



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

OSOBNÍ AUTOMOBILY S POHONEM VŠECH KOL

CARS WITH ALL WHEEL DRIVE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DANA STIBOROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dana Stiborová

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

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

Osobní automobily s pohonem všech kol

v anglickém jazyce:

Cars with All Wheel Drive

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Soustředit a kriticky zhodnotit přednosti a nedostatky pohonu všech kol u osobních vozidel.

Cíle bakalářské práce:

Shrnout historický vývoj vozidel s pohonem všech kol.

Posoudit výhody a nevýhody jednotlivých pohonů.

Konstrukce základních prvků pohonů.

Koncepce pohonů 4x4 u moderních osobních automobilů.

Analýza a zhodnocení získaných poznatků v dané oblasti vozidlové techniky.

Seznam odborné literatury:

REIMPELL, Jornsens. The Automotive Chassiss. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0 7506 5054 0.

MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas.: Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.

JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav a ČUPERA Jiří. Automobily (1): Podvozky. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-11-7.

Firemní literatura.

Internet.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 13.11.2014



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan



ABSTRAKT

Cílem této rešeršní bakalářské práce je popis moderních koncepcí pohonu všech kol využívaných u osobních automobilů. Počáteční část je věnována historickému vývoji tohoto pohonu a jeho výhodám či nevýhodám. Následující část popisuje základní konstrukční prvky a jejich využití u jednotlivých koncepcí. Dále se tato práce zaměřuje na detailní popis jednotlivých systémů pohonu využívaných předními automobilovými výrobci a je zakončena úvahou o možném směru dalšího vývoje tohoto automobilového odvětví.

KLÍČOVÁ SLOVA

pohon všech kol, rozvodovka, diferenciál, Torsen, viskózní spojka, lamelová spojka, Haldex, quattro, 4MOTION, 4MATIC, xDrive

ABSTRACT

The aim of this retrieval thesis is a description of the modern concepts of all-wheel drive used in passenger cars. The initial part is devoted to the historical development of this drive and its advantages and disadvantages. The following section describes the basic components and their use in individual concepts. Further, this work focuses on detailed description of the various drive systems used by leading automobile manufacturers and it is ended with a reflection on the possible direction of further development of the automotive industry.

KEYWORDS

all-wheel drive, transfer case, differential, Torsen, viscous coupling, multi-plate clutch, Haldex, quattro, 4MOTION, 4MATIC, xDrive



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STIBOROVÁ, D. *Osobní automobily s pohonem všech kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 69 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. května 2015

.....

Dana Stiborová



PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala prof. Ing. Václavu Pištěkovi, DrSc. za jeho odborné vedení a poskytnutí cenných rad a informací, které přispěly k vypracování této bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	10
1 Historie	11
1.1 Počátky	11
1.2 Válečný rozmach	11
1.3 První osobní vozy	12
1.4 Silniční vozy	13
2 Srovnání jednotlivých typů pohonů	14
2.1 Výhody a nevýhody pohonu všech kol	14
2.2 Trakce	14
2.3 Ovladatelnost vozu	15
2.4 Ekonomická stránka	16
3 Základní konstrukční prvky	17
3.1 Rozvodovka	17
3.2 Stálý převod	17
3.3 Diferenciál	19
3.3.1 Kuželový diferenciál	20
3.3.2 Čelní diferenciál	22
3.3.3 Samosvorný diferenciál	23
3.3.3.1 Samosvorný diferenciál s třetí lamelovou spojkou	23
3.3.3.2 Šnekový samosvorný diferenciál	25
3.3.3.3 Samočinný samosvorný diferenciál ASD	28
3.4 Lamelové spojky	29
3.4.1 Viskózní spojka	29
3.4.2 Visco-Lok	30
3.4.3 Haldex	31
3.5 Zubové spojky	33
4 Elektronické systémy	34
4.1 EDS (Elektronische Differenzialsperre)	34
4.2 DSC (Dynamic stability control)	34
5 Koncepce	35
5.1 Stálý pohon všech kol	35
5.1.1 Konstrukce se třemi diferenciály	36
5.1.2 Konstrukce s viskózní spojkou	37
5.2 Přiraditelný pohon všech kol	38
5.2.1 Manuálně připojitelný pohon všech kol	38



5.2.2	Samočinně připojitelný pohon všech kol	39
6	Nejpoužívanější systémy pohonu všech kol.....	40
6.1	Audi - Quattro.....	40
6.1.1	I. generace quattro	40
6.1.2	II. generace quattro	42
6.1.3	E-quattro	43
6.1.4	Quattro využívající spojku Haldex.....	43
6.2	Volkswagen - 4MOTION.....	44
6.2.1	Syncro.....	44
6.2.2	4MOTION.....	44
6.2.3	4xMOTION.....	44
6.3	Mercedes-Benz - 4MATIC.....	45
6.3.1	I. generace	45
6.3.2	II. generace	45
6.3.3	III. generace.....	45
6.3.4	4MATIC pro kompaktní modely.....	46
6.4	BMW - xDrive.....	47
6.4.1	První systémy pohonu	47
6.4.2	xDrive.....	47
6.5	Škoda – 4x4	49
6.6	Subaru - Symmetrical All Wheel Drive	50
6.6.1	Symmetrical All Wheel Drive (SAWD)	50
6.6.2	Impreza, Legacy, Outback, Forester	50
6.7	Mitsubishi.....	53
6.7.1	Super Select 4WD (SS4).....	53
6.7.2	Systém elektromagneticky ovládané spojky	53
6.7.3	Systém stálého pohonu všech čtyř kol	54
6.8	Jeep.....	56
6.8.1	Command-Trac.....	56
6.8.2	Quadra-Trac	56
6.8.3	Quadra-Drive.....	58
6.9	Land Rover	59
6.9.1	Defender.....	59
6.9.2	Discovery	59
	Závěr.....	61



ÚVOD

S postupujícím vývojem lidské civilizace stále rostly nároky na rychlejší a efektivnější přepravu lidí i materiálů. Až do průmyslové revoluce v 18. století bývala k tomuto účelu využívána zejména síla domestikovaných zvířat. Avšak vynález parního stroje a zvláště pak spalovacího motoru umožnil v této činnosti značný skok vpřed. Začaly vznikat první samohyby a zanedlouho spatřil světlo světa i první automobil. Z tohoto průkopnického vynálezu se velmi rychle stal univerzální dopravní prostředek, který musel být schopen plnit celou řadu specifických úkolů. Proto se následný vývoj automobilů začal dělit do několika skupin, mezi něž patřily i automobily s pohonem všech kol.

Dnes je ve vyspělých zemích osobní automobil považován za zcela běžnou součást každodenního života. Na celém světě jsou vyráběny tisíce modelů, které se člení do různých kategorií například podle velikosti, ceny nebo konstrukčního řešení. Jednou z těchto kategorií, kterou se zabývá tato bakalářská práce, jsou osobní automobily s pohonem všech kol.



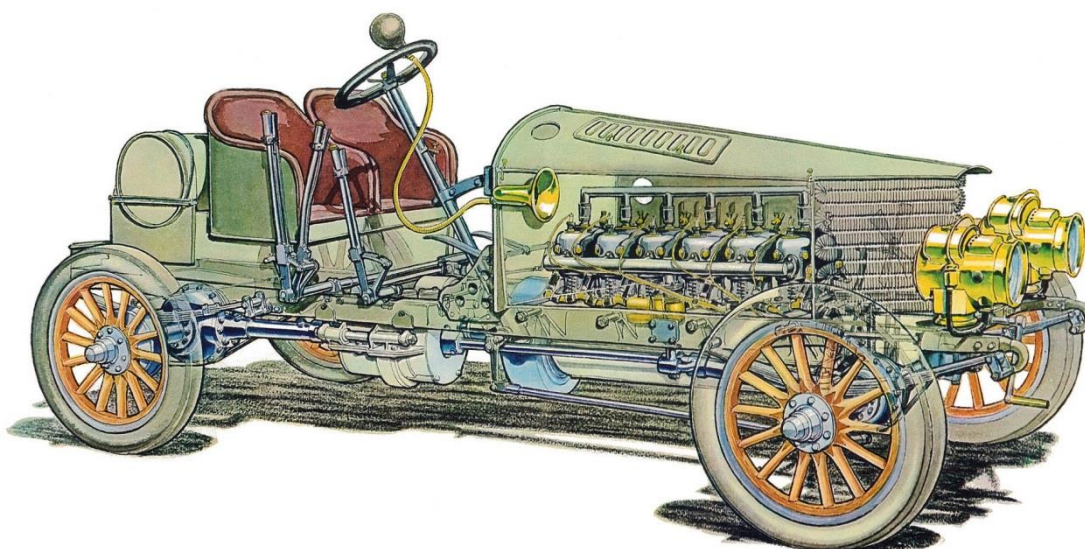
1 HISTORIE

Historie pohonu všech kol sahá na samé počátky automobilismu. Na začátku byl pohon obou náprav využíván zejména u pracovních a vojenských vozidel, avšak v druhé polovině minulého století se začal hojně uplatňovat i u osobních automobilů, nejdříve terénních a později i silničních. A dnes již téměř každý automobilový výrobce nabízí hned několik modelů s pohonem všech kol.

1.1 POČÁTKY

Jako první samohyb, využívající tento pohon, se do historie zapsal anglický parní vůz zkonstruovaný Timothyem Burstallem a Johnem Hillem. Stalo se tak roku 1827 [1].

Ovšem za první moderní automobil pohaněný spalovacím motorem s náhonem na všechna kola je považován nizozemský Spyker 4WD. Tento sportovní vůz zkonstruovali bratři Jacobus a Hendrik-Jan Spijker v roce 1903. Automobil byl vybaven rozdělovací převodovkou s mezinápravovým diferenciálem a redukcí. Tato technologie je využívána dodnes. Ale i přes úspěchy v mnoha automobilových soutěžích nebyl tento vůz nikdy sériově vyráběn díky častým poruchám mechanických součástí [2, 3].



Obr. 1.1 Automobil Spyker 4WD [2]

V následujících letech byl pohon všech kol, s výjimkou několika málo závodních speciálů, určen jen pro nákladní automobily. Jedním z hlavních průkopníků v této oblasti se stala americká firma FWD, která již roku 1912 zahájila sériovou výrobu prvních nákladních vozů s náhonem na všechna kola.

1.2 VÁLEČNÝ ROZMACH

Prudký rozvoj technologií nastal na počátku druhé světové války. Na rozdíl od první světové války, která byla převážně válkou zákopovou, se nyní začala uplatňovat nová taktika bleskové války, která vyžadovala rychlé přesuny vojáků a vybavení na dlouhé vzdálenosti a to vše



v krátkém čase. Tomuto účelu měly posloužit zejména automobily. Mimo nových typů nákladních automobilů začala vznikat pro tyto potřeby i první terénní vozidla. Jelikož vozy musely být schopny překovávat obtížnější terén a být dobře ovladatelné, byl pohon všech kol logickou volbou. V této éře vznikla i jedna z nejslavnějších značek terénních vozidel, Jeep [1].

Roku 1940 rozhodlo velení Armády Spojených států amerických o výrobě nového typu armádního terénního vozidla. Vypsání výběrové řízení na tuto zakázku vyhrála americká firma Bantam a zásluhou jejich konstruktérů, zejména Ing. Karla Probst, vznikl Jeep. Společnost ovšem nebyla schopná zajistit výrobu požadovaného množství 650 000 vozů v určeném čase a proto se výroba rozdělila mezi automobilky Ford a Willys-Overland. Ten pak získal i ochrannou známku na název Jeep [1].

1.3 PRVNÍ OSOBNÍ VOZY

Po skončení druhé světové války se začaly vojenské terénní automobily využívat i mimo armádu, a zvláště v prosperujících Spojených státech amerických začala stoupat poptávka po civilních verzích vojenských terénních vozů. Díky této potřebě se roku 1945 zrodil první osobní terénní automobil - Jeep CJ-2A. Tento model spojil výborné jízdní vlastnosti armádní verze Jeepu s komfortem běžného osobního automobilu. Vůz byl velmi oblíbený a značka Jeep se tak stala lídrem mezi výrobci osobních automobilů s pohonem všech kol [1].



Obr. 1.2 CJ-2A a armádní verze [4, 5]

Velký boom v produkci osobních terénních automobilů začal také v poválečném Japonsku. Zde dominovaly zejména automobilky Mitsubishi a Datsun (později Nissan). Terénní automobily těchto značek začaly vznikat již ve 30. letech minulého století. Prvním Mitsubishi s pohonem všech kol se stal roku 1934 model PX33. Následný válečný rozmach technologie pohonu všech kol umožnil vznik mnoha legendárních japonských automobilů, jako byl například Nissan Patrol (1951) [1].

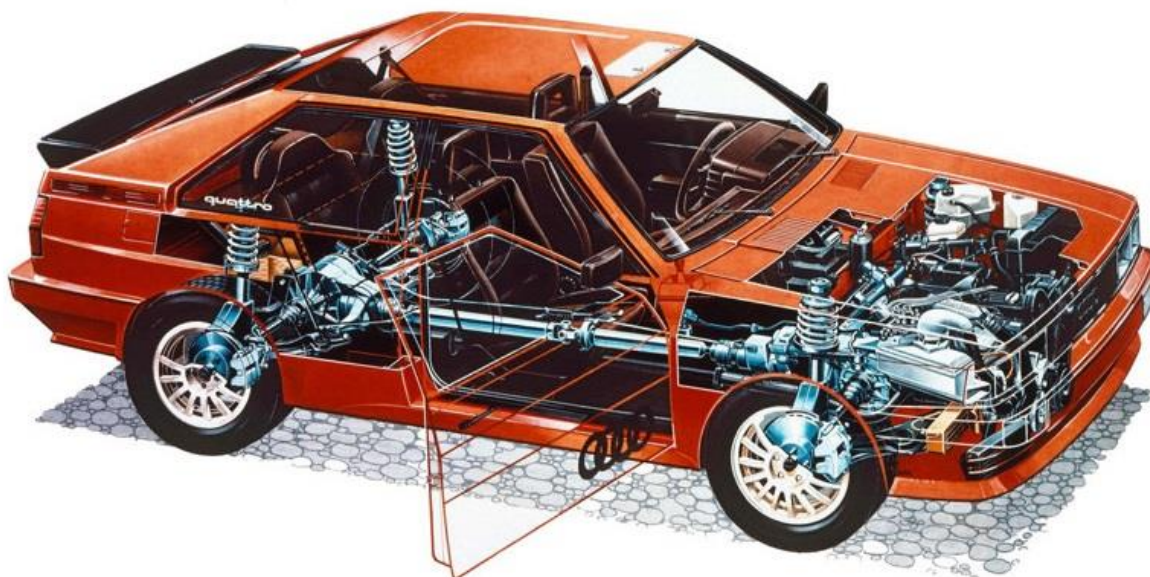
Jako první osobní terénní automobil v Evropě představila roku 1948 automobilka Land Rover svůj stejnojmenný model. První prototypy vozu byly postaveny na bázi Jeepu. Tento model měl v Evropě značný úspěch a již v roce 1956 Land Rover překročil hranici 250 000 vyrobených vozů. Se zvyšujícími se nároky zákazníků se začala rozšiřovat i modelová řada. Další evropské automobilky brzy následovaly příkladu Land Roveru, což umožnilo vznik vozů jako například Mercedes-Benz G (1979) nebo VW Transporter Syncro (1984) [1].



1.4 SILNIČNÍ VOZY

Historie silničních automobilů s pohonem obou náprav se začala psát roku 1972, kdy Subaru představilo model Leone 4WD Station Wagon. Tento vůz měl zapínatelný pohon všech kol. Pozdější varianta kupé již měla trvalý (permanentní) pohon čtyř kol a rallye verze tohoto vozu zaznamenala mnohé sportovní úspěchy. I přesto zůstávaly automobilky skeptické k této koncepci a opravdový rozvoj začal až s nástupem legendárního vozu Audi Quattro roku 1980 [6].

Quattro bylo vybaveno stálým pohonem všech kol s uzávěrkou zadního a mezinápravového diferenciálu. Rallye speciály dosahovaly významných úspěchů až do roku 1987, kdy byla zásadně pozměněna pravidla rallye a vůz tak již nesplňoval kritéria potřebná pro další účast. Roku 1987 byl v silniční verzi vozu nahrazen manuálně spínatelný mezinápravový diferenciál diferenciálem Torsen. Tento systém je u většiny modelů značky Audi používán dodnes [7].



Obr. 1.3 Audi Quattro 1980 [8]

V následujících letech začal prudký vývoj v oblasti pohonu všech kol u silničních automobilů. Některým automobilkám se ovšem permanentní pohon Quattra nezdál příliš vhodný a začaly pracovat na vývoji samočinně připojitelného pohonu. Roku 1992 představila automobilka Alfa Romeo model 164 Q4 s mezinápravovou rozvodovkou využívající viskózní spojku. Šest let nato byla poprvé použita mezinápravová lamelová spojka Haldex v automobilech VW Golf čtvrté generace a v Audi TT. Dnes je již pohon všech kol i u silničních vozů běžnou záležitostí a intenzivně se pracuje na vývoji nových a efektivnějších konstrukčních řešeních tohoto pohonu [1].



2 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ POHONŮ

U běžného osobního automobilu rozeznáváme dva základní typy pohonů. Hnaná může být pouze jedna náprava (tzv. dvojkolka), nebo obě dvě nápravy vozu (tzv. čtyřkolka nebo pohon 4x4). V případě, že je hnaná pouze jedna náprava, dále rozlišujeme pohon přední a zadní nápravy.

Obě konstrukční řešení mají své klady i zápory.

2.1 VÝHODY A NEVÝHODY POHONU VŠECH KOL

Výhody pohonu všech kol:

- lepší trakce
- zlepšení jízdních vlastností
- zlepšení akcelerace u motorů s vyššími výkony

Nevýhody pohonu všech kol:

- vyšší hmotnost vozidla
- vyšší spotřeba paliva
- vyšší pořizovací cena
- dražší servis a údržba
- menší zavazadlový prostor

Výhody pohonu všech kol spočívají ve zvýšení trakce a ovladatelnosti vozu a tím výrazně zvyšují bezpečnost jízdy, díky čemuž značně převyšují jeho nevýhody, které spočívají zejména ve vyšších pořizovacích a provozních nákladech.

2.2 TRAKCE

Hlavní výhoda pohonu všech kol spočívá v rozdělení točivého momentu na všechna čtyři kola.

Při rozjíždění působí na kola automobilu díky nejnižšímu převodovému stupni největší točivý moment. Každá pneumatika je limitovaná tím, kolik točivého momentu dokáže přenést na vozovku. Tato hodnota velmi závisí na koeficientu tření mezi povrchem vozovky a pneumatikou. Při jízdě po zledovatělé silnici bude koeficient tření nízký a pneumatika dokáže efektivně přenést mnohem menší točivý moment než při jízdě po suchém asfaltu s vysokým koeficientem tření. Pokud na kolo přeneseme větší točivý moment, než je pneumatika schopna přenést, dojde k jeho prokluzu [1, 9].

U pohonu jedné nápravy se točivý moment motoru rozděluje pouze mezi dvě kola, zatímco u pohonu všech kol dochází k rozložení momentu mezi čtyři pneumatiky. Kolo vozu s pohonem 4x4 tak přenáší pouze poloviční točivý moment na rozdíl od kola automobilu s pohonem jen jedné nápravy. Síla motoru tak může být využita mnohem efektivněji a k prokluzu dochází až při extrémnějším jízdních podmínkách. Díky tomuto principu je pohon všech kol nenahraditelný při jízdě na ledu, sněhu nebo i kluzké mokré vozovce [1, 9].



Automobil s pohonem všech kol také dokáže překonat až dvakrát větší stoupání než automobil s pohonem jedné nápravy [1].

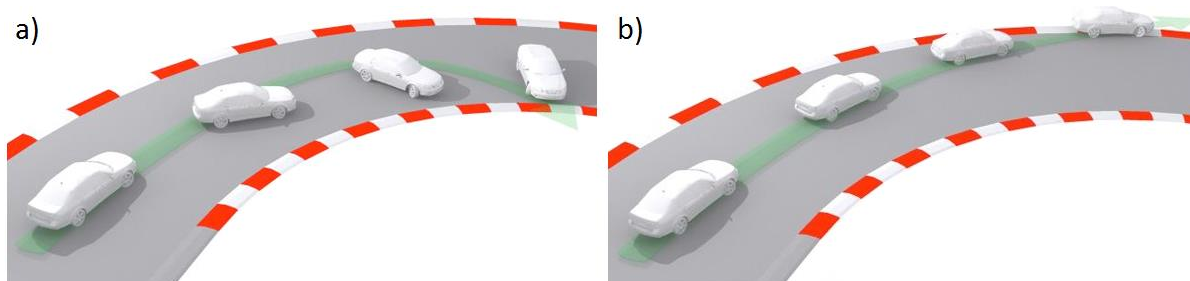
2.3 OVLADATELNOST VOZU

V porovnání s „dvojkolkou“ je ovladatelnost vozu výrazně lepší.

Na vozidlo, a tím i na jednotlivá kola, působí při průjezdu zatáčkou několik sil. Je to svislá složka tíhové síly a boční síly - odstředivá síla a setrvačný moment. Pokud se jedná o hnací či brzdící kolo, působí na něj také takzvané podélné síly - hnací či brzdná síla. Celková výsledná síla (vektorový součet bočních a podélných sil) působící na jednotlivé pneumatiky nesmí překročit určitou hodnotu – adhezní limit. Hodnota souvisí se součinitelem tření mezi vozovkou a pneumatikou. Při jejím překročení dochází ke ztrátě přilnavosti a ke smyku kola v bočním směru. Nejčastěji dochází ke ztrátě přilnavosti při průjezdu zatáčkou s malým poloměrem nebo vysokou rychlostí anebo při špatných adhezních podmínkách na vozovce [1].

V tomto případě se vozidla mohou chovat třemi způsoby. Mohou být přetáčivé, nedotáčivé a neutrální.

Přetáčivé vozidlo opisuje při průjezdu zatáčkou oblouk s menším poloměrem, než má samotná zatáčka. Přetáčivý smyk může skončit otočením automobilu kolem vlastní osy nebo vozidlo může opustit silnici přes vnitřní okraj zatáčky. Nedotáčivé vozidlo, na rozdíl od přetáčivého, opisuje oblouk s větším poloměrem, než je poloměr zatáčky a může dojít k jeho výjezdu přes vnější okraj zatáčky. Neutrální chování vozidla odpovídá ideálnímu průjezdu zatáčky.



Obr. 2.1 Chování vozidla při ztrátě přilnavosti a) přetáčivé vozidlo b) nedotáčivé vozidlo [10]

Automobil s pohonem přední nápravy je citlivý hlavně k nedotáčivosti. Pokud při projíždění zatáčkou dojde k překročení limitní hodnoty výsledné síly, přední kola se začnou smýkat ve směru k vnějšímu okraji vozovky. V extrémních případech se řízení stává neúčinné a jediným východiskem je ubrat plyn.

Vozidlo s pohonem zadních kol se při překročení adhezního limitu výsledné síly většinou stává přetáčivým. Jakmile se zadní hnaná náprava dostane do smyku, dochází k jejímu vybočení a vozidlo se může zcela přetočit. Tomuto stavu se dá zabránit protipohybem volantu, jelikož u předních kol ještě nedošlo ke ztrátě přilnavosti.

V případě pohonu 4x4 je hnací síla rozložena mezi všechny čtyři pneumatiky a podélná síla působící na jedno kolo je tak menší. Kolo díky tomu může přenést vyšší hodnotu boční síly a ke smyku dochází až při vyšších rychlostech nebo větším úhlu natočení kol. Při použití uzávěru diferenciálu se jízdní vlastnosti ještě zlepší, protože se nemůže stát, že limitní hodnotu vý-



sledné síly překročí jen jedno kolo. Vozidla s tímto pohonem se blíží neutrálnímu chování s působením lehké nedotáčivosti [1, 9].

Na rozdíl od vozů s jednou hnanou nápravou je ovšem nevýhodou to, že čtyřkolka se až do překročení adhezního limitu neprojevuje zvýšenou tendencí k přetáčivosti či nedotáčivosti a nedá se tak tento stav účinně předvídat. Nehody těchto vozů jsou o to vážnější, že limitní stav nastává při vyšších rychlostech, které velmi znesnadňují následnou snahu o zvládnutí vozidla. Toto nebezpečí je dnes již u většiny automobilů účinně eliminováno pomocí vhodných konstruktérských řešení [11].

2.4 EKONOMICKÁ STRÁNKA

Hlavním hlediskem, proč byly a stále ještě jsou osobní automobily s hnanou jednou nápravou mnohem rozšířenější než ty s pohonem 4x4, je hledisko ekonomické. Pořizovací cena čtyřkolky je vyšší díky složitější konstrukci pohonného ústrojí, které obsahuje více mechanických částí. To se projevuje i na ceně servisu a náhradních dílů. Zvýšený počet mechanických komponentů způsobuje nárůst hmotnosti vozidla a zmenšení jeho úložného prostoru. Díky záběru obou náprav roste také spotřeba paliva. Proto se ve většině případů u těchto vozů dává přednost naftovému motoru před motorem benzínovým. Naftový motor má při stejném výkonu menší spotřebu paliva a je vhodnější pro pohon těžších vozů [9, 11].



3 ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ PRVKY

Základním konstrukčním prvkem pohonu všech kol je rozvodovka.

3.1 ROZVODOVKA

Rozvodovka je konstrukční součást pohonného ústrojí automobilu, sloužící přeměně a přenosu točivého momentu. Točivým moment motoru vycházející z převodovky je pomocí rozvodovky přenášen na kola nebo nápravy (mezinápravová rozvodovka) vozu a upravován podle potřeby. Základními částmi rozvodovky jsou diferenciál a stálý převod hnací nápravy [12, 13].

3.2 STÁLÝ PŘEVOD

Stálý převod je dvouhřídelový převod s konstantním převodovým poměrem. Jeho funkce spočívá ve snížení hodnoty otáček vstupního hřídele rozvodovky a tím zvětšení točivého momentu vystupujícího na hnací kola nebo nápravy [13].

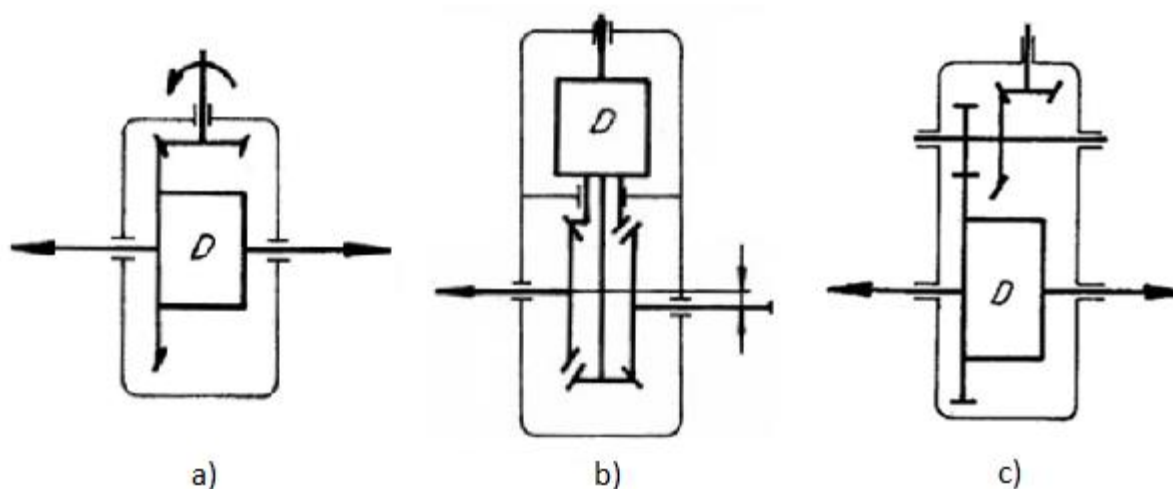
Převod je tvořen soustavou ozubených kol. Podle jejich počtu a uspořádání rozeznáváme tři typy stálých převodů:

- jednoduchý stálý převod
- dvoustranný stálý převod
- dvojnásobný stálý převod

Jednoduchý stálý převod je tvořen jedním párem převodových kol - pastorkem a hlavním kolem, který je společný pro hřídele obou hnacích kol. Pokud je rozvodovka vybavena tímto typem stálého převodu, nachází se diferenciál až za převodem [13, 15].

Dvoustranný stálý převod je složen ze dvou párů ozubených kol, každý pár pohání jednu výstupní hřídel. U tohoto typu převodu se diferenciál v rozvodovce umístí před převod [13, 15].

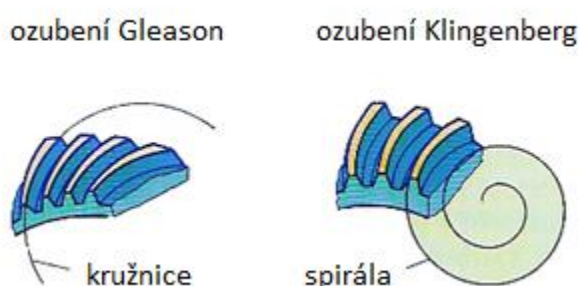
Jak název napovídá, je dvojnásobný stálý převod složen ze dvou převodů uložených za sebou. První převod této soustavy je vždy jednoduchý a druhý může být buď jednoduchý - dvojnásobný sloučený převod, nebo dvoustranný - dvojnásobný dvoustranný převod. Výsledný převodový poměr soustavy získáme vynásobením poměrů jednotlivých převodů [13, 15].



Obr. 3.1 a) jednoduchý stálý převod, b) dvoustranný stálý převod, c) dvojnásobný stálý převod [14]

Stálý převod bývá tvořen ozubenými koly čelními, kuželovými, planetovými anebo šnekovými. V případě kdy jsou osy hnacího a výstupního hřídele rovnoběžné bývá stálý převod realizován pomocí čelních kol. Pokud jsou osy hřídelů vůči sobě natočeny o 90° , jsou volena kuželová kola. Šnekové soukolí se pro stálé převody využívá nejčastěji [13,15].

Zuby kol stálého převodu mohou být přímé, zakřivené nebo hypoidní. Přímé zuby jsou vhodné pro obvodové rychlosti nepřesahující 5 ms^{-1} a otáčky do 1000 min^{-1} . Jsou velmi citlivé na výrobní nepřesnosti. Kola se zakřivenými zuby nejsou tak citlivá na výrobní nepřesnosti jako kola se zuby přímými a mají také větší únosnost a převodový poměr. Podélná křivka zubu je zakřivena do oblouku – ozubení Gleason nebo do spirály – ozubení Klingenberg. Hypoidní soukolí se vyznačuje vyoseným pastorkem vůči ozubenému kolu. Tento typ převodu dokáže přenést vysoké točivé momenty s vysokou přesností a účinností. Chod soukolí je klidný a zabírá menší prostor, protože talířové kolo může mít při stejném namáhání menší průměr než běžná soustava bez vyoseného pastorku. Podélná křivka zubu je stejná jako u kol se zuby zakřivenými [13, 14].



Obr. 3.2 Typy ozubení [15]



Obr. 3.3 Hypoidní soukolí [16]

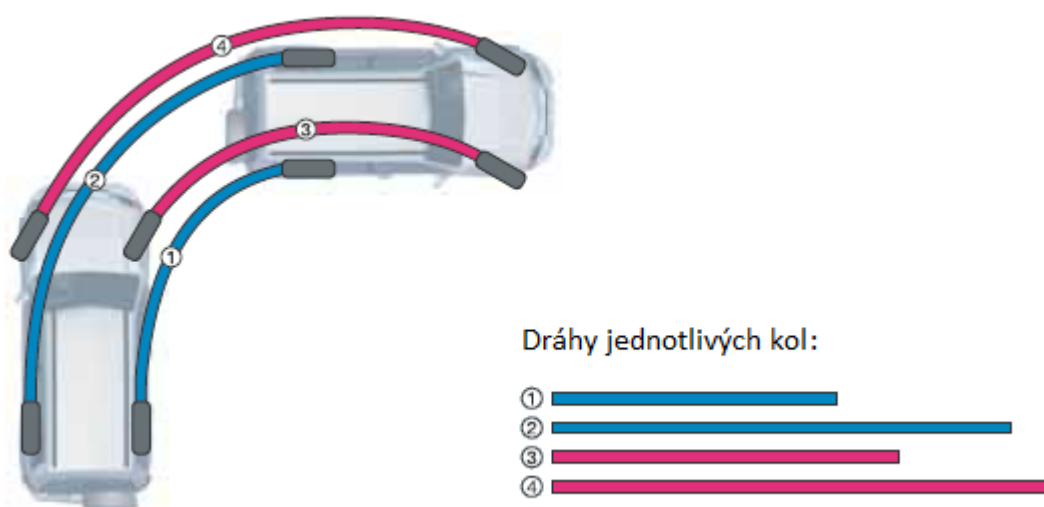
Při provozu převodu musí být zajištěn plynulý chod. Ozubená kola musí být dostatečně tuhá a odolná proti opotřebení, aby se zabránilo přenosu chvění mezi soustavami.



3.3 DIFERENCIÁL

Diferenciál tvoří klíčovou součást každého automobilu. Pracuje na principu planetového převodu.

Při průjezdu zatáčkou opisuje vnější kolo automobilu delší dráhu než kolo vnitřní a otáčí se vyšší úhlovou rychlostí. U nehnané nápravy to nepředstavuje problém, protože obě kola se otáčejí nezávisle na sobě. Ovšem kdyby hnací náprava nebyla vybavena diferenciálem, otáčela by se obě kola stejnou rychlostí a při průjezdu zatáčkou by docházelo k prokluzu jednoho z nich, což by zhoršovalo jízdní vlastnosti a zvyšovalo spotřebu paliva. Docházelo by také k nadměrnému zatěžování součástí převodového ústrojí. U prvních automobilů, které ještě nebyly vybaveny diferenciálem, byl tento problém řešen tak, že bylo hnané pouze jedno kolo.



Obr. 3.4 Dráhy jednotlivých kol při průjezdu zatáčkou [17]

Hlavní funkcí diferenciálu je rozdělení točivého momentu vstupního hřídele mezi dva hřídele výstupní a to buď rovnoměrně, nebo v určitém poměru. Současně umožňuje, aby se kola nápravy pohybovala různou úhlovou rychlostí a měla rozdílný počet otáček, při čemž platí, že počet otáček vstupního hřídele je aritmetickým průměrem počtu otáček výstupních hřídelů diferenciálu [18].

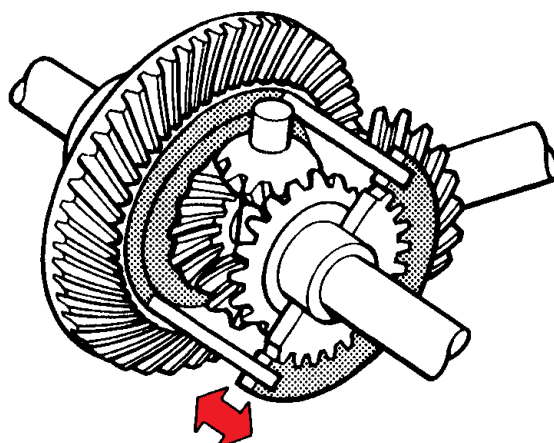
U vozů s pohonem dvou kol je nutný pouze jeden nápravový diferenciál, který rozděluje moment mezi dvě hnací kola a tím upravuje jejich úhlové rychlosti. Automobily s pohonem všech kol jsou vybaveny dvěma nápravovými diferenciály na obou nápravách a navíc i mezinápravovým diferenciálem. Mezinápravový diferenciál, jak již název napovídá, rozděluje točivý moment motoru v určitém poměru mezi přední a zadní nápravou. Diferenciál je nutný, protože při průjezdu zatáčkou opisují středy obou náprav dráhy s rozdílnou délkou a tudíž se musí každá náprava otáčet jinou úhlovou rychlostí. Kdyby byly obě nápravy pevně spojeny, docházelo by k prokluzu jedné nápravy, což by zhoršovalo jízdní vlastnosti a snižovalo životnost jednotlivých částí pohonu. Dnes bývají mezinápravové diferenciály často nahrazovány viskózními nebo lamelovými spojkami [1].

Hlavní nevýhodou běžného diferenciálu je skutečnost, že pokud je jedno kolo nápravy v kontaktu s povrchem, který má nízký součinitel tření (např. led) a druhé naopak stojí na



podkladu s vysokým součinitelem tření (např. asfalt), může dojít k situaci, že při rozjezdu se kolo stojící na ledě se začne protáčet a kolo na asfaltu zůstane stát. Otáčky prokluzujícího kola budou dvojnásobné vůči těm, které by kolo mělo při přímé jízdě. Využitelná hnací síla se díky špatným adhezním podmínkám prokluzujícího kola sníží, tím se sníží i moment působící na toto kolo a z principu funkce diferenciálu bude stejný moment působit i na kolo stojící na podložce s vysokým součinitelem tření. Tím se sníží celková využitelná hnací síla automobilu a schopnost rozjezdu se výrazně zhorší. Diferenciály, které za všech okolností přivádí na oba výstupní hřídele stejný točivý moment, se označují jako otevřené [18].

Tuto hlavní nevýhodu řeší závěr diferenciálu. Jeho úkolem je vyřadit diferenciál z činnosti. Tím se zamezí rozdělování přicházejícího točivého momentu na obě kola v pevně daném poměru 50:50 %. Závěr blokuje planetová kola diferenciálu tak, že se nemohou otáčet vůči kleci a diferenciál se musí otáčet jako celek. Dojde k pevnému propojení výstupních hřídelů a obě kola se tak začnou otáčet stejnou rychlostí. K blokaci se využívá např. přesuvná objímka nebo zubová spojka. Závěr je možno použít pouze při rozjezdu nebo při jízdě v náročnějším terénu. Může být ovládán manuálně z místa řidiče, nebo jak je dnes běžné, se spíná automaticky. Po překonání krizové situace musí být manuální závěr vypnut, jinak bude vozidlo čelit stejným problémům, jako kdyby vůbec nebylo diferenciálem vybaveno [1, 17].



Obr. 3.5 Závěr diferenciálu – zubová spojka [19]

Konstrukce diferenciálu vychází z planetového převodu. Všechny typy diferenciálů obsahují ozubená kola, která rotují kolem své vlastní osy a současně kolem centrální osy diferenciálu. Ozubená kola soukolí mohou být čelní, kuželová nebo šneková.

Při konstrukci automobilů se nejčastěji využívají tři typy diferenciálů:

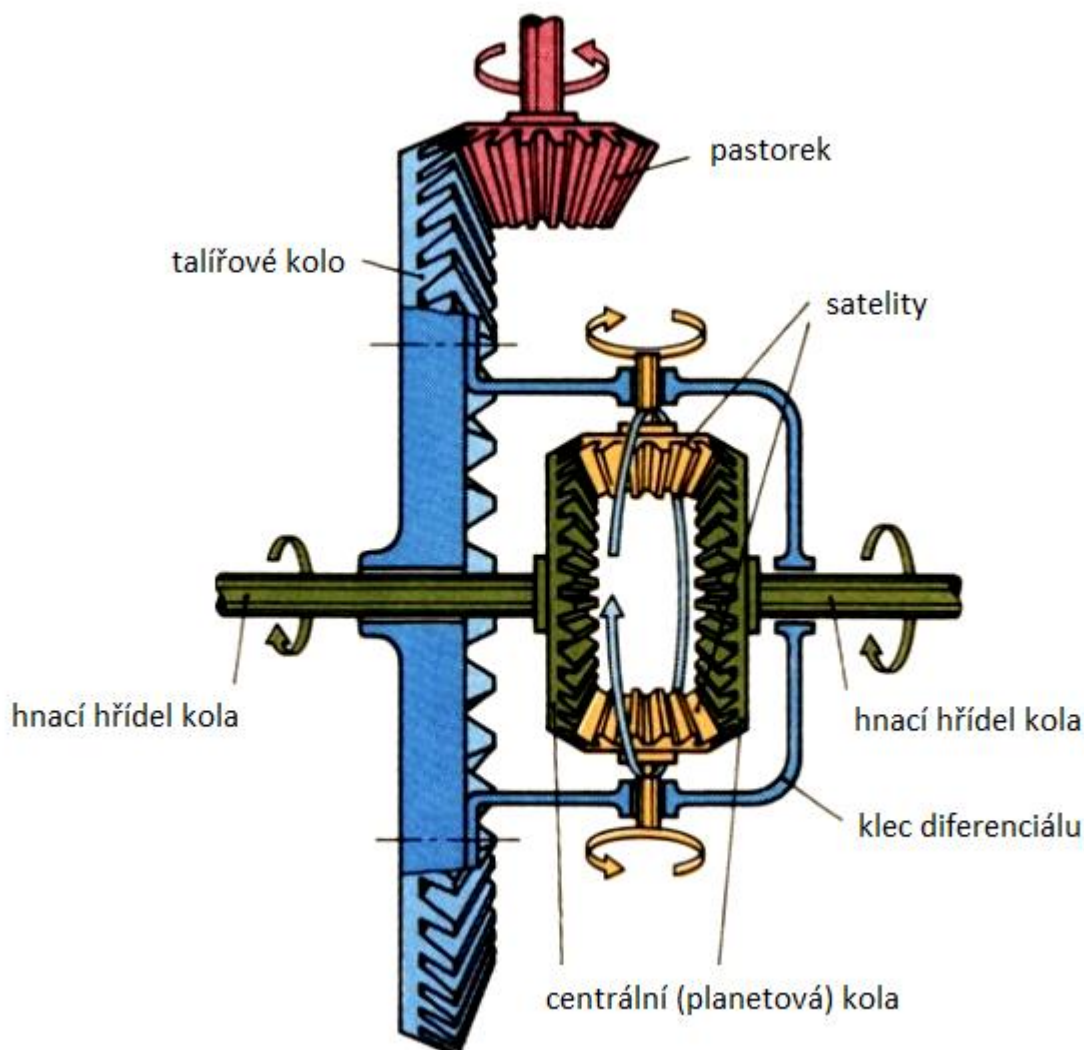
- kuželový diferenciál
- čelní diferenciál
- samosvorný diferenciál

3.3.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL

Mechanismus kuželového diferenciálu je tvořen talířovým kolem, které je součástí stálého převodu a je pevně spojeno s klecí diferenciálu. Ke kleci jsou připojeny čepy satelitů. Satelity - kuželová ozubená kola, jsou otočně uloženy na čepu. Běžně se kuželové diferenciály pro



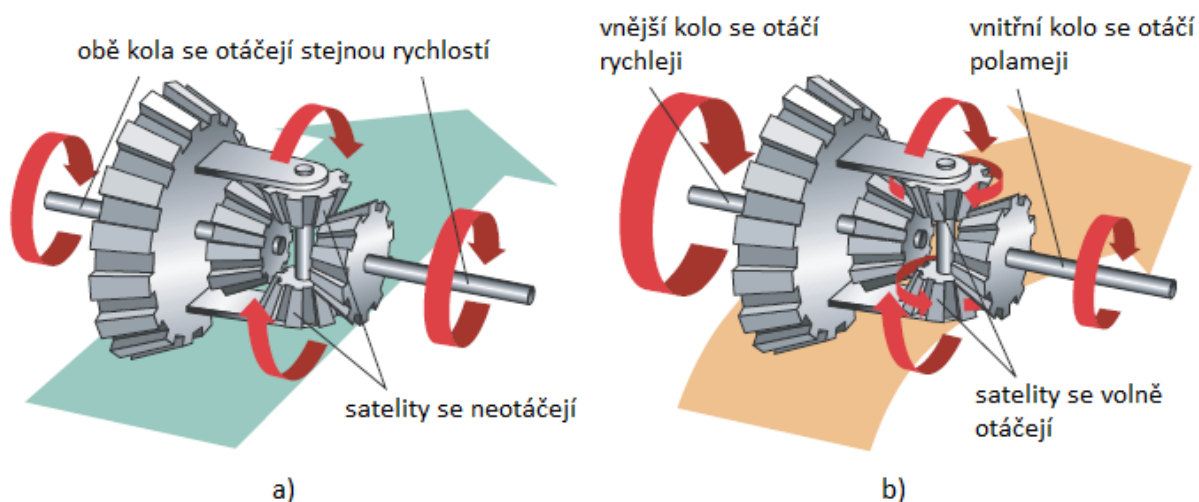
osobní automobily osazují dvěma satelity. Ty jsou ve stálém záběru s centrálními koly. Centrální kola jsou spojena s hnacími hřídeli obou kol [13, 15].



Obr. 3.6 Schéma kuželového diferenciálu s jednoduchým kuželovým stálým převodem [20]

Pokud automobil jede přímo a jeho kola spočívají na povrchu se stejným součinitelem tření, budou se kola a s nimi i jejich hnací hřídele otáčet stejnou rychlostí. Obě centrální kola tak budou mít stejný počet otáček. V tomto případě budou satelity vůči talířovému kolu v klidu [13, 15].

Při průjezdu zatáčkou začne vnitřní kolo zpomalovat. Tím se sníží i otáčky jeho hnacího hřídele a centrálního kola připojeného k tomuto hřídeli. Obíhající satelity se začnou po tomto centrálním kole odvalovat v důsledku jeho zpomalení a začnou se otáčet. Tím urychlí druhé centrální kolo, což způsobí zvýšení rychlosti kola jedoucího po vnějším oblouku zatáčky. Obě centrální kola mají stejný počet zubů, takže musí platit, že o kolik se sníží počet otáček vnitřního kola, o tolik se zvýší počet otáček kola vnějšího [13, 15].

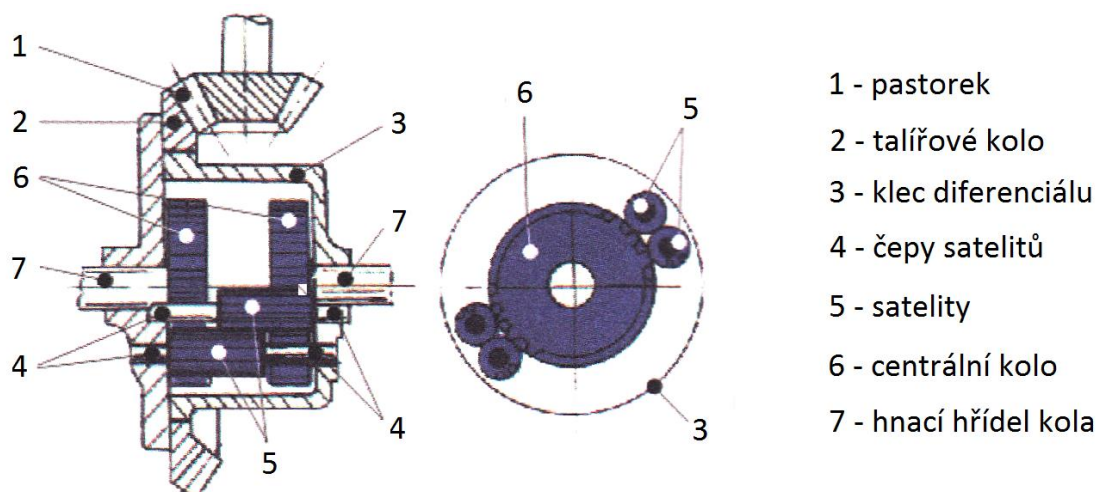


Obr. 3.7 Princip funkce diferenciálu: a) přímá jízda, b) zatáčení [17]

3.3.2 ČELNÍ DIFERENCIÁL

Čelní diferenciál se z důvodu jeho velké mechanické účinnosti nevyžívá v automobilech tak často jako kuželový. Ta umožňuje snadné protáčení kol a tento typ diferenciálu se tedy neobejde bez závěru. Čelní diferenciál funguje stejně jako diferenciál kuželový. V porovnání s ním má nižší zástavbu, ale je delší. Nejčastěji se u tohoto typu diferenciálu využívají soukolí s přímými zuby, ale výjimkou nejsou ani zuby šikmé či šnekový převod [13, 15].

Stejně jako v případě kuželového diferenciálu pohání soukolí stálého převodu i klec diferenciálu čelního. Ke kleci jsou pevně připojeny čepy satelitů – čelních ozubených kol. V běžně využívaných diferenciálech bývají satelity čtyři. Satelity vždy tvoří vzájemně zabírající dvojici a přitom každý z této dvojice zabírá pouze do ozubení jednoho centrálního kola. Centrální ozubená kola jsou spojena s hnacími hřídeli obou kol [13, 15].



Obr. 3.8 Čelní diferenciál s přímými zuby [13]

Výše popsaný diferenciál je nejběžněji užívaným typem čelního diferenciálu. Další méně běžné konstrukce mohou využívat i větší počet satelitů umístěných ve více řadách.

3.3.3 SAMOSVORNÝ DIFERENCIÁL

V diferenciálu dochází vlivem kontaktu ozubených kol ke tření a vývinu tepla, což má za následek zhoršení jeho účinnosti. Díky těmto ztrátám je hodnota výstupního točivého momentu menší než hodnota momentu vstupního. Tohoto jevu se ovšem s výhodou využívá. Nižší účinnost diferenciálu z části zabraňuje protočení kola, které má snahu prokluzovat. Proto se účinnost uměle snižuje. Diferenciály s uměle sníženou účinností se nazývají svorné a využívají se místo uzávěrek, které díky nutnosti zapínání a vypínání komplikují ovládání automobilu. Při jízdě po povrchu s dobrou přilnavostí se samosvorný diferenciál chová stejně jako běžný diferenciál. V případě, že jedno kolo automobilu značně prokluzovat, vznikne u samosvorného diferenciálu zvýšené tření. Tření umožňuje jen určitý rozdíl mezi otáčkami levého a pravého hnacího kola a zabraňuje volnému protáčení kol vůči sobě. Točivý moment tak již není rozdělován v poměru 50:50 %, ale jeho větší část je přiváděna na neprokluzující kolo. Ovšem při extrémních jízdních podmínkách nemusí samosvorný diferenciál prokluzu zabránit a je nutno použít závěr diferenciálu. Samosvorným diferenciálem či diferenciálem s uzávěrkou jsou vybaveny jak nápravové, tak mezinápravové rozvodovky [13, 15].

Nejčastěji využívané typy:

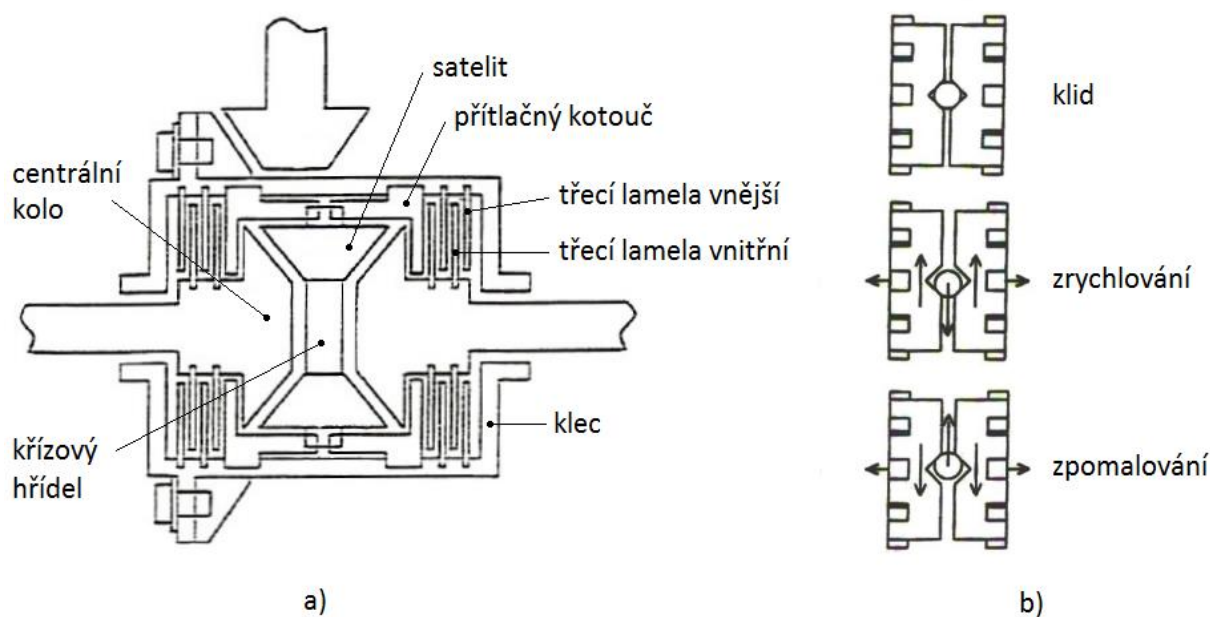
- samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou
- šnekový samosvorný diferenciál
- samočinný samosvorný diferenciál ASD

3.3.3.1 SAMOSVORNÝ DIFERENCIÁL S TŘECÍ LAMELOVOU SPOJKOU

Konstrukce tohoto diferenciálu vychází z klasického kuželového diferenciálu. Navíc obsahuje dva přítlačné kotouče a dvě třecí spojky (obr. 3.9). Tyto spojky jsou složeny ze soustavy vnitřních a vnějších třecích lamel uložených mezi vnější čelní plochou přítlačného kotouče a čelní plochou klece diferenciálu. Přítlačné kotouče jsou upevněny ke kleci diferenciálu tak, že se s ním otáčejí a zároveň se mohou axiálně posouvat. Křížový hřídel, na kterém jsou uchyce-

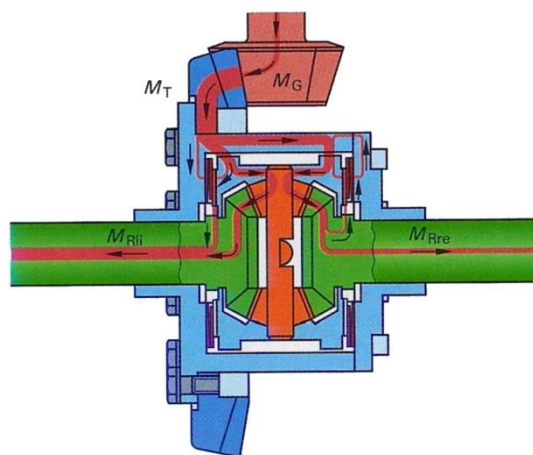


ny satelity, je uložen v drážkách přitlačných kotoučů. Tyto drážky mají trojúhelníkový tvar a koncová část křížového hřídele tak spočívá ve čtvercové mezeře. Když začne na soustavu působit točivý moment, jsou přitlačné kotouče vlivem pohybu křížového hřídele tlačeny od sebe (obr. 4.10 b)). Vyvíjí tak tlak působící na lamely, které začnou vzájemně stlačovat. Lamely jsou pevně připojeny střídavě ke kleci (vnitřní lamely) a k centrálním kolům (vnější lamely). Čím je moment přicházející do diferenciálu větší, tím pevněji jsou lamely přitisknuty [12, 15].



Obr. 3.9 schéma a) SDs třecí lamelovou spojkou, b) mechanismu, vytvářejícího tlak na lamely [21]

Při jízdě po povrchu se stejnou přilnavostí je větší část točivého momentu přenášena na centrální kola přes satelity a menší část momentu je přenášena přes lamelové spojky. Pokud při jízdě po nehomogenním povrchu dojde k prokluzu kola, vytváří se mezi rychlejšími vnitřními lamelami a vnějšími lamelami třecí moment, jehož velikost závisí na rozdílu otáček lamel. Tento moment je veden přes klec diferenciálu a lamelovou spojkou na neprokluzující kolo, kde přispívá navíc k hnacímu momentu neprokluzujícího kola [13, 15].



Obr. 3.10 Rozdělení točivého momentu při prokluzu pravého kola [22]



Samosvorný účinek tohoto diferenciálu bývá kolem 35 %. To znamená, že maximálně 17,5 % (35/2) hnacího točivého momentu je přiváděno z prokluzujícího na neprokluzující kolo. Ve výsledku je na neprokluzující kolo přivedeno 67,5 % celkového hnacího točivého momentu a na prokluzující kolo jen 32,5 % [13].

3.3.3.2 ŠNEKOVÝ SAMOSVORNÝ DIFERENCIÁL

Šnekový diferenciál je tvořen šnekovým soukolím, které se vyznačuje malou účinností, ale dokáže přenášet vysoké výkony a dosahuje mnohem větších převodových poměrů v porovnání s čelním ozubením. Při záběru šnekového soukolí dochází k prokluzu mezi šnekem a šnekovým kolem, díky čemuž dochází ke vzniku tření, které snižuje celkovou účinnost soukolí. Nejčastěji se při konstrukci diferenciálů využívá soukolí s globoidním šnekem, které dosahuje nejmenších ztrát. Nevýhodou šnekových diferenciálů jsou vyšší výrobní náklady ozubeného převodu a jeho kratší životnost způsobená vznikajícím třením. Nejběžněji využívanými samosvornými šnekovými diferenciály jsou diferenciály Torsen [1].

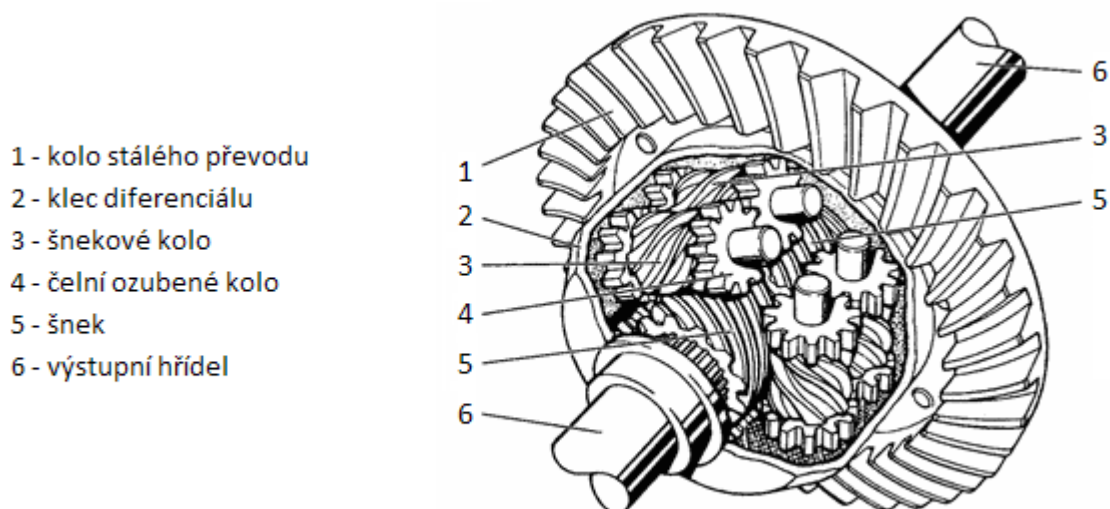
TORSEN

Název tohoto diferenciálu vznik spojením anglických slov Torque Sensing, které charakterizují jeho hlavní vlastnost, že velikost třecího momentu závisí na velikosti momentu vstupujícího. V současné době existuje již třetí verze tohoto diferenciálu označovaná jako typ C nebo typ 3. Ale i vývojově starší typy A (1) a B (2) se stále hojně využívají u dnešních moderních automobilů [1, 23].

TYP A

Základním konstrukčním prvkem nejstarší verze diferenciálu Torsen je šestice šnekových kol. Čepy těchto kol jsou upevněny na kleci diferenciálu, která je poháněna pomocí stálého převodu. Ke každému šnekovému kolu jsou ze stran připevněna dvě čelní ozubená kola s přímými zuby. Šneková kola se párují do dvojic a pomocí čelních ozubených kol spolu zabírají. Po obvodu diferenciálu jsou symetricky rozmístěny tři páry těchto šnekových kol, které zvyšují únosnost diferenciálu. Konce obou výstupních hřídelů jsou osazeny šneky. Tyto šneky zabírají se šnekovými koly tak, že vždy jedno šnekové kolo z každé dvojice je v záběru se šnekem jedné výstupní hřídele [1, 24, 25].

Při běžné přímé jízdě se oba výstupní hřídele a jejich šneky otáčejí stejnými otáčkami a párová šneková kola se vůči sobě neotáčí. Při prokluzu nebo zatáčení se otáčky hřídelů přestanou shodovat a čelní ozubená kola šnekových kol se po sobě začnou odvalovat, což způsobí, že se začnou odvalovat i šneková kola po šnecích výstupních hřídelů. Při odvalování dochází k prokluzu ve šnekovém soukolí a část točivého momentu se mění na tření. Tření také vzniká mezi klecí diferenciálu a čely jednotlivých šneků. Svornost tohoto diferenciálu závisí na tvaru ozubení a může být v rozmezí 20 až 60 % [1, 25].

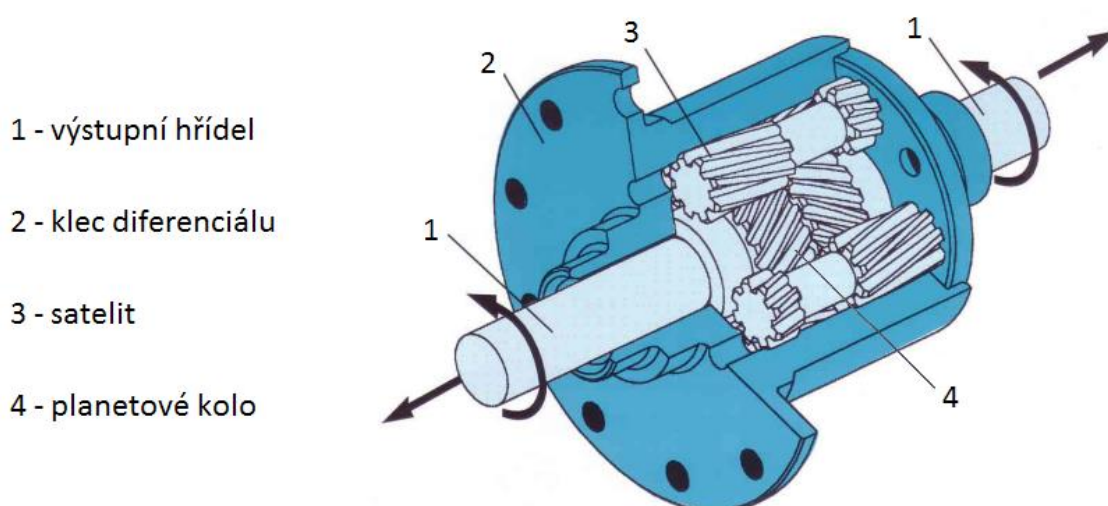


Obr. 3.11 Diferenciál Torsen typ A [26]

TYP B

Hlavní změnou u tohoto typu šnekového diferenciálu je na rozdíl od předchozí generace nahrazení šnekového soukolí soukolím čelním. Čelní soukolí využívá speciální šikmé ozubení Equvex. Poháněná klec diferenciálu má speciální tvar, do něhož zapadají satelity. Satelity jsou párovány po obvodu klece a volně leží ve výřezích klece. Oba satelity z dvojice navzájem zabírají mezi sebou a každý z nich zabírá i s jedním planetovým kolem, které je spojeno s výstupním hřídelem [1, 27].

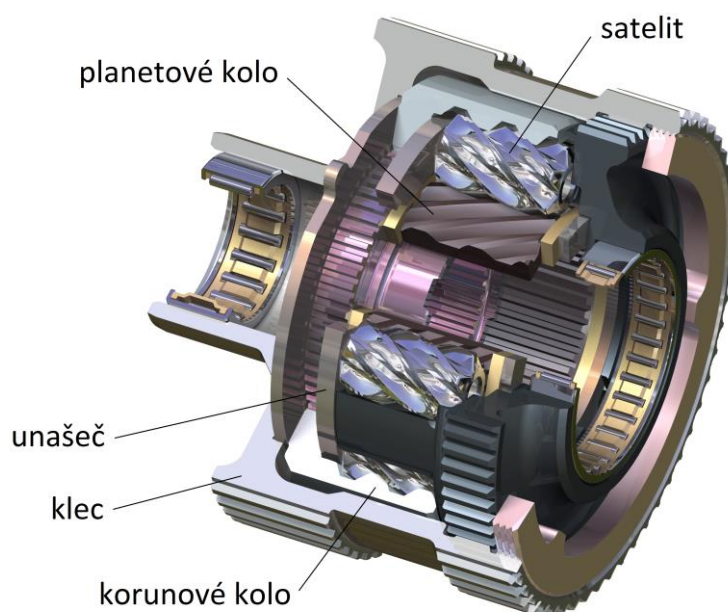
Díky šikmému tvaru ozubení vznikají v diferenciálu síly, které přitlačují jednotlivé pohyblivé součásti k sobě a způsobují vznik tření. Jeho hlavním zdrojem je kontakt planetových kol a satelitů s klecí diferenciálu. Svornost diferenciálu lze také upravovat využitím třecích kroužků a pohybuje v rozmezí od 16 do 50 % [1].



Obr. 3.12 Diferenciál Torsen typ B [28]

TYP C

Vývojově nejmladší typ diferenciálu Torsen vychází z klasického planetového diferenciálu tvořeného planetovým kolem, satelity, korunovým kolem a unášečem. Převod využívá kol se šikmými zuby. Satelity jsou ve výřezích unášeče uloženy volně, a nikoliv na čepech, jak tomu bývá u běžného planetového převodu. Díky této konstrukci vzniká mezi unášečem a satelity tření, které zajišťuje samosvorný účinek diferenciálu. Další tření vzniká mezi satelity a čelem klece diferenciálu díky působení axiální síly, vyvolané záběrem šikmého ozubení. Velikost tření v diferenciálu a tím i jeho svorný účinek lze upravovat pomocí vhodné konstrukce planetového soukolí nebo využitím třecích kroužků umístěných na čele klece [29].



Obr. 3.13 Řez diferenciálem Torsen typ C [30]

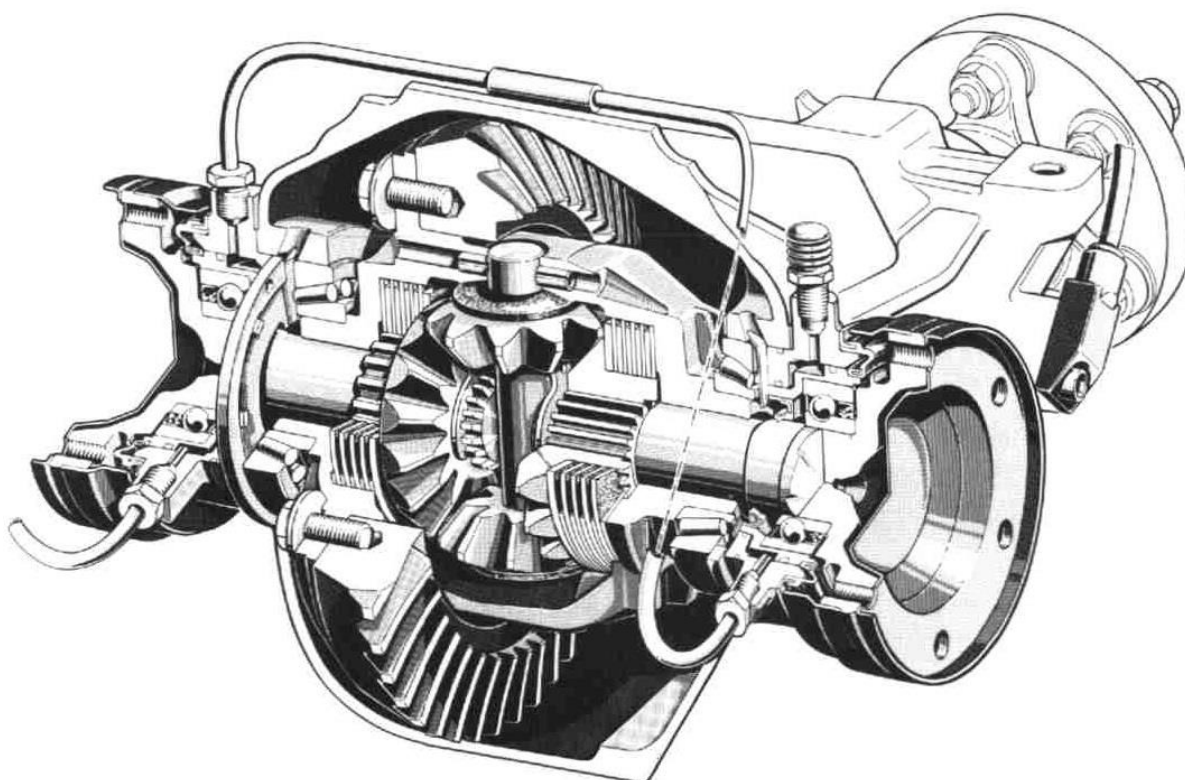


3.3.3.3 SAMOČINNÝ SAMOSVORNÝ DIFERENCIÁL ASD

Diferenciál označený zkratkou ASD (Automatisches Sperrdifferential) vznikl inovací samosvorného diferenciálu s třecí lamelovou spojkou. Byl vyvinut automobilkou Mercedes-Benz pro systém pohonu všech kol 4MATIC. Inovace spočívala v zavedení elektrického systému, který automaticky upravuje hodnotu svorného účinku diferenciálu a také umožňuje, aby byl původní svorný účinek diferenciálu s třecí lamelovou spojkou, pohybující se okolo 35 %, zvýšen až na hodnotu 100 %. Pokud je dosaženo 100% hodnoty, chová se diferenciál jako uzamknutý. Tento diferenciál tak nemusí být vybaven závěrem. Elektronický systém je aktivní jen do rychlosti 35 km/h, poté se deaktivuje [1, 13, 15].

Konstrukce diferenciálu je tedy stejná jako u samosvorného diferenciálu s třecí lamelovou spojkou, jen s tím rozdílem, že k výstupním hřídelům je připojen hydraulický píst, který v nich pomocí tlaku vyvolává přídatnou axiální sílu. Tato síla směřuje ven z diferenciálu a prostřednictvím hřídelů působí na lamely spojky, které se na sebe přitlačí, čímž zvyšuje svornost celé soustavy až na hodnotu 100 % [1, 13, 15].

Písty jsou ovládány řídicím systémem, který vyhodnocuje jízdní situaci pomocí elektronických senzorů na vozidle. Tlak v hydraulickém systému udržuje čerpadlo, které je poháněno přímo spalovacím motorem. Hydraulická soustava je také vybavena zásobníkem tlakového oleje, díky čemuž dokáže rychle reagovat na změnu jízdních vlastností a spoří energii, protože čerpadlo pracuje jen v okamžiku, kdy tlak v zásobníku klesne pod určitou hodnotu [1, 13, 15].



Obr. 3.14 Řez samočinným samosvorným diferenciálem ASD [31]



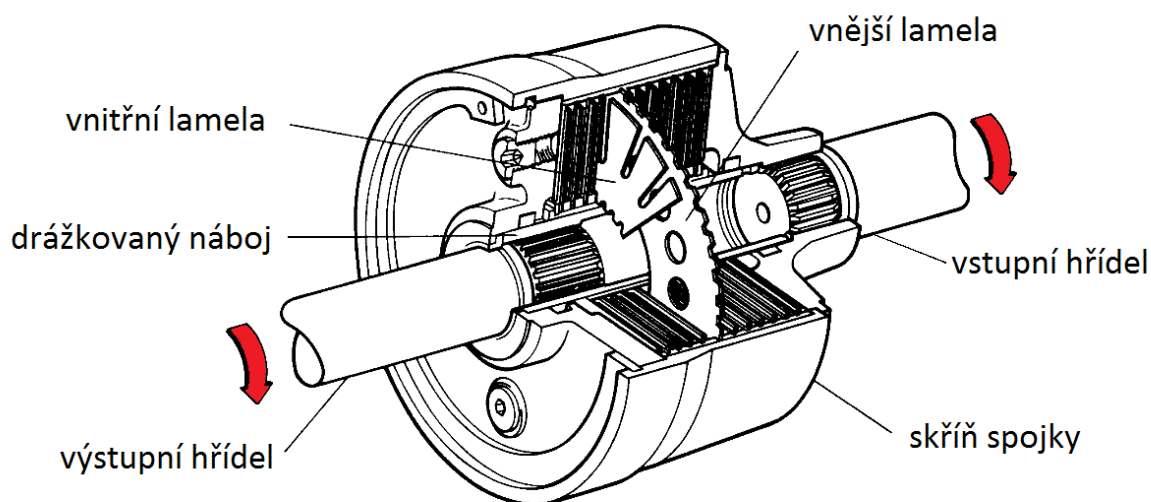
3.4 LAMELOVÉ SPOJKY

Lamelové spojky se často využívají u moderních konstrukčních řešení pohonu všech kol. Tyto spojky zvyšují svornost diferenciálů (samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou) nebo mnohdy mezinápravové diferenciály zcela nahrazují.

Lamelové spojky se dělí na aktivní a pasivní. Aktivní mezinápravové lamelové spojky jsou řízeny elektronickou řídicí jednotkou, která na základě informací ze snímačů rozhoduje o okamžitém rozdělení točivého momentu mezi nápravy. Hojně využívaným zástupcem této skupiny je spojka Haldex. Pasivní spojky nejsou ovládány elektronicky. O poměru, v jakém bude rozdělen točivý moment, rozhodují fyzikální vlastnosti spojky, které se mění v závislosti na úhlových rychlostech přední a zadní nápravy. Nejčastěji užívanou pasivní spojkou je spojka viskózní [1].

3.4.1 VISKÓZNÍ SPOJKA

Viskózní lamelová spojka je složena z vnitřních a vnějších lamel. Lamely jsou střídavě uloženy ve skříní spojky. Vnější lamely jsou pevně spojeny se skříní, zatímco vnitřní lamely jsou prostřednictvím drážkovaného náboje připevněny k výstupnímu hřídeli. Jedna skupina lamel bývá vždy uložena posuvně v axiálním směru. Mezery mezi lamelami jsou vyplněny silikonovým olejem o vysoké viskozitě. Aby byl olej rovnoměrně rozmístěn v celém objemu spojky, jsou lamely děrovány [1].



Obr. 3.15 Řez viskózní spojkou [32]

Při běžné jízdě se obě nápravy a s nimi i vnitřní a vnější lamely spojky otáčejí stejnou úhlovou rychlostí. V tomto případě se lamely vůči sobě nepohybují. Otáčení lamel způsobuje pohyb oleje, ve kterém vzniká zásluhou jeho vysoké viskozity, vnitřní tření. Tření umožňuje přenos malé hodnoty točivého momentu i v případě, že se otáčky vstupního a výstupního hřídele neliší [1].

Při prokluzu jedné nápravy nebo při průjezdu zatáčkou vzniká rozdíl mezi otáčkami přední a zadní nápravy. Hřídele, a s nimi i vnitřní a vnější lamely, se vůči sobě začnou otáčet jinou úhlovou rychlostí a olej se začne zahřívat. Vlivem vznikajícího tepla se olej rozpíná a přitla-



čuje jednotlivé lamely k sobě. Když se lamely dotknou, vzniká mezi nimi tření, jehož hodnota je mnohonásobně vyšší než hodnota vnitřního tření oleje a spojka tak dokáže přenést mnohem větší hodnotu točivého momentu („Hupm“ efekt). Se vzrůstající teplotou oleje ovšem klesá viskozita a může se stát, že při nižších teplotách a tlacích, kdy se lamely ještě navzájem nedotýkají, dojde k poklesu hodnoty tření ve spojce. Protože je hodnota momentu, který může spojka přenést, přímo úměrná tomuto tření, dochází v tomto případě k poklesu hodnoty přeneseného momentu. Základní charakteristika spojky, což je hodnota přeneseného momentu, tedy velmi závisí na volbě oleje a jeho množství [1].

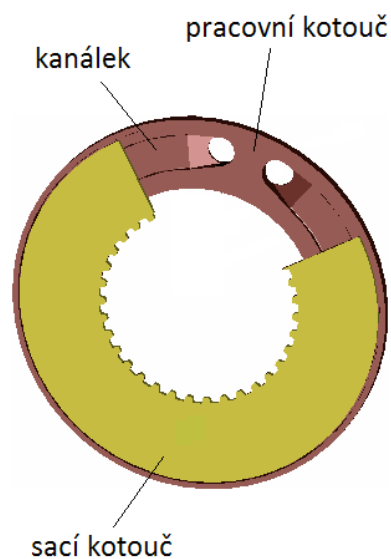
3.4.2 VISCO-LOK

Spojka Visco-Lok je často využívána mnoha automobilkami zvláště u diferenciálů zadních náprav. Byla představena v devadesátých letech minulého století a její hlavní výhodou je její jednoduchost díky absenci elektronické řídicí jednotky. Řadí se tedy mezi spojky pasivní. I přes svůj název tato spojka nepracuje na stejném principu jako spojka viskózní. Jedná se o vícelamelovou spojku, u které se hodnota přeneseného momentu reguluje prostřednictvím střížného viskózního čerpadla [1, 33].

Základní částí čerpadla jsou dva ploché rotující kotouče - jeden sací a druhý pracovní (obr. 4.17). Zatímco sací kotouč je zcela hladký, pracovní kotouč je vybaven kanálkem. Kanálek propojuje pracovní píst, působící na lamely spojky, s kompenzačním pístem zásobníku. Každý z kotoučů je připojen k jednomu hřídeli. Pokud vznikne rozdíl mezi otáčkami hřídelů, začnou se kotouče vůči sobě pohybovat. To způsobí pohyb vysoce viskózního oleje uvnitř kanálku čerpadla. Olej tak proudí ze zásobníku skrz kompenzační píst a kanálek až k pracovnímu pístu. Ten vyvolá tlak na lamely spojky a zvyšuje tak samosvorný účinek spojky. Spojku je dodatečně možno osadit řídicí jednotkou, která bude regulovat tlak vyvíjený na píst pro přesné rozdělování točivého momentu [1, 33].



Obr. 3.16 Řez diferenciálem se spojkou Visco-Lok [34]



Obr. 3.17 Kotouče čerpadla [33]



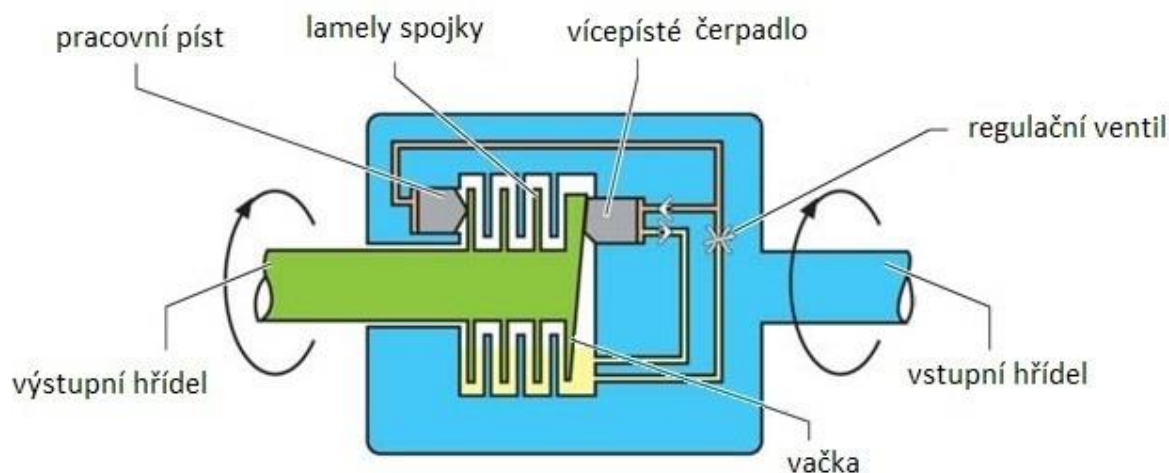
3.4.3 HALDEX

Název Haldex označuje nejběžněji užívaný typ aktivní lamelové spojky. První automobil využívající tuto spojku se představil roku 1986. Jednalo se o model Golf německého automobilového koncernu Volkswagen. Patent na tuto konstrukci vlastní švédská firma Haldex AB, která je současně jediným výrobcem této spojky. Dnešní automobily jsou osazovány již její pátou generací [1].

I. GENERACE

Základní konstrukce této lamelové spojky je stejná jako konstrukce spojky viskózní. Spojka je tvořena střídavě vnitřními a vnějšími lamelami. Vnitřní lamely jsou připevněny k výstupnímu hřídeli a vnější lamely ke skříní spojky, která je pevně spojena se vstupním hřídelem. Vstupní hřídel je opatřen přírubou, ve které jsou uloženy valivé elementy. Tyto elementy doléhají na vačku, kterou je zakončen výstupní hřídel. Ve skříní spojky je uloženo vícepísté čerpadlo, jehož písty přiléhají k valivým elementům příruby [1].

Při stejných otáčkách obou náprav se vůči sobě vstupní a výstupní hřídele neotáčejí a spojka nepřenáší žádný točivý moment. Při prokluzu jedné nápravy nebo při projíždění zatáčkou se hřídele začnou otáčet různými otáčkami a valivé elementy se začnou odvalovat po vačce výstupního hřídele. Díky tvaru vačky začnou valivé elementy konat kmitavý pohyb a tím pohánět písty čerpadla. Čerpadlo čerpá olej ze zásobníku - skříně spojky, směrem k pracovnímu pístu, který začne silou působit na lamely spojky. Při dotyku vzniká mezi lamelami tření, což umožní přenos točivého momentu na výstupní hřídel. Čím bude rozdíl v otáčkách obou náprav větší, tím více oleje bude čerpadlo čerpat a síla přitlačující lamely k sobě bude narůstat. To vyvolá vyšší tření a spojka tak dokáže přenést větší točivý moment na výstupní hřídel [1].



Obr. 3.18 Schéma spojky Haldex I.-III. generace [35]

Jelikož se tato spojka využívá z pravidla u automobilů s přiřaditelným pohonem všech kol, je potřeba, aby odezva systému na změnu rozdílu otáček hřídelů byla co nejrychlejší. Proto je nutné zajistit, aby byly valivé elementy ve stálém kontaktu s písty. Z tohoto důvodu je spojka vybavena elektrickým čerpadlem, které pomocí malého tlaku neustále přitlačuje valivá tělíska k pístům. Spojka je také vybavena tlakovým regulačním ventilem. Ventil reguluje tlak oleje působící na pracovní píst a tím i sílu, která přitlačí lamely k sobě, což způsobí změnu tření ve



spojuje a tím pádem i změnu hodnoty točivého momentu, přicházejícího na výstupní hřídel. Tento ventil ovládá pomocí krokového motoru elektronická řídicí jednotka [1].

II. GENERACE

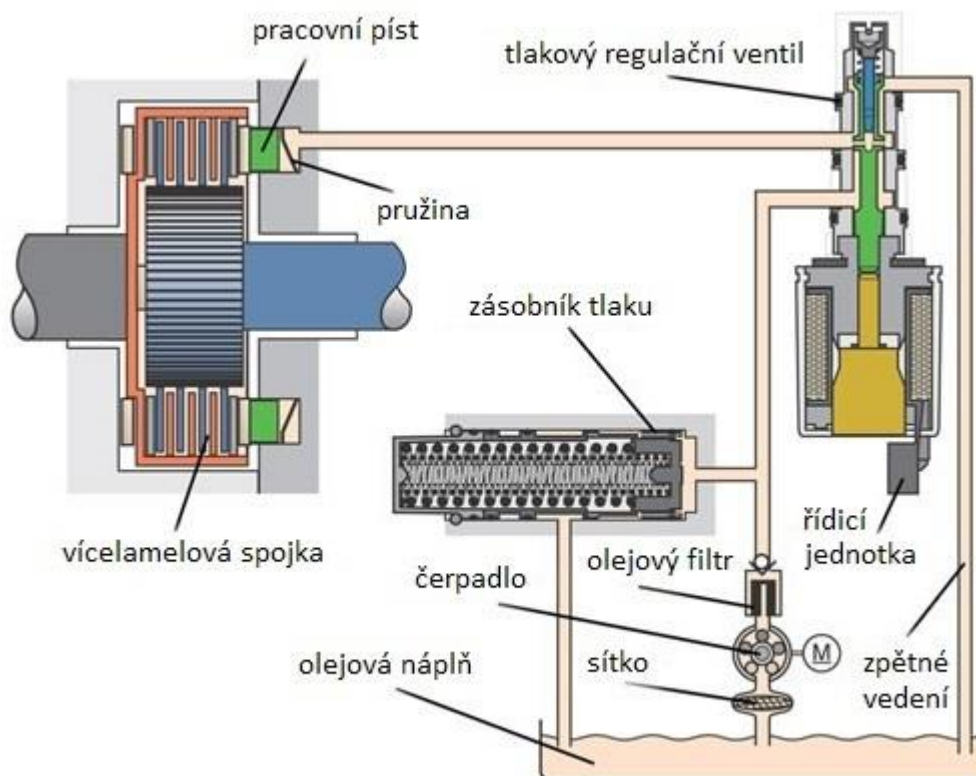
Výše popsaná konstrukce se týkala spojky Haldex I. generace. Elektronika byla využívána pouze v malém rozsahu, takže při jejím selhání sice došlo ke zhoršení vlastností spojky, ale v případě potřeby přicházela na výstupní hřídel stále jistá část točivého momentu. Stejně tomu bylo u II. generace, jejímž cílem bylo odstranit největší slabinu té první. I přes použití elektrického čerpadla nereagovala první Haldex spojka na změnu jízdních podmínek dostatečně rychle a připojení druhé nápravy probíhalo trhaně. Řidič tak přesně poznal moment, kdy ke spojení došlo. Hlavní změnou u druhé generace tedy byla úprava redukčního ventilu a přidání čidla tlaku, které umožnilo řídicí jednotce přesněji ovládat tento ventil a tak rychleji reagovat na nové situace [1, 36].

III. GENERACE

I když reakční doba druhé generace spojky byla již dostatečně krátká, stále tento systém reagoval až poté, co nastala nějaká krizová situace, jako například ztráta adheze u jedné nápravy. III. generace se již řadí mezi systémy, které dokáží tyto situace předvídat a zasáhnout ještě před tím, než reálně nastanou. Toho bylo dosaženo tak, že se k elektrickému čerpadlu, které pomocí tlakového oleje neustále přitlačuje valivé elementy k pístům, připojil zpětný ventil. Zpětný ventil zajišťuje v soustavě stálý tlak, který přitlačuje lamely k sobě, což způsobuje, že určitá malá část točivého momentu neustále přichází na výstupní hřídel [1, 36].

IV. GENERACE

IV. generace této spojky je již zcela ovládaná elektronicky. Charakteristický mechanismus spojky s vačkou a písty nahrazuje obyčejná viskózní spojka řízená elektronickou řídicí jednotkou. Dalšími důležitými komponenty systému jsou tlakový zásobník, elektrické olejové čerpadlo, elektromagnetický řídicí ventil, pracovní píst a elektronické snímače. Při zvýšení otáček motoru nad 400 min^{-1} začne elektrické čerpadlo čerpat olej z olejové nádržky přes olejový filtr do tlakového zásobníku. V případě potřeby připojení zadní nápravy se otevře elektromagnetický řídicí ventil a tlakový olej ze zásobníku přes něj začne proudit a prostřednictvím talířové pružiny vytvářet tlak na pracovní píst spojky. Tento píst působí na lamely viskózní spojky a tlačí je k sobě, což vyvolá vnitřní tření a spojka je tak schopná přenést točivý moment. Elektronický řídicí systém snímá hodnoty charakterizující danou jízdní situaci - příčné a podélné zrychlení vozu, natočení volantů, otáčky motoru, polohu plynového pedálu, otáčky kol, polohu brzdového pedálu a další. Na základě těchto hodnot se pomocí řídicího ventilu reguluje velikost tlakové síly působící na pracovní píst a lamely spojky a tím se reguluje hodnota přeneseného momentu na výstupní hřídel. Na rozdíl od předchozích generací, může spojka rozdělit na jednu nápravu i 100% točivého momentu, čehož se využívá při rozjezdu a akceleraci automobilu, kdy je výhodné mít všechnu sílu motoru přivedenou na zadní nápravu. Během jízdy je tlak regulován dle potřeby a při brzdění, kdy je naopak výhodné nepřenášet na zadní kola žádný moment, dochází k úplnému rozpojení spojky [1, 36, 37].



Obr. 3.19 Schéma spojky Haldex IV. Generace [37]

V. GENERACE

Základní myšlenka využitá u čtvrté generace spojky se s příchodem páté generace zásadně nezměnila. Vývoj spočívá hlavně v modernizaci její konstrukce. Zatím poslední generace spojky Haldex je kompaktnější, konstrukčně jednodušší a téměř o třetinu lehčí než předchozí verze. Úspory váhy bylo dosaženo hlavně absencí zásobníku tlaku a řídicího ventilu. Spojka je vybavena novým olejovým čerpadlem s odstředivým ventilem. Toto čerpadlo je řízeno elektronickou řídicí jednotkou, která vyhodnocuje jízdní situaci na základě hodnot přicházejících od senzorů, stejně jako tomu bylo u předešlé generace. Olej neustále cirkuluje mezi čerpadlem a zásobníkem, aby mohla spojka v případě potřeby reagovat okamžitě. Odstředivý ventil čerpadla, v závislosti na jeho otáčkách, propouští olej k pracovnímu pístu, který vytváří tlak na lamely spojky. Při zvýšení počtu otáček čerpadla propustí odstředivý ventil větší množství oleje, tlak působící na pracovní píst naroste, což způsobí nárůst tření ve spojce a dojde k přenesení většího točivého momentu na výstupní hřídel [38, 39].

3.5 ZUBOVÉ SPOJKY

Zubové spojky, někdy též označované jako volnoběžky, se často využívají u automobilů s příhraditelným pohonem všech kol. Tyto spojky bývají využívány pro dočasné připojení druhé nepoháněné nápravy k hnacímu ústrojí automobilu. Rovněž se umísťují do nábojů kol permanentně nepoháněné nápravy. Během jízdy s jednou hnací nápravou by bez zubové spojky, umístěné v nábojích nehnacích kol, docházelo k rotaci dílů příhraditelné nápravy. Rotace by zvyšovala hlučnost jízdy a působila jako zdroj vibrací. Nábojová zubová spojka je tedy při běžné jízdě rozepnuta a k jejímu sepnutí dochází až při připojení pohonu všech kol. Tyto spojky mohou být ovládány manuálně nebo automaticky [1, 12].



4 ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY

Moderní koncepce pohonu všech kol se neobejdou bez elektronických systémů, které výrazně zlepšují jízdní vlastnosti. Kromě systémů, běžně využívaných i u automobilů s pohonem dvou kol, využívají vozy s pohonem 4x4 nejčastěji systém EDS a DSC.

4.1 EDS (ELEKTRONISCHE DIFFERENZIALSPERRE)

Zkratka EDS, někdy také EDL, označuje systém elektronicky řízené uzávěrky diferenciálu. Tento systém samočinně přibrzdí protáčející se kolo hnací nápravy a tím zamezuje snížení hodnoty hnacího momentu přenášeného na kola. EDS pro svou funkci využívá elektronické senzory systému ABS. Pokud rozdíl otáček kol nápravy překročí limitní hodnotu a dojde k prokluzu jednoho kola, systém toto kolo automaticky přibrzdí. Výsledek je stejný jako při užití manuální uzávěrky diferenciálu. Systém se automaticky deaktivuje při dosažení určité hodnoty rychlosti. Běžně to bývá hodnota 80 km/h [40, 41].

4.2 DSC (DYNAMIC STABILITY CONTROL)

DSC je elektronický stabilizační systém, který ovlivňuje chování vozidla. Jeho úkolem je zvýšit bezpečnost jízdy a co nejvíce řidiči usnadnit ovládání vozu v krizové situaci. Součástí systémů jsou senzory, které snímají úhel natočení volantu, otáčky jednotlivých kol, zrychlení automobilu, boční síly působící na automobil a poloměr zatáčení. Řídící jednotka neustále vyhodnocuje data ze senzorů a podle potřeby upravuje rychlost jednotlivých kol jejich přibrzděním. Lze tak velmi přesně a rychle řídit rychlost jednotlivých kol a prokluz je velmi efektivně potlačován. Nevýhoda tohoto systému spočívá v přeměně energie na nevyužitelné teplo, které navíc způsobuje zvýšené opotřebení brzdného systému ve srovnání s automobilem s uzávěrkou [42].



5 KONCEPCE

Základní dělení pohonu 4x4 je do dvou kategorií:

- stálý pohon všech kol - AWD
- přiřaditelný pohon všech kol – 4WD
 - samočinně připojitelný
 - manuálně připojitelný

Vozidla, vybavená přiřaditelným pohonem všech kol, mohou mít stálý pohon přední nápravy s přiřaditelným pohonem zadní nápravy, nebo stálý pohon zadní nápravy s přiřaditelnou přední nápravou.

Pohony lze také dělit podle uspořádání základních částí automobilu vůči jeho podélné ose. První kategorií jsou vozidla, která mají motor, spojku a převodovku uloženu příčně k podélné ose vozu, většinou mezi koly přední nápravy. Prostor pro uložení všech důležitých součástí pohonu je velmi omezen. Z tohoto důvodu je rozvodovka přední nápravy zpravidla součástí převodovky. Stálý převod je tvořen čelním ozubením. Tato koncepce se využívá převážně u silničních modelů. Druhou kategorií jsou automobily s podélně uloženým motorem. U těchto vozů jsou motor, spojka, převodovka i rozdělovací převodovka uloženy rovnoběžně s podélnou osou vozidla. S tímto uspořádáním se setkáme u většiny terénních automobilů, a to hlavně díky většímu konstrukčnímu prostoru, který umožňuje vybavit vozidlo i redukční převodovkou. U terénních vozidel je celý systém uložen nad předními koly, zatímco u silničních automobilů, které využívají tuto koncepci, bývá celé ústrojí uloženo před nebo nad zadní nápravou.

5.1 STÁLÝ POHON VŠECH KOL

Stálý pohon všech kol, na rozdíl od přiřaditelného, neumožňuje odpojení jedné nápravy od hnacího agregátu a všechna kola jsou tak hnaná trvale.

Systém AWD má proti přiřaditelnému pohonu velkou výhodu při náhlé a neočekávané změně jízdních podmínek, kdy řidič vozu s manuálně přiřaditelným pohonem nemusí včas stihnout připnout druhou nápravu. Stálý pohon je tedy bezpečnější. Nevýhodou ovšem je, že při běžných jízdních podmínkách, kdy pohon všech kol nepřináší výrazné výhody, je spotřeba paliva výrazně vyšší.

Při průjezdu zatáčkou se každé kolo vozidla otáčí jinou úhlovou rychlostí. Stejně tak i střední úhlové rychlosti obou náprav jsou rozdílné. Zatímco u jednotlivých náprav požadujeme symetrické rozdělení točivého momentu na obě kola, mezi nápravami požadujeme rozdělení točivého momentu v určitém poměru. To, v jakém poměru bude točivý moment mezi nápravami rozdělen, závisí na mnoha faktorech jako například na rozložení hmotnosti vozu mezi nápravy nebo na koncepci automobilu [1].

Nejběžnější konstrukční řešení stálého pohonu všech kol:

- konstrukce se třemi diferenciály
- konstrukce s viskózní spojkou

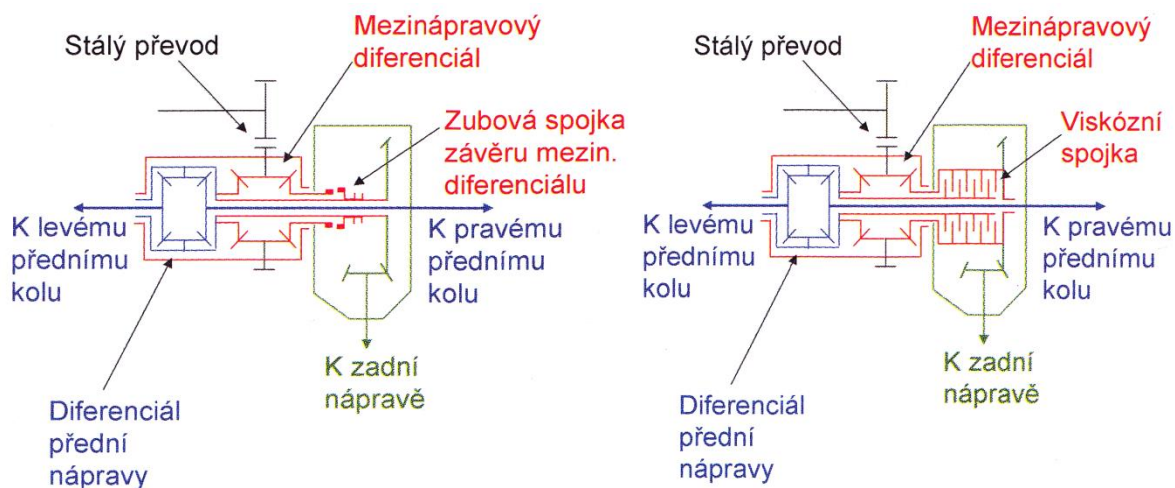


5.1.1 KONSTRUKCE SE TŘEMI DIFERENCIÁLY

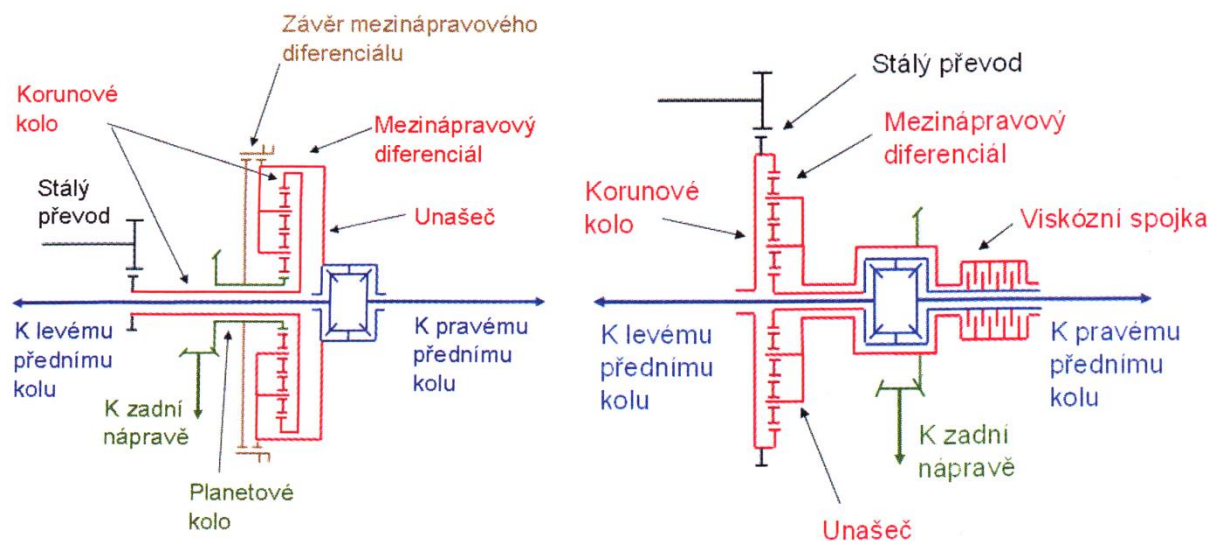
Tato konstrukce pohonu všech kol využívá dva nápravové a jeden mezinápravový diferenciál. Mezinápravový diferenciál bývá umístěn buď vedle rozvodovky přední nápravy, nebo před rozvodovkou nápravy zadní. Diferenciál zadní nápravy může být různé konstrukce. Nejběžněji se využívají kuželové diferenciály a diferenciál Torsen [1].

Podle typu použitého předního a mezinápravového diferenciálu se konstrukce se třemi diferenciály dále dělí na:

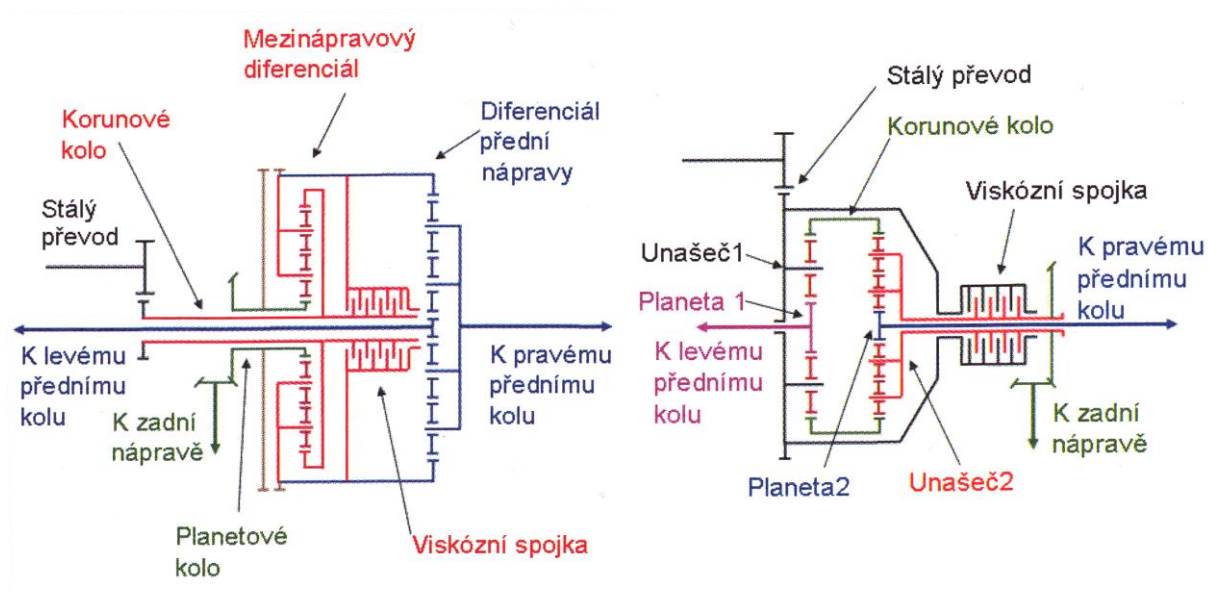
- konstrukce s předním i mezinápravovým kuželovým diferenciálem (obr. 5.1)
- konstrukce s předním kuželovým a čelním mezinápravovým diferenciálem (obr. 5.2)
- konstrukce s předním i mezinápravovým čelním diferenciálem (obr. 5.3)
- konstrukce se svorným mezinápravovým diferenciálem – nejčastěji se využívají diferenciály Torsen



Obr. 5.1 Schémata konstrukcí s předním i mezinápravovým kuželovým diferenciálem [1]



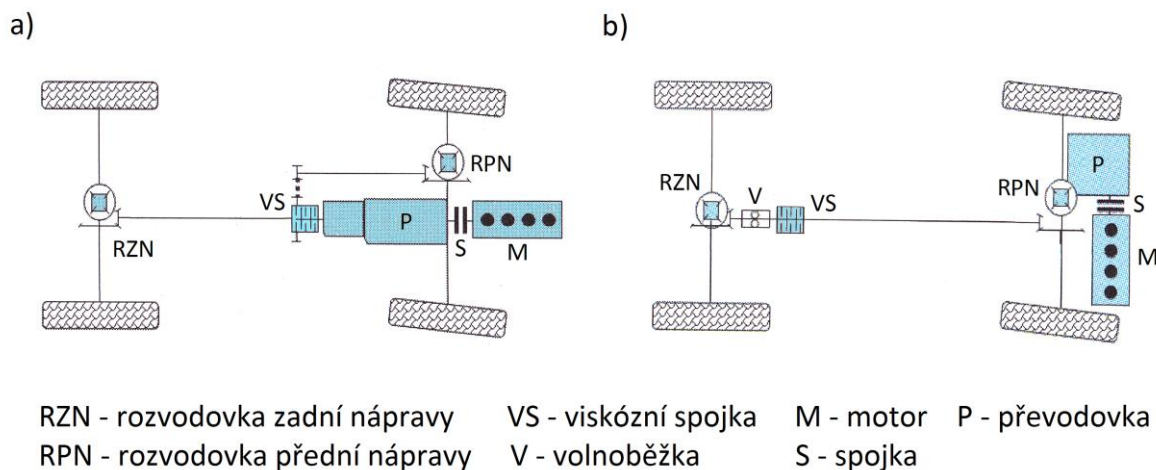
Obr. 5.2 Schémata konstrukcí s předním kuželovým a čelním mezinápravovým diferenciálem [1]



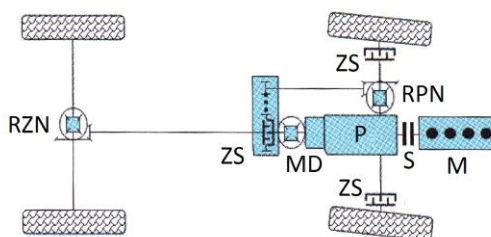
Obr. 5.1 Schémata konstrukcí s předním i mezinápravovým čelním diferenciálem [1]

5.1.2 KONSTRUKCE S VISKÓZNÍ SPOJKOU

U tohoto typu konstrukce je mezinápravový diferenciál nahrazen viskózní spojkou. Diferenciál přední a zadní nápravy může být například kuželový nebo samosvorný s třecí lamelovou spojkou [1].



Obr. 5.2 Schémata hnacích ústrojí s viskózní spojkou a) podélná zástavba hnacího agregátu, b) příčná zástavba hnacího agregátu [1]

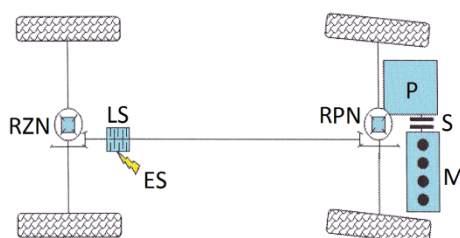


RZN - rozvodovka zadní nápravy ZS - zubová spojka S - spojka
 RPN - rozvodovka přední nápravy P - převodovka M - motor
 MD - mezinápravový diferenciál

Obr. 5.5 Schéma převodového ústrojí vozidla s manuálně připojitelným pohonem předních kol a mezinápravovým diferenciálem[1]

5.2.2 SAMOČINNĚ PŘIPOJITELNÝ POHON VŠECH KOL

Na rozdíl od manuálně připojitelného pohonu všech kol pracuje tento systém zcela nezávisle na řidiči. Pokud dojde k prokluzu kol hnací nápravy, elektronický systém samočinně připojí druhou nápravu k hnacímu systému automobilu. Tato náprava bývá spojena s hnacím ústrojím automobilu většinou pomocí lamelových spojek různých typů. Lamelové spojky umožňují plynulou změnu točivého momentu, přicházejícího na druhou nápravu. Poměr momentu přicházejícího na obě nápravy se tedy mění v závislosti na jízdních podmínkách v rozmezí od 100:0 (pohon jen jedné nápravy) do 50:50 [1].



RZN - rozvodovka zadní nápravy ZS - zubová spojka S - spojka
 RPN - rozvodovka přední nápravy P - převodovka M - motor
 ES - elektronický systém LS - lamelová spojka

Obr. 5.7 Schéma převodového ústrojí vozidla se samočinně připojitelným pohonem všech kol [1]



6 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ SYSTÉMY POHONU VŠECH KOL

V dnešní době má většina automobilek vyvinut vlastní systém pohonu všech kol a používá pro něj vlastní patentové označení.

6.1 AUDI - QUATTRO

Quattro je označení permanentního pohonu všech kol německé automobilky Audi. Poprvé byl tento systém představen roku 1980 a od té doby jej Audi využívá téměř ve všech svých modelových řadách [43].

6.1.1 I. GENERACE QUATTRO

Myšlenka vytvoření silničního vozu s pohonem všech kol vznikla roku 1977, když se konstruktéři z Audi podíleli na vývoji nového terénního automobilu Volkswagen Iltis. Během následujících tří let probíhal intenzivní vývoj a roku 1980 byl na autosalonu v Ženevě představen nový model Quattro. Tento model disponoval stejnojmenným permanentním systémem pohonu všech kol. Motor a převodovka byly uloženy příčně a mechanický kuželový mezinápravový diferenciál rozdělval sílu mezi přední a zadní nápravu. Tento diferenciál, stejně jako diferenciál zadní nápravy, byl vybaven uzávěrkou. Stejným systémem byly během let 1980 až 1987 vybaveny také mnohé jiné modely Audi. Quattro rozpoutalo doslova revoluci v oblasti pohonu všech kol, jelikož po jeho představení začaly téměř všechny světové automobilky pracovat na vývoji vlastních systémů pro své silniční modely [43, 44, 45].

Automobilka Audi nebyla na počátku 70. let tak prestižní značkou, jakou je dnes, a proto bylo rozhodnuto, že se svým zákazníkům bude prezentovat prostřednictvím automobilových soutěží, a to hlavně účastí v Mistroství světa v rallye. Roku 1980 se tak nový model Quattro představil na Algarve Rally v Portugalsku. I když byl tento vůz v rámci testování nasazen pouze jako předjezdec, zajel s ním Hannu Mikkola o 30 minut rychlejší čas než vítěz závodu. První oficiální vítězství brzy následovala a bylo tak jasné, že budoucnost rallye leží v pohonu všech kol. Roku 1984 byla představena verze Quattro Sport, která byla určena pro nejprestižnější závodní rallye skupinu B. O sezonu později byl nasazen speciál Quattro Sport S1, který se stal, i když působil ve skupině B pouze jeden rok, jednou z legend rallye sportu. Tento model disponoval výkonem 350 kW a díky pohonu všech kol dokázal zrychlit z 0 na 100 kilometrů v hodině za 3,1 sekundy [46].

První zásadní zvrát v konstrukci pohonu přišel roku 1987. Manuálně uzamykatelný mezinápravový diferenciál byl nahrazen samosvorným diferenciálem Torsen. Jeho první generace byla poprvé využita u Audi 80 a další modely brzy následovaly. Automobily vybavené tímto systémem mají podélně umístěný motor i převodovku. V rozdělovací převodovce se skrývá již zmíněný diferenciál Torsen typ A, jenž rozděljuje hnací moment na nápravy v poměru, který se pohybuje v rozmezí od 28:72 až 72:28 %. Rozvodovka přední nápravy je tvořena hypoidním stálým převodem a kuželovým diferenciálem bez uzávěrky. Diferenciál zadní nápravy byl nadále vybaven manuálním závěrem [47, 48].

Jedinečnou konstrukcí pohonu quattro byl vybaven vůz Audi V8, který se vyráběl mezi roky 1988 až 1993. Model vybavený manuální převodovkou byl vybaven mezinápravovým diferenciálem Torsen první generace. U modelu s automatem byl jako mezinápravový diferenciál použit samosvorný diferenciál s elektronicky řízenou lamelovou spojkou. Zadní rozvodovka obou verzí byla vybavena diferenciálem Torsen typu A, zatímco přední náprava byla poháně-

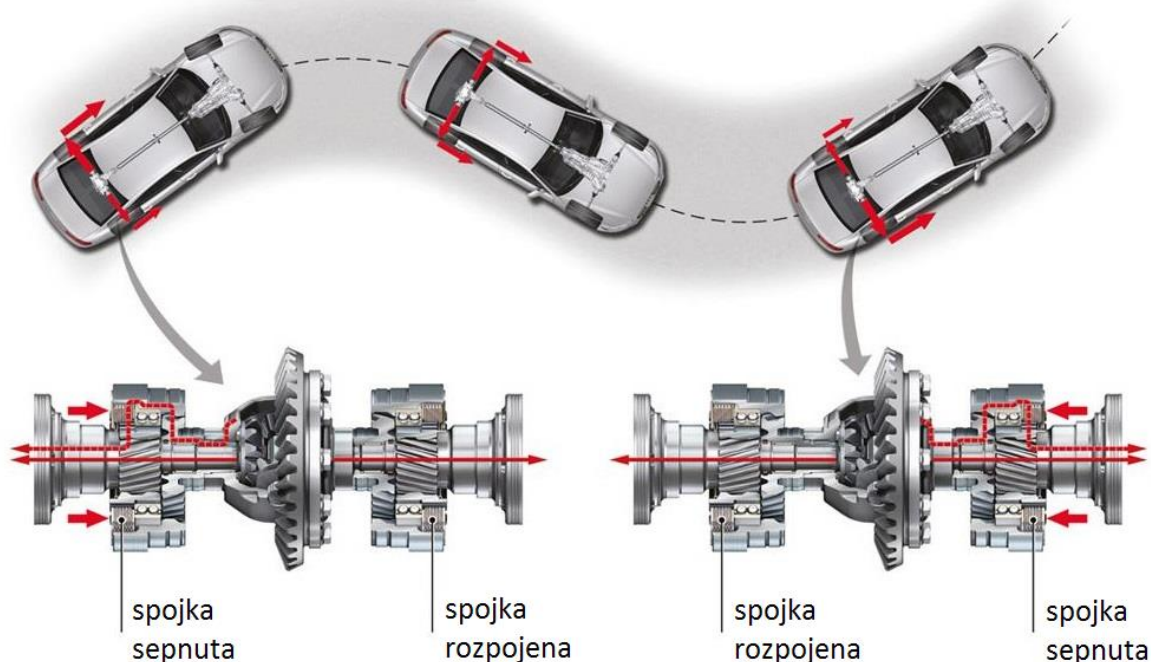


na pomoci kuželového diferenciálu bez uzávěrky. Toto řešení systému quattro bylo využito pouze u tohoto vozu [47].

Další změna konstrukce nastala roku 1995. Ruční uzávěrka zadního diferenciálu byla nahrazena elektronickou uzávěrkou diferenciálu (EDS). Přední diferenciál byl také vybaven EDS. Jako mezinápravový diferenciál byl používán Torsen model A nebo B. Touto konstrukcí byly jako první vybaveny modelové řady 4, 6 a 8 [47].

Roku 2005 Audi poprvé využilo mezinápravový diferenciál Torsen typ C a to u modelu RS4. Na rozdíl od předchozích generací Torsen, které rozdělovaly moment rovnoměrně mezi obě nápravy, třetí generace přenáší při běžných jízdních podmínkách 60 % celkového výkonu na zadní nápravu. V případě potřeby může být výkon rozdělován v poměrech 20:80 % až 60:40 %. Koncepce předního i zadního diferenciálu zůstala od roku 1995 nezměněna [47, 49].

Koncem roku 2008 byla představena nová generace modelu S4. Tento vůz využívá stejný mezinápravový diferenciál Torsen typ C jako všechny modely se systémem quattro v současné době. Jeho zadní diferenciál však nese označení Sport. Jedná se o elektronicky řízený diferenciál. Na rozdíl od diferenciálů vybavených elektronicky řízenou uzávěrkou (EDS), tento systém při průjezdu zatáčkou nepřibrzdí vnitřní kolo, ale naopak zvyšuje otáčky vnějšího kola, takže nedochází ke ztrátám výkonu a zatáčku lze projíždět vyšší rychlostí. Diferenciál se skládá z kuželového diferenciálu, ke kterému je z každé strany připojena elektrohydraulicky ovládaná lamelová spojka. Spojka je řízená automaticky pomocí senzorů. Při sepnutí spojky dojde k připojení přídatného planetového převodu, který zvýší rychlost otáčení daného kola o 10 %. Tento systém umožňuje přenést téměř 100 % točivého momentu na jedno kolo [50, 51, 52].



Obr. 6.1 Funkce diferenciálu Sport při průjezdu zatáčkou [53]

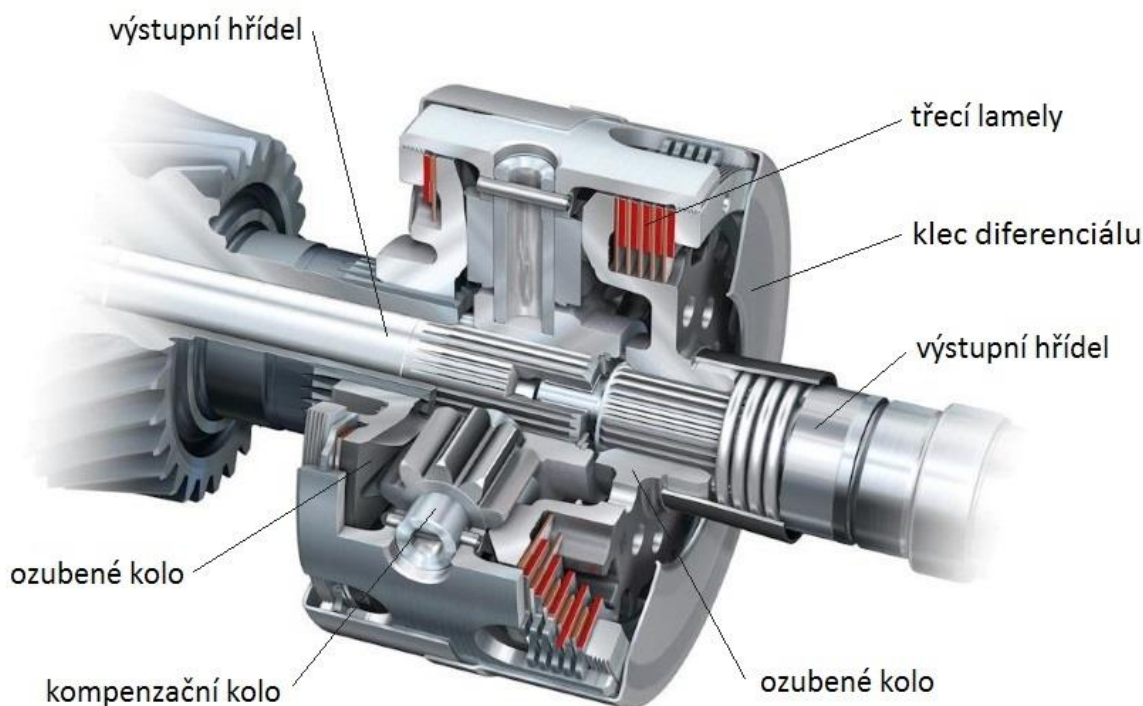


6.1.2 II. GENERACE QUATTRA

Všechny výše popsané konstrukční řešení systému quattro formálně spadají pod starou generaci tohoto systému. Roku 2010 se představil nový model RS5, který byl vybaven pohonem quattro nové generace. Mezinápravový diferenciál Torsen typ C byl nahrazen novým diferenciálem „Crown-gear“, který vyvinula automobilka Audi. Nápravové diferenciály byly vybaveny novou generací systému EDS [47, 54].

DIFERENCIÁL CROWN-GEAR

Základní částí tohoto mezinápravového diferenciálu jsou dvě ozubená kola, která jsou upevněna na výstupních hřídelích. Jejich zuby mají speciální tvar připomínající korunu, z čeho vychází anglický název diferenciálu (crown = koruna). Tato kola jsou poháněna čtyřmi kompenzačními koly vzájemně pootočenými o 90°. Klec diferenciálu, na které jsou kompenzační kola otočně uložena, je prostřednictvím stálého převodu připojena k převodovému ústrojí automobilu. Samosvorný účinek diferenciálu zajišťují skupiny třecích lamel, uložené mezi ozubenými koly a čelem klece [54].



Obr. 6.1 Řez diferenciálem Crown-gear [55]

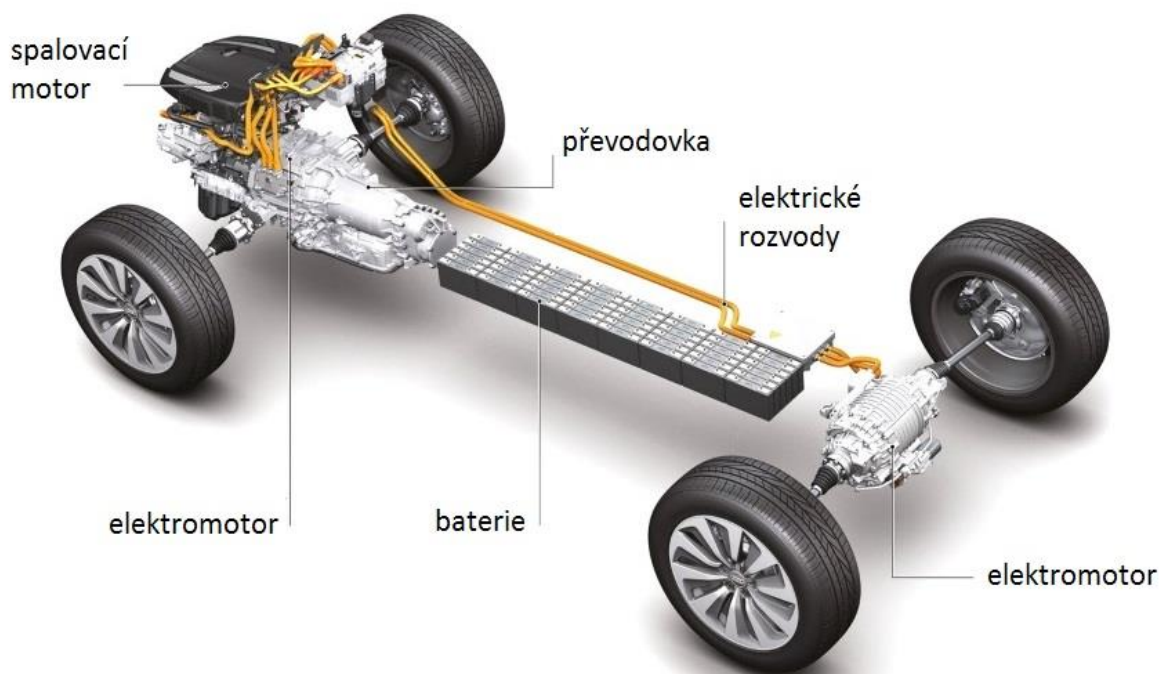
Při běžných jízdních podmínkách se obě ozubená kola i klec diferenciálu otáčejí stejnou rychlostí a 60 % točivého momentu přechází na zadní nápravu, zbylých 40 % na nápravu přední. Pokud však jedna náprava začne ztrácet přilnavost, zvýší se její otáčky, což vyvolá axiální sílu v diferenciálu. Tato síla působí na lamely, které se přitlačí k sobě a vzniklé tření zajistí samosvorný účinek diferenciálu [54].



Hlavní výhodou tohoto diferenciálu na rozdíl od diferenciálu Torsen je větší rozsah rozdělení momentu mezi nápravy (85:15-30:70 %), nižší hmotnost a kompaktnost [54].

6.1.3 E-QUATTRO

V září roku 2015 bude na autosalonu ve Frankfurtu představena nová generace modelu A4. Vůz bude vybaven novou revoluční koncepcí pohonu nazvanou e-quattro. Jedná se o hybridní pohon, který kombinuje spalovací motor se dvěma elektromotory. Menší z nich o výkonu 54 koní, integrovaný do převodovky, bude pohánět přední nápravu a větší se 116 koňmi, bude pohánět nápravu zadní. U tohoto systému již není potřeba využívat mezinápravový diferenciál, protože každá náprava bude poháněna samostatným agregátem. Spalovací motor bude sloužit pouze jako generátor elektrické energie. Vůz bude vybaven bateriemi, které bude možno nabíjet pomocí běžné zásuvky. Automobil tak ujede určitou vzdálenost i bez využití spalovacího motoru. V tomto režimu nebude pohon všech kol nijak omezen [56, 57, 58].



Obr. 6.2 Schéma pohonu e-quattro [59]

6.1.4 QUATTRO VYUŽÍVAJÍCÍ SPOJKOU HALDEX

Automobilka Audi také nabízí modely s příčně uloženým motorem a převodovkou s označením quattro. Tyto modely ovšem mají hnanou primárně pouze jednu nápravu a pro připojení druhé nápravy v případě nutnosti využívají viskózní spojku Haldex. Jedná se tedy o připojitelný pohon všech kol. Do této skupiny patří hlavně modely nižších tříd, u kterých není problém s velikostí motoru (A1, A2, A3). Zástupcem této skupiny je také model TT, jehož poslední modelová řada využívá spojku Haldex páté generace [44, 46].



6.2 VOLKSWAGEN - 4MOTION

Německá automobilka Volkswagen využívá pro svůj systém pohonu všech kol označení 4MOTION. Ještě před tím, než se poprvé objevil tento termín, byly „čtyřkolky“ od VW známé pod označením syncro.

6.2.1 SYNCRO

První model s označením syncro se světu představil roku 1968. Jednalo se o vůz Golf vybavený mezinápravovou viskózní spojkou. Rozvodovka zadní nápravy byla tvořena kuželovým stálým převodem se spirálovým ozubením a kuželovým diferenciálem. Uzávěrka byla nahrazena volnoběžkami v nábojích zadních kol. Viskózní spojka díky tření v oleji přenášela část momentu (15 %) na zadní kola i při běžné jízdě. Za viskózní spojkou byla řazena zubová spojka, která v případě potřeby odpojovala zadní nápravu od pohonného ústrojí vozu. Využití viskózní spojky se osvědčilo, ovšem s postupem času a nástupem elektroniky se začalo hledat vhodnější a modernější řešení [60].

6.2.2 4MOTION

Roku 1992 se tak objevil nový systém s označením 4MOTION. Ten využívá tři typy mezinápravových diferenciálů v závislosti na konstrukčním uspořádání automobilu. U modelů s příčně uloženým motorem a převodovkou je využívána spojka Haldex. Modely s podélným uspořádáním využívají diferenciály Torsen. Třetím konstrukčním řešením je použití centrálního diferenciálu s elektricky řízenou spojkou – systém 4xMOTION [1, 61, 62].

6.2.3 4xMOTION

Volkswagen Touareg využívá pozměněnou konstrukci pohonu 4MOTION s označením 4xMOTION. Vůz je vybaven uzamykatelným mezinápravovým diferenciálem s elektricky řízenou lamelovou spojkou a redukční převodovkou s převodovým poměrem 2,69:1. Diferenciál se uzamkne automaticky v případě potřeby nebo může být uzamknut kdykoliv na povel řidiče. Vůz může být také na přání zákazníka vybaven uzávěrkou zadního diferenciálu [1, 63].



6.3 MERCEDES-BENZ-4MATIC

Názvem 4MATIC jsou označována všechna vozidla automobilky Mercedes-Benz disponující permanentním pohonem všech kol.

6.3.1 I. GENERACE

Tento nový systém se veřejnosti představil roku 1985 na autosalonu ve Frankfurtu a o dva roky později byl 4MATIC poprvé využit v modelové řadě W124 (třída E). Vozy, vybavené touto první generací 4MATICu, nebyly ještě permanentní „čtyřkolky“. Hnaná byla pouze zadní kola a přední náprava se připojovala až v případě potřeby. Systém nebyl úplně ideální, protože při připojování docházelo k mírným časovým prodlevám [64, 65].

Konstrukce využívala hned tři hydraulicky ovládané vícelamelové spojky. První z nich sloužila k připojení přední nápravy. Druhá sloužila jako závěr mezinápravového čelního diferenciálu. Rozvodovka zadní nápravy byla vybavena samočinným samosvorným diferenciálem ASD, který obsahoval třetí lamelovou spojku. Hydraulický systém, vyvolávající tlak na lamely spojky, byl ovládán elektronickou řídicí jednotkou [1].

Při běžném jízdním režimu, kdy byla poháněna jen zadní kola, musela být spojka mezinápravového diferenciálu sepnuta a spojka přední nápravy rozepnuta. Pokud měla být připojena i druhá náprava, musel řídicí systém rozepnout mezinápravovou spojku a sepnout tu na přední nápravě. Mezinápravový diferenciál byl převodován tak, aby rozděloval točivý moment v poměru 35:65 % na přední a zadní nápravu. Pokud toto rozdělení nedostačovalo, byla sepnuta i mezinápravová spojka a moment byl rozdělen rovnoměrně mezi obě nápravy [1].

Roku 1992 byla představena nová verze systému využívající elektronicky ovládanou lamelovou spojku. Ovšem tyto spojky byly značně nespolehlivé a po necelém roce byly nahrazeny opět spojkami hydraulickými [66].

6.3.2 II. GENERACE

Nová generace 4MATICu byla představena roku 1997 a již spadá do kategorie permanentního pohonu všech kol. Většina modelů, vybavená tímto systémem, využívá automatickou převodovku. Hlavní odlišností soudobého 4MATICu od konkurenčních systémů je absence závěřů diferenciálů. Prokluzu jednotlivých kol se zabráňuje jejich přibrzděním. Tuto činnost řídí elektronický systém 4ETS (4-wheel Electronic Traction System). Ten pomocí senzorů vyhodnotí okamžik, kdy kolo začne ztrácet přilnavost a automaticky jej přibrzdí. Současně mohou být přibrzděna i tři prokluzující kola. Točivý moment mezi přední a zadní nápravu je při běžných jízdních podmínkách rozdělován v poměru 40:60 %, ale v případě potřeby může systém přenést až 100 % momentu na nápravu přední. Moment mezi obě nápravy rozděluje otevřený planetový diferenciál propojený pomocí stálého převodu s automatickou převodovkou. Diferenciál využívá šikmé ozubení a je tvořen dvěma satelitovými řadami. Stejnými diferenciály jsou připojeny k hnacímu ústrojí i jednotlivé nápravy [1, 67, 68].

6.3.3 III. GENERACE

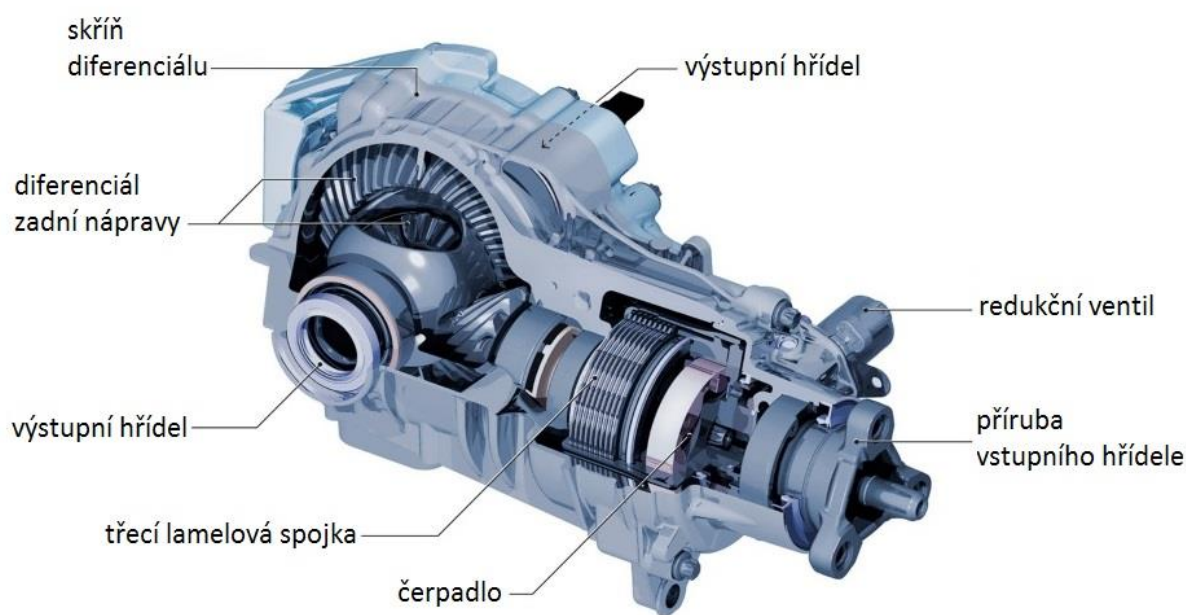
Další vývojový stupeň systému 4MATIC byl představen roku 2008. Poprvé byl použit v modelu CL550 Coupe. Jedná se vlastně jen o drobné vylepšení předchozí verze. Snížila se celková hmotnost systému, čímž se dosáhlo menší spotřeby paliva. Výchozí poměr rozdělení



točivého momentu mezi přední a zadní nápravu je nyní 45:55 %. Systém nově spolupracuje se sedmistupňovou automatickou převodovkou [67, 69].

6.3.4 4MATIC PRO KOMPAKTNÍ MODELY

Speciálně pro menší modely vozů (hlavně třídy A a B) byla roku 2012 zkonstruována další verze 4MATICu. Tento systém již není permanentním pohonem všech kol. Při běžné jízdě je poháněna pouze přední náprava a zadní se připojuje jen v případě potřeby. Diferenciál zadní nápravy je vybaven třecí lamelovou spojkou (obr. 6.4). Konstrukce spojky je podobná jako konstrukce viskózní mezinápravové spojky, ovšem tlak na lamely je vyvoláván dle potřeby elektronicky ovládaným čerpadlem. Řídicí systém čerpadla vyhodnocuje jízdní situaci pomocí senzorů otáček obou náprav. Pokud se otáčky začnou odlišovat, systém zareaguje a vyšle signál redukčnímu ventilu, který zvýší tlak na lamely, což způsobí vyrovnání otáček obou náprav. Celý tento děj probíhá v řádu milisekund. Tento typ 4MATICu také využívá systém 4ETS, kterým nahrazuje závěr nápravových diferenciálů. V případě, že by lamelová spojka nedokázala dostatečně rychle zareagovat na náhlou změnu jízdních podmínek, pomáhá tento systém vyrovnávat i otáčky náprav [70, 71].



Obr. 6.3 Řez diferenciálem zadní nápravy systému 4MATIC pro kompaktní modely [71]



6.4 BMW- xDRIVE

Systém xDrive využívají všechny modely německé automobilky BMW s pohonem čtyř kol od roku 2003. Ovšem automobilka nabízela osobní automobily s pohonem 4x4 již od roku 1985 [72].

6.4.1 PRVNÍ SYSTÉMY POHONU

První vozy se znakem BMW a pohonem všech kol pocházely z modelové řady 3 a 5. Tato konstrukce využívala otevřené diferenciály, jak mezi jednotlivými koly, tak mezi nápravami. Mezinápravový diferenciál byl osazen viskózní spojkou, která sloužila jako jeho závěr [1, 72].

O tři roky později již modely páté řady využívaly elektronický systém k rozdělování momentu mezi nápravy. Systém rozhodoval o velikosti síly působící na lamely lamelové spojky mezinápravového diferenciálu a tím určoval poměr, v jakém bude rozdělen točivý moment mezi nápravy. Při běžné jízdě přecházelo jen 36 % momentu na přední kola a 64 % na kola zadní. Tento diferenciál se ze začátku montoval i mezi zadní kola, ale nakonec bylo od této konstrukce upuštěno [72].

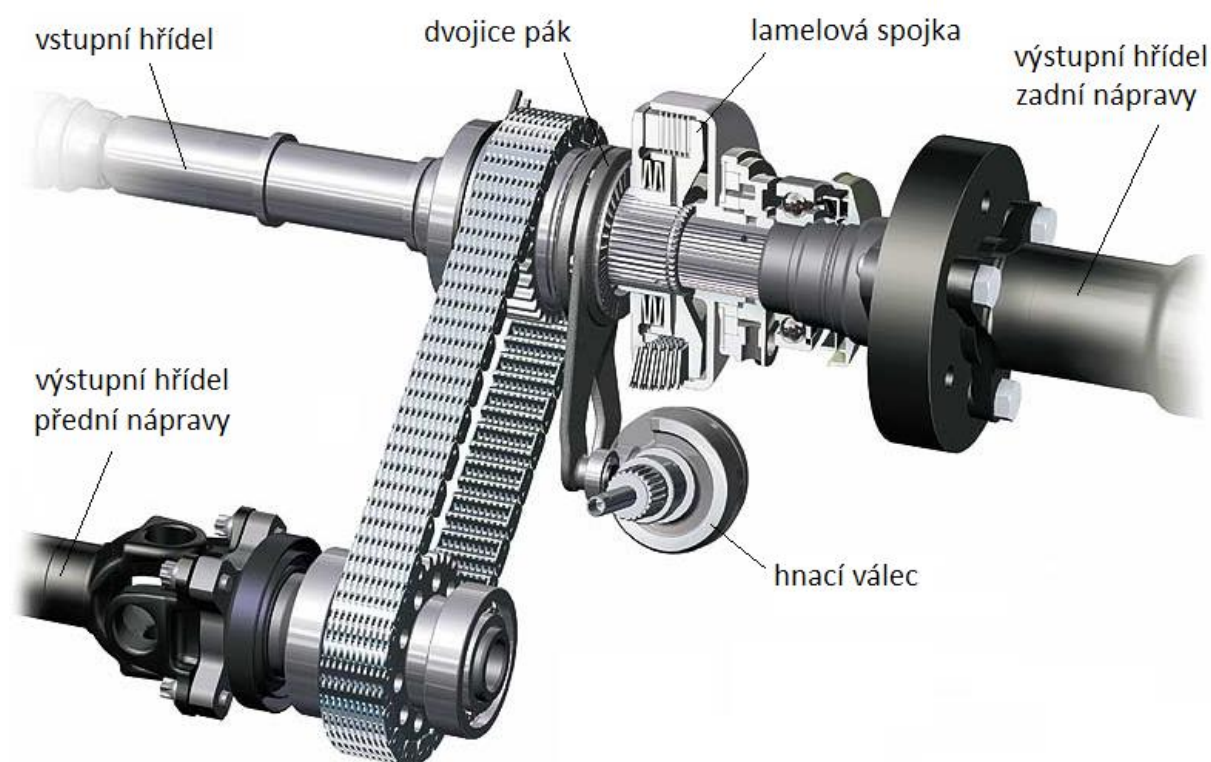
Roku 1991 byl pohon inovován. Točivý moment mezi nápravy byl rozdělován pomocí elektromagneticky ovládané lamelové spojky a zadní diferenciál byl uzamykán pomocí elektrohydraulicky ovládané spojky [72].

O osm let později byla mezinápravová lamelová spojka nahrazena otevřeným diferenciálem. Uzávěry diferenciálů byly nahrazeny systémem ADB-X (Automatic Differential Brake), který podle potřeby přibrzdí jednotlivá kola. Tento systém je nyní součástí systému DSC [72].

6.4.2 xDRIVE

Jedná se o samočinně přiřaditelný pohon všech kol. Jeho hlavním znakem je primárně hnaná zadní náprava s připojitelnou přední nápravou. Systém neobsahuje mezinápravový diferenciál. Místo něj propojuje obě nápravy elektronicky řízená lamelová viskózní spojka, která tvoří hlavní část mezinápravové rozvodovky [1].

Na vstupní hřídel mezinápravové rozvodovky je připojen výstupní hřídel zadní nápravy. Výstupní hřídel přední nápravy je propojen pomocí ozubeného kola (řada 3, 5) nebo řetězu (řada X) s lamelovou spojkou. Ta je ovládána elektromechanicky a připojuje výstupní hřídel ke vstupnímu hřídeli mezinápravové rozvodovky. Spojku spíná speciální vačkový mechanismus. Jeho součástí je hnací válec poháněný elektromotorem. Čela válce mají tvar spirály. Na obou čelech se po této spirále odvalují dva menší válce, které jsou rotačně uchyceny ke dvojici pák. Konec obou pák má tvar kruhu. Páky jsou kruhovými konci řazeny za sebou a připomínají tak nůžky. Mezi kruhy je usazeno několik kuliček ve speciálně tvarovaných dutinách. Kuličky spolu s pákami tvoří vačku. Když se hnací válec začne otáčet, menší válečky se začnou odvalovat po stoupajícím profilu spirály a páky se začnou navzájem v radiálním směru oddalovat. Díky protipohybu kruhů se začne zmenšovat dutina, ve které jsou umístěny kuličky a ty začnou odtlačovat kruhy od sebe. Kruhové části pák jsou připojeny k lamelové spojkce. Vyvolaná axiální síla působí na lamely a sepíná tak spojku [1].



Obr. 6.4 Mezinápravová rozvodovka využívaná u řady X [73]

I když se jedná o připojitelný pohon všech kol, je spojka při jízdě nižší rychlostí většinu času sepnutá a rozděluje točivý moment na přední a zadní nápravu v poměru 40:60 %. V případě potřeby může být točivý moment rozdělen mezi přední a zadní nápravu v rozmezí 0:100 % až 50:50 %. O poměru, v jakém bude moment rozdělován, rozhoduje elektronická řídicí jednotka spojky, která řídí elektromotor vačkového mechanismu. Řídicí jednotka upravuje velikost momentu přicházejícího na přední nápravu pomocí dat ze snímačů otáček kol, natočení volantu, zrychlení vozu a polohy plynového pedálu. K úplnému rozpojení spojky dochází při vyšších rychlostech jízdy nebo například při parkování [1,74].

XDrive také spolupracuje se systémem DSC, který v případě potřeby přibrzdí jednotlivá kola. Díky tomu nemusí být mezinápravové diferenciály vybaveny uzávěrem [75].



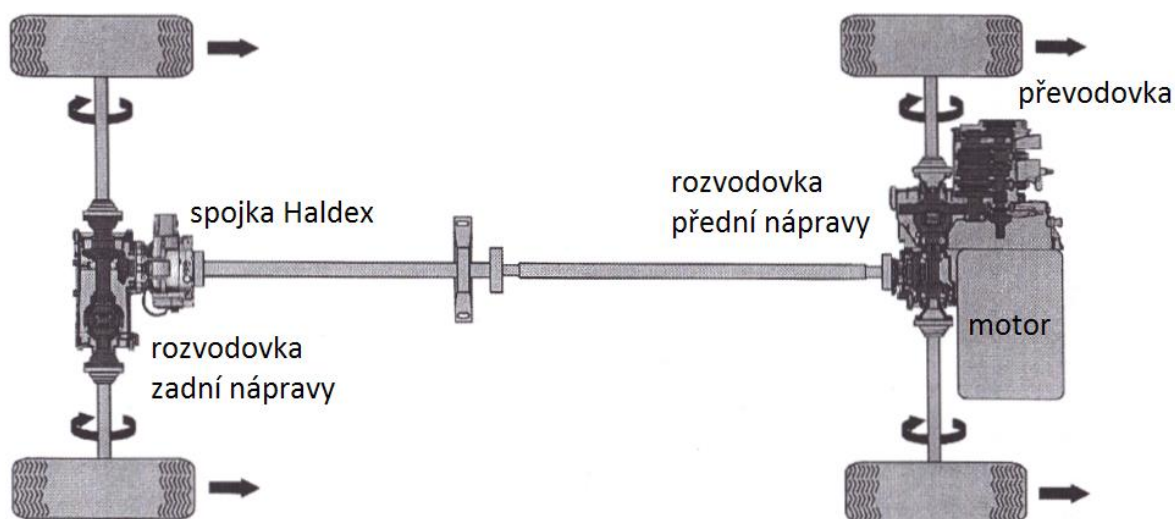
6.5 ŠKODA – 4x4

Prvním vozem s pohonem všech kol, nesoucí logo automobilky Škoda, se stal roku 2001 model Octavia Combi.

Tento vůz využívá spojku Haldex. Jedná se tedy o samočinně připojitelný pohon všech kol. Primárně hnaná je přední náprava a v případě potřeby se prostřednictvím spojky připojí náprava zadní [76].

U první generace Octavie Combi 4x4 je přední rozvodovka tvořena jednoduchým stálým převodem s čelním ozubením a planetovým diferenciálem. Rozvodovka je pomocí hřídele propojena se spojkou Haldex. Skříň spojky je přichycena ke skříni zadní rozvodovky, která obsahuje kuželový převod a běžný kuželový diferenciál [76].

Octavia Combi 4x4 se stala velmi úspěšným modelem a dnes Škoda nabízí tento pohon i ve vozech Superb, Yeti a Roomster. Tyto soudobé modely využívají Haldex páté generace a mimo jiných elektronických systémů také EDS [77].



Obr. 6.5 Schéma pohonu vozu Octavia Combi 4x4 2001 [76]

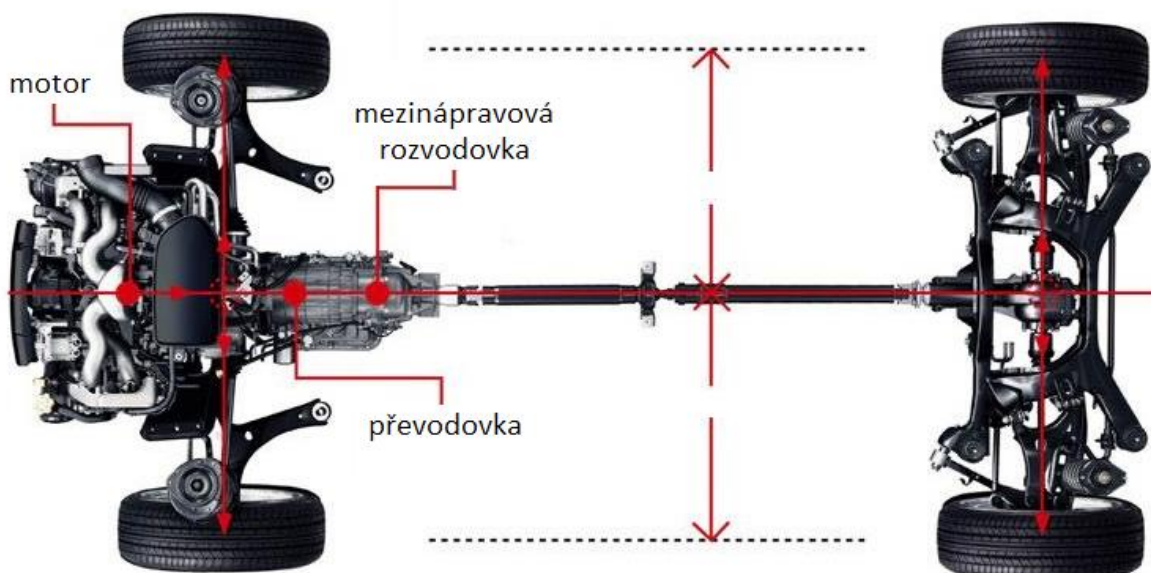


6.6 SUBARU - SYMMETRICAL ALL WHEEL DRIVE

Tato japonská automobilka se roku 1972 stala prvním výrobcem, který nabízel pohon všech kol v osobním automobilu. Jednalo se o vůz Leone 4WD Station Wagon. A i když tato světová premiéra nesklidila velký úspěch a Leone se nikdy nestal populárním, dnes se Subaru řadí mezi vyhlášené výrobce silničních automobilů s pohonem 4x4. Subaru je známo tím, že většinu svých modelů vybavuje již v základní verzi stálým pohonem všech kol. Dnes se u velké většiny modelů jedná o systém s názvem Symmetrical All Wheel Drive [6].

6.6.1 SYMMETRICAL ALL WHEEL DRIVE (SAWD)

Prvním vozem vybaveným systémem SAWD se stal roku 1987 vůz Subaru XT. Název Symmetrical All Wheel Drive nevznikl náhodou. Jak je možné vidět na obr. 6.7, má tento systém zcela symetrické uspořádání, což činí vůz dobře vyváženým a stabilnějším. I když označení AWD připadá systémům s přiřaditelným pohonem všech kol, má SAWD hnané obě nápravy trvale. Konstrukce pohonu se u jednotlivých modelů lehce odlišují, ale společný znak, tj. symetrické uspořádání, zůstává zachován [78].



Obr. 6.6 Symetrické uspořádání pohonného ústrojí vozů Subaru [79]

Zvláště vyhlášené jsou pak „ostré čtyřkolky“ Subaru určené do běžného provozu. V této kategorii vyniká vůz s dlouholetou zkušeností v závodech rallye - Subaru Impreza.

6.6.2 IMPREZA, LEGACY, OUTBACK, FORESTER

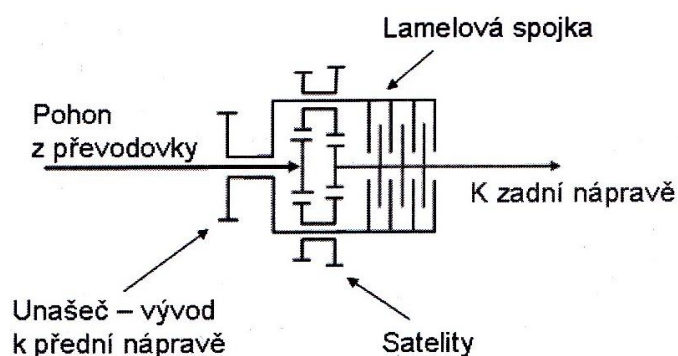
Modely Impreza, Legacy, Outback a Forester využívají společnou konstrukci systému SAWD. Mezinápravový diferenciál je osazen viskózní spojkou. Spojka propojuje klec diferenciálu s planetovým kolem, připojeným ke hřídeli zadní nápravy. Nápravové rozvodovky jsou tvořeny kuželovým stálým převodem a kuželovým diferenciálem. Vozy jsou vybaveny redukcí s volitelným převodovým poměrem 1.45:1 nebo 1.2:1 [1].



U modelů Impreza WRX, Outback a Forester se v případě využití automatické převodovky mění konstrukční řešení mezinápravové rozvodovky tak, že se přední a zadní náprava propojí pomocí elektronicky řízené lamelové spojky anebo se využije systém VDC [1].

VDC (VEHICLE DYNAMICS CONTROL)

Systém je součástí automatické převodovky a je tvořen čelním mezinápravovým diferenciálem s elektronicky ovládanou lamelovou spojkou (obr. 6.8). Během běžné jízdy diferenciál rozděluje moment mezi přední a zadní nápravu v poměru 36,6:63,4. Tlakový olej pro ovládání lamelové spojky je dodáván zubovým čerpadlem, které je poháněno motorem vozu. Velikost tlaku, působícího na spojku, a tudíž i poměr v jakém bude rozdělen točivým moment mezi obě nápravy, určuje řídicí systém na základě dat přicházejících se senzorů umístěných na vozidle. Snímány jsou otáčky motoru, úhel natočení volantu, poloha brzdového pedálu a hodnota převodového stupně. Řídicí systém dále podle potřeby přibrzdí jednotlivá kola [1, 80].

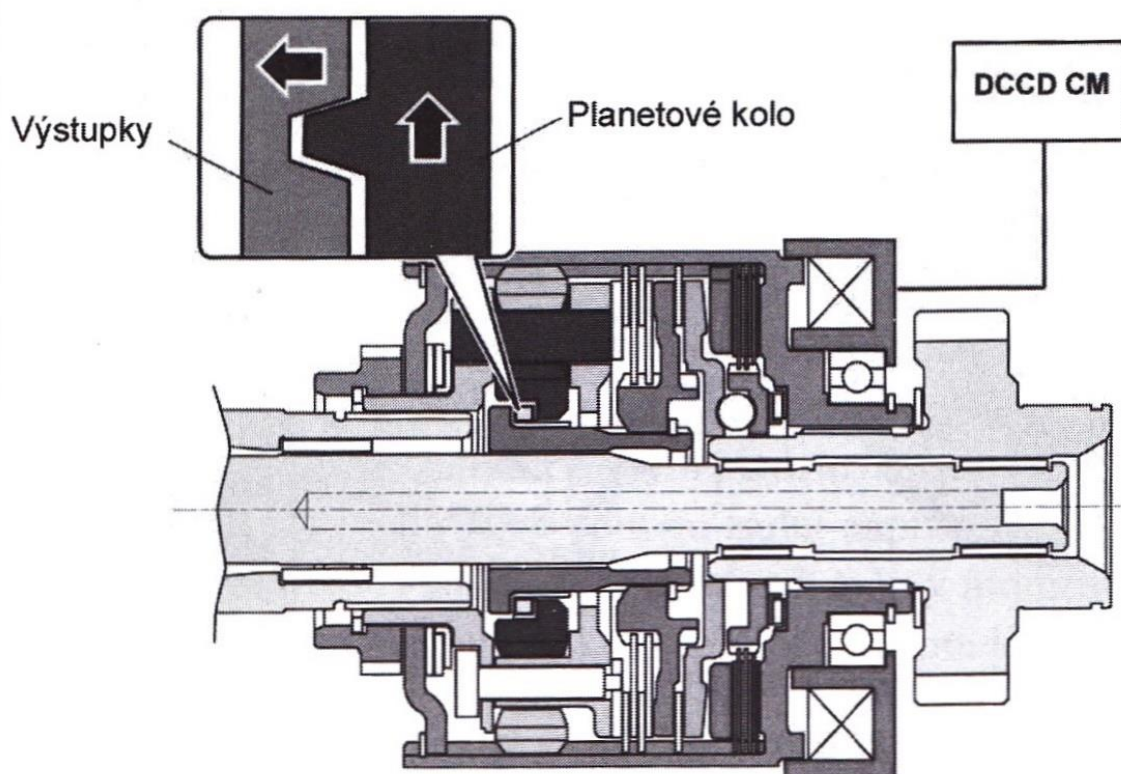


Obr. 6.7 Schéma mezinápravového diferenciálu využívající systém VDC [1]

DCCD (DRIVER CONTROL CENTER DIFFERENTIAL)

Od roku 2004 je vůz Impreza WRX STI vybaven systémem DCCD. Mezinápravový diferenciál opět využívá čelní ozubení a rozděluje moment v poměru 41:59 [81].

Navíc je diferenciál vybaven dvěma systémy závěru diferenciálu. Jeden z nich se ovládá mechanicky a druhý elektromagneticky. Oba dva systémy umožňují diferenciál zcela uzamknout. Uzávěry využívají lamelovou spojku. Při aktivaci mechanického závěru se přitiskne objímka se zkosenými výstupky na kotouč připojený k lamelové spojkě (obr. 6.10). Kotouč je vybaven drážkami, do kterých zapadají výstupy objímky. Jelikož je objímka spojena s jedním výstupným hřídelem a kotouč s druhým, dojde při vzniku rozdílu v rychlosti otáčení náprav k vzájemnému pohybu součástí závěru. Výstupky v drážkách pohybu brání a odtlačují kotouč od objímky, což vyvolává tlak na lamely spojky a zvyšuje svornost diferenciálu [1, 81, 82].



Obr. 6.8 Mezinápravový diferenciál s aktivovaným mechanickým závěrem [1]

Elektromagnetický závěr je tvořen cívkou a elektromagnetickým kotoučem doléhajícím na lamelovou spojku. V případě potřeby je do cívky přiváděn proud, který kolem ní indukuje magnetické pole. Toto pole působí na elektromagnetický kotouč, který začne vyvolávat tlak na lamely spojky. Sílu magnetického pole a tím i svornost diferenciálu lze jednoduše ovlivnit velikostí přivedeného proudu. Tok proudu je řízen řídicí jednotkou na základě informací ze senzorů otáček kol, polohy škrtecí klapky, natočení volantu, bočního zrychlení atd. V případě, že by došlo k náhlé změně rozdílu otáček náprav, nemusel by elektromagnetický systém včas zareagovat. Proto je uzávěr vybaven také kuličkovým vačkovým mechanismem, který pracuje na stejném principu jako mechanismus samosvorného diferenciálu s třecí lamelovou spojkou [1, 81].

Jelikož model WRX STI vychází z rallye speciálu, je jeho hlavním posláním umožnit maximální zážitek z jízdy. Řidič tedy může sám rozhodovat o rozdělení točivého momentu mezi nápravy. K tomuto účelu je vůz vybaven přepínačem, který umožňuje manuální nastavení jednoho ze šesti přednastavených poměrů, v jakém bude moment rozdělován. Je tak možno převést veškerý točivý moment jen na jednu nápravu a to buď přední, nebo zadní [81].



6.7 MITSUBISHI

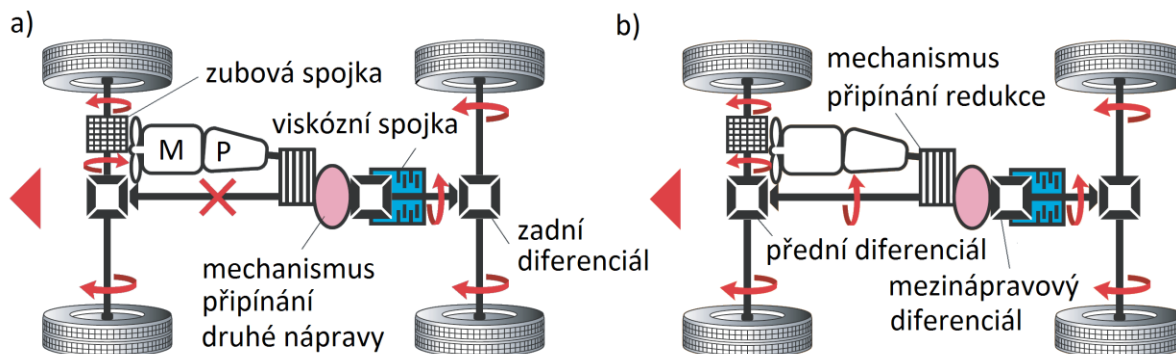
Tato japonská automobilka má s pohonem všech kol velmi bohaté zkušenosti. Již roku 1934 uvedlo Mitsubishi jako první automobilka v Japonsku do nabídky osobní vůz s pohonem 4x4. Jednalo se o kabriolet PX 33 [83].

Dnes Mitsubishi ve svých vozech využívá hned několik systémů pohonu všech kol. Automobilka pro své modely často využívala přiřaditelný pohon všech kol s manuálním spínáním, které bylo možno připnout jen za klidu, ale s postupujícím vývojem začala být využívána i varianta s možností připnutí za jízdy (systém Easy Select 4WD, SS4-i) [17].

6.7.1 SUPER SELECT 4WD (SS4)

Systém Super Select 4WD se také řadí mezi manuálně přiřaditelné pohony všech kol. Přední nápravu lze díky synchronizaci připojit až do rychlosti 100 km/h. Na ovládacím panelu lze přepínat mezi polohami 2H, 4H, 4LHc a 4LLc. 2H označuje jízdu pouze s jednou hnanou nápravou, zatímco 4H představuje pohon všech kol s rozdělením točivého momentu v poměru 50:50, který se v případě potřeby mění. Zkratka 4LHc označuje pohon všech kol s uzamknutým mezinápravovým diferenciálem. Po přepnutí do polohy 4LLc je moment přiváděn k nápravám přes redukční převodovku s převodovým poměrem 1.925:1. Diferenciál je v tomto režimu uzamknutý [17].

Mezinápravový diferenciál je kuželový s viskózní spojkou. Zadní rozvodovka obsahuje diferenciál samosvorný [17].



Obr. 6.9 Schéma systému SS4 v režimu pohonu: a) jedné nápravy, b) všech kol [17]

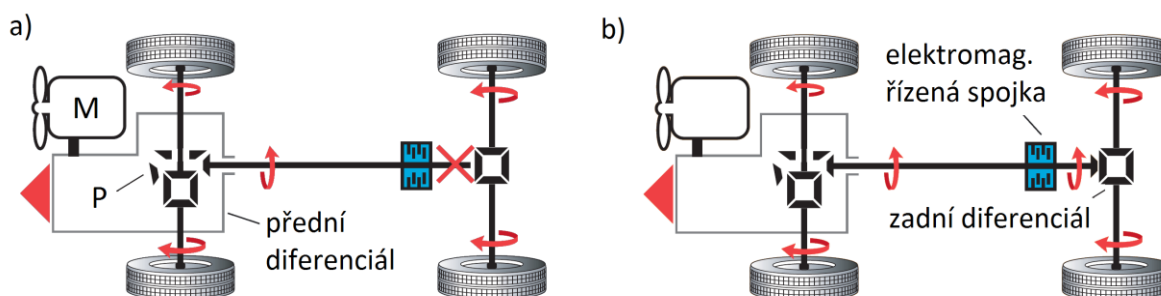
Druhá generace tohoto systému, označovaná jako SS4-II, již má elektronicky řízenou mezinápravovou rozvodovku. V režimu 4H přichází točivý moment mezi přední a zadní nápravu primárně v poměru 33:67. Poměr se automaticky mění v závislosti na stavu vozovky až na hodnotu 50:50 [17].

6.7.2 SYSTÉM ELEKTROMAGNETICKY OVLÁDANÉ SPOJKY

Elektromagneticky ovládanou spojku využívá Mitsubishi u SUV a Crossoverů. Systém je opět vybaven přepínačem v kabině vozu, který umožňuje volit mezi pohonem jedné, většinou zadní nápravy - 2WD, nebo pohonem všech kol – 4WD AUTO nebo 4WD LOCK. V režimu AUTO je rozdělování momentu mezi přední a zadní nápravu zcela ovlivňováno řídicí jednotkou v rozmezí poměrů 100:0 % až 50:50 %. Ta reguluje tlak, působící na lamelovou spojku.



Režim 4WD LOCK částečně omezuje řídicí jednotku a ta tak permanentně dodává více momentu k zadní nápravě, což je vhodné při jízdě v obtížném terénu [17].



Obr. 6.10 Schéma systému s elektromagneticky ovládanou spojkou v režimu pohonu: a) jedné nápravy, b) všech kol [17]

6.7.3 SYSTÉM STÁLÉHO POHONU VŠECH ČTYŘ KOL

Mitsubishi ve svých modelech také využívá permanentní pohon všech kol. Řidič je tak ušetřen přepínání druhé nápravy v případě potřeby, ovšem na úkor vyšší spotřeby paliva. Jedním z modelů, využívajících tento pohon, je vůz s bohatými rally zkušenostmi - Mitsubishi Lancer Evolution [17].

První model se jménem Lancer spatřil světlo světa již v roce 1973, ovšem až roku 1992 se dostala do širokého povědomí verze s označením Evolution a to díky vstupu do závodů rallye. Dnes existuje již desátá generace tohoto vozu se závodními kořeny [83].

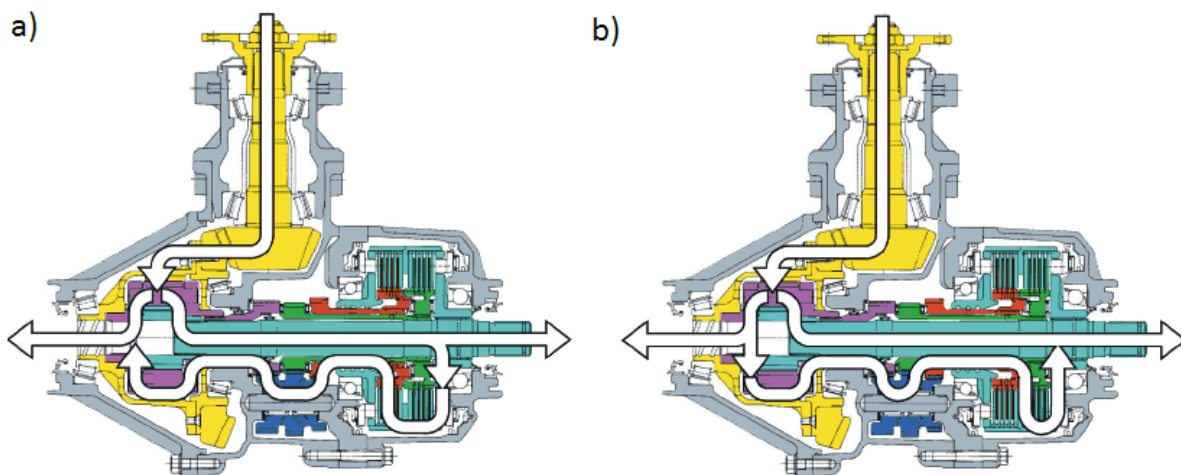
U VIII.-IX. generace je použit elektricky ovládaný mezinápravový diferenciál, který přesně rozděluje moment mezi nápravy. Řidič má na výběr ze tří režimů – sníh, asfalt a šterk, které ovlivňují chování řídicí jednotky diferenciálu [84].

SUPER ALL WHEEL CONTROL (S-AWC)

X. generace vozu Lancer Evolution je vybavena systémem s názvem Super All Wheel Control. S-AWC propojuje běžně užívané elektronické systémy ABS, ASC, ACD a AYC v jednu spolupracující jednotku [17, 85].

ABS zabraňuje zablokování kola při brzdění a ASC zabraňuje protáčení kol tím, že automaticky reguluje výkon motoru a tím i velikost točivého momentu, přicházejícího na kola.

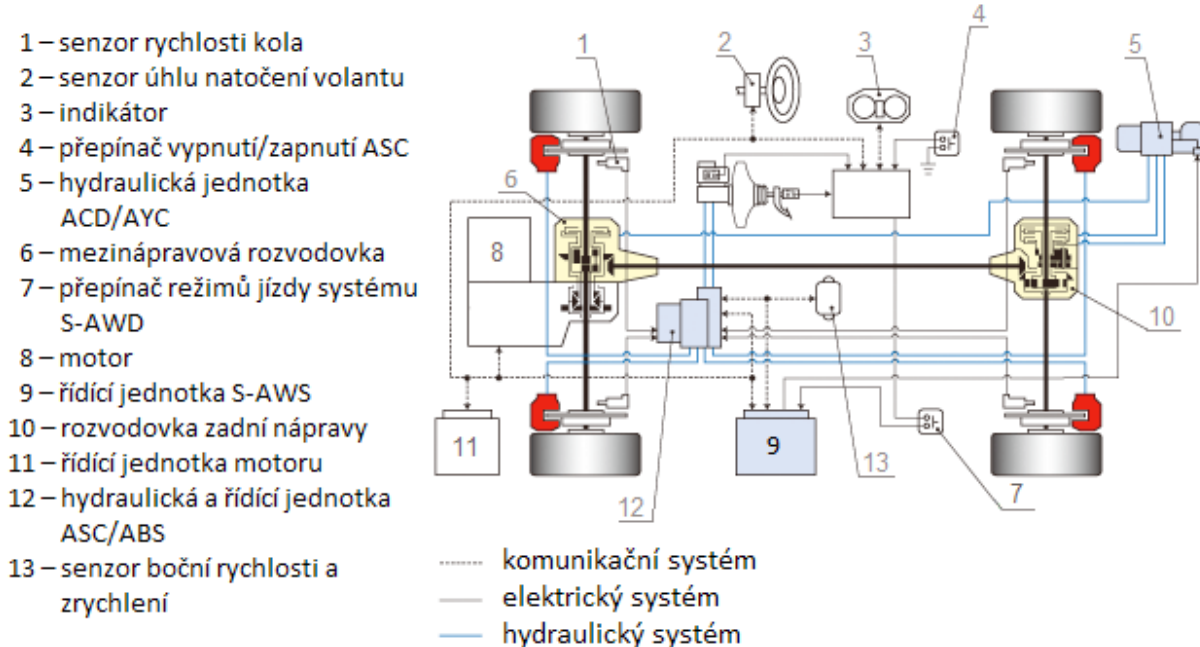
Systém AYC (Active Yaw Control) podle potřeby upravuje rychlost jednotlivých kol nápravy. K tomuto účelu využívá nápravovou rozvodovku s kuželovým diferenciálem a planetovou redukční převodovkou, která se připojuje pomocí dvou vícelamelových spojek (obr. 6.12). Obě spojky mají vnější paket lamel připojen k výstupnímu hřídeli pravého kola. Převodovka pracuje jako rychloběh nebo redukce v závislosti na tom, která spojka je sepnuta. Pokud dojde k sepnutí pravé spojky, funguje převodovka jako rychloběh a dodává na pravé kolo větší část točivého momentu a naopak [1, 17, 85].



Obr. 6.11 Schéma diferenciálu AYC při sepnuté spojce a) pravé, b) levé [86]

U nové generace tohoto systému s označením S-AYC (Super Active Yaw Control) byl nahrazen kuželový diferenciál diferenciálem čelním [86].

Zkratka ACD označuje aktivní centrální (mezinápravový) diferenciál. Diferenciál je kuželový, vybavený hydraulicky ovládanou vícelamelovou spojkou. Řídící jednotka systém ACD rozděljuje prostřednictvím spojky moment v ideálním poměru mezi přední a zadní nápravu [87].



Obr. 6.12 Schéma systému S-AWC [85]

Stejně jako u většiny automobilek jsou i všechny konstrukční typy pohonů Mitsubishi dále doplněny různými pomocnými systémy, které například přibrzdí jednotlivá kola nebo řídí průběh jízdy z kopce a do kopce. Tyto systémy jsou ovládané elektronickou řídicí jednotkou pomocí množství různých senzorů [17].



6.8 JEEP

Název této americké automobilky je v dnešní době často užíván jako synonymum pro terénní automobily s pohonem všech kol. Jeep zůstal po celou dobu své existence věrný tradici výroby terénních aut a všechny jeho modely se tak mohou chlubit vynikajícími vlastnostmi při jízdě v náročných podmínkách.

Jeep dnes u svých vozidel využívá hned několik rozdílných konstrukčních řešení pohonu všech kol. Nejpoužívanějšími jsou systémy Quadra-Drive, Quadra-Trac a Command-Trac. Dále tento výrobce automobilů využívá systémy s označením Active Drive, Rock-Trac a Freedom Drive [88].

6.8.1 COMMAND-TRAC

Historie moderních pohonů u značky Jeep se začala psát roku 1980, kdy byla představena první generace systému Command-Trac.

Command-Trac se řadí mezi systémy s manuálně přiřaditelným pohonem všech kol. Primárně jsou poháněna zadní kola a řidič sám rozhoduje, kdy připojí přední nápravu pomocí přepínače v kabině vozu. Po aktivaci pohonu všech kol dojde v mezinápravové rozvodovce k propojení výstupního hřídele zadní nápravy s hřídelem pohonu předních kol a moment je rozdělován v poměru 50:50. Tato konstrukce neumožňuje rozdělování momentu mezi nápravy v jiném poměru, což může vést k prokluzu jedné nápravy. Proto by měl být tento systém využíván jen jako pomoc v obtížném terénu při nízkých rychlostech jízdy a není vhodné jej využívat při běžné jízdě. Jeep se tedy i v 80. letech dále specializoval především na jízdu v obtížném terénu, než na zlepšování jízdních vlastností při jízdě po silnici, jako tomu bylo u konkurenčních automobilek [1].

Nápravové diferenciály modelů se systémem Command-Trac jsou vybaveny systémem BLD (Brake Lock Differential). Systém nahrazuje mechanickou uzávěrku diferenciálu a pracuje na stejném principu jako systém DSC. Vůz má na každém kole umístěn snímač rychlosti otáčení. Řídicí systém neustále vyhodnocuje údaje ze snímačů, a pokud zaznamená sebemenší rozdíl v rychlostech kol jedné nápravy, rychlejší kolo přibrzdí. Nevýhoda tohoto systému spočívá ve faktu, že při přibrzdění jednoho kola se energie mění na nevyužitě teplo a brzdy se více opotřebovávají [89].

Jelikož se všechny Jeepy řadí mezi terénní vozy, mohou být i modely, primárně konstruované pro každodenní jízdu po běžných silnicích, přepnuty do režimu 4-low range (4L). Jedná se o pohon všech kol s redukcí. Vůz je vybaven jednostupňovou převodovkou s převodovým poměrem 2.72:1. V případě aktivace režimu 4L je na kola přiváděn 2.72-krát větší točivý moment, než při běžné jízdě a jejich rychlost se sníží o násobek stejné hodnoty. Současně se k pohonnému ústrojí připojí přední náprava. Tento režim je vhodný jen a pouze do obtížného terénu, kde je potřeba vysoký točivý moment pro překonání překážek při nízké rychlosti jízdy [1, 88].

6.8.2 QUADRA-TRAC

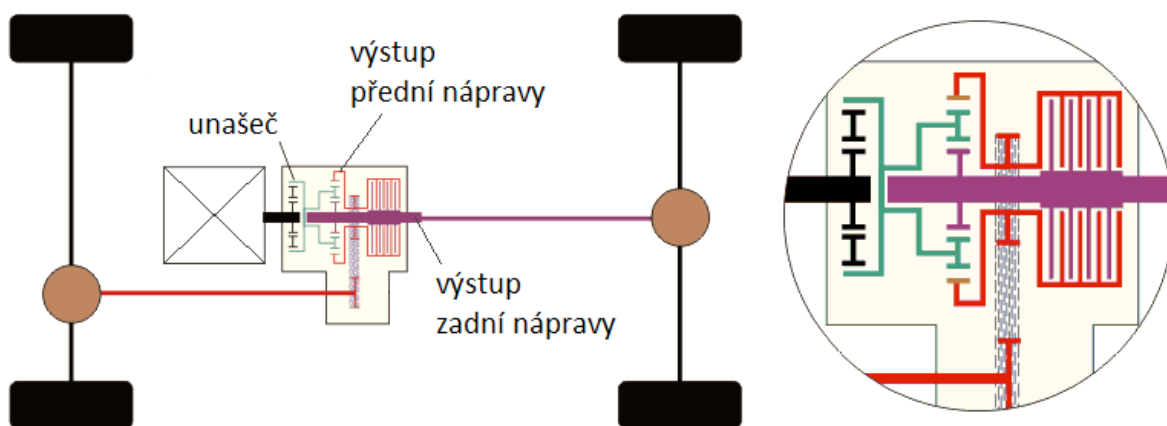
Jedná se o permanentní pohon všech kol, využívaný zejména v modelech Grand Cherokee. Systém je oblíbený pro svou nenáročnou obsluhu. Řidič může přepínat mezi výchozím pohonem všech kol (4 ALL Time), neutrálem (N) a pohonem všech kol s redukcí (4L). Při běžné jízdě se využívá mód 4 ALL Time [1, 88].



QUADRA-TRAC I

Mezinápravová rozvodovka první generace systému Quadra-Trac obsahuje stálý převod s čelním ozubením a čelní diferenciál (obr. 6.14). Točivým momentem motoru je pomocí stálého převodu přiváděn k unašeči. Unašeč je propojen s hřídeli obou náprav, které jsou navzájem propojeny pomocí viskózní spojky. Při jízdě po zpevněném povrchu se oba hřídele otáčejí stejnou rychlostí a spojka je rozepnutá. Točivý moment je dodáván na přední a zadní nápravu v poměru 48:52 %. Pokud ovšem dojde k prokluzu jedné nápravy, budou otáčky hřídelů rozdílné a mezi lamelami a olejem spojky začne vznikat tření, zvyšující svornost mezinápravového diferenciálu [1].

Kuželové nápravové diferenciály využívají systém BLC jako náhradu za závěr diferenciálu. Redukční převodovka, využívaná při jízdě v režimu 4L, je řešena pomocí čelního planetového převodu [88].

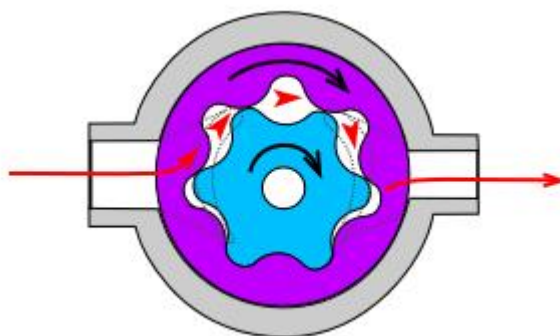


Obr. 6.13 Schéma pohonu a mezinápravové rozvodovky [90]

Roku 1996 se konstrukce systému lehce upravila. Mezinápravový diferenciál byl zcela zastoupen viskózní spojkou [1].

QUADRA-TRAC II

Zásadní vylepšení tohoto systému přišlo roku 1999. Hlavní částí mezinápravové rozvodovky druhé generace Quadra-Tracu je vícelamelová spojka, která spojuje oba výstupní hřídele. Ke spojce je připojeno excentrické zubové čerpadlo, skládající se z jednoho kola s vnitřním ozubením a druhého kola s ozubením vnějším (obr. 6.15). Každé kolo je spojeno s jedním výstupním hřídelem rozvodovky, takže je čerpadlo v případě rozdílných otáček náprav ihned aktivováno. Takový olej je pomocí čerpadla přiváděn k soustavě pístů, které přitlačují lamely spojky k sobě. Tlak na písty je regulován pomocí přepouštěcího ventilu [1].



Obr. 6.14 Schéma excentrického zubového čerpadla [91]

Tato viskózní spojka s čerpadlem je od modelového roku 2005 montována i do nápravových rozvodovek vozů Cherokee. Před touto konstrukční úpravou byl kuželový diferenciál přední i zadní nápravy systému Quadra-Trac II opatřen z každé strany jednou viskózní spojkou. Tato soustava diferenciálu a viskózních spojek nesla označení Trac-Lok [1].

Při přepnutí jízdního módu ze 4 ALL Time na pohon všech kol s redukcí, je točivým moment mezi nápravami rozdělován pomocí čelního planetového převodu s převodovým poměrem 2.72:1 [88].

6.8.3 QUADRA-DRIVE

Quadra-Drive je principiálně velmi podobný systému Quadra-Trac. O jízdním módu opět rozhoduje řidič pomocí přepínače v kabině vozu a na výběr má z módů 4 ALL Time, N nebo 4L [88].

QUADRA-DRIVE I

Tento systém představený roku 1999, využívá stejnou rozdělovací převodovku jako systém Quadra-Trac druhé generace. Moment mezi koly obou náprav rozdělují diferenciály s hydraulicky ovládanou vícelamelovou spojkou s názvem Vari-Lok [1].

QUADRA-DRIVE II

Premiéra této nové generace proběhla v roce 2005. Mezinápravový diferenciál primárně rozděljuje točivý moment na přední a zadní nápravu v poměru 48:52 %. Je vybaven lamelovou spojkou, která v případě potřeby zvyšuje svornost diferenciálu. Spojka je řízena elektromechanicky pomocí řídicí jednotky. Stejně jako v případě systému Quadra-Trac, je systém Quadra-Drive II vybaven redukční převodovkou s převodovým poměrem 2.72:1. Na rozdíl od první generace, jsou nápravové diferenciály ovládané elektronicky pomocí systému BLD [1].



6.9 LAND ROVER

Britský Land Rover dnes spolu s Jeepem patří mezi ikony terénních automobilů. Nejznámější automobil této značky nese stejné označení jako samotná britská automobilka. Prototyp vznikl roku 1947 právě jako konkurent rozšířenému Jeepu. Land Rover byl vyráběn celkem ve třech generacích pod označením Series I (1948-57), Series II (1958-61) a Series III (1971-85) a stal se velmi úspěšným terénním vozem [43, 92].

Jelikož Land Rover produkuje pouze terénní vozy s pohonem všech kol, je konstrukce pohonu u jednotlivých modelů rozdílná, na rozdíl od automobilek, specializujících se na silniční vozy, které využívají stejný systém hned pro několik modelových řad.

6.9.1 DEFENDER

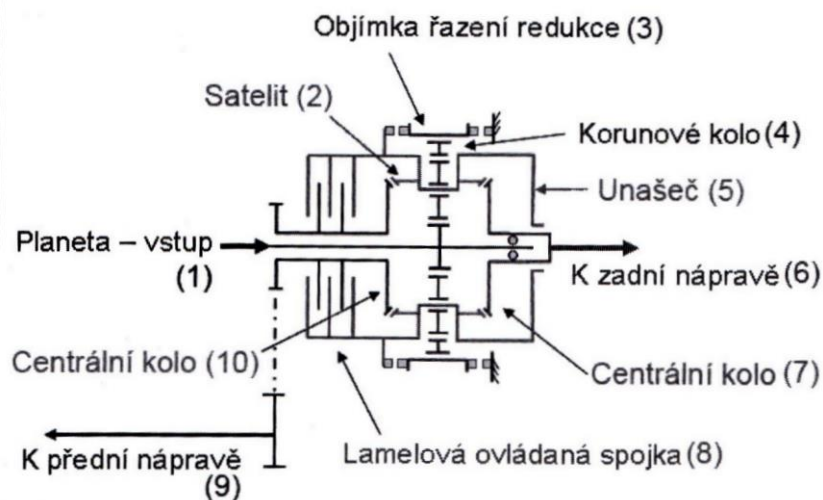
Model Defender byl veřejnosti představen na podzim roku 1989 a je vyráběn dodnes. Vznikl modernizací poslední generace modelu Land Rover. Defender se řadí mezi vozy s permanentním pohonem všech kol. Ze všech modelů, které automobilka v současnosti nabízí, je Defender nejlépe uzpůsoben pro jízdu těžkým terénem, z čehož vyplývá i jeho jednodušší konstrukce [43].

Motor je u tohoto modelu uložen podélně. Poslední generace Defenderu je vybavena kuželovým mezinápravovým diferenciálem se závěrem. Závěr je řešen objímkou a spíná se manuálně. Součástí mezinápravového diferenciálu je i planetová redukční převodovka s převodovým poměrem 1.41:1 nebo 3.33:1, která se manuálně přepíná pomocí zubové spojky [1].

6.9.2 DISCOVERY

První generace vozu Discovery byla představena stejného roku jako první model Defender. Opět se jedná o vůz s permanentním pohonem 4x4. Do roku 2005 se již můžeme setkat se třetí generací Land Roveru Discovery. Ten, stejně jako předchozí generace, využívá kuželový mezinápravový diferenciál vybavený planetovou redukční převodovkou. Ovšem na rozdíl od Discovery I a II je u třetí generace použita ojedinělá konstrukce mezinápravové rozvodovky, která zvyšuje její kompaktnost [1, 92].

Schéma této konstrukce je zobrazeno na obr. 6.16. Diferenciál je tvořen dutým hřídelem, na jehož protilehlých koncích se nachází řetězové kolo vývodu pohonu k přední nápravě (9) a centrální kolo diferenciálu (10). Centrální kolo diferenciálu zabírá se satelity (2). U této poměrně raritní konstrukce prochází unašeč redukční převodovky (5) místem, kde je běžně umístěn čep satelitů. Satelity jsou spojeny s centrálním kolem výstupu k zadní nápravě (7). Dutým hřídelem prochází vstupní hřídel planetové převodovky (1), který je osazen planetovým kolem redukční převodovky, které se nachází uvnitř kuželového diferenciálu. Výstupním členem planetového soukolí redukce je unašeč. Redukční převodovka se připojuje pomocí objímky spojené s korunovým kolem (4). Pokud je objímka přesunuta vlevo, je pevně spojen unašeč a korunové kolo, což způsobí, že se soukolí začne pohybovat jako jeden celek a k redukci nedojde. Je-li přesunuta objímka napravo, spojí se korunové kolo s pevnou skříní rozvodovky, což způsobí jeho zastavení a dojde k redukci momentu v poměru 2.93:1. Schéma obsahuje i lamelovou spojku. Ta zvyšuje svornost diferenciálu a je řízena stejně, jako lamelová spojka systému xDrive od BMW, ale navíc obsahuje další vačku pro řazení redukce [1].



Obr. 6.15 Schéma konstrukce mezinápravového diferenciálu vozu Land Rover Discovery III [1]

Středový tunel vozu je vybaven ovládacím panelem pohonu všech kol. Ten je spojen se všemi řídicími jednotkami a umožňuje tak zapírání popř. vypínání asistenčních systémů nebo nastavení jejich vlastností. Discovery poskytuje v tomto směru velkou volnost a řidič si tak může nastavit vlastnosti vozu přesně podle potřeby [1, 92].

Zadní náprava je vybavena elektromechanicky ovládaným diferenciálem s vačkovým mechanismem s kuličkou. Základ tvoří klasický kuželový diferenciál, k jehož jednomu planetovému kolu jsou připojeny vnitřní lamely lamelové spojky a ke kleci jsou připojeny lamely vnější. Vačkový mechanismus s kuličkou je tvořen dvěma kotouči, z nichž jeden je uložen pevně. Druhý se může v axiálním směru pohybovat a je připojen k lamelové spojce. Kotouče mají speciálně tvarované drážky, ve kterých je umístěna kulička. Stejně tvarovanou vačku využívá i systém xDrive. Jeden kotouč je pomocí elektronicky řízeného motoru natáčen vůči druhému, což způsobí, že se mezery, tvořené drážkami v kotoučích, začnou zmenšovat a díky kuličkám se pohyblivě uložený kotouč začne pohybovat v axiálním směru. Vyvolá tak tlak na lamely spojky, čím zvyšuje svornost diferenciálu. Elektromotor je řízen řídicí jednotkou na základě dat ze senzorů otáček kol, teploty oleje a dalších senzorů [1].



ZÁVĚR

Účelem této rešeršní bakalářské práce bylo popsat historický vývoj pohonu všech kol u osobních vozů, shrnout jeho výhody a nevýhody a popsat nejběžněji využívané systémy a konstrukční součásti toho pohonu.

Začátek je věnován stručné historii tohoto automobilového odvětví od prvních méně úspěšných pokusů o sestrojení osobního automobilu s pohonem všech kol, přes válečný rozmach Jeepu, až k legendárnímu vozu Audi Quattro, který rozpoutal revoluci ve vývoji a položil základy pro moderní systémy pohonu všech kol u osobních vozidel.

Druhá kapitola je zaměřena na srovnání jednotlivých koncepcí pohonu využívaných u osobních aut. Jsou zde uvedeny výhody a nevýhody pohonu všech kol ve srovnání s pohonem jedné nápravy a jejich detailní rozbor. Z uvedených informací jasně vyplývá, že jedinou nevýhodou pohonu všech kol na rozdíl od pohonu pouze jedné nápravy je hledisko ekonomické. Vyšší je pořizovací cena vozu i následný provoz a údržba. Ovšem toto hledisko je zcela zastíněno lepšími jízdními vlastnostmi a menší náchylností ke ztrátě trakce při zhoršených jízdních podmínkách a tím i vyšší bezpečností.

Následující kapitoly podrobně popisují základní konstrukční prvky, jejich modifikace a elektronické řídicí systémy využívané v tomto automobilovém odvětví. Konstrukce pohonu všech kol obsahuje na rozdíl od vozu s jednou hnanou nápravou větší množství mechanických součástí. Kromě nápravových rozvodovek jsou to rozvodovky mezinápravové, lamelové spojky a zubové spojky v různorodých provedeních. U moderních systémů je již většina těchto součástí řízena pomocí elektronických řídicích jednotek, které zajišťují přesné a včasné reakce na změnu jízdních podmínek a maximálně tak zvyšují jízdní komfort i bezpečnost.

Následuje přehled nejběžněji využívaných koncepcí pohonu všech kol. Základní dělení je na stálý a přiřaditelný pohon. Obě tyto skupiny se dále dělí na několik podskupin podle typu konstrukce.

Poslední část této práce je věnována nejvýznamnějším automobilovým výrobcům v oblasti osobních vozidel s pohonem všech kol a jedinečné konstrukci jejich pohonných systémů a to od prvních vývojových kroků až po současnost. Automobilky neustále vyvíjejí a zdokonalují své mechanické a hydraulické systémy, které jsou dnes většinou zcela řízeny elektronicky. A i když tyto systémy vycházejí ze stejných základních koncepcí, navzájem se liší originálními přístupy ke konstrukci jednotlivých součástí pohonu. Každý systém má své klady i drobné zápory, které jej dělají jedinečným, tudíž nelze s jistotou říci, který systém je lepší a který horší. Při výběru nového vozu s pohonem všech kol tedy hraje největší roli subjektivní pohled budoucího majitele.

I když dnes tyto systémy pohonu plní svou funkci velmi dobře, mnoho z nich bylo navrženo v dobách, kdy byly prioritní pouze jízdní vlastnosti a některé tak zhoršují ekonomiku provozu díky využívání tření nebo přibrzdování jednotlivých kol. V nejbližší době se tedy dá očekávat další vývoj v této oblasti a rozšíření těchto technologií i do vozů nižších cenových kategorií.

Nejpravděpodobnější cestou budoucího dlouhodobějšího vývoje v odvětví pohonu všech kol se již vydalo Audi se systémem e-quattro, který využívá k pohonu automobilu elektromotory a spalovací motor slouží pouze k výrobě elektrické energie. E-quattro využívá dva elektromotory, každý pro jednu nápravu. Dnes, jak vyplývá z mé práce, je hlavní snahou většiny auto-



mobilek co nejpřesněji řídit hodnotu točivého momentu přicházejícího na jednotlivá kola, tudíž by bylo v budoucnu nejvýhodnější pohánět každé kolo vlastním elektromotorem. Hodnotu točivého momentu, přicházejícího na jednotlivá kola, by tak bylo možno velmi efektivně a snadno regulovat změnou otáček příslušného elektromotoru.

Další výhodou při využívání elektromotorů je výrazné zjednodušení pohonného systému a navíc lze zvyšovat účinnost celého systému rekuperací kinetické energie při brzdění. Elektromotory mohou využívat také energii z akumulátorů, ale jejich výroba je stále finančně i ekologicky náročná a poměr kapacity ke hmotnosti a velikosti nedosahuje požadovaných hodnot, takže dokud nebude vynalezen výhodnější systém uchovávání elektrické energie, bude snadou využívat spíše jiný zdroj.

Protože nevýhodou spalovacího motoru je nízká účinnost a také je stále více kladen důraz na ekologické hledisko provozu, jeví se do budoucna jako optimální zdroj elektrické energie vodíkový palivový článek. Jeho konstrukce je jednodušší, má vyšší účinnost a odpadním produktem reakce je obyčejná voda. V této oblasti momentálně probíhá intenzivní vývoj.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ACHTENOVÁ, Gabriela a Vladislav TŮMA. *Vozidla s pohonem všech kol*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-236-7.
- [2] Jan Sajdl. 4WD (Four-Wheel Drive). *Autolexicon.net*. [online]. 26.03.2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/4wd-four-wheel-drive/>
- [3] Jindřich Lasík. Světová prvenství firmy Spyker (I). *Autoperiskop*. [online]. 7.6.2001 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://autoperiskop.cz/svetova-prvenstvi-firmy-spyker-i/>
- [4] Luis Diego Aguirreurreta. Willys. *Pinterest*. [online]. 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <https://www.pinterest.com/pin/514817801126699541/>
- [5] LA HISTORIA DEL JEEP A TRAVÉS DE LOS AÑOS. *Mdhombre.com.co*. [online]. 18.6.2012 [cit. 1970-01-01]. Dostupné z: <http://mdhombre.com.co/2012/06/18/la-historia-del-jeep-a-traves-de-los-anos/>
- [6] Rok 1972 – Subaru Leone 4WD Station Wagon. AWD. [online]. ©2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.awd.cz/rok-1972-subaru-leone-4wd-station-wagon>
- [7] Historie, závodní úspěchy a technické specifikace vozů. *Audiklub.cz*. [online]. ©2006-2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://audiklub.cz/audiwiki>
- [8] Jan Sajdl. Audi 80 quattro. *Autolexicon.net*. [online]. 27.4.2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/quattro/>
- [9] Dalibor Žák. Jak funguje pohon všech kol 4×4 a jaké jsou jeho typy. *Autoweb*. [online]. 19.3.2013 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.autoweb.cz/jak-funguje-pohon-vsech-kol-4x4-a-jake-jsou-jeho-typy/>
- [10] Tomáš Čanda. TopDrive návod pro řidiče – jak přežít zimu. *TopDrive*. [online]. 24.11.2011 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://vnexpress.net/tin-tuc/oto-xe-may/tu-van/khac-biet-giua-oversteer-va-understeer-3086344.html>
- [11] SMITH, Fergus a Petra ŠMÍDOVÁ. *Praktický průvodce světem 4x4*. Praha: EURO-TRAX s.r.o., 1999. ISBN 80-238-4591-8.
- [12] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Výkladový automobilový slovník*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-986-0.
- [13] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
- [14] Převodné ústrojí – hlavní části. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://e-bookbrowse.net/pri-teo-12-00-prevodneustroji-hlavnicasti-pdf-d225567301>
- [15] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily 2: převody*. 3. vydání. Brno: Avid, 2004. ISBN 978-80-87143-12-4.



- [16] Venus Bevel Gear, India. *Indiamart*. [online]. ©1996-2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.indiamart.com/venus-bevelgear/>
- [17] Mitsubishi-Motors. *Bezpečnostní systémy podvozku a systémy 4WD vozů Mitsubishi*. [online]. 2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.cz/mode-ly/katalogy/prirucka-4wd.pdf>
- [18] Ivan Novotný. Diferenciál, jak vlastně funguje?. *AUTOREVUE.CZ*. [online]. 10.12.2006 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/diferencial-jak-vlastne-funguje_4
- [19] Prevodovka 3. *ŠkodaRallyClub*. [online]. 14.11.2008 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.skodarallyclub.estranky.sk/clanky/spojka-a-prevodovka/prevodovka-3.html>
- [20] Ausgleichgetriebe (Differential). *Oldtimers im fokus*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.oldtimers-im-fokus.ch/ausgleichgetriebe_differential.html
- [21] Limited Slip Differentials. Club4AG. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://club4ag.com/faq_and_tech_pages/limited_slips_differential_101.htm
- [22] ROZVODOVKY. *Mladý mechanik*. [online]. ©2011 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://mladymechanik.webnode.sk/okruhy/rozvodovky/>
- [23] Torsen Automatically Locking Differential. *All Wheel Driven*. [online]. 26.2.2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.awdwiki.com/en/torsen/>
- [24] Torsen differential. *Audi*. ©2012 [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://m.audi-quattro-highlights.de/en/aqh/Technologies/Torsen-differential>
- [25] Torsen. *T-1 Torque Sensing Differential*. [online]. ©1999 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://torsen.info/files/Torsen%20T-1%20Technical%20Sheet.pdf>
- [26] Torsen Differential. *Schwerkraftbindung*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://schwerkraftbindung.de/moinsen/index.php?id=155>
- [27] TORSEN Traction Differential T-2 (Type 2 or Type B). *TORSEN TRACTION*. [online]. ©1999-2003 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://torsen.info/products/T-2.htm>
- [28] This A Torsen Differential Or An Open Differential. *NUTZ.COM*. [online]. 1.9.2012 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.mx5nutz.com/forum/index.php?showtopic=104651>
- [29] TORSEN Traction Differential T-3 (Type 3 or Type C). *TORSEN TRACTION*. [online]. 19.4.2004 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://torsen.info/products/T-3.htm>
- [30] Case: Torsen 'limited slip' differentieel kan niet functioneren zonder WC/C coating. *Oerlikon Balzers*. [online]. 2006-2010 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bbe/dut/05-company/025-news/news-017.ph>
- [31] monkfish21. *Flickr*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/78879210@N07/>



- [32] GRUPO REDUCTOR Y DIFERENCIAL. *Nitro*. [online]. 30.11.2014 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.nitro.pe/mecanica/11395-grupo-reductor-y-diferencial.html>
- [33] Ralf Pfeife. Visco-Lok. *ArsTechnica*. [online]. 12.4.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.arstechnica.de/index.html?name=http://www.arstechnica.de/auto/differential/bauarten/viscolok.html>
- [34] Układy przeniesienia napędu quady 4×4. *ATV Polska*. [online]. 5.5.2008 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.atvpolska.pl/forum/viewtopic.php?t=10976>
- [35] Как это работает: системы интеллектуального полного привода Haldex. *Автопортал*. [online]. 6.8.2013 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://autoportal.ua/articles/kaketorabotaet/27144.html>
- [36] Luděk Vokáč. Haldex je hodně chytrý pohon všech kol. Má ho octavia i Bugatti Veyron. *AUTOiDNES.cz*. [online]. 10.5.2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/jak-funguje-haldex-pohon-vsech-kol-drs/automoto.aspx?c=A120510_012556_automoto_vok
- [37] Ondřej Láník. Škoda Superb 4×4: S Haldexem 4. generace za polárním kruhem. *AUTO.CZ*. [online]. 30.1.2009 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/skoda-superb-4x4-s-haldexem-4-generace-polarnim-kruhem-5598>
- [38] Lukáš Vaverka. VW Golf 4Motion používá Haldex páté generace, jak s ním jezdí?. *AUTO.CZ*. [online]. 1.2.2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/vw-golf-4motion-pouziva-haldex-pate-generace-nim-jezdi-72675>
- [39] Lukáš Dittrich. Haldex V: co je nového? (doplněno). *AUTOREVUE.CZ*. [online]. 23.3.2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/haldex-v-co-je-noveho-doplneno/ch-47571#articleStart>
- [40] Jan Sajdl. EDS (Elektronische Differenzialsperre). *Autolexicon.net*. [online]. 05.04.2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/eds-elektronische-differenzialsperre/>
- [41] EDS. *Audiklub.cz*. [online]. 9.11.2009 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://audiklub.cz/techwiki/eds>
- [42] Jan Sajdl. DSC (Dynamic Stability Control). *Autolexicon.net*. [online]. 04.04.2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/dsc-dynamic-stability-control/>
- [43] [4x4e] FIALA, Jiří. *Encyklopedie Terénní automobily*. 2. vydání. Praha: Rebo Production CZ spol. s.r.o., 2006. ISBN 80-7234-609-1.
- [44] Jan Sajdl. Quattro. *Autolexicon.net*. [online]. 27. 04. 2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/quattro/>
- [45] 1980: The quattro powertrain and the center differential in the Audi quattro. *Audi*. [online]. ©2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://m.audi-quattro-highlights.de/en/aqh/>



- Technologies/Center-differential/1980-The-quattro-powertrain-and-the-center-differential-in-the-Audi-quattro2*
- [46] ROBSON, Graham. *Audi Quattro*. Dorchester: Veloce Publishing Ltd., 2005. 978-1-84584-141-6.
- [47] Quattro Evolutions. *All Wheel Driven*. [online]. 20.8.2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.awdwiki.com/en/quattro+evolutions/>
- [48] quattro. *Audiklub.cz*. [online]. 31.10.2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://audiklub.cz/techwiki/quattro>
- [49] 2005: The self-locking center differential in the Audi RS 4. *Audi*. [online]. ©2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://m.audi-quattro-highlights.de/en/aqh/Technologies/Self-locking-center-differential/2005-The-self-locking-center-differential-in-the-Audi-RS-42>
- [50] Pavel Olivík. Aktivní zadní diferenciál: jako po kolejích. *AUTOREVUE.CZ*. [online]. 25.9.2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/aktivni-zadni-diferencial-jako-po-kolejich_1
- [51] Technology. *Audi*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.audi.com/aola/brand/en_lc/tools/advice/glossary/quattro__with_sport_differential.html
- [52] 2008: The sport differential in the Audi S4. *Audi*. [online]. ©2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://m.audi-quattro-highlights.de/en/aqh/Technologies/Sport-differential/2008-The-sport-differential-in-the-Audi-S42>
- [53] Foto Audi A6. *Arpem*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.arpem.com/coches/coches/audi/a_6/fotos/2011/4p-diferencial-3.html
- [54] 2010: The crown gear differential in the Audi RS 5. *Audi*. [online]. ©2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://m.audi-quattro-highlights.de/en/aqh/Technologies/Crown-gear-differential/2010-The-crown-gear-differential-in-the-Audi-RS-5>
- [55] Audi links crown gear diff to torque vectoring. *Automotive ENGINEER*. [online]. 1.6.2010 [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://ae-plus.com/technology/audi-links-crown-gear-diff-to-torque-vectoring>
- [56] Jan Horčík. Nové Audi e-Quattro nabídne elektrický pohon všech čtyř kol. *Audi*. [online]. 3.2.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nove-audi-e-quattro-nabidne-elektricky-pohon-vsech-ctyr-kol>
- [57] Viknesh Vijayenthiran. New A4 To Be First Audi Road Car With e-quattro Hybrid All-Wheel Drive: Report. *MOTOR AUTHORITY*. [online]. 28.1.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.motorauthority.com/news/1029228_new-a4-to-be-first-audi-road-car-with-e-quattro-hybrid-all-wheel-drive-report
- [58] Ondřej Pavlůsek. Audi A4 dostane jako první e-quattro. *AUTO.CZ*. [online]. 29.1.2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/audi-a4-dostane-prvni-e-quattro-85468>



- [59] Viknesh Vijayenthiran. Audi Shows Off A5 e-tron quattro Plug-In Hybrid Prototype. *MOTOR AUTHORITY*. [online]. 30.3.2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.motorauthority.com/news/1057582_audi-shows-off-a5-e-tron-quattro-plug-in-hybrid-prototype
- [60] ETZOLD, Hans-Rüdiger. *Jak na to?: Údržba a opravy automobilů*. WV Golf / Jeta / GTI / 16V / Syncro. České Budějovice: KOPP, 1994. ISBN 80-85828-32-4.
- [61] 4motion: Další kapitola pohonu všech kol. *Auto Periskop*. [online]. 21.9.1999 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://autoperiskop.cz/4motion-dalsi-kapitola-pohonu-vsech-kol/>
- [62] Pohon obou náprav se značkou Volkswagen. *Volkswagen*. [online]. ©2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.vwuzikve.cz/zajimavosti/volkswagen_2028/4motion_4xmotion/pohon_obou_naprav_se_znackou_volkswagen
- [63] 4MOTION Terrain Tech. *Volkswagen*. [online]. ©2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://en.volkswagen.com/en/innovation-and-technology/technical-glossary/4xmotion.html>
- [64] Boris R. Golub. 4MATIC: THE HISTORY OF ALL-WHEEL DRIVE MODELS FROM MERCEDES-BENZ: OVER 100 YEARS OF TRACTION TO THE POWER OF FOUR. *Mercedes-Benz AMG*. [online]. 30.11.2010 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/classic/mercedes-benz-4matic-vehicle-history/>
- [65] John Clark. MERCEDES-BENZ 4MATIC VEHICLE HISTORY. *eMercedes-Benz*. [online]. 2.8.2011 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/classic/mercedes-benz-4matic-vehicle-history/>
- [66] 4Matic. *Wikipedia*. [online]. 4.12.2014 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/4Matic>
- [67] 4MATIC All-wheel Drive. *Mercedes-Benz*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mbusa.com/mercedes/benz/performance/4matic#module-1>
- [68] Jan Sajdl. 4ETS. *Autolexicon.net*. [online]. 24.03.2011 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/4ets/>
- [69] 4MATIC. *Mercedes-Benz*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://tech-center.mercedes-benz.com/cs_CZ/4matic/detail.html
- [70] 4MATIC all-wheel drive for compact models. *Mercedes-Benz*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/4matic-all-wheel-drive-for-compact-models/>
- [71] Viknesh Vijayenthiran. Mercedes-Benz Details Its New 4MATIC System For Compact Cars. *MOTOR AUTHORITY*. [online]. 12.12.2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.motorauthority.com/news/1081055_mercedes-benz-details-its-new-4matic-system-for-compact-cars



- [72] BMW. *25 years of BMW All-wheel-drive expertise*. [online]. ©2010 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <https://www.press.bmwgroup.com/united-kingdom/download.html?textId=106414&textAttachmentId=134168>
- [73] So funktioniert das System von BMW. *Auto NEWS*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.auto-news.de/auto/news/bildergalerie_Das-neue-BMW-Allrad-system-xDrive_id_11197&picindex=2
- [74] BMW xDRIVE TECHNOLOGIE. *BMW*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.bmw.cz/cz/cs/insights/technology/xdrive_2014/technology.html#technology
- [75] Dynamic Stability Control (DSC). *BMW*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/mm_dynamic_stability_control.html?content_type=categories&source=/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/automatic_differential_brake.html&article=mm_dynamic_stability_control
- [76] CEDRYCH, Mario René a Jiří Schwarz. *Automobily Škoda Octavia*. 4. vydání. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0657-1.
- [77] Vozy 4×4. *ŠKODA 4X4*. [online]. 22.3.2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://skoda4x4.wz.cz/>
- [78] Subaru All-Wheel Drive. *Subaru of Keene*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.subaruofkeene.com/subaru-all-wheel-drive.htm>
- [79] ¿Que ventajas aporta un diferencial autoblocante a un coche de asfalto?. *ForoCoches*. [online]. 19.9.2011 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://m.forocoches.com/foro/show-thread.php?t=2395494&page=3>
- [80] Vehicle Dynamics Control System. *SUBARU GLOBAL*. [online]. ©2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.subaru-global.com/tec_vdc.html
- [81] Technologie SUBARU – Pohon AWD s aktivním mezinápravovým diferenciálem DCCD. *Subaru*. [online]. ©2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.subaru.cz/technologie-dccd.html>
- [82] Ondřej Láník. Mezinápravový diferenciál Subaru DCCD. *AUTO.CZ*. [online]. 2.1.2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/mezinapravovy-diferencial-subaru-dccd-jak-to-funguje-14780>
- [83] Společnost Mitsubishi – dějiny psané třemi diamanty. *Mitsubishi Motors ČR*. [online]. ©2014 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.cz/historie/index.xhtml>
- [84] Libor Zezulka. Mitsubishi Lancer Evolution IX – na ostří nože II. *AUTO.CZ*. [online]. 11.12.2006 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/mitsubishi-lancer-evolution-ix-1452>



- [85] S-AWC. *Mitsubishi Motors*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.com/en/spirit/technology/library/s-awc.html>
- [86] New Evo X Technologies: S-AWC AYC. *Mitsubishi Motors*. [online]. 12.6.2007 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://mitsucars.blogspot.cz/2007/07/new-evo-x-technologies-s-awc-ayc.html>
- [87] ACD (Active Center Differential). *Mitsubishi Motors*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.com/en/spirit/technology/library/acd.html>
- [88] 4X4 SYSTEMS. *Jeep*. [online]. ©2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.jeep.com/en/4x4/#CommandTrack1*QuadraTrac1*QuadraDrive2
- [89] Brake Lock Differentials (BLD) Explained. *WRANGLER FORUM.COM*. [online]. 17.7.2014 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.wranglerforum.com/f274/brake-lock-differentials-bld-explained-803194.html>
- [90] Различия раздаточных коробок NV249 и NV249OD. *JEEP*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://jeep.avtograd.ru/xfer/encyclopedia/np249/inside.htm>
- [91] GEAR PUMP. *World Heritage Encyclopedia*. [online]. ©2014 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://www.worldheritage.org/articles/Gear_pump
- [92] Land Rover. *All Wheel Driven*. [online]. 19.6.2012 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.awdwiki.com/en/land+rover/>