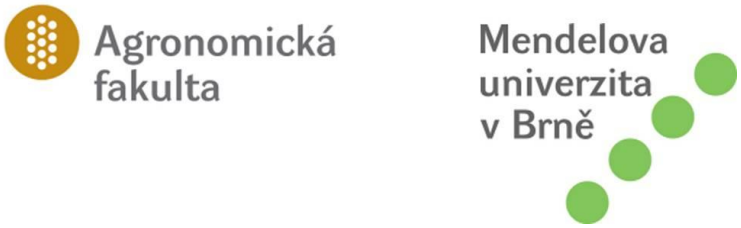
Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Kvalitativní hodnocení degradace převodových olejů

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. et Ing. Petr Dostál, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Aleš Štilárek

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Kvalitativní hodnocení degradace převodových olejů vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:……..

……..

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce panu Ing. et Ing. Petru Dostálovi, Ph.D. za připomínky, rady, odborné vedení a konzultace, které mi poskytl v průběhu psaní mé práce.

Chtěl bych rovněž poděkovat panu Ing. Vojtěchu Kumbárovi, Ph.D. za svůj čas, rady a konzultace, které mi pomohly při psaní experimentální části.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na kvalitativní hodnocení degradace převodového oleje. První část se zabývá úvodem do problematiky maziv, jakožto celku, dále se věnuje převodovým olejům, jejich vlastnostem, složením a rozdělením. Dále je zpracován přehled rozdělení automatických převodovek, pojednání o vybraných typech spolu s jejich principem činnosti.

Experimentální část práce se již zabývá zkoumáním jednotlivých vzorků oleje. Ke zjištění degradace jednotlivých vzorků byla měřena změna hustoty a viskozity. Pomocí atomové emisní spektrometrie bylo zjištěno chemické složení jednotlivých vzorků převodového oleje. Dále zde nechybí popis způsobu odběru vzorků převodového oleje, popis testovaného automobilu, metod a přístrojů, dle kterých byly jednotlivé vzorky zkoumány. Zjištěné výsledky jsou zaneseny do grafů a je diskutována míra degradace jednotlivých vzorků.

Klíčová slova

Viskozita, hustota, převodové oleje, automatické převodovky, degradace oleje, otěrové kovy

Abstract

The diploma thesis is focused on quality degradation of gear oils. The first part is an introduction to lubricants, gear oil and their properties, composition and classification. Followed by an overview of the classification of automatic transmission discussion of selected types and their function.

The experimental part of diploma thesis deals with examining sample of gear oil. Density and viscosity was measured for all samples of gear oil. By atomic emission spectrometry was measured metals in oil. There is a description consumption all samples of gear oil, description of the tested car, method and instruments which were used for determining degradation of gear oil. The results of individual samples of gear oil are shown in graphs and is discussed rate of oil degradation.

Key words

Viscosity, density, gear oils, automatic transmission, oil degradation, metals in oil

OBSAH

Úvod 8
1 Cíle práce 10
2 Teoretická část 12
2.1 Maziva 12
2.1.1 Základy Tribologie, Tribotechniky a Tribodiagnostiky 12
2.1.1 Viskozita 13
2.1.2 Hustota 14
2.1.3 Výroba mazacích olejů 14
2.1.4 Vlastnosti mazacích olejů 15
2.2 Převodové oleje 16
2.2.1 Požadavky na převodové oleje 17
2.2.2 Složení převodových olejů 17
2.2.3 Aditiva převodových olejů 18
2.2.4 Rozdělení převodových olejů 18
2.2.5 Viskozitní klasifikace 21
2.2.6 Výkonnostní klasifikace 23
2.3 Automatické převodovky 24
2.3.1 Historie a vývoj 24
2.3.2 Výhody x nevýhody automatických převodovek 24
2.3.3 Údržba automatických převodovek 25
2.3.4 Rozdělení automatických převodovek 26
3 Materiál a metody 36
3.1 Testovaný osobní automobil 36
3.1.1 Technické parametry testovaného vozidla 36
3.1.2 Automatická převodovka Tiptronic 37
3.2 Odběr vzorku oleje 39
3.3 Testovaný převodový olej 40
3.4 Měřicí přístroje 40
3.4.1 Digitální hustoměr 41
3.4.2 Rotační viskozimetr 42
3.4.3 Atomový emisní spektrometr 43
4 Výsledky a diskuze 45

4.1 Hustota oleje 45
4.2 Viskozita 47
4.3 Atomová emisní spektrometrie 49
4.3.1 Základní konstrukční kovy 49
4.3.2 Vedlejší kovy 50
4.3.3 Aditivační prvky 52
5 Závěr 54
6 Použitá literatura 57
7 Seznam obrázků 60
8 Seznam tabulek 61
9 Seznam zkratek 62

ÚVOD

Převodové oleje nejsou v tak složité situaci jako motorové oleje, přesto musejí splňovat řadu požadavků, které jsou kladeny ze strany výrobců převodovek na adresu výrobců olejů. Převodové oleje slouží k zajištění dokonalé funkce veškerých převodových systémů obsažených ve vozidlech. V automobilech rozdělujeme převodovky na mechanické a automatické, tímto stejným způsobem musíme rozdělit i převodové oleje, tedy převodové oleje pro mechanické převodovky nebo oleje pro převodovky automatické, které všeobecně nesou název ATF (Automatic Transmission Fluid). Mezi všeobecné požadavky na převodové oleje patří výborné nízkoteplotní vlastnosti, výborné antikorozní vlastnosti, nízká pěnivost, spolehlivý odvod tepla, zajištění dostatečného mazání všech ozubených kol, ložisek převodovky a dobré ochrany proti opotřebení. Převodové oleje lze posuzovat z hlediska viskozitní a výkonnostní klasifikace. Další důležitou součástí převodových olejů jsou aditiva, která slouží ke zlepšení jejich vlastností.

Jelikož je tato diplomová práce věnována degradaci převodového oleje v automatické převodce, část práce se věnuje právě automatickým převodovkám. Automatické převodovky procházející už více jak stoletým vývojem a jejich použití je v současné době stále více a více rozšířenější, a to nejen v osobních automobilech. Automatické převodovky můžeme rozdělit do čtyř základních skupin, kterými jsou samočinné převodovky se dvěma spojkami, převodovky s plynule měnitelným rozsahem, automatické převodovky využívající ke své činnosti hydrodynamický měnič a sekvenčně řazené automatické převodovky, které se svojí konstrukcí podobají manuálním převodovkám, ovšem ovládáním je lze více přiblížit k převodovkám automatickým.

Cena výměny oleje v automatických převodovkách závisí na daném typu převodovky a na množství její náplně. Při výměně oleje se ve většině případů provádí proplach z důvodu co nejkvalitnější výměny. Součásti výměny oleje je i výměna olejového filtru.

V rámci této diplomové práce byla vyhodnocena degradace převodového oleje v automatické převodovce Tiptronic vozidla Audi A6 se vznětovým motorem o obsahu 2498 ccm^3 a výkonu 110 kW. S testovaným vozidlem bylo absolvováno 60000 km a během tohoto intervalu odebráno 5 vzorků oleje. Před odběrem prvního vzorku olej byla

kompletně vyměněna olejová náplň v automatické převodovce. První vzorek oleje byl odebrán po ujetých 12000 km a interval každého dalšího odběru byl 12000 km. U všech vzorků oleje byla měřena viskozita, hustota, zkoumán nárůst nebo naopak pokles jednotlivých otěrových kovů a aditiv. Tyto výsledky byly porovnány s novým nepoužitým olejem, který představoval vzorek šestý. Výsledné naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu a je diskutována míra degradace oleje.

1 CÍLE PRÁCE

Tato diplomová práce, psaná pod názvem „Kvalitativní hodnocení degradace převodových olejů“ má několik cílů, které jsou seřazeny a popsány v této kapitole:

- Hlavním cílem této diplomové práce bude zjištění životnosti převodového oleje v automatické převodovce, srovnání změny jeho chemického složení v průběhu jednoho servisního intervalu za účelem prokázání souladu nebo naopak nesouladu s doporučením výrobců automatických převodovek, zejména s ohledem na celoživotní olejovou náplň. Za tímto účelem bylo odebráno celkem 5 vzorků převodového oleje z automatické převodovky tiptronic, které byly srovnávány s novým nepoužitým olejem, který představoval vzorek šestý.

- Účelem práce je analýza změny hustoty, dynamické viskozity, výpočet kinematické viskozity a stanovení chemického složení jednotlivých vzorků oleje v rámci jednoho servisního intervalu. K získání těchto výsledků bude využito digitálního hustoměru, rotačního viskozimetru a atomového emisního spektrometru.

- Prvním z dílčích cílů této diplomové práce bude teoretické vpravení do řešené problematiky. Tato teoretická část bude celkově rozdělena na tři kapitoly, a jelikož bude práce věnována hodnocení degradace oleje v automatické převodovce, budou zde popsány maziva, dále převodové oleje, jejich vlastnosti, složení a rozdělení. Další část bude věnována samotným automatickým převodovkám, kde budou popsány dnes nejpoužívanější typy automatických převodovek a vysvětleny principy jejich činnosti.

- Druhým cílem této práce bude odběr testovaného materiálu, konkrétně vzorků převodového oleje z automatické převodovky. Tato část práce je důležitým krokem k získání kvalitních a nezkreslených výsledků. Samotné vzorky oleje musejí být odebírány vždy stejným způsobem, za stejných podmínek a je potřeba dbát, aby při odběru vzorků nedošlo k jejich znečištění, a tak následnému znehodnocení výsledků. Součásti tohoto cíle je i popis daného

prostředku, ze kterého budou vzorky oleje získány. Celkem bude odebráno pět vzorků oleje z osobního automobilu Audi A6 s 5 stupňovou automatickou převodovkou Tiptronic.

- Dalším dílčím cílem bude provedení měření na jednotlivých odebraných vzorcích oleje. Pomocí atomové emisní spektrografie bude provedeno měření jednotlivých kovů v odebraných vzorcích opotřebovaného oleje. Dále bude sledována změna viskozity, která bude měřena pomocí rotačního viskozimetru. Poslední veličinou, která bude sledována, je hustota jednotlivých vzorků, která bude měřena pomoci ručního digitálního hustoměru.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Maziva

Hlavním úkolem maziv je snižovat tření v dotykových místech dvou těles v relativním pohybu. Mimo jiné musí mazivo plnit celou řadu dalších funkcí, do kterých patří: zabezpečit odvod tepla, snižovat opotřebení, zbavovat třecí plochy primárních a sekundárních nečistot, působit jako těsnící činitel, chránit kovové plochy před korozí případně plnit zvláštní funkce jako jsou přenos síly, tlumení rázů, elektrický izolátor a mnoho dalších.

K zabezpečení výše vyjmenovaných funkcí musí mazivo vlastnit určité vlastnosti. Tyto vlastnosti lze rozdělit na vlastnosti jednoznačně definované a vlastnosti komplexní. Mezi vlastnosti jednoznačně definované patří: hustota (měrná hmotnost), viskozita rheologické vlastnosti, tepelná vodivost a měrné teplo, elektrické vlastnosti, kritéria vymezující teplotní oblasti použitých maziv, životnostní, povrchové aj. vlastnosti.

Mezi vlastnosti komplexní řadíme mazací schopnost, která zahrnuje souběžně vliv viskozity maziva, maznosti, a mazivosti maziva. [1]

2.1.1 Základy Tribologie, Tribotechniky a Tribodiagnostiky

Tribologie se zabývá vědeckým výzkumem a technickým použitím zákonitostí a poznatků pro vědní obory tření, opotřebení a mazání. Tato věda se zabývá změnou struktury a chováním se maziv ve všech možných umělých i přírodních tribologických systémech. [1]

Tribotechnika (z řeckého tribos – tření) vznikla jako praktická aplikace tribologických poznatků. Zabývá se komplexně praktickým řešením otázek, které se týkají tření, opotřebení a mazání. Pokud na sebe vzájemně svým pohybem působí dvě tělesa, dochází k odporu proti pohybu čili ke tření. Tření má za následek opotřebení pohybujících se povrchů. Opotřebení a tření se může zmenšit mazáním, přitom mazivem může být látka jakéhokoliv skupenství.

Do tribotechniky patří:

- maziva a jejich testování
- materiály pro třecí dvojice

- výběr a způsoby aplikace maziv
- měřící a kontrolní metody pro tribotechnické pochody
- výpočet, konstrukce a optimalizace třecích dvojic

Správnou aplikací tribotechniky lze dosáhnout významných úspor v řadě oblastí, do který patří:

- snížení spotřeby energie k pohonu strojů
- zvýšení životnosti strojů a zařízení
- snížení nákladů na údržbu a opravy strojů
- zvýšení výrobní přesnosti strojů

Tribodiagnostika je bezdemontážní typ diagnostiky, která je založená na analýze maziva, z jejichž výsledků lze získat poznatky o stavu nejen maziva, ale i mazaného mechanizmu. Princip všech metod má za úkol zjistit, jaké příměsi nebo chemické látky znehodnocují dané mazivo. [2]

2.1.1 Viskozita

Fyzikální vlastnost viskozita je jednou ze základních vlastností, kterou je potřeba zvážit při výběru vhodného maziva. Viskozita je veličina, která udává míru vnitřního tření v kapalině. Viskozita je odpor, jímž tekutina působí proti silám snažícím se posunout její nejmenší částice. Na stykové ploše dvou vrstev tekutiny pohybujících se různou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím, jímž se snaží rychlejší vrstva urychlovat pomalejší, a ta naopak zadržovat vrstvu rychlejší. Viskozita je tedy jednou z nejdůležitějších vlastností, která ovlivňuje tokové vlastnosti látek. Určuje režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu, velikost odporu pohyblivých částí a těsnící schopnost. Vliv tlaku a teploty může mít za následek změnu viskozity oleje.

Je definována dynamickou viskozitou (η), která má rozměr [$N.s.m^{-2}$] = [Pa.s] a kinematickou viskozitou (ν) o rozměru [$m^2.s^{-1}$]. Kinematická viskozita je poměr dynamické viskozity kapaliny k její hustotě při téže teplotě. Je to míra odporu kapaliny k tečení působenému gravitační silou.

Viskozita je jedna z mála přímo měřitelných veličin, které se mohou použít k výpočtu tření a únosnosti filmu, a to i při daných technických a pracovních

podmínkách, při kterých se tato vrstva vytváří. To znamená, že viskozitu můžeme použít jako porovnávací veličinu pro vyjádření mazací schopnosti maziva v daných podmínkách. Čím vyšší viskozita oleje, tím větší únosnost mazacího filmu, ovšem to zvyšuje energetické ztráty vynaložené na tření ve viskózním oleji. Mazivo má pro daný případ největší mazací schopnost, má-li optimální a nikoli maximální viskozitu, což je nejmenší hodnota viskozity, při níž má mazací film stále dostačující únosnost k přenosu zatížení. [2]

2.1.2 Hustota

Hustota, přesněji označována jako hustota hmotnosti, či měrná hmotnost, je fyzikální veličina vyjadřující hmotnost objemové jednotky látky. Hustota u homogenních látek je daná podílem hmotnosti (m) a objemu (V),

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$$

kde (m) je hmotnost dané látky v [kg] a (V) objem látky [m^{-3}]. Při měření kapalin, kde můžeme zanedbat jejich roztažnost a stlačitelnost s měnící se teplotou, je i hustota nezávislá na teplotě. [3]

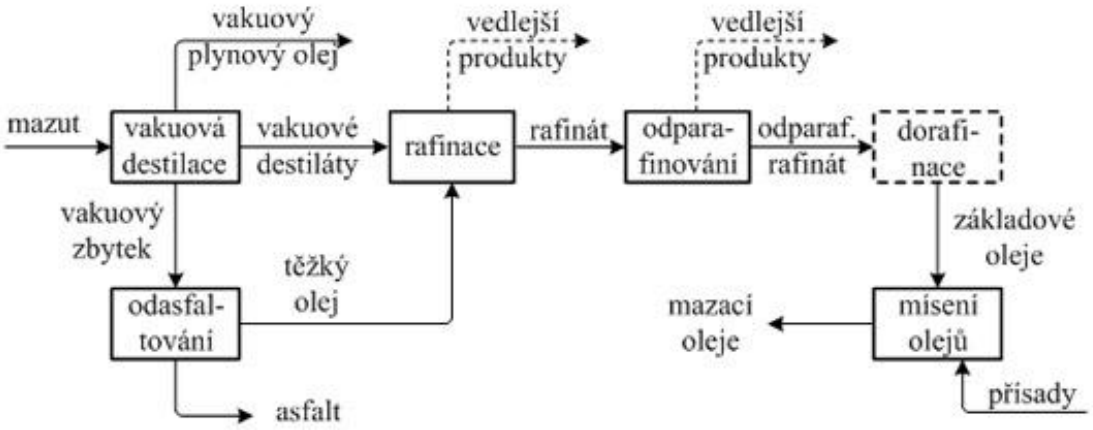
2.1.3 Výroba mazacích olejů

Jako výchozí surovina pro výrobu oleje je ropa, která je směsí nejrůznějších uhlovodíků. Uhlovodíky jsou látky, jejichž molekuly jsou tvořeny různě dlouhými řetězci atomů uhlíku C, na které jsou navázány atomy vodíku H. [2]

Základové oleje vyrobené z ropy se označují jako minerální. Pro mazání a další účely se používají i upravené oleje rostlinné nebo oleje syntetické, které jsou na bázi uhlovodíkových polymerů, alkylátů, esterů, polyglykolů apod. Výroba mazacích olejů zpravidla zahrnuje tyto základní operace:

- Odasfaltování - používá se při získávání velmi viskózních olejů z vakuových zbytků a někdy u těžkých vakuových destilátů k odstranění asfaltických látek.
- Rafinace - používá se k odstranění nežádoucích složek (aromáty, heterosloučeniny), čímž se zlepšují vlastnosti olejů.
- Odparafinování - slouží k odstranění tuhých uhlovodíků, čímž se změnšuje bod tuhnutí oleje.

- Dorafinace - slouží k odstranění zbytků nežádoucích látek.
- Mísení a aditivace - základový olej se obvykle mísí z různých složek (různé destilační řezy, případně oleje z odlišných technologií). Do základového oleje se pak přidávají různá aditiva, která zlepšují vlastnosti oleje. [4]



Obr. 1: Blokové schéma výroby mazacích olejů [4]

2.1.4 Vlastnosti mazacích olejů

Na mazací oleje jsou kladeny rozmanité a často i protichůdné nároky.

Tab. 1 Požadované vlastnosti oleje [1]

	Požadovaná vlastnost oleje
Olej musí:	Dobře lpět na mazaném povrchu při všech provozních podmínkách, což je určeno jeho hlavní komplexní vlastností - mazací schopnost
	Dobře odvádět třecí a provozní teplo
	Chránit jak železné, tak barevné kovy (ložiska) před korozí
	Odolávat co nejdéle i za nepříznivých podmínek stárnutí oxidaci uhlovodíků, respektive základních složek oleje
	Rozptylovat co nejjemněji nečistoty vznikající otěrem a zabraňovat jejich usazování
	Odolávat co nejdéle i za nepříznivých podmínek stárnutí oxidaci uhlovodíků, respektive základních složek oleje

Tab. 2 Požadované vlastnosti oleje [1]

	Požadovaná vlastnost oleje
Olej nesmí:	Napadat těsnící materiály
	Pěnit při provozu

Tab. 3 Požadované vlastnosti oleje [1]

	Požadovaná vlastnost oleje
Olej má být:	Málo odparný, což se příznivě odráží na malých ztrátách v provozu i za vysokých teplot. Tato vlastnost souvisí s frakčním složením základového oleje
	Ekonomický v provozu, což souvisí s jeho cenou a užitnými vlastnostmi
	Mísitelný s jinými oleji téže skupiny (dle viskozity) a dle podmínek provozu bez ohledu na firemní původ
	Účelně značen dle mezinárodních norem tak, aby byla jasná jeho specifikace a podmínky použití

Mazací schopnost je komplexní vlastnost a zahrnuje tři dílčí vlastnosti: viskozitu, mazivost a maznost. [1]

2.2 Převodové oleje

U převodových olejů se nacházíme v úplně jiném postavení než u olejů motorových. V převodovkách nejsou vysoké teploty (teplota většinou nepřekročí 60°C), ani nepůsobí spaliny či nespálené palivo. Převodové oleje musí snášet vysoké tlaky a střihové nebo smykové namáhání.

Složení těchto olejů je odlišné, požadavkem na tyto oleje je kromě mazacích schopností také konzervační schopnost a schopnost se dlouhodobě udržet na jednotlivých částech převodovky při dlouhodobém odstavení z provozu. Převodové oleje se vyrábějí minerální, polo syntetické i plně syntetické. Cenové rozdíly mezi těmito oleji jsou však vyšší než u olejů motorových.

Složení aditiv je zde také jiné, k oxidaci zde dochází velmi pomalu, většinou se udává doba pěti let nebo se vůbec neomezuje.

Viskozitní index u převodových olejů má trochu jiný význam než u olejů motorových, většinou jde o oleje jednorozsahové, jejich viskozita je výrazně vyšší. [5]

Převodové oleje jsou mazací oleje s velkou přilnavostí pro mazání ozubených kol, ložisek převodovek a rozvodovek nejen osobních automobilů, lze o nich říci, že slouží k zajištění dokonalé funkce všech převodových systémů ve vozidle. [2]

2.2.1 Požadavky na převodové oleje

Na převodové oleje ze strany výrobců automobilů je kladena celá řada požadavků, mezi ty základní patří:

- chemická stabilita
- protikorozní vlastnosti
- výborné nízkoteplotní vlastnosti
- odolnost proti opotřebení
- nízká hlučnost
- snadné řazení
- nízká pěnivost

Převodové oleje musí být dobře filtrované a musí vykazovat nízký trakční koeficient, který umožňuje zvýšení operační účinnosti a tím úsporu energie. [6]

2.2.2 Složení převodových olejů

Podobně jako většina současných mazacích olejů, také převodové oleje se skládají ze základových olejů a souborů aditiv. Nejčastějším základem jsou ropné oleje, a to jak rozpouštědlové rafináty skupiny I, tak hydrokrakové základy skupin II a III, popřípadě polyalfaolefiny.

V některých speciálních případech se můžeme setkat s polyglykolovými základovými oleji (ty jsou ovšem s ostatními základovými oleji nemísitelné) nebo s estery.

Pro zlepšení vlastností a výkonnosti se základové oleje vesměs aditivují. [6]

2.2.3 Aditiva převodových olejů

Jako aditiva se používají EP přísady, což je vlastně síra a fosfor, které mají příznivý vliv na tlakové a protiotěrové vlastnosti oleje. Tyto přísady dávají olejům charakteristický zápach. Převodové oleje díky vysokému obsahu síry a fosforu nejsou použitelné pro motory. [5]

Používané přísady se v převodových olejích navzájem ovlivňují a mnohé působí synergicky. Některé potřebují pro svou aktivaci vyšší teplotu a musí být proto sdružovány s těmi, které působí při nízkých teplotách. [7]

Převodové oleje obsahují obvykle 1-5% aditiv, mezi další použitá aditiva patří:

- pasivátory kovů
- modifikátory tření
- protipěnivostní přísady
- deemulgační přísady
- antioxidační a protikorozní přísady

2.2.4 Rozdělení převodových olejů

Převodové oleje dělíme na:

- oleje pro manuální převodovky
- oleje pro automatické převodky
- průmyslové převodové oleje

2.2.4.1 Oleje pro manuální převodovky

V manuálních převodovkách ve srovnání s automatickými najdeme větší množství pohyblivých částí, díky kterým dochází k většímu tření, jehož následkem může docházet k těžšímu řazení jednotlivých převodových stupňů a vyšší úrovni hluku. Oleje pro tento typ převodovky musí zabezpečit velmi kvalitní ochranu proti opotřebení a zajistit dobrou práci synchronizace.

K dalším požadavkům patří teplotní stabilita a vynikající chování za nízkých teplot, velmi dobrá střihová stabilita a minimální pěnivost, aby nedocházelo k přerušování mazacího filmu. Oleje pro tento typ převodů musí být také kompatibilní

s těsněními, musí umožnit pohodlně řazeni pří použití co nejmenší ovládací síly a rovněž musí mít dokonalé třecí vlastnosti po celou dobu svoji životnosti.

Pouze pří splnění výše uvedených požadavků může být zajištěna bezproblémová synchronizace při všech pracovních podmínkách a teplotách, a tím efektivní fungování manuální převodovky. [2]

2.2.4.2 Oleje pro automatické převodovky

Oleje pro automatické převodovky se označují ATF. Jde o speciální oleje, které mají v některých typech automatických převodovek rovněž funkci hydraulických olejů. Slouží k mazání kluzných i rotujících dílů, musí mít vynikající chladící schopnosti, být odolné vůči oxidaci, korozi, opotřebení a pěnění, být snášenlivé s elastomery. Zvláště důležitý je požadavek určující přesně vymezený třecí koeficient a optimální viskozitu jak při startech za nízkých teplot, tak i při pracovních teplotách. [6]

Pro kapaliny ATF nebyla vytvořena žádná oficiální klasifikace, ale vycházelo se z doporučení firem Ford a GM, předních výrobců automatických převodovek. Jejich požadavky na ATF se postupem času sjednotily a dnešní moderní kapaliny splňují nároky obou výrobců. [2]

ATF kapalina je na rozdíl od motorových olejů zbarvena červeně, v některých případech zeleně, čímž by pohledem neměla být zaměnitelná s motorovými oleji. V principu je tato kapalina vysoce specializovaný mazací olej s optimalizovanými vlastnostmi, zejména z hlediska provozuschopnosti drobných ventilových systémů, přenosu točivého momentu v hydrodynamickém měniči a mazání vlastních převodů.

Jejím hlavním problémem je teplo. Při každém přeřazení rychlosti generuje spojkový systém teplo, které musí být odvedeno kapalinou. Čím větší zatížení převodů, tím větší množství tepla musí kapalina odvést. ATF kapalina je rovněž používána jako hydraulická kapalina v posilovačích řízení, přídavných převodovkách u systému pohonu kol 4x4 a rovněž i v některých manuálních převodovkách ve vozidlech s pohonem předních kol.

Obr. 2: Základní rozdělení kapalin ATF [8]

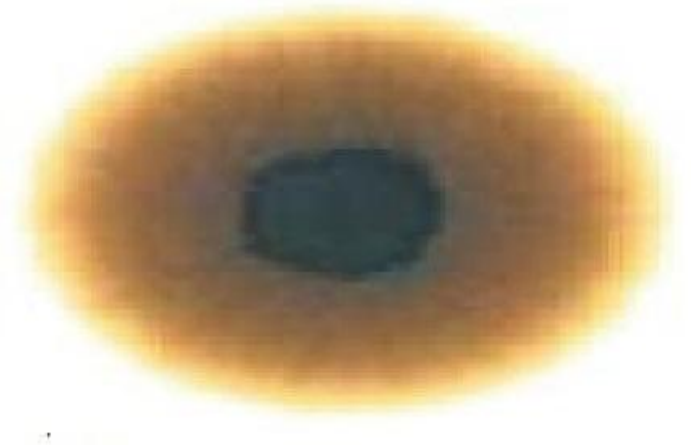
Formulace dnešních moderních ATF kapalin se skládá z přibližně 20ti komponentů. Mezi tyto komponenty patří: klasická aditiva, specifická aditiva, barviva na ropné bázi.

Jako klasická aditiva dnes označujeme protipěnivostní přísady, detergenty, antioxidanty, inhibitory koroze a diverzanty. Mezi specifická aditiva řadíme látky snižující povrchové napětí (sulfaktanty), látky zlepšující viskozitu za studena, vysokoteplotní zahušťovadla a látky pro objemovou extruzi těsniv. Mezi poslední komponenty patří barviva typické červené nebo zelené barvy sloužící k odlišení od motorových olejů.

Mnoho problému s automatickou převodovkou je způsobeno znehodnocenou olejovou náplní a zaneseným filtrem. Pravidelná výměna je nejlepší prevencí závad automatických převodovek. Jak často měnit kapalinu závisí na podmínkách provozu. U vozidel používaných na hranici výkonnosti se doporučuje interval 50 000 km nebo dva roky. Čím větší výkon je přenášen, tím je kapalina více ohřívána a její životnost značně klesá. Pokud teplota překročí 90°C, každých 20°C navíc způsobuje zkrácení životnosti ATF kapaliny na polovinu. Dále se zvětšuje její kontaminace částicemi z opotřebení jednotlivých komponentů automatické převodovky. Tyto nečistoty většinou zachycuje olejový filtr umístěný v převodovce, dokud nedojde k jeho zaplnění. Dřívější automatické převodovky asijské konstrukce tyto filtry neobsahovaly a byly vybaveny záchytným lapačem z plastu či kovu, který ovšem nedokázal náplň vyčistit od jemných kontaminačních prvků, proto u těchto typů automatických převodovek je zapotřebí

olejovou náplň měnit velice často. Životnost ATF kapaliny při zahřátí nad 200°C je 20 minut.

ATF kapalinu lze jednoduše diagnostikovat během pár vteřin pomocí kapkového testu. Tmavý střed obrazce odhalí stupeň znečištění kapaliny a zahnědnutí signalizuje stupeň oxidace. Další rychlá diagnostika může proběhnout pomocí čichu. Zápach po spálených toastech indikuje již zcela znehodnocenou náplň, ovšem v tomto případě už výměna olejové náplně nepomůže, jelikož obložení na třecích plochách je již spálené. Další rychlá diagnostika může proběhnout pomocí zraku. Pokud kapalina obsahuje bubliny či pěnu, je pravděpodobné, že ve skříni převodovky je příliš velké množství olejové náplně, pokud se nepotvrdí toto tvrzení, další variantou, která tento stav může způsobit, je použití nesprávné olejové náplně nebo mohlo dojít k zacpání odvzdušňovacího otvoru. [8]



Obr. 3: Absolutně disfunkční ATF kapalina [8]

2.2.5 Viskozitní klasifikace

Stejně jako motorové oleje, tak i převodové rozdělujeme do jednotlivých viskozitních tříd. Používá se číslicový symbol, který je případně doplněný písmenem W (z anglického Winter) označujícím zimní vlastnosti z hlediska viskozity. [2]

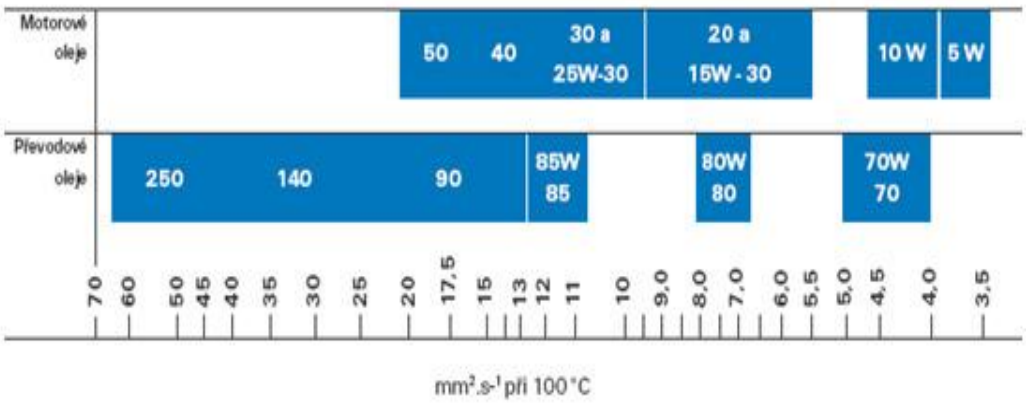
Pro označení viskozitních vlastností převodového oleje se v praxi používá specifikace SAE. Je zde použito značení čtyř tříd „zimních" a pěti „letních". Jednotlivé třídy mají svoje charakteristické hodnoty, jak je patrné z následující tabulky. [9]

Tab. 4 Viskozitní třídy olejů. [9]

Stupeň SAE	Max. teplota pro dynamickou viskozitu 150 Pa.s	Kinematická viskozita při 100°C	
	[°C]	min [$mm^2.s^{-1}$]	max [$mm^2.s^{-1}$]
70W	-55	4,1	x
75W	-40	4,1	x
80W	-26	7,0	x
85W	-12	11,0	x
80	x	7,0	< 11,0
85	x	11,0	< 13,5
90	x	13,5	< 24,0
140	x	24,0	< 41,0
250	x	41,0	x

Lze říci, že čím nižší je číslo, tím je olej vhodnější pro provoz při nižších teplotách, a naopak, čím má olej vyšší číslo, tím ho lze použít i při velmi vysokých teplotách, hlavně v tropických pásmech, pokud to připouští předpis výrobce automobilu. [10]

Čísla jednotlivých tříd nemají vztah ani k jedné fyzikální veličině ani k viskozitním třídám motorových olejů. Nelze také říci, že převodové oleje zimních tříd nelze použít v létě a naopak. Podobně, jak je tomu u motorových olejů, dělí se převodové oleje na jednostupňové a vícestupňové. Jednostupňové jsou charakterizovány jednou třídou, např. SAE 80. Vícestupňové oleje se značí kombinací zimní a letní třídy např. SAE 75W - 80. Takto označený převodový olej má potom při nízkých teplotách vlastnosti oleje SAE 75W a při vysokých teplotách SAE 80. [9]



Obr. 4: Srovnání viskozitních klasifikací SAE motorových a převodových olejů [9]

2.2.6 Výkonnostní klasifikace

Pro značení výkonnostní klasifikace převodových olejů se používá klasifikace API. Označení těchto tříd se skládá z dvojice písmen GL a čísla, které udává výkonnostní stupeň, kterých je celkem šest. [9]

GL-1 – Do této třídy patří oleje bez obsahu modifikátoru tření a vysokotlakých přísad. Zpravidla se používají k mazání šnekových ozubených soukolí, některých převodů a rychlostních skříní pracujících při malých zatíženích.

GL-2 – V této výkonnostní klasifikaci najdeme oleje určené k mazání ozubených soukolí koncových převodů automobilů pracujících v takových provozních podmínkách, kterých při použití olejů GL-1 nelze dosáhnout.

GL-3 – Zahrnuje převodové oleje určené k mazání převodů rychlostních skříní s ručním řazením a koncových převodů pracujících pří malých rychlostech a zatíženích.

GL-4 – Řadíme sem převodové oleje určené k mazání převodů motorových vozidel pracujících při velkých rychlostech a malém točivém momentu.

GL-5 – Převodové oleje určené pro hypoidní převody osobních automobilů, které pracující při velkých rychlostech a malém točivém momentu nebo pracující při malých rychlostech a velkém točivém momentu.

GL-6 – Do této kategorie patří oleje učené pro mazání hypoidních převodů. Jedná se o převody pracující v extrémních podmínkách. [10]

2.3 Automatické převodovky

2.3.1 Historie a vývoj

Automatické převodovky mají za sebou více jak stoletý vývoj. Jejich počátky sahají až k roku 1904, kdy malá firma bratru Sturtevantů ukázala první dvoustupňovou automatickou převodovku. V roce 1939 firma Oldsmobile plně automatickou čtyřstupňovou převodovku, která nesla název Hydra-Matic s hydrodynamickou spojkou. Roku 1948 se na trhu objevil hydrodynamický měnič točivého momentu a již v roce 1952 se v Americe prodalo dva miliony vozidel se samočinnou převodovkou. V průběhu 2. světové války výhod samočinných převodovek využívala americká armáda. [11]

Před patnácti lety byl standardem čtyřstupňový automat s hydrodynamickým měničem. Prémioví výrobci automobilů zavedli koncem 90. let minulého století pátý rychlostní stupeň. Poté nastal rychlý vývoj těchto převodovek. V roce 2002 přišla mnichovská automobilka BMW s použitím šestého rychlostního stupně a o rok později jej předstihla automobilka Mercedes - Benz, která uvedla na trh sedmistupňový automat. V roce 2007 předvedl Lexus svoji osmistupňovou automatickou převodovku. Další zlom nastal až koncem roku 2013, kdy se na trhu objevily hned tři vozy s devítistupňovou automatickou převodovkou od automobilových výrobců Mercedes - Benz, Land Rover a Jeep Cherokee.

Nejde tu o komfort ani dynamiku jízdy, za vším tím nárůstem převodových stupňů je ekologie. [12]

2.3.2 Výhody x nevýhody automatických převodovek

Do výhod automatických převodovek patří lepší přenos točivého momentu, plynulý rozjezd pouhým sešlápnutím pedálu akcelerátoru, automatická volba potřebného převodového stupně dle zatížení motoru, ochrana motoru proti necitlivému zacházení ze strany řidiče, nedovolí chybné podřazení na nižší převodový stupeň, a tak zamezí následnému poškození motoru. Automatické převodovky zpříjemňují cestování jak v městských provozech, kdy si řidič dopřeje pohodlí díky stálému nevyšlapování spojkového pedálu, tak i při cestách na delší vzdálenosti. [13]

Po vyjmenování výhod, musí přijít i výčet nevýhod automatických převodovek. Hlavní nevýhodou, která odrazuje zákazníky od pořízení vozidel s automatickou převodovkou, je cena, a to jak navýšení ceny při pořizování vozidla, tak i značně vysoká cena při případné opravě této převodovky. Další nevýhodou jsou její časté poruchy a to z důvodu náročnější konstrukci oproti klasické manuální převodovce. Většinu poruch bohužel způsobí právě její uživatel. Hlavní příčinou poruch její funkčnosti je příliš častě řazení, které opotřebovává obložení pásových brzd a spojkových lamel jednotlivých rychlostních stupňů. Z tohoto důvodu výrobci radí uživatelům omezit co nejvíce zbytečné řazení, např. vyřazování pří čekaní na křižovatce nebo při jízdě z kopce. Další poruchu převodovky může způsobit znehodnocená olejová náplň. [13]

2.3.3 Údržba automatických převodovek

Pravidelná údržba je důležitou součástí provozování automatické převodovky. K nejdůležitějším úkonům údržby patří pravidelná kontrola, popřípadě výměna oleje. Nepravidelná výměna oleje může mít za následek ucpání filtru, jelikož olejová náplň se postupem času znehodnocuje mechanickými nečistotami, které vznikají v důsledku opotřebení jednotlivých částí automatické převodovky. Svůj podíl na údržbě si také zaslouží chladič převodovky.

Měření hladiny oleje se provádí za chodu motoru při volnoběžných otáčkách a s voličem automatické převodovky v pozici parking. Důvod je zcela věcný, jelikož po nastartování motoru se uvede do chodu olejové čerpadlo v automatické převodovce, které zapříčiní pokles hladiny oleje na měrce o přibližně 15 – 20 mm. Dále musí být převodovka při kontrole oleje zahřátá na provozní teplotu.

Výměna olejové náplně se provádí výpustným šroubem ve spodní části převodovky. Většina automatických převodovek neumožňuje vypustit kompletní olejovou náplň. Z tohoto důvodu se doporučuje tzv. proplach. Tento proces je vhodné opakovat až do doby, kdy z převodovky vytéká naprosto čistý olej. Po posledním proplachu teprve dochází k výměně olejového filtru. [14]

Servisy zabývající se opravami automatických převodovek považují za rozumnou hranici první výměnu olejové náplně při 80 až 120 tisících kilometrech. Bohužel značkové servisy jsou seznámeny s tvrzením výrobců automatických převodovek o celoživotní náplni a zásah do převodovky by odměnily odnětím záruky na vůz, čeká se

až na první pozáruční kilometry. Ke každé další výměně olejové náplně by mělo docházet v rozmezí 30 - 60 tisíc kilometrů. [15]

Majitelé vozidel, u kterých výměna olejové náplně v automatické převodovce neproběhla více než 200 tisíc kilometrů, musí při výměně náplně postupovat jinak. Nedoporučuje se náplň vyměnit jednorázově. Vrstva usazenin, které se za tento počet kilometrů usadí na stěnách převodovky, by se při jednorázové výměně mohla uvolnit a zablokovat tak ventily a kanálky převodovky. Z tohoto důvodu se doporučuje odpouštění opotřebovaného oleje po malých množstvích a postupné dolevání nové olejové náplně. [8]

2.3.4 Rozdělení automatických převodovek

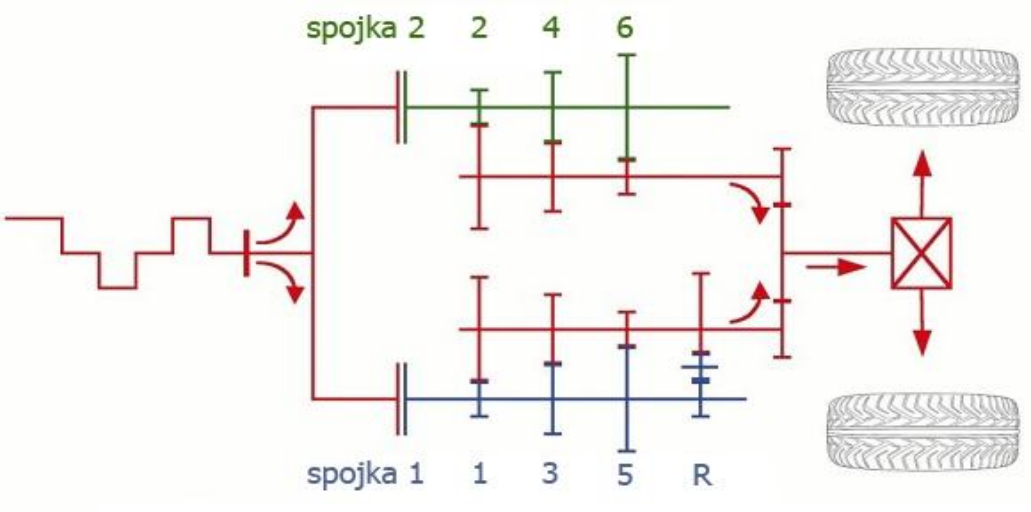
Koncový uživatel se dnes při koupi osobního automobilu, ať už nového nebo ojetého, může rozhodnout mezi různými konstrukčními provedeními automatických převodovek. Jsou to hlavně převodovky s plynule měnitelným převodem, převodovky se dvěma spojkami, samočinné převodovky konvenční konstrukce nebo také sekvenčně řazené převodovky.

2.3.4.1 Převodovky se dvěma spojkami

Nejvíce používaným zástupcem této skupiny je převodovka vyvinutá koncernem Volkswagen DSG. Vývoj této převodovky trval od návrhu na čistém papíru až po zavedení do sériové výroby celých pět let. [16]

V principu jde o upravenou tříhřídelovou převodovku, která je rozdělena na dvě převodovky se dvěma spojkami a dvěma vstupními a výstupními hřídeli. Vstupní hřídele jsou z důvodu úspory místa vloženy do sebe (jeden hřídel je dutý). Jedna převodovka tvoří větev s lichými převodovými stupni včetně zpětného chodu a druhá větev se sudými převodovými stupni. Řazení probíhá tak, že se vždy podle otáček motoru a polohy pedálu akcelerátoru zařadí jeden stupeň (první větev převodovky), který je spojen s motorem pomocí příslušné mokré spojky a zároveň se zařadí stupeň následující (v druhé větvi převodovky), který je ovšem zařazen naprázdno, jelikož druhá spojka, která přísluší této převodové větvi, je rozepnutá. Automaticky nebo povelem od řidiče se spojky prohodí, a tak je zařazen další stupeň a opět dojde k předřazení dalšího rychlostního stupně. Při poklesu otáček je tomu naopak, zařadí se stupeň o jeden nižší.

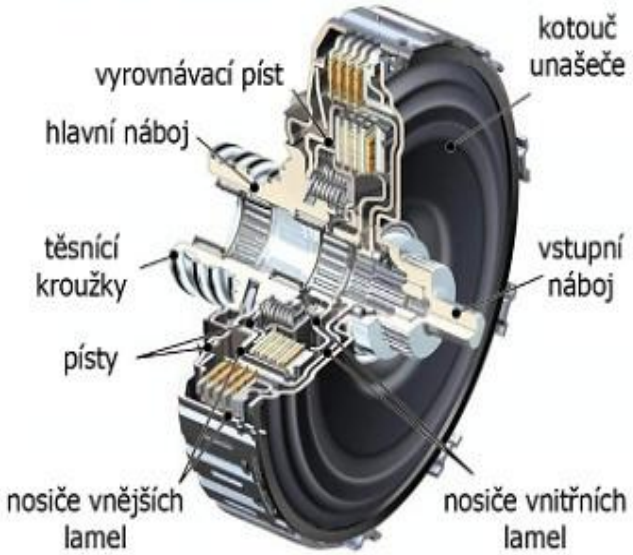
Ke změně převodu dochází neobyčejně rychle, jelikož jsou příslušné rychlostní stupně již zařazené a dojde pouze k připojení přes mokrou spojku k motoru. Změna převodu trvá přibližně 30 - 40 ms při nepřerušeném přenosu výkonu. [17]



Obr. 5: Funkční schéma automatické převodovky DSG [16]

Alfou a omegou tohoto konstrukčního provedení jsou spojky. Spojky jsou vícelamelové v olejové lázni a vyrobené včetně jejich ovládacího systému ve vysokém stupni přesnosti. Použití suchých spojek se neosvědčilo hlavně z důvodu odvodu tepla. Při přeřazení z jednoho rychlostního stupně na druhý dochází po určitou, ačkoli malou dobu k záběru obou spojek, suché spojky nedokázaly odvést vyvinuté teplo a navíc nedokázaly tlumit vznikající vibrace. Konstrukčně má jedna spojka větší průměr než ta druhá, avšak schopnost přenášení točivého momentu je naprosto stejná. Výrobce udává životnost spojek minimálně 250 tisíc kilometrů. Hřídele od spojek jsou vložené do sebe, díky čemuž se převodovka stává velmi kompaktní. Ovládání převodovky zajišťuje mechatronický systém řízený počítačem. V klasickém režimu dochází k postupnému řazení jednoho převodového stupně po druhém, nutností je střídání lichých a sudých převodových stupňů. Programové nastavení dokáže zajistit i přeskočení několika stupňů. Pro příklad, pokud lze přeřadit z třetího rychlostního stupně přímo na pátý rychlostní stupeň, děje se to tak, že nejdříve dojde k zařazení šestého rychlostního stupně a poté požadovaného pátého. Celá tato akce je zvládnutá za méně než jednu vteřinu.

Součástí převodovky je olejové čerpadlo a chladič oleje, který musí zvládnout odvést až 70kW ztrátového výkonu při rozjedu. Olejové čerpadlo vytváří tlak přibližně 20 bar a jeho výkon dosahuje 90 l/min. Řídící jednotka je propojena přes datovou sběrnici vozidla spolu s ostatními systémy, kde získává potřebné údaje ke správnému zvolení režimu řazení. Tato konstrukce převodovky nedovoluje využití přímého záběru a přenos výkonu jde přes dvě nebo i tři soukolí. Díky většímu počtu převodových stupňů motor běží blíže jeho optimálním podmínkám, a tak celková spotřeba paliva je srovnatelná jako u mechanických převodovek.



Obr. 6: Vícelamelová spojka [16]

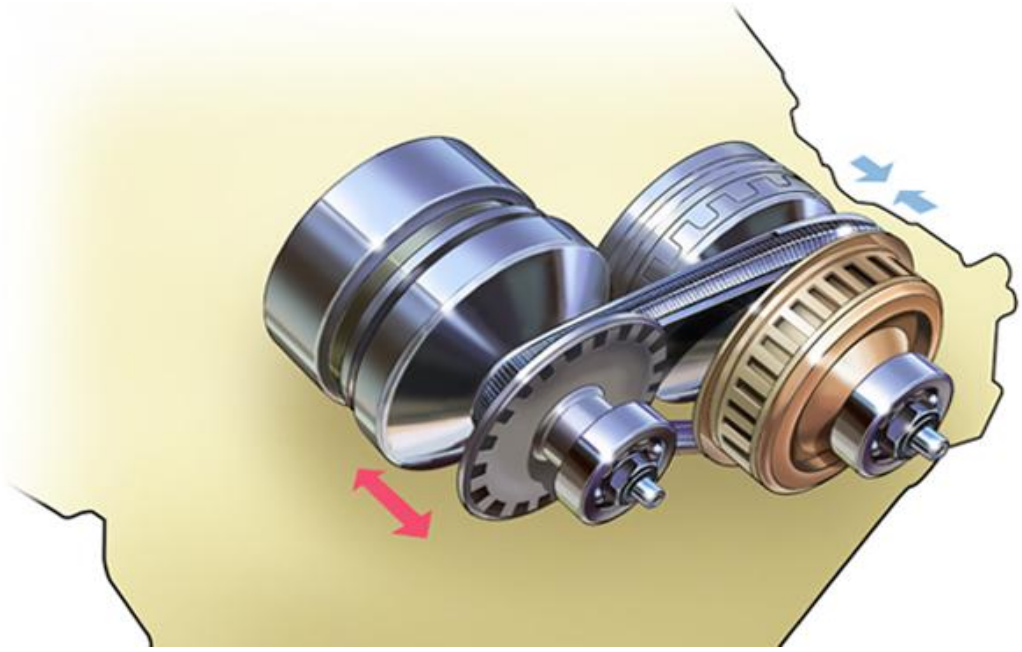
Další automobilkou, která se rozhodla zavést do svých modelů automatickou převodovku se dvěma spojkami, je Alfa Romeo, a to konkrétně v modelech Mito a Giulietta. Nové převodové ústrojí této automobilky nese název Alfa TCT. Alfa se rozhodla zvolit druhou variantu, a to použití suchých spojek. Toto konstrukční provedení je nákladnější na výrobu, ovšem účinnost této převodovky oproti převodovce se spojkami v olejové lázni se zvýšila o 6%. Výhodou nižších spojek jsou nižší ztráty, ke kterým dochází pouze v okamžiku prokluzu, zatímco mokré spojky mají navíc ztráty způsobené viskózním třením v olejové lázni. Model Alfa TCT obsahuje 23 patentů, a to jak na mechanice samotné, tak na řídícím systému. Převodovka je spojená se systémem D.N.A (Dynamic, Natural, All weather). Jedná se o systém, který je konstruován za

účelem měnit provozní vlastnosti motoru, převodovky, řízení a elektronického diferenciálu spolu s chováním stabilizačního systému. [18]

Tyto převodovky si našly cestu i do sportovních automobilů. Za zmínku stojí BMW M3, Mitsubishi Lancer Evolution s typovým označením X, japonská vytříbenost v podobě Nissanu GT-R nebo snové Bugatti Veyron. [19]

2.3.4.2 Automatické převodovky s plynule měnitelným převodem

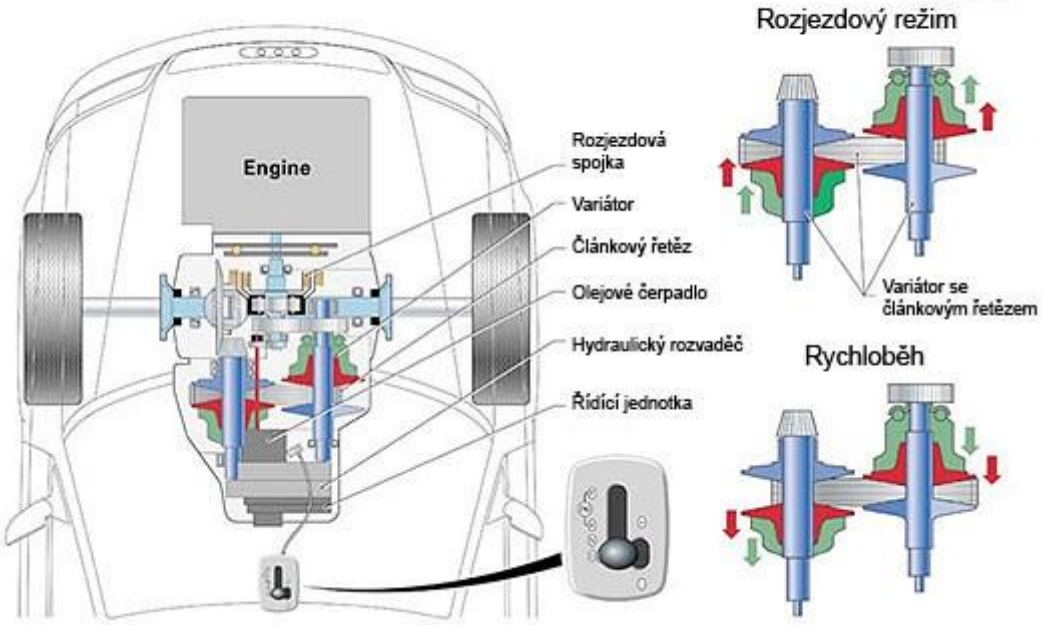
Jedním ze zástupců této skupiny jsou převodovky nesoucí označení CVT. Jedná se o bezstupňové samočinné převodovky, které ve svých vozech využívají automobilky Ford, Volvo, Nissan a Honda. CVT je počítačem řízená převodovka zkonstruovaná na základu variátoru. Tento Variátor se skládá ze dvou dělených klínových řemenic (hnané a hnací), z nichž každá je tvořena dvěma ocelovými, kuželovými kotouči. Jeden kotouč je vždy ve stavu nepohyblivém a druhý dovoluje axiální posuv, díky kterému dochází ke zvětšení nebo zmenšení poloměru klínových řemenic, jehož následkem je plynule měnící se převodový poměr. Přenos točivého momentu z hnací na hnanou řemenici zajišťuje ohebný ocelový řemen. Ocelový řemen je složen z velkého množství ocelových článků, které jsou navlečené na dvou ohebných ocelových prstencích, z nichž každý je tvořen několika na sebe položených tenkých pásků o tloušťce 0,1 mm. Točivý moment je přenášen tlakem z jednoho článku na druhý. Chování této převodovky je poněkud odlišné než u klasických automatických převodovek. Hned po rozjezdu se motor vytočí do optimálních výkonových otáček a tyto otáčky drží. Automobil sice stále zrychluje, ale otáčky motoru vůbec nekolísají. Při tomto režimu dochází k plynule se měnícímu převodovému poměru. Po akceleraci otáčky padají a po chvíli si elektronika vyhodnotí optimální převodový poměr. Dále se automobil začne chovat jako s klasickým automatem. [20]



Obr. 7: Změna převodového poměru převodovky CVT [21]

Dalším zástupcem spadající do skupiny bezstupňových samočinných převodovek je převodovka nesoucí název Multitronic, kterou ve svých vozech představila automobilka Audi. Multitronic se stal první převodovkou, která umožňovala přenášet vysoké výkony bez přerušení tahu motoru. Jádrem tohoto plynulého automatického systému je speciální článkový řetěz. Článkový řetěz se přesunuje a napíná mezi dvěma páry hydraulických nastavitelných řetězů, čímž dochází k plynulé změně výsledného převodového poměru. O změnu převodového poměru se stará speciálně konstruovaný hydraulický píst, který reaguje velice rychle a především přesně na pokyny řídící elektronické jednotky. Motor pracuje vždy v nejhospodárnější oblasti otáček a především díky tomu dosahuje převodovka Multitronic nižší spotřeby paliva než srovnatelné automatické převodovky. [22]

Rozdílem v porovnání s dřívější technikou CVT je nahrazení měniče točivého momentu, který byl využíván při rozjezdu dvěma lamelovými spojkami s olejovým chlazením, což má za následek dosažení vyšší účinnosti. [23]



Obr. 8: Audi multitronic [22]

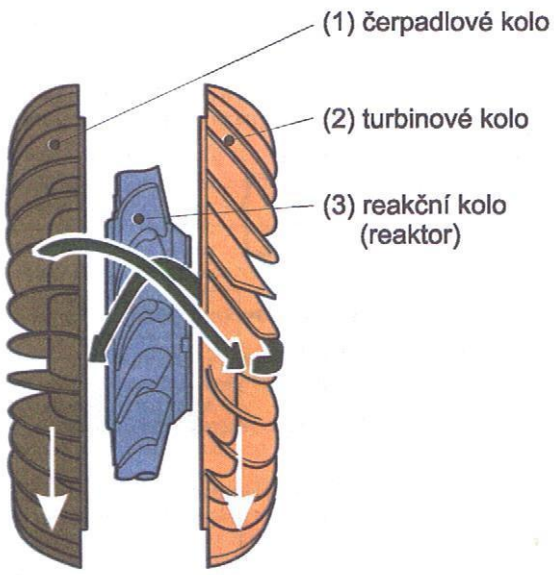
2.3.4.3 Samočinné převodovky konvenční konstrukce

Konvenční automatické převodovky jsou stupňové a tvoří je hydrodynamický měnič v kombinaci s ozubenými, nejčastěji planetovými převody. Tyto převodovky obsahují následující systémy:

- Hydrodynamický měnič momentu
- Planetový převod
- Řízení převodovky
- Volnoběžné a přemosťovací spojky
- Řadící prvky sloužící k provedení změny rychlostního stupně
- Olejové čerpadlo, hydraulické řadící prvky [23]

Hydrodynamický měnič, jehož hlavním úkolem je přenášet a násobit točivý moment, lze srovnat ve svém principu s hydrodynamickou spojkou, ovšem navíc je doplněn o reakční člen. Tento člen slouží k usměrnění proudu kapaliny (olejové náplně) z turbínového do lopatkového kola nebo naopak. V praxi se lze častěji setkat s prvním

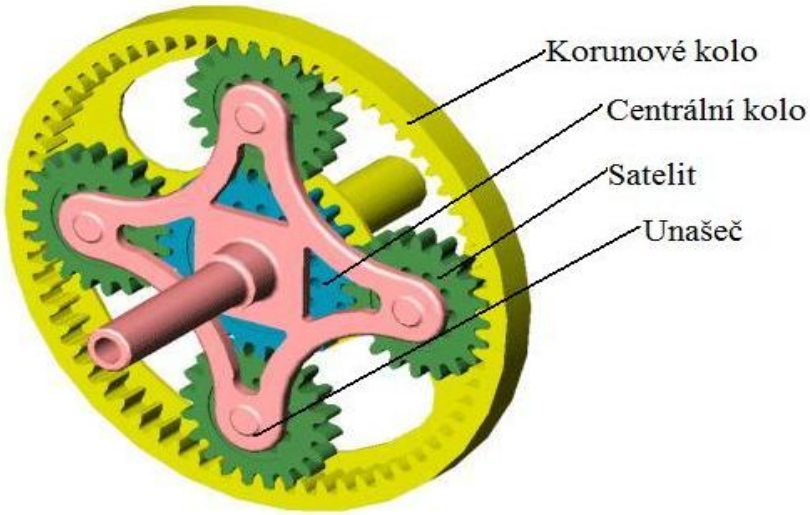
případem, jelikož je reakční člen blízko osy výstupního hřídele a není složité propojit ho se stojící skříní. Moment na výstupní hřídeli se rovná momentu motoru a momentu reakčního kola. Lopatky ve všech kolech nejsou radiální, avšak vhodně zakřivené. Čím více jsou lopatky zakřivené, tím většího znásobení točivého momentu lze dosáhnout. Ovšem jako každá teorie, tak i tato má své meze. V praxi se nejčastěji můžeme setkat pouze dvou až třínásobného znásobení točivého momentu. Problém nastává při převodovém poměru měniče 1:1, kdy účinnost přenosu sil je značně nízká. Tento problém lze vyřešit uložením reakčního kola na volnoběžku, která se uvolní právě při dosažení poměru 1:1, reakční kolo je unášeno kapalinou a měnič se tak stává klasickou hydrodynamickou spojkou, čímž se účinnost systému zlepší. V některých případech lze použít i několik reakčních kol za sebou, které se uvolňují postupně, což má za následek zlepšení účinnosti v širokém rozsahu převodového poměru. [17]



Obr. 9: Princip činnosti měniče [24]

Další důležitou součástí těchto převodovek je planetové soukolí, které je složeno z korunového kola s vnitřním ozubením, satelitů, což jsou ozubená kola s vnějším ozubením kroužící na unašeči a planetového, tzv. centrálního kola. Výhodou těchto typů převodovek je poměrně široké spektrum převodů, schopnost snášet velké točivé momenty a řadit pod zatížením. Planetové soukolí mění převodové stupně pomocí spojování nebo zastavování jednotlivých členů soukolí. Hodí se hlavně k přeplňovaným

motorům, jelikož u těchto motorů dochází jen k malému poklesu otáček motoru, respektive turbodmychadla a motor je stále v tahu.



Obr. 10: Planetové soukolí [25]

Jednotlivé rychlostní stupně jsou řazeny pomocí spojek a brzd, ty jsou ovládány tlakem oleje, který mimo jiné slouží k mazání ozubených kol, cirkuluje v hydrodynamickém měniči a má na starosti i samotné ovládání převodovky.

Tím, jak rostly výkony motorů a požadavky na snižování spotřeby, zvyšoval se počet rychlostních stupňů. První převodovky založené na tomto principu si vystačily se třemi respektive čtyřmi, na což stačilo jednoduché planetové soukolí. Časem se jejich odstupňování ukázalo jako nevhodné, hlavně z důvodu velkého rozdílu mezi první a druhou rychlostí. Z toho důvodu vzniklo zavedení dvou planetových soukolí, která se od sebe lišila počtem planetových kol a satelitů nebo provedením korunového kola. Tato rozlišná planetová soukolí nesla název Ravigneaux a Simpson. V polovině 90. let minulého století se na trhu objevily pětistupňové převodovky, které kromě dvojitého planetového soukolí měly o jedno jednoduché soukolí více. V roce 2003 německá automobilka BMW na trh uvedla šestistupňovou převodovku, která obsahovala navíc nově patentované soukolí pojmenované podle svého vynálezce Lepelletier, díky čemuž se snížil počet řadících členů z pěti na šest, což mělo za následek snížení ztrát a zrychlení řazení. Ještě v témže roce přišel Mercedes-Benz na trh se svojí sedmistupňovou převodovkou. Jako první s osmistupňovou převodovkou se na trhu ukázala v roce 2006 automobilka Lexus. [25]

2.3.4.4 Sekvenčně řazené převodovky

Sekvenčně řazené převodovky můžeme zařadit do pomyslného rozmezí mezi manuální a automatické převodovky. Sekvenční převodovka se od manuální liší hlavně způsobem řazení. Na rozdíl od klasického „háčka“ se u těchto převodovek řadí rychlostní stupně postupně nahoru či dolů. Řazení je tak mnohem rychlejší a podobně jako u automatických převodovek, bychom v těchto vozech hledali spojkový pedál zbytečně. U sekvenčních převodovek můžeme rovněž využít k řazení tzv. „pádla“ pod volantem a užít si tak sportovní charakter jízdy. Mimo jiné tyto převodovky byly poprvé použity na přelomu 80. a 90. let ve vozech Formule 1.

V každé převodovce musí být minimálně dvě hřídele, z nichž jedna je hnací a druhá hnaná. Tyto hřídele jsou navzájem spojeny ozubenými koly a každá dvojice tvoří jeden rychlostní stupeň. Počet zubů na těchto ozubených kolech vyjadřuje převod každého převodového stupně. Na hnací hřídeli jsou ozubená kola připojena na pevno, při čemž na hnané hřídeli se protáčí. Z tohoto důvodu dochází k neustálému otáčení všech ozubených kol. Pokud dojde k zařazení rychlostního stupně, na hnané hřídeli dojde k pevnému propojení ozubeného kola pomocí ozubené spojky. Ozubená spojka je spojená s hnanou hřídelí tak, aby nedocházelo k protáčení, ale mohla být posunuta řadící vidlicí. Do tohoto okamžiku se klasická mechanická převodovka od sekvenční příliš neliší.

Hlavní rozdíl spočívá ve způsobu ovládání řadících vidlicí. U manuálních převodovek jsou řadící vidlice posouvány po svých osách pomocí řadících táhel, která jsou ovládána řadící pákou vpřed, vzad a do stran. U sekvenční převodovky pohyb těchto řadících vidlic obstarává řadící válec. Ten má v sobě vyfrézované zakřivené drážky a v těchto drážkách jsou uchycené řadící vidlice. Dochází k otáčení válce do úhlu odpovídajícího rychlostního stupně. Zakřivení drážek je navrženo tak, aby v mezním vychýlení došlo k posunu ozubené spojky do polohy, která je nutná k zařazení nebo naopak vyřazení rychlosti. Při každém zařazení dochází k pohybu pouze jedné řadící vidlice. Jedna vidlice spíná dva rychlostní stupně, v každé mezní poloze jeden.

Jednotlivé rychlostní stupně jsou proti nežádoucímu vypadnutí zabezpečeny pomocí speciálních zámků, které drží jednotlivé stupně, dokud je motor v záběru. K uvolnění zámků musí dojít ke snížení točivého momentu. To je řešeno snímačem, který

je umístěn přímo v převodovce nebo u řadící páky a během přeřazení zajistí krátkodobé odstavení výkonu motoru. To lze řešit přerušením vstřikování paliva, popřípadě odpojením zapalování. [26]

3 MATERIÁL A METODY

Tato část diplomové práce je věnována popisu postupu odběru upotřebovaného převodového oleje, osobního automobilu a automatické převodovky, ze které byly jednotlivé vzorky oleje odebírány.

Dále tato kapitola obsahuje přehled jednotlivých měřících zařízení, kterých bylo využito při analýze jednotlivých vzorků převodového oleje.

3.1 Testovaný osobní automobil

Vzorky převodového oleje pro analýzu kvalitativní degradace byly odebírány z osobního automobilu Audi A6 2.5TDi. Audi A6 druhé generace bylo uvedeno na trh v roce 1997 ve dvou variantách karoserie. Zpočátku byl představen sedan a posléze bylo na trh uvedeno i kombi s označením Avant. Pod kapotu tohoto vozu se dostaly výkonné, ale oproti tomu také poměrně slabé motory. Vznětové motory byly nabízeny ve dvou variantách. Prvně o obsahu 1896 cm^3 a výkonu 81 kW a druhá o obsahu 2496 cm^3 a výkonech 110 kW, 114 kW, 120 kW a 132 kW. Zážehové motory byly nabízeny ve více možnostech. Nabídka začínala atmosférickým agregátem o obsahu 1781 cm^3 s výkonem 92 kW a končila nejsilnějším osmiválcovým přeplňovaným agregátem o obsahu 4172 cm^3 s výkonem 331 kW. Zákaznici si mohli vybrat modely s pohonem předních kol, ale i se stálým pohonem všech kol prostřednictvím systému quattro s mezinápravovým diferenciálem Torsen.

3.1.1 Technické parametry testovaného vozidla

- Rok výroby: 1998
- Typ motoru: V6
- Zdvihový objem: 2496 cm^3
- Vrtání x zdvih: 78,3 x 86,4
- Výkon: 110 kW / 4000 min^{-1}
- Kroutící moment: 310 Nm / 4000 min^{-1}
- Palivo: diesel
- Převodovka: automatická, Tiptronic
- Počet rychlostních stupňů: 5
- Karoserie: kombi

- Celková délka: 4797 mm
- Rozvor: 2761 mm
- Největší technicky přípustná hmotnost: 2295 kg
- Pohon kol: 4x4
- Pneumatiky: 225/50 - R17
- Nejvyšší rychlost: 208 $km.h^{-1}$

3.1.2 Automatická převodovka Tiptronic

Jedná se o pětistupňovou, planetovou automatickou převodovku, která ke své činnosti využívá hydrodynamický měnič točivého momentu. Tato převodovka je doplněna elektronickou řídící jednotkou, která řazení přizpůsobuje aktuálním jízdním podmínkám. Mezi nevýhody těchto převodovek patří nižší maximální rychlost, pomalejší zrychlení a hlavně větší spotřeba, což samozřejmě znamená i horší emise oproti vozidlům stejného typu s manuální převodovkou. Převodovka nabízí řidičům i manuální volbu převodových stupňů prostřednictvím voliče převodovky nebo u řidičů populárních „pádel“ pod volantem.

Tento typ převodovky je náročný na údržbu, i když výrobci tvrdí, že se jedná o bezúdržbový typ automatické, nelze s nimi souhlasit, jelikož uvnitř převodovky dochází ke tření, vznikají tam i malé kovové částečky, které mohou způsobit zanesení olejového filtru a znehodnocení olejové náplně. Včasnou a správnou výměnou olejové náplně lze významně prodloužit její životnost. Ve spodní části převodovky se nachází kontrolní šroub, který slouží k výměně olejové náplně a ke kontrole jejího množství. Kontrola množství oleje se provádí na zcela rovné ploše, za chodu motoru a v pozici voliče převodovky v poloze P. Po uvolnění kontrolního šroubu musí olejová náplň pozvolna vytékat, pokud je tomu naopak, je zapotřebí olejovou náplň doplnit. Množství olejové náplně se v tomto typu převodovky uvádí kolem 11 litrů oleje.

Výměna oleje u zajetého vozidla, což se zpravidla označuje jako první pozáruční kilometry, se doporučuje v rozmezí 40 - 60 tisíc kilometrů. U výměny olejové náplně se doporučuje provádět tzv. proplach z důvodu, aby došlo k co nejkvalitnější výměně. Olejový filtr se mění až po poslední fázi proplachu.

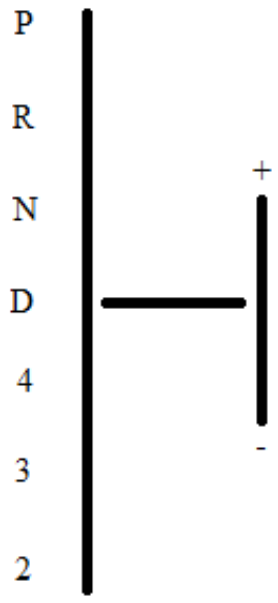
U vozidel vybavených touto automatickou převodovkou je důležité dbát na pár zásad. Mezi hlavní patří omezit tažení tohoto vozidla za jiným dopravním prostředkem.

Doporučuje se maximální délka trasy 50km při jízdě maximální rychlostí do 50 $km.h^{-1}$. V tomto režimu provozu není převodovka správným způsobem chlazená, dochází tedy uvnitř převodovky ke vzniku vyšších teplot, což by mohlo mít za následek její znehodnocení.

Další součástí vozidel s tímto typem převodovky je multifunkční ukazatel zobrazující právě zařazený režim. [27]

Volič převodovky nabízí tyto režimy:

- P - parking
- R - reverse
- N - neutrál
- D - drive
- 2 - bude zařazen maximálně 2. rychlostní stupeň
- 3 - bude zařazen maximálně 3. rychlostní stupeň
- 4 - bude zařazen maximálně 4. rychlostní stupeň
- - / + - manuální režim řazení



Obr. 11: Schematické znázornění řazení převodovky Tiptronic

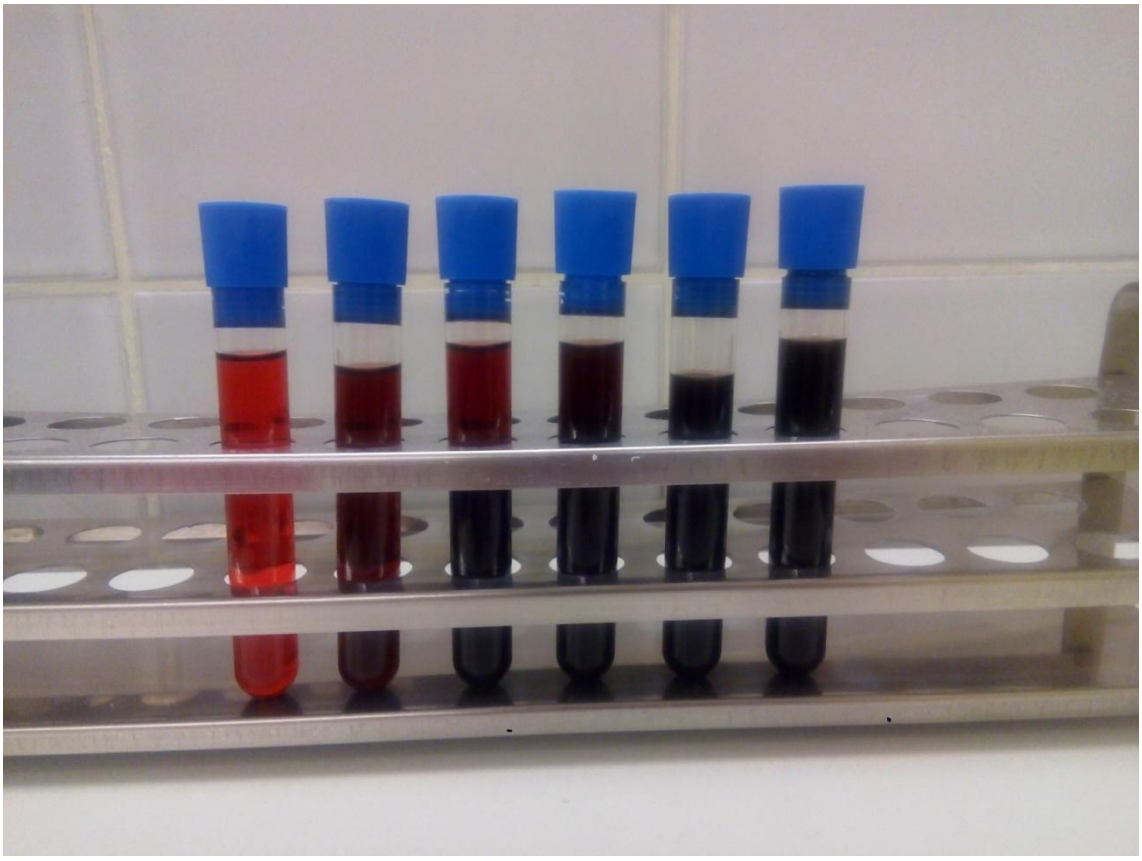
3.2 Odběr vzorku oleje

Olejová náplň v automatické převodovce byla kompletně vyměněna v červnu 2013, kdy ukazatel ujeté vzdálenosti na přístrojové desce ukazoval 205 tisíc km. Převodový olej, který byl použit, je popsán v kapitole 3.3. Od doby výměny byly odebírány vzorky opotřebovaného oleje v intervalu po ujetí každých 12 tisíc kilometrů. Jelikož servisy zabývající se výměnou automatické převodovky uvádějí výměnu oleje po 40 - 60 tisících kilometrech, poslední vzorek byl odebrán právě po ujetí vzdálenosti 60 tisíc kilometrů v březnu 2015. Za celou dobu provozu tohoto rozmezí kilometrů nebylo potřeba dolévat nový převodový olej. Vozidlo v této uvedené době absolvovalo převážně jízdu na dlouhé vzdálenosti se zátěží v podobě vleku sloužící pro převoz automobilů a z toho důvodu nebyl problém během uvedené doby zvládnout právě uvedený počet ujetých kilometrů.

Z hlediska korektnosti měření je důležité, aby jednotlivé vzorky opotřebovaného převodového oleje, byly odebírány stejným způsobem a za stejných podmínek. Všechny vzorky jsem odebíral osobně.

Postup odběru vzorků byl následující:

- Vozidlo bylo zahřáto na provozní teplotu 90°C
- Jednotlivé odběry probíhaly za chodu motoru a při zařazeném režimu N na voliči automatické převodovky
- Vzorky oleje byly odebírány kontrolním otvorem v převodovce za pomocí vždy nové plastové injekční stříkačky s gumovou hadicí o celkové velikosti 20 ml
- Vzorky se ihned po odběru plnily do plastových vzorkovnic o objemu 10 ml
- Plastové vzorky byly ihned po naplnění zakryty uzávěrem, aby nedošlo ke smíchání vzorků oleje s nežádoucími nečistotami
- Tímto způsobem bylo odebráno pět vzorků oleje



Obr. 12: Vzorky převodového oleje

3.3 Testovaný převodový olej

Pro potřeby měření degradace převodového oleje byl použit převodový olej Mercedes - Benz, Automatik - Getriebeöl, ATF 134. Jedná se o speciální červeně zbarvenou olejovou náplň určenou pro automatické převodovky využívající ke své činnosti hydrodynamický měnič.

Tab. 5 Převodový olej Mercedes - Benz ATF 134

Označení oleje	**Dynamická viskozita [MPa.s]**	**Hustota [kg.m^{-3}]**
Automatik - Getriebeöl, ATF 134	26,0	833,8

3.4 Měřicí přístroje

Pro analýzu odebraných vzorků převodového oleje byly použity níže popsané měřicí přístroje.

3.4.1 Digitální hustoměr

K měření hustoty byl použit přenosný digitální hustoměr Densito 30PX od výrobce Mettler Toledo. Díky tomuto hustoměru je možné zjistit během několika málo sekund hustotu daného vzorku. Je vybaven pumpou s regulovanou rychlostí nasávání a zároveň i otvorem pro vstřik vzorku externí stříkačkou, např. pro extrémně viskózní vzorky. Interní paměť tohoto hustoměru umožňuje uložení až 1100 výsledků, které lze později přenést do PC nebo do tiskárny. Pomocí digitálního displeje vidí obsluha tohoto zařízení během krátké doby výsledek daného vzorku. Kompenzace teploty tohoto přístroje probíhá automaticky nebo lze využít jednoho z deseti přednastavených teplotních kompenzačních koeficientů. [28]

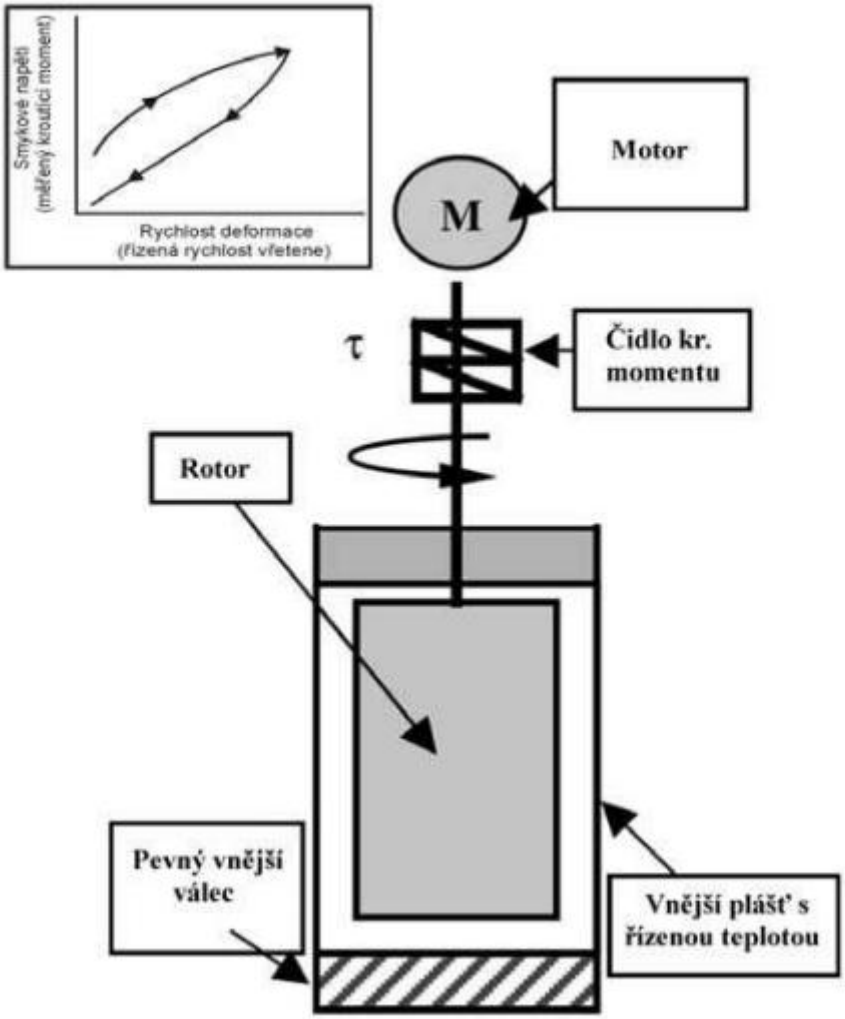
Tab. 6 Technické parametry digitálního hustoměru [28]

Technické parametry		
	Hustota [$g.cm^{-3}$]	Teplota [°C]
Měřící rozsah	0 - 2	0 - +40
Rozlišení	0,0001	0,1
Přesnost	±0,001	±0,001

Obrázek č. 13: Digitální hustoměr Densito 30PX [29]

3.4.2 Rotační viskozimetr

Měření dynamické viskozity probíhalo pomocí rotačního viskozimetru DV - 3P rakouského výrobce Anton Paar. Princip činnosti tohoto viskozimetru spočívá v měření velikosti kroutící síly, která je potřebná k překonání odporu u rotujícího válce ponořeného ve zkoumaném materiálu. Rotující válec je připojen přes pružinu s hřídelí motoru, která se točí definovanou rychlostí. Na základě interních výpočtů je z měřených hodnot přímo zobrazena hodnota dynamické viskozity [mPa.s]. [30]



Obr. 14: Schematické znázornění rotačního viskozimetru [30]

K měření dynamické viskozity bylo použito standardizované vřeteno s označením TR8.

Pro samotné měření dynamické viskozity jsme nejdříve museli nastavit změřenou hustotu v prvním kroku. Dále se na rotačním viskozimetru nastavily otáčky vřeteny. Pro námi zvolené měření byly otáčky nastaveny na 200 min^{-1}. Nakonec jsme nastavili vzorkovací frekvenci. Do adaptéru pro měření malých vzorků jsme vložili kyvetu s měřeným vzorkem. Teplota vzorku byla udržována na 40°C, dle normy ISO 8217:2012 standardizovaná teplota pro ropné kapaliny. Z měřených hodnot byla dle interních výpočtů přímo zobrazena hodnota dynamické viskozity. Hodnoty kinematické viskozity byly dopočítány. Kinematická viskozita je poměr viskozity dynamické a hustoty měřeného vzorku.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [m^2.s^{-1}]$$

kde (ν) je kinematická viskozita, (η) dynamická viskozita a (ρ) hustota.

Tab. 7 Technické parametry rotačního viskozimetru [30]

Technické údaje		
Rozlišení	Pro adaptér „nízká viskozita“: 0,01 Viskozita < 10000 mPa.S: 0,1 Viskozita > 10000 mPa.S: 1	
Přesnost	± 1 % z plného rozsahu	
Opakovatelnost	± 0,2 % z plného rozsahu	
Teplota místnosti	10 – 30 °C	
Teplotní senzor	Označení	Pt 100
	Rozsah	0 – 100 °C
	Přesnost	± 0,25 °C
Rozměry [mm]	d x š x v	350 x 300 x 500
Materiál Vřetene	AISI 316 nerez ocel	

3.4.3 Atomový emisní spektrometr

Tento přístroj může být použit pro zjištění chemického složení vzorků oleje. Princip AES je založen na kvantitativním měření emise z excitovaných atomů ke zjišťování koncentrace analyzovaného vzorku. Atomy analyzovaného vzorku v roztoku jsou vneseny do excitační oblasti, kde jsou rozpuštěny a odpařeny pomocí budících zdrojů

jako jsou plamen, elektrický výboj nebo plazma. Vysoké teploty budícího zdroje mají za následek, že atomy získají dostatečnou energii k převedení do atomárního excitovaného stavu a následně emitují čárové polychromatické záření. Jednotlivá spektra víceprvkových vzorků mohou být nepřehledná, proto je potřeba spektrometr s vysokým rozlišením. Jednotlivé polohy čar ve spektru udávají kvalitativní složení vzorků, zatímco intenzita čar ukazuje kvantitativní obsah analytu ve vzorku.

Tento přístroj se skládá z budícího zdroje, optického spektrometru a elektroniky s výpočetním systémem. Jako budící zdroje se nejčastěji používají plamen, obloukový nebo jiskrový elektrický výboj nebo plazmové zdroje, které lze rozdělit do čtyř skupin, kterými jsou: stejnosměrné plazma, mikrovlnně indukované plazma, kapacitně vázané plazma a indukčně vázané plazma. [31]

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

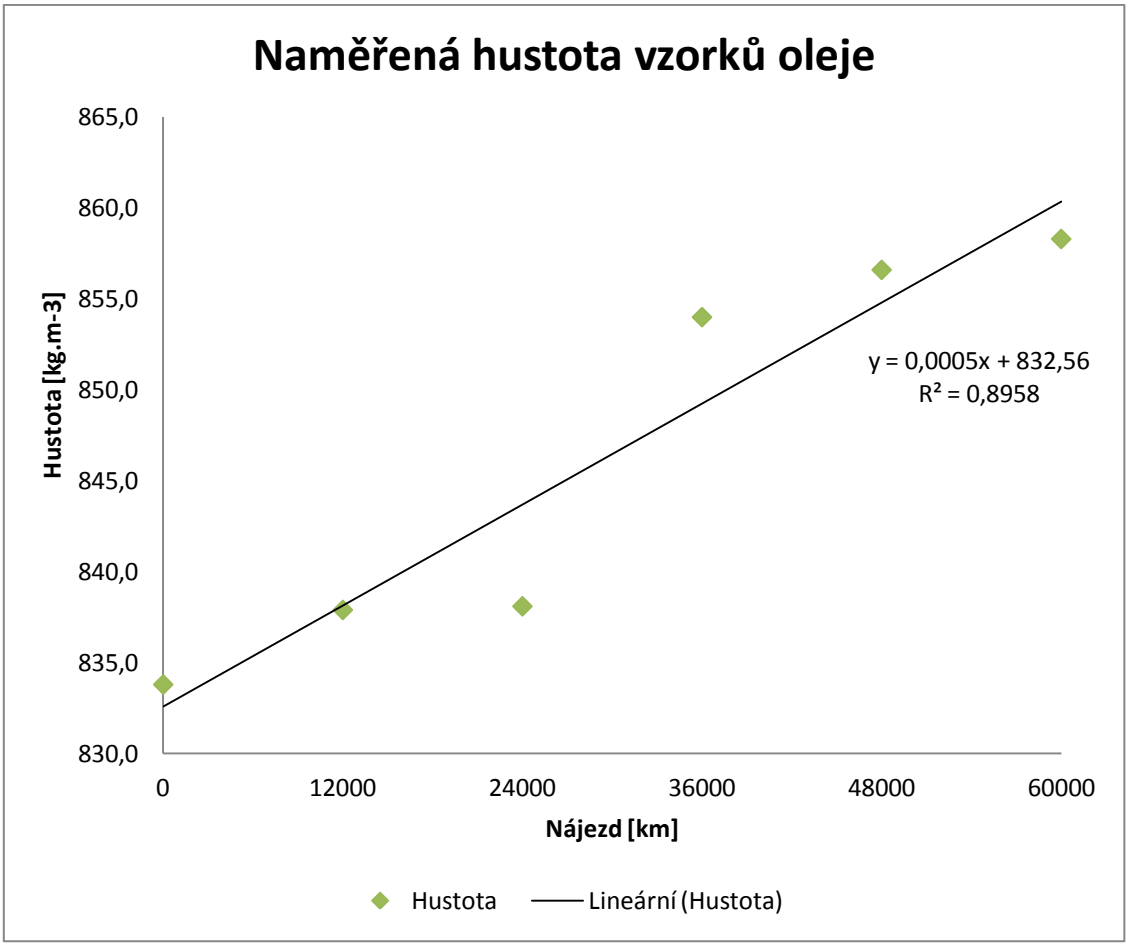
V této kapitole jsou vyhodnoceny získané výsledky měření. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách, jejichž součástí jsou i výsledné grafy závislosti. Součástí této kapitoly je i diskuze k jednotlivým výsledkům.

4.1 Hustota oleje

Jako první byla měřena hustota u všech odebraných vzorků oleje. Literatura [32] uvádí, že měření hustoty je důležité z hlediska posouzení kvality oleje. Změna hustoty opotřebovaného oleje oproti hustotě oleje nového, indikuje znečištění oleje pevnými nebo kapalnými kontaminanty. Výsledné naměřené hodnoty mohou ukázat míru degradace převodového oleje. Naměřené hodnoty jednotlivých vzorků oleje jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tab. 8 Naměřené hodnoty hustoty převodového oleje

Interval odběru	Nájezd	Hustota
[km]	[km]	[kg.m^{-3}]
nový	0	833,8
12000	12000	838,1
12000	24000	837,9
12000	36000	854,0
12000	48000	856,6
12000	60000	858,3



Obr. 15: Graf naměřené hustoty převodového oleje [zdroj: autor]

Dle grafu na Obrázku č. 15 lze vidět vzrůstající tendenci během celého sledovaného intervalu výměny převodového oleje. Hustotu nového oleje si každý výrobce volí individuálně. Z grafu je také vidět velký skokový nárůst hustoty během intervalu nájezdu 24 tisíc až 36 tisíc kilometrů. Toto může být důsledkem většího výskytu otěrových částí jednotlivých pracovních součástí automatické převodovky způsobené jejich nadměrným opotřebením při aktuálním množství najetých kilometrů celého vozu. Jelikož v tomto intervalu je nárůst hustoty velmi značný, dalo by se říci, že další výměna kompletní olejové náplně v automatické převodovce, by v tomto konkrétním případě, měla nastat již po ujetí intervalu 36 tisíc kilometrů. Nárůst hustoty posledního odebraného vzorku oleje oproti oleji novému byl 2,93 %.

4.2 Viskozita

Další veličinou, která byla u jednotlivých vzorků oleje měřena, je viskozita. Pomocí rotačního viskozimetru byla zjištěna dynamická viskozita. Společně již z dříve naměřenou hustotou byl proveden výpočet kinematické viskozity pomocí vzorce:

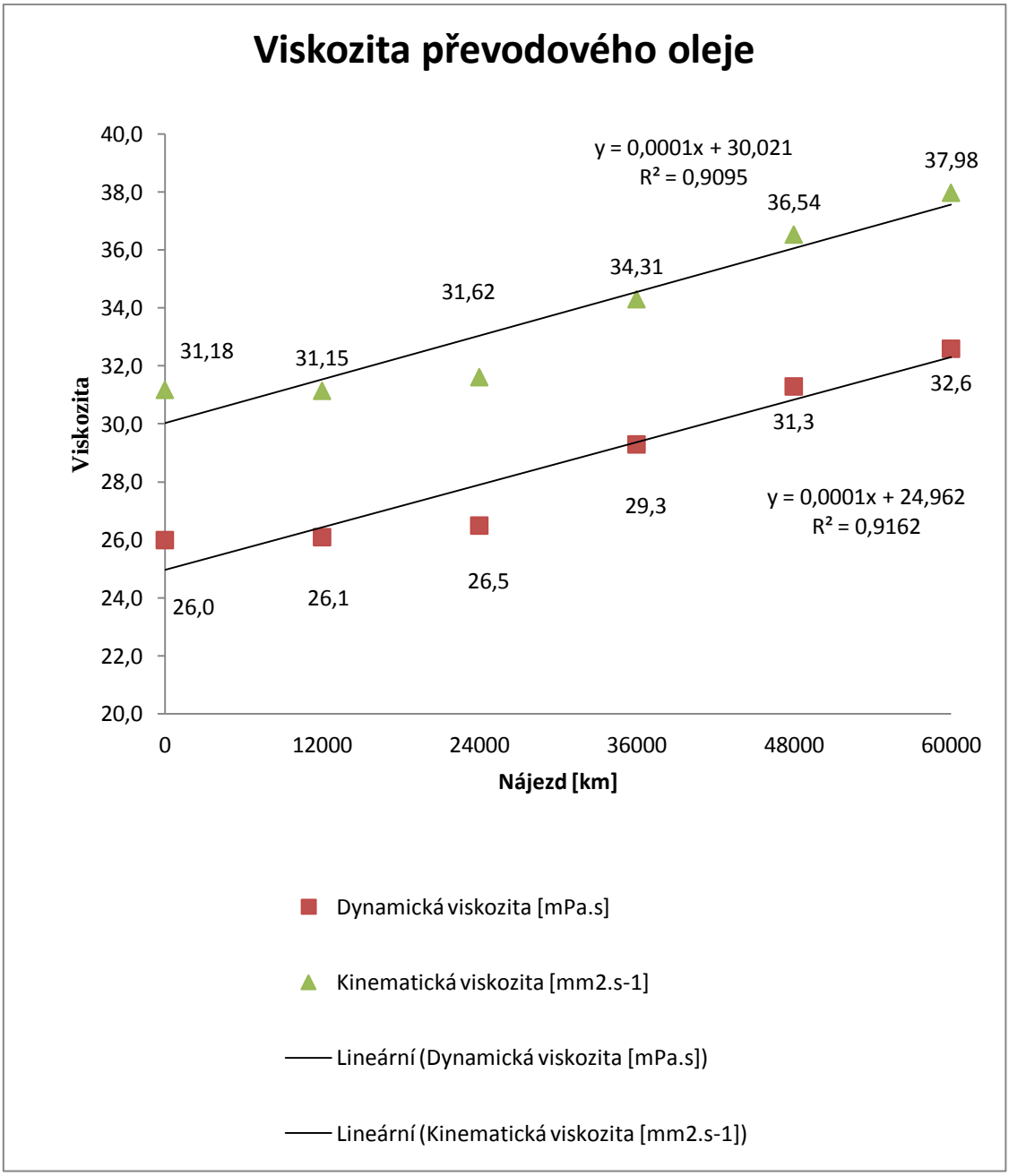
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [m^2.s^{-1}]$$

kde (ν) je kinematická viskozita, (η) dynamická viskozita a (ρ) hustota.
Jednotlivé naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tab. 9 Naměřené hodnoty viskozity převodového oleje

Interval odběru	Nájezd	Dynamická viskozita	Hustota	Kinematická viskozita
[km]	[km]	[mPa.s]	[g.cm^{-3}]	[mm^2.s^{-1}]
nový	0	26,0	0,8340	31,183
12000	12000	26,1	0,8379	31,149
12000	24000	26,5	0,8381	31,619
12000	36000	29,3	0,8540	34,309
12000	48000	31,3	0,8566	36,540
12000	60000	32,6	0,8583	37,982

Dle literatury [33] může viskozita při provozu daného zařízení klesat, například při proniknutí paliva do maziva. Tento jev nastává při provozu maziv v motorovém prostoru, nikoliv v prostoru převodových částí vozidel. Růst viskozity může mít za následek zahušťování oleje nečistotami a oxidačními produkty.



Obr. 16: Graf naměřené viskozity převodového oleje [zdroj: autor]

V případě zkoumaných vzorků oleje došlo k postupnému nárůstu viskozity. Z grafu na obrázku č. 16 lze opět vyčíst, že největší nárůst viskozity nastal stejně jako u hustoty v intervalu mezi ujetými 24 a 36 tisíci kilometry. Nárůst kinematické viskozity posledního odebraného vzorku oleje oproti oleji novému byl o 21,81 %.

4.3 Atomová emisní spektrometrie

Pomocí atomové emisní spektrometrie byly zjišťovány jednotlivé chemické prvky obsažené v jednotlivých vzorcích oleje a sledována jejich změna způsobená nájezdem kilometrů. Během provozu převodového systému dochází ke změně složení převodového oleje, což je způsobeno převážně díky mechanickému otěru jednotlivých pracovních části automatické převodovky.

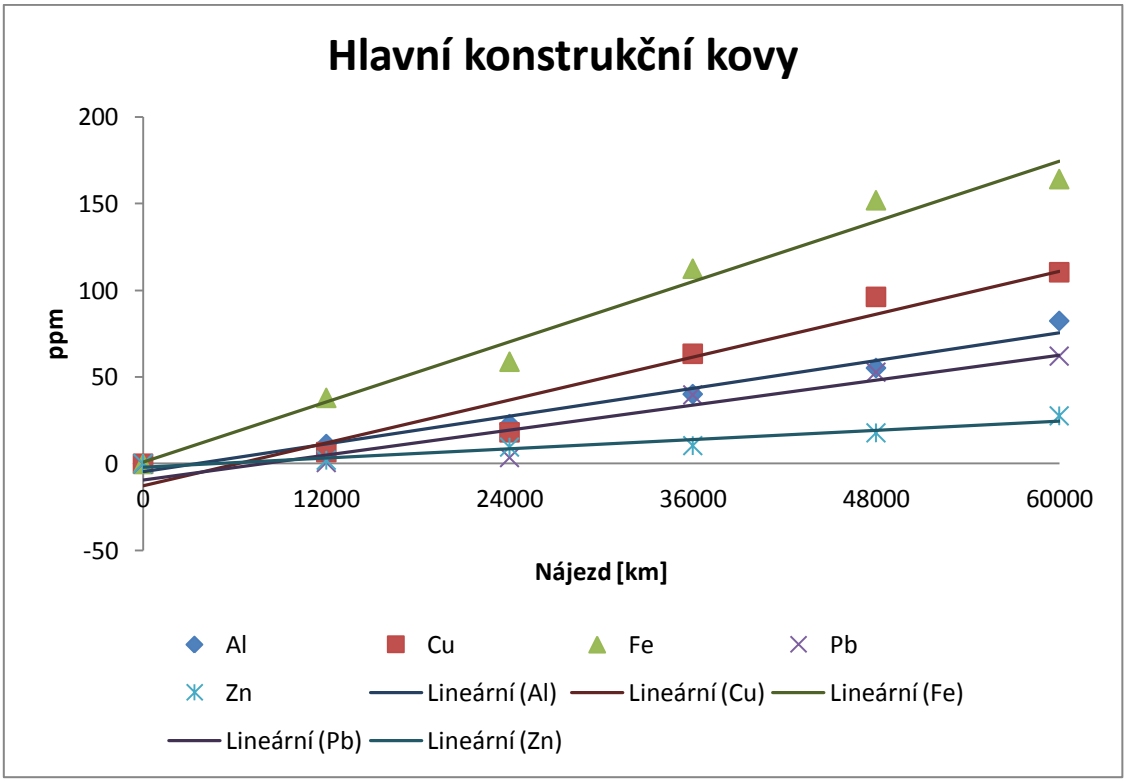
Zjištěné prvky obsažené ve vzorcích oleje byly rozděleny do tří skupin.

4.3.1 Základní konstrukční kovy

V této kapitole jsou pomoci atomové emisní spektrometrie sledovány základní konstrukční kovy, ze kterých jsou vyrobeny jednotlivé konstrukční součásti automatické převodovky. Publikace [34] udává, že konstrukční kovy různých dílů převodovky jsou z větší části vyrobeny ze specifických materiálů, díky tomu je z množství konkrétního kovu v oleji možné odhadnout pravděpodobné místo, kde k závadě dochází. Dále tato publikace uvádí, že při výrobě dílů pro převodovky převažují konstrukční kovy, a to železo (Fe), hliník (Al), měď (Cu), olovo (Pb) a zinek (Zn). Tyto prvky jsou v novém oleji obsaženy v nulovém nebo minimálním množství a v oleji se objeví až postupným provozem.

Tab. 10 Naměřené hodnoty hlavních konstrukčních kovů v převodovém oleji

Interval	Nájezd	Al	Cu	Fe	Pb	Zn
[km]	[km]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Nový	0	0,14	0,07	0	0	0,15
12000	12000	11,42	6,79	38,07	0,73	2,10
12000	24000	22,92	18,20	58,93	3,59	9,66
12000	36000	40,22	63,50	112,56	39,80	10,51
12000	48000	55,30	96,31	152,05	52,89	17,90
12000	60000	82,45	110,54	164,25	62,15	27,70



Obr. 17: Graf naměřených hodnot konstrukčních kovů v převodovém oleji [zdroj: autor]

Z grafu na obrázku č. 17 lze vyčíst vzrůstající tendenci obsahu všech hlavních konstrukčních kovů obsažených v automatické převodovce. Nejvíce olej degraduje železo, jehož nárůst oproti novému oleji je velice značný. Publikace [34] uvádí, že železo se vyskytuje téměř vždy jako hlavní konstrukční kov a jeho koncentrace je až na výjimky vždy největší. Stejně jako u zjištěných hodnot hustoty a viskozity nastává opět největší skok nárůstu v intervalu 24 až 36 tisíc ujetých kilometrů. Tento skokový nárůst se týká hlavně prvků železa, mědi a olova. U ostatních hlavních konstrukčních prvků není tento skokový nárůst tak značný.

4.3.2 Vedlejší kovy

V této kapitole jsou uvedeny další vedlejší kovy, jejichž obsah byl zjištěn v odebraných vzorcích převodových olejů. Další chemické prvky, které byly zjištěny jsou stříbro (Ag), vápník (Ca), kadmium (Cd), chrom (Cr), draslík (K), hořčík (Mg), mangan (Mn), sodík (Na), nikl (Ni), fosfor (P), cín (Sn), křemík (Si), titan (Ti) a vanad (V).

Veškeré výše jmenované chemické prvky již byly v menším či větším množství zastoupeny v novém oleji. Průběhu postupného nájezdu kilometrů docházelo k jejich nárůstu nebo naopak poklesu. Naměřené hodnoty těchto chemických prvků jsou uvedeny v tabulce č. 11 a č. 12.

Tab. 11 Naměřené hodnoty vedlejších chemických prvků v převodovém oleji

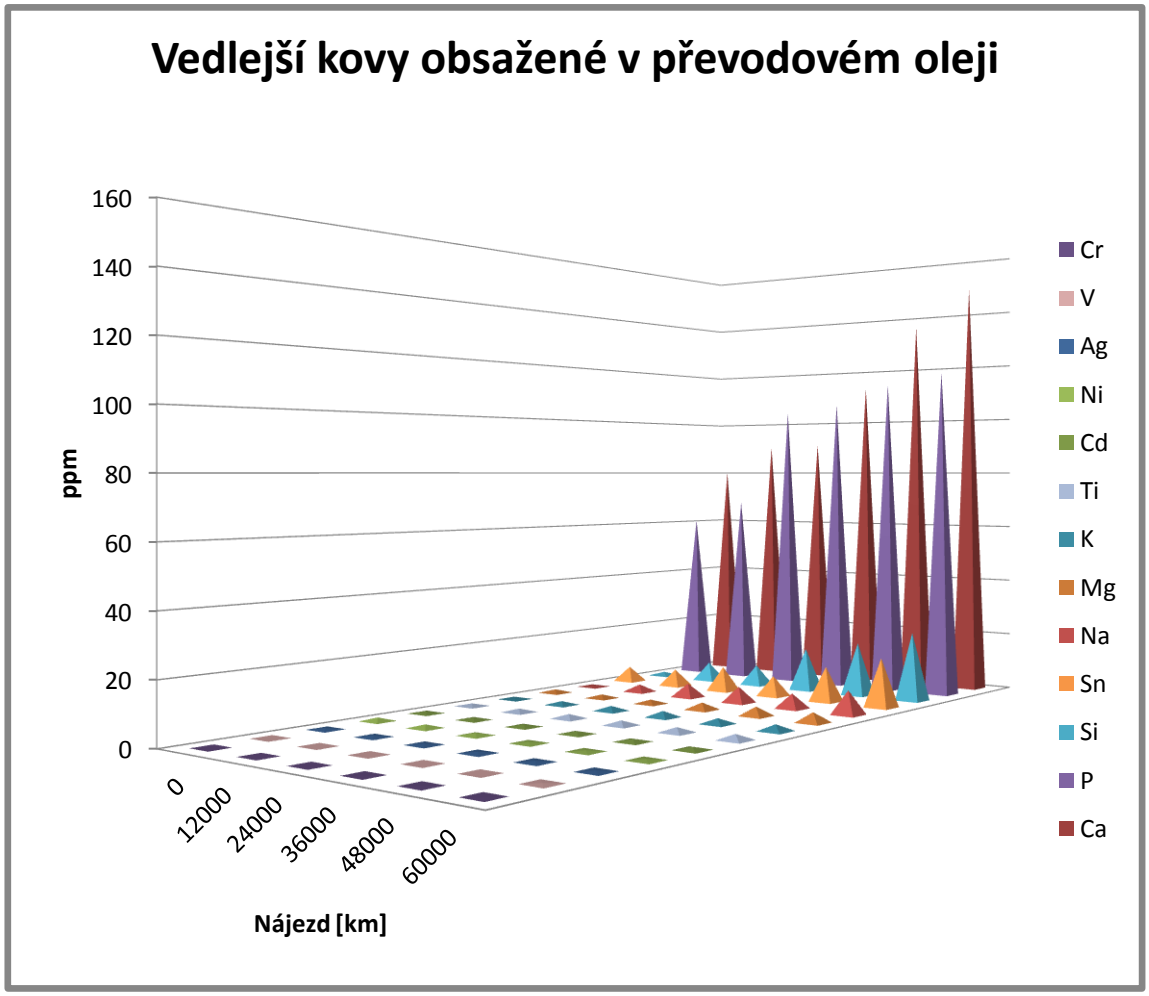
Interval	Nájezd	Ag	Ca	Cd	Cr	K	Mg
[km]	[km]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
nový	0	0,47	80,09	0,60	0	0,30	1,20
12000	12000	0,45	90,15	0,69	0	1,30	1,31
12000	24000	0,43	90,96	0,77	0	1,71	1,44
12000	36000	0,44	112,88	0,83	0,07	2,11	2,45
12000	48000	0,41	135,60	0,87	0,07	1,90	3,08
12000	60000	0,39	148,34	0,89	0,07	2,15	3,38

Tab. 12 Naměřené hodnoty vedlejších chemických prvků v převodovém oleji

Interval	Nájezd	Na	Ni	P	Si	Sn	Ti	V
[km]	[km]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
nový	0	0,37	1,20	60,80	1,31	5,34	0,92	0
12000	12000	2,60	1,19	68,23	6,60	5,98	1,21	0
12000	24000	4,81	0,79	103,09	7,25	8,62	1,50	0
12000	36000	5,51	0,44	105,82	14,95	7,10	1,60	0
12000	48000	5,10	0,42	112,64	18,59	12,10	1,70	0
12000	60000	8,11	0,41	116,31	23,69	16,77	1,90	0,22

Z naměřených hodnot lze vyčíst, že výraznější nárůst množství v jednotlivých vzorcích převodového oleje zaznamenaly především chemické prvky vápník (Ca), fosfor (P), křemík (Si) a sodík (Na). Literatura [33] uvádí, že obsah křemíku a sodíku je

téměř vždy analyzován. Křemík je totiž společně se sodíkem hlavní součástí prachových částic. Sodík je častým kontaminantem díky zimním posypům vozovek solí. Vápník v oleji plní funkci detergentu, tudíž slouží k čištění kovových povrchů převodovky a slouží k uvolnění různých usazenin. Oproti tomu pokles svého množství po postupném nájezdu kilometrů zaznamenaly chemické prvky stříbro (Ag) a nikl (Ni).



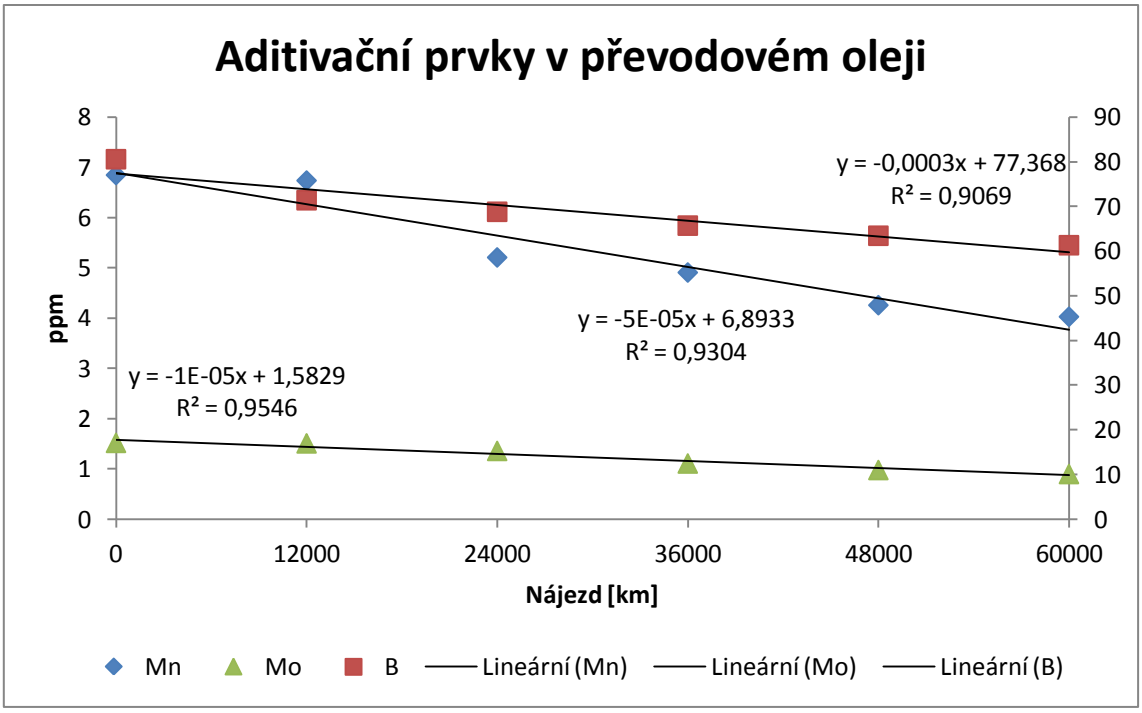
Obr. 18: Graf naměřených hodnot konstrukčních kovů v převodovém oleji [zdroj: autor]

4.3.3 Aditivační prvky

Naměřené hodnoty aditivačních prvků obsažených v oleji jsou uvedeny v tabulce 13. Jedná se o chemické prvky bór (B), molybden (Mo) a mangan (Mn).

Tab. 13 Naměřené hodnoty aditivačních chemických prvků v převodovém oleji

Interval	Nájezd	Mn	B	Mo
[km]	[km]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
nový	0	6,85	80,6	1,52
12000	12000	6,74	71,42	1,51
12000	24000	5,21	68,83	1,36
12000	36000	4,91	65,74	1,11
12000	48000	4,26	63,47	0,98
12000	60000	4,03	61,35	0,90



Obr. 19: Graf naměřených hodnot aditivačních prvků v převodovém oleji [zdroj: autor]

Z grafu na obrázku č. 19 lze vyčíst, že množství všech tří aditivačních prvků po celou dobu provozu mělo klesající tendenci. Největší procentní pokles za celou dobu provozu zaznamenal mangan. Jeho hodnota oproti novému oleji poklesla o 41,17 %, hodnota molybdenu poklesla o 41,02 % a hodnota bóru klesla o 38,06 % procenta.

5 ZÁVĚR

Tato diplomová práce pojednává o kvalitativním hodnocení degradace převodového oleje v automatické převodovce Tiptronic v osobním automobilu Audi A6. Dle dostupných zdrojů jsou automatické převodovky stále více používanějším prvkem v osobních automobilech, a to nejen v USA, ale i Evropě. Tento jev je dán především požadavky zákazníků na větší komfort cestování. V dnešní době se trh s automatickými převodovkami začíná zcela jistě zaplňovat a velmi těžko bychom hledaly automobilku, která ve svých vozidlech nenabízí automatickou převodovku. Moderní konstrukce dnešních automatických převodovek nenabízí oproti manuálním převodovkám pouze zvýšený komfort cestování, ale také nižší spotřebu. Když vezmeme v úvahu stále se zvyšující tlak Evropské Unie na výrobce automobilů na snižování produkovaných škodlivin do ovzduší, které přímo souvisí se spotřebou paliva, je jen otázkou času, kdy manuální převodovky budou zcela automaty nahrazeny.

Primárním úkolem převodového oleje v automatické převodovce je mazání a chlazení pracovních částí převodovky. Automatická převodovka je konstrukční součástí, jež je velmi citlivá na čistotu olejové náplně. V tomto ohledu je i náročnější než motor. Její obrovská počáteční výhoda spočívá v tom, že na rozdíl od motorového prostoru se v převodovce netvoří karbon, a tak čistota olejové náplně v počátku provozu vydrží dlouho ve velmi dobrém stavu. Ovšem je otázkou, co se s olejovou náplní bude dít s postupným větším počtem ujetých kilometrů a následným zvyšováním se množství mechanického otěru. Mnozí výrobci hovoří o celoživotní náplni, tedy o tzv. lifetime náplni. Z tohoto tvrzení tedy vyplývá, že automatické převodovky jsou zcela bezúdržbové. Toto tvrzení nelze označit za lež, výrobci pouze neuvádí číslo, kterým by životnost převodovky i celého automobilu měla končit. Pokud životnost převodovky pro výrobce znamená dosažení kilometrů, do kterých výrobce poskytuje záruku na vozidlo, nezbývá nic jiného, než s nimi o celoživotní náplni souhlasit.

Servisy, zabývající se opravami automatických převodovek doporučují první výměnu v intervalu 80 a 120 tisíc ujetých kilometrů, ale vzhledem k tomu, že značkové servisy výrobců vozidel by zásah do převodovky odměnily odnětím záruky na vůz, nezbývá nic jiného, než čekat na první pozáruční kilometry. Po tomto intervalu se doporučují další intervaly výměny 40 až 80 tisíc kilometrů.

V této diplomové práci bylo celkem analyzováno šest vzorků oleje. Kompletní olejová náplň automatické převodovky udaného vozidla byla vyměněna v době, kdy přístrojová deska vozidla ukazovala ujetou vzdálenost 205 tisíc kilometrů. K výměně byl použit olej určený pro automatické převodovky Tiptronic Mercedes – Benz, Automatik - Getriebeöl, ATF 134. První vzorek tvořil nový olej, zbylých pět bylo postupně odebíráno v intervalu každých ujetých 12 tisíc kilometrů.

U odebraných vzorků oleje byla k určení míry degradace měřena hustota, dynamická viskozita a pomocí těchto dvou veličin byla dopočítána kinematická viskozita. Pomocí atomové emisní spektrografie bylo určeno zastoupení jednotlivých kovů v oleji. Díky postupným odběrům bylo možné sledovat postupný nárůst nebo naopak pokles těchto kovů.

Hustota oleje byla měřena digitálním hustoměrem. Již první naměřené hodnoty nám mohly napovědět o míře degradace převodového oleje. Po celý interval, během kterého byly vzorky oleje odebírány, měla hustota vrůstající tendenci. Rozdíl hodnot hustoty mezi novým a posledním odebraným vzorkem oleje činil 2,93 %. Obzvláště vysoký nárůst bylo možné sledovat již v intervalu mezi ujetými 24 až 36 tisíci kilometry. Vzrůstající hustota může mít příčinu ve zvyšování množství otěrových částic.

Tyto naměřené hodnoty sloužily k výpočtu kinematické viskozity. Rotačním viskozimetrem byla změřena u jednotlivých vzorků dynamická viskozita, pomocí které byl proveden výpočet kinematické viskozity. Kinematická viskozita měla opět po celou dobu intervalu vzrůstající tendenci. Zde činil rozdíl nárůstu viskozity mezi novým a posledním vzorkem oleje 21,81 %. Stejně jako u hustoty bylo možné sledovat značný skokový nárůst viskozity již v intervalu 24 až 36 tisíc ujetých kilometrů.

Jako poslední přišlo na řadu zjištění chemického složení zkoumaného oleje pomocí atomové emisní spektrometrie. Díky této metodě byl zjištěn v menší či větší míře obsah prvků Ag, Al, B, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Ti, V, Zn. Výsledky ukázaly velice značný nárůst hlavních konstrukčních kovů. Největší nárůst zaznamenalo železo, dále měď a stříbro. Tento jev lze přisuzovat již značnému opotřebení hlavních pracovních částí převodovky způsobené značnému nájezdu celkových kilometrů, poslední vzorek, který byl použit pro měření diplomové práce, byl poskytnut v době, kdy celé vozidlo mělo již ujetých 265 tisíc kilometrů. Dále

byla také možnost sledovat klesající tendence některých aditivačních prvků. Největší pokles po uplynutí intervalu 60 tisíc kilometrů zaznamenal mangan, jeho hodnota oproti novému oleji klesla o 41,17 %.

Měřením se prokázala postupná degradace převodového oleje. Nárůst za celou dobu servisního intervalu zaznamenala jak hustota, tak i viskozita. Za zmínku jistě stojí i značný nárůst otěrových kovů hlavních konstrukčních součástí automatické převodovky, a to hlavně železa a mědi.

Je zřejmé, že v tomto případě byl převodový olej značně znehodnocen již po ujetí 36 tisíc kilometrů a zmíněný interval výměny 60 tisíc kilometrů byl příliš dlouhý a prodloužení provozu s touto olejovou náplní by mohlo mít pro automatickou převodovku značné následky. Lze konstatovat, že degradaci olejové náplně měl na starost hlavně mechanický otěr hlavních konstrukčních součástí automatické převodovky.

Diplomová práce sumarizuje problematiku převodových olejů v automatických převodovkách. Zadání diplomové práce bylo splněno v plné míře. Bylo poukázáno na degradaci převodového oleje v automatické převodovce v rámci jednoho servisního intervalu.

6 POUŽITÁ LITERATURA

[1] ZEHNÁLEK, J.: *Chemie, paliva, maziva*, 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. 176 s. ISBN 80-7157-314-0.

[2] VLK, F.: *Paliva a maziva motorových vozidel*, 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.

[3] GRODA, B., VÍTĚZ, T.: *Mechanika tekutina 1.*, 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 211 s. ISBN 978-80-7375-283-5.

[4] Petroleum.cz, *Základy výroby minerálních olejů*, [online]. [cit. 2015-03-01]. http://www.petroleum.cz/

[5] Mj auto, *Oleje*, [online]. [cit. 2015-03-01]. http://www.mjauto.cz/

[6] Řízení a údržba průmyslového podniku, *Oleje pro mazání převodů*, [online]. [cit. 2015-03-02]. http://udrzbapodniku.cz/

[7] Techmagazín, *Průmyslové převodové oleje a mazání převodovek*, [online]. [cit. 2015-03-02]. http://www.techmagazin.cz/

[8] Tribotechnika, *ATF kapaliny pro automatické převodovky v teorii a v praxi*, [online]. [cit. 2015-03-03]. http://www.tribotechnika.sk/

[9] Petroleum.cz, *Specifikace převodových olejů*, [online]. [cit. 2015-03-03]. http://www.petroleum.cz/

[10] HRDLIČKA, Z.: *Automobilové kapaliny*, 1. vyd. Praha: Grada Publishing, s.r.o., 1996. 128 s. ISBN 80-7169-332-4

[11] Automatické převodovky, *Historie automatických převodovek,* [online]. [cit. 2015-03-05]. http://automatickeprevodovky.eu/

[12] Auto.cz, *Automatické převodovky: Trendy v jejich konstrukci*, [online]. [cit. 2015-03-06]. http://www.auto.cz/

[13] Zákruta, *Automatická převodovka*, [online]. [cit. 2015-03-06]. http://www.zakruta.cz

[14] Automatické převodovky, *Údržba,* [online]. [cit. 2015-03-07]. http://automaticke-prevodovky.eu/

[15] Autanet, *Výměna oleje v automatické převodovce,* [online]. [cit. 2015-03-7]. http://www.autanet.cz

[16] Autolexicon, *Převodovka DSG,* [online]. [cit. 2015-03-08]. http://cs.autolexicon.net

[17] Mj auto, *Převodová ústrojí – III. díl*, [online]. [cit. 2015-03-08]. http://www.mjauto.cz/

[18] Auto.cz, *Alfa TCT,* [online]. [cit. 2015-03-08]. http://www.auto.cz

[19] Auto iDNES, *Dvě spojky jsou lepší než jedna,* [online]. [cit. 2015-03-10]. http://auto.idnes.cz

[20] Autolexicon, *CVT*, [online]. [cit. 2015-03-10]. http://cs.autolexicon.net/

[21] Nissan Motor Corporation, *CVT Evolution Part 1: Seamless Driving and Improved fuel efficiency*, [online]. [cit. 2015-03-10]. http://www.nissan-global.com/

[22] Kaps Automatic, *Multitronic – Automatická převodovka*, [online]. [cit. 2015-03-11] http://www.kaps.cz/

[23] VLK, F.: *Převody motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Odeon, 2006. 371 s. ISBN 80-239-6463-1.

[24] JAN, Z., ČUPERA, J., ŽDÁNSKÝ, B.: *Automobily 2 – Převody*. 2. vyd. Brno: Avid, 2009. 155 s. ISBN 978-80-87143-12-4

[25] Automobil revue, *Samočinné převodovky – svět planet*, [online]. [cit. 2015-03-14]. http://www.automobilrevue.cz/

[26] eWRC.cz, *Jak funguje sekvenční převodovka*, [online]. [cit. 2015-03-15]. http://www.ewrc.cz/

[27] Autorevue.cz, *Tiptronic vs. Multitronic vs. Selespeed*, [online]. [cit. 2015-03-20]. http://www.autorevue.cz

[28] Verkon, *Hustoměr přenosný Densito 30PX*, [online]. [cit. 2015-03-22]. http://www.verkon.cz/

[29] Mettler Toledo, *Densito 30PX*, [online]. [cit. 2015-03-22]. http://cs.mt.com/

[30] SEVERA, L.: *Tixotropní chování vybraných druhů potravin* [habilitační práce]. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 113 s.

[31] KLOUDA, P.: *Moderní analytické metody.* 2. přeprac. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003. 132s. ISBN 80-863-6907-2

[32] Pemit, *Monitorování mazacích olejů*, [online]. [cit. 2015-04-01]. http://www.pemit.cz/

[33] HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D.: *Technická diagnostika a spolehlivost I – Tribodiagnostika.* 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2001. 158 s. ISBN 80-7078-883-6

[34] Oleje.cz, *Vlastnosti olejů – otěrové kovy,* [online]. [cit. 2015-04-01]. http://www.oleje.cz/

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Blokové schéma výroby mazacích olejů 15
Obrázek č. 2: Základní rozdělení kapalin ATF 20
Obrázek č. 3: Absolutně disfunkční ATF kapalina 21
Obrázek č. 4: Srovnání viskozitních klasifikací SAE motorových a převodových olejů 23
Obrázek č. 5: Funkční schéma automatické převodovky DSG 27
Obrázek č. 6: Vícelamelová spojka 28
Obrázek č. 7: Změna převodového poměru převodovky CVT 30
Obrázek č. 8: Audi multitronic 31
Obrázek č. 9: Princip činnosti měniče 32
Obrázek č. 10: Planetové soukolí 33
Obrázek č. 11: Schematické znázornění řazení převodovky Tiptronic 38
Obrázek č. 12: Vzorky převodového oleje 40
Obrázek č. 13: Digitální hustoměr 41
Obrázek č. 14: Schematické znázornění rotačního viskozimetru 42
Obrázek č. 15: Graf naměřené hustoty převodového oleje 46
Obrázek č. 16: Graf naměřené viskozity převodového oleje 48
Obrázek č. 17: Graf naměřených hodnot konstrukčních kovů v převodovém oleji 50
Obrázek č. 18: Graf naměřených hodnot konstrukčních kovů v převodovém oleji 52
Obrázek č. 19: Graf naměřených hodnot aktivačních prvků v převodovém oleji 53

8 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 Požadované vlastnosti oleje 15
Tabulka č. 2 Požadované vlastnosti oleje 16
Tabulka č. 3 Požadované vlastnosti oleje 16
Tabulka č. 4 Viskozitní třídy olejů 22
Tabulka č. 5 Převodový olej Mercedes - Benz ATF 134 40
Tabulka č. 6 Technické parametry digitálního hustoměru 41
Tabulka č. 7 Technické parametry rotačního viskozimetru 43
Tabulka č. 8 Naměřené hodnoty hustoty převodového oleje 45
Tabulka č. 9 Naměřené hodnoty viskozity převodového oleje 47
Tabulka č. 10 Naměřené hodnoty hlavních konstrukčních kovů v převodovém oleji 49
Tabulka č. 11 Naměřené hodnoty vedlejších chemických prvků v převodovém oleji 51
Tabulka č. 12 Naměřené hodnoty vedlejších chemických prvků v převodovém oleji 51
Tabulka č. 13 Naměřené hodnoty aditivačních chemických prvků v převodovém oleji 53

9 SEZNAM ZKRATEK

EP - Extreme Pressure

SAE - Society of Automotive Engineers

API - American Petroleum Institute

GL - Gear Lubricant

DSG - Direct Shift Gear

TCT - Twin Clutch Technology

D.N.A – Dynamic, Natural, All weather

CVT - Continuously Variable Transmission

ATF – Automatic Transmission Fluid

AES – Atomový emisní spektrometr

PPM – Part Per Milion