem. U závodních aut, kde jsou diferenciály namáhány daleko intenzivněji je potřeba vřadit do mazacího systému diferenciálu chladič. Většinou s elektrickým čerpadlem, popřípadě mechanickým, které je poháněno od poloosy kola.

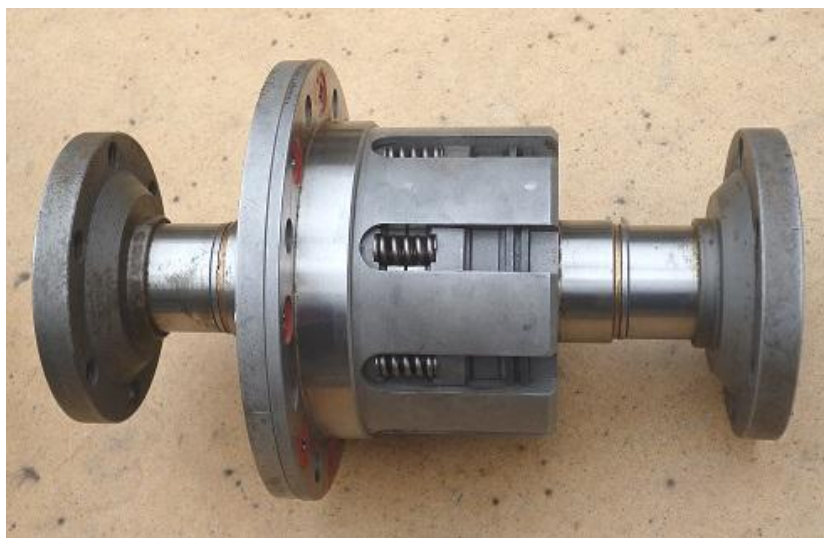
Svornost diferenciálů je ovlivňována počtem lamel a úhlem a tuhostí talířových pružin.

V sériových autech je svornost do 30 %, např. BMW 28 %.

U aut závodních je svornost 40-75 % dle požadavků na chování auta.



Pro závodní účely je ale nutno, aby diferenciál fungoval s co nejmenším zpožděním. To je nutné například v šikanách, kdy se rychle mění zátěž vnějšího a vnitřního kola. V těchto případech diferenciál nepracuje dostatečně rychle. Pro docílení správné funkce jsou v diferenciálu na obrázku (obr. 19 a 20) umístěny pružiny, které docílují stálého předpětí lamel. Typ, který je na obrázku již nemá talířové pružiny. U těchto diferenciálů, je ale náročnější jejich servis, protože v diferenciálu dochází k stálému opotřebování.



Obr. 19 Závodní samosvorný diferenciál z BMW M3 [14]



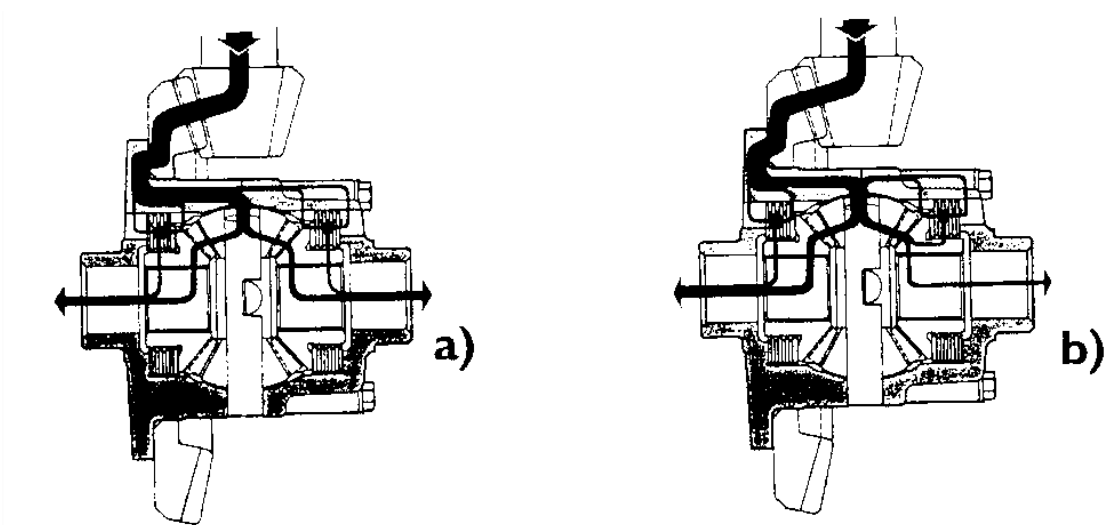
Obr. 20 Vnitřní konstrukce [14]



3.1.2 PRINCIP ČINNOSTI

Při jízdě na vozovce se stejnou adhezí je valná část točivého momentu přenášena na centrální kola přes přítlačné kotouče a čepy satelitů. Zbytek točivého momentu je pak přiváděn rovnoměrně přes lamelové spojky a přítlačné kotouče.

Pokud jedno z kol začne prokluzovat vlivem nestejné adheze na vozovce, čepy satelitů začnou tlačit na přítlačné kotouče. Ty se začnou axiálně posouvat a tlačit na lamely (proti lamelám) obou spojek. Díky tlaku se mezi lamelami tvoří tření (třecí moment) úměrně veliké rozdílu otáčejících se lamel. Toto tření je pak vedeno na neprokluzující kolo. [3,4]



Obr. 21 Tok hnacího momentu kuželovým diferenciálem ZF: a) při stejné adhezí na kolech a přímé jízdě, b) při rozdílné adhezí na kolech nebo při zatáčení [1]



Obr. 22 Samosvorný diferenciál BMW řady 3 [14]



Obr. 23 Vnitřní konstrukce [14]



Obr. 24 Lamely [14]



Obr. 25 Satelity [14]



Na obrázcích 22 - 25 je samosvorný diferenciál sériových vozů BMW, který se montuje do některých modelů řady 3 a 5.

Plechový vyfrézovaný kotouč na jedné straně skříně slouží jako impulsní kolo pro snímač rychlosti.



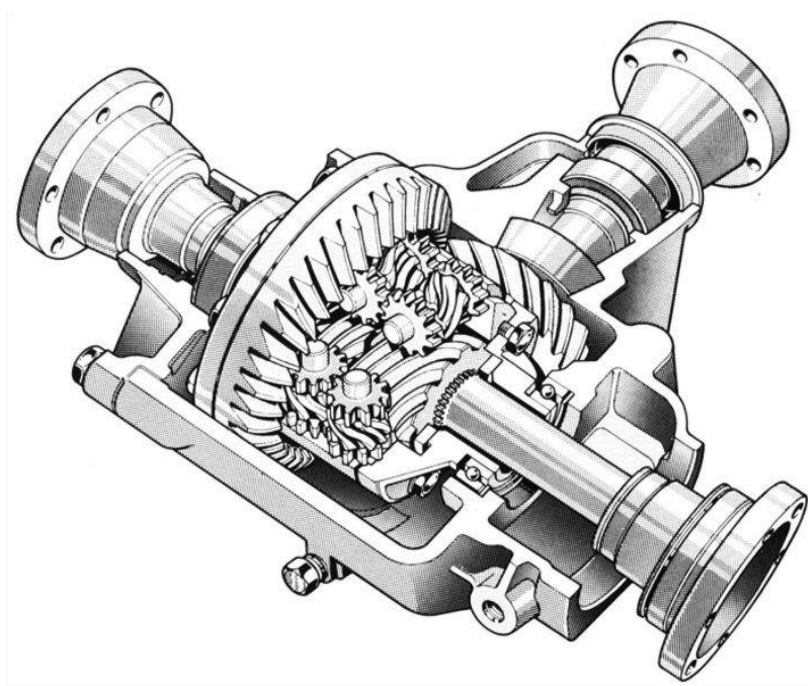
3.2 ŠNEKOVÝ SAMOSVORNÝ DIFERENCIÁL TYPU TORSEN

Šnekový samosvorný diferenciál Torsen je z hlediska působení spojením čelního diferenciálu a diferenciálu šnekového. Tento typ diferenciálu je náročný na výrobu a podle toho i náročný finančně. Umožňuje rozdílné otáčky hnacích kol a točivý moment na ně rozděluje podle adhezních podmínek.

3.2.1 KONSTRUKCE DIFERENCIÁLU TYPU TORSEN

Diferenciál se skládá ze tří párů šnekových satelitů, které jsou v záběru s planetovými šroubovými koly. Satelity jsou navzájem spojeny čelním ozubením.

Z převodovky je hnací moment přiváděn přes stálý převod, odtud na klec diferenciálu, čepy satelitů, ozubení satelitů a šnekové planetové kolo a odtud na hřídele hnacích kol.



Obr. 26 Šnekový diferenciál Torsen [7]

3.2.2 PRINCIP ČINNOSTI

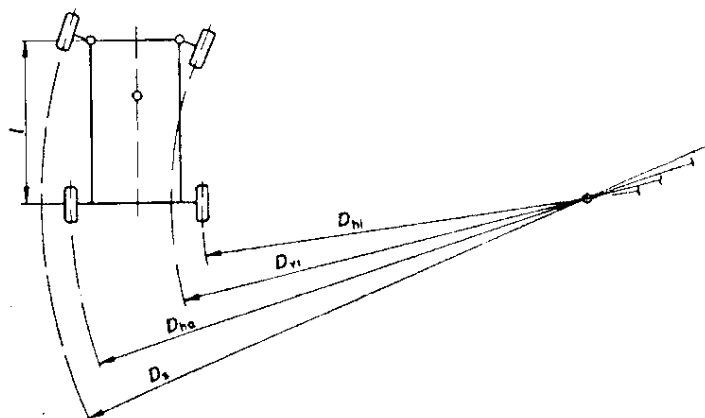
Pokud mají hnací kola otáčky stejné, pracují satelity pouze jako zubové spojky a neotáčejí se. Točivý moment je v tomto případě rozdělen na obě hnací kola stejným poměrem.

Za jízdy v zatáčce se satelity začnou pohybovat na čepech, tím je docíleno rozdílných otáček bočních hřídelí. Začne-li ale jedno kolo podkluzovat, vznikne samosvorný účinek třením ve šroubovém ozubení, tím dojde k přibrzdění protáčeného kola. Větší točivý moment se začne přenášet na kolo neprokluzující.

Účinnost těchto diferenciálů je navrhována asi na 65 %. Tedy jejich svornost je 35 %. V závodním provedení je svornost vyšší. [1,3]



Diferenciál Torsen se také používá jako diferenciál mezinápravový.

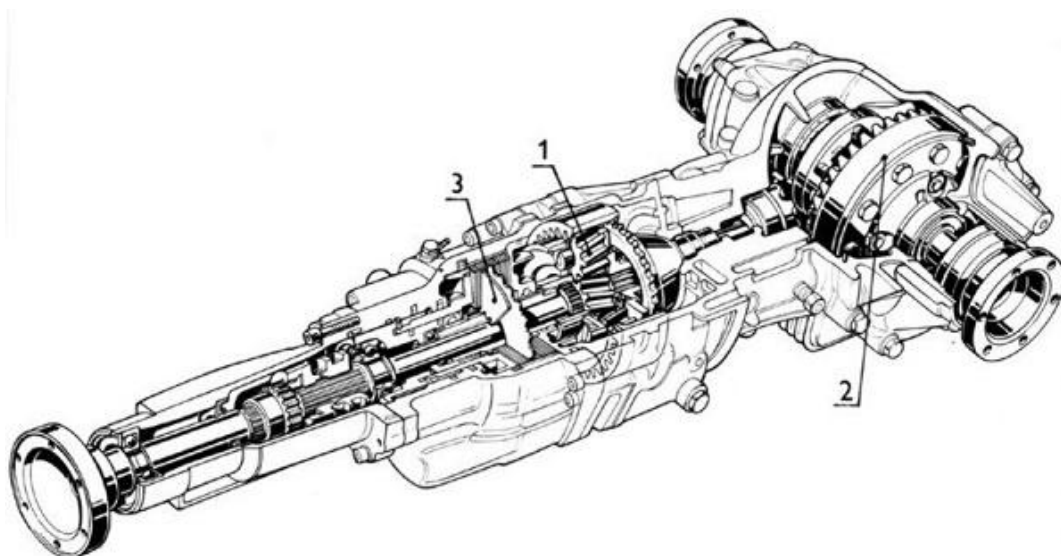


Obr. 27 Rozdílné poloměry zatáčení jednotlivých kol [4]

Mezinápravové diferenciály se používají u automobilů s pohonem všech čtyř kol. Ty propojují přední a zadní nápravu a umožňují rozdílné otáčky klecí diferenciálů přední a zadní nápravy.

Na obr. 27 lze vidět, že kola automobilu projíždějícího zatáčkou opisují různá dráhy, přičemž kola přední nápravy opisují poloměry větší. Mezinápravový diferenciál vyrovnává vzniklé rozdíly otáček na přední a zadní nápravě a rozděljuje rovnoměrně (kuželový diferenciál) hnací moment na obě nápravy. Hnací moment může být rozdělen i nerovnoměrně, např. pomocí planetového převodu. Bez mezinápravového diferenciálu by docházelo k nežádoucímu pnutí v převodové soustavě auta a zhoršení jízdních vlastností. [4]

Dalším mezinápravovým diferenciálem je např. viskózní spojka.



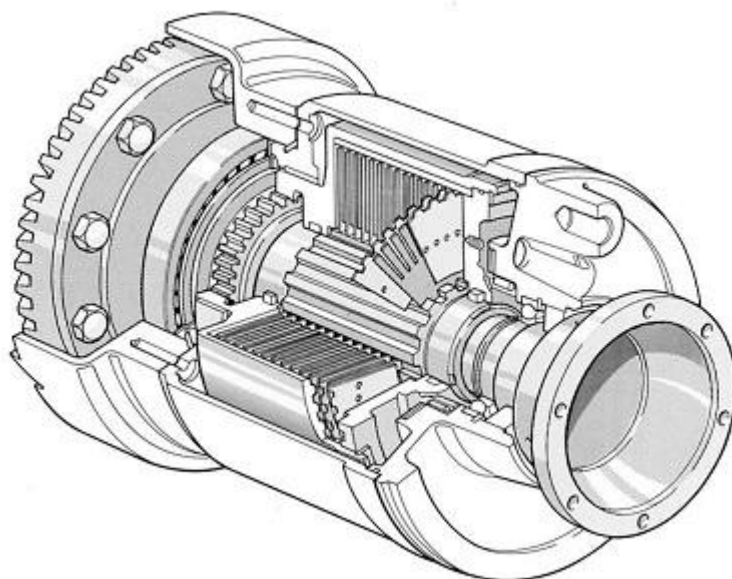
Obr. 28 Mezinápravový diferenciál: 1- čelní kola, 2- diferenciál zadní nápravy, 3- viskózní spojka [7]



3.3 DIFERENCIÁL S VISKÓZNÍ SPOJKOU

Diferenciál s viskózní spojkou se většinou používá jako součást převodového ústrojí u aut s pohonem všech čtyř kol, kde plní funkci mezinápravového diferenciálu.

Svornost tohoto typu diferenciálu roste s rozdílem otáček lamel. Tedy pokud nedochází k prokluzu, je svornost malá, zatímco při prokluzu se svornost zvyšuje. Svornost diferenciálu záleží na počtu lamel a na viskozitě oleje.



Obr. 29 Viskózní spojka [7]

3.3.1 KONSTRUKCE DIFERENCIÁLU S VISKÓZNÍ SPOJKOU

Ve skříni, která je ze 75 % až 92 % naplněna speciálním silikonovým olejem, jsou uloženy speciální různě tvarované ocelové lamely se specifickou povrchovou úpravou zlepšující přilnavost se silikonovým olejem. Lamely jsou ve dvou sadách a jsou ve skříni uloženy střídavě, každá sada je spojena s jedním hnacím hřídelem. Vnější hnané lamely jsou děrované a mají vnější ozubení, které zasahuje do ozubení skříňe. Vnitřní lamely- hnací- mají ozubení vnitřní a jsou uloženy v axiálních drážkách na hnací hřídeli. Mezi lamelami jsou mezery 0,2 mm až 0,4 mm (dle přenášeného momentu) a nejsou zajištěny proti axiálnímu posuvu.

3.3.2 PRINCIP ČINNOSTI

Při jízdě v přímém směru se obě sady lamel otáčejí stejnými otáčkami. Spojka se tedy otáčí jako celek a diferenciál se chová jako otevřený.

Pokud se jedna náprava začne točit rychleji, vlivem nestejných adhezí, začnou se lamely spojené s touto nápravou otáčet vyšší rychlostí. Rozdílné otáčky hnaných a hnacích lamel způsobí v kapalině tření. Hnací moment je pak přenášen na nápravu, která se točí pomaleji. [3]



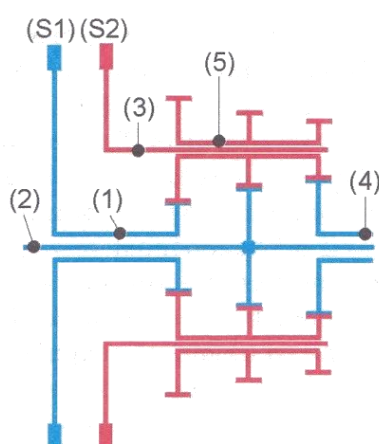
4 AKTIVNÍ SYSTÉMY

Aktivní systémy se v dnešní době používají převážně u drahých nebo sportovních vozů. Princip jejich činnosti je založen na elektronickém řízení.

Aktivní diferenciál umožňuje zrychlení nebo zpomalení libovolného kola hnací nápravy. Regulace se děje pomocí elektronického povelu. V diferenciálu je aktivní člen, který snímá potřebná data a vyhodnocuje je. Je tedy zapotřebí výkonný řídicí systém, který vyhodnocuje chování automobilu a zároveň jeho chování předpovídá. Tím dokáže zpomalit nebo urychlit správné kolo.

4.1 ATTS

Active Torque Transfer System je aktivní systém automobilky Honda jak pro vozidla s pohonem všech čtyř kol, tak i pro vozidla s jednou poháněnou nápravou. Na rozdíl od pasivních systémů neomezuje výkon vozu.



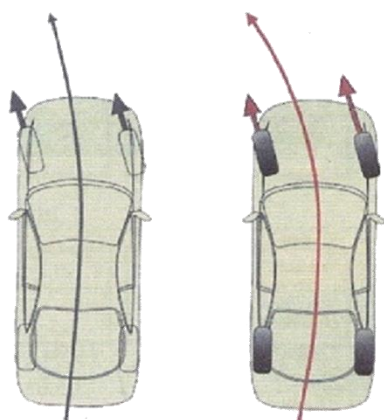
- (1) – hřídel levého centrálního kola planetového soukolí
- (2) – hnací hřídel levého kola vozidla
- (3) – unášec satelitů
- (4) – hnací hřídel pravého kola vozidla
- (5) – trojitý satelit planetového soukolí
- (S1) – lamelová spojka levého kola vozidla
- (S2) – lamelová spojka pravého kola vozidla

Obr. 30 Schéma planetového soukolí rozdělovací převodovky Honda ATTS [3]

Systém je založen na rozdělovací převodovce umístěné mezi hnací kola a rozvodovku s klasickým diferenciálem. Hnací moment je přenášen planetovým soukolím se třemi trojitými satelity aktivací elektronické řídicí jednotky. Ta dává pokyny z nasnímaných informací, podle nichž určí nastavení diferenciálu. Díky zpětné vazbě, pak pomocí hydraulických brzd, které jsou na obou výstupech z převodovky, dosáhne požadovaného seřízení. [3]

Čidla napojená na hlavní jednotku:

- senzor úhlové rychlosti natáčení vozu kolem svislé osy
- čidlo snímající boční zrychlení
- optický snímač úhlu natočení volantu
- čidlo systému ABS (informace o rozdílu otáček pravého a levého kola)



a) normálně pracující diferenciál b) systém ATTS

Obr. 31 Zvětšení hnací síly na vnějším kole u systému Honda ATTS [3]

4.2 DPC

Dynamic Performace Control je zadní aktivní diferenciál vozů BMW, který doplňuje systém pohonu všech kol xDrive.

Systém xDrive rozděluje hnací moment mezi přední a zadní nápravu a systém DPC pak ještě rozděluje hnací moment dle potřeby na pravé a levé kolo zadní nápravy.

Každý hnací hřídel má vlastní planetové soukolí, lamelovou spojku a elektrický servomotor. Ten má za úkol regulovat činnost těchto dílů podle signálů od řídicí jednotky, která získává informace z čidel, jako je úhel natočení volantu, úhlová rychlost vozidla kolem svislé osy nebo aktuální točivý moment motoru.

Na rozdíl od jiných technologií je u DPC zaručena funkčnost nejen pod plynem, ale i při vyšlápnuté spojce, nebo když se auto pohybuje setrvačnou rychlostí. [10,11]



Obr. 32 Umístění DPC [10]



Obr. 33 DPC [11]

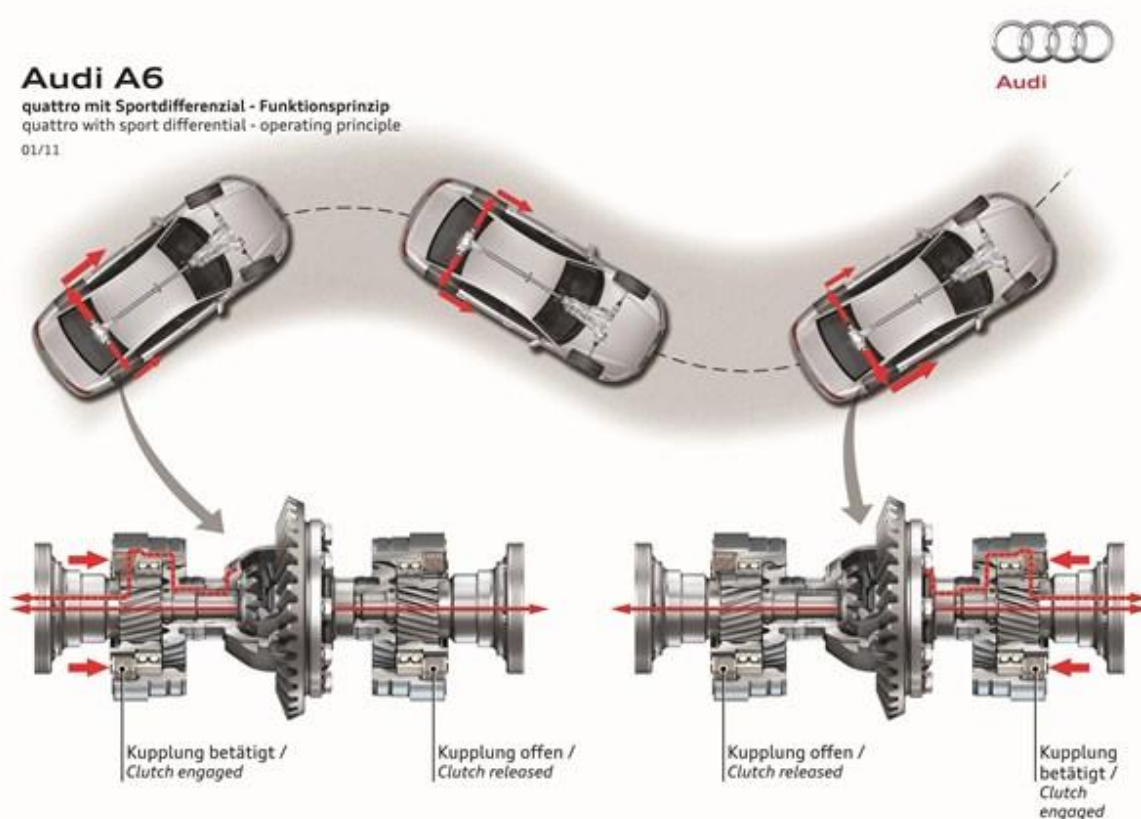


4.3 SPORTDIFFERENZIAL

Sportovní diferenciál je aktivní systém automobilky Audi. Jeho princip spočívá v přesunu hnací síly namísto přibrzdování kol, kterým se ztrácí energie.

Na každé straně diferenciálu je umístěna lamelová spojka, která je sepnuta pomocí elektrohydraulického okruhu. Při sepnuté spojce je pak planetový převod schopný urychlit kolo na vnější zatáčce až o deset procent. V některých jízdních situacích dokáže převést na jediné kolo až sto procent točivého momentu.

Funkce diferenciálu se přizpůsobí požadavkům řidiče ve třech stupních: Komfort, Auto a Dynamic.



Obr. 34 Funkce Sportovního diferenciálu Audi [9]

Na obr. 34 lze vidět činnost sportovního diferenciálu při průjezdu zatáčkou. Při vjezdu do zatáčky se točivý moment přenáší na vnější stranu pro usnadnění průjezdu. Ve chvíli kdy dochází ke změně směru, se moment přenáší podle jízdní situace ke zlepšení stability vozu. Při výjezdu ze zatáčky se točivý moment přenáší na vnější stranu pro potlačení nedotáčivosti při zrychlení. [6]



4.4 DCCD

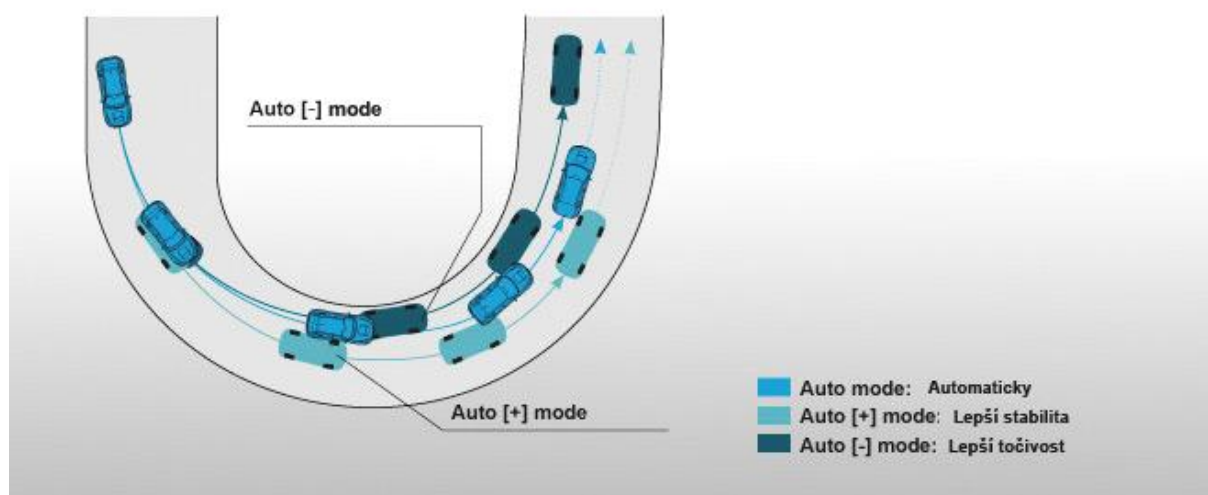
Driver Controlled Center Differential je aktivní mezinápravový diferenciál automobilky Subaru. Účinnost systému zvyšují nápravové samosvorné diferenciály.

Hlavní částí celého diferenciálu je planetové soukolí s přímými zuby. Části planetového soukolí jsou ovládány lamelovou spojkou, která je řízena elektromagnetem.

Nastavení točivého momentu mezi nápravu reguluje řídicí jednotka. Ta je o jízdních vlastnostech informována pomocí rychlosti otáčení jednotlivých kol, úhlu otevření škrtkic klapky a rotačních sil.

U tohoto aktivního diferenciálu si může řidič sám nastavit, jestli bude přerozdělovat točivý moment mezi přední a zadní kola sám anebo rozdělení točivého momentu přenechá automatickému režimu. Poměr rozdělení točivého momentu mezi přední a zadní nápravu je od 35:65 až po 49:51. [11]

V manuálním režimu má řidič šest možností nastavení.



Obr. 35 Vlastnosti automobilu s DCCD při použití různých režimů nastavení [12]



ZÁVĚR

Tématem práce bylo uvést přehled nejčastěji využívaných konstrukcí diferenciálů.

Základním typem diferenciálů jsou diferenciály otevřené, které mají dva typy konstrukce, kuželový a čelní.

Kuželové diferenciály jsou využívány častěji. I v dnešní době je můžeme nalézt na valné většině automobilů. Tyto diferenciály splňují hlavní požadavky, které jsou na ně kladeny a nejsou tolik náročné, co se týče servisu nebo financí. Tyto diferenciály bývají doplněny o uzávěrku. Ta dokáže v případě potřeby vyřadit diferenciál z funkce.

Čelní diferenciál je méně obvyklé řešení. Tyto diferenciály jsou typické pro konstrukce vozů Tatra.

Jako zajímavý typ diferenciálu s uzávěrkou jsem uvedla diferenciál Eaton G80 Locker. Tento typ diferenciálu je zajímavý tím, že uzávěrka je v případě potřeby sepnuta sama. Tato funkce je ale pouze do rychlosti automobilu přibližně 40 km/h, poté se z něj stává klasický otevřený diferenciál. Tento typ je často využíván u terénních aut, kdy je funkce samosvorného diferenciálu využito pro rozjezd vozidla.

Z konstrukcí otevřených diferenciálů vychází konstrukce diferenciálů samosvorných. Tyto diferenciály jsou jakýmsi zlepšením diferenciálů otevřených. Samosvorný diferenciál umožní při prokluzu pouze určitý rozdíl mezi otáčkami kol.

Ve své práci jsem uvedla tři nejčastější typy těchto diferenciálů. Diferenciál Torsen, viskózní spojku a diferenciál s třecí spojkou. U diferenciálu s třecí lamelovou spojkou jsem uvedla dva typy konkrétních provedení. Oba diferenciály jsem, stejně jako diferenciál Eaton G80 Locker, mohla rozebrat a podívat se na jejich konstrukci osobně. Klasický samosvorný diferenciál a samosvorný diferenciál pro závodní účely, oba z vozů BMW. Na nich lze vidět konkrétní rozdíl v jejich konstrukci. Samosvorný diferenciál pro závodní automobily má ve své konstrukci ocelové pružiny zajišťující stálý přítlak.

Z osobní zkušenosti vím, že vozy s mechanickým samosvorným diferenciálem umožňují i jiný způsob jízdy, protože automobil lze ovládat nejen volantem, ale i plynovým pedálem, kdy se vůz ovládá řízeným smykem.

V dnešní době se auta neobejdou bez elektroniky. Proto elektronika zasahuje i do současného vývoje diferenciálů. Diferenciály, které obsahují elektronické prvky, se nazývají aktivní systémy nebo také aktivní diferenciály. Aktivní systémy se montují převážně do dražších sportovních automobilů. Aktivní diferenciály obsahují vždy několik různých čidel, které monitorují chování jedoucího automobilu. Na základě těchto informací pak diferenciál zpomalí nebo urychlí konkrétní kolo. Ve své práci jsem uvedla čtyři typy aktivních systémů různých automobilek.

Přestože dnešní trend směřuje k elektronice, která umožňuje široké možnosti regulace, se mi jako nejlepší řešení jeví diferenciál s třecí lamelovou spojkou. Elektronika se ani v dnešní době neobejde bez problémů a diferenciály s třecí spojkou se dají změnami počtu lamel a změnou klínových výřezů regulovat na vlastnosti, které požadujeme také v širokých možnostech. Také servis těchto diferenciálů je bezpochyby méně problematický.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel: Spojky, Převodovky. Rozvodovky. Diferenciály. Hnací hřídele. Klouby*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 312 s. ISBN 80-238-5275-2.
- [2] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel /: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2001, 576 s. ISBN 80-239-3717-0.
- [3] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily 2: převody*. 2. vyd. Brno: AVID, 2009, 129 s. ISBN 978-80-87143-12-4.
- [4] VLK, František. *Převody motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 371 s. ISBN 80-239-6463-1.
- [5] SIEGEL, Miroslav. *AUTOMOBILY: motory, převodná ústrojí*. 3. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1966.
- [6] *Automobil revue: dynamický diferenciál*. Praha: Springer, 2008, padesátý druhý ročník, číslo 6. ISSN 1211-9555.
- [7] Diferenciály obecně. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.diopan.cz/citroenbx/diferencial.htm>
- [8] Diferenciál. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://zavolantom.autovia.sk/2010/06/20/diferencial/>
- [9] Sport differential operation principle driving. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.eurocarnews.com/2/0/1332/7721/sport-differential-operation-principle-driving/gallery-detail.html>
- [10] Dynamic Performance Control. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.bmw.de/de/footer/publications-links/technology-guide/dynamic-performance-control.html>
- [11] BMW Dynamic Performance Control in Detail. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.worldcarfans.com/10703294638/bmw-dynamic-peformance-control-in-detail>
- [12] POHON AWD S AKTIVNÍM MEZINÁPRAVOVÝM DIFERENCIÁLEM DCCD. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: http://www.subaru.cz/Multi_modeDCCD.html
- [13] Tatrovácká koncepce. [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/tatrovacka-koncepce/>
- [14] Archiv autora

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

a	[m]	rozchod kol
F_l	[N]	síla na levém kole
F_p	[N]	síla na pravém kole
M_l	[Nm]	točivý moment na levém kole
M_p	[Nm]	točivý moment na pravém kole
M_t	[Nm]	točivý moment na skříně diferenciálu
M_{Tl}	[Nm]	třecí moment na levém kole
M_{Tp}	[Nm]	třecí moment na pravém kole
M_{Ts}	[Nm]	třecí moment na satelitu
n_l	[min ⁻¹]	otáčky levého kola
n_p	[min ⁻¹]	otáčky pravého kola
n_t	[min ⁻¹]	otáčky klece diferenciálu
R	[m]	poloměr opisující střed nápravy
r_d	[m]	poloměr kol
r_{pl}	[m]	poloměr planetového kola
r_s	[m]	poloměr satelitu kola
v_l	[ms ⁻¹]	obvodová rychlost levého kola
v_p	[ms ⁻¹]	obvodová rychlost pravého kola
v_t	[ms ⁻¹]	rychlost středu nápravy
ω_l	[s ⁻¹]	úhlová rychlost levého kola
ω_p	[s ⁻¹]	úhlová rychlost pravého kola
ω_t	[s ⁻¹]	úhlová rychlost skříně diferenciálu