

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav techniky a automobilové dopravy**



**Degradace motorového oleje ve sklízecí mlátičce**

Diplomová práce

Vedoucí práce:  
Ing. Vojtěch Kumbár, Ph.D.

Vypracoval:  
Bc. Milan Halenka

Brno 2017



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „Degradace motorového oleje ve sklízecí mlátičce“ 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:**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Vojtěchu Kumbárovi, Ph.D. za odborné vedení a čas, který mi věnoval při zpracování mé práce. Dále děkuji své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku degradace motorového oleje ve vznětových motorech u sklízecích mlátiček. První část je zaměřena na výrobu motorových olejů, jejich složení, popis vlastností a rozdělení motorových olejů do jednotlivých klasifikací. Dále jsou pak popsány druhy mazacích soustav a diagnostika motorových olejů. Sledováno bylo celkem sedm vzorků oleje, z toho byly tři vzorky upotřebeného motorového oleje ze sklízecích mlátiček Claas, kde byl použit motorový olej s viskozitní třídou 10W-40. Dále pak dva vzorky upotřebeného oleje ze sklízecích mlátiček Case IH, kde byl motorový olej s viskozitní třídou 15W-40. Pro porovnání míry degradace motorových olejů byly odebrány i dva vzorky nového oleje od každého druhu. Následně byly porovnány jejich fyzikální a mechanické vlastnosti. Získané výsledky jsou interpretovány jak numericky, tak i graficky. Závěr práce shrnuje vyhodnocení a získané výsledky.

**Klíčová slova:** motorový olej, degradace, sklízecí mlátička, viskozita, hustota, otěrové částice

## **ABSTRACT**

This Master's thesis focuses on the problematics of the diesel engine oil in the combine harvesters degradation. The first part focuses on the manufacturing process of the engine oils, on their structure, on the description of their properties and on their division into individual classifications. Types of the lubrication systems and the diagnostics of the engine oils are described next. Seven samples of oil were monitored, three of them were samples of used engine oil from the combine harvesters Claas, where the engine oil with viscosity grade 10W-40 was used. Next two samples were from used oil from the combine harvesters Case IH, where was the engine oil with viscosity grade 15W-40. Two samples of new oil of each kind were taken for the comparison of the engine oil degradation. Their physical and mechanical properties were compared afterwards. The results obtained are interpreted both numerically and graphically. In the conclusion, the evaluation and the results obtained are summarized.

**Keywords:** engine oil, degradation, combine harvester, viscosity, density, wear metal particles

## **OBSAH**

ÚVOD .....	8
CÍL PRÁCE .....	9
1 MOTOROVÉ OLEJE .....	10
1.1 Výroba motorových olejů .....	11
1.2 Složení motorových olejů .....	13
1.2.1 Základový olej .....	13
1.2.2 Aditivace olejů .....	16
1.2.3 Obecné vlastnosti motorových olejů .....	20
1.3 Klasifikace motorových olejů .....	22
1.3.1 Viskozitní klasifikace SAE .....	22
1.3.2 Výkonnostní klasifikace .....	24
1.4 Tribotechnika .....	26
1.4.1 Mazivost .....	27
1.4.2 Maznost .....	27
2 MAZACÍ SOUSTAVA .....	28
2.1 Druhy mazacích soustav .....	28
2.1.1 Ztrátové mazání motoru .....	28
2.1.2 Tlakové mazání motoru s mokrou klikovou skříní .....	29
2.1.3 Tlakové mazání motoru se suchou skříní .....	30
2.2 Olejová čerpadla .....	31
3 VISKOZITA MOTOROVÝCH OLEJŮ .....	33
4 OTĚROVÉ KOVY V OLEJÍCH .....	34
4.1 Tribologie .....	34
4.1.1 Tření .....	34
4.1.2 Opotřebení .....	36
5 DIAGNOSTIKA OLEJŮ .....	37

5.1	Obsah vody.....	37
5.2	Monitorování pevných částic .....	37
5.3	Stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku.....	38
5.4	Číslo kyselosti TAN.....	38
6	MATERIÁLY A METODIKA.....	39
6.1	Použité motorového oleje.....	39
6.2	Testovaná vozidla.....	39
6.3	Odebírání vzorků a informace o jednotlivých vzorcích.....	41
6.4	Laboratorní přístroje a postupy měření .....	42
6.4.1	Spektrometr Spectroil Q100 .....	42
6.4.2	Rotační viskozimetr DV-3P.....	43
6.4.3	Hustoměr Densito 30 PX.....	44
7	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	45
7.1	Otěrové částice ve vzorcích motorových olejů .....	45
7.2	Viskozita oleje.....	50
7.3	Hustota oleje.....	52
	ZÁVĚR .....	55
	POUŽITÁ LITERATURA .....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
	SEZNAM TABULEK .....	62

## ÚVOD

Motorový olej má u spalovacích motorů hlavní funkci mazání a čištění motoru. Dále také plní další důležité úkoly, jako jsou udržování vnitřních částí motoru bez koroze, zachytávání nečistot, zklidňuje chod motoru a tlumí hluk vzniklý pohybem součástí motoru, zdokonaluje těsnění a odvádí teplo od jednotlivých částí a prvků motoru.

Podle výroby dělíme motorový olej na dvě základní skupiny, minerální a syntetické oleje. V dnešní době se vyrábí minerální oleje v mnoha různých stupních kvality, ty nejlepší minerální oleje mohou být tak kvalitní, že není značný rozdíl mezi těmito minerálními a syntetickými oleji.

Během své životnosti postupně ztrácí motorový olej své vlastnosti – degraduje. Při výměně motorového oleje by se měly dodržovat doporučené servisní intervaly výrobce. Jakmile olej už neobsahuje žádná aditiva a obsahuje velké množství nečistot, otěrových částic, tak se stává pro motor ohrožující. Pokud by nedošlo k výměně upotřebeného motorového oleje za nový, tak hrozí poškození součástí motoru. Především je zde vysoké riziko poškození klikového mechanismu, také hrozí zvýšené opotřebení pístních kroužků a vložek válců. (Kumbár a Dostál, 2013)

Správný výběr motorového oleje je důležitý z ekonomického hlediska, protože správná volba oleje prodlouží nejen servisní intervaly, ale také celkovou životnost motoru. Servisní interval výměny motorového oleje bývá stanoven výrobcem motoru. U zemědělských a stavebních strojů stanovují intervaly pro výměnu olejů počtem motorových hodin nebo rok provozu vozidla na jednu olejovou náplň. Odebíráním vzorků a jejich následným zkoumáním by bylo možné určit, v jakém stavu degradace se motorový olej ve skutečnosti nachází. Protože kvalita a výdrž motorových olejů je ovlivněna mnoha faktory, např. druh paliva, kondenzáty vody, nečistoty v oleji a provozní podmínky v jakých motor pracuje. Nemělo by se také zapomínat na dopad motorového oleje na životní prostředí.



## CÍL PRÁCE

Diplomová práce se zabývá zkoumáním degradace motorového oleje u vznětových motorů sklízecích mlátiček. Cílem práce je zjistit, jak se změni vlastnosti motorového oleje po dosažení servisního intervalu výměny oleje a jakým způsobem dochází k jeho degradaci.

Cílem teoretické části diplomové práce je vytvoření základního literárního přehledu o motorových olejích, jejich použití a druhy mazacích soustav. Dále bude věnována pozornost vzniku otěrových částic a nečistot v motorovém oleji.

V praktické části je vyhodnoceno sedm vzorků motorového oleje – dva vzorky nového motorového oleje a pět vzorků upotřebeného motorového oleje. Vzorky byly odebrány ze třech sklízecích mlátiček Claas Lexion, kde byl použit motorový olej značky Shell Rimula R5 E 10W-40, a ze dvou ze sklízecích mlátiček Case IH, kde byl použit olej značky Fuchs Titan Truck Plus 15W-40. U všech sledovaných vzorků je nutno pomocí atomové emisní spektrometrie (Spectroil Q100) stanovit množství a chemické složení otěrových částic, následně tyto částice rozdělit do skupin na otěrové kovy, kontaminanty a aditiva. Pomocí rotačního viskozimetru Anton Paar DV-3P budou určeny hodnoty dynamické viskozity, hustoty a následně bude vypočtena kinematická viskozita. Dále budou zjištěny hodnoty hustoty u všech vzorků motorových olejů pomocí hustoměru Densito 30 PX.

Všechny naměřené hodnoty budou zpracovány a prezentovány v přehledných tabulkách a grafech. Na závěr bude provedeno vyhodnocení a diskuze k naměřeným hodnotám.

# 1 MOTOROVÉ OLEJE

Za oleje jsou označovány tekuté organické sloučeniny, které mají mastnou povahu. Jsou lehčí než voda. Oleje jsou ve vodě nerozpustné, mohou se rozpouštět v éteru, benzínu, organických rozpouštědlech. Oleje můžeme dělit podle původu na rostlinné, živočišné, minerální a syntetické. (Hrdlička, 1996)

Olejů existuje celá řada v závislosti na použití, jsou oleje mazací, konzervační, pracovní atd. Mazací oleje slouží ke snižování tření dvou těles, která se vůči sobě navzájem pohybují. Jedná se tedy o snahu, kdy mezi tyto dva objekty chceme dostat vrstvu mazi-va, aby se vzájemně nedotýkaly. Tím nebude docházet k jejich vzájemnému tření a následnému opotřebení. (Oleje-pema, 2017)

Hlavní funkcí motorového oleje je mazání všech třecích dvojic v motoru, dotěsnění pístních kroužků, dotěsnění pístů, odvádění tepla a také odplavování nečistot všeho druhu. Důležitou funkcí je konzervace vnitřních částí motoru při jeho odstavení z provozu. (Jílek a Pokorný, 2013)

Na motorové oleje k mazání spalovacího motoru jsou kladeny vysoké požadavky. V motoru pracuje mnoho součástí při rozdílné a kolísavé teplotě, kvůli tomu je olej vystaven dlouhodobě v oběhové mazací soustavě chemickým vlivům a nečistotám. Proto musí být motorový olej vhodný pro široké použití v mnoha různých typech motorů a také v různých pracovních podmínkách. (Dyk, 1973)

Motorový olej musí plnit svou funkci za všech provozních podmínek motoru. Při činnosti motoru vzniká mezi stykovými plochami tření, je to buď tření kapalinné, nebo tření polosuché. (Kumbár a Votava, 2014)

## **Kapalinné (hydrodynamické) tření**

Probíhá u ložisek klikového a vačkového hřídele s výjimkou rozběhu a zastavení. Pro vytvoření souvislé vrstvy olejového filmu musí být umožněn dostatečný přívod tlakového mazacího oleje mezi třecí plochy součástí, dále pak určitá minimální rychlost vzájemného pohybu třecích ploch, určitá vhodná úroveň soudržnosti a odporu molekul mazacího oleje proti vzájemnému pohybu (tj. viskozita oleje) a jako poslední musí být splněna správná ložisková vůle a vhodné povrchy třecích ploch kvůli dobrému lpění olejového filmu. Při vzájemném pohybu třecích ploch součástí a přívodu tlakového oleje se například u čepu klikového hřídele v ložisku, se vytvoří v zatížené ploše ložiska olejový klín, tento olejový klín oddělí čep od ložiska vrstvou olejového filmu. (Pekárek, 2016)

### **Mezní, polosuché tření (tzv. smíšené)**

Nastává mezi třecími plochami motoru, když nejsou úplně splněny podmínky pro kapaliné tření. Smíšené tření je umožněno polárními molekulami minerálního oleje, tyto molekuly jedním svým koncem přilnou ke kovovému povrchu třecích ploch. Pokryjí celou stykovou plochu a spolu s volnými molekulami oleje vytvoří mezní vrstvu. Vyplní tak zcela prostor mezi drobnými nerovnostmi třecích ploch. Tím se téměř na celém povrchu nerovností třecích ploch vytváří velmi hladká vrstva. V této vrstvě dochází k nárazům molekul na sebe a v nejvíce zatížených místech dochází ke styku kovových povrchů. Opatření kovových povrchů i třecí ztráty jsou v tomto případě podstatně mnohem větší než u hydrodynamického (kapaliného) tření. Smíšené tření nastává na všech třecích plochách motoru, které nejsou tlakově mazány. Ale existují provozní režimy motoru, kdy i v případě tlakového mazání ložisek klikového hřídele dochází k polosuchému tření. K tomu dochází, jedná-li se o start a doběh motoru, protože v těchto případech nedodává olejové čerpadlo dostatečné množství motorového oleje a vzájemné rychlosti mazaných povrchů jsou příliš malé. V těchto krátkodobých stavech jsou vlastnosti ložiskového kovu tenkostěnných ložiskových pánví schopny zabezpečit odvod zvýšeného tepla, které vzniká při mezním tření po nezbytnou dobu. (Vlk, 2006)

Hlavní funkcí motorových olejů je mazání jednotlivých dílů motoru, toho se docílí pouze kapaliným třením, kdy vzniklý tenký film oleje oddělí třecí plochy součástí a zamezí zvýšenému opotřebení povrchu. (Vlk, 2006)

## **1.1 Výroba motorových olejů**

Motorové oleje jsou vyrobeny z ropy a neropných látek syntetizováním chemických sloučenin pro výrobu syntetického oleje. Motorový olej se většinou skládá z uhlovodíků a organických látek, které jsou složeny z atomů uhlíku a vodíku. (Kumbár a Votava, 2014)

Jak uvádí Vlk, (2006) uhlovodíky, které jsou obsaženy v ropě, jsou látky, jejichž molekuly jsou tvořeny různě dlouhými řetězci atomů uhlíku. Na tyto atomy uhlíku jsou navázány atomy vodíku. Řetězce jsou různě rozvětvené a mohou být i cyklické. Mazací olej má délku řetězce  $C_{20} - C_{35}$ . Základ maziv tvoří směs jednotlivých základových olejů, které jsou označovány jako minerální a syntetický olej. Rafinací ropy získáme

rafinát, tato metoda je nejdéle známou metodou, jak se získávají z ropy základové oleje. Hlavním cílem rafinace je rozdělení ropy do frakcí (jednotlivých složek) podle délky řetězců uhlovodíků. A právě základový olej je jednou z frakcí, kterou získáme po rafinaci ropy. Rafinace ropy probíhá následujícím způsobem:

### **Destilace**

Tato metoda spočívá v oddělení jednotlivých frakcí ropy v závislosti na rozdílném vypařování při různých teplotách. Ropa se zahřívá při atmosférickém tlaku, pak začne odpařování a při různých teplotách začnou jednotlivé frakce kondenzovat. Při destilaci ropy získáme jednotlivé složky, jako jsou benzín, nafta, lehký topný olej a zůstatek po destilaci (složky, které se neodpařily) je následně podroben dalšímu zpracování.

### **Vakuová destilace**

Princip vakuové destilace je totožný s destilací, avšak při této metodě probíhá vypařování za sníženého tlaku. A to má za následek, že se začnou odpařovat i další frakce, které se za atmosférického tlaku nevypařují nebo zcela výjimečně. Tímto způsobem destilace získáme oleje různé viskozity.

### **Rafinování**

Tato metoda spočívá v zušlechtnění oleje, který byl získán po předchozích dvou metodách. Při rafinaci jsou z olejů odstraněny nežádoucí příměsi a také jsou upraveny struktury molekul uhlovodíků, ze kterých se olej skládá. Díky rafinaci dojde k vylepšení základních vlastností olejů, které získá po rafinaci.

### **Odparafinování**

Obvykle se uskutečňuje po rafinaci oleje. Odparafinování se provádí následujícími způsoby (rozpouštědlovým odparafinováním, katalytickým odparafinováním, katalytickou hydroizomerací parafinů). Rozpouštědlové odparafinování se provádí vhodnými rozpouštědly, která snižují viskozitu kapalné fáze a snižují rozpustnost výševroucích n-alkanů v roztoku. Tím se vytvoří velké krystaly parafinů. Katalytické odparafinování je štěpení n-alkanů obsažených v olejích na níževroucí destiláty a ty jsou od oleje oddestilovány. Katalytická hydroizomerace parafinů pomocí katalyzátorů druhé generace, které dokáží ve velké míře izomerovat n-alkany na izoalkany. Tyto izoalkany mají nižší bod tuhnutí než příslušné n-alkany a to nám způsobí, že má olej lepší nízkoteplotní vlastnosti a vyšší viskozitní index. (Blažek a Rábl, 2006)

## **Dorafinace**

Je závěrečným stupněm výroby základových olejů. Při tomto stupni výroby dochází k odstranění zbytkových nečistot oleje a zlepšuje se i jeho barva. Když je olej světlejší, tak ho zákazníci mohou v některých případech lépe akceptovat, ale barva oleje nemusí korespondovat s kvalitou. Dorafinace může být prováděna buď opět hydrogenačně, nebo také extrakcí rozpouštědlem. Nejjednodušším způsobem dorafinace je adsorpce zbytkových nečistot na aktivní hlince. Tento způsob dorafinace se také nazývá „horký kontakt“, protože proces spočívá v rozmíchání hlinky v teplém oleji a následném odfiltrování hlinky s adsorbovanými nečistotami. (Černý, 2009)

## **1.2 Složení motorových olejů**

### **1.2.1 Základový olej**

Základové oleje mohou být minerální nebo syntetické. Minerálních olejů je dnes ovšem celá řada a vyrábějí se v mnoha různých stupních kvality. Ty nejlepší z minerálních olejů jsou ovšem dnes tak kvalitní, že není žádný značný rozdíl mezi těmito minerálními a syntetickými oleji. Tyto dva typy olejů jsou schopny zabezpečit naprosto stejnou výkonnost a kvalitu motorového oleje. Rozdílné typy syntetických olejů se uplatní spíše v oblasti průmyslových olejů. Výroba základového oleje je buď z ropných destilačních frakcí, nebo se vyrábí z některých meziproductů zpracování ropy. Hodně kvalitní základový olej je možné vyrobit například z destilačních zbytků po výrobě motorové nafty hydrokrakovou technologií (motorová nafta se nezískává jen pouhou destilací ropy, ale musí se vyrábět i z těžších ropných surovin). Základový olej je získáván rafinací nebo jinou úpravou surovin. Když chceme vyrobit motorový olej, tak musíme z několika jednotlivých základových olejů připravit směs. Tato směs musí vyhovovat nejen viskozitně ale i dalším požadavkům na motorový olej, který si přejeme vyrobit. Mimo viskozitu jsou důležité zejména nízkoteplotní vlastnosti, těkavost, složení oleje a jiné. Do této směsi základových olejů se později přimíchávají aditiva a výsledkem je olej, který chceme vyrobit. (Černý, 2009)

### **Minerální oleje**

Podle Jílka a Pokorného, (2013) výroba minerálního oleje probíhá destilací ropy, kdy se oddělí lehčí a těžší uhlovodíkové složky. Výsledek destilace se pak dále technologicky

upravuje a přidávají se aditiva. Jako první aditiva se začaly používat protipěnicí přísady. Pěnění oleje znemožňovalo správnou činnost mazacího čerpadla. Potom se přidávaly i antioxidanty a přísady pro zvýšení tlakového namáhání olejového filmu. Následný krok byl, že se začaly používat detergenty, díky nimž se omezovala tvorba karbonu a neutralizovaly se kyselé složky vzniklé působením spalin a vzdušné vlhkosti. Dále aplikace protiotěrových přísad a čistících přísad. Z tohoto hlediska můžeme oleje rozdělit na neaditivované, označené písmenem A (například M6A) a oleje aditivované, které jsou označovány písmeny AD.

Aditivované oleje obsahují aditiva omezující opotřebení a tvorbu karbonu. Přísady, které jsou obsaženy v takto označeném oleji, jsou schopné také karbon rozpouštět.

Neaditivované oleje obsahují také částečně aditiva, ale nejsou v nich přísady omezující tvorbu karbonu. Tyto neaditivované oleje vytvářejí ve styku s benzínem nebo motorovou naftou vysoké množství karbonových úsad, které se usazují na stěnách motoru. Po delší době, kdy byl v motoru používán jen neaditivovaný olej, se v motoru usadí velké množství karbonových úsad a pokud by došlo k použití aditivovaného oleje, tak by se začaly dlouhodobé usazeniny rozpouštět a mohlo by dojít k vytvoření mazlavé hmoty, která obtížně proudí mazacími kanály. Mohlo by následně dojít k ucpání mazacích kanálů a hrozí zadření motoru. Kvůli tomuto důvodu se nesmí aditivovaný olej používat v motorech, které jsou delší dobu provozovány na neaditivovaný olej.

Karbon je obtížně definovaná chem. sloučenina, která je velkou částí tvořena nějakou formou uhlíku. Usazování karbonu má z počátku pomalý průběh, ale jakmile je celý povrch pokryt tenkou vrstvou karbonu, usazování se zrychlí.

Minerální oleje mají sklon k tvorbě černých kalů. Tyto černé kaly vznikají vlivem působení vlhkosti a následně zůstávají na dně olejového zásobníku, čímž znehodnocují novou olejovou náplň. Působením vzdušného kyslíku, teploty, spalin a dalších činidel olejová náplň postupně oxiduje. To se dá omezit přísadami do olejů, ale největší vliv na oxidaci má základní surovina a tou je ropa. (Jílek a Pokorný, 2013)

### **Syntetický oleje**

Tyto oleje se vyrábí velmi náročnou technologií. Z ropného základu se extrahují jen ty složky, které jsou pro mazání vhodné. Neprospěšné a nevhodné složky, které není možné normální destilací odstranit, a zůstávají v minerálním oleji, tak zde nejsou přítomné a olejový základ neovlivňují. (Jílek a Pokorný, 2013)

Syntetické oleje jsou úzká frakce uhlovodíků, která se nezískává z ropy, ale syntézou uhlovodíků. Jsou vyráběny úpravou vhodné chemické sloučeniny, například jsou to polyolefiny (polyizobutylen, polypropylen a jiné), aromatické sloučeniny (alkylbenzeny) nebo i estery organických kyselin a alkoholů, polyglykoly, halogenové oleje a mnoho dalších. Veškeré tyto látky vykazují vlastnosti podobné ropným mazivům. Tyto oleje mají větší odolnost proti vysokým teplotám a vyšší tekutost při nižších teplotách, mazivost, vyšší viskozitní index atd., než je tomu u olejů z ropných látek. (Hrdlička, 1996)

Jako velká výhoda u syntetických olejů je snížená tvorba karbonu. Pomalejší je i oxidace oleje, poněvadž olej neobsahuje složky méně odolné oxidaci. Neobjevuje se u syntetických olejů ani tvorba černých kalů. Syntetický olej dobře snáší použití speciálních čistících aditiv, tyto aditiva fungují dlouhodobě a jejich účinnost klesá jen pomalu. Velmi důležitou vlastností u syntetických olejů je schopnost větší aditivace, než je možné dosáhnout u minerálních olejů. Obecné dělení syntetických olejů je do kategorií normální a Eco neboli ekonomické, což vyznačuje oleje lehkoběžné, které snižují odpory třením a tím spotřebu paliva. (Jílek a Pokorný, 2013)

Při extrémně nízkých nebo naopak vysokých teplotách, kde běžné oleje selhávají, tak tam jsou používány syntetické oleje. Vychází se z čistých sloučenin, ve kterých se nenachází žádná síra. Syntetické oleje mají vyšší cenu oproti minerálním olejům, proto se dnes syntetické základové oleje nahrazují kvalitními oleji skupiny. (Vlk, 2006)

Základové oleje se podle kvality rozdělují do pěti skupin. Ropné (minerální) oleje tvoří první tři skupiny. Rozdíl mezi nimi je v obsahu síry a nasycených uhlovodíků a v hodnotě viskozitního indexu. Rozmezí těchto hodnot pro jednotlivé skupiny je uvedeno v tabulce (viz. Tabulka 1). (Černý, 2009)

Tabulka 1 Rozdělení základových olejů podle API (American Petroleum Institute).  
(www.oleje.cz)

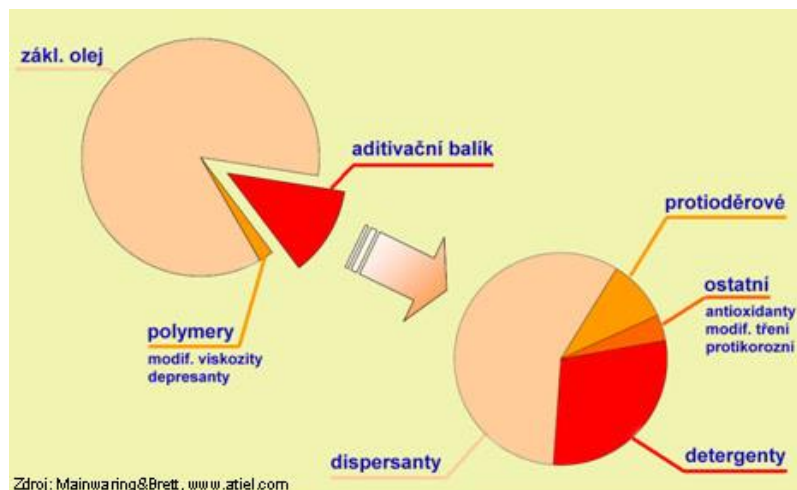
Skupina	Nasyčené uhlovodíky (% hm.)	Síra (% hm.)	Viskozitní index	Typ oleje
I	pod 90	nad 0,03	80 – 120	rozpouštědlové rafináty
II	nad 90	pod 0,03	80 – 120	hydrokrakové oleje
III	nad 90	pod 0,03	nad 120	hydrokrakové oleje
IV	Polyalfaolefiny – PAO			
V	Ostatní syntetické oleje (estery, polyetery, polyglykoly a další)			

### 1.2.2 Aditivace olejů

Aditiva jsou chemické přísady, které přidáváme do olejů kvůli zlepšení vlastností olejů a plastických maziv. Aby mazací oleje byly schopny pracovat v náročných podmínkách, zlepšují se jejich vlastnosti přidávkem látek, které významně zlepšují jednu nebo více užitných vlastností oleje. Účinnost přísad závisí na jejich struktuře, koncentraci i na složení oleje, do kterého se přísady přidávají. V případě, že použijeme více přísad, může docházet i k situaci, že se budou navzájem ovlivňovat. (Vlk, 2006)

Při výrobě olejů jsou určité možnosti jak upravit některé vlastnosti olejů, dochází k tomu při rafinaci, odparafinování, mísením různých frakcí apod. V dnešní době požadavky na kvalitu olejů a jejich životnost neustále stoupají, a proto se musí vlastnosti olejů zlepšovat pomocí zušlechťujících přísad, které nazýváme aditiva. Aditiva i v poměrně malé koncentraci významným způsobem zlepšují jednu nebo i více (multifunkční přísady) užitných vlastností oleje. U moderních motorových olejů se celkové množství zušlechťujících přísad pohybuje okolo 10 %. Jelikož se jedná o drahé látky, tak se přidávají přísady do olejů jen v nezbytně nutném množství v tzv. optimální koncentraci. (Blažek a Rábl, 2006)





Obrázek 1 Složení motorových olejů (www.oleje.cz)

Aditiva se podle chemické struktury dělí na dvě skupiny:

- **Polární aditiva:** Velké množství těchto aditiv jsou tzv. povrchově aktivní - polární látky. Polární látky jsou chemické látky. Molekuly těchto chemických látek jsou nesymetrické, a proto na jejich koncích vznikají elektrické náboje. Těmito el. náboji jsou molekuly přitahovány k povrchům, např. k povrchu pístu ve válci motoru. Tato polární aditiva vytvoří na povrchu tenký film, který v závislosti na chemickém složení aditiva například zvyšuje odolnost proti korozi, proti usazování nečistot, proti poškození vysokým tlakem atd.
- **Nepolární aditiva:** Tato aditiva nejsou povrchově aktivní, to znamená, že nejsou přitahována k povrchům. Nepolární aditiva jsou rozptýlena v celém objemu maziva rovnoměrně. I tak jsou tato aditiva velice významná, protože zlepšují viskozitu maziva, chrání gumová těsnění proti poškození, snižují bod tuhnutí maziva apod. (Oleje, 2017a)

### **Aditiva pro ochranu povrchu tvoří detergenty a disperzanty, antikorozi aditiva a třecí přísady:**

**Detergenty** odstraňují produkty stárnutí oleje, které se vylučují na stěnách píst a válce. Zabraňují usazování nečistot na povrchu, a pokud jsou už vytvořené nečistoty, tak tyto nečistoty rozpouštějí. Mazivo tak může lépe přilnout k mazaným plochám. Detergenty mají významnou roli při ochraně pístu ve válci, kde dochází vlivem vysokých teplot k uvolňování uhlíku, který má snahu se usazovat na pracovních plochách pístu. Vytvo-

řené usazeniny způsobují vznik netěsností vlivem mechanického poškození nebo změnou tvaru, což zapříčinil nános nečistot. (Vlk, 2006)

**Disperzanty** zabraňují tvorbě kalů, které by mohly znemožnit cirkulaci motorového oleje v mazacím okruhu motoru. Dalším úkolem těchto zušlechťujících přísad je zabránit tvorbě usazenin v oblasti pístních kroužků, protože při nadměrné tvorbě usazenin může dojít k tak zvanému „zapečení“ pístních kroužků. Hlavně jsou využívány sukcinimidy, protože jsou bezpopelné. Disperzanty obalí mikroskopické mechanické nebo i kapalně nečistoty a zamezí tím jejich koncentraci a usazování. Nečistoty se pak vlivem disperzantu vznášejí v celém objemu maziva, a tím se zamezí zablokování olejových kanálů a filtrů. (Hrdlička, 1996)

**Aditiva zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení (EP, AW)** tato aditiva zamezí kontaktu kov na kov tím, že vytvoří chemickou reakcí na povrchu kovu odolné vrstvy. Chrání tak před opotřebením ocelové části, které se o sebe třou pod vysokým tlakem (např. ozubená kola). (Oleje, 2017a)

**Aditiva zvyšující ochranu proti korozi** funkcí těchto aditiv je vytvoření ochranného filmu na povrchu kovů, který má zabránit tvorbě koroze (zabraňuje oxidaci kovového povrchu). Vlivem agresivních sloučenin, které vznikají ve válci motoru při spalování palivové směsi, může docházet k oxidaci povrchů kovu a tomuto se snaží tato aditiva zabránit.

**Aditiva upravující tření** hlavní úlohou je upravení tření mezi třecími plochami na požadovanou hodnotu. Například v automatických převodovkách je přesná hodnota tření ploch vyžadována. (Vlk, 2006)

#### **Skupinu aditiv pro ochranu oleje tvoří:**

**Antioxidanty** zajišťují oxidační stabilitu oleje. Jejich přítomnost zabraňuje tvorbě karbonových usazenin a koroze. Antioxidanty se dělí na dvě skupiny. První skupinou jsou *nízkoteplotní antioxidanty* (inhibitory radikálových reakcí), které působí do cca 150 °C, používají se substituované fenoly nebo aminy. Druhou skupinou antioxidantů jsou *vysokoteplotní antioxidanty* (rozkladače hydroperoxidů), tyto antioxidanty působí hlav-

ně za teplot nad 150 °C. Používají se především dialkyldithiokarbamáty kovů a dialkyldithiofosfáty kovů. (Blažek a Rábl, 2006)

**Modifikátory viskozity** zlepšují viskozitně teplotní charakteristiky oleje. Jsou to polymerní látky, které se při nízkých teplotách nijak neprojevují, ale při vyšších teplotách se rozpouštějí a zvyšují viskozitu oleje, jehož viskozita při zvyšování teploty klesá, což by mělo za následek zhoršování mazání. Dříve se oleje vyráběly pro použití v létě (vyšší viskozita) a oleje pro použití v zimě (nízká viskozita). Dnes můžeme díky těmto přísadám používat stejný motorový olej jak v létě, tak i v zimě. Tyto oleje se označují jako celosezónní (multigradové, multifunkční) to poznáme z údajů uvedených na obalu, kde je uvedeno např. 15W/40. Tento olej vyhovuje pro použití v zimním období (W = winter) i v letním období. (Vlk, 2006)

**Snižovače bodu tuhnutí (depresanty)** snižují bod tuhnutí oleje. Snižovače teploty tuhnutí mají vliv na zlepšení skutečného bodu tuhnutí tak, že brání tvorbě krystalové mřížky parafinů, a tím zlepšují tekutost oleje za nízkých teplot. Fungují tak, že se adsorbují na povrchu krystalů parafinů a zabrání tak jejich spojení do krystalické mřížky, která by zadržela olej. Tato aditiva snižují možnost srážení parafinů v mazivu při nízkých teplotách. Nízké teploty způsobí u minerálních olejů srážení parafinů, a tudíž dochází k zvyšování hustoty. Zvýšená hustota maziva a jeho nekonzistentnost je nežádoucí, protože zhoršuje kvalitu mazání a kvůli překonávání odporu maziva zvyšuje ztráty energie. (Straka, 1986)

**Protipěnicí přísady** urychlují rozklad vzniklé pěny. Zlepšuje se tím mazání a snižuje stárnutí oleje. Při intenzivním promíchávání oleje se vzduchem se vytváří pěna, tato pěna urychluje stárnutí maziva (usnadňuje oxidaci), zvyšuje stlačitelnost maziva (nastávají problémy u hydraulických soustav) a také může způsobit vytékání maziva ze zařízení. Protipěnicí přísady jsou založeny na bázi silikonu, které potlačují vznik olejové pěny.

**Protikorozní přísady (antikorozy)** působí proti korozi tím, že vytvářejí ochranný povlak, který snižuje korozi (neutralizují korozivní kyseliny) a rezivění provozních částí motoru. (Vlk, 2006)

**Třecí přísady** jsou zušlechťující látky upravující koeficient tření na požadovanou hodnotu.

**Zpomalovače stárnutí** hlavní funkcí těchto aditiv je omezení chemické degradace maziva, k té dochází zejména za vyšších teplot. Při degradaci mazivo tmavne a dochází k zvyšování viskozity.

**Deaktivátory kovů** mají funkci neutralizace iontů kovů v oleji a vytvoření ochranného filmu na povrchu kovových částic. Tím je zeslabena nebo úplně ukončena katalytická reakce, a tudíž je výrazně zpomaleno stárnutí maziva. (Vlk, 2006)

Dodatečná aditiva do motorových olejů, která obsahují pevné částice teflonu, jsou velkou skupinou motoristů odmítána z důvodu možného ucpávání olejového filtru po vyčerpání disperzantních látek v oleji. Motorový olej obsahuje protizáděrové a mazivostní přísady. Mazivostní látky obsažené v dodatečných aditivech, jsou většinou jiné a opravdu účinnější než ty, co už jsou v motorovém oleji. Při použití těchto aditiv je mírné snížení tření. Nicméně kvalitní motorový olej je vyroben tak, že má motor také i chránit proti korozi. Ale právě to u dodatečných mazivostních přísad neplatí. Jakékoliv zlepšení mazivosti je doprovázeno velkým nebezpečím korozivního působení. Nebezpečné jsou produkty rozkladu těchto dodatečných přísad, například látky s obsahem chloru. (Černý, 2005)

### 1.2.3 Obecné vlastnosti motorových olejů

Základní rozdělení obecných vlastností motorových olejů:

- **Hustota**

Hustota minerálních olejů se pohybuje mezi 870 – 950 kg/m<sup>3</sup> při teplotě okolo 20 °C. Ostatní syntetická maziva mají hustotu o něco vyšší, ta se pohybuje mezi 950 – 1050 kg/m<sup>3</sup>.

- **Tepelná stálost**

Je vlastnost, při které dochází k neměnnosti hlavních požadavků na motorový olej vlivem změny teploty. Měření tepelné stálosti olejů probíhá pomocí zatavené trubice.

- **Dielektrická pevnost**

Tato vlastnost spočívá v odolávání elektrického napětí. Měří se napětím, při kterém přeskočí jiskra mezi póly, jenž jsou ponořeny v měřeném mazivu a vzdáleny 2,54 mm. Dielektrická odolnost je dána především strukturou maziva, může být však oslabena přítomností kyselin nebo vody.

- **Tepelná vodivost**

U mazacích olejů je tepelná vodivost všeobecně nízká, což má nejvýraznější projev na teplosměnných plochách výměníků, kde se tvoří usazeniny, které mají znatelný vliv na snižující prostup tepla. (Vlk, 2006)

- **Teplota tuhnutí**

Při ochlazování ropných olejů se za dané teploty začínají z oleje vylučovat krystaly tuhých uhlovodíků. Zákal oleje může být způsoben vylučováním ledu z rozpuštěné vlhkosti. Pokud bude ochlazování parafinových olejů dále pokračovat, tak se vytvořená mřížka parafinů zpevní a následně úplně znemožní pohyb oleje, jedná se o tzv. pravou teplotu tuhnutí. U ochlazování neparafinických olejů klesá tekutost oleje v důsledku zvýšení viskozity, a tím olej přestává být tekutý, jedná se o tzv. nepravou teplotu tuhnutí. (Straka, 1986)

- **Bod vzplanutí**

Bodem vzplanutí nazýváme teplotu, při které se nad hladinou motorového oleje vytvoří takové množství par, že po přiblížení plamínku se vznítí. Bod vzplanutí je důležitý z bezpečnostních důvodů. Může také indikovat znečištění motorového oleje palivem. (Blažek a Rábl, 2006)

- **Biologická odbouratelnost**

Biodegradabilita olejů je proces přeměny chemické struktury maziva, který je způsobený organismy nebo jejich enzymy. Stupeň odbouratelnosti se ověřuje za přítomnosti kyslíku a vody podle předepsaných postupů. (Vlk, 2006)

- **Kyselost maziva**

Udává jaké množství hydroxidu draselného je potřebné k neutralizaci volných kyselých složek v jednom gramu oleje. Číslo kyselosti je důležité, protože kyseliny v oleji rozrušují některé materiály, především izolaci motoru. (Blažek a Rábl, 2006)

### **1.3 Klasifikace motorových olejů**

Za vznikem klasifikačních tříd motorových olejů byly požadavky na sjednocení a jednotné značení důležitých vlastností olejů a unifikace těchto vlastností i u olejů různých výrobců. Motorový olej je technologicky hodně složitý produkt, který se hodnotí mnoha parametry. Pro výběr správného motorového oleje z postoje konečného uživatele jsou důležité zejména dva hlavní parametry: viskozita motorového oleje a jeho výkonnostní kategorie. (Vlk, 2006)

#### **1.3.1 Viskozitní klasifikace SAE**

Nejrozšířenější a v podstatě jediná používaná viskozitní klasifikace je podle americké normy SAE (Society of Automotive Engineers). Tato viskozitní klasifikace SAE se obvykle uvádí pomocí dvou číslic. (Jan a Ždánský, 2008)

**První číslo (zimní značení)** udává vlastnosti oleje při nízkých teplotách a tou je čerpatelnost oleje. Všeobecně platí, že čím je toto číslo nižší (např. 5W nebo 0W), tím bude motorový olej tekutější v zimních mrazech a o to lépe bude studený motor startovat. Protože se olej dostane rychleji na všechna potřebná místa. V zimních mrazech, když je motor studený, může oleji s označením SAE 15W-40 trvat dokonce i 20 sekund než se dostane na potřebná místa. Kdežto olej SAE 0W-30 při identických podmínkách se dokáže dostat na namáhaná místa pouze za 1 sekundu. Což je velký rozdíl, a proto se dnes stále více prosazují motorové oleje s co možná nejnižším zimním číslem. Motorové oleje 0W umožňují bezproblémové startování motoru i při teplotách okolo -50 °C. Důvod je lepší ochrana motoru při studených startech. Čím dříve je celý motor promázan motorovým olejem, tím méně trpí a zvyšuje se jeho životnost. (Vlk, 2006)

**Druhé číslo (letní číslo)** dává informace o viskozitě oleje při přibližně provozní teplotě oleje. Čím je toto druhé (letní) číslo vyšší, tím je motorový olej při provozu automobilu hustší, a tím pádem klade větší odpor proti vzájemnému pohybu třecích ploch.

V dřívějších dobách když se hodně používaly jedno sezónní motorové oleje, tak se udávalo pouze toto číslo. Když tedy máme motorové oleje SAE 15W-40, 10W-40, 5W-40, tak při provozní teplotě budou mít všechny tyto uvedené oleje stejnou viskozitu a v tomto směru mezi nimi nebude nijaký rozdíl. Rozdíl bude v tekutosti a čerpatelnosti až při nízkých teplotách. Pro evropské klimatické podmínky je třída 40 plně dostačující. (Černý, 2005)

Tabulka 2 Viskozitní třídy motorových olejů podle SAE J300 (www.petroleum.cz)

Viskozitní třída	Vlastnosti za nízkých teplot				Vlastnosti za vysokých teplot		
	Dynamická viskozita (mPa·s) max. při °C		Čerpatelnost (mPa·s) max. při °C		Kinematická viskozita (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ) při 100°C		Vysoký stříh při 150°C
					min.	max.	min. (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
<b>0W</b>	6 200	-35	60 000	-40	3,8		
<b>5W</b>	6 600	-30	60 000	-35	3,8		
<b>10W</b>	7 000	-25	60 000	-30	4,1		
<b>15W</b>	7 000	-20	60 000	-25	5,6		
<b>20W</b>	9 500	-15	60 000	-20	5,6		
<b>25W</b>	13 000	-10	60 000	-15	9,3		
<b>20</b>					5,6	<9,3	2,6
<b>30</b>					9,3	<12,5	2,9
<b>40a</b>					12,5	<16,3	2,9
<b>40b</b>					12,5	<16,3	3,7
<b>50</b>					16,3	<21,9	3,7
<b>60</b>					21,9	<26,1	3,7

a) = 0W-40, 5W-40, 10W-40

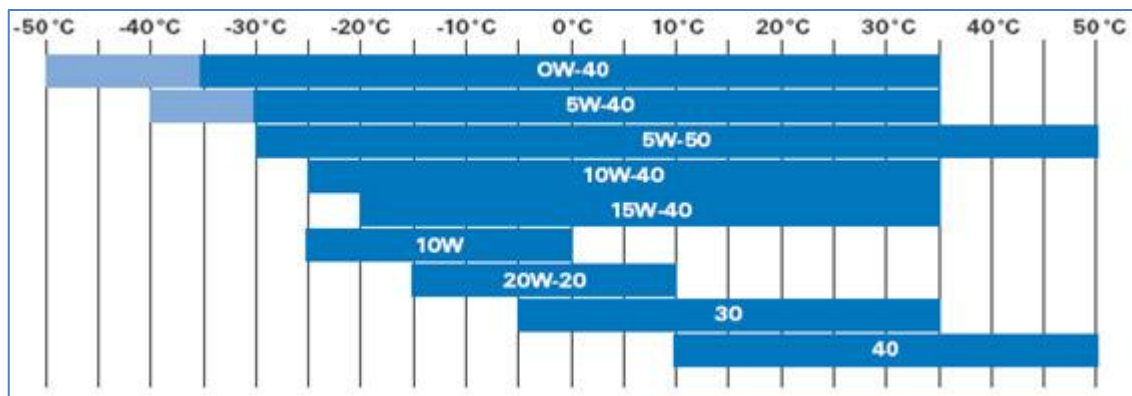
b) = 15W-40, 20W-40, 25W-40 a 40

Zimní třídy jsou: 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W.

Letní třídy jsou: 20, 30, 40, 50, 60.

Motorové oleje se podle viskozitní klasifikace rozdělují na jednostupňové a vícestupňové. Měřítkem tohoto dělení je hodnota viskozitního indexu oleje. Jednostupňové oleje mají viskozitní index nižší než 90, pokrývají tak jen a pouze rozsah jedné viskozitní třídy a je možné použití podle určení buď jen v letním, nebo výhradně v zimním období. Proti tomu mají vícestupňové oleje hodnotu viskozitního indexu v mezích 130 až 200, tím pokrývají více viskozitních tříd a dají se používat v celoročním provozu motoru. (Vlk, 2006)

V dnešní době se prakticky nejvíce využívají vícestupňové (tzv. multigrade) motorové oleje. Tyto vícestupňové oleje umožňují celoroční bezpečné promazání motoru za rozmanitých klimatických podmínek. Jsou označeny kombinací letní a zimní třídy např. 0W-40, 5W-40, 10W-40, 15W-40. (Oleje, 2017b)



Obrázek 2 Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot (www.petroleum.cz)

### 1.3.2 Výkonnostní klasifikace

Výkonnostní klasifikace motorových olejů charakterizuje chvilkové i dlouhodobé vlastnosti motorového oleje při různém provozním zatížení. Hodnotí se například tyto vlastnosti: pění oleje, ochrana proti otěru, oxidační stabilita, ochrana proti oxidaci a korozi stěn válců a ložisek, úspora paliva, ochrana proti tvorbě úsad za vysokých teplot a další. U motorových olejů se dnes pro označení výkonnostní kategorie používají následující normy:

- Klasifikace **API** (American Petroleum Institute, USA)
- Klasifikace **CCMC** (Comité des Constructeurs d'Automobile du Marché Commun, EU)
- Klasifikace **ACEA** (Association des Constructeurs Européens d'Automobile, EU)
- Firemní normy výrobců motorů a vozidel (VW, MB, MAN a další)
- Klasifikace **MIL-L** (normy americké armády)
- Jiné klasifikace

Nejpoužívanější klasifikace pro určení výkonnosti oleje jsou dnes klasifikace API, ACEA a firemní normy výrobců automobilů. V dnešní době je klasifikace CCMC zasta-



ralá a uvádí se ojediněle. MIL-L je klasifikace využívána americkou armádou. (Vlk, 2006)

### **Výkonnostní klasifikace podle API**

Americký petrolejový institut (API) třídí motorové oleje do těchto základních klasifikačních skupin: (skupina S – oleje vhodné pro zážehové motory, skupina C- oleje pro vznětové motory). V rámci skupin jsou oleje řazeny do tříd a označovány písmenem podle příslušnosti. Čím je vyšší písmeno abecedy, tím je olej kvalitnější. Motorový olej dle API s označením SJ/CF je olej prioritně pro benzínové motory, ale je použitelný i pro naftové motory. Naopak označení CE/SG nám říká, že je olej prioritně pro naftové motory, použitelný i pro benzínové motory. API odráží vývoj automobilových motorových olejů na americkém kontinentu, tudíž úplně nevyhovuje u vyšších tříd podmínkám pro evropské automobily. Americké motory jsou jiné než ty evropské např. objemově, výkonově a konstrukčně odlišné, což se projevuje v odlišných nárocích na olej. (Oleje, 2017c)

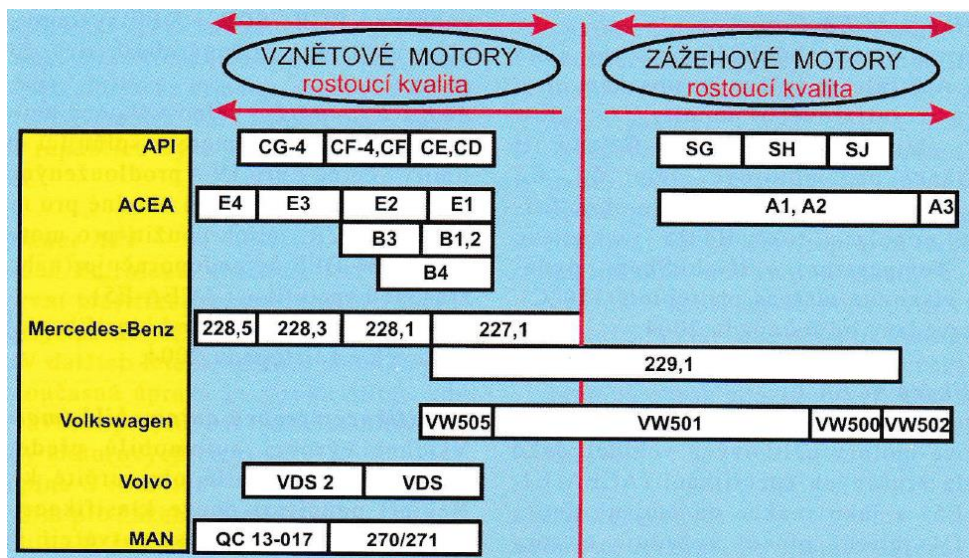
### **Výkonnostní klasifikace ACEA**

Současná výkonnostní klasifikace motorových olejů ACEA platí od roku 1997 a nahradila dřívější klasifikaci CCMC. Rozděluje se do čtyř skupin a podle počátečního písmene poznáme, zda jde o (A – oleje pro benzínové motory, B – oleje pro dieselové motory automobilů, E – motorové oleje pro dieselové motory nákladních automobilů, C – označuje oleje pro motory vybavené částicovými filtry).

Za písmeny vždy ještě následuje číslo (od „1“ výše), které blíže určuje výkonnost a vlastnosti oleje. Čím je tedy toto číslo vyšší, tím je motorový olej kvalitnější. (Jan a Ždánský, 2008)

### **Výkonnostní klasifikace výrobců automobilů a motorů**

Výrobci automobilů a motorů vyžadují od motorových olejů, aby splňovaly určité požadavky, které nemusí být zahrnuty v klasifikacích API nebo ACEA a schvalují oleje pro použití ve svých motorech. Například nejčastěji pro kategorii osobních vozů uvádějí normy VW/AUDI, BMW, PORSCHE. Pro užitkové automobily jsou to normy od MERCEDES BENZ (MB), VOLVO nebo MAN. (Vlk, 2006)



Obrázek 3 Orientační srovnání jednotlivých kvalitativních stupňů různých klasifikací (Jan a Ždánský, 2008)

## 1.4 Tribotechnika

Tribotechnika je disciplína, která aplikuje výsledky z vědního oboru tribologie do praxe. U dotýkajících se povrchů při vzájemného pohybu nebo i při pokusu o vzájemný pohyb jde o tření, opotřebení a mazání. Vzájemným působením povrchů v pohybu dochází k odporu proti tomuto pohybu – tření. To způsobuje opotřebení pohybujících se povrchů. Opotřebení a tření se dá snižovat mazáním. (Peřková a kol., 2012)

Do tribotechniky patří:

- Maziva a zkoušení maziv
- Způsob mazání, mazací zařízení
- Materiály pro třecí dvojice
- Konstrukce a výpočet třecích dvojic
- Vědecké základy pro tření a opotřebení
- Měřicí, kontrolní metody pro tribotechnické pochody
- Spolehlivost a diagnostika konstrukčních součástí skupin
- Organizace techniky mazání v provozu
- Speciální technologické postupy vedoucí ke zvýšení odolnosti proti opotřebení (Tribotechnika, 2016)

Technika mazání, která se dnes uvádí jako „Tribotechnika“ měla vždy a stále má opodstatněné místo v oblasti starostlivosti o stroje, zařízení a přispívá k jejich bezpečné spolehlivosti v provozu. Životnost a spolehlivost strojů a zařízení často závisí od úrovně navržených třecích komponentů, způsobu jejich mazání a výběru maziv. (Peťková a kol., 2012)

Mazivo je v dnešní době nejlevnějším a nejsnadněji vyměnitelným konstrukčním prvkem. Upotřebené mazivo navíc podává informace nejen o opotřebením maziva samotného, ale i o stavu a opotřebením stroje (resp. jednotlivých strojních prvků). Tribotechnika má i velký ekonomický význam, protože její správnou aplikací je možné dosáhnout významných úspor. Například snížení spotřeby energie k pohonu strojů, zvýšení životnosti strojů a zařízení, snížení prostojů vzniklých v důsledku poruch a následných oprav, zvýšení výrobní přesnosti, snížení nákladů na údržbu a opravy strojů. (Zehnálek, 2005)

#### **1.4.1 Mazivost**

Mazivost je mazací schopnost kapaliny, která se uplatňuje v oblasti hydrodynamického mazání. V tomto mazání dané mazivo zajišťuje nejmenší součinitel tření při optimální únosnosti kapalinné vrstvy. Je třeba ale upozornit, že tato vlastnost se týká pouze kapalných maziv. Právě vysoce rafinované oleje zbavené polárních látek vykazují vysokou mazivost. (Stodola a Novotný, 2015)

#### **1.4.2 Maznost**

Maznost můžeme definovat jako mazací schopnost maziva pro oblast mazání meznou mazací vrstvou. Je to tedy vlastnost maziva, která zajišťuje co největší únosnost, tak zvané mazné vrstvičky, při optimálním koeficientu tření. V dopravě a zemědělství má mazná složka maziva výjimečnou důležitost. (Zehnálek, 2005)

## **2 MAZACÍ SOUSTAVA**

Pístový spalovací motor obsahuje celou řadu pohybujících se součástí, ty na sebe navzájem působí, a tím dochází v určitých místech k tření. Funkcí mazací soustavy je vytvoření tenkého olejového filmu na třecích plochách v motoru. Mazání spalovacího motoru je zabezpečeno souborem prvků spojených mazacími kanály a potrubím se zásobníkem oleje, jenž zabezpečuje dodávku mazacího oleje k třecím plochám motoru. (Hromádko, 2011)

Systém mazání motoru nemá jen snižovat opotřebení motoru, mechanické ztráty motoru, odvádět nečistoty a chránit před korozí, ale další důležitou funkcí je i odvádění tepla z některých dílů motoru. Především se jedná o ložiska klikové hřídele motoru a chlazení pístů. (Rauscher, 2004)

Při vývoji spalovacích motorů byl kladen důraz i na modernizaci mazací soustavy. Během modernizace prošla mazací soustava značnými změnami, od mazání rozstříkem až po tlakové mazání, které se v dnešní době rozděluje na tlakové mazání se suchou a mokrou skříní. (Hromádko, 2011)

### **2.1 Druhy mazacích soustav**

Jak uvádí Vlk, (2003) místa, která podléhají vysokému zatížení (např. ložiska klikového hřídele, ložiska ojnicí a vačkového hřídele, rozvodový řetěz, pracovní plochy válců atd.) je nutné dobře promazávat, a proto musí být zajištěn dostatečný přísun mazacího oleje. V dnešní době dělíme mazací systémy pro pístové spalovací motory do tří kategorií:

- Mazání ztrátové
- Mazání tlakové s mokrou skříní
- Mazání tlakové se suchou skříní

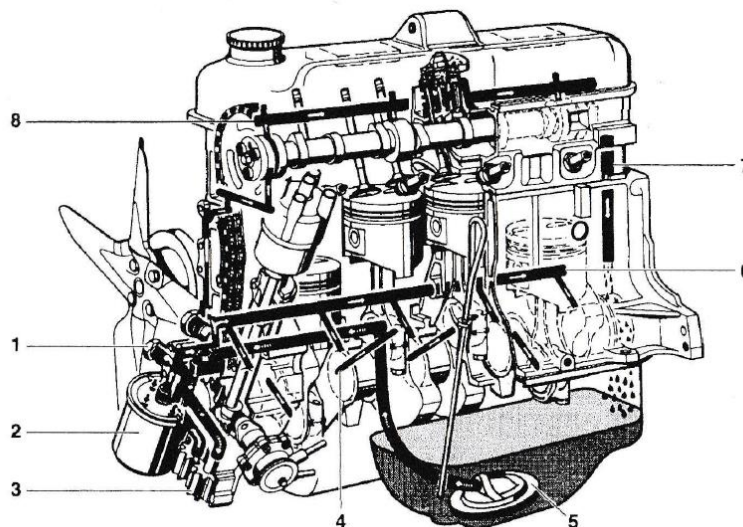
#### **2.1.1 Ztrátové mazání motoru**

Použití ztrátového mazání je u rychloběžných dvoudobých motorů. Přivádění oleje do klikové skříně motoru je ve formě kapiček, tyto drobné kapičky se dostávají do stykových ploch valivých ložisek uložení klikového hřídele a na další důležitá místa v motoru důsledkem intenzivního víření směsi paliva se vzduchem. Zároveň se dostává určitá část oleje při přepouštění stlačené palivové směsi do spalovacího prostoru válce motoru, tam

se zachycuje na stěnách válce a maže stykovou plochu s pístem a pístními kroužky. V průběhu hoření tak dochází k spalování směsi oleje a paliva, a z tohoto důvodu se nazývá tento typ mazání ztrátovým. (Rauscher, 2004)

### 2.1.2 Tlakové mazání motoru s mokrou klikovou skříní

Zásoba oleje pro tlakové mazání motoru je ve vaně klikové skříně. Základní prvky mazacího okruhu jsou: olejové čerpadlo, hrubé čističe, jemný čistič, chladič, teploměr, tlakoměr. Další prvky v okruhu mají za úkol udržovat požadované hodnoty tlaku (přepouštěcí ventil) a tlakového spádu na filtrech a chladiči (zpětný ventil). Hlavní mazací kanál zabezpečuje mazání hlavních ložisek klikového hřídele a ložisek rozvodového hřídele. Klikové ložiska jsou mazány přívodem od hlavních ložisek přes drážky a otvory v klikovém hřídeli. Oleje se odtud dostává otvorem v tělese ojnice na pístový čep a dále přes provrtané ojniční oko se způsobem ostříku ochlazuje vnitřní dno pístu. Rozvodový mechanismus je mazán díky oleji, který se přivádí z ložisek rozvodového hřídele. Válce motoru jsou mazány rozstříkem motorového oleje z klikové skříně při otáčení klikového hřídele. (Hlavňa, 2000)



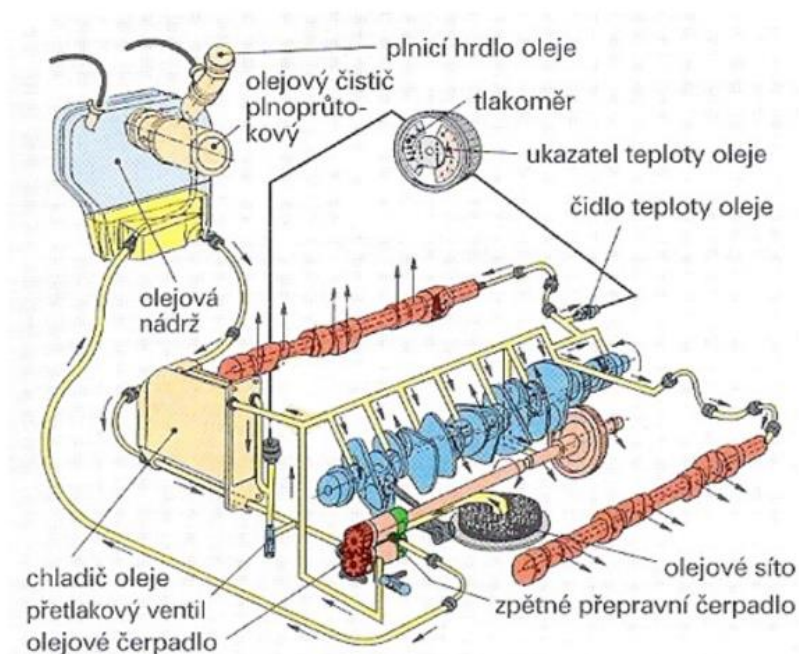
Obrázek 4 Tlakové mazání s mokrou skříní (Vlk, 2006)

1 – přetlakový ventil, 2 – čistič (filtr) oleje, 3 – zubové čerpadlo, 4 – vedení od hlavního ložiska klikové hřídele k ojničnímu ložisku, 5 – sací zvon se sítím, 6 – hlavní vedení tlakového oleje k ložiskům klikového hřídele, 7 – zpětný tok oleje z rozvodové do klikové skříně, 8 – vedení k ložiskům vačkového hřídele

### 2.1.3 Tlakové mazání motoru se suchou skříní

Mazání motoru probíhá z oddělené olejové nádrže. Důvodem pro použití suché klikové skříně je velké nebezpečí nasátí vzduchu do mazacího systému motoru v případě velkých náklonů motoru, při vyšších odstředivých silách nebo při náhlé deceleraci. Jedná se tedy v případě velkých náklonů o motory buldozerů, bagrů a terénních vozidel. Kdežto v případě vlivu velkých odstředivých sil a deceleraci vozidla jde o motory sportovních a závodních vozů. (Vlk, 2003)

Zásoba oleje pro mazání motoru je mimo olejové vany, především tedy v samostatné olejové nádrži, ta je umístěna buď přímo na spodním víku, nebo je připevněna mimo motor v rámu nebo karoserii vozidla. Dvě olejová čerpadla tvoří společné těleso a jsou poháněna od klikového hřídele. Odsávací olejové čerpadlo odsává olej z olejové vany a přes plnopřtokový čistič ho dopravuje do olejové nádrže. Výtlačné čerpadlo nasává motorový olej z nádrže a tlačí jej kolem přetlakového ventilu k mazacím místům. Při překročení nastavené teploty je část motorového oleje po otevření termostatického ventilu chladiče propouštěna přes chladič oleje zpět do potrubí výtlačného olejového čerpadla. (Hromádko, 2011)

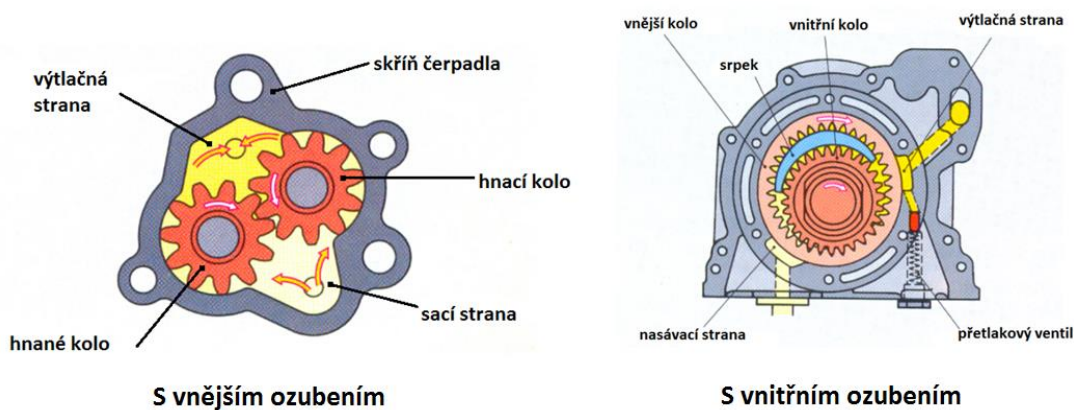


Obrázek 5 Tlakové mazání se suchou skříní (Gscheidle a kol., 2001)

## 2.2 Olejová čerpadla

Olejové čerpadlo musí zabezpečovat dostatečné množství dodávaného oleje a naprostou spolehlivost čerpání. U vozidlových motorů se nejčastěji používají olejová čerpadla zubová, srpkovitá (s vnitřním ozubením) nebo rotační s vnějším a vnitřním rotorem. (Vlk, 2006)

**Zubové olejové čerpadlo** - konstrukce tohoto čerpadla je jednoduchá, vyznačuje se malými rozměry i malou hmotností ale především velkou spolehlivostí. Čerpadlo se skládá ze skříně, v jejíž dutině jsou uložena dvě stejná čelní ozubená kola. Tyto kola jsou spolu v záběru. Hnací kolo je spojeno s hnacím hřídelem a hnané kolo je uloženo otočně na čepu. V dutině skříně mají tyto ozubená kola minimální vůli. Otáčením kol vzniká za místem záběru v mezerách mezi rozestupujícími se zuby podtlak, který způsobuje odsávání oleje. Motorový olej se dále nasává do mezer mezi zuby a po obvodě kol je dopravován na výtlačnou stranu. Zde na výtlačné straně jsou zuby opět do záběru a objem mezer mezi zuby se zmenšuje. Tím je olej vytlačován do potrubí. (Jan a Ždánský, 2008)

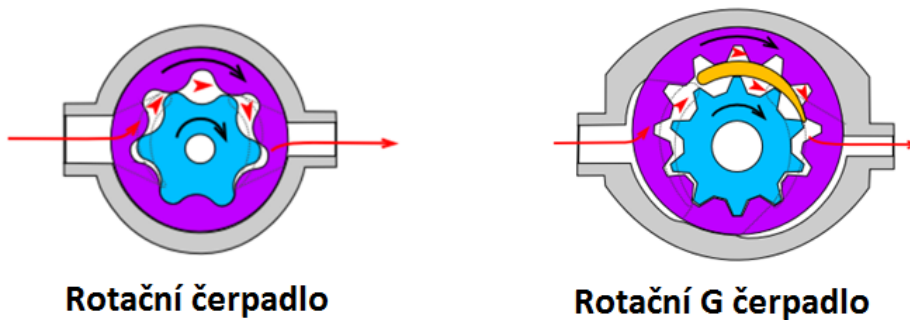


Obrázek 6 Zubové čerpadlo s vnitřním a vnějším ozubením (Jan a Ždánský, 2008)

**Čerpadlo s vnitřním ozubením (srpkové)** – je modernější formou zubového čerpadla. Vnitřní ozubené kolo je umístěno přímo na klikovém hřídeli. Vnější kolo, které má vnitřní ozubení, je vzhledem k vnitřnímu kolu usazeno výstředně. Tak vzniká sací a tlakový (výtlačný) prostor, tyto prostory však vzájemně odděluje těleso ve tvaru srpku. Motorový olej je přemísťován v zubových mezerách podél horní strany a dolní strany srpku. Výhoda srpkového čerpadla je větší přepravní výkon, zejména při nízkých otáčkách motoru. (Vlk, 2003)

**Rotační (trochoidní) olejové čerpadlo** – je objemové čerpadlo složené z vnějšího rotoru s vnitřním ozubením a vnitřního rotoru s vnějším ozubením, oba tyto rotory mají malý počet zubů, ale vnější rotor má o jeden zub více než vnitřní. Většinou bývá s klikovým hřídelem motoru spojen vnitřní hnací rotor. U vnitřního rotoru je vytvarováno ozubení tak, aby se každý zub dotýkal vnějšího rotoru a tím úplně utěsnil vznikající prostory. Když se začnou oba rotory otáčet, tak se na sací straně pracovní prostory postupně zvětšují a čerpadlo nasává olej. Naopak na výtlačné straně se prostory zmenšují a olej je vytlačován do tlakového potrubí. Výhoda tohoto čerpadla je, že se olej současně přemísťuje do tlakového vedení z několika komor olejového čerpadla, a tak pracuje rovnoměrněji než čerpadlo zubové. Další výhodou je vytváření vysokých tlaků při velkém přepravním proudu. (Hromádko, 2011)

**Rotační G čerpadlo** – jde o zlepšené trochoidní čerpadlo, má větší počet zubů a vnější rotor s vnitřním ozubením je poháněn excentricky umístěným vnitřním rotorem s vnějším ozubením. Rotační G čerpadlo je schopné při velmi nízkých otáčkách dopravovat výrazně větší množství oleje při vyšších tlacích. (Vlk, 2003)



Obrázek 7 Schéma rotačních čerpadel (Hromádko, 2011)



### 3 VIZKOZITA MOTOROVÝCH OLEJŮ

Viskozita je jednou z nejdůležitějších vlastností motorových olejů. Určuje totiž tvorbu kapalinového tření, únosnost mazacího filmu, čerpatelnost a velikost odporů oleje při rozběhu. Viskozita je mírou vnitřního tření v tekutině – odporu proti vzájemnému posouvání molekul tekutiny. (Straka, 1986)

Na stykové ploše dvou vrstev tekutiny pohybujících se rozdílnou rychlostí se projevuje viskozita tečným napětím. Rychlejší vrstva se snaží zrychlovat vrstvu pomalejší, a naopak pomalejší vrstva se snaží zadržovat vrstvu rychlejší. Tato vlastnost tedy zásadně ovlivňuje tokové vlastnosti látek. (Groda a Vítěz, 2009)

V praxi je nejvíce uplatňován viskozitní index - je to bezrozměrová veličina, která udává vliv teploty na viskozitu oleje v porovnání s dvěma standardními řadami olejů, které mají při teplotě 98,89 °C stejnou viskozitu jako zkušební olej. Z toho plyne, že oleje s vyšším viskozitním indexem mají lepší průběh viskozitně-teplotní závislosti než olej s nižším viskozitním indexem. (Hrdlička, 1996)

Jak uvádí Vlk, (2003) viskozitu rozeznáváme dynamickou a kinematickou:

**Dynamická viskozita  $\eta$**  je poměr působícího tečného napětí  $\tau$  a gradientu rychlosti  $\frac{dv}{dz}$

V soustavě SI vyjadřuje sílu v newtonech, tato síla je zapotřebí aby se vrstva o ploše  $1\text{m}^2$  posunula oproti stejné vrstvičce ve vzdálenosti 1m o 1m ve vodorovné rovině.

$$\eta = \tau / \frac{dv}{dz} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

Kde:  $\tau$ .....smykové (tečné) napětí paralelní s laminárním tokem [Pa]

$v$ .....rychlost ve směru osy x [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$z$ .....vzdálenost od rovnoběžné roviny x, y. [m]

**Kinematická viskozita  $\nu$**  bývá definována jako míra odporu kapaliny k tečení, které je způsobeno gravitační silou. Je to poměr dynamické viskozity kapaliny k její hustotě při stejné teplotě. V soustavě SI má kinematická viskozita rozměr [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

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

Kde:  $\rho$ .....hustota [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

## 4 OTĚROVÉ KOVY V OLEJÍCH

Motor je vyroben z určitých kovových materiálů, a tím tedy i všechny třecí povrchy v motoru. Ve většině případů se jedná o železo, které je zušlechťené přidávkem jiných kovů, dále pak hliníkové a měděné součástky, nebo může být určitý díl motoru potažen povrchovou vrstvou jiného kovu za účelem zvýšení tvrdosti povrchu, zlepšení kluzných vlastností, zlepšení protikorozní ochrany atd. Kvůli těmto případům se musíme zajímat nejen o železo, ale také o další kovy např. hliník, měď, olovo, nikl, cín, chrom a další. (Černý, 2008)

Třecí povrchy kovů v motoru nejsou nikdy naprosto hladké, ani v případě pečlivého vysoustružení. Každý povrch má určitou strukturu, proto když se dva povrchy dostanou do kontaktu, tak v případě malé vrstvy oleje dojde k vzájemnému odírání jejich nerovností a oddělování částecek konstrukčního kovu. Tyto oddělené částičky pak přechází do oleje. Obsah kovů v oleji je tedy významným ukazatelem stavu a opotřebení motoru. (Kumbár, 2011)

Množstvím konkrétního kovu v oleji je možné odhalit místo závady, protože části motoru jsou vyrobeny ze specifických materiálů, tak nám tyto materiály v oleji přiblíží místo poruchy. Každý motor má však svá specifika a přesto, že je v motoru stejný díl, tak nemusí mít úplně stejné materiálové složení. (Stodola a Novotný, 2015)

### 4.1 Tribologie

Tribologii chápeme jako vědu, která se zabývá stavem a procesy v přirozených a umělých tribologických systémech, vzájemným působením povrchů v pohybu nebo při snaze uvedení do pohybu. Tato věda přináší nový pohled na provozní spolehlivost strojů. Technický význam tribologie se projevuje například ve snižování ztrát materiálů opotřebením, zvyšování účinnosti mechanismů, vývojem nových materiálů, vývojem nových diagnostických metod, vývojem nových maziv atd. (Peřková a kol., 2012)

#### 4.1.1 Tření

Třením nazýváme soubor jevů, které se projevují v kontaktu dvou povrchů při vzájemném pohybu účinkem odporu proti pohybu. Tření je doprovázené ztrátami mechanické energie, která se navenek projevuje vzrůstem teploty účastnících se prvků a jejich opotřebením. V některých případech je výskyt tření žádoucí, například u třecí spojky, brzdy, třecí převody, šroubové spojení atd. Z toho vyplývá, že se nesnažíme tření vždy minimalizovat, ale chceme ho třídit podle funkčního určení. (Peřková a kol., 2012)

Podle základního tribologického systému jsou čtyři základní stavy tření:

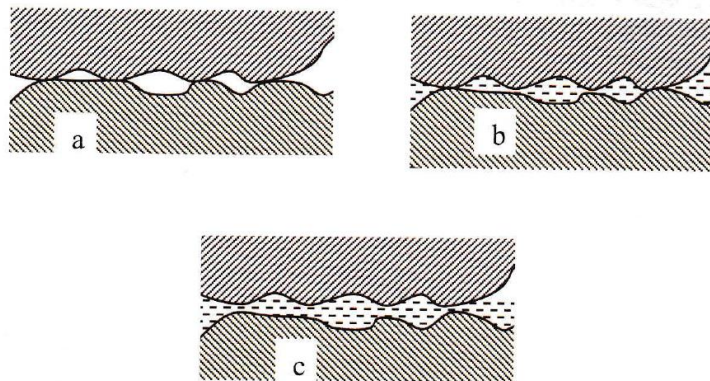
- **Tření tuhých těles (suché tření)** nastává v případech, kdy se určující materiálová oblast nachází v tuhém stavu. Dále se tento třecí stav rozděluje na čisté tření tuhých těles (tzn. deformační tření) a na tření v adhezních vrstvách. Stav čistého tření tuhých těles nastává zejména ve vakuu.
- **Tření kapalinové** vystihuje stav, při kterém má vrstva materiálu, ve které se koná proces tření, vlastnosti kapaliny.
- **Tření plynné** je podobné kapalinovému tření, jen je rozdíl v tom, že charakteristická vrstva má vlastnosti plynu.
- **Tření plazmatické** je stav, kdy má vrstva, kde probíhá proces tření vlastnosti plazmy. (Tul, 2008)

Druhy tření, které mohou vzniknout při mazání třecích ploch.

**Suché tření** nastává v případě, kdy se obě tělesa dotýkají absolutně suchými povrchy. Při tomto tření dochází k velkému zvýšení teploty a opotřebení povrchu.

**Smíšené tření** (tzv. polosuché) nastává, pokud je mezi třecími plochami mazivo, ale tyto plochy se mohou stále mikroskopickými výčnělky na povrchu dotýkat.

**Mokrý tření** (kapalinové) vzniká, když jsou obě třecí plochy úplně odděleny kapalinou. V tomto případě tření už skoro nedochází k žádnému otěru a teplota se zvyšuje jen minimálně. (Pekárek, 2016)



Obrázek 8 a) tření suché, b) smíšené tření, c) mokré tření (Peřková a kol., 2012)

### 4.1.2 Opotřebení

Opotřebení vzniká oddělováním částic z povrchu materiálu jednoho, nebo i obou těles v třecím kontaktu. Tyto změny povrchu jsou nežádoucí. Částice se mohou oddělovat z povrchu působením mechanických účinků, které někdy doprovází chemické, elektrické nebo elektrochemické působení cizích zdrojů. Nejčastějšími způsoby opotřebení jsou:

- Povrchová únava
- Abraze
- Adheze
- Tribochemická reakce neboli eroze

**Povrchová únava** je zapříčiněna cyklickým namáháním povrchu. Projevuje se vznikem mikrotrhlin a následným praskáním povrchu. Trhlina nevzniká na povrchu, ale k nejvyššímu napětí v kontaktu dochází těsně pod povrchem, kde trhlina vznikne a následně se rozšíří až k povrchu.

**Abrazní opotřebení** směřuje ke vzniku mikrooděrků a únavě materiálu způsobené opakovaným odíráním, následuje vznik lomu materiálu tělesa, který je způsoben tvrdými částicemi v meziplošném médiu.

**Adhezní opotřebení** je protržení mazacího filmu. Potom dochází k porušení atomových vazeb vzniklých při přímém kontaktu dvou kovových materiálů. Při relativním pohybu dochází k plastické deformaci. Tím vznikají mikrosvary neboli adhezní vazby, pak dochází k uvolnění materiálu a přenosu částic.

**Tribochemická reakce (eroze)** je třením indukovaná chemická reakce, tato reakce vzniká v povrchových a podpovrchových oblastech materiálu vlivem meziplošného média. Postupně mění vlastnosti třecích povrchů a ty vykazují určitou dobu sníženou hodnotu tření a následně po dosažení určité tloušťky se může začít materiál z povrchu odlamovat. (Stodola a Novotný, 2015)

## **5 DIAGNOSTIKA OLEJŮ**

Tribotechnická diagnostika je bezmontážní metoda technické diagnostiky, která využívá maziva jako média pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou maziva používána. Úkolem tribotechnické diagnostiky je zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v motorovém oleji, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního. Výsledky z provedených zkoušek nám umožňují nejen včas upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale v mnoha případech umožní i určení místa vzniku mechanické závady. (Helebrant a kol., 2004)

### **5.1 Obsah vody**

U vysoce výkonných strojů zajišťuje přenos sil, mazání i odvod tepla mazivo. Proto je přítomnost vody v mazivu zcela nežádoucí. V případě kdy není olej speciálně vysušen, tak obsahuje vždy určité množství vody. V oleji může být tedy voda rozpuštěná, emulgovaná a volná. Voda není v oleji patrná do určité hranice nasycení, obvykle pro 200 – 500 ppm, liší se podle složení a teploty oleje. Pro nejlepší ochranu strojů je doporučováno udržovat obsah vody cca 30 % pod hranicí nasycenosti (75 – 150 ppm, respektive 0,2 % objemových). Účinky vody v oleji se neprojeví hned ale až po určité době např. urychluje oxidační reakce v mazivu. Při destilaci vzorku rozpouštědla strhávají páry vody. Kondenzát se shromažďuje v kalibrované části destilačního nástavce, po ukončení destilace a ustálení kondenzátu se vrstva vody oddělí. Odečte se její objem a vyjádří v procentech. (Stodola a Novotný, 2015)

### **5.2 Monitorování pevných částic**

Zkouška se provádí pomocí částicového analyzátoru LaserNet Fines (LNF). Tento přístroj se využívá k detekování a charakterizaci otěrových částic. Ve většině případů jde o kovové částice, tyto částice jsou vytvořené v různých mechanických podmínkách a mají různý tvar a velikost. Při běžném opotřebením mají obvykle částice velikost s horní mezí 5 mikrometrů. Celkové množství částic u nového oleje je okolo 39,500 v jednom ml oleje. U nových olejů jsou to většinou mazací částice, než částice napomáhající opotřebením. V upotřebeném oleji je celkové množství částic 98,600 na 1 ml vzorku. (Severa a kol., 2012)

Typy částic	Počet/ml	Minimální velikost[mikron]	Maximální velikost[mikron]
Odseknuté	87,4	30,6	65,0
Otěrové	10,8	52,0	158,2
Únavové	1,9	26,7	26,7
Nekovové	39,3	44,5	68,8
Nezařazené	21,2	25,6	29,6
Vlákna	80		

Obrázek 9 Nejfrekventovanější částice v použitém oleji (Severa a kol., 2012)

Pevné částice v mazacích olejích můžeme stanovit i atomovou emisní spektrometrií (AES). Metoda AES je založena na registrování fotonů vzniklých přechody valenčních elektronů z vyšších energetických stavů na nižší. Měří se záření emitované atomy nebo ionty v excitovaném stavu, každý prvek emituje charakteristické atomové spektrum. Emisní spektrum má čárový charakter, počet čar ve spektru roste s počtem elektronů na valenčních hladinách. K zaznamenání atomového čárového spektra musí být prvky ve vzorku v atomární formě a také musí být excitovány do vyšších energetických stavů. Toho se nejčastěji dosahuje termickým buzením (vzorek je v budícím zdroji zahříván na vysokou teplotu). (Stodola a Novotný, 2015)

### 5.3 Stanovení teploty vzplanutí v otevřeném kelímku

Tato zkouška probíhá v tmavé místnosti chráněné před průvanem. Postup stanovení teploty vzplanutí probíhá tak, že se naplní kelímek vzorkem oleje po značku, pak se umístí teploměr, tak aby byl mezi stěnou a středem kelímku a 6 mm ode dna nádoby. Ohřívač je přesně pod středem kelímku, zpočátku se ohřívá olej o 15 °C za minutu. Po překročení 56 °C se rychlost ohřívání sníží na 5 °C za minutu. Od téhle teploty začneme používat zkušební plamen, vždy když teplota stoupne o 2 °C. Jakmile nastane vzplanutí oleje v kterémkoliv místě na hladině vzorku, tak tuto teplotu zaznamenáme jako teplotu vzplanutí. (Straka, 1986)

### 5.4 Číslo kyselosti TAN

Stanovení celkové kyselosti (TAN) je definováno jako množství hydroxidu draselného (KOH) v mg, spotřebovaného k neutralizaci všech kyselin obsažených v jednom gramu vzorku oleje. Při zkoumání čistých neaktivovaných olejů má TAN nulovou hodnotu a u vzorků zušlechťených olejů je hodnota chybná, kvůli reakci KOH s aditivou. (Stodola a Novotný, 2015)

## 6 MATERIÁLY A METODIKA

Tato kapitola popisuje použité motorové oleje, které byly použity pro měření. Dále pak testovaná vozidla, postup při odebrání jednotlivých vzorků, použité laboratorní přístroje, postup zpracování vzorků a jejich vyhodnocení.

### 6.1 Použité motorového oleje

U sklízecích mlátiček **Claas Lexion** byl použit motorový olej značky **Shell Rimula R5 E 10W-40**. Tento motorový olej využívá vybrané syntetické základové oleje a přísady, které zabezpečí úsporu paliva, ochranu v širokém rozmezí tlaků a teplot, jež se vyskytují v moderních dieselových motorech těžkých vozidel.

Specifikace tohoto oleje jsou: API CI-4, ACEA E3/E5/E7, MB 228.3, MAN M 3275, RVI RLD-2, Volvo VDS-3, VDS-2, Cummins CES 20071/72/75/76/77/78, Mack EO-M, EO-M+.

U sklízecích mlátiček **Case IH** byl použit motorový olej značky **Fuchs Titan Truck Plus 15W-40**. Je to širokorozsahový vysoce výkonný olej pro naftové i benzínové motory. Speciálně však pro silně zatěžované naftové motory užitkových vozidel.

Specifikace oleje: E7/E5/E3/B3/A3 API CI-4/SL GLOBAL DHD-1 ACEA CAT ECF-1-a/ECF-2 CUMMINS CES 20076/7/8 DEUTZ DQC II-05MAN M 3275 MB-APPROVAL 228.3MTU DDC TYPE-2 RENAULT RLD/RLD-2 VOLVO VDS-3

### 6.2 Testovaná vozidla

Pro odebrání vzorků upotřebeného motorového oleje bylo vybráno celkem pět sklízecích mlátiček. Tři sklízecí mlátičky značky Claas a dvě sklízecí mlátičky značky Case IH.

**Sklízecí mlátičky značky Claas** jsou všechny tři osazeny šestiválcovým, čtyřdobým, přeplňovaným motorem Caterpillar C9 o výkonu 236 kW při 2200 ot./min. V motoru je 32 litrů olejové náplně. Způsob mazání motoru je tlakové mazání a mazání rozstříkem. Interval výměny motorového oleje udává výrobce po 250 motohodinách.



Obrázek 10 Sklízecí mlátičky Claas Lexion 550 a Lexion 460 Evolution (foto autor)

**Sklízecí mlátičky Case IH** byly osazeny čtyřdobým, šestiválcovým, přeplňovaným motorem Cummins o výkonu 191 a 217 kW při 2200 ot./min. Motor má 25 litrů náplň motorového oleje. Způsob mazání je mazání rozstříkem a mazání tlakové. Podle výrobce by výměna motorového oleje měla proběhnout po 125 motohodinách.



Obrázek 11 Sklízecí mlátička Case IH 2388E (www.farmweb.cz)

V následující tabulce 3 jsou uvedeny základní údaje o vybraných sklízecích mlátičkách, ze kterých byly odebrány vzorky upotřebeného motorového oleje.

Tabulka 3 Vybrané sklízecí mlátičky

Značka	Model	Objem válců [cm <sup>3</sup> ]	Výkon [kW]	Rok výroby	Celkový počet motohodin
Claas	Lexion 460 Evolution	8 800	236	2003	3400
Claas	Lexion 550	8 800	236	2003	3445
Claas	Lexion 550	8 800	236	2005	2055
Case IH	2388E	8 300	191	2000	3770
Case IH	2388E	8 300	217	2003	4350



### 6.3 Odebírání vzorků a informace o jednotlivých vzorcích

Vzorky upotřebených motorových olejů byly odebrány do laboratorních plastových zkumavek, v každé zkumavce bylo 50 ml upotřebeného oleje. Odběr vzorků byl proveden při zahřátém motoru na provozní teplotu z vypouštěcího otvoru určeného pro výměnu motorového oleje. Ještě před odebráním vzorku do jednotlivých zkumavek bylo z každého sledovaného motoru vypuštěno množství cca 1 litru motorového oleje do společné sběrné nádoby, aby nedošlo ke kontaminaci odebíraných vzorků se starším motorovým olejem a nečistotami, které zůstaly ve vypouštěcím potrubí od minulé výměny oleje nebo se tam mohly dostat při sklizňových pracích. Až poté byly odebrány jednotlivé vzorky do zkumavek.

U příprav sklízecích mlátiček na novou sezónu byly při výměnách motorových olejů ve sledovaných motorech odebrány i vzorky nových motorových olejů pro následné porovnání míry degradace jednotlivých olejů. Jednalo se tedy o dva odebrané vzorky nových motorových olejů značky Shell a Fuchs přímo ze sudů od jednotlivých výrobců.

Při odebírání vzorků byly zkumavky popsány: jaký je to motorový olej, ze které sklízecí mlátičky byl odebrán, počet motohodin a datum při odběru. Tyto informace jsou uvedeny v tabulkách 4 a 5.

Tabulka 4 Informace o upotřebeném oleji Shell Rimula R5 10W-40

Jméno vzorku	Počet motohodin	Datum odběru
Claas Lexion 460 Evo (2003)	200	28. 11. 2016
Claas Lexion 550 (1) (2003)	245	28. 11. 2016
Claas Lexion 550 (2) (2005)	220	29. 11. 2016

Tabulka 5 Informace o upotřebeném oleji Fuchs Titan Truck Plus 15W-40

Jméno vzorku	Počet motohodin	Datum odběru
Case IH 2388 (2000)	210	25. 11. 2016
Case IH 2388E (2003)	180	25. 11. 2016

**Motohodina** je veličina měřená u strojů, u kterých nelze měřit jinak množství odvedené práce. Typicky u stavebních a zemědělských strojů. Je vztažena ke jmenovitým otáčkám motoru a je definována takto: „Jedna hodina práce motoru při jmenovitých otáčkách = jedna motohodina“. Udává tedy přibližně zatížení motoru. Orientačně podle ní lze zjistit například spotřebu, určuje servisní interval apod. (Pacas, 1987)

## 6.4 Laboratorní přístroje a postupy měření

K zjištění stavu degradace motorového oleje ve sledovaných sklízecích mlátičkách byly použity tyto laboratorní měřicí přístroje. Pomocí atomového emisního spektrometru s rotační diskovou elektrodou Spectroil Q100 proběhlo stanovení chemického složení motorového oleje. Pro zjištění viskozity oleje byl použit rotační viskozimetr DV-3P. Pro stanovení hustoty motorového oleje byl použit digitální hustoměr Densito 30PX.

### 6.4.1 Spektrometr Spectroil Q100

Spektrometr Spectroil Q100 je kompletně polovodičový opticko emisní spektrometr, který slouží k analýze použitých olejových vzorků z hlediska obsahu a chemického složení otěrových kovů. Měří stopové obsahy prvků rozpuštěných či nanesených jako jemné částice v syntetických nebo minerálních výrobcích na bázi ropy za použití spolehlivé techniky s rotační diskovou elektrodou. Spectroil Q100 splňuje požadavky standardní metody ASTM D6595 pro stanovení otěrových kovů a kontaminantů v upotřebených mazacích olejích. Vlastnosti přístroje: umožňuje stanovit včasné upozornění na abnormální opotřebení, čas analýzy 30 sekund, analyzuje všechny prvky současně, jednoduchá obsluha bez potřeby složitějšího školení, bez nutné přípravy vzorků. (Spectro, 2017)

Spectroil Q100 obsahuje dvě rotační elektrody. Elektrodu tyčovou a diskovou, které se otáčejí a nanášejí na sebe vzorky motorového oleje. Mezi tyčovou a diskovou elektrodou dochází k výboji, ten sleduje speciální kamera a následně podle snímané barvy stanoví přesné množství jednotlivých kovů ve vzorku motorového oleje a zapíše je do externího PC.



Otěr. kovy	Kontaminanty	Aditiva
Hliník	Bor	Bárium
Kadmium	Vápník	Bor
Chrom	Draslík	Vápník
Měď	Křemík	Chrom
Železo	Sodík	Měď
Olovo		Hořčík
Hořčík		Molybden
Mangan		Fosfor
Molybden		Křemík
Nikl		Zinek
Stříbro		
Cín		
Titan		
Vanad		
Zinek		

Obrázek 12 Spektrometr Spectroil Q100 a snímané prvky (Spectro, 2017)

#### 6.4.2 Rotační viskozimetr DV-3P

Rotační viskozimetr Anton Paar DV-3P pracuje na principu měření krouťící síly, nutné k překonání odporu u rotujícího válce nebo disku ponořeného v měřeném materiálu. Rotující vřeteno nebo válec jsou propojeny přes pružinu s hřídelí motoru, tento motor se točí definovanou rychlostí. Úhel pootočení hřídele je měřen elektronicky a dává přesnou informaci o poloze hřídele, respektive vřetene. Z měřených hodnot dynamické viskozity je na základě interních výpočtů přímo zobrazena hodnota kinematické viskozity. Rozsah měření pro stanovení reologických vlastností materiálu může být přizpůsoben zvolením vhodné kombinace vřetene a rychlosti otáčení. (Kumbár, 2013)

Pro měření vzorků motorových olejů z vybraných sklízecích mlátiček byl použit adaptér pro měření malých vzorků a vřeteno TR8. Výhoda použití uvedeného vřetene je oproti měření se standartními vřeteny ve vyšší dosažené přesnosti.

Provedené měření tedy bylo uskutečněno na rotačním viskozimetru DV-3P s adaptérem pro měření malých vzorků a standardizovaným vřetenem TR8, otáčky 200 ot/min. Teplota oleje při měření byla 40 °C dle normy ISO 8217.

Přesnost přístroje  $\pm 1$  % z plného rozsahu, opakovatelnost  $\pm 0,2$  % z plného rozsahu, Teplotní senzor v přístroji má rozsah: -10 °C až 150 °C s rozlišením 0,1 °C.



Obrázek 13 Rotační viskozimetr Anton Paar DV-3P (foto autor)

### 6.4.3 Hustoměr Densito 30 PX

Hustota byla u odebraných vzorků motorových olejů ze sklízecích mlátiček měřena pomocí hustoměru Densito 30 PX od výrobce Mettler Toledo, USA.

Měření hustoty u odebraných vzorků motorových olejů probíhalo při teplotě 40 °C dle normy ISO 8217. Tato teplota byla udržována v adaptéru, ve kterém byl měřený vzorek, k adaptéru bylo připojeno termostatové zařízení, které udržovalo teplotu oleje na námi zadané hodnotě.

Přístroj používá metodu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty. Měření probíhá tak, že se vzorkovací hadička ponoří do vzorku a spustíme měření. Přístroj nasaje vzorek a automaticky spustí měření, poté se zobrazí výsledek za několik sekund na displeji. Hustoměr je vybaven pumpou s regulací rychlosti nasávání a ještě speciálním otvorem pro vstřik vzorku externí stříkačkou, což může být použito v případě měření velmi viskózních vzorků. Kalibrace přístroje se provádí na vzduchu nebo vodu. V přístroji je možné uložení až 1100 vzorků do paměti a následně přenést do PC. (Ilabo, 2017)



Obrázek 14 Digitální hustoměr Densito 30 PX (Ilabo, 2017)

Parametry přístroje Densito 30 PX: Měřící rozsah hustoty: 0 až 2 g · cm<sup>-3</sup>

Měřící rozsah teploty: 0 až +40°C

Rozlišení 0,0001 g · cm<sup>-3</sup>

Přesnost 0,001 g · cm<sup>-3</sup>

Jednotky měření: hustota, specifická hmotnost, Brix %, alkohol, °Baumé, °Plato, API, kyselina sírová, koncentrace

Identifikace vzorku: datum, čas, identifikace přístroje (Ilabo, 2017)

## 7 VÝSLEDKY A DISKUZE

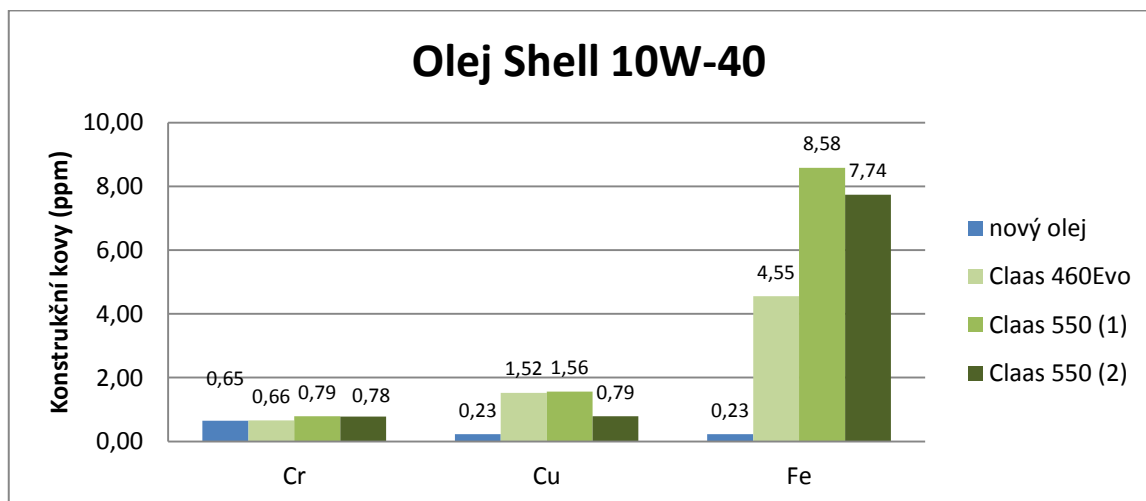
V této kapitole je provedeno vyhodnocení všech měření. Zjištěné výsledky jsou uvedeny v grafech a tabulkách. Součástí této kapitoly je diskuze k jednotlivým výsledkům.

### 7.1 Otěrové částice ve vzorcích motorových olejů

Měření otěrových částic ve vzorcích upotřebeného motorového oleje probíhalo metodou Atomové emisní spektrometrie, kdy bylo zjišťováno množství otěrových kovů, kontaminantů a aditiv v počtu částic na jeden milion (ppm).

**Otěrové kovy** a sledování jejich celkového množství v motorovém oleji je v tribodiagnostice důležitým faktorem. Jelikož se do oleje dostávají jednotlivé částice kovů během provozu motoru vlivem tření jeho funkčních součástí. Proto je určité množství kovů v oleji normální, ale hodně velký nárůst otěrových kovů může naznačovat problémy v mazací soustavě nebo nesprávné fungování motoru.

V obrázku 15 jsou uvedeny hodnoty hlavních konstrukčních kovů, které byly naměřeny ve vzorcích motorových olejů ze sklízecích mlátiček Claas. Hlavními konstrukčními kovy jsou železo (Fe), měď (Cu) a chrom (Cr).



Obrázek 15 Množství hlavních konstrukčních kovů v oleji Shell

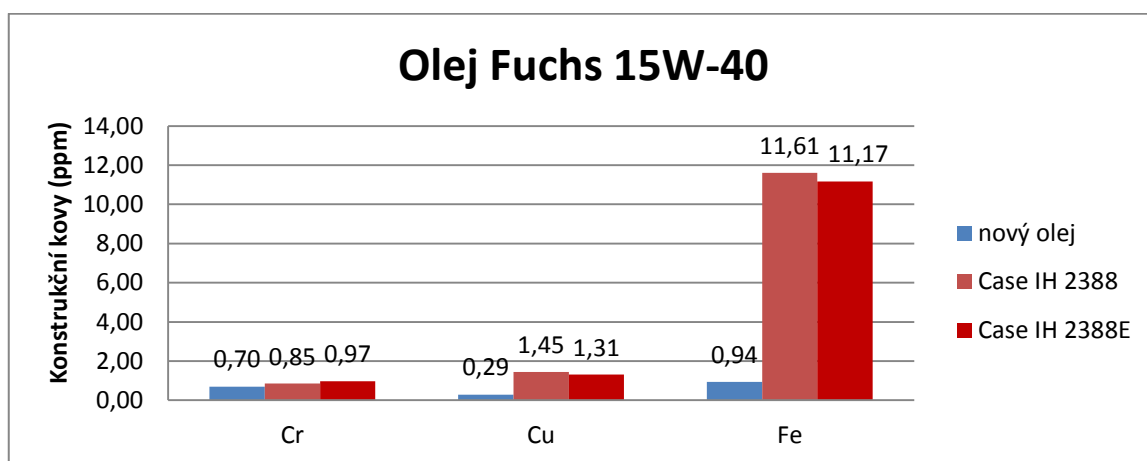
U sklízecích mlátiček Claas Lexion byly naměřené hodnoty konstrukčních kovů velmi nízké. V grafu na obrázku 15 je patrné, že nejnižší naměřené hodnoty konstrukčních kovů jsou u nového oleje.

Zvýšené hodnoty byly naměřeny jen u množství železa (Fe) což je stále normální opotřebením. Jak uvádí Černý (2008) je obsah železa v oleji pod 50 ppm normální opo-

třežení. Až při obsahu železa v oleji nad hranicí 75 ppm se jedná o nebezpečné opotřebení, v tomto případě je nutné věnovat větší pozornost kvůli poškození motoru.

Dalšími nalezenými konstrukčními kovy v motorovém oleji jsou chrom (Cr) a měď (Cu). Hodnoty těchto konstrukčních kovů obsažených ve vzorcích jsou velmi nízké, v porovnání s obsahem chromu a mědi se vzorkem nového neupotřebeného oleje je nárůst otěrových kovů minimální. Podle tabulky 6 je množství chromu pod 12 ppm a mědi pod 30 ppm normální opotřebení. U sledovaných motorů sklízecích mlátiček Claas lexion byly naměřené hodnoty otěrových kovů velmi dobré.

Naměřené hodnoty konstrukčních kovů byly nízké a podobné výsledky vyšly i v práci Kumbár a Dostál (2013).



Obrázek 16 Množství hlavních konstrukčních kovů v oleji Fuchs

Z grafu v obrázku 16 je zřejmé, že nejnižší množství konstrukčních kovů bylo naměřeno u nového oleje.

V upotřebeném motorovém oleji u sklízecích mlátiček Case IH bylo naměřeno množství železa (Fe) necelých 12 ppm u obou sklízecích mlátiček, což se podle tabulky 6 ani nepřiblížilo množství částic 50 ppm, které je do tohoto množství považováno za normální opotřebení při provozu motoru. Dle tabulky 6 dosahovaly naměřené hodnoty z pohledu otěrových kovů normálního opotřebení i přes to, že byl překročen servisní interval výměny motorového oleje.

Naměřené hodnoty konstrukčních kovů, jako jsou chrom a měď, byly nízké. V případě nárůstu obsahu částic chromu při porovnání s novým nepoužitým motorovým olejem je zvýšení počtu částic chromu zanedbatelné. U mědi byl naměřený počet částic obsažených v oleji také minimální. Jak uvádí Černý (2008) jsou hodnoty u mědi pod

30 ppm a u chromu pod 12 ppm zařazeny u velkých naftových motorů do oblasti normálního opotřebení při provozu motoru.

Naměřené hodnoty otěrových částic ve vzorcích olejů z motorů sklízecích mlátiček Claas i Case IH byly podle tabulky 6 přípustné a nepřekračovaly obsah částic nad normální opotřebení motoru. Podobné výsledky vyšly i v práci Kumbár a Dostál (2013).

Tabulka 6 Limitní koncentrace kovů v oleji (www.oleje.cz)

Kov	Velké vznětové motory - opotřebení		
	normální [ppm]	zvýšené [ppm]	nebezpečné [ppm]
Železo	pod 50	50 – 75	nad 75
Měď	pod 30	30 – 45	nad 45
Chrom	pod 12	12 – 20	nad 20
Nikl	pod 25	25 – 40	nad 40
Hliník	pod 25	25 – 35	nad 35
Olovo	pod 25	25 – 40	nad 40
Cín	pod 5	5 – 12	nad 12
Křemík	pod 25	–	nad 25

V tabulce 6 jsou uvedeny průměrné koncentrace kovů v motorovém oleji dle závažnosti opotřebení motoru, tyto skupiny se dělí podle množství částic v ppm (parts per milion) na normální, zvýšené a nebezpečné opotřebení při chodu motoru.

Tabulka 7 Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje (www.oleje.cz)

Otěrový kov	Původ – motorový díl
Železo	Vyskytuje se takřka vždy jako hlavní konstrukční kov, jeho koncentrace je až na výjimky vždy nejvyšší
Měď	Ložiska, ventilová skupina – zdvihátka, pouzdro pístního čepu, bronzové díly
Chrom	Chromované díly – těsnící kroužky, vložky apod.
Nikl	Součást konstrukční oceli ložisek, hřídelí, ventilů
Hliník	Písty, válečková ložiska, určité typy pouzder
Olovo	Valivá ložiska, u starých zážehových motorů kontaminace z benzínu
Cín	Ložiska, bronzové díly
Stříbro	Postříbřená ložiska
Křemík	Indikátor prachu, špatný stav vzduchového filtru

V motoru jsou použity kovové díly, které jsou většinou vyrobeny ze specifických materiálů. Podle naměřených hodnot ze vzorků upotřebených olejů můžeme analyzovat možné místo, kde k závadě dochází. (Oleje, 2017d)

V tabulce 7 jsou vypsané základní kovy, které se u sledovaných motorů mohou nacházet. V tabulce je mezi konstrukčními kovy uveden i křemík, ten s konstrukčními kovy nesouvisí, ale je téměř vždy nalezen ve vzorcích oleje. Podle Černého (2008) je křemík hlavní součástí prachových částic a tyto částice se mohou do motorového oleje dostávat přes vzduchový filtr.

Při dodržování správných intervalů výměny motorového oleje nevzniká velké množství otěrových kovů, což je v pořádku a podle tabulky 6 a naměřených hodnot se to dá prokázat.

**Kontaminanty** jsou další druh částic, který se vyskytuje v motorovém oleji. Tyto látky jsou nežádoucím prvkem, protože zhoršují vlastnosti motorového oleje.

V následující tabulce 8 jsou zaznamenány naměřené hodnoty kontaminantů ze vzorků motorových olejů ze sklízecích mlátiček Claas i Case IH a pro porovnání i naměřené hodnoty kontaminantů ze vzorků nových olejů. Kontaminanty jsou uvedeny v jednotkách ppm (parts per milion).

Tabulka 8 Naměřené kontaminanty ve vzorcích oleje

<b>KONTAMINANTY</b>			
<b>Vzorek</b>	<b>Vápník [ppm]</b>	<b>Křemík [ppm]</b>	<b>Sodík [ppm]</b>
<b><i>Nový olej Shell</i></b>	<b><i>1299,00</i></b>	<b><i>10,40</i></b>	<b><i>3,41</i></b>
Claas 460Evo	1611,00	6,92	3,66
Claas 550 (1)	1496,00	10,24	3,83
Claas 550 (2)	1788,00	8,53	4,70
<b><i>Nový olej Fuchs</i></b>	<b><i>1376,00</i></b>	<b><i>4,55</i></b>	<b><i>2,94</i></b>
Case IH 2388	1702,00	3,32	4,20
Case IH 2388E	1588,00	2,87	2,95

Množství částic vápníku (Ca) se nachází i v novém motorovém oleji, protože se do něj přidává jako detergentní aditivum, které pomáhá při regulaci usazenin. Avšak příliš vysoká hladina vápníku může přispět k znečištění maziva.

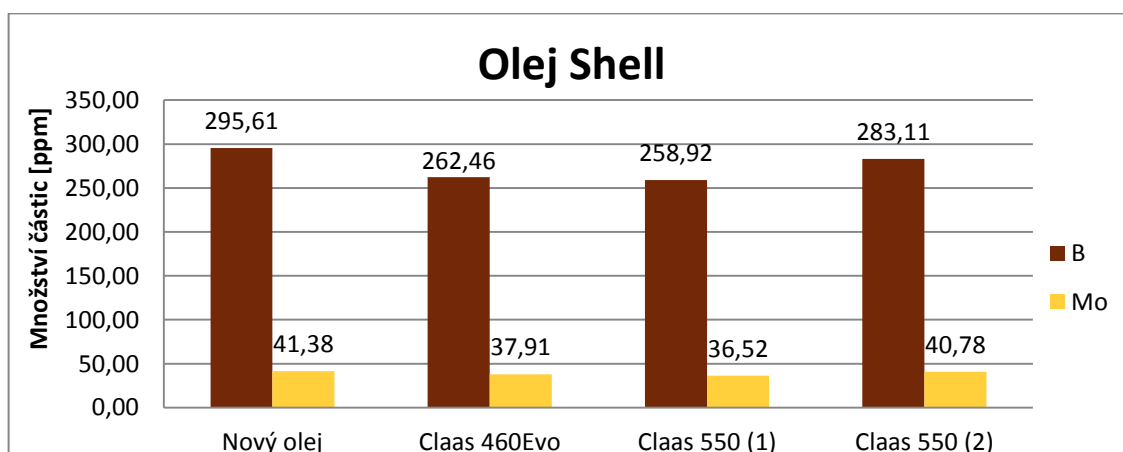
Částice sodíku (Na) v motorovém oleji mírně stouply jen u vzorků Claas 550 (2) a Case IH 2388, to může naznačovat, že je poškozené těsnění pod hlavou motoru a částečně proniká chladicí kapalina do motorového oleje. U vzorků Claas 460 Evo, Claas



550 (1) a Case IH 2388E se hodnoty sodíku výrazně nezvýšily, což nám značí, že chladicí kapalina neproniká do mazacího okruhu sklízecí mlátičky.

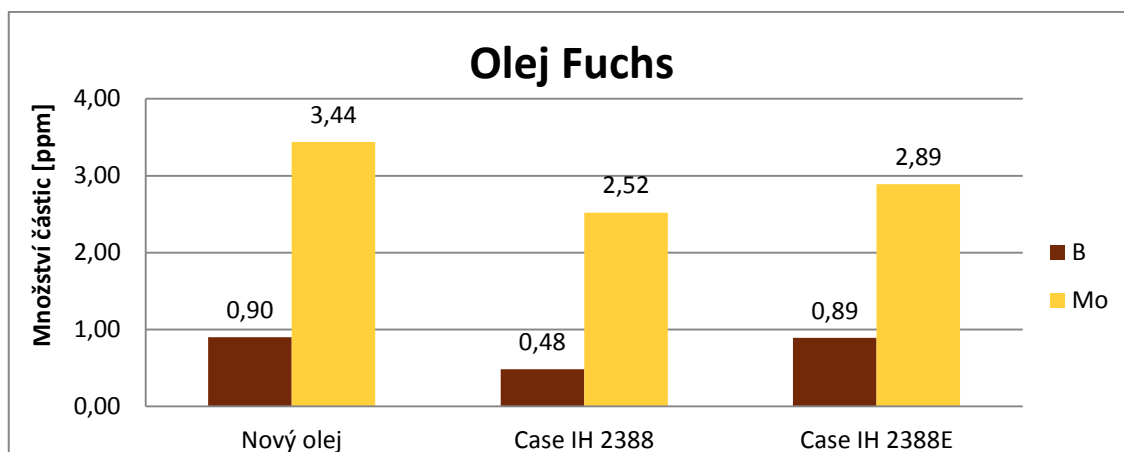
Ve vzorcích olejů byly nalezeny i částice křemíku (Si). Křemík je nejčastěji hlavní součástí prachových částic, které se do motoru mohou dostat přes vzduchový filtr. Částice křemíku jsou nalezeny i u nových vzorků motorových olejů, kam se mohly dostat při odebírání vzorků nebo při manipulaci s motorovým olejem. Z porovnání nových a upotřebených vzorků olejů je patrné, že množství částic křemíku při provozu motoru klesalo. To nám naznačuje správnou funkci olejového filtru, tyto křemíkové částice bývají větší než 10 mikrometrů a olejový filtr je podle Černého (2007) schopný zachytit částice přibližně o velikosti 10 mikrometrů. Pro potvrzení by byla nutná analýza olejového filtru, jestli jsou v něm tyto částice zachyceny.

**Aditiva** jsou druh částic, který se nachází v oleji. Mají totiž pozitivní vliv na funkci motoru a stav motorového oleje.



Obrázek 17 Aditiva v motorovém oleji Shell

Z obrázku 17 je patrné, že v oleji Shell bylo u nového oleje množství částic bóru 295,61 ppm a 41,38 ppm molybdenu. U všech olejů ze sklízecích mlátiček Claas tyto hodnoty aditiv klesaly, což je v pořádku. Protože aditiva molybdenu se mechanicky upotřebí tím, jak je olej mechanicky namáhán. A částice bóru se navážou na otěrové kovy, a tím je z části eliminují. Jen u vzorku s označením Claas 550 (2) nebylo klesání obsahu bóru a molybdenu tak patrné jako u dalších dvou vzorků, což může být způsobeno tím, že do motoru byl častěji doléván nový motorový olej kvůli dodržení optimální hladiny oleje, a tím se částice aditiv stále doplňovaly.



Obrázek 18 Aditiva v motorovém oleji Fuchs

Olej značky Fuchs obsahoval 0,90 ppm bóru a 3,44 ppm molybdenu jak je patrné z obrázku 18. U sklízecích mlátiček Case IH obsah částic aditiv během provozu motoru klesal. Což je v pořádku, protože se aditiva mechanicky upotřebí, jak je uvedeno výše v textu u motorového oleje Shell.

Při srovnání množství částic aditiv u vzorků nových motorových olejů obsahoval Shell 295,61 ppm bóru a 41,38 ppm molybdenu, v oleji Fuchs bylo naměřeno 0,90 ppm bóru a 3,44 ppm molybdenu. Z těchto výsledků je patrné, že motorový olej značky Shell je mnohem více aditivovaný, než olej Fuchs což může mít lepší výsledky pro motor, protože tyto aditiva slouží jako proti otěrové.

## 7.2 Viskozita oleje

Měření viskozity motorových olejů bylo provedeno u sedmi vzorků, které byly odebrány z pěti sklízecích mlátiček a dva vzorky byly odebrány ze sudů s novým olejem při výměně oleje v motoru před sklizňovou sezónou. Jako první byla naměřena dynamická viskozita a z těchto hodnot a hodnot naměřené hustoty olejů byl proveden přepočet pomocí vzorce (viz. kapitola 3 Viskozita motorových olejů) na kinematickou viskozitu, která se využívá v tribologii častěji. Kinematická viskozita se v olejářství používá častěji, protože u olejů je proměnná hustota s teplotou. Při růstu teploty se olej zahřívá, tedy roztahuje, a tím pádem klesá jeho hustota. Kinematická viskozita je tedy více popisná pro oleje, protože zachytí i teplotní změny dynamické viskozity a hustoty.

Tabulka 9 Naměřené hodnoty viskozit u vzorků, směrodatné odchytky (SD) a variační koeficient

Vzorek	Dynamická viskozita [mPa · s]	SD [mPa · s]	Variační koeficient [%]	Kinematická viskozita [mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	SD [mPa · s]	Variační koeficient [%]
<b>Nový olej Shell</b>	<b>83,472</b>	<b>0,101</b>	<b>0,121</b>	<b>97,949</b>	<b>0,118</b>	<b>0,120</b>
Class 460Evo	69,125	0,052	0,075	80,914	0,061	0,075
Class 550 (1)	68,810	0,043	0,062	80,508	0,050	0,062
Class 550 (2)	73,933	0,050	0,068	85,819	0,059	0,069
<b>Nový olej Fuchs</b>	<b>89,604</b>	<b>0,150</b>	<b>0,167</b>	<b>102,370</b>	<b>0,171</b>	<b>0,167</b>
Case IH 2388	80,936	0,415	0,513	92,224	0,473	0,513
Case IH 2388E	79,784	0,152	0,191	90,890	0,173	0,190

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty dynamické viskozity a kinematické viskozity pro každý vzorek motorového oleje. Měření dynamické viskozity probíhalo v 30 opakování u každého vzorku. Následně byly dopočítány směrodatná odchytky a variační koeficient. Variační koeficient udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchytky na aritmetickém průměru.

Variační koeficient je u všech vzorků nižší než 0,5 %, což značí, že měření bylo velmi přesné.

Variační koeficient byl vypočítán podle vzorce (Hindls a kol., 2006):  $v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100$  [%]

Kde:  $s_x$  .....směrodatná odchytky

$\bar{x}$  .....aritmetický průměr

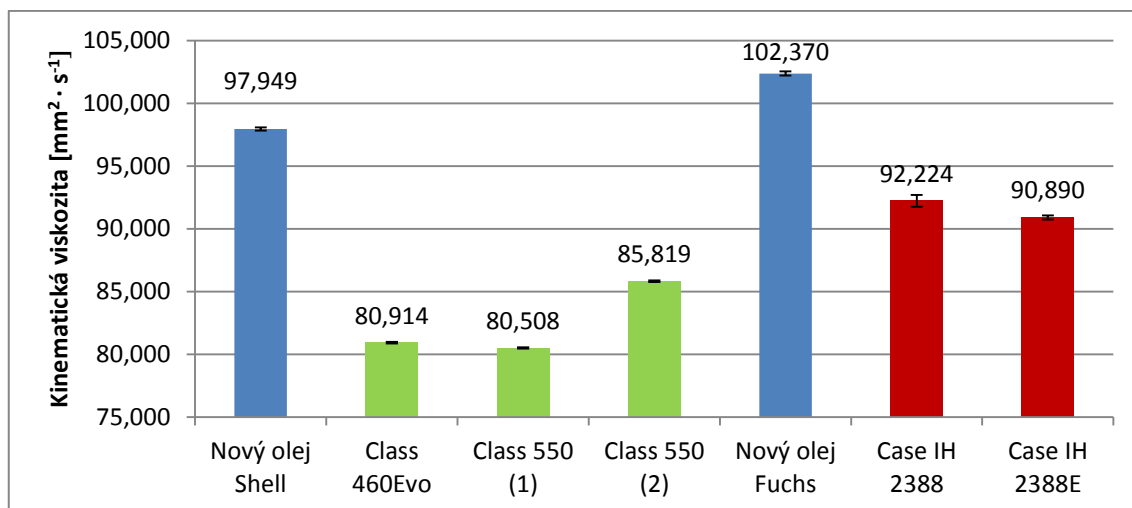
Na následujícím obrázku 19 vidíme hodnoty kinematické viskozity. U nového oleje Shell byla hodnota kinematické viskozity 97,949 [mm<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup>], u oleje Fuchs byla hodnota 102,370 [mm<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup>]. Tyto hodnoty olejů postupně při provozu motorů klesaly, protože byl motorový olej během provozu upotřeben.

Dle Helebranta a kol., (2004) by se viskozita oleje během provozu neměla změnit o více než ± 20 %. V případě námi sledovaných vzorků byl zaznamenán nejvyšší pokles viskozity u vzorku Claas 550 (1), kde se jednalo o pokles 17,81 % a nejnižší pokles viskozity byl zaznamenán u vzorku Case IH 2388, kde byl pokles o 9,91% což je podle Helebranta a kol. (2004), ve stanoveném rozmezí.

Černý (2006) uvádí, že může při provozu motoru docházet k velkým změnám jeho viskozity. Nárůst viskozity oleje při provozu způsobuje zejména termická a oxidační

degradace oleje a u vznětových motorů ještě množství sazí v oleji. Naopak snížení viskozity může způsobovat nadměrný obsah paliva v motorovém oleji.

Podle Helebrant a kol., (2004) je snižování viskozity způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv. U příliš nízké viskozity může docházet k meznímu až suchému tření a to má za důsledek nadměrné opotřebení s případným zadřením třecích ploch.



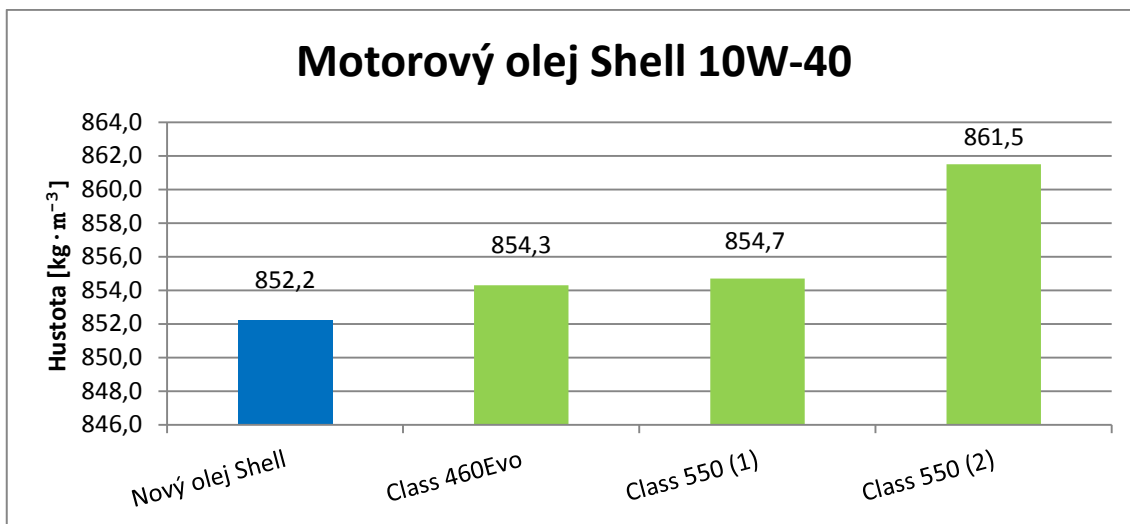
Obrázek 19 Kinematická viskozita se směrodatnou odchylkou u všech vzorků olejů

### 7.3 Hustota oleje

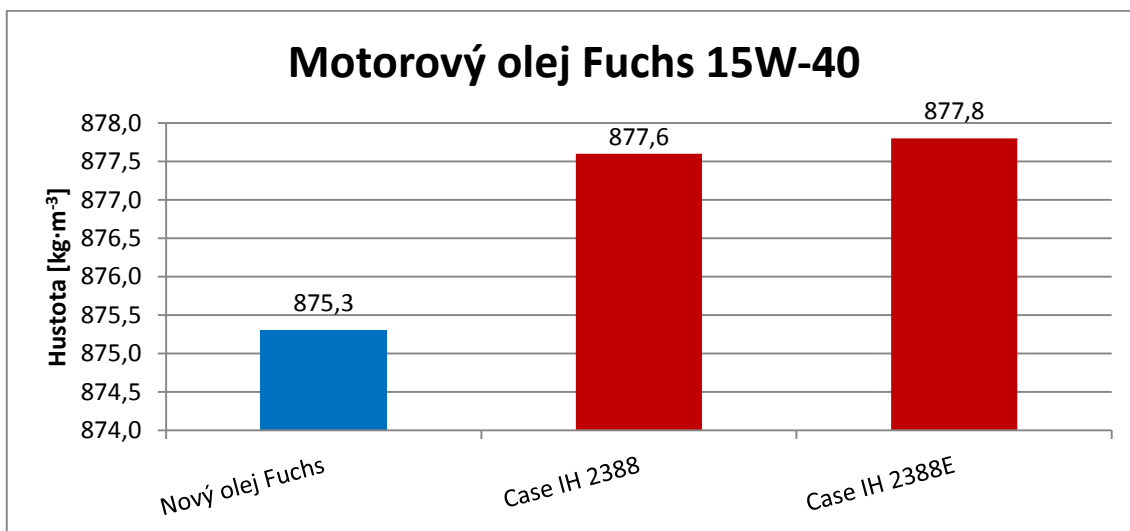
Významným ukazatelem při hodnocení stavu motorového oleje je i hustota. Změna hustoty naznačuje znečištění oleje cizími látkami. Při měření hustoty byl použit velmi přesný přístroj, který i po 3 opakování měření zobrazoval stejné hodnoty, proto není potřeba uvádět odchylky od měření jako v předchozí kapitole 7.2 Viskozita oleje.

Tabulka 10 Naměřená hustota u všech vzorků olejů

Vzorek	Hustota [kg·m <sup>-3</sup> ]
<b>Nový olej Shell 10W-40</b>	<b>852,2</b>
Class 460Evo	854,3
Class 550 (1)	854,7
Class 550 (2)	861,5
<b>Nový olej Fuchs 15W-40</b>	<b>875,3</b>
Case IH 2388	877,6
Case IH 2388E	877,8



Obrázek 20 Naměřená hustota u vzorků olejů Shell



Obrázek 21 Naměřená hustota u vzorků olejů Fuchs

V grafu na obrázku 20 je zobrazena hustota olejů ze vzorků motorového oleje Shell. U nového oleje byla naměřena hustota motorového oleje  $852,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Jak je patrné, tak naměřené hodnoty ze vzorků olejů Shell mírně stoupají oproti hodnotě nového nepoužitého motorového oleje. To je způsobeno nárůstem částic otěrových kovů a nečistotami. U vzorku s označením Claas 550 (2) hustota oleje stoupla výrazněji než u vzorků Claas 460Evo a Claas 550 (1), což mohlo být způsobeno větším množstvím kontaminantů a nečistot, které mohly během provozu vzniknout nebo se dostaly do oleje z vnějšího prostředí. Proto je důležité, aby byl dodržován při provozu předepsaný interval výměny oleje a olejového filtru.

Jak uvádí Vishweshwara a Al Badi (2015), tak při jejich experimentálním měření nedocházelo k růstu hustoty u měřených vzorků, ale naopak hustota oleje klesala. To mohlo být způsobeno tím, že na rozdíl od našeho experimentu nedocházelo u jejich vzorků k nárůstu otěrových kovů, které vznikají při provozu vozidla.

U motorového oleje značky Fuchs byla naměřena hustota nového motorového oleje  $875,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Jak je patrné z následujícího grafu na obrázku 21, tak u sklízecích mlátiček Case IH hodnoty u obou vzorků upotřebených olejů stouply jen mírně, protože i vlivem běžného provozu se do oleje dostávají otěrové kovy. Ale tyto naměřené hodnoty můžeme považovat podle tabulky 6 za normální opotřebení během provozu motoru.

## ZÁVĚR

Motorový olej je pro správný chod spalovacího motoru velmi důležitý. Hlavní funkce motorového oleje je mazání vnitřních součástí motoru. Motorový olej však plní další neméně důležité úkoly, jako jsou zachytávání nečistot, udržování vnitřních částí motoru bez koroze, ochlazování jednotlivých zatěžovaných částí motoru. Při provozu motoru se postupem času používání motorového oleje snižuje množství aditiv v oleji a dochází ke zvýšení negativních vlastností oleje.

U zemědělských a stavebních strojů výrobci vozidel stanovují intervaly pro výměnu motorového oleje počtem motohodin nebo jeden rok od výměny oleje.

Tato práce se zabývala stavem upotřebeného motorového oleje ze vzorků odebraných z pěti sklízecích mlátiček a dvou vzorků nových nepoužitých motorových olejů, které byly použity v motorech sklízecích mlátiček. Jednalo se o tři sklízecí mlátičky Claas Lexion, ve kterých byl použit motorový olej Shell Rimula R5 E 10W-40 a dvě sklízecí mlátičky Case IH 2388E, ve kterých byl motorový olej Fuchs Titan Truck Plus 15W-40. Sklízecí mlátičky pracovaly po celou sledovanou dobu ve stejných pracovních podmínkách.

Hlavní měření u všech odebraných vzorků proběhlo pomocí atomové emisní spektrometrie. U tohoto měření bylo zjišťováno množství otěrových kovů, kontaminantů a aditiv. Při stanovení množství otěrových kovů byly do vyhodnocení zaneseny nejpodstatnější konstrukční kovy, tzn. železo, měď a chrom. Ve všech upotřebených vzorcích oleje bylo z těchto konstrukčních kovů nejvíce obsaženo železo. U sklízecích mlátiček Claas bylo nejmenší množství částic železa 4,55 ppm ve vzorku Claas 460Evo a nejvyšší naměřené množství 8,58 ppm u Claas 550 (1). U vzorků sklízecích mlátiček Case IH bylo naměřeno množství částic železa necelých 12 ppm u obou motorů. Po následném porovnání naměřených hodnot s limitními koncentracemi kovů z tabulky 6 je patrné, že všechny sledované otěrové konstrukční kovy jsou v normálních hodnotách a u žádného upotřebeného vzorku oleje nepřekračují množství částic nad normální běžné opotřebení motoru. Při dodržování správných intervalů výměny motorového oleje nevzniká velké množství otěrových kovů, což je v pořádku a podle tabulky 6 a naměřených hodnot se to dá prokázat.

Do skupiny kontaminantů byly vybrány prvky, jako jsou sodík, vápník a křemík. Hodnoty sodíku ve všech upotřebených vzorcích mírně stoupaly, větší množství bylo naměřeno u vzorků Claas 550 (2) a Case IH 2388, což může naznačovat poškozené těs-

nění pod hlavou motoru a následné pronikání chladicí kapaliny do oleje. U třech zbývajících strojů byl nárůst sodíku nepatrný, to nám naopak značí, že je mazací okruh dobře utěsněn. Dalším prvkem je křemík, ten je téměř vždy nalezen ve vzorcích olejů. Křemík je totiž hlavní součástí prachových částic a ty se dostávají do oleje přes vzduchový filtr. Z naměřených hodnot vyplývá, že větší množství částic křemíku se nacházelo u nových vzorků olejů, tam se křemík mohl dostat z výroby nebo při manipulaci s oleji. Při porovnání nových a upotřebených vzorků tyto hodnoty křemíku klesají, což může být způsobeno správnou funkcí olejového filtru v motoru sklízecích mlátiček, který tyto prachové částice zachycuje.

U skupiny aditiv byly vybrány prvky bór a molybden. Z porovnání všech upotřebených vzorků s novými neupotřebenými vzorky je patrné, že při provozu klesá množství částic aditiv v olejích, což je v pořádku. To je způsobeno tím, že se motorový olej mechanicky upotřebil. Při porovnání jen nových vzorků olejů je z naměřených hodnot patrné, že motorový olej Shell je mnohem více aditivovaný než motorový olej Fuchs.

U všech sklízecích mlátiček naměřená kinematická viskozita mírně klesla, což můžeme připisovat vysokému tepelnému a mechanickému namáhání, kterému je motorový olej během provozu vystaven.

Při porovnání naměřených hodnot hustoty je u většiny vzorků upotřebených motorových olejů patrné mírné zvýšení těchto hodnot, protože i vlivem běžného provozu se do oleje dostávají otěrové kovy. Ale tyto naměřené hodnoty můžeme považovat za normální opotřebení během provozu motoru. Jen u jednoho vzorku bylo zvýšení hustoty větší. To může být způsobeno větším výskytem nečistot, které se do oleje dostaly z vnějšího prostředí a otěrovými částicemi, které vznikají při provozu motoru.

Podle zjištěných údajů je možné konstatovat, že při dodržování stanoveného servisního intervalu výměny motorového oleje výrobcem vozidla, by nemělo docházet k nepřiměřené degradaci motorového oleje a nebezpečnému opotřebení motoru.

Diplomová práce popisuje problematiku degradace motorových olejů ve vznětových motorech. Zadání diplomové práce bylo dodrženo a získané výsledky je možné využít v praxi a při dalších výzkumech.



## POUŽITÁ LITERATURA

BLAŽEK, J., RÁBL, V., 2006: *Základy zpracování a využití ropy*. 2. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 254 s. ISBN 80-7080-619-2.

ČERNÝ, J., 2005: *Viskozita automobilových motorových olejů* [online]. [cit. 2017-15-01]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>>

ČERNÝ, J., 2006: *Viskozita*. [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Viskozita>>

ČERNÝ, J., 2007: *Vlastnosti motorových olejů – Nečistoty a saze v motorovém oleji*. [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji>>

ČERNÝ, J., 2008: *Otěrové kovy*. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>>

ČERNÝ, J., 2009: *Základové oleje*. [online]. [cit. 2017-04-03]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>>

DYK, A., 1973: *Paliva a maziva pro automobily*. 1. vyd. Praha: SNTL. 130 s.

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

GSCHEIDLE, R. a kol., 2001: *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles. 629 s. ISBN 80-85920-76-X

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D., 2004: *Technická diagnostika a spolehlivost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita. 155 s. ISBN 80-7078-883-6.

HLAVŇA, V. a kol., 2000: *Dopravný prostředek – jeho motor*. 1. vyd. Žilina: EDIS. 442 s. ISBN 80-7100-665-3.

HINDLS, R., a kol., 2006: *Statistika pro ekonomy*. 7. vyd. Praha: Professional publishing. 415 s. ISBN 80-86946-16-9.

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

HROMÁDKO, J., 2011: *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických škol*. 1. vyd. Praha: Grada. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.

ILABO, 2017: *Densito 30PX*. [online]. [cit. 2017-15-03]. Dostupné na: <<http://www.ilabo.cz/produkty/laboratorni-pristroje-opticke/mereni-hustoty/densito-30px/>>

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., 2008: *Automobily*. 3, Motory. 5. vyd. Brno: Avid. 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.

JÍLEK, P., POKORNÝ, J., 2013: *Úvod do spalovacích motorů*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice. 200 s. ISBN 978-80-7395-743-8.

KUMBÁR, V., 2011: *Lifetime extension of engine oil using additives* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné na: <[https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29\\_kumbar\\_425.pdf](https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2011/articles/29_kumbar_425.pdf)>

KUMBÁR, V., 2013: *Reologický profil motorového oleje používaného ve čtyřdobých pístových motorech*. Brno. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. 162 s.

KUMBÁR, V., VOTAVA, J., 2014: Differences in engine oil degradation in spark-ignition and compression-ignition engine. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. [online] 2014. sv. 16, č. 4, s. 622-628. ISSN 1507-2711. Dostupné na: <http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2014-04-18.pdf>

KUMBÁR, V., DOSTÁL, P., 2013: Oils degradation in agricultural machinery. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. [online] . sv. 61, č. 5, s. 1297-1303. ISSN 1211-8516. Dostupné na: [http://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun\\_2013061051297.pdf](http://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2013061051297.pdf)

OLEJE, 2017a: *Aditiva do maziv*. [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/obsah/Aditiva>>

OLEJE, 2017b: *Viskozita automobilových motorových olejů*. [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>>

OLEJE, 2017c: *Výkonnostní třídy automobilových motorových olejů*. [online]. [cit. 2017-03-02]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>>

OLEJE, 2017d: *Vlastnosti motorových olejů – Otěrové kovy*. [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné na: <<https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>>

OLEJE-PEMA.CZ, 2017 *Motorové oleje*. [online]. [cit. 2017-15-03]. Dostupné na: <<http://www.oleje-pema.cz/cs/o-olejich.html#.WP375GnyjIU>>

PACAS, B., 1987: *Dynamika stavebních a zemědělských strojů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. 193 s.

PEKÁREK, S., 2016: *Technologie oprav 1* [online]. [cit. 2017-15-02]. Dostupné na: <<https://publi.cz/books/160/Impresum.html>>

PETROLEUM.CZ, 2017: *Specifikace motorových olejů*. [online]. [cit. 2017-20-03]. Dostupné na: <<http://www.petroleum.cz/vyroby/oleje-motorove-specifikace.aspx>>

PEŤKOVÁ, V. a kol., 2012: *Tribotechnika v teorii a praxi*. Košice: Viena pre TU v Košiciach, Strojnícka fakulta. 366 s. ISBN 978-80-8126-057-5.

RAUSCHER, J., 2004: *Vozidlové motory*. Studijní opory. VUT FSI Brno. 156 s.

SEVERA, L. -- KUMBÁR, V. -- BUCHAR, J. -- ČORŇÁK, Š. -- GLOS, J. -- HLA-VÁČ, P. -- ČUPERA, J., On the Engineering Flow Properties of Used and New Engine Oils. In: Applications of Physical Research in Engineering. 1. vyd. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2012. s. 97--112. ISBN 978-80-552-0839-8.

SPECTRO, 2017: *Spectroil Q100*. [online]. [cit. 2017-15-03]. Dostupné na: <<http://www.spectro.cz/spektrometr-spectroil-q100/>>

STODOLA, J., NOVOTNÝ, P., 2015: *Tribodiagnostika BSV*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany. 100 s. ISBN 978-80-7231-984-8.

STRAKA, B., 1986: *Motorové oleje a tribotechnická diagnostika naftových motorů*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů. 247 s.

TUL.CZ., 2008: *Tribologie* [online]. [cit. 2017-15-03]. Dostupné na: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/ttv/tribologie.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf)>

TRIBOTECHNIKA.CZ., 2016: *Základy oboru* [online]. [cit. 2017-12-03]. Dostupné na: <<http://www.tribotechnika.cz/zaklady-oboru>>

VLK, F., 2003: *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno. 580 s. ISBN 80-238-8756-4

VLK, F., 2006: *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno. 376 s. ISBN: 80-239-6461-5

VISHWESHWARA, S., CH., AL BADI, O., K., H., 2015: *Density and Thermal Conductivity Changes Engine Oil During its Life Cycle: An Experimental Study*. [online]. [cit. 2017-20-04]. Dostupné na: <<http://www.ijmse.org/Volume6/Issue10/paper4.pdf>>

ZEHNÁLEK, J., 2005: *Chemie, paliva, maziva*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 176 s. ISBN 80-7157-900-9.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Složení motorových olejů.....	17
Obrázek 2 Doporučené viskozitní třídy SAE motorových olejů podle vnějších teplot..	24
Obrázek 3 Orientační srovnání jednotlivých kvalitativních stupňů různých klasifikací	26
Obrázek 4 Tlakové mazání s mokrou skříní .....	29
Obrázek 5 Tlakové mazání se suchou skříní .....	30
Obrázek 6 Zubové čerpadlo s vnitřním a vnějším ozubením .....	31
Obrázek 7 Schéma rotačních čerpadel.....	32
Obrázek 8 a) tření suché, b) smíšené tření, c) mokré tření .....	35
Obrázek 9 Nejfrekventovanější částice v použitém oleji.....	38
Obrázek 10 Sklízecí mlátičky Claas Lexion 550 a Lexion 460 Evolution.....	40
Obrázek 11 Sklízecí mlátička Case IH 2388E.....	40
Obrázek 12 Spektrometr Spectroil Q100 a snímané prvky .....	42
Obrázek 13 Rotační viskozimetr Anton Paar DV-3P .....	43
Obrázek 14 Digitální hustoměr Densito 30 PX .....	44
Obrázek 15 Množství hlavních konstrukčních kovů v oleji Shell .....	45
Obrázek 16 Množství hlavních konstrukčních kovů v oleji Fuchs.....	46
Obrázek 17 Aditiva v motorovém oleji Shell .....	49
Obrázek 18 Aditiva v motorovém oleji Fuchs.....	50
Obrázek 19 Kinematická viskozita se směrodatnou odchylkou u všech vzorků olejů...	52
Obrázek 20 Naměřená hustota u vzorků olejů Shell.....	53
Obrázek 21 Naměřená hustota u vzorků olejů Fuchs .....	53

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozdělení základových olejů podle API (American Petroleum Institute).....	16
Tabulka 2 Viskozitní třídy motorových olejů podle SAE J300.....	23
Tabulka 3 Vybrané sklízecí mlátičky .....	40
Tabulka 4 Informace o upotřebeném oleji Shell Rimula R5 10W-40 .....	41
Tabulka 5 Informace o upotřebeném oleji Fuchs Titan Truck Plus 15W-40 .....	41
Tabulka 6 Limitní koncentrace kovů v oleji .....	47
Tabulka 7 Otěrové kovy v motorovém oleji a jejich zdroje .....	47
Tabulka 8 Naměřené kontaminanty ve vzorcích oleje.....	48
Tabulka 9 Naměřené hodnoty viskozit u vzorků, směrodatné odchylky (SD) a variační koeficient .....	51
Tabulka 10 Naměřená hustota u všech vzorků olejů .....	52