

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Motorové oleje pro spalovací motory

Autor: **Lukáš Mráz**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš MRÁZ**
Osobní číslo: **S12B0204P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Motorové oleje pro spalovací motory**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Popište problematiku tření a mazání v automobilové technice, způsoby mazání a maziva, jejich vlastnosti a požadavky na kvalitu. Dále popište funkce mazání v jednotlivých částech automobilového motoru a význam pro jeho správnou činnost. Vysvětlete systém klasifikace olejů, způsob volby správné kvality a popište mazací systém současného spalovacího motoru. Navrhněte součást mazacího systému včetně výrobního výkresu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Mazadla a motorové oleje
2. Vlastnosti oleje
3. Funkce oleje ve spalovacím motoru
4. Klasifikace olejů, tribotechnika a vývoj
5. Konstrukční návrh vybrané komponenty

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999

VLK, F. Stavba motorových vozidel. Brno: nakl. Vlk, 2003

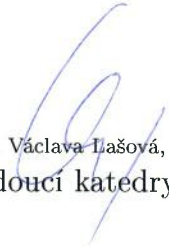
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Roubal**
Expert z praxe

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval konzultantovi mé bakalářské práce, panu Ing. Janu Roubalovi, za poskytnutí mnoha cenných rad, za jeho čas a zejména za jeho ochotu a přístup během zpracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc., za důsledné vedení a důležité připomínky během zpracování bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mráz	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Motorové oleje pro spalovací motory		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODE- VZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	80	TEXTOVÁ ČÁST	76	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá problematikou mazání automobilových spalovacích motorů. Jsou zde popsány vlastnosti a požadavky kladené na motorové oleje. Dále je vysvětlena klasifikace motorových olejů a význam tribotechniky. Součástí práce je návrh redukčního ventilu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ PO- JMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Mazání, motorový olej, mazací soustava, aditiva, viskozita, tření, tribotechnika, klasifikace olejů, redukční ventil.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Mráz	Name Lukáš	
FIELD OF STUDY	B2301 “ Transport Vehicles and Handling Machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Motor oils for internal combustion engines		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	80	TEXT PART	76	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis deals with the issue of the lubrication of automotive internal combustion engines. The properties and requirements for the motor oil are here described. Furthermore the classification of motor oils and the importance of tribotechnics are explained. Part of this work is to design a pressure reducing valve.
KEY WORDS	Lubrication, motor oil, lubricating system, additives, viscosity, friction, tribotechnics, oil classification, pressure reducing valve.

Obsah

Úvod.....	10
1 Mazadla a motorové oleje	11
1.1 Tření.....	11
1.1.1 Kluzné (smykové tření).....	11
1.1.2 Valivé tření.....	12
1.2 Mazání	13
1.2.1 Rozdělení tření podle mazání	13
1.2.2 Druhy maziv	15
1.3 Oleje.....	16
1.3.1 Rozdělení mazacích olejů podle výroby	16
1.3.2 Význam rozdělení mazacích olejů v dnešní době (minerální oleje, syntetické oleje, polosyntetické oleje).....	17
1.3.3 Výroba mazacích olejů.....	17
1.4 Aditiva	19
1.4.1 Aditiva pro motorové oleje	19
1.4.2 Aditiva pro převodové oleje.....	23
2 Vlastnosti oleje.....	24
2.1 Hustota.....	24
2.2 Viskozita.....	24
2.2.1 Newtonův zákon pro smyková napětí	24
2.2.2 Newtonská tekutina	25
2.2.3 Neneutonská tekutina	25
2.2.4 Dynamická viskozita	25
2.2.5 Kinematická viskozita	26
2.3 Tepelná vodivost.....	27
2.4 Měrná tepelná kapacita.....	28
2.5 Teplota tuhnutí.....	29
2.6 Ostatní vlastnosti	30
2.6.1 Čerpatelnost.....	30
2.6.2 Viskozitní index	30
2.6.3 Dielektrická pevnost.....	31
2.6.4 Barva	31
2.6.5 Anilinový bod.....	31
2.6.6 Kyselost a alkalita olejů	31
2.6.7 Teplota vzplanutí.....	31
2.6.8 Teplota hoření	32
2.6.9 Biologická odbouratelnost.....	32
2.6.10 Stárnutí motorového oleje	32
2.6.11 Snášlivost s konstrukčními materiály.....	32
3 Funkce oleje ve spalovacím motoru.....	34
3.1 Mazání	34

3.1.1	Typy tření	34
3.1.2	Pevnost mazacího filmu	34
3.1.3	Nejdůležitější mazací místa.....	35
3.2	Chlazení	35
3.3	Dotěsnění pístu	37
3.3.1	Pístní kroužky.....	37
3.4	Ochrana proti korozi	39
3.5	Vynášení nečistot.....	39
4	Klasifikace olejů, tribotechnika a vývoj.....	41
4.1	Viskózní klasifikace	41
4.1.1	Zimní číslo.....	41
4.1.2	Letní číslo	42
4.1.3	Důležité informace o viskózní klasifikaci	42
4.2	Výkonnostní klasifikace	43
4.2.1	API klasifikace	44
4.2.2	ACEA klasifikace.....	46
4.2.3	Klasifikace výrobců vozidel (motorů).....	49
4.2.4	Důležité informace o výkonnostní klasifikaci.....	50
4.3	Tribotechnika.....	50
4.3.1	Tribodiagnostika.....	50
4.4	Mazací systémy motorů a vývoj	56
4.4.1	Tlakové mazání	56
5	Konstrukční návrh vybrané komponenty	67
5.1	Výpočet redukčního ventilu.....	67
5.1.1	Hrubý výpočet tuhosti pružiny a průměru prepouštěcího kanálku	67
5.1.2	Výpočet tlačné pružiny.....	67
5.1.3	Výpočet šroubu	69
5.2	Návrh redukčního ventilu	69
	Závěr.....	70
	Použité zdroje.....	71
	Seznam obrázků	74
	Seznam tabulek	75
	Seznam příloh.....	76

Úvod

Motorový olej je kapalina, bez které by se spalovací motor neobešel. Jeho hlavním úkolem je oddělit od sebe plochy pohybujících se součástí, pomocí tenké vrstvy oleje. Motorový olej zajišťuje mazání pohyblivých částí motoru, odvod tepla z motoru, dotěsnění pístu ve válci, ochranu motoru proti korozi a vynášení nečistot z motoru. Aby se olej dostal na všechna potřebná místa, je motor vybaven mazací soustavou.

Následující práce pojednává o problematice tření a mazání spalovacího motoru. Je zde popsána výroba a složení motorového oleje. Dále jsou vysvětleny důležité vlastnosti, které ovlivňují funkce a chování motorového oleje. Je zde také vysvětlen systém klasifikace olejů, který bývá často nesprávně pochopen. Práce se také věnuje popisu mazací soustavy současného spalovacího motoru. Není opomenuta ani vědní oblast tribotechnika, která napomáhá k hospodárnému využití oleje.

Cílem práce je také poukázat na chybné mýty o motorových olejích, které vznikají nedostatečnou informovaností a pseudoodborností mezi uživateli motorových vozidel.

Závěr práce obsahuje konstrukční návrh redukčního ventilu v CAD systému NX.

1 Mazadla a motorové oleje

1.1 Tření

Tření je fyzikální jev. Vzniká mezi tělesy, které se vůči sobě pohybují. Se třením se setkáváme každý den, někdy je tření chtěné, ale jindy je zase na obtíž. Každé tření doprovází třecí síla, která má opačný směr, než je rychlost pohybu tělesa. Tření velmi zvyšuje teplotu tělesa, protože práce nutná k překonání tření se mění na teplo. Ve spalovacím motoru potřebujeme tření co nejmenší, protože třením dochází ke ztrátě výkonu.

Tření dělíme na:

1. kluzné (smykové) tření,
2. valivé tření.

1.1.1 Kluzné (smykové tření)

Je to tření, které vzniká při posuvném pohybu mezi tělesy. Jeho velikost závisí na:

- kombinaci materiálů stykových ploch,
- drsnosti povrchu,
- hmotnosti tělesa.

Třecí síla je vyvolána nerovnostmi povrchů styčných ploch, které do sebe při posuvu narážejí. Její působíště je ve stykové ploše obou těles.

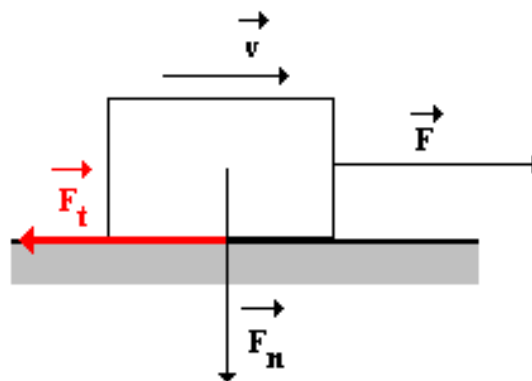
Třecí síla F_t u kluzného tření se spočítá vztahem:

$$F_t = F_n \cdot f$$

F_t [N] – třecí síla,

F_n [N] – normálová síla,

f [-] – součinitel smykového tření.



Obr. 1 Síly působící při smykovém tření [2]

Normálová síla F_n je kolmá tlaková síla mezi tělesy, může to být např. tíha tělesa.

Součinitel smykového tření f je bezrozměrná veličina, která se pro materiály určuje experimentálně. Pro velké spektrum rychlostí je součinitel konstantní, záleží na tom, jestli se těleso uvádí do pohybu, nebo jestli už je v pohybu. Při uvádění do pohybu je smykové tření větší než u tělesa, které se pohybuje. Proto zavádíme součinitel smykového tření za klidu (statický) f_0 a součinitel smykového tření v pohybu (kinematický) f . Závislost smykového tření na rychlosti znázorňuje Stribeckova křivka (viz obr. 3).

Pro představu jsou hodnoty statického a kinematického součinitele smykového tření uvedeny v tab. 1. [1] [2]

Tab. 1 Hodnoty statického a kinematického smykového tření pro různé materiály [3]

Materiály	Statický	Kinematický
Dřevo na dřevě (průměrně)	0,65	0,30
Dřevo na ledu (sněhu)	–	0,035
Kožený řemen na dřevě	0,47	0,27
Kožený řemen na litině	0,56	0,28
Kůže na kovu	0,60	0,25

Ocel na bronzu (mazáno)	0,1	0,01
Ocel na bronzu (suchá)	0,18	0,16
Ocel na dřevě	0,55	0,35
Ocel na ledu	–	0,027
Ocel na oceli (suchá)	0,15	0,10
Pryž (pneumatika) na náledí	0,1 - 0,2	–
Pryž na betonu	0,7 - 0,8	–
Pryž na dlažbě (malé kostky)	0,6 - 0,7	–
Pryž na dlažbě (velké kostky)	0,6	–
Pryž na mokrém asfaltu	0,2 - 0,5	–
Pryž na suchém asfaltu	0,55	–

1.1.2 Valivé tření

Je to tření, které vzniká při odvalování tělesa kruhového průřezu po podložce, při valivém tření může dojít jak k deformaci podložky, tak i valivého tělesa. Jeho velikost závisí na:

- materiálu tělesa,
- materiálu podložky,
- drsnosti povrchu,
- průměru valivého elementu,
- tvrdosti materiálů,
- formě dotyku tělesa.

Třecí síla je způsobena neexistencí dokonale tuhého tělesa.

Valivá třecí síla je při stejné normálové síle menší než při kluzné třecí síle.

Třecí síla F_t u valivého tření se spočítá vztahem:

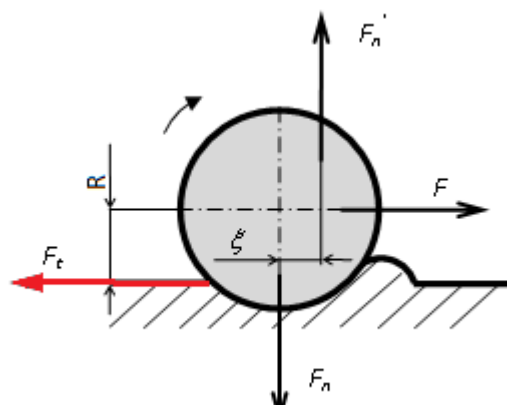
$$F_t = \xi \cdot \frac{F_n}{R}$$

F_t [N] – třecí síla,

ξ [m] – rameno valivého odporu,

F_n [N] – normálová síla,

R [m] – poloměr průřezu tělesa.



Obr. 2 Síly působící při valivém tření [4]

Normálová síla F_n je kolmá tlaková síla, která způsobuje deformaci podložky.

Rameno valivého odporu ξ je fyzikální veličina, která se pro materiály určuje experimentálně.

Hodnoty ramena valivého odporu pro různé materiály jsou uvedeny v **tab. 2**. [1] [4]

Tab. 2 - Hodnoty ramena valivého odporu pro různé kombinace materiálů [5]

Kombinace materiálů	Rameno valivého odporu [m]
Ocel na oceli	0,0005
Ocelové kolo na kolejnici	0,0004 - 0,0005
Nekalená ocel na nekalené oceli	0,00005 - 0,00006
Kalená ocel na kalené oceli (valivá ložiska)	0,000001 - 0,000005
Dřevo na oceli	0,0012

Dřevo na dřevě	0,0015
Litina na litině	0,00051
Litina na žule	0,0021
Litina na dřevě	0,0056
Polymer na oceli	0,002
Tvrdá pryž na oceli	0,0077
Tvrdá pryž na betonu	0,01 - 0,02
Pneumatika na asfaltu	0,0025 - 0,0045
Guma na betonu	0,015 - 0,035

1.2 Mazání

Účelem mazání je snížení opotřebení mezi dvěma pohybujícími se tělesy, k tomuto účelu se používají maziva. Maziva jsou látky, které zabraňují přímému styku dvou kluzných ploch. Další funkce maziv jsou:

- snižování tření,
- tlumení rázů,
- ochrana před korozi,
- odvádění tepla,
- odvádění částic vzniklých opotřebením,
- tlumení hluku.

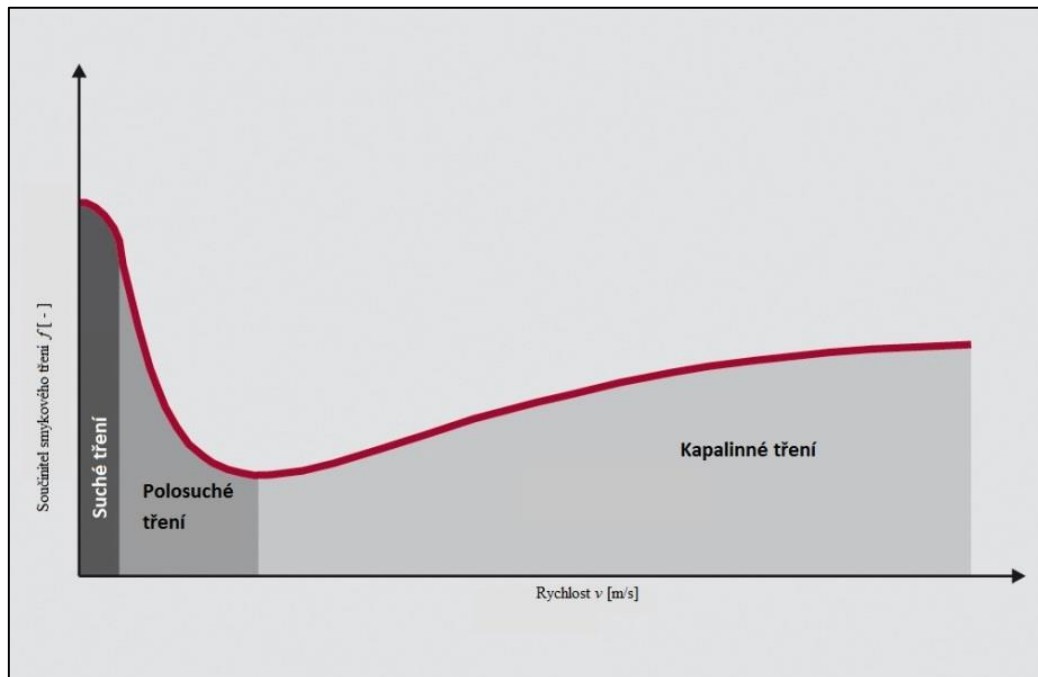
[6]

1.2.1 Rozdělení tření podle mazání

Z výše uvedených poznatků tedy plyne, že mazání velmi ovlivňuje velikost třecí síly mezi pohybujícími se tělesy. Proto dále dělíme tření podle způsobu mazání na:

1. suché tření,
2. polosuché (mezné) tření,
3. kapalinné tření.

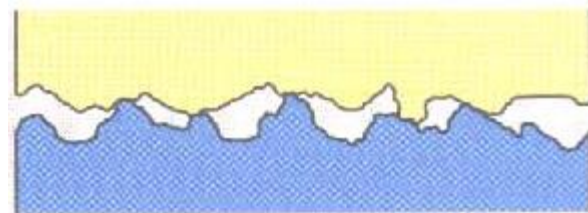
[6]



Obr. 3 Stribeckova křivka [62]

1.2.1.1 Suché tření

Mezi stykovými plochami po sobě klouzajících těles není žádné mazivo. Na plochách dochází tedy k výraznému zvyšování teplot a opotřebením. Příklad tohoto tření může být zadřený píst ve válci. Součinitel smykového tření f se přibližně pohybuje v rozmezí $0,1 \div 0,25$. [6]



Obr. 4 Suché tření [6]

1.2.1.2 Polosuché (mezní) tření

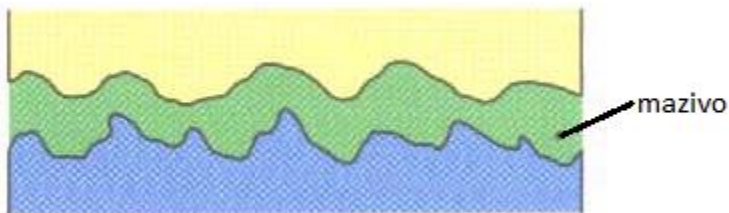
Mezi stykovými plochami po sobě klouzajících těles je nesouvislá vrstva maziva. Plochy se navzájem částečně dotýkají, a tím dochází k nižšímu tření, opotřebením a vyšší odolností proti spečení. Příklad tohoto tření může být tření mezi pístem a válcem při studeném startu motoru. Součinitel smykového tření f se přibližně pohybuje v rozmezí $0,01 \div 0,1$. [6]



Obr. 5 Polosuché tření [6]

1.2.1.3 Kapalinné tření

Mezi stykovými plochami po sobě klouzajících těles je souvislá vrstva maziva. Plochy se navzájem nedotýkají, proto nedochází k opotřebení a dochází k výraznému snížení tření. U kapalinného tření se uplatňuje viskozita maziva. Příklad tohoto tření může být tření mezi pístem a válcem při běžném chodu motoru. Součinitel smykového tření f se přibližně pohybuje v rozmezí $0,001 \div 0,01$.



Obr. 6 Kapalinné tření [6]

Třecí síla F_t u kapalinného tření se vypočítá ze vztahu:

$$F_T = \eta \cdot \frac{S \cdot v}{h} = \frac{\eta}{h} \cdot \frac{v}{p} \cdot F_n = f \cdot F_n$$

η [Nsm^{-2}] – dynamická viskozita kapaliny,

S [m^2] – styková plocha,

v [ms^{-1}] – rychlost,

h [m] – tloušťka mazací vrstvy,

p [Pa] – tlak,

F_n [N] – normální síla,

f [-] – součinitel tření.

[6] [1]

1.2.2 Druhy maziv

Maziva se vyskytují v mnoha formách skupenství, nejsnáze se tedy rozdělí podle druhu skupenství na:

1. pevná maziva,
2. plynná maziva,
3. kapalná maziva,
4. plastická maziva.

[7] [8]

1.2.2.1 Pevná maziva

Jsou to látky, které jsou schopny vytvářet adhezní (přilnavou) vrstvu s výbornými mazacími vlastnostmi. Používají se v případech, kdy se kvůli malé rychlosti nemůže vytvářet mezi stykovými plochami adhezní vrstva z olejů a tuků, nebo při příliš vysokých či nízkých teplotách (**viz tab. 2**). Mezi nejrozšířenější maziva patří práškový grafit, siričák molybdeničitý (MoS_2) nebo práškový teflon (PTFE). Částičky grafitu a siričáku molybdeničitého mají lupínkový tvar a vyrovnávají v mezerách mezi třecími plochami jejich nerovnosti, a přitom po sobě kloužou. [6] [7] [8]

1.2.2.2 Plynná maziva

Plynná maziva nejsou moc rozšířená, používají se zejména pro mazání v podmínkách, kde se jiná maziva odpařují, porušují nebo znečišťují okolí. Příklad použití například u vysokorych-

lostních ložisek. Mezi plynná maziva patří vzduch, vodík (H_2), oxid uhličitý (CO_2), dusík (N_2), helium (He) a kyslík (O_2). [7] [8]

1.2.2.3 *Plastická maziva*

Jsou to maziva polotuhé konzistence ve formě tuků, která se skládají z vápenatého, sodného nebo lithiového mýdla s rostlinným, syntetickým nebo minerálním olejem. Za klidu mají plastická maziva větší viskozitu než kapalná maziva, ale při zvyšujícím se namáhání na smyk viskozita klesá až na úroveň kapalného maziva. Používají se v případech, kdy není možné použít kapalná maziva. Plastická maziva dobře chrání třecí místo před vnějšími vlivy, jako je rozstříkovaná voda, vlhkost, znečištění, koroze a opotřebení. Příklad použití například u valivých a kluzných ložisek. [6] [7] [8]

1.2.2.4 *Kapalná maziva*

Jsou to nejvíce používaná maziva. Převážně všechny tyto maziva jsou oleje. Mezi neznámější patří syntetické oleje nebo minerální oleje s aditivami. Používají se zejména tam, kde je možné hospodárně navrátit oleje z místa působení znovu do oběhu, což zajišťuje ekonomiku provozu. [6] [7] [8]

1.3 **Oleje**

Oleje jsou kapaliny tvořené molekulami, které obsahují hydrofobní uhlovodíkové řetězce. Proto se oleje nerozpouštějí ve vodě. Mají také menší hustotu než voda. Jsou obvykle hořlavé a kluzké.

Oleje mohou být živočišného, rostlinného nebo petrochemického původu a používají se pro potraviny, kosmetiku, palivo, mazání a výrobě nátěrových hmot, plastů a jiných materiálů. Pro zajímavost, oleje se používají i v některých náboženských obřadech, jako očišťovací látky (duševní čistota). [8] [9]

1.3.1 **Rozdělení mazacích olejů podle výroby**

Oleje lze tedy rozdělit podle způsobu, z čeho se vyrábějí a jakým způsobem se vyrábějí, takto:

1. rostlinné a živočišné oleje,
2. destiláty,
3. minerální oleje,
4. syntetické oleje,
5. polosyntetické oleje.

[8]

1.3.1.1 *Rostlinné a živočišné oleje*

Tyto oleje mají vysokou maznost (vlastnost, která je důležitá pro součásti s vratným pohybem a vysokou smykovou rychlostí), ale vyznačují se brzkým stárnutím (vznikem lepivých pryskyřic a usazenin).

Mezi nejvýznamnější rostlinné oleje patří ricinový olej, který se získává ze semen skočce. Je jedovatý, protože obsahuje alkaloidy ricin a ricinin. Používal se jako mazací médium u čtyřdobých motorů, ale kvůli své pěnivosti se přestal používat. Dlouhou dobu se používal jako mazací olej dvoudobých motorů. Dnes se ricinový olej používá k výrobě fermeží. Za zmínku také stojí kostíkový olej. Je to živočišný olej, který se používá jako výborný hodinářský olej. [8] [9]

1.3.1.2 Destiláty

Jsou to výrobně velmi levné oleje získané vakuovou destilací ropy či hnědouhelných dehtů. Obsahují mastné kyseliny, díky kterým dosahují vysoké maznosti. Při výrobě se musí alespoň částečně odstranit asfaltické látky, pak mohou destiláty být použity jako nejlevnější mazivo např. zemědělských strojů. [8]

1.3.1.3 Minerální oleje

Jsou to průhledné, bezbarvé oleje, které se vyrábějí rafinací ropy. Destilací ropy vznikne tzv. minerální olej. Rafinované minerální oleje jsou ropné produkty získané po zpracování destilátů zejména kyselinami, louhy či rozpouštědly. Skládají se z alkanů a parafinů. Jejich hustota je okolo $0,8 \text{ g/cm}^3$. Minerální oleje tvoří základ automobilového oleje. [8] [10] [11]

1.3.1.4 Syntetické oleje

Jsou oleje skládající se z chemických sloučenin, které se vyrábějí syntézou z jiných látek, než je ropa. Oproti minerálním olejům mají vyšší oxidační stabilitu, nižší odpařivost a vyšší viskozitní index. Syntetické oleje se tedy používají tam, kde běžné oleje selhávají, např. při vysokých nebo nízkých teplotách. Právě syntetické oleje jsou vyráběny syntézou z plynného ethylu (polyalfaolefiny) nebo dalšími syntézami (např. esterové oleje). Díky čistým chemickým sloučeninám neobsahují žádnou síru. Hlavní nevýhodou syntetických olejů je vysoká cena, a tak se častěji používají kvalitní minerální oleje. [8] [12] [11]

1.3.1.5 Polosyntetické oleje

Polosyntetické oleje vznikají tak, že se do minerálního oleje přidá syntetický olej určitého druhu. Syntetická složka musí být alespoň 20% objemu oleje. Takto vyrobený základ se dále aditivuje pro dosažení potřebných parametrů. Polosyntetické oleje jsou tedy kompromisem mezi oleji minerálními a syntetickými. [8] [11]

1.3.2 Význam rozdělení mazacích olejů v dnešní době (minerální oleje, syntetické oleje, polosyntetické oleje)

Značení mazacích olejů podle technologie výroby na minerální, syntetické či polosyntetické je přežitek ze 70. a 80. let minulého století. V tehdejší době to mělo opodstatněný význam, dnes je to však pouze reklamní tah výrobců na zákazníky, protože téměř každý zákazník je přesvědčen, že syntetický olej je odolnější a výkonnější než minerální. Jenomže jako syntetické oleje se dnes mohou označovat zušlechtné minerální oleje tzv. technologií VHVI (vysokoviskózní oleje). Technologie výroby minerálních olejů, je v dnešní době, tak vyspělá, že vlastnosti kvalitních minerálních a syntetických olejů se téměř vyrovnaly. V maloobchodním prodeji určitě neexistuje ani jeden „opravdu“ syntetický olej, každý olej obsahuje menší či větší složku minerálního oleje. Ani výkonové vlastnosti, tzn. kvalita olejů, téměř nesouvisí s tím, jestli je základový olej minerální či syntetický, ale záleží na tom, jaká jsou použita aditiva (přísady). [11] [8]

1.3.3 Výroba mazacích olejů

V dnešní době je velmi nákladné, aby každá olejářská společnost vyráběla svůj základový olej ve vlastních rafinériích. Dnešní rafinérie mohou patřit více olejářským společnostem. To znamená, že mnoho výrobců mazacích motorových olejů má stejný základový olej. Výchozí surovinou pro výrobu olejů je ropa, která je směsí nejrůznějších uhlovodíků. Uhlovodíky jsou látky, jejichž molekuly jsou tvořeny různě dlouhými řetězci atomů uhlíku C, na které jsou navázány atomy vodíku H. Řetězce jsou různě rozvětvené, mohou

být i cyklické.

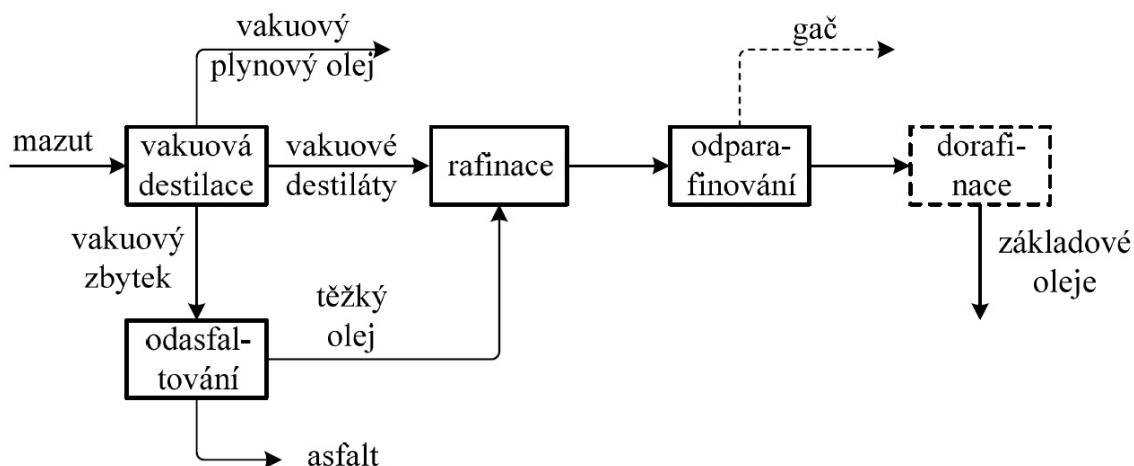
Tab. 3 Délka řetězců uhlovodíků [13]

Frakce	Délka řetězce
Benzín	$C_5 - C_{12}$
Nafta, lehký topný olej	$C_{10} - C_{20}$
Mazací olej	$C_{20} - C_{35}$
Těžké topné oleje	$C_{35} - C_{80}$
Asfalt	C_{80} a výše
Umělé hmoty	C_{100} a výše

Nejrozšířenější vyráběné základové oleje jsou minerální, proto zde uvedu pouze tento způsob výroby. Výroba zahrnuje tyto operace (**obr. 7**):

1. **Vakuová destilace** – principem destilace je oddělení jednotlivých frakcí (délek řetězců) ropy v závislosti na jejich rozdílném vypařování při různých teplotách. Vakuová destilace probíhá za nižšího tlaku, než je atmosférický tlak. Nižší tlak zaručuje odpaření frakcí, které se za atmosférického tlaku obtížně vypařují.
2. **Odasfaltování** – používá se pouze při získávání velmi viskózních olejů z vakuových zbytků a někdy u těžkých destilátů k odstranění asfaltických látek. Asfaltické látky se odstraňují srážením kapalným propanem (tlak 2 - 3 MPa), ve kterém se rozpouští olej, ale nerozpustí se asfaltické látky. Propan se pak odstraní z oleje i z asfaltu.
3. **Rafinace** – je zušlechťování olejů, při kterém jsou z olejů odstraněny nežádoucí příměsi a jsou rovněž upraveny struktury molekul uhlovodíků, ze kterých je olej složen. Rafinace tedy zlepšuje vlastnosti olejů.
4. **Odparafinování** – používá se k odstranění tuhých parafinických uhlovodíků, které způsobují, že při ochlazení olej přestává téci. Jako vedlejší produkt se někdy získává gáč, ze kterého lze izolovat cenné tuhé uhlovodíky (parafíny, cereziny). Odparafinováním se tedy snižuje bod tuhnutí oleje.
5. **Dorafinace** – používá se ve většině výrob olejů k odstranění zbytků nežádoucí látek (např. barevných látek, zbytků rafinačních činidel a polyaromátů).

[8] [14] [15]



Obr. 7 Blokové schéma výroby mazacích olejů [15]

1.4 Aditiva

Aditiva obecně jsou látky, které se přidávají do jiných látek. Jejich cílem je vylepšit vlastnosti původní látky.

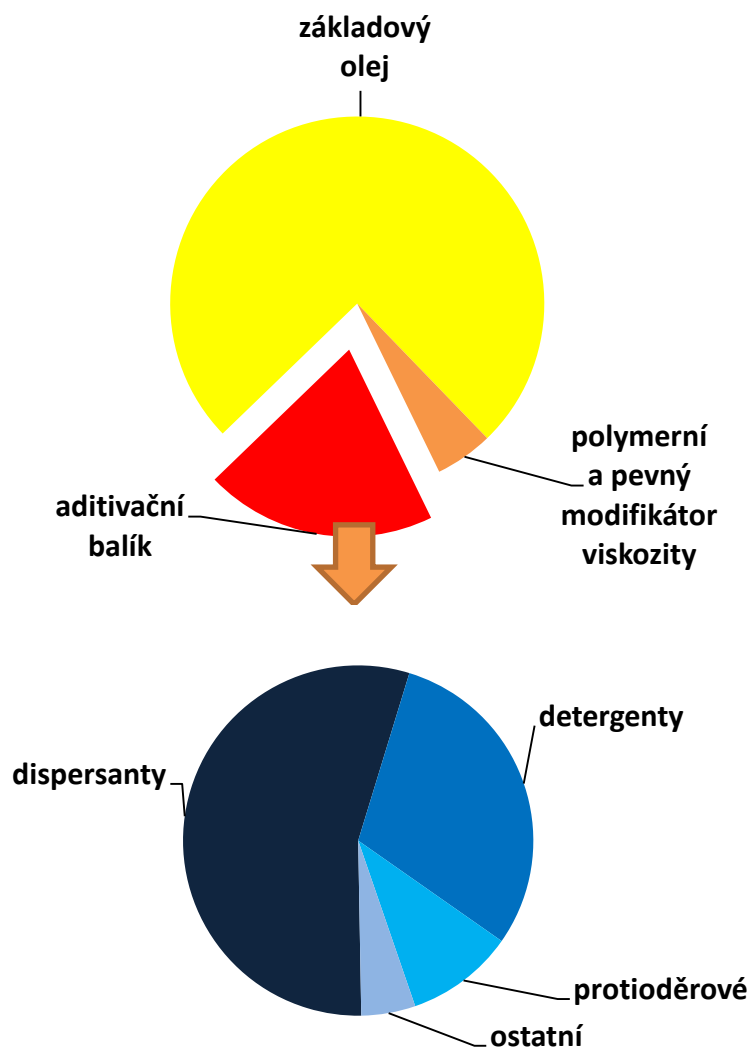
1.4.1 Aditiva pro motorové oleje

Aditiva (příspěvky) se přidávají do základových olejů, protože základní oleje nemohou splnit rozmanité požadavky na mazací oleje pro spalovací motory. Jejich přidáním se zlepšují vlastnosti olejů nebo se jimi potlačují nežádoucí vlastnosti. Obsah aditiv v základovém oleji se pohybuje od 1 do 25%. Druhy a množství aditiv stanovují výrobci na základě norem a praktických zkoušek. Aditiva do motorových olejů se používají pro několik účinků, např. čištění motorů, dotěsnění motorů, snížení tření, zlepšení studených startů.

Aditiva se dají rozdělit do několika skupin:

1. chemická struktura aditiv,
2. aditiva s povrchovým účinkem,
3. aditiva zlepšující vlastnosti,
4. aditiva chránící,
5. dodatečná aditiva.

Na **obr. 8** je zobrazeno složení motorového oleje. [8] [16] [17]



Obr. 8 Složení motorového oleje [18]

1.4.1.1 Rozdělení aditiv podle chemické struktury

Aditiva se podle chemické struktury dělí na polární a nepolární. [8] [16] [17]

1.4.1.1.1 Polární aditiva

Jsou to chemické látky, jejichž molekuly jsou nesymetrické, a proto na jejich koncích vznikají elektrické náboje. Polární aditiva jsou tzv. povrchově aktivní, to znamená, že jsou jejich elektrickými náboji přitahovány molekuly k povrchům, např. k povrchu pístu ve válci motoru. Na povrchu se utváří tenký film, který zvyšuje odolnost proti korozi, proti usazování nečistot, proti poškození vysokým tlakem, chrání před opotřebením, neutralizuje kyseliny. [8]

1.4.1.1.2 Nepolární aditiva

Jsou to chemické látky, které jsou rozptýleny v celém objemu maziva rovnoměrně. Nejsou tedy povrchově aktivní. Nepolární aditiva nejsou přitahovány vodou, kyselinami, částicemi sazí nebo kovy, nýbrž ovlivňují pouze samotný olej. Významné jsou tím, že zlepšují viskozitu maziva, snižují bod tuhnutí maziva, chrání gumová těsnění proti poškození, apod. [8]

1.4.1.2 Aditiva s povrchovým účinkem

Tuto skupinu tvoří detergenty a disperzanty (zkráceně DD-aditiva), antikorozi aditiva a třecí přísady. [19] [8]

1.4.1.2.1 Detergenty

Úkolem detergentů je zamezit usazování nečistot na povrchu, případně již vytvořené nečistoty rozpouštějí. Odstraňují produkty stárnutí oleje, které se vylučují na stěnách pístu a válce. Po vypálení by z nich vznikly uhlíkaté usazeniny, tím by se zhoršoval přestup tepla a způsobila by se i netěsnost spalovacího prostoru. Díky detergentům tedy mazivo lépe přilne k mazaným plochám. [8] [16] [17] [19]

1.4.1.2.2 Disperzanty

Úkolem disperzantů je zabránit tvorbě usazenin, které se tvoří především za nižších provozních teplot. Disperzanty obalí mikroskopické tuhé nebo kapalné nečistoty a zamezí tak jejich koncentraci a usazování. Nečistoty se vlivem disperzantu vznášejí rovnoměrně v celém objemu maziva. Zamezí se tak zanesení olejových kanálů a filtrů. [8] [16] [17] [19]

1.4.1.2.3 Aditiva zlepšující ochranu proti vysokému tlaku a opotřebení

Jejich úkolem je chránit ocelové části před opotřebením. Zejména části, které se o sebe třou pod vysokým tlakem, např. ozubená kola. Chemickou reakcí tvoří aditiva na povrchu kovu odolné vrstvy, které zamezí kontaktu kov-kov. [8] [16] [17] [19]

1.4.1.2.4 Aditiva zvyšující ochranu proti korozi

Jejich účelem je vytvářet na povrchu kovů ochranný film, který zabraňuje tvorbě koroze (brání oxidaci kovového povrchu). K oxidaci povrchů kovů může docházet například vlivem agresivních sloučenin vznikajících ve válci motoru při spalování palivové směsi. [8] [16] [17] [19]

1.4.1.3 Aditiva zlepšující vlastnosti

Tuto skupinu tvoří modifikátory viskozity, snižovače bodu tuhnutí a látky pro ochranu elastomerů. [16] [17]

1.4.1.3.1 Modifikátory viskozity

Jejich úkolem je stabilizovat viskozitu maziva, to znamená, že viskozita je méně závislá na teplotě. Tím se rozšiřuje teplotní rozsah, v jakém je mazivo schopno plnit svou funkci. Se snižující se teplotou viskozita maziva stoupá, a naopak, se zvyšující se teplotou viskozita maziva klesá. Změny viskozity maziva mají dopad rovněž na tloušťku mazacího filmu a na ztráty energie, které vznikají překonáváním odporu maziva. [16] [17]

1.4.1.3.2 Snižovače bodu tuhnutí (depresanty)

Jejich úkolem je snižovat bod tuhnutí oleje. Tato aditiva snižují možnost spojování krystalů parafinu (tuhnutí oleje) v motorovém oleji za nízkých teplot, protože při nízkých teplotách dochází u minerálních olejů ke srážení parafinu, a tudíž ke zvyšování hustoty. Zvýšená hustota maziva způsobuje nekonzistentnost, zhoršuje kvalitu mazání a je třeba překonávat větší odpory maziva, takže vznikají ztráty. [16] [17]

1.4.1.3.3 *Aditiva chránící elastomery*

Elastomery jsou makromolekulami látky, které se při malé deformaci rychle vrací do původních rozměrů. Tato aditiva zpomalují stárnutí gumových a umělohmotných částí, které jsou ve styku s mazivem (například těsnění) tím, že zamezují vyplavení / chemické degradaci elastomerů obsažených v gumových a plastových dílech. Elastomery zajišťují, aby gumové a plastové části byly stále elastické (pružné). [16] [17]

1.4.1.4 *Aditiva chránící*

Tuto skupinu tvoří aditiva pro ochranu proti stárnutí (antioxidanty), deaktivátory kovů a látky proti pění oleje. [16] [17]

1.4.1.4.1 *Aditiva pro ochranu proti stárnutí (antioxidanty)*

Jejich úkolem je omezit chemickou degradaci maziva, ke které dochází především za vyšších teplot. Likvidací oxidačních činidel zamezují vzniku nežádoucích chemických sloučenin, které zkracují životnost maziva. Degradací mazivo tmavne a dochází ke zvyšování viskozity. [16] [17]

1.4.1.4.2 *Deaktivátory kovů*

Jejich úkolem je zabránit chemickým reakcím probíhajícím na povrchu mikroskopických kovových částí přítomných v mazivu (ocel, měď). Kovové částičky, které vznikají třením kovu o kov, působí jako katalyzátor chemických degradačních procesů. Vytvořením ochranného filmu kolem částí kovu je zamezeno katalytickým chemickým reakcím, a je tudíž zpomaleno stárnutí maziva. [16] [17]

1.4.1.4.3 *Aditiva proti pění oleje*

Jejich úkolem je potlačit vznik olejové pěny. Pění nastává při intenzivním promícháváním oleje se vzduchem. Pění motorového oleje vede ke stárnutí, zvýšení viskozity a stlačitelnosti. Látky proti pění oleje jsou založeny na bázi silikonu (silikonový olej). [16] [17]

1.4.1.4.4 *Dodatečná aditiva*

Jsou to látky, které je možné dodatečně zakoupit za nemalé peníze a přidat do motorového oleje. Měly by totiž „zlepšovat“ vlastnosti motorového oleje. Je to však pouze marketingový tah, jak z neinformovaných zákazníků dostat peníze. Každý motorový olej je aditivovaný, a to v takovém poměru, aby dobře mazal a maximálně plnil svůj úkol. Navíc je přesně určen, dlouhodobě vyzkoušen a doporučen výrobcem motoru. Dodatečné „zlepšení“ je tedy z těchto důvodů už podezřelé. U nejčastěji se prodáváných aditiv na zlepšení mazání prodejci deklarují snížení tření v motoru až o 80%. Další nesmysl. Ano, tření se opravdu o něco sníží a motor půjde lehčeji, jenomže každé zlepšení mazivosti tímto způsobem je doprovázeno korozivními vlivy, způsobenými rozkladem určitých složek oleje.

Nejpoužívanější přidávané látky jako aditiva pro zlepšení mazání jsou chlorové parafiny, které sice velmi dobře mažou, ale rozkládají se a motor pomalu, ale jistě koroduje. Z počátku korozi v motoru samozřejmě nelze poznat, ale projeví se po delším používání velmi nepříznivými následky. Je to trochu drahý krátkodobý efekt.

Tato aditiva se tedy nikdy nesmí použít. Kdyby totiž motoru prospívala, byla by přidávána už výrobcem do základových olejů. [20]

1.4.2 Aditiva pro převodové oleje

Převodové oleje, stejně jako motorové oleje, se skládají ze základového oleje a přidaných aditiv. Aditiva jsou však rozdílná, protože na převodové oleje jsou kladeny jiné požadavky, než na motorové oleje. Převodové oleje musí plnit tyto požadavky:

- zmenšovat opotřebení povrchu zubů a zabránit jejich poškozování,
- snižovat třecí ztráty,
- odvádět teplo,
- mazat ložiska,
- chránit proti korozi,
- zmenšovat hlučnost a chvění soukolí,
- snášenlivost s těsníci materiály,
- šetřit palivo,
- zajistit dlouhodobou (celoživotní) náplň převodovky,
- odplavovat nečistoty.

Aby byly tyto požadavky splněny, musí převodový olej obsahovat zejména tato aditiva: [21]

1.4.2.1 Vysokotlaká aditiva

Jsou to látky, které chemicky reagují s materiálem na třecích plochách a utvářejí nové sloučeniny. Tyto sloučeniny vytvářejí vlastní mezní mazací film, který je odolný proti roztržení, zvyšuje únosnost maziva a zabraňuje styku kovu s kovem i při velkém zatížení třecích ploch. Aditiva bývají založena na chloridové, sulfidové, fosfidové či boridové bázi. [21]

1.4.2.2 Inhibitory koroze

Jsou to látky, které na kovovém povrchu vytvoří ochranný film odolný proti korozi. Tuto funkci nejčastěji zajišťují látky obsahující síru nebo fosfor. [21]

1.4.2.3 Modifikátory koroze

Tyto látky zajišťují dostatečně vysokou viskozitu při nejvyšších, a naopak nízkou viskozitu (dobrou tekutost) při nízkých teplotách. [21]

1.4.2.4 Ostatní aditiva

Dalšími důležitými aditivami v převodových olejích jsou modifikátory tření, které zlepšují mazací vlastnosti oleje a protipěnovostní přísady. Stejně jako do motorových olejů, tak i do převodových olejů bychom neměli nikdy používat dodatečná aditiva.

2 Vlastnosti oleje

2.1 Hustota

Je stavová veličina, která vyjadřuje hmotnost dané látky vztaženou na jednotku objemu. Hustota se označuje řeckým písmenem ρ a nejčastěji se udává v základních jednotkách SI, tedy kg/m^3 . Hustota se obecně spočítá tímto vztahem:

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – hustota,
 dm [kg] – hmotnostní element,
 dV [m^3] – objemový element.

Pro představu jsou uvedeny příklady hodnot hustoty látek v **tab. 4**.

Tab. 4 Hodnoty hustot látek [22]

Látka	Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Benzín	700-750
Med (18 % vody)	1 417
Nafta	800-880
Olej olivový	910
Olej ricínový	960
Olej terpentýnový	855
Olej transformátorový	866
Ropa	730-1 000
Rtuť	13 579
Voda	998
Hliník	2 700
Měď	8 960
Olovo	11 340
Zlato	19 320
Železo	7 860
Sklo	2 400 - 2 800
Hlína	1 800 - 2 600
Kostí	1 700 - 2 000

2.2 Viskozita

Viskozita (vazkost) je jednou z nejdůležitějších fyzikálních veličin, která ovlivňuje vlastnosti motorového oleje. Viskozita udává velikost vnitřního tření v tekutině. Charakterizuje odpor, kterým tekutina působí proti silám snažící se posunout její částice. O viskozitě pojednává Newtonův zákon pro smyková napětí.

2.2.1 Newtonův zákon pro smyková napětí

Určuje vztah mezi smykovým napětím, viskozitou a rychlostním gradientem.

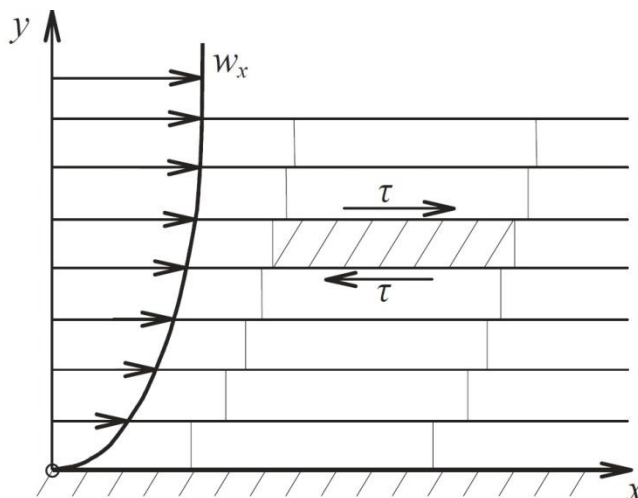
Představme si proudění podél stěny ve směru x (viz **obr. 9**), které je složené z několika vrstev (zejména pokud se jedná o laminární proudění). Vrstvy se po sobě vzájemně pohybují různými rychlostmi. Ve vyšrafované ploše je vidět, že vrstva nad ní je rychlejší a smykovým napětím τ se snaží vytknutou vrstvu urychlit. Vrstva pod ní je pomalejší a vytknutou vrstvu smykovým napětím τ zpomaluje.

Z Newtonova zákona tedy plyne, že viskozita určuje režim mazání, tvorbu a únosnost mazacího filmu, velikost odporu pohyblivých částí, těsnicí schopnost a čerpatenost.

Newtonův zákon v tomto případě tedy zní:

$$\tau = \eta \cdot \frac{\partial w_x}{\partial y}$$

- τ [Pa] – smykové (tečné) napětí,
 - η [$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$] – dynamická viskozita,
 - w_x [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] – rychlost ve směru x ,
 - y [m] – kolmá vzdálenost od smykové vrstvy,
 - $\frac{\partial w_x}{\partial y}$ [s^{-1}] – rychlostní gradient.
- [8] [23]



Obr. 9 Newtonův zákon viskozity [23]

2.2.2 Newtonská tekutina

Výše uvedený vztah platí pouze v případě, že se jedná o tekutinu newtonského typu. V tomto případě je dynamická viskozita konstanta a smykové napětí je přímo úměrné rychlostnímu gradientu.

Mezi newtonské tekutiny patří např. vzduch, vodní pára, voda, benzín, motorový olej. [23]

2.2.3 Neneutonská tekutina

Jsou to tekutiny, pro které neplatí Newtonův zákon pro smyková napětí. Smykové napětí není přímo úměrné rychlostnímu gradientu. K určení smykového napětí je třeba určit mnoho dalších materiálních konstant, nestačí určit jen dynamickou vazkost tekutiny.

Mezi neneutonské tekutiny patří např. mýdlo, kečup, krev, med, zubní pasta. [23]

2.2.4 Dynamická viskozita

Dynamická viskozita η je materiálová vlastnost, která je závislá na teplotě. Viskozita v kapalině s rostoucí teplotou klesá, u plynů viskozita s rostoucí teplotou stoupá. Dynamickou viskozitu a její rozměr lze vyjádřit z Newtonova zákona pro smyková napětí:

$$\eta = \tau \cdot \frac{\partial y}{\partial w_x} = \left[\text{Pa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}} \right] = [\text{Pa} \cdot \text{s}] = [\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}] = [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$$

Rozměr dynamické viskozity η je tedy [$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$] případně [$\text{Pa} \cdot \text{s}$].

V soustavě SI vyjadřuje sílu v newtonech, která je zapotřebí, aby se vrstva o ploše 1 m^2 posunula oproti stejné vrstvičce ve vzdálenosti 1 m o 1 m ve vodorovné rovině.

Závislost dynamické viskozity na teplotě lze určit ze vztahu:

$$\eta = 2,561 \cdot 10^{-7} \cdot T^{0,75}$$

η [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$] – dynamická viskozita,
T [K] – teplota.
[8]

2.2.5 Kinematická viskozita

Kinematická viskozita ν je podíl dynamické viskozity tekutiny a hustoty tekutiny. Díky hustotě je závislá nejen na teplotě, ale i na tlaku. Kinematickou viskozitu a její rozměr udává tento vztah:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

ν [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] – kinematická viskozita,
 η [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$] – dynamická viskozita,
 ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – hustota.

Kinematická viskozita má tedy rozměr [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$], je to však příliš vysoká jednotka, proto se v praxi používá [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]. Viskozita oleje se vyjadřuje kinematickou viskozitou. Závislost kinematické viskozity na teplotě a tlaku lze určit ze vztahu:

$$\nu = 7,35 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{T^{1,75}}{p}$$

ν [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] – kinematická viskozita,
T [K] – teplota,
p [Pa] – tlak.

Pro představu je na **obr. 10** příklad kapaliny s nízkou a vysokou viskozitou, v **tab. 5** jsou uvedeny hodnoty kinematické viskozity různých kapalin. [8]



Obr. 10 Kapaliny s nízkou viskozitou (vlevo) a kapaliny s vysokou viskozitou (vpravo) [24]

Tab. 5 Hodnoty kinematické viskozity kapalin [25]

Kapalina	ν [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]
Chloroform	0,38
Kyselina sírová 100%	14,56
Kyselina sírová 60%	4,4
Med 37,8 °C	73,6
Mléko	1,13
Olej olivový 37,8 °C	43,2

Olej převodový SAE 10W -17,8 °C	1295 - 2590
Olej převodový SAE 20W -17,8 °C	2590 - 10350
Olej převodový SAE 20W 98,9 °C	5,7 - 9,6
Olej převodový SAE 30W 98,9 °C	9,6 - 12,9
Olej převodový SAE 40 98,9 °C	12,9 - 16,8
Olej převodový SAE 50 98,9 °C	16,8 - 22,7
Olej převodový SAE 75W 98,9 °C	min. 4,2
Olej převodový SAE 80W 98,9 °C	min. 7,0
Olej převodový SAE 85W 98,9 °C	min. 11,0
Olej převodový SAE 90W 98,9 °C	14,0 - 25,0
Olej převodový SAE 140 98,9 °C	25,0 - 43,0
Olej převodový SAE 150 98,9 °C	min. 43,0
Olej ricínový 37,8 °C	259 - 325
Pivo	1,8
Ropa 48° API 15,6 °C	3,8
Ropa 40° API 15,6 °C	9,7
Ropa 35,6° API 15,6 °C	17,8
Ropa 32,6° API 15,6 °C	23,2
Rtuť 21,1 °C	0,118
Toluen	0,68
Voda destilovaná	1,0038
Voda mořská	1,15

2.3 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je fyzikální schopnost látky vést teplo. Druhý termodynamický zákon říká, že se teplo nemůže samovolně šířit z chladnějšího místa do teplejšího. Z toho tedy plyne, že se teplo samovolně šíří z teplejšího místa do chladnějšího.

Tepelná vodivost látky je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti λ . Součinitel tepelné vodivosti λ je materiálová konstanta, která je závislá na tepelném stavu látky. Rozměr tepelné vodivosti λ je $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Podle hodnoty tepelné vodivosti lze rozdělit látky na tepelné vodiče a izolanty.

U tepelných vodičů součinitel tepelné vodivosti λ dosahuje desítek až několik stovek $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ a se vzrůstající teplotou klesá. Charakteristickou vlastností tepelných vodičů je rychlý přenos tepla vedením. Dobré tepelné vodiče jsou např. stříbro, měď, hliník, wolfram. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti u tepelných izolantů se vzrůstající teplotou stoupají, pohybují se řádově v jednotkách $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Charakteristickou vlastností dobrých izolantů je rychlý přenos tepla prouděním. Mezi dobré tepelné izolanty patří např. minerální vlna, vzduch, dřevo, olej.

Součinitel tepelné vodivosti maziv je poměrně malý, maziva se tedy řadí mezi tepelné izolanty. Hodnota součinitele tepelné vodivosti motorového oleje je $0,12 \div 0,14 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. Nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti u motorového oleje má za následek usazování nečistot na teplosměnných plochách výměníků, což citelně snižuje prostup tepla.

Pro představu jsou v **tab. 6** uvedeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti. [26] [8] [27]

Tab. 6 Hodnoty tepelné vodivosti [26]

Látka	λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] při 25 °C
Diamant	895÷2300
Stříbro	429
Měď	386
Zlato	317
Hliník	237
Mosaz	120
Železo	80,2
Platina	71,6
Olovo	35,3
Rtuť	8,514
Křemen	7÷12
Sklo	1,35
Voda	0,6062
Nylon	0,24
Motorový olej	0,12÷0,14
Dřevo (dle tvrdosti, kolmosti k vláknům)	0,18÷0,49
Ovčí vlna	0,04
Polystyrenová pěna	0,033
Vzduch (normální tlak)	0,0262

2.4 Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita c je fyzikální veličina, která udává, jaké množství tepla je třeba dodat jednomu kilogramu látky, aby se její teplota zvýšila o jeden stupeň Celsia (jeden Kelvin). Měrnou tepelnou kapacitu a její rozměr udává tento vztah vyjádřený z kalorimetrické rovnice:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

c [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] – měrná tepelná kapacita,

Q [J] – teplo,

m [kg] – hmotnost,

ΔT [K] – rozdíl teplot.

Měrná tepelná kapacita má pro různé látky a různá skupenství různé hodnoty. S klesající teplotou se měrná tepelná kapacita snižuje, ale úbytek je malý, a proto lze v určitém teplotním intervalu považovat měrnou tepelnou kapacitu za konstantní. Vysokou hodnotu měrné tepelné kapacity mají kapaliny a relativně nízkou mají kovy. Pro představu jsou v **tab. 7** uvedeny hodnoty měrné tepelné kapacity. [27] [28]

Tab. 7 Hodnoty měrné tepelné kapacity [29]

Látka	c [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
Voda	4 180
Vzduch (0 °C)	1 003
Ethanol	2 430
Led	2 090

Motorový olej (50÷100°C)	1500-2300
Absolutně suché dřevo (0°C)	1 450
Železo	450
Měď	383
Zinek	385
Hliník	896
Platina	133
Olovo	129
Kyslík	917
Zlato	129
Stříbro	235

2.5 Teplota tuhnutí

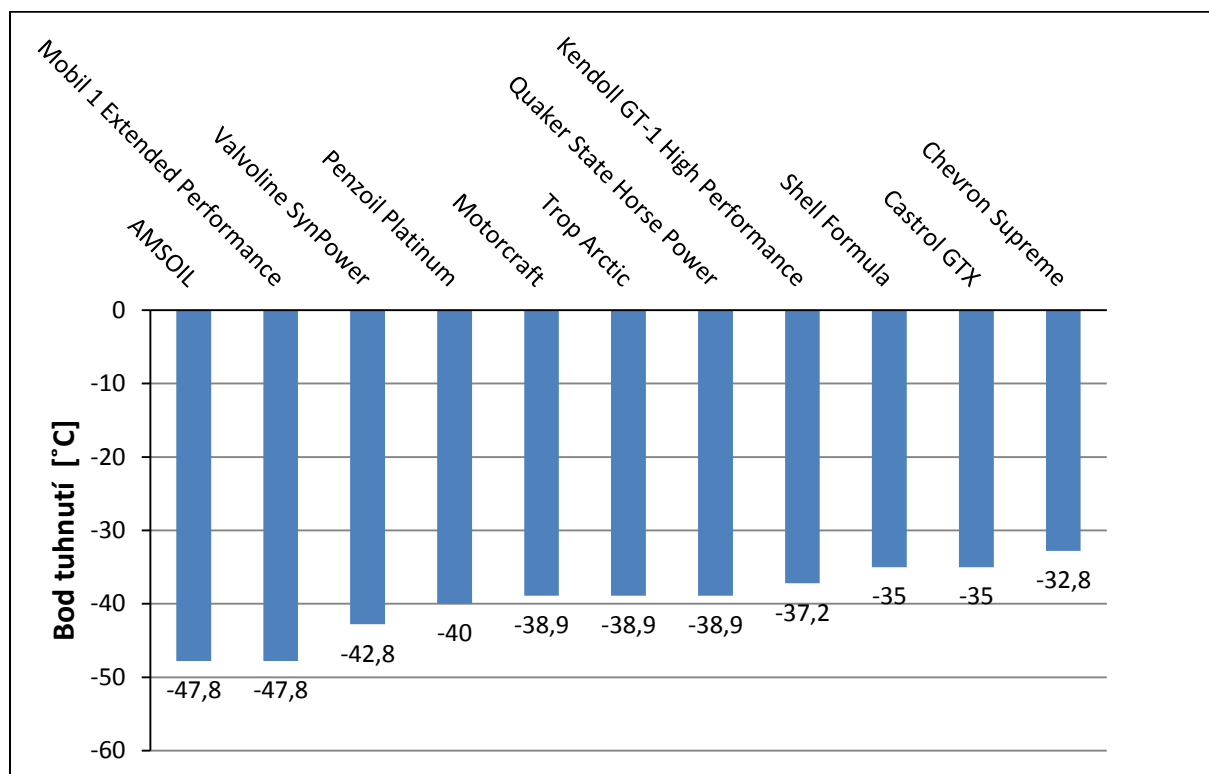
Teplota tuhnutí neboli bod tuhnutí, je taková teplota, při které kapalina ztrácí své vlastnosti průtoku a stává se polotuhou. Pod touto teplotou již kapalina nemůže proudit. U motorových olejů bod tuhnutí hraje významnou roli, určuje do jaké teploty je olej schopen proudit, to znamená, do jaké teploty lze olej použít. Ještě před bodem tuhnutí je tzv. bod zákalu. Bod zákalu je teplota, při níž začíná vylučování tuhých parafinů z oleje, ty mohou ucpat olejový filtr a narušit tak cirkulaci oleje.

Bod tuhnutí se zjišťuje měřením v laboratoři, měření se provádí podle předepsaných norem např. ASTM D5853, ASTM D5949, ASTM D97, DIN ISO 3016 (ČSN 656072). Princip zjištění bodu tuhnutí je u všech metod téměř stejný. Plně tekutý olej se ochlazuje v chladicí lázni. Při poklesu teploty o 3°C se chlazení zastaví a vzorek se zkoumá nakloněním, zdali se ještě pohybuje. Pokud se olej pohybuje, pokračuje se dalšími zkušebními cykly, dokud se olej nepohybuje. Když se olej nepohybuje, tak nastává bod tuhnutí. Olej se nepohybuje, protože dosáhl takové teploty, při které je viskozita tak vysoká, že znemožňuje proudění oleje. V praxi bývá bod tuhnutí o něco nižší než v laboratoři.

Přístroj pro testování bodu tuhnutí je zobrazen na **obr. 11**. Pro zajímavost jsou na **obr. 12** uvedeny hodnoty bodu tuhnutí různých motorových olejů. [8] [30] [31]



Obr. 11 Přístroj pro stanovení bodu tuhnutí motorového oleje CAPP I [32]



Obr. 12 Test bodu tuhnutí motorových olejů SAE 10W-30 podle normy ASTM D-97 [33]

2.6 Ostatní vlastnosti

2.6.1 Čerpatelnost

Čerpatelnost charakterizuje chování oleje za nízkých teplot a nízkého střihového napětí. Vyjadřuje schopnost oleje být nasávaný olejovým čerpadlem a vytlačený z něho. Čerpatelnost se měří při záporných teplotách oleje. [8] [34]

2.6.2 Viskozitní index

Viskozitní index VI je bezrozměrné číslo, které určuje, jak se mění viskozita oleje s teplotou. Čím je viskozitní index vyšší, tím se méně mění závislost viskozity na teplotě oleje. Viskozitní index se vypočítá ze vztahu:

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100$$

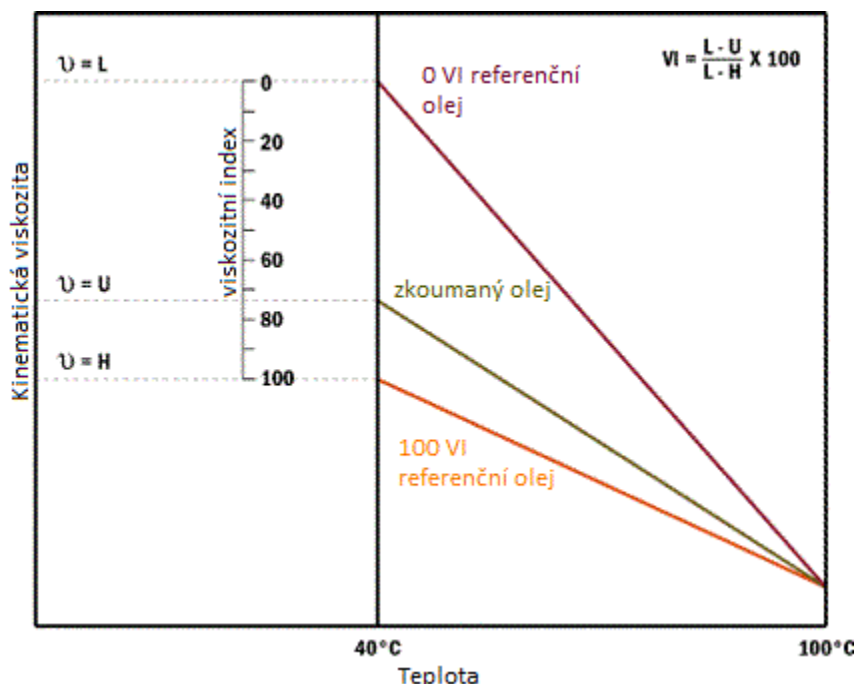
VI [-] – viskozitní index,

L [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] – kinematická viskozita oleje s $VI = 0$ při 100°F ($37,78^\circ\text{C}$), který má shodnou kinematickou viskozitu při teplotě 210°F ($98,89^\circ\text{C}$) jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě,

U [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] – kinematická viskozita zkoušeného oleje při 100°F ,

H [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] – kinematická viskozita oleje s $VI = 100$ při 100°F ($37,78^\circ\text{C}$), který má shodnou kinematickou viskozitu při teplotě 210°F ($98,89^\circ\text{C}$) jako viskozita zkoušeného oleje při téže teplotě.

Určení viskozitního indexu je uvedeno na **obr. 13**. [8] [34]



Obr. 13 Určení viskozitního indexu motorového oleje [35]

2.6.3 Dielektrická pevnost

Dielektrická pevnost je fyzikální vlastnost, která vyjadřuje odolnost materiálů vůči elektrickému poli. Je dána především strukturou maziva, ale může být zeslabena přítomností vody a obsahem kyselin. Nejčastěji se udává v jednotkách $[MV \cdot m^{-1}]$, motorový olej má hodnotu $10 \div 15 [MV \cdot m^{-1}]$. Měří se dle normy ASTM D 877. [8]

2.6.4 Barva

Barva nového motorového oleje není nijak významná vlastnost, ale výrobci ji musejí uvádět. Zjišťuje se porovnáváním s barvami ze vzorníku, postup dle normy ASTM O 1209, OIN , ISO 2049. [8]

2.6.5 Anilinový bod

Anilinový bod udává základní informaci o chemickém složení (minerálního) oleje. Je to nejnížší teplota, při které je olej dokonale rozpustný v anilinu v objemovém poměru 1:1, je mírou obsahu aromatických uhlovodíků v oleji a charakterizuje rozpustnost základového oleje. Čím má olej vyšší anilinový bod, tím má větší podíl parafinů. Anilinový bod se určuje dle norem např. ISO 2977 (ČSN 65 6180). [8] [36]

2.6.6 Kyselost a alkalita olejů

Kyselost a alkalita motorových olejů je velmi důležitá vlastnost, která bývá často opomíjena. Kyselost nových motorových olejů pochází z některých aditiv (např. antioxidanty nebo mazi-
vostní přísady), dále vzniká špatným spalováním paliva, studenými starty motoru. Kyselé látky v motoru jsou nevhodné, způsobují korozi motoru. Každý motorový olej tedy musí obsahovat alkalické sloučeniny, které neutralizují působení kyselých látek. [37]

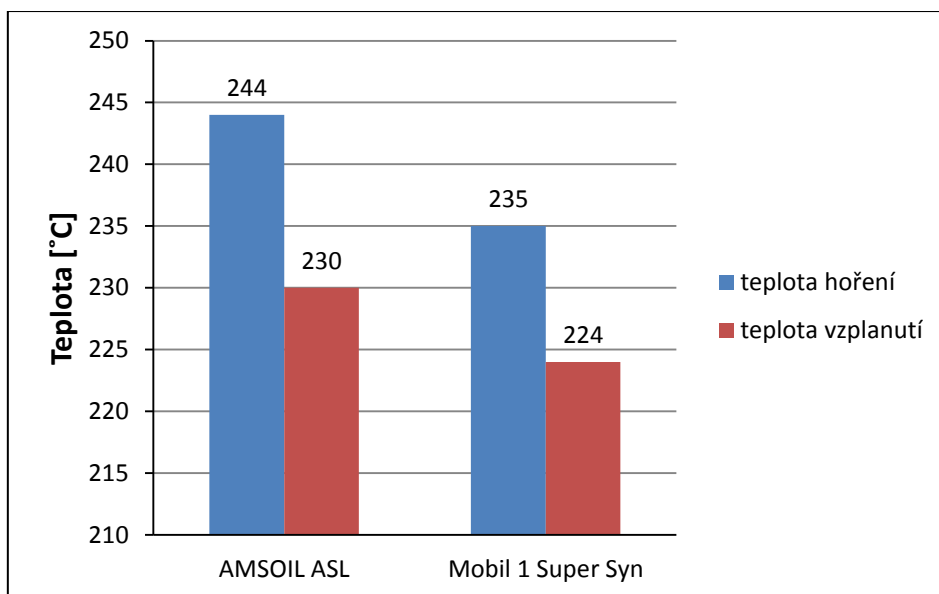
2.6.7 Teplota vzplanutí

Teplota vzplanutí neboli bod vzplanutí je taková teplota, při které začnou olejové páry po přiblížení zkušebního plamínku hořet a následně přestanou. Teplota vzplanutí se vyjadřuje ve

°C, její hodnota má rozhodující význam pro zařazení oleje z hlediska požárně bezpečnostní charakteristiky. Zkouška se provádí podle norem ASTM D 92, ISO a DIN ISO 2592, (ČSN 65 6212). [36]

2.6.8 Teplota hoření

Teplota hoření neboli bod hoření je taková teplota, při které začne hořet celý vzorek oleje a hoří alespoň 5 sekund. Bod hoření je vyšší než bod vzplanutí. Zkouška se provádí podle stejných norem jako pro teplotu vzplanutí. Pro zajímavost jsou na **obr. 14** uvedeny hodnoty teploty hoření a teploty vzplanutí vybraných motorových olejů. [8]



Obr. 14 Test teploty hoření a teploty vzplanutí motorových olejů SAE 5W-30 podle normy ASTM D-92 [38]

2.6.9 Biologická odbouratelnost

Biologická odbouratelnost je důležitá vlastnost z hlediska životního prostředí. Zkoumá se, jak lze dané mazivo chemicky rozložit, aby bylo méně nebezpečné životnímu prostředí. Veškeré motorové oleje se musejí po použití odborně likvidovat podle předpisů a nesmějí se volně vypouštět. Jeden litr motorového oleje může znehodnotit až jeden milion litrů vody. [8]

2.6.10 Stárnutí motorového oleje

Stárnutí motorového oleje je vlastnost, která se projevuje ztrátou jeho podstatných vlastností vlivem střídavých teplot a mechanického namáhání.

Z chemického hlediska je stárnutí termooxidační proces. Protože k oxidaci motorového oleje dochází při reakci kyslíku s uhlovodíky a oxidace je závislá na teplotě motorového oleje. Čím je teplota oleje vyšší, tím rychleji olej oxiduje. Zvýšení teploty oleje o 10 °C způsobuje přibližně zdvojnásobení rychlosti oxidace. Při termooxidačním stárnutí tedy olej podléhá oxidaci a určitým termickým změnám. [8] [39]

2.6.11 Snášenlivost s konstrukčními materiály

Snášenlivost motorového oleje s konstrukčními materiály je velice důležitá vlastnost, která se testuje v laboratořích. Motorový olej musí být snášenlivý se všemi materiály, které jsou použity v konstrukci mazací soustavy. Například snášenlivost oleje s ocelí se provádí tak, že se

ponoří ocelový váleček do 60°C teplé lázně vytvořené promísením 300 ml oleje a 30 ml destilované vody (test A) nebo uměle připravené mořské vody (test B) na 24 hodin. Po vyjmutí se hodnotí stupně koroze: bez koroze, lehká koroze, střední koroze, vážná koroze. [8]

3 Funkce oleje ve spalovacím motoru

3.1 Mazání

Mazání spalovacího motoru je primární funkce motorového oleje. Účelem mazání je co nejméně eliminovat tření, tedy co nejméně snížit hodnotu součinitele smykového tření f , aby nedošlo ke spečení dvou součástí, které vůči sobě konají pohyb. Nejmenší hodnotu součinitele smykového tření f má kapalinné tření (0,001 ÷ 0,01), proto se musí mezi dvěma třecími povrchy vytvořit celistvá vrstva motorového oleje, aby nedocházelo ke styku třecích ploch. [40]

3.1.1 Typy tření

Kapalinné tření se zejména vyskytuje u ložisek klikového a vačkového hřídele. Kapalinné tření je umožněno přívodem tlakového oleje do ložiska, minimální rychlostí vzájemného pohybu třecích ploch a vznikem mazacího klínu na vstupu do zatížené části ložiska.

Vždy však nelze dosáhnout kapalinného tření, a tak se musíme spokojit i se třením mezním. Mezní tření způsobuje větší třecí ztráty a opotřebení třecích ploch. Je umožněno polárními molekulami minerálního oleje, které jedním svým koncem přilnou ke kovovému povrchu třecích ploch, pokryjí celou stykovou plochu a spolu s volnými molekulami oleje vytvoří mezní vrstvu. V této vrstvě dochází k nárazům molekul na sebe a v nejzatíženějších místech dochází i ke styku kovových povrchů. Mezní tření se objevuje na všech třecích plochách, které nejsou tlakově mazány. Při režimu startu a doběhu motoru však nastává mezní tření i u tlakově mazaných ložisek klikového hřídele. Je to způsobeno nedostatkem oleje v olejovém čerpadle a nízkými rychlostmi mazaných povrchů.

Pánve hlavního klikového ložiska (**obr. 15**) jsou konstruovány tak, aby zvládaly tyto krátkodobé stavy. Kvůli meznímu tření se do motorových olejů přidávají vysokotlaké či protioděrové přísady. Ve spalovacím motoru nikdy nesmí dojít k suchému tření, musí zde tedy být vždy alespoň nesouvislá vrstva oleje. [8] [40]



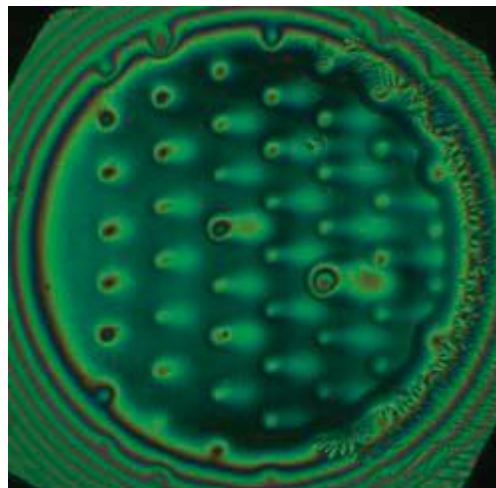
3.1.2 Pevnost mazacího filmu

Pevnost mazacího filmu je ovlivněna jeho tloušťkou, která je závislá na viskozitě oleje. Největší představu o pevnosti mazacího filmu udává HTHS (High Temperature High Shear) viskozita, to je dynamická viskozita měřená při 150°C. Čím je HTHS viskozita vyšší, tím je většinou

vyšší i pevnost mazacího filmu. Na pevnost mazacího filmu působí i teplota v motoru. Zvýšení teploty způsobí snížení viskozity oleje, a tím se zmenší i tloušťka mazacího filmu. Z tohoto důvodu se v tepelně namáhaných motorech závodních vozů používají oleje s vysokým viskozitním indexem např. SAE 10W/60, aby byla zachována vysoká hodnota viskozity i při vyšších teplotách. Použití takového oleje pro běžné motory je zbytečné.

Obr. 15 Ložisková pánev hlavního ložiska [63]

Rozvoj technologií dokončovacích postupů používaných při zpracování povrchů třecích prvků umožňuje snižování tloušťky mazacího filmu. Takové povrchy dovolují používání maziv s nižší viskozitou. Důsledkem je pak snížení odporu třením a nižší spotřeba energie potřebná na jeho překonání. Povrch ložiskových čepů, který snese vyšší zatížení, umožní rovněž zvyšování teplot a tlaků ve spalovacích motorech a následné dosažení vyšších výkonů ze stejného objemu válců a při stejné spotřebě paliva. Účinnějšího mazacího filmu lze rovněž dosáhnout jiným vhodným zpracováním povrchu, např. mikro dutinami na třecím povrchu. Olej se zachytává v mikro dutinách, a tím je mazání třecích ploch zabezpečeno při velmi malé tloušťce olejového filmu. Tento způsob se používá například u tření mezi pístem a válcem ve spalovacím motoru. Mazací film s mikro dutinami v třecím povrchu je zobrazen na **obr. 16**. [40] [41]



Obr. 16 Chromatický interferogram mazacího třecího povrchu s mikro dutinami [41]

3.1.3 Nejdůležitější mazací místa

Nejdůležitější místa ve spalovacím motoru, která musejí být dostatečně zásobena olejem pomocí mazací soustavy, jsou: ložiska klikové hřídele, ojnicní ložiska, zdvihátka, ložiska vačkového hřídele, vačky, ventilové páky a vahadla, rozvodový řetěz s napínákem, pracovní plochy válců a pohon příslušenství. [8]

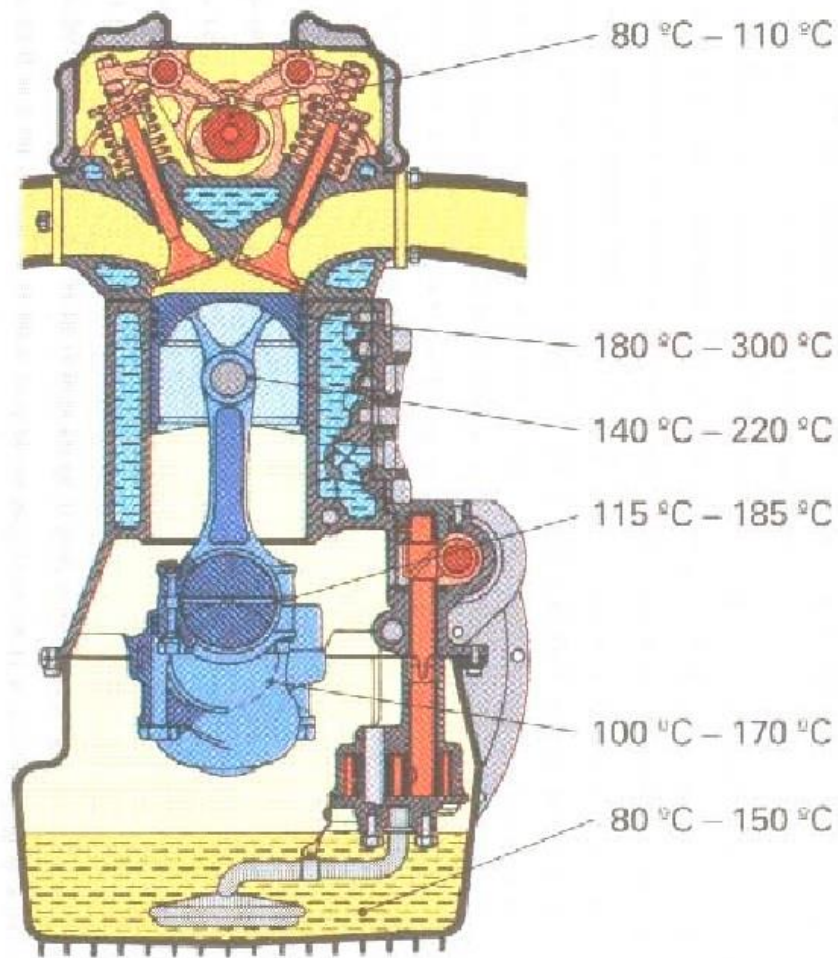
3.2 Chlazení

Chlazení spalovacího motoru se dělí na vnější a vnitřní. Vnější chlazení je funkcí vzduchu nebo kapaliny. Vnitřní chlazení je funkcí motorového oleje. Odváděné množství tepla, motorovým olejem není tak velké jako chladicí kapalinou, ale je velmi důležité a nelze ho zanedbat. Teplo vzniká hlavně třením a hořením paliva (tepelné namáhání je zobrazeno na **obr. 17**). Plno součástí v motoru, jako jsou písty a ložiska klikového hřídele, může být chlazeno pouze motorovým olejem. Účinnost chlazení spalovacího motoru olejem je závislá na viskozitě motorového oleje. Čím je viskozita oleje vyšší, tím vyšší je mezní vrstva ulpívající na stěnách součástí a menší je i přestup tepla do proudícího oleje. Z toho tedy plyne, že lépe chladí motorový olej s nižší viskozitou.

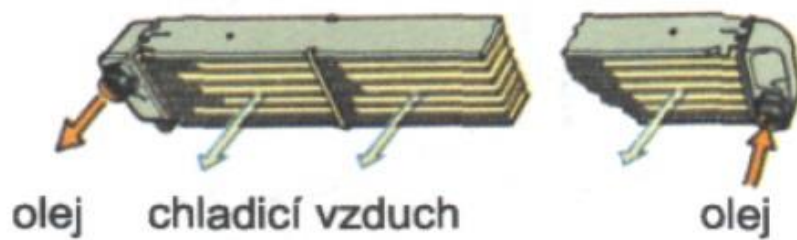
Motorový olej se z olejové vany, která je současně chladičem oleje, dostává k ložisku klikového hřídele a k ojnicnímu ložisku, k pístním čepům, na stěny válců a pístů a na sací a výfukové ventily. Tímto způsobem dochází k chlazení součástí uvnitř spalovacího motoru.

U přeplňovaných motorů musí být písty chráněny proti přehřátí dodatečným ochlazováním, které se provádí postřikováním vnitřního prostoru pístu olejem. Motorový olej zahřátý až na cca 300 °C stéká zpět do olejové vany, ve které se ochlazuje prouděním vzduchu během jízdy na 90 až 150 °C. S touto teplotou se olej znovu dostává do oběhu.

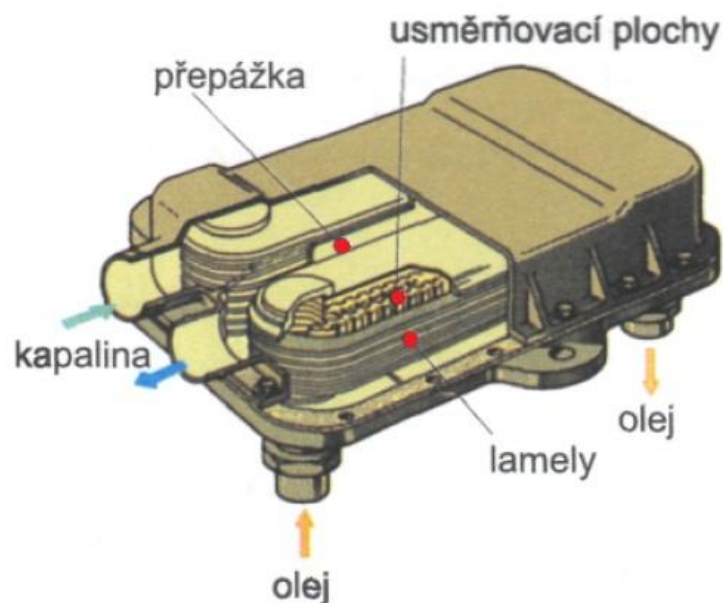
U tepelně vysoce zatěžovaných motorů, zejména motocyklů, je do olejového okruhu často dodatečně vřazen olejový chladič nebo výměník tepla (viz **obr. 18, 19**). Vnitřkem výměníku tepla protéká motorový olej, vnější plocha je ve styku s chladicí kapalinou. Při horkém provozu ochlazuje chladicí kapalina motorový olej, zatímco při provozu zastudena se motorový olej zahřeje a dosáhne rychle provozní teploty, protože chladicí kapalina se ohřeje podstatně rychleji než motorový olej. [8] [42] [19]



Obr. 17 Teploty motorového oleje [6]



Obr. 18 Chladič oleje chlazený vzduchem [19]



Obr. 19 Chladič oleje chlazený kapalinou (tepelný výměník kapalina - olej) [19]

3.3 Dotěsnění pístu

Dotěsnění pístu zabezpečuje motorový olej společně s pístními kroužky. Spalovací prostor je třeba utěsnit z důvodu, aby nedocházelo k průniku výfukových plynů kolem pístu do klikové skříně a motorového oleje do spalovacího prostoru. Píst a válec jsou velmi tepelně namáhané součásti, které se musejí vůči sobě pohybovat volně, takže zde hraje velkou roli tepelná roztažnost. Píst musí tedy mít o několik setin až tisícin menší průměr, než je průměr (vrtání) válce. Aby byla zachována těsnost při různých teplotách, musí být mezi válcem a pístem pístní kroužky, které vymezují vůli mezi pístem a válcem.

Zabránit úniku výfukových plynů do klikové skříně však nejde dokonale, u nových motorů je to méně než 1%, u opotřebených motorů nebo při zapečených pístních kroužcích může být tento podíl podstatně vyšší. K úniku výfukových plynů dochází vlivem tlaku po stěnách válce, který vytváří spalovací proces. U zahřátého motoru to vadí méně, protože spaliny odejdou z klikové skříně ve formě vodní páry. U studeného motoru však dochází ke kondenzaci spalin na exponovaných místech klikové skříně. Často potom můžeme na víku olejového plnicího otvoru nalézt šedavý, mazlavý povlak. Ten nemá nic společného s kvalitou oleje, nýbrž je známkou toho, že vozidlo je často používáno pro jízdy na krátké vzdálenosti.

Motorový olej se nesmí dostat do spalovacího prostoru. Během expanze by zvyšoval emise motoru, spotřeby motorového oleje a utvářel karbonové úsady. [8] [42]

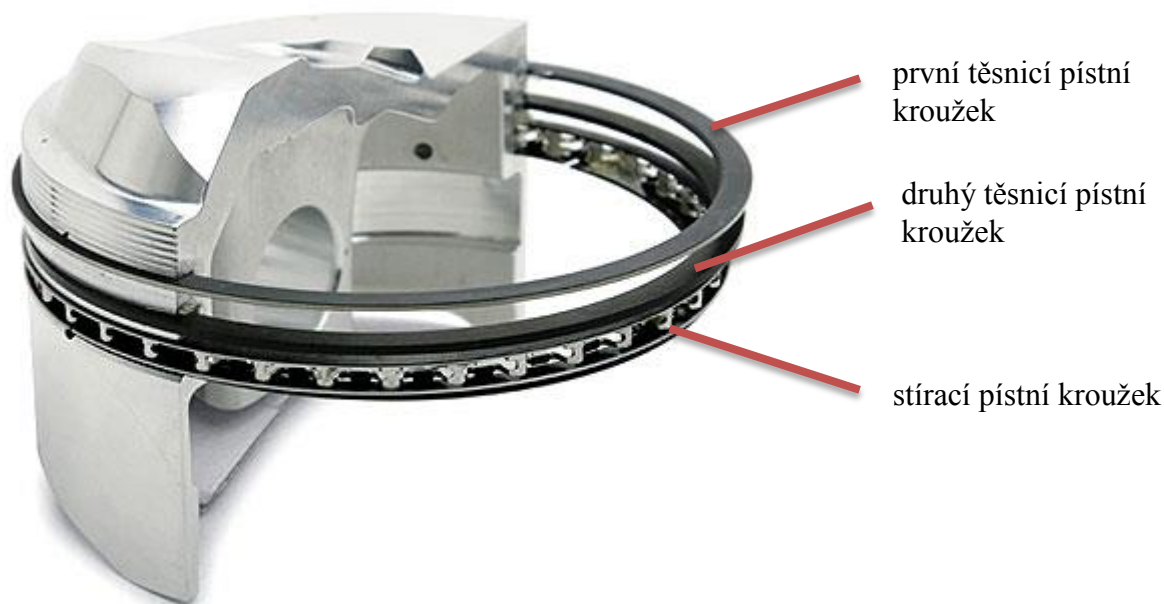
3.3.1 Pístní kroužky

Pístní kroužek je druh těsnění. Zajišťuje těsnost mezi pístem a válcem, dále pak roztírání a stírání motorového oleje po stěně válce. Pístní kroužky jsou uloženy v drážkách na stěně pístu (**obr. 20**). Kroužky musejí být dostatečně pružné a udržovat optimální tvar a přítlak na stěnu válce. Normální pístní kroužky jsou vyrobeny z litiny nebo tepelně zušlechtnuté litiny. Silně namáhané pístní kroužky bývají z litiny s modulárním (globulárním) grafitem nebo z vysoce legované oceli.

Pístní kroužky musejí mít na stykové ploše ochrannou vrstvu, která zlepšuje účinnost pístních kroužků. Vrstva fosfátu nebo cínu zlepšuje kluzné vlastnosti a usnadňuje záběh. Molybdenová vrstva zajišťuje dobrou tepelnou vodivost a dobré vlastnosti při nouzovém chodu. Chromová

vrstva odolává korozi a opotřebením, proto se pochromované pístní kroužky používají jako první pístní kroužky, které jsou nejhůře mazány.

Pístní kroužky se dělí na těsnicí a stírací pístní kroužky. [6] [43]



Obr. 20 Řez pístu s pístními kroužky [44]



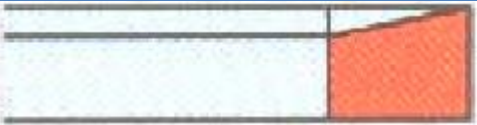
3.3.1.1 Těsnicí pístní kroužky

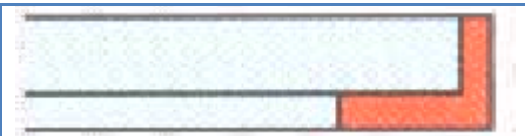

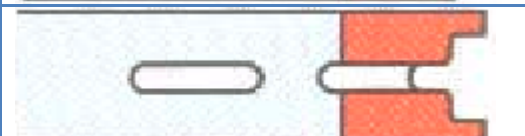

Úkolem těsnicích pístních kroužků je zajistit utěsnění pístu ve válci a odvod tepla od pístu k chlazenému válci. Zabraňují pronikání výfukových plynů do klikové skříně. Těsnicí pístní kroužky bývají dva. Jsou uloženy do prvních dvou drážek od dna pístu. [6]

3.3.1.2 Stírací pístní kroužky

Úkolem stíracích pístních kroužků je zajistit stírání přebytečného motorového oleje ze stěn válce a odvést ho do olejové vany. Zamezují pronikání motorového oleje do spalovacího prostoru. Stírací kroužek bývá většinou jeden. Je uložen do poslední drážky od dna pístu. [6]

Tab. 8 Tvary pístních kroužků [6]

průřez	označení	účel tvaru
	pravoúhlý těsnicí kroužek	jednoduchá výroba
	těsnicí kroužek s kuželovým profilem (minutový)	zrychlení záběhu (většinou v první drážce)
	lichoběžníkový těsnicí kroužek (jednostranný)	zabránění uváznutí v drážce

	L - kroužek	zesílený přítlak způsobený výfukovými plyny
	těsnicí kroužek s nosem (polostírací)	navíc stírání oleje
	stírací kroužek s olejovou štěrbinou (normální)	stírání oleje a propouštění dovnitř pístu
	stírací kroužek s pružinou (expandér)	vyšší přítlak, lepší stírání

3.4 Ochrana proti korozi

Motorový olej má mimo jiné také konzervační vlastnost, musí chránit části motoru proti vzniku koroze. Koroze může vznikat kyselými plyny, které profukují ze spalovacího prostoru do klikové skříně. Kyselý plyn (oxidy síry a dusíku ve spojení s vodní parou) vznikají spalovacím procesem. Kvůli kyselým plynům se pak v klikové skříně může utvořit kyselá voda, která způsobuje korozi. Tyto kyseliny je tedy nutno neutralizovat přísadami a současně pomocí jiných přísad vytvářet na kovových površích ochranné filmy (viz [1.4.1 Aditiva pro motorové oleje](#)). [8] [42]



Obr. 21 Porovnání nového pístu s ojnicí a opotřebovaných pístů s ojnicemi se značnou korozi. [45]

3.5 Vynášení nečistot

Poslední funkcí motorového oleje je vynášení nečistot, čímž se spalovací motor udržuje v čistotě, která je nezbytná pro správný chod motoru. Nečistoty vznikají při spalování paliva, při kterém se tvoří celá řada reakčních produktů. Reakční produkty mohou být příčinou tvor-

by úsad na horkých částech motoru, obzvláště na pístu, ale i tvorby kalů při provozu zastudena. Další nečistoty jsou do motoru vneseny nasáváním vzduchu, protože vzduch není nikdy absolutně čistý. Velké a střední prachové části se zachytí na vzduchovém filtru, ale malé prachové částice se dostanou do spalovacího prostoru. Ze spalovacího prostoru se částičky spláchnou motorovým olejem. Většina spláchnutých nečistot se zachytí v olejovém filtru a tím zůstává motor čistý. [46]

4 Klasifikace olejů, tribotechnika a vývoj

Motorový olej je velmi složitý produkt, který musí splňovat všechny již výše zmiňované funkce. Aby je mohl co nejlépe splňovat v různých provozních podmínkách a v různých spalovacích motorech, musí mít oleje potřebné vlastnosti, které jsou často rozdílné. Z tohoto důvodu se zavedla klasifikace olejů, která třídí oleje podle důležitých vlastností. Klasifikace se rozděluje na viskózní a výkonnostní vlastnosti motorových olejů. [8]

4.1 Viskózní klasifikace

Viskózní klasifikace podává informaci o tom, jak lehce či obtížně lze olej dopravovat na potřebná místa, jak moc je olej tekutý, řídký či hustý. Udává tedy informace o čerpatelnosti a viskozitě motorového oleje.

Nejrozšířenější a prakticky jediná viskózní klasifikace je podle americké normy SAE (Society of Automotive Engineers), konkrétně SAE J 300 (**tab. 9**). Tato klasifikace se skládá z jedenácti tříd, které určují, pro jakou venkovní teplotu se oleje mají používat. Pro zimní provoz jsou oleje označeny písmenem W (winter), např. SAE 5W. Oleje pro letní provoz se označují bez písmene, např. SAE 40. Tyto oleje se označují jako sezónní oleje jednostupňové (monograde). Existují ale i SAE oleje, které mohou být používány celý rok, jedná se o kombinaci zimního a letního oleje, tyto oleje se nazývají vícestupňové (multigrade) a označují se např. takto SAE 15W-40. [19]

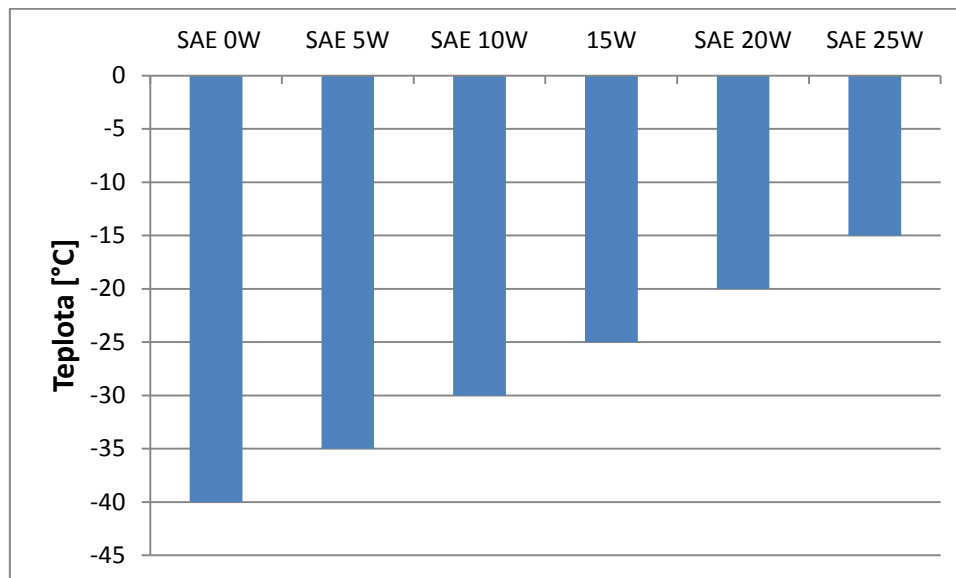
Tab. 9 Viskózní klasifikace SAE J 300 [47]

Viskózní třída SAE	Čerpatelnost		Kinematická viskozita při 100°C		HTHS 150°C
	max. hodnota čerpatelnosti [mPa·s]	teplota měření čerpatelnosti [°C]	minimální viskozita [mm ² /s]	maximální viskozita [mm ² /s]	minimální viskozita [mPa·s]
0W	6200	-35	3,8	-	-
5W	6600	-30	3,8	-	-
10W	7000	-25	4,1	-	-
15W	7000	-20	5,6	-	-
20W	9500	-15	5,6	-	-
25W	13000	-10	9,3	-	-
20	-	-	5,6	< 9,3	2,6
30	-	-	9,3	< 12,5	2,9
40	-	-	12,5	< 16,3	2,9*
40	-	-	12,5	< 16,3	3,7**
50	-	-	16,3	< 21,9	3,7
60	-	-	21,9	< 26,1	3,7

Poznámka:
 * - platí pro 0W-40, 5W-40, 10W-40
 ** - platí pro 15W-40, 20W-40, 25W-40, 40

4.1.1 Zimní číslo

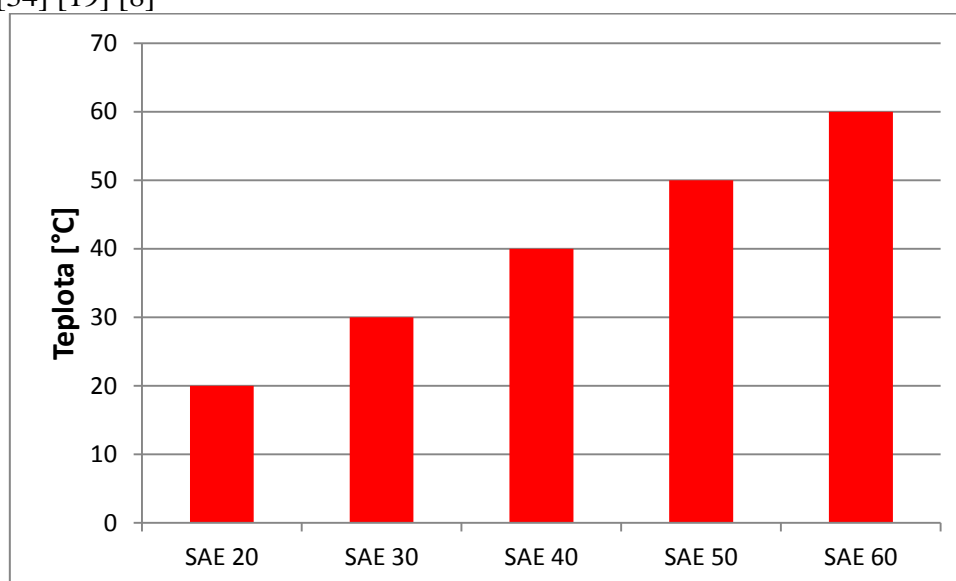
Zimní označení se skládá ze šesti tříd SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W. Čím je zimní číslo nižší, tím bude olej tekutější v zimních mrazech, a tím lépe ráno nastartujeme studený motor a rychleji se také olej dostane na všechna potřebná místa. Zimní číslo dále také uvádí hraniční čerpací teplotu (teplota, při níž je dynamická viskozita 60000 [mPa·s]). [34]



Obr. 22 Hraniční čerpací teploty olejů [47]

4.1.2 Letní číslo

Letní označení se skládá z pěti tříd SAE 20, 30, 40, 50, 60. Letní číslo udává viskozitu při přibližné provozní teplotě oleje. Čím je toto číslo vyšší, tím je olej při provozu automobilu hustší, a tím větší klade odpor proti vzájemnému pohybu třecích ploch. Obecně tedy platí, že čím vyšší je letní číslo, tím vyšší může být teplota okolí při zabezpečení dostatečného mazání motoru. [34] [19] [8]



Obr. 23 Orientační teploty, do jaké maximální venkovní teploty lze používat daný SAE olej [48]

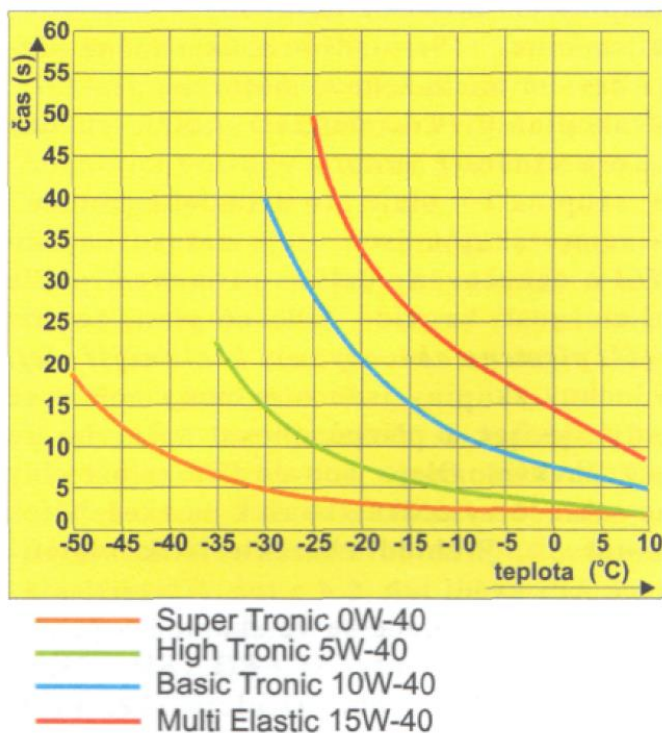
4.1.3 Důležité informace o viskózní klasifikaci

Je důležité uvědomit si, že při provozní teplotě mají oleje SAE 15W-40, 10W-40 a 5W-40 stejnou hodnotu kinematické viskozity, rozdíl bude znatelný až za nízkých teplot. Zatímco nastartování studeného motoru a rozvedení oleje na potřebná místa může trvat s olejem SAE 15W-40 klidně i 20 sekund, olej SAE 5W-40 zvládne vše během pár sekund.

Velice často platí, že čím je rozdíl zimního a letního čísla větší, tím má olej vyšší viskozitní index. Někteří lidé si myslí, že čím je tento rozdíl větší, tím je olej lepší, protože lépe maže. Jenomže výroba takového oleje znamená, že se musí použít větší množství polymerních mo-

difikátorů viskozity, které při provozu oleje degradují (střihová nestabilita) a zhoršují se viskozitní vlastnosti oleje, takže rychle ztrácí mazací schopnost. Oleje jako je SAE 10W-50 či 10W-60, jsou určeny pro motory soutěžních vozů, které jsou tepelně velmi namáhané, zejména díky vysokým otáčkám motoru. V běžných silničních automobilech je použití těchto olejů zcela zbytečné.

Obecně také platí, že čím nižší je zimní/letní číslo, tím nižší je spotřeba paliva. Protože olej má nižší viskozitu, je tedy řidší, tím pádem pohyblivé části motoru kladou menší odpor. Nižší zimní číslo zabezpečí úsporu paliva se studeným motorem a nižší letní číslo pak úsporu paliva při provozní teplotě motoru. Tyto oleje se nazývají tzv. lehkoběžnými oleji, typický příklad je olej SAE 5W-30. Tento olej je sice dražší, ale při vyšším ročním nájezdu (cca od 15 000 km) úspora paliva vyhradí vyšší cenu. Lehkoběžné oleje způsobují mírně zvýšenou hlučnost motoru a mohou zvýšit spotřebu oleje. Naopak při nižším ročním nájezdu (cca okolo 10 000km), nebo pokud převažuje mimoměstský provoz automobilu, tak se vyplatí používat olej SAE 10W-40 či SAE 15W-40. [8]



Obr. 24 Rychlost zajištění mazání ložiska ventilového vahadla při použití motorových olejů Aral s různým zimním číslem [19]

4.2 Výkonnostní klasifikace

Výkonnostní klasifikace motorových olejů se zavedla z důvodu různých kvalitativních požadavků pro konkrétní motor. Tato klasifikace charakterizuje okamžité i dlouhodobé vlastnosti motorového oleje při různých formách provozního zatížení. Hodnoceny jsou vlastnosti jako např. ochrana proti otěru, oxidaci a korozi stěn válců a ložisek, ochrana proti tvorbě úsad z vysokých teplot, oxidační stabilita, pění oleje, úspora paliva atd. Výkonnostní klasifikace se rozděluje do následujících skupin:

- klasifikace API (American Petroleum Institute),
- klasifikace ACE0A (Association des Constructeurs Européens d'Automobile),
- firemní normy výrobců vozidel (motorů),
- klasifikace CCMC (Comité d'es Constructeurs d'Automobile du Marché Commun),
- klasifikace MIL-L (normy americké armády).

Nejvíce používané výkonnostní klasifikace současnosti jsou API, ACEA a firemní normy výrobců vozidel (motorů). Zbylé normy nejsou pro nás nijak významné, používají se jen ojedinelé anebo jsou již zastaralé. [19] [8]

4.2.1 API klasifikace

API je výkonnostní klasifikace, která se používá pro automobily americké výroby. Americký ústav pro ropu vydal svůj první klasifikační systém třídící motorové oleje podle jejich vlastností již v roce 1911. V následujících letech došlo k mnoha úpravám, v roce 1969 se zavedlo následující rozdělení olejů, které se používá dodnes:

- skupina S (Service) - oleje vhodné pro zážehové motory,
- skupina C (Commercial) - oleje vhodné pro vznětové motory,
- skupina T - oleje pro dvoudobé motory.

Motorové oleje klasifikace API se značí dvěma písmeny, popřípadě číslicemi, první písmeno značí skupinu a druhé písmeno označuje třídu příslušné skupiny (vlastní výkonnost). Obecně platí, čím vyšší číslo abecedy, tím je olej kvalitnější. Oleje jsou do tříd zařazovány na základě výsledků zkoušek na zkušebních motorech. [19]

4.2.1.1 API S

Tab. 10 Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro zážehové motory [19] [49]

Výkonnostní třída API	Status	Použití oleje
SN	Současná	Zavedená v říjnu 2010 pro motory vyrobené po roce 2011 a starší. Vhodná tam, kde je potřeba poskytnout vyšší ochranu pístů, při vyšších teplotách, kde je požadovaná přísnější kontrola kalu a kompatibility s těsněními. Klasifikace SN zaručuje vyšší ochranu turbodmychadla a motoru provozovanému na ethanol do E85. SN zároveň hovoří o vyšší kontrole emisí a nižší spotřebě paliva.
SM	Současná	Pro všechny současné motory. Kategorie zavedena 30. listopadu 2004. Oleje klasifikace SM obsahují aditiva pro kontrolu deposit, pro snížení oxidace oleje, snížení opotřebení a aditiva zlepšující vlastnosti oleje za nízkých teplot.
SL	Současná	Pro všechny současné motory i starší motory. Kategorie zavedena roku 2001.
SJ	Současná	Pro motory z roku 1996 a mladší.
SH	Zastaralá	Pro motory z roku 1996 a starší. Olej obsahuje aditiva pro kontrolu deposit, pro snížení oxidace oleje, snížení opotřebení a aditiva proti korozi.
SG	Zastaralá	Pro motory z roku 1989 - 1993. Olej obsahuje aditiva pro kontrolu deposit, pro snížení oxidace oleje, snížení opotřebení a aditiva proti korozi.
SF	Zastaralá	Pro motory z roku 1980 - 1989. Obsahuje aditiva pro zvýšení oxidační stability a aditiva proti opotřebení, aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SE	Zastaralá	Pro motory z roku 1971 - 1979. Obsahuje aditiva zabraňující oxidaci oleje, aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SD	Zastaralá	Pro motory z roku 1968 - 1970. Obsahuje aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti

		opotřebení a korozi.
SC	Zastaralá	Pro motory z roku 1964 - 1967. Obsahuje aditiva pro kontrolu tvorby usazenin za nízké i vysoké teploty, pro ochranu proti opotřebení a korozi.
SB	Zastaralá	Pro starší motory (rok výroby 1956 až 1960) vyžadující minimální ochranu aditiv. Lze použít pouze, je-li výslovně požadováno výrobcem.
SA	Zastaralá	Pro starší motory (rok výroby 1940 až 1950), bez nároku na výkon a ochranu. Lze použít pouze, je-li výslovně požadováno výrobcem.

4.2.1.2 API C

Tab. 11 Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro vznětové motory [19] [49]

Výkonnostní třída API	Status	Použití oleje
CI-4	Současná	Zavedena v září 2002. Pro vysoko-rychlostní čtyřdobé motory, u kterých je vyžadováno splnění výfukových emisních norem roku 2004 zavedených v roce 2002. CI-4 oleje mají speciální složení a trvanlivost pro užití v motorech s recirkulací výfukových zplodin (EGR). Jsou určeny pro použití v motorech, které užívají palivo s hmotnostním obsahem síry do 0.5%. Může být použit místo CD, CE, CF-4, CG-4 a CH-4 olejů.
CH-4	Současná	Zavedena v roce 1998. Pro vysoko-rychlostní čtyřdobé motory, u kterých je vyžadováno splnění výfukových emisních norem z roku 1998. CH-4 oleje mají speciální složení pro užití s palivem s hmotnostním obsahem síry do 0.5%. Může být použit místo CD, CE, CF-4 a CG-4 olejů.
CG-4	Současná	Zavedena v roce 1995. Pro vysoce zatížené, vysoko-rychlostní, čtyřdobé motory užívající palivo s hmotnostním obsahem síry do 0.5%. CG-4 oleje jsou požadovány pro motory splňující emisní normy z roku 1994. Může být použit místo CD, CE a CF-4 olejů.
CF-4	Současná	Zavedena v roce 1990. Pro vysoko-rychlostní, čtyřdobé, atmosféricky plněné motory a motory s turbodmychadlem. Může být použit místo CE olejů.
CF-2	Současná	Zavedena v roce 1994. Pro vysoce zatížené, dvoudobé motory. Může být použit místo CD-II olejů.
CF	Současná	Zavedena v roce 1994. Pro off-road motory s nepřímým vstřikováním a motory používající palivo s hmotnostním obsahem síry nad 0.5%. Může být použit místo CD olejů.
CE	Zastaralá	Zavedeno v roce 1987. Pro vysoko-rychlostní, čtyřdobé, atmosféricky plněné motory a motory s turbodmychadlem. Může být použit místo CC a CD olejů.
CD-II	Zastaralá	Oleje stejných vlastností jako CD, navíc pro dvoudobé motory (test na motoru Detroit6V-51 T), od roku 1978.
CD	Zastaralá	Oleje pro vysoce zatěžované motory, zejména přeplňované (rok

		výroby 1970 až 1979).
CC	Zastaralá	Pro střední a těžké provozní podmínky. Používají se také pro přeplňované motory (rok výroby 1964 až 1970).
CB	Zastaralá	Pro motory s nízkým a středním zatížením. Jsou vhodné i při použití paliva s vyšším obsahem síry (rok výroby 1949 až 1964).
CA	Zastaralá	Pro lehce zatížené motory z roku 1940 - 1950.

4.2.1.3 API T

Tab. 12 Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro dvoudobé motory [8]

Výkonnostní třída API	Status	Použití oleje
TC	Současná	Pro různé vysoce výkonné motory (ne lodní), (typicky 200 až 500 cm ³). Důraz na snížení opotřebení pístů, snížení úsad podporující předzápaly, zamezení váznutí kroužků.
TB	Zastaralá	Pro skútry a jiné vysoce zatížené malé motory (typicky 50 až 200 cm ³). Důraz na snížení opotřebení pístů, snížení úsad podporující předzápaly a ztrát výkonu způsobených úsadami ve spalovacím prostoru.
TA	Zastaralá	Pro mopedy a jiné velmi malé motory (typicky < 50cm ³). Důraz na snížení opotřebení pístů a zamezení blokování výfukového systému.

4.2.2 ACEA klasifikace

Asociace evropských konstruktérů automobilů ACEA sídlící v Bruselu vznikla v roce 1990 jako nástupnická organizace po rozpuštění CCMC. Původní klasifikace ACEA byla převzatá ze zaniklé klasifikace CCMC, tato klasifikace již neplatí. Zcela nová klasifikace ACEA byla vytvořena v roce 1996. V roce 2004 vydala ACEA inovovaný systém klasifikace motorových olejů. Osvědčení o kvalitě motorového oleje musí být vydáno akreditovanou a registrovanou laboratoří. Nejdůležitějším parametrem u klasifikace ACEA je HTHS viskozita. Motorové oleje klasifikace ACEA se rozdělují do těchto skupin:

- A - pro zážehové motory,
- B - pro vznětové motory,
- C - pro zážehové a vznětové motory osazené částicovými filtry,
- E - pro vznětové motory těžkých užitkových vozidel.

Motorové oleje klasifikace API se označují písmenem skupiny a pořadovým číslem změny, popřípadě číslem za pomlčkou, která značí rok vydání.

4.2.2.1 ACEA A/B

Motorové oleje určené pro zážehové a vznětové motory osobních a lehkých užitkových automobilů. [19]

Tab. 13 Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro zážehové a vznětové motory [49]

Výkonnostní třída ACEA	Použití oleje	HTHS viskozita [mPa·s]
A1, B1	Standardní olej, normální intervaly výměny.	2,9 - 3,5
A2, B2	Standardní olej, normální intervaly výměny (již neplatné).	> 3,5
A3, B3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny.	> 3,5
B4	Jako B3 + možno použít pro dieselové motory s přímým vstřikováním.	> 3,5
A4	Rezervováno pro oleje pro benzínové motory s přímým vstřikováním.	-
A5, B5	Jako A3 / B4, avšak se sníženou viskozitou HTHS.	2,9 - 3,5

4.2.2.2 ACEA C

Motorové oleje obdobného určení jako ACEA A/B, ale se sníženým obsahem síry, fosforu a sulfátového popela (tzv. „low SAPS“ oleje). [19]

Tab. 14 Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro zážehové a vznětové motory osazené částicovými filtry [49]

Výkonnostní třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa·s]
C1	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro vysoce výkonné zážehové i vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů se systémy DPF (filtr pevných částic) a TWC (třícestný katalyzátor), které vyžadují nízkoviskózní oleje se sníženým obsahem SAPS (Sulfate Ash Phosphorus Sulfur - sulfátový popel, síra, fosfor) a HTHS vyšší než 2.9 mPa·s. Tyto oleje prodlužují životnost systémů DPF a TWC a snižují spotřebu paliva.	> 2,9
C2	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro vysoce výkonné zážehové i vznětové motory osobních a lehkých nákladních automobilů se systémy DPF a TWC, které vyžadují nízkoviskózní oleje s HTHS vyšší než 2.9 mPa·s. Tyto oleje prodlužují životnost systémů DPF a TWC a snižují spotřebu paliva.	> 2,9
C3	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro automobily se systémy DPF a TWC. Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů.	> 3,5
C4	Stabilní olej kompatibilní s katalyzátorem pro automobily se systémy DPF a TWC. Tyto oleje prodlužují životnost těchto systémů. (platná od roku 2006).	> 3,5

4.2.2.3 ACEA E

Motorové oleje určené pro velkoobjemové vznětové motory užitkových vozidel. [19]

Tab. 15 Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro vznětové motory těžkých vozidel [49]

Výkonnostní třída ACEA	Použití oleje	HTHS [mPa·s]
E1	Již neplatné od 3/2000.	$\geq 3,5$
E2	Standardní olej, normální intervaly výměny.	$\geq 3,5$
E3	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny (již neplatná).	$\geq 3,5$
E4	Olej pro extrémně vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny.	$\geq 3,5$
E5	Olej pro vysokou zátěž, možnost prodloužení intervalu výměny.	$\geq 3,5$
E6	Vysoce stabilní oleje podporující čistotu pístů, snižující opotřebení (včetně působením sazí) a zajišťující stálé mazání. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro motory se systémy EGR (recirkulace výfukových plynů), DPF (filtr pevných částic) a SCR NO _x (selektivní katalytická redukce). Třída E6 je zvláště doporučována pro motory s DPF systémy, které spalují palivo s nízkým obsahem síry (50 ppm).	$\geq 3,5$
E7	Stabilní oleje zabraňující usazování nečistot na pístech a vzniku zrcadlových ploch na stěnách válců. Omezují opotřebení (včetně působením sazí), vznik úsad v turbodmychadlu. Olej je doporučován pro moderní, vysoce zatěžované vznětové motory splňující emisní limity Euro 1-4. Umožňuje prodloužené výměnné intervaly dle doporučení výrobce. Je vhodný pro většinu motorů se systémy EGR a SCR NO _x . Není vhodný pro systémy DPF.	

4.2.2.4 Požadavky na chemické složení oleje a HTHS viskozitu

Tab. 16 Výkonnostní specifikace ACEA a jejich požadavky na chemické složení oleje a viskozitu HTHS [49]

Třídy a kategorie ACEA	Sulfátový popel [% hm.]	Fosfor [% hm.]	Síra [% hm.]	Viskozita při 150 °C HTHS [mPa·s]
ACEA A1/B1	max. 1,3			2,9 - 3,5
ACEA A3/B3	max. 1,5			min. 3,5
ACEA A3/B4	max. 1,6			min. 3,5
ACEA A5/B5	max. 1,6			2,9 - 3,5
ACEA C1	max. 0,5	max. 0,05	max. 0,2	min. 2,9
ACEA C2	max. 0,8	0,07 - 0,09	max. 0,3	min. 2,9
ACEA C3	max. 0,8	0,07 - 0,09	max. 0,3	min. 3,5

ACEA C4	max. 0,5	max. 0,09	max. 0,2	min. 3,5
ACEA E2	max. 2,0			min. 3,5
ACEA E4	max. 2,0			min. 3,5
ACEA E6	max. 1,0	max. 0,08	max. 0,3	min. 3,5
ACEA E7	max. 2,0			min. 3,5

4.2.3 Klasifikace výrobců vozidel (motorů)

Všichni výrobci vozidel musejí předepisovat do svých motorů olej o určité kvalitě. Někteří výrobci si vystačí s výkonnostními klasifikacemi API a ACEA, někteří si však vytvářejí vlastní hodnotící postupy a vyvíjí si tak svoje vlastní klasifikace. Vlastní klasifikace si výrobci vytvářejí proto, aby jejich motor dostal olej, který bude motoru svými vlastnostmi co nejlépe vyhovovat. Na základě klasifikace výrobce vozidla pak může výrobce vytvořit motorový olej dané klasifikace. Tento způsob se velmi pružně odráží na vývoji motorů.

Klasifikací podle výrobců vozidel je velmi mnoho. U osobních automobilů jsou nejznámější klasifikace VW, BMW a PORSCHE, v kategorii užitkových automobilů pak normy MERCEDES BENZ (MB), MAN a VOLVO. Jako příklad uvádím klasifikaci VW/AUDI, protože tento koncern má na evropském trhu s automobily největší podíl. [19] [50]

4.2.3.1 Klasifikace VW (Volkswagen, Audi, Seat, Škoda)

Tab. 17 Přehled Výkonnostní klasifikace VW [50]

Klasifikace	Popis oleje, použití
VW 500.00	Odpovídá ACEA A3-96, oleje pro benzínové a nepřepřlňované, palivo šetřící naftové motory.
VW 501.01	Odpovídá ACEA A2-96, oleje pro benzínové a nepřepřlňované naftové motory.
VW 502.00	Lehkoběžné oleje pro benzínové motory, výměnný interval 15.000 km.
VW 503.00	Lehkoběžné i běžné motorové oleje pro benzínové motory s velmi dlouhou dobou výměny, 30.000 km.
VW 503.01	Benzínové motory Audi S3 a TT výměna 30.000 km.
VW 505.00	Odpovídá ACEA B2-96, oleje pro všechny typy naftových motorů, včetně přepřlňovaných, výměna 15.000 km.
VW 505.01	Celoroční oleje pro přepřlňované i nepřepřlňované naftové motory osobních automobilů, včetně motorů čerpadlo-tryska, výměna 15.000 km.
VW 506.00	Lehkoběžné i běžné motorové oleje pro naftové motory, s velmi dlouhou dobou výměny, 30.000 km, přímý vstřík - klasické čerpadlo.
VW 506.01	Naftové motory osobních vozů, přímý vstřík, čerpadlo-tryska, výměna 30.000 km.
VW 504.00	Benzínové motory a lze jimi nahradit oleje VW norem: VW 501 01, VW 502 00, VW 503 00, VW 503 01.
VW 507.00	Naftové motory a lze jimi nahradit oleje VW norem: VW 506 00 a VW 506 01, pro pevný interval výměny i 500 00, 505 00 a 505 01.

VW označuje oleje 503.00, 506.00, 506.01, 504.00, 507.00 jako LongLife. Jsou to oleje se sníženou HTHS viskozitou, takže mají prodloužený interval výměny. Lze je použít pouze do motorů, kde je tato nižší HTHS viskozita povolena. [50] [51]

4.2.4 Důležité informace o výkonnostní klasifikaci

Je důležité uvědomit si, že motory americké a evropské konstrukce jsou rozdílné. Americké motory mají zpravidla větší zdvihový objem, vyšší výkon a nemají přeplňování. Tyto rozdílné konstrukční parametry vedou k rozdílným požadavkům od motorových olejů. Americké motory vyžadují zejména menší obsah popelovin v oleji. Proto nelze používat pro nové evropské automobily motorové oleje výkonnostní klasifikace API a americké automobily by neměly používat ACEA. Dalo by se říci, že oleje klasifikace API zaostávají za klasifikací ACEA.

Je velice důležité uvědomit si, že u výkonnostní klasifikace nezáleží na značce oleje, na jeho viskozitní třídě či na tom, zda je olej minerální nebo syntetický. Může se stát, že oleje SAE 15W/40 a SAE 5W/40 mají stejnou specifikaci ACEA A3/B3. Jedná se tedy o rovnocenné oleje, jak svou kvalitou tak i životností, a i když se někomu může zdát, že SAE 15W/40 je jen „sprostý minerál“. Oba oleje prošly stejnými motorovými testy a motor po proběhnutí testů byl v obou případech stejně čistý, jinak by olejům nebyla přiznána stejná výkonová specifikace. [19] [51] [52]

4.3 Tribotechnika

Tribotechnika (z řeckého tribos - tření) je jednou z oblastí tribologie, což je vědní obor, jenž se zabývá chováním dotýkajících se povrchů, které se vůči sobě pohybují nebo se pohybovat pokoušejí. Zkoumá tedy jevy jako je tření, opotřebení a mazání.

Tribotechnika aplikuje výsledky z tribologie do praxe. Zaměřuje se na přípravu podkladů pro konstrukci, výrobu, montáž, provoz a údržbu třecích uzlů. Tribotechnika napomáhá:

- ke snížení třecích odporů, a tím k úsporám energie,
- ke zpomalení opotřebení nebo zpřesnění jeho prognózování, a tím k předcházení haváriím nebo upřesnění termínů výměny součástí a počtů potřebných náhradních dílů,
- k používání vhodných materiálů, technologií a způsobů provozování, a tím k dosažení delší životnosti.

Tribotechnika má velký význam v oblasti diagnostiky motorových vozidel, tzv. tribodiagnostika. [8] [53]

4.3.1 Tribodiagnostika

Účelem tribodiagnostiky je zjistit aktuální stav strojního zařízení (např. spalovacího motoru) na základě posouzení technického stavu maziva (např. motorového oleje).

Dlouhodobé monitorování technického stavu motorového oleje, velice efektivně předchází vzniku závažných poruch ve spalovacím motoru, tím se ušetří nemalá částka peněz. Další výhodou tribodiagnostiky je fakt, že se výměna oleje neprovádí podle stanovených lhůt, ale podle stavu znehodnocení oleje. Tímto principem se dosáhne co nejlepší využitelnosti motorového oleje a lepší ekologie. Pro velké dopravní společnosti je tedy tribodiagnostika nezbytná. [8]

4.3.1.1 Analýza motorového oleje

Nejdůležitější částí analýzy motorového oleje je odběr vzorků oleje. Nejlepší způsob odběru vzorku, který zaručuje maximální homogenitu, je tedy, pokud je motor zahřátý na provozní teplotu. Olej by se měl odebírat v místě, které ještě neprošlo filtrací.

Mezi nejdůležitější tribodiagnostické analýzy patří dvě následující. První z nich zjišťuje přítomnost otěrových kovů a přísad prvků, určí se atomovou absorpční spektrometrií (AAS), atomovou emisní spektrometrií s indukci vázanou plazmatem (ICP), roentgenovou fluorescencí (XRF) a ferrografií. Druhá analýza stanovuje degradaci a znečištění oleje pomocí infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR). Dále se na olejích mohou zjiš-

řovat tyto parametry: bod vzplanutí (viz. [2.6.7 Teplota vzplanutí](#)), viskozita při určité teplotě, celkové číslo alkality (TBN) a celkové číslo kyselosti (TBA). [54] [55] [56]

4.3.1.1.1 Přítomnost otěrových kovů a přísad prvků

Zvýšená přítomnost otěrových kovů v oleji signalizuje možnou mechanickou závadu motoru. Mechanická závada se zpočátku projevuje zvýšeným třením součástí. Třením se částičky kovů dostávají do motorového oleje. Pravidelným prováděním analýzy se povede závadu podchytit včas a předcházet tak velkým závadám a haváriím motorů mnohem dříve, než by se na závadu přišlo díky jejím dalším projevům (hluk nebo vibrace motoru, zvýšená teplota oleje apod.). Konstrukční díly motoru jsou vyrobeny z různých konstrukčních kovů, proto je možné přítomností konkrétního kovu určit i pravděpodobné místo otěru. Otěrové kovy a možné zdroje jejich výskytu v mazacím oleji jsou uvedeny v **tab. 18**. V oleji nemusejí být jen otěrové kovy, ale i například křemík, který nesouvisí s konstrukčními kovy motorů. Křemík je totiž hlavním prvkem obsaženým v prachových částicích. Jeho zvýšená přítomnost téměř vždy znamená problém se vzduchovým filtrem. [57]

Tab. 18 Možné zdroje jednotlivých prvků stanovených v mazacím oleji [57]

Kov	Původ - motorový díl
železo	vyskytuje se téměř 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 - těsnicí 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

Nejpoužívanější destruktivní metodou pro stanovení otěrových kovů v mazacích olejích je analýza atomovou emisní spektrometrií s indukci vázanou plazmatem (ICP). Při analýze se nejčastěji používá argonové plasma s elektromagnetickým vysokofrekvenčním polem indukční cívky jako zdrojem vnější energie. Tak lze v plazmatu dosáhnout teplot, až 10 000 K. Existují dvě možnosti přípravy vzorků, přímá a nepřímá metoda. Při přímé metodě se do plazmatu přidává kyslík, aby organická matrice dokonale shořela. Při přímém stanovení je nesrovnalost mezi nehomogenní vzorku a homogenními standardy. Při nepřímé metodě se prvky ze vzorku oleje vhodným způsobem převedou do vodného roztoku a ten se pak analyzuje pomocí ICP. Vzhledem k mnohem vyšší teplotě při buzení atomů je omezující velikost částic, ta se udává 50 μm. Přístroj ICP je poměrně drahý, takže pořídit si ho znamená pro laboratoř mít zajištěn dostatečný počet vzorků na stanovení prvků. Postup stanovení některých otěrových kovů přímou metodou ICP je dokonce standardizován v DIN 51 396-1 a v ASTM D 5185. Kovy speciálně v izolačních olejích pomocí ICP se stanovují podle ASTM D 7151. [58]

4.3.1.1.2 Stanovení degradace a znečištění oleje

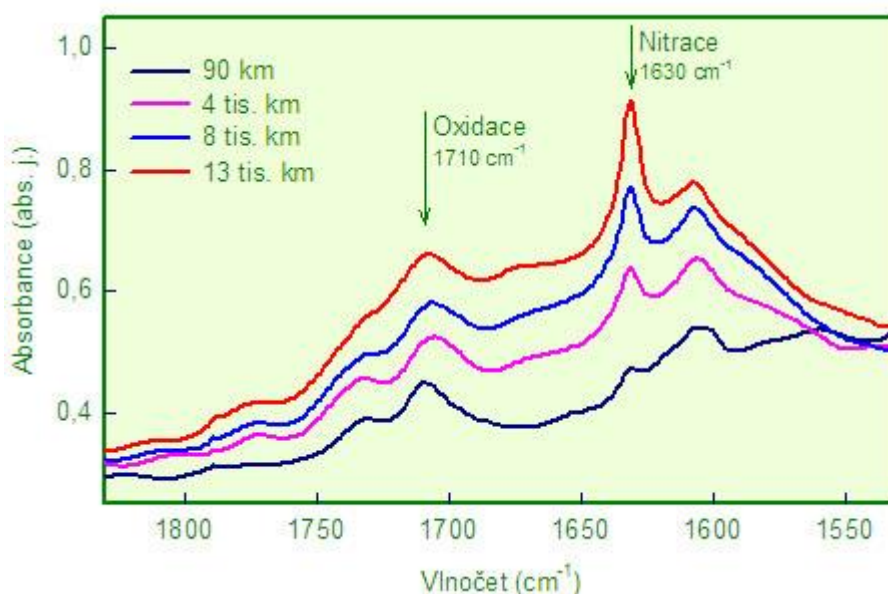
Mezi hlavní degradační a olej znečišťující činitele patří voda, glykol, saze, nitrace, sulfatace, oxidace a palivo.

Voda vzniká při spalování paliva, většina vody odchází ve formě páry do výfuku a dále do ovzduší. Část spalin se ale dostává přes pístní kroužky do klikové skříně. Je to jev, kterému nelze zabránit, pokud je motor ohřátý na provozní teplotu, nic se neděje. Voda ve formě vodní páry klikovou skřín zase opustí, např. i díky jejímu nucenému odvětrávání. Problém nastává, když je motor studený, horké spaliny s vodní párou přijdou ve studené klikové skřině do styku se studeným motorovým olejem, tím dochází ke kondenzaci vodní páry. Kapalná voda se pak hromadí v motorovém oleji, který se intenzivně promíchává, a vytvářejí se emulze vody v oleji. Po zahřátí motoru voda opustí klikovou skřín, než ji však opustí, může způsobit různé chemické reakce, které způsobí změnu aditivace oleje a tvorbu různých kalů a usazenin.

Glykol je součástí nemrznoucích kapalin. Do oleje se dostává, pokud je nějaká netěsnost mezi chladicí soustavou a místem, kudy protéká olej (k průniku glykolu do oleje dochází, je-li např. prasklá hlava válců). Glykol s motorovým olejem velmi rychle reaguje, tím dochází k postupné degradaci oleje. Výsledkem je černý ztuhlý olej, který může zadřít motor.

Saze jsou malé částice tvořené čistým uhlíkem, mají tvrdé hrany a jsou ostré. Saze vznikají ve spalovacím prostoru při spalování nafty, k jejich proniknutí do klikové skříně dochází stejně jako při průniku vody. Saze způsobují zvyšování viskozity oleje.

Oxidace v motorovém oleji je vyvolána vysokou teplotou a je doprovázena nitrací. Při spalování paliva se část vzdušného dusíku přemění na oxidy dusíku (NO_x), a ty potom přicházejí ve spalinách do styku s motorovým olejem. Antioxidanty těmto jevům zabraňují, ale sami se při tom postupně redukuje, takže se oxidace stále více urychluje. Oxidace a nitrace způsobuje korozi, karbonové úsady a zvýšení viskozity oleje.



Obr. 25 Signály oxidace a nitrace v infračervených spektrech motorových olejů (Fabia 1.4, 16V) [39]

Degradace a znečištění oleje se stanovuje pomocí infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR). Je to optická nedestruktivní analytická metoda. Princip FTIR spočívá v tom, že při interakci elektromagnetického záření s měřeným vzorkem dochází v důsledku excitace příslušných chemických skupin nebo vazeb v molekulách k pohlcení záření o určitých hodnotách energie. Tím vznikají charakteristická spektra složená z tzv. vibračních absorpčních pásů.

Poloha (vlnočť) pásů odpovídá charakteristickým skupinám obsaženým ve sloučeninách. Pomocí těchto pásů lze velkou většinu sloučenin jednoznačně identifikovat.

Samotné měření olejů se nejčastěji provádí ve střední infračervené oblasti (tj. od 400 do 2000 cm^{-1}) buď na průchod v kapalinové kyvetě s definovanou optickou, drahou nebo reflexní

ATR technikou (Attenuated Total Reflection) na víceodrazovém Smart Multi-Bounce nastavci se ZnSe krystalem. Samotné měření včetně vyhodnocení infračerveného spektra trvá průměrně dvě minuty a minimální nutný objem vzorku je 500 mikrolitrů. V **tab. 19** jsou uvedeny hodnoty vlnočtu sledovaných parametrů. [55] [39] [46] [59]

Tab. 19 Hodnoty vlnočtu sledovaných parametrů [55]

Parametr	Vlnočť [cm ⁻¹]
Saze	2000
Oxidační produkty	1700
Nitrídační produkty	1630
Sulfatační produkty	1150
Voda	3400
Nafta	800
Benzín	750
Glykol	880
Antioxidanty	960
Aromáty	1600

4.3.1.2 Určení stavu vozidlového parku s využitím tribodiagnostiky

Testu se podrobily nákladní vozidla firmy, která se zabývá vnitrostátní a mezinárodní přepravou zboží. Pro analýzu motorového oleje a technického stavu motoru bylo vybráno 8 vozidel se zdvihovým objemem motoru 11 929 cm³, s max. otáčkami motoru 2100 ot/min, s olejovou nádrží o objemu 32 l a emisní normou EURO 3. Dále bylo vybráno 12 vozidel se zdvihovým objemem motoru 16 400 cm³, s turbodmychadlem, s max. otáčkami motoru 2100 ot/min, s olejovou nádrží o objemu 52 l a emisní normou EURO 3. Ve všech vozidlech byl použit motorový olej viskozitní klasifikace 10 W - 40. Celkový počet kilometrů se na vozidlech pohyboval v rozmezí od 265 000 do 1 232 000 km. Počet kilometrů od výměny olejové náplně se pohyboval v rozmezí od 50 000 do 54 000 km.

Motorový olej se testoval na celkový obsah nečistot (CN), přítomnost otěrových kovů, bod vzplanutí a přítomnost vody.

Z přítomnosti otěrových kovů se určila výpočtem hladina a intenzita opotřebení motoru.

Vzorec pro určení hladiny opotřebení motoru:

$$WPC = \frac{D_L + D_S}{1800} \cdot 100$$

WPC - hladina opotřebení motoru [%],

D_L - počet velkých částic otěrových kovů větší než 15 μm,

D_S - počet malých částic otěrových kovů velké cca 2 μm.

Vzorec pro určení intenzity opotřebení motoru:

$$PLP = \frac{D_L \cdot k}{D_L + D_S} \cdot 100$$

PLP - hladina opotřebení motoru [%],

D_L - počet velkých částic otěrových kovů větší než 15 μm,

D_S - počet malých částic otěrových kovů velké cca 2 μm,

k - koeficient [-].

Pokud je počet D_L < 100 => k=0,0. Pokud je počet D_L v rozmezí od 100 do 900 => k= (0,1 až 0,9).

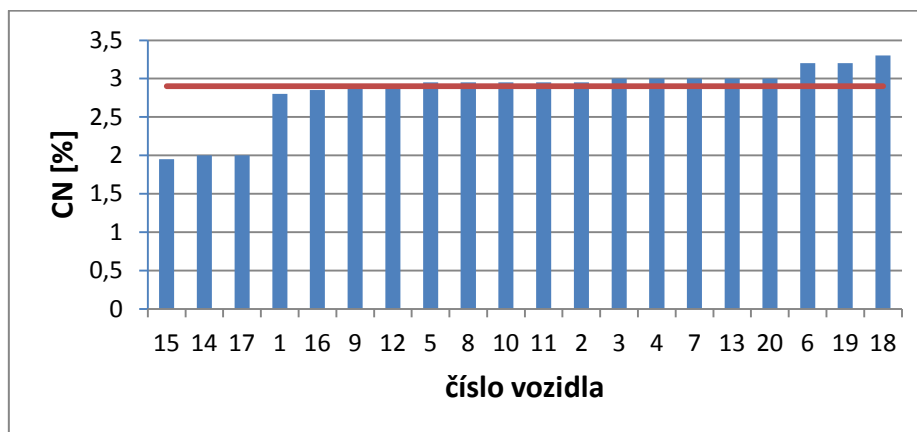
Limitní hodnoty pro motorové oleje vznětových motorů jsou uvedeny v tab. 20. [54]

Tab. 20 Limitní hodnoty pro motorové oleje vznětových motorů [54]

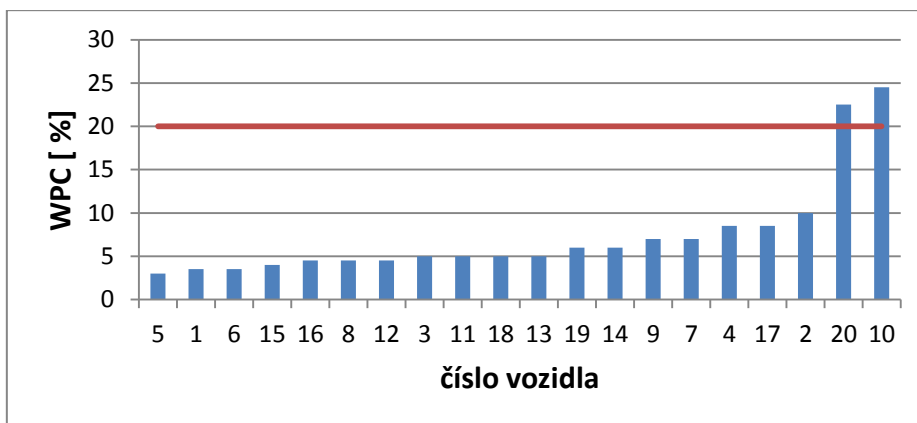
CN (%)	WPC (%)	PLP (%)	Bod vzplanutí (°C)
2,9	20	15	160

4.3.1.2.1 Výsledky zkoušek

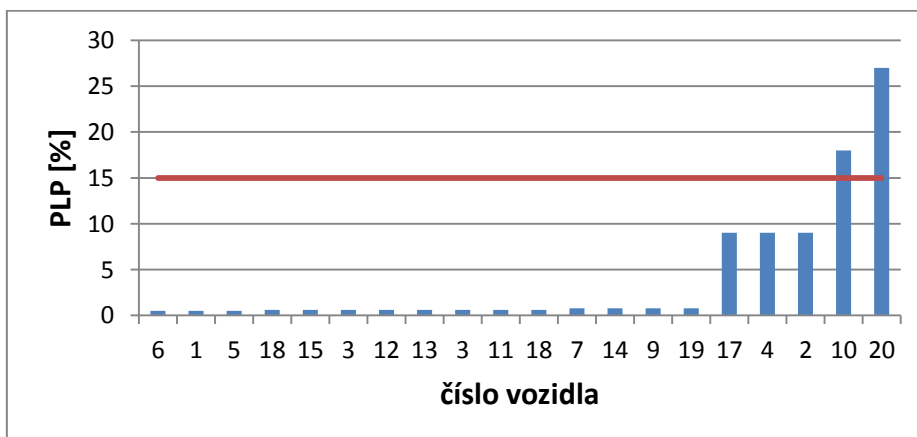
Výsledky jednotlivých zkoušek jsou graficky zobrazené v následujících obrázcích (obr. 26 ÷ 29).



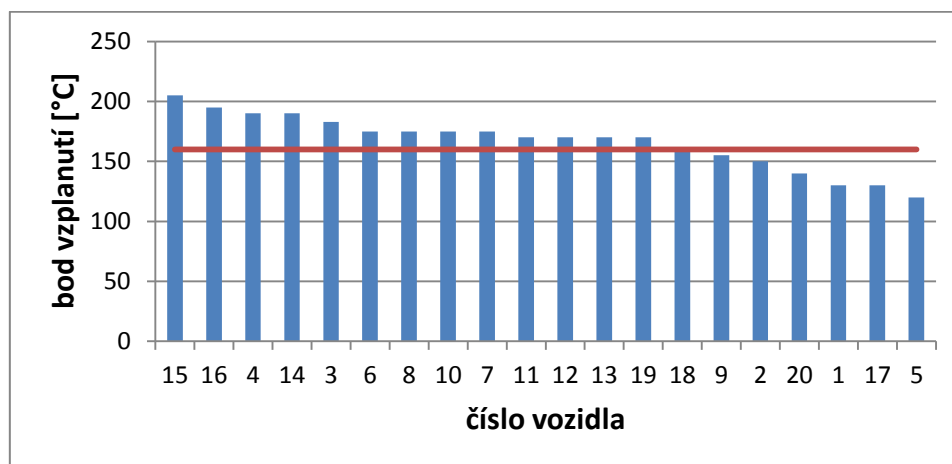
Obr. 26 Obsah celkových nečistot [54]



Obr. 27 Hladina opotřebení motoru [54]



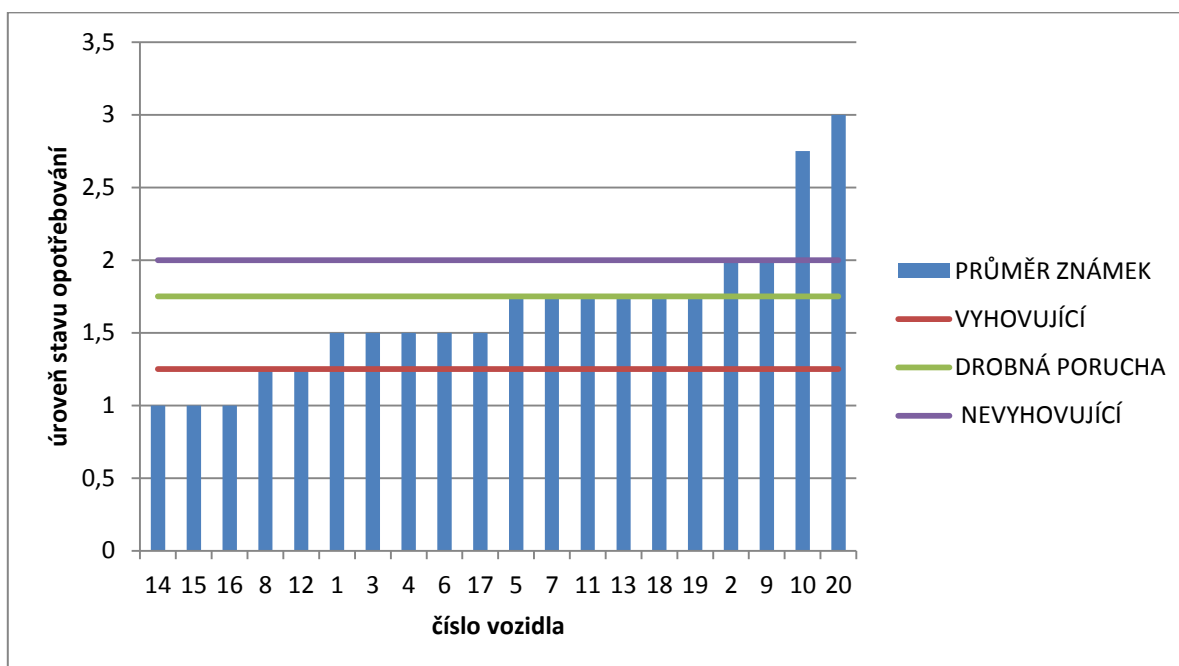
Obr. 28 Intenzita opotřebení motoru [54]



Obr. 29 Bod vzplanutí [54]

4.3.1.2.2 Vyhodnocení zkoušek

Výsledky jednotlivých zkoušek byly na základě limitních hodnot (tab. 20) hodnoceny známkami 1 až 3. Pokud byla naměřená hodnota v povolených mezích, byla ohodnocena známkou 1. Pokud naměřená hodnota ležela na limitní hodnotě, nebo ji nepřekročila o více než 10% z limitní hodnoty, byla ohodnocena známkou 2. Naměřená hodnota, která překračovala limitní hodnotu o více než 10 %, byla ohodnocena známkou 3. Výsledné hodnoty byly vypočteny aritmetickým průměrem. Vozidlo číslo 20 muselo být ohodnoceno výslednou známkou 3, protože jako u jediného byla zjištěna přítomnost vody. Vyhodnocení zkoušek je znázorněno na obr. 30 a v tab. 21.



Obr. 30 Vyhodnocení stavu opotřebení motoru [54]

Z vyhodnocení naměřených výsledků vyplývá, že stav motoru nezávisí na naježděných kilometrech, ale na provozních podmínkách, kvalitě obsluhy a stupni údržby.

Stav motorů byl podle úrovně opotřebení rozdělen do 4 skupin. První skupinu tvoří motory v dobrém stavu, jsou to motory do známky 1,25. Druhou skupinu tvoří motory, u kterých je nějaká drobná porucha, způsobená buď netěsností palivové soustavy, nebo prodloužením in-

tervalu výměny olejové náplně, to způsobuje nadměrné množství nečistot (karbonů). Tyto motory jsou ohodnoceny známkou od 1,25 do 1,75. Třetí skupinu tvoří motory, jejichž stav je nevyhovující. U těchto vozidel hrozí přerušení provozu z důvodu špatného technického stavu motoru. Jsou to motory se známkou od 1,75 do 2. Poslední skupinu tvoří vozidla, jejichž motory vykazují vysokou hladinu i intenzitu opotřebení a oleje vykazují snížené fyzikální vlastnosti. U těchto vozidel hrozí vysoké riziko poškození motoru. [54]

Tab. 21 Vyhodnocení stavu sledovaných vozidel [54]

Označení vozidla	Celkový počet naježděných km	Počet naježděných km na olej	Ohodnocení stavu
14	920 000	50 300	1
15	973 000	50 000	1
16	1 050 289	52 842	1
8	674 000	51 800	1,25
12	873 420	53 000	1,25
1	265 000	53 100	1,5
3	487 000	52 000	1,5
4	512 920	53 400	1,5
17	1 063 000	50 550	1,5
5	530 660	53 000	1,75
6	578 000	53 800	1,75
7	649 000	53 200	1,75
11	860 000	53 000	1,75
13	9 13 000	52 000	1,75
18	1 102 512	53 420	1,75
19	1 200 000	53 000	1,75
2	428 000	52 000	2
9	740 000	52 600	2
10	783 000	54 000	2,75
20	1 232 000	53 400	3

4.4 Mazací systémy motorů a vývoj

Mazací systémy motorů prošly značným vývojem. V dnešní době se u automobilů používá pouze tlakové mazání. Systémy, jako je mazání mastnou směsí či čerstvým olejem, se v dnešních automobilech nevyskytují. Tyto druhy mazání se používaly u vozidel s dvoudobým motorem. Dvoudobé motory jsou méně hospodárné, více hlučné, méně účinné a v motoru dochází k většímu teplotnímu namáhání. Tyto negativa vedla k tomu, že se téměř přestaly vyrábět. Výjimku tvoří motocykly s malým zdvihovým objemem a různé malé pracovní stroje a zařízení. Dále se budu věnovat jen současným systémům mazání automobilů, tedy tlakovému mazání, které je určeno pro čtyřdobé motory.

4.4.1 Tlakové mazání

U tlakového mazání je olej vytlačován olejovým čerpadlem na jednotlivá místa v motoru a vrací se zpět do olejové jímky (vany). Olej tedy motorem obíhá (cirkuluje), proto se tento systém někdy nazývá tlakové oběžné mazání.

Podle způsobu umístění zásoby oleje se tlakové mazání dělí na:

- mazání z klikové skříně (mazání s mokrou skříní),
- mazání z olejové nádrže (mazání se suchou skříní). [19]

4.4.1.1 Tlakové mazání z klikové skříně

Tlakové mazání z klikové skříně je běžně používané mazání dnešních vozidlových spalovacích motorů. Olejovou nádrží je spodní víko motoru (olejová vana).

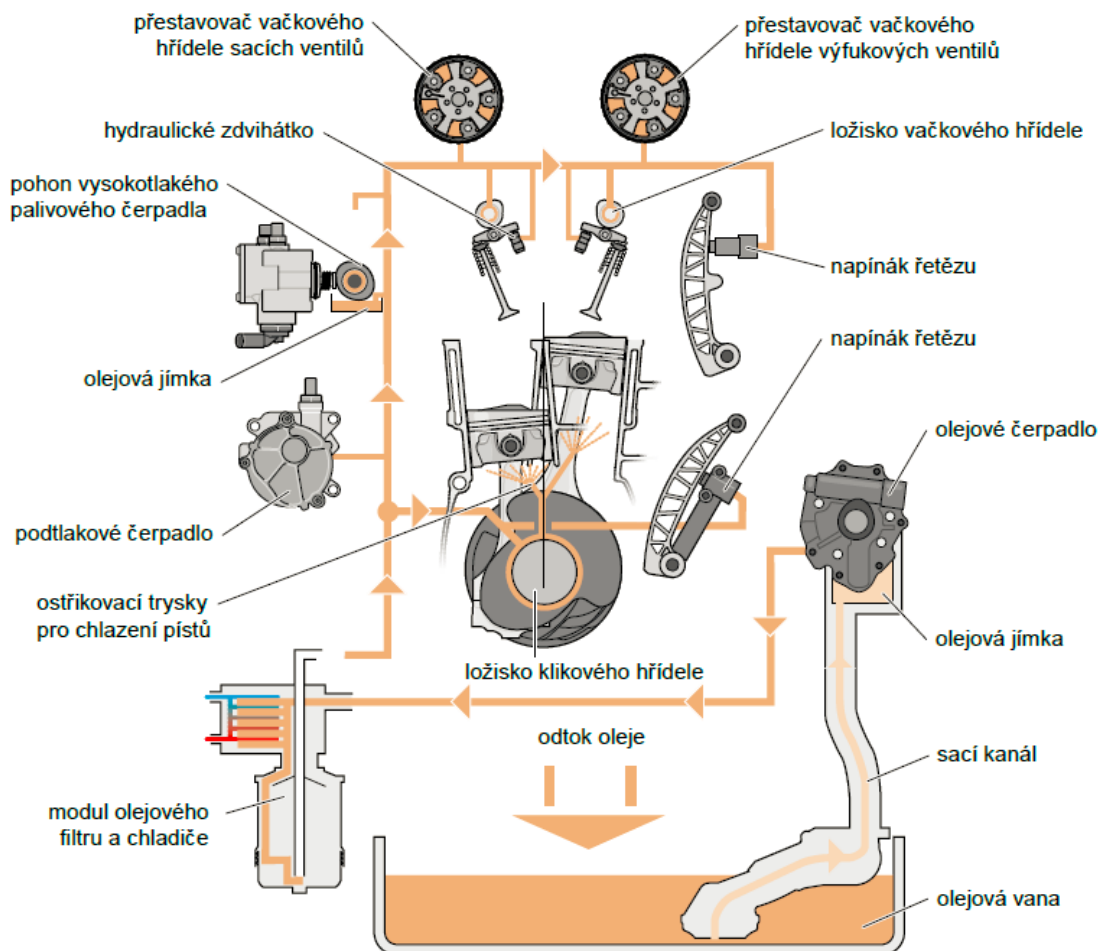
Princip mazání vysvětlím na motoru automobilu Škoda Superb II 3,6 l/191 kW FSI. Jedná se o šestiválcový vidlicový (VR konstrukce) atmosférický zážehový motor se čtyřventilovým rozvodem DOHC a elektronickým přímým vstřikováním benzínu (viz. **obr. 26**).



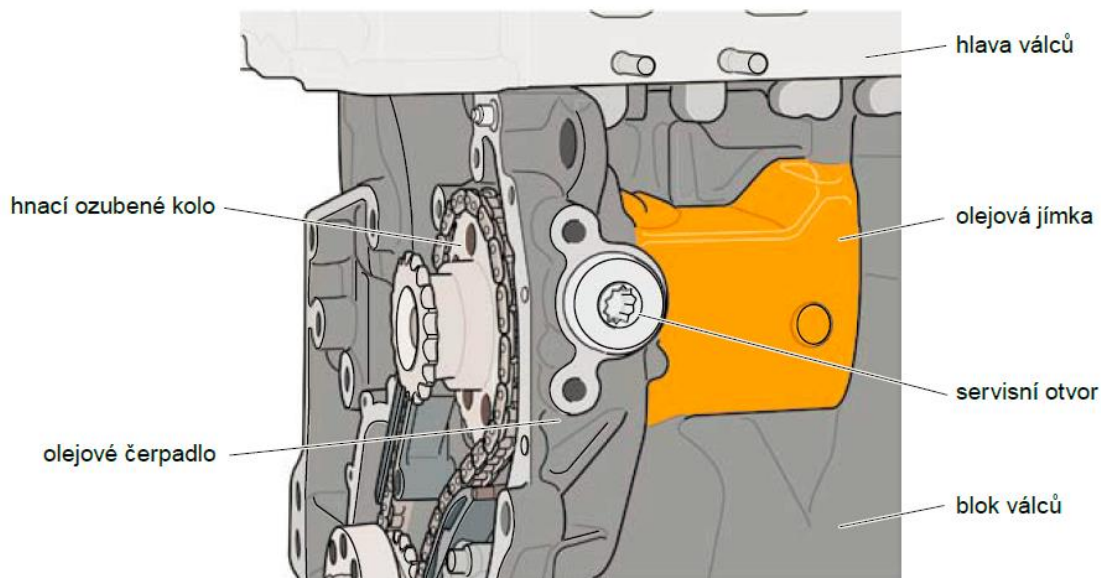
Obr. 31 Motor Škody Superb II 3,6 l/191 kW FSI [60]

Motorový olej je nasáván z olejové vany přes sací kanál, ve kterém je sací koš se sítkem, do duocentrického olejového čerpadla (duocentrické znamená, že středy vnitřního a vnějšího kola nejsou totožné), které je uloženo v bloku válců a je poháněno řetězem od hnacího kola klikového hřídele. Sací kanál je poměrně dlouhý, takže není úplně optimální pro první přívod oleje po nastartování motoru k jednotlivým součástem. Pro zaručení okamžitého mazání všech součástí slouží olejová jímka (**obr. 33**) za olejovým čerpadlem (olejová jímka je tvořena dutinou v hlavě válců za olejovým čerpadlem, má objem přibližně 280 ml a zůstává naplněna olejem i po vypnutí motoru). Z olejového čerpadla je olej vytlačován kolem redukčního (regulačního) ventilu do olejového čističe (filtru) a chladiče. Za olejovým čističem a chladičem se olejový kanál dělí na dvě větve. První větví proudí vyčištěný olej do jednotlivých hlavních ložisek klikového hřídele a do spodního napínáku řetězu. Z hlavních ložisek klikového hřídele je olej vytlačen do ostřikovacích trysek pro chlazení pístů. Druhou větví prochází olej přes podtlakové čerpadlo do pohonu vysokotlakého palivového čerpadla (za vysokotlakým palivovým čerpadlem je také jímka z důvodu zaručení okamžitého mazání po nastartování motoru) a dále do přestavovače vačkového hřídele sacích ventilů, jednotlivých ložisek prvního vačkového hřídele a hydraulických zdvihátek. Z přestavovače vačkového hřídele sacích ventilů je olej dál tlačěn do přestavovače vačkového hřídele výfukových ventilů, jednotlivých ložisek druhého vačkového hřídele, hydraulických zdvihátek a nakonec do horního

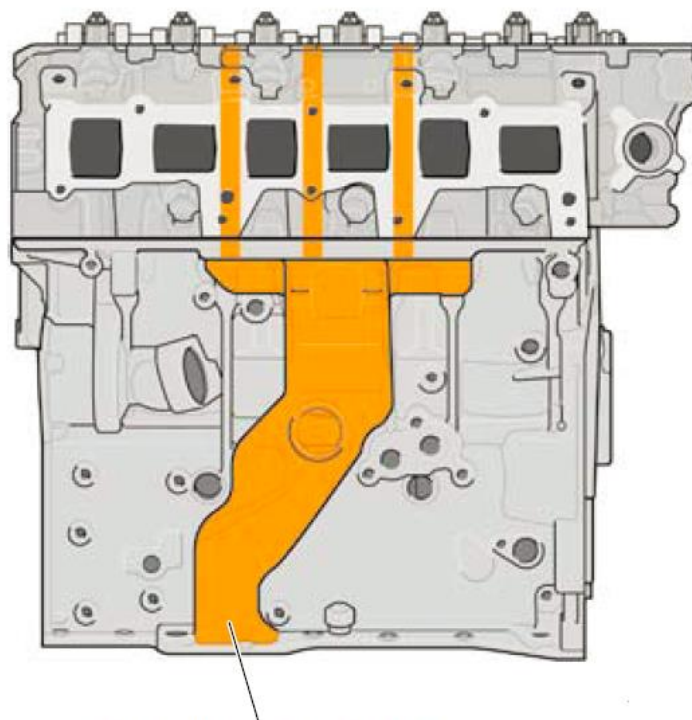
napínáku řetězu. Zpětné vedení oleje (**obr. 34**) je zajištěno třemi odtokovými kanály v hlavě válců, ze kterých se olej dále přivádí do centrálního odtokového kanálu v bloku válců a jím následně do olejové vany. Kromě centrálního odtokového kanálu je odvod oleje do olejové vany zajištěn přes šachtu řetězového rozvodu. Schéma mazací soustavy je zobrazeno na **obr. 32**. [60]



Obr. 32 Mazací systém Škody Superb II 3,6l/191 kW FSI [60]



Obr. 33 Duocentrické olejové čerpadlo s olejovou jímkou (Škoda Superb II 3,6l/191 kW FSI) [60]

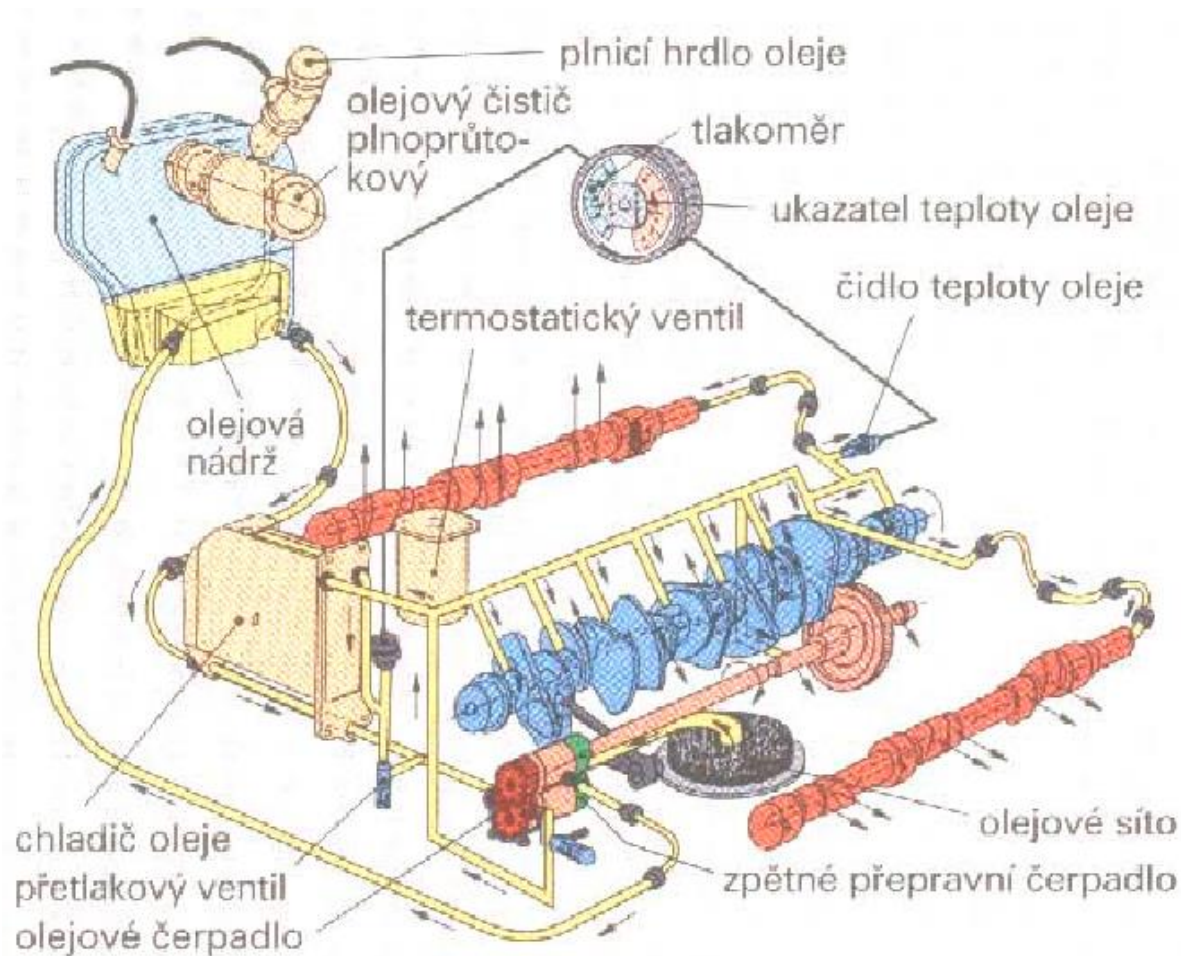


centrální odtokový kanál oleje

Obr. 34 Zpětné vedení oleje (Škoda Superb II 3,6l/191 kW FSI) [60]

4.4.1.2 Tlakové mazání z olejové nádrže

Tlakové mazání z olejové nádrže (**obr. 35**) se mnohdy používá u motorů pro terénní vozidla, traktory a sportovní vozy. Olejovou nádrž netvoří spodní víko motoru, ale samostatná olejová nádrž, protože při velkých náklonech a rychlých průjezdech zatáčkou by se olej ve spodním víku přeléval, a to by mohlo způsobit vyořování sacího koše olejového čerpadla. Olejové čerpadlo by nasálo vzduch, a motor by nebyl mazán. Olejová nádrž je umístěna buď přímo na spodním víku motoru, nebo je umístěna mimo motor, v rámu či karoserii vozidla. Olej je dopravován z olejové nádrže výtlačným olejovým čerpadlem k mazaným místům motoru. Olej v motoru stéká do spodní části klikové skříně, odkud je nasáván sacím olejovým čerpadlem a dopravován zpět do olejové nádrže. Tento způsob mazání zaručuje lepší chlazení oleje. [19] [8]



Obr. 35 Schéma tlakového mazání z olejové nádrže [6]

4.4.1.3 Komponenty tlakového mazání

Mazací systém se skládá z těchto komponent:

- olejová jímka (vana),
- olejové čerpadlo,
- redukční ventil,
- tlakoměr oleje a kontrolka tlaku oleje,
- chladič oleje,
- čistič oleje,
- přepouštěcí ventil.

4.4.1.3.1 Olejová jímka (vana)

Olejovou jímku tvoří spodní víko motoru a uchovává zásobu motorového oleje. V olejové jímce musí být zaručeno spolehlivé nasávání oleje, proto často mívá příčky, které zabraňují přelévání oleje k jedné straně vlivem dynamických účinků. Povrch olejové jímky slouží jako chlazení olejové zásoby. Mezi spodním víkem motoru a klikovou skříní musí být těsnění, většinou ve formě silikonového těsnícího tmelu. [6]

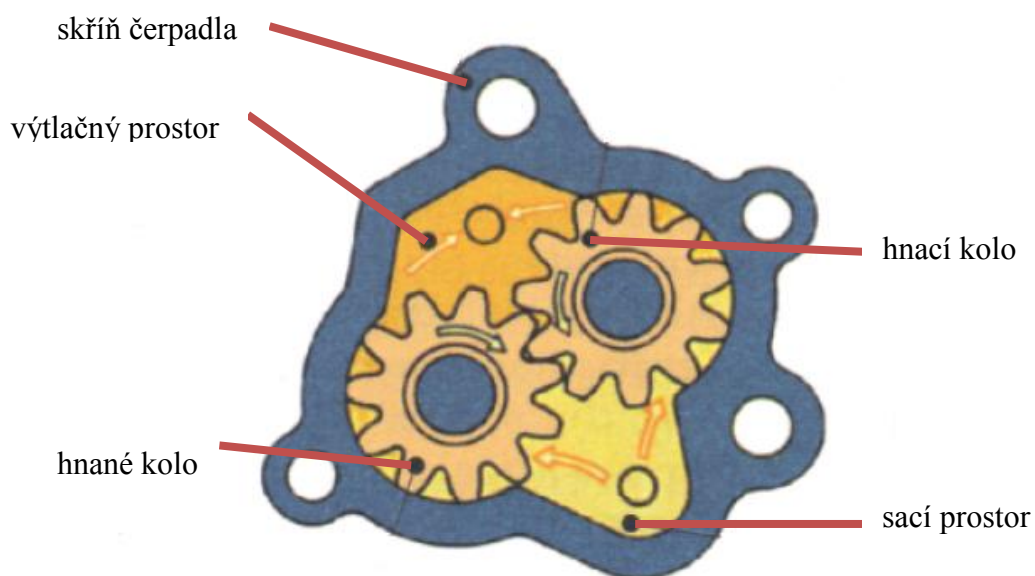
4.4.1.3.2 Olejové čerpadlo

Olejová čerpadla jsou nejčastěji poháněna rozvodovým řemenem, řetězem nebo přímo od klikového hřídele. Nejnovější olejová čerpadla mají elektrický pohon, aby se snížily ztráty

v motoru, a zvýšila se tak jeho účinnost. Úkolem čerpadla je zajistit při velkém čerpaném množství (zhruba 250 až 350 l/h) dostatečný tlak oleje, aby byl rozveden na všechna potřebná místa.

Princip olejových čerpadel spočívá v tom, že na vstupu (sací prostor) je vytvořen dostatečný podtlak pro nasátí oleje z olejové vany a na konci (výtláčny prostor) je vytvořen přetlak potřebný pro rozvod oleje.

Olejových čerpadel je několik druhů. Nejjednodušším olejovým čerpadlem je čerpadlo zubové. V dnešní době se téměř nepoužívá. Podtlak a přetlak je zde vyvolán záběrem dvou ozubených čelních kol s přímými zuby. Princip funkce je zobrazen na **obr. 36**.



Obr. 36 Zubové olejové čerpadlo [19]

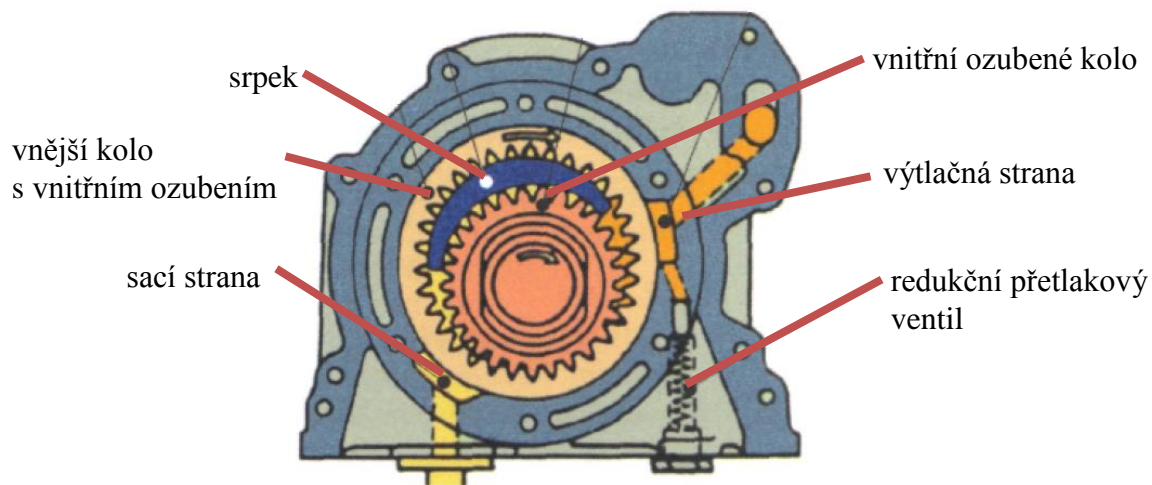
Novější druhy olejových čerpadel, jako je olejové čerpadlo s vnitřním ozubením (srpkové), trochoidní rotační olejové čerpadlo a rotační olejové čerpadlo G (duocentrické), vycházejí z konstrukce olejového zubového čerpadla.

Olejové čerpadlo s vnitřním ozubením (srpkové) má vnitřní hnací ozubené kolo, které je umístěno přímo na klikové hřídeli. Vnější poháněné ozubené kolo je umístěno vzhledem k vnitřnímu excentricky (mimo střed). Tímto uspořádáním je zajištěn sací a výtláčny prostor, který je oddělen tělesem srpku. Výhodou tohoto čerpadla je vyšší přepravní výkon oleje, zejména při nízkých otáčkách, a absence pohonu rozvodovým řemenem či řetězem. Princip funkce je zobrazen na **obr. 37**. [6] [19]

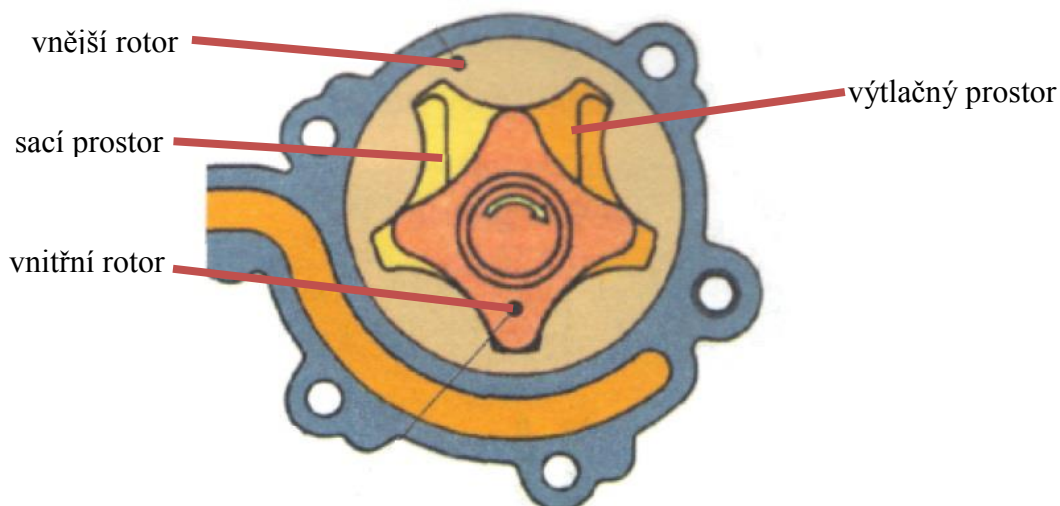
Trochoidní rotační olejové čerpadlo se skládá z vnějšího rotoru a vnitřního excentricky uloženého rotoru. Oba rotory mají malý počet zubů, vnitřní rotor má o jeden zub méně a je obvykle poháněn přímo klikovou hřídelí. Ozubení vnitřního rotoru je tvarováno tak, aby se dotýkalo každého zubu vnějšího rotoru a vzniklé prostory mezi rotory byly řádně utěsněny. Otáčením rotorů se sací prostor zvětšuje (čerpadlo olej nasává) a výtláčny prostor zmenšuje (čerpadlo olej vytlačuje). Díky tomu, že má čerpadlo více tlakových komor, tak pracuje rovnoměrněji než zubové olejové čerpadlo a olejové čerpadlo s vnitřním ozubením. Princip funkce je zobrazen na **obr. 38**. [6] [19]

Rotační olejové čerpadlo G (duocentrické) je obdobou trochoidního čerpadla s tím rozdílem, že má větší počet zubů. Díky většímu počtu zubů zajišťuje čerpadlo větší přepravované

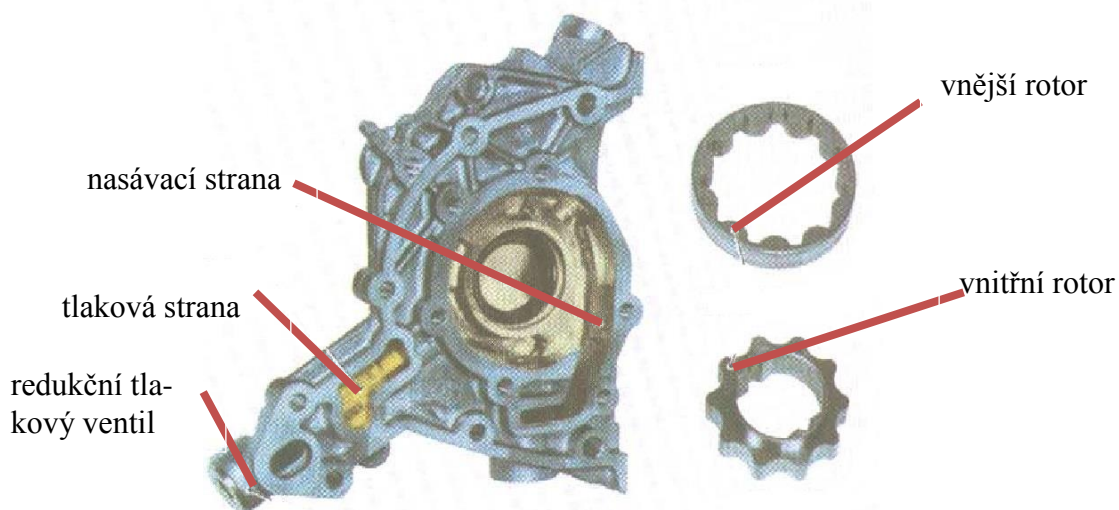
množství oleje při velmi nízkých otáčkách. Z tohoto důvodu je umožněno snížení otáček chodu naprázdno. Princip funkce je zobrazen na **obr. 39**. [6]



Obr. 37 Olejové čerpadlo s vnitřním ozubením (srpkové) [19]



Obr. 38 Trochoidní rotační olejové čerpadlo [19]



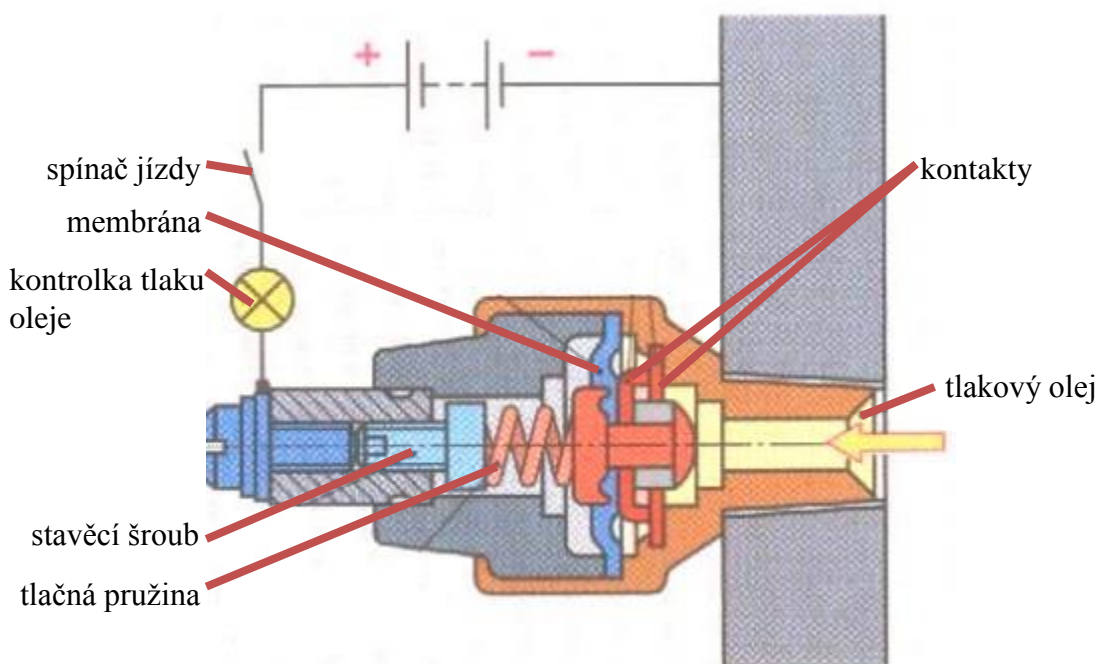
Obr. 39 Rotační olejové čerpadlo G (duocentrické) [6]

4.4.1.3.3 Redukční ventil

Redukční ventil je těleso opatřené kuličkou a tlačnou pružinou. Je umístěn za olejovým čerpadlem, buď v tělese čerpadla, nebo v bloku motoru. Redukční ventil zabraňuje vstupu příliš vysokému tlaku (zhruba větší než 0,5 MPa) do mazacích míst motoru. Příliš vysoký tlak totiž způsobuje poškození těsnění, olejového vedení a olejové hadice k chladiči a čističi oleje. Regulace tlaku probíhá stlačením pružiny kuličkou, na kterou tlačí vysoký tlak oleje. Stlačením pružiny dochází k pootočení či úplnému otevření (při maximálním tlaku oleje) kanálku, který vede zpět do olejové vany. Tímto způsobem je zajištěn stálý tlak v mazací soustavě. [6] [61]

4.4.1.3.4 Tlakoměr oleje a kontrolka tlaku oleje

V mazací soustavě musí být minimální tlak oleje zhruba 0,05 MPa. Pokud by byl tlak oleje nižší, docházelo by k nedostatečnému mazání v motoru. Z tohoto důvodu musí být v mazací soustavě umístěn spínač tlaku oleje a varovná kontrolka tlaku oleje na přístrojové desce. Pokud olej tlačí dostatečným tlakem na membránu spínacího kontaktu, tak se přeruší spojení na kostru vozidla, obvod kontrolky se tím rozpojí a zhasne. Pokud u nastartovaného vozidla svítí, je nutné ihned zastavit motor a zjistit příčinu poklesu tlaku. Funkce kontrolky se kontroluje vždy před nastartováním vozidla, když je klíček v první poloze. Varovná kontrolka tlaku oleje se rozsvítí a po třech sekundách zhasne. Princip funkce olejového tlakového spínače je zobrazen na **obr. 40**. [6] [19]



Obr. 40 Olejový tlakový spínač kontrolky tlaku oleje [6]

4.4.1.3.5 Chladič oleje

Činnost chladiče oleje a jeho druhy byly již popsány v kapitole [3.2. Chlazení](#).

4.4.1.3.6 Čistič oleje

Účelem čističe oleje je zamezení předčasného zhoršení kvality motorového oleje vlivem cizích pevných částic (částice vzniklé kovovým otěrem, saze, vniknutí prachových částic). Tím se zamezí mechanickému opotřebení motoru a dochází k prodloužení výměny oleje. Olejové

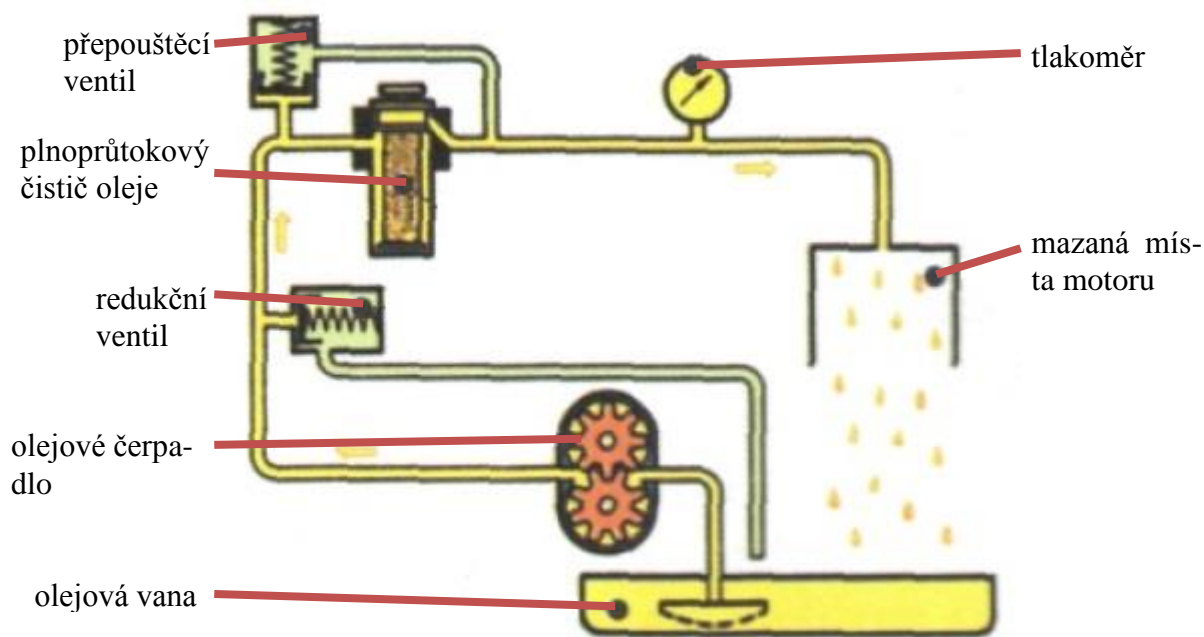
čističe však nemohou zachytit kapalně nečistoty v oleji a nemají vliv na změny chemických a fyzikálních vlastností oleje.

Podle umístění v toku oleje rozlišujeme plnopřítokové a obtokové čističe oleje.

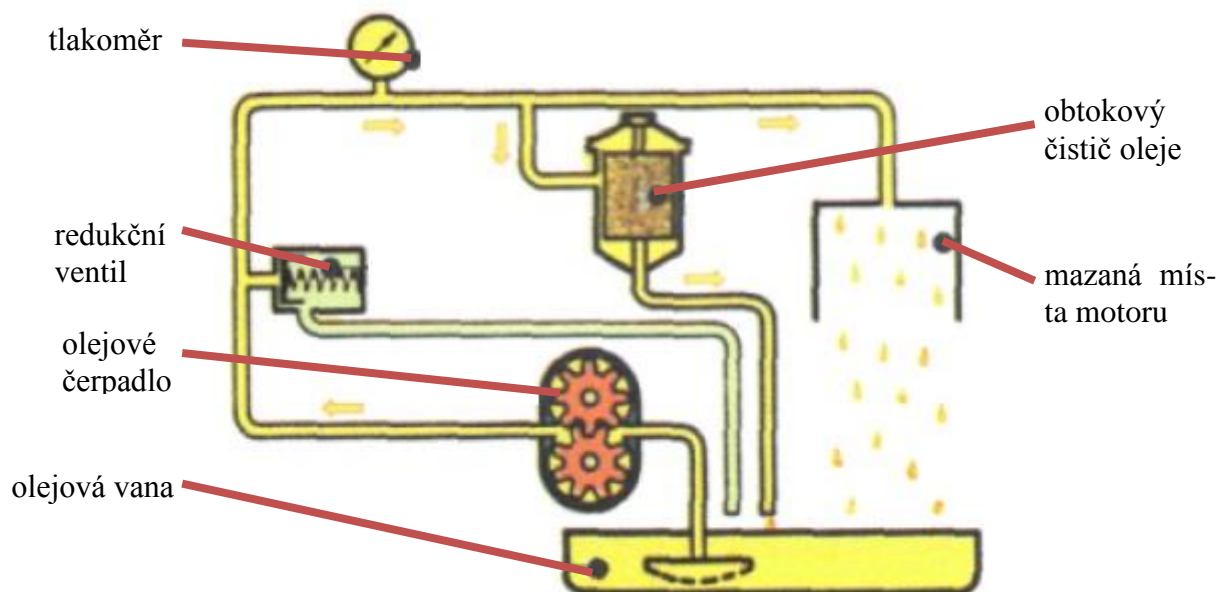
Plnopřítokovým čističem oleje (**obr. 41**) protéká všude olej, ještě než se dostává k mazaným místům. Tím je zaručeno, že každá nebezpečná částice je oddělena již při prvním průtoku čističem. V dnešní době, kdy se velice dbá na snižování opotřebení motoru, je tento čistič nezbytnou nutností moderního automobilu.

Obtokovým čističem oleje (**obr. 42**) protéká vždy pouze část objemu oleje (okolo 10%) vytlačeného olejovým čerpadlem. Obtokový čistič je připojen paralelně na hlavní olejový kanál. K mazacím místům tedy proudí i nevyčištěný olej. Výhodou tohoto způsobu je intenzivnější a pomalejší čištění oleje.

U vozidel se vznětovými motory se používá kombinace plnopřítokového a obtokového čističe. Touto kombinací je zajištěna vysoká ochrana před opotřebením a intenzivní čištění oleje.



Obr. 41 Umístění plnopřítokového čističe oleje v mazacím systému motoru [19]

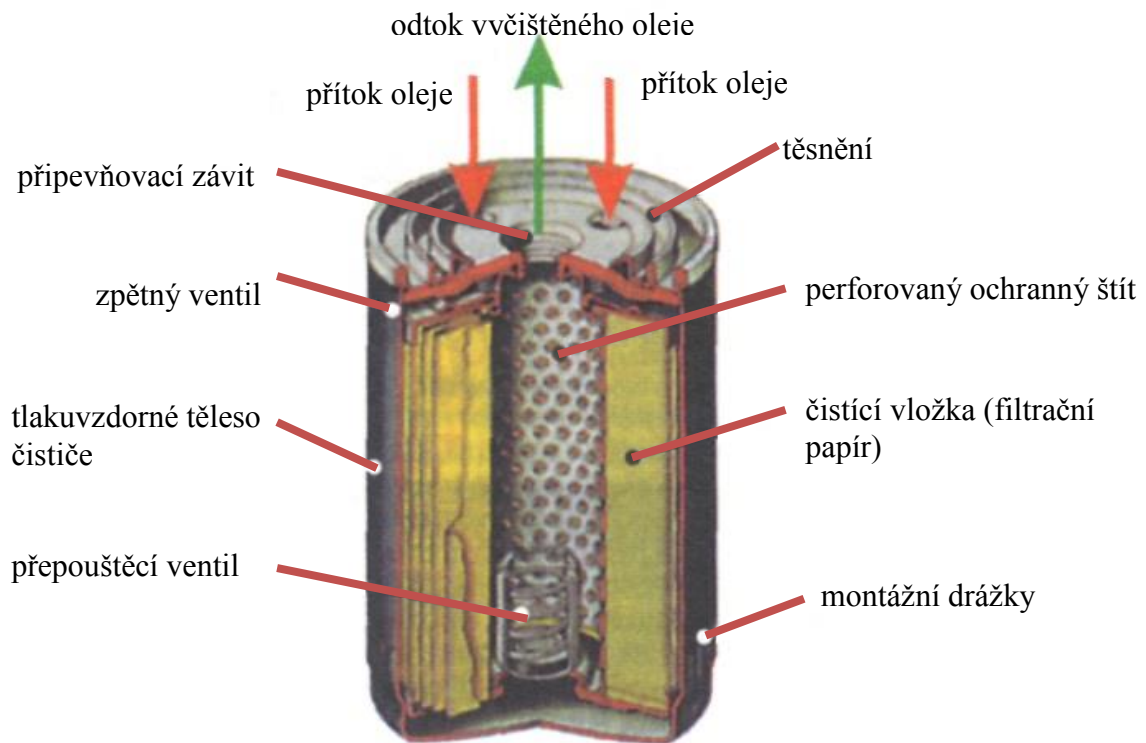


Obr. 42 Umístění obtokového čističe oleje v mazacím systému motoru [19]

K čištění oleje se používají filtry, filtrační čističe s rozdílnou průchodností. Podle konstrukce se dělí na čističe štěrbinové, síťové, čističe s papírovou čistící vložkou a odstředivé čističe.

V současnosti se používají čističe s papírovou vložkou, zbylé konstrukce jsou zastaralé a nehodí se pro použití v plněprůtokovém čističi oleje.

Čističe s papírovou vložkou se používají nejčastěji pro jemné čištění oleje. Jejich rozměry jsou navrženy tak, aby byl jejich průtočný odpor co nejmenší při zachování dobré čistící schopnosti. Mohou být použity v plněprůtokovém i obtokovém systému. Obtokové jsou vyráběny jako rozebiratelné, mění se tedy jen papírová čistící vložka. Plněprůtokové (**obr. 43**) se vyrábí jako celistvé, mění se tedy celé. Musí být vybaveny přepouštěcím ventilem, který i při neprůchodnosti čističe zajišťuje dostatečné mazání motoru. Zpětný ventil brání samovolnému vypuštění oleje po zastavení motoru, při nastartování zajišťuje okamžité mazání motoru. Čistící vložka je tvořena hvězdicově složeným filtračním papírem, je umístěna v tělese čističe. Tyto čističe mají vysokou čistící schopnost, odstraňují nečistoty do průměru 0,001 mm. Olej vstupuje do čističe z vnější strany vložky, prochází jí a je odváděn dutým připevňovacím šroubem. Snahou výrobců je, aby byl olejový čistič co nejjednodušeji vyměnitelný a aby po své životnosti šel co nejvíce ekologicky zlikvidovat. Někdy bývá k tělesu čističe oleje přímo připojen tepelný výměník olej-chladicí kapalina. [6] [19]



Obr. 43 Nerozebíratelný plnoprůtokový čistič oleje [19]

4.4.1.3.7 Přepouštěcí ventil

Přepouštěcí ventil bývá umístěn v tělese plnoprůtokového čističe oleje. Jeho úkolem je zajistit dodávku oleje, i když je ucpaná filtrační vložka. Může tedy propouštět nepročištěný olej k mazaným místům. Přepouštěcí ventil je zobrazen na **obr. 43**. [6]

5 Konstrukční návrh vybrané komponenty

Jako konstrukční návrh jsem si vybral redukční ventil, protože se domnívám, že je to jedna z nejdůležitějších součástí mazací soustavy.

5.1 Výpočet redukčního ventilu

5.1.1 Hrubý výpočet tuhosti pružiny a průměru přepouštěcího kanálku

Dané parametry:

otevírací tlak redukčního ventilu $P_1 = 0,5$ MPa,
maximální tlak olejového čerpadla $P_2 = 0,9$ MPa.

Zvolené parametry:

průměr vstupního kanálu $d_1 = 6$ mm,
průměr kuličky $d_2 = 10$ mm,
deformace tlačné pružiny při působení síly F_1 (tlaku P_1) $x_1 = 5$ mm.

Otevírací síla F_1

$$P_1 = \frac{F_1}{S} \Rightarrow F_1 = P_1 \cdot S = P_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{2} = \mathbf{78,54 \text{ N}}$$

Plocha S je pro zjednodušení brána jako polovina koule, i když průměr kanálku d_1 je 6 mm. Protože mezi kanálkem d_1 a d_2 je pozvolný přechod a tlak P_1 působí téměř ihned na polovinu koule vlivem deformace tlačné pružiny.

Tuhost pružiny k

$$F_1 = k \cdot x_1 \Rightarrow k = \frac{F_1}{x_1} = \frac{78,54}{5} = \mathbf{15,71 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}$$

Maximální síla F_2

$$F_2 = P_2 \cdot S = P_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{2} = 0,9 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{2} = \mathbf{141,37 \text{ N}}$$

Průměr přepouštěcího kanálku d_3

Pro výpočet průměru přepouštěcího kanálku d_3 je nejprve třeba spočítat deformaci tlačné pružiny při maximální síle F_2 . Tlačná pružina je lineární, a proto musí mít konstantní tuhost k . Průměr přepouštěcího kanálku se spočítá z rozdílu deformací x_1 a x_2 .

$$F_2 = k \cdot x_2 \Rightarrow x_2 = \frac{F_2}{k} = \frac{141,37}{15,71} = \mathbf{9 \text{ mm}}$$

$$d_3 = x_2 - x_1 = 9 - 5 = \mathbf{4 \text{ mm}}$$

5.1.2 Výpočet tlačné pružiny

Dané parametry:

tuhost pružiny $k = 15,71 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,
maximální síla $F_2 = 141,37 \text{ N}$,
maximální deformace pružiny $x_2 = 9 \text{ mm}$.

Zvolené parametry:

Tažený ocelový patentovaný drát na pružiny, třída SH, ČSN EN 10270-1

- modul pružnosti ve smyku $8,05 \cdot 10^4$ MPa,
- pevnost v tahu $\sigma_t = 2100-2340$ MPa \rightarrow zvoleno 2100 MPa,
- součinitel bezpečnosti $s_k = 1,5$.

poměr $D/d = 4 \div 16 \rightarrow$ zvoleno 5.

Výpočet dovoleného napětí v krutu τ_{Dk}

$$\sigma_{Dt} = \frac{\sigma_t}{s_k} = \frac{2100}{1,5} = \mathbf{1400 \text{ MPa}}$$
$$\tau_{Dk} = (0,7 - 0,8) \cdot \sigma_{Dt} = 0,75 \cdot 1400 = \mathbf{1050 \text{ MPa}}$$

Výpočet průměru drátu tlačné pružiny d a průměru tlačné pružiny D

$$\tau_k = \frac{8 \cdot F_2 \cdot D}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot F_2 \cdot 5 \cdot d}{\pi \cdot d^3} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{40 \cdot F_2}{\pi \cdot \tau_k}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 141,37}{\pi \cdot 1050}} = \mathbf{1,31 \text{ mm}}$$

\rightarrow volím **1,6 mm**

$$\frac{D}{d} = 6 \Rightarrow D = 5 \cdot d = 5 \cdot 1,6 = \mathbf{8 \text{ mm}}$$

Výpočet počtu pružících závitů n

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} \Rightarrow n = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot k} = \frac{8,05 \cdot 10^4 \cdot 1,6^4}{8 \cdot 8^3 \cdot 15,71} = \mathbf{8,2}$$

\Rightarrow **8,25 pružících závitů + 2 závěrné**

Kontrola výpočtů

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{8,05 \cdot 10^4 \cdot 1,6^4}{8 \cdot 8^3 \cdot 8,25} = \mathbf{15,61 \frac{N}{mm}}$$

$$x_2 = \frac{F_2}{k} = \frac{141,37}{15,61} = \mathbf{9,06 \text{ mm}}$$

$$\tau_k = \frac{8 \cdot F_2 \cdot D}{\pi \cdot d^3} \cdot q = \frac{8 \cdot F_2 \cdot D}{\pi \cdot d^3} \cdot \frac{\frac{D}{d} + 0,2}{\frac{D}{d} - 1} = \frac{8 \cdot 141,37 \cdot 8}{\pi \cdot 1,6^3} \cdot \frac{\frac{8}{1,6} + 0,2}{\frac{8}{1,6} - 1} = \mathbf{914,05 \text{ MPa}}$$

$\tau_k < \tau_{Dk} \Rightarrow$ výpočet vyhovuje

Výpočet dosedové délky pružiny L_d

$$L_d = d \cdot (n + n_z) = 1,6 \cdot (8,25 + 2) = \mathbf{16,4 \text{ mm}}$$

Výpočet maximální pracovní délky pružiny L_p

$$L_p = 1,1 \cdot L_d = 1,1 \cdot 16,4 = \mathbf{18,04 \text{ mm}}$$

Výpočet volné délky pružiny L_0

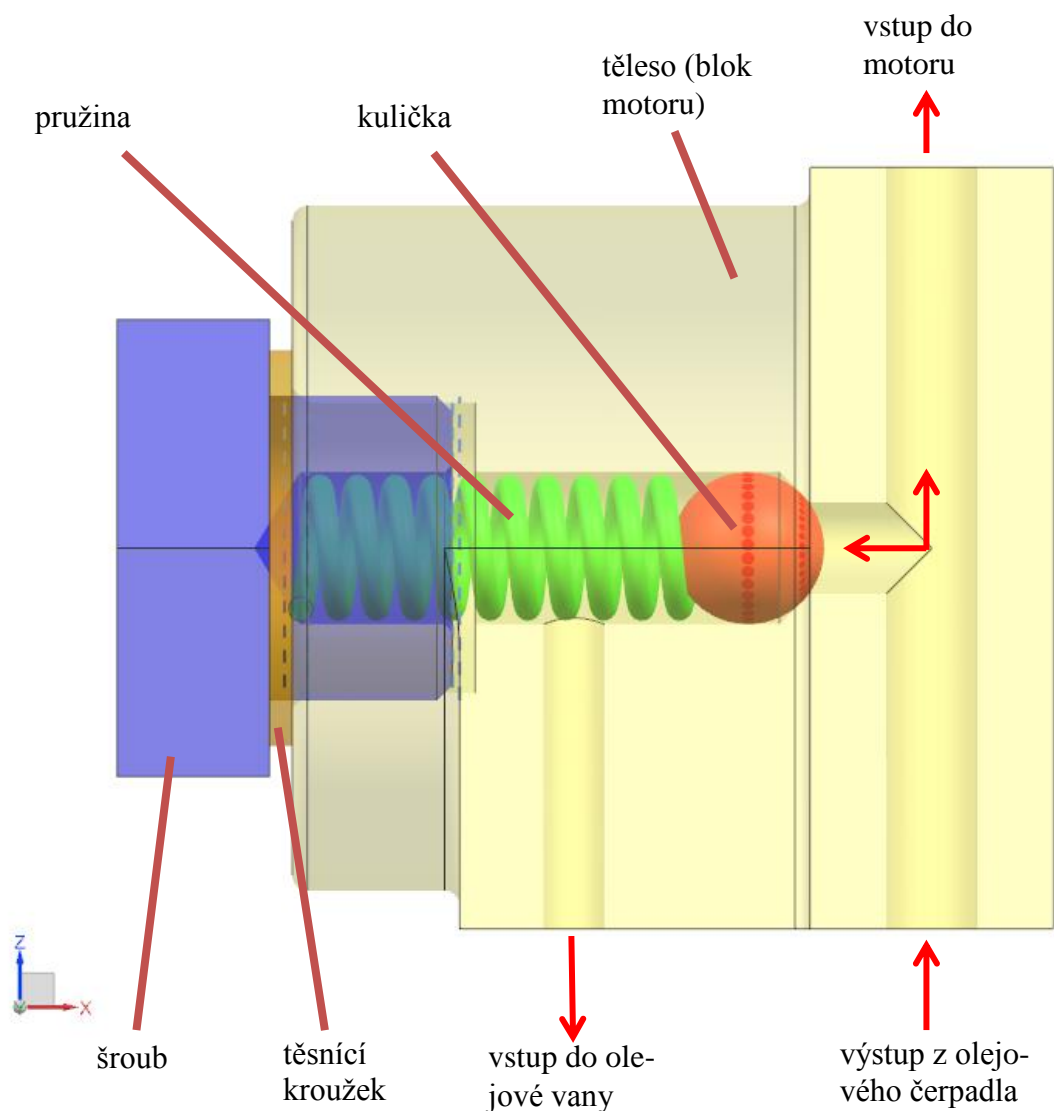
$$L_0 = L_p + x_2 = 18,04 + 9,06 = 27,1 \text{ mm}$$

5.1.3 Výpočet šroubu

Vzhledem k relativně nízkému tlaku není potřeba šroub nijak pevnostně navrhovat. Kvůli bezpečnosti proti vypadnutí bylo zvoleno jemnější stoupání závitu (M20 x 1).

5.2 Návrh redukčního ventilu

Návrh redukčního ventilu byl vytvořen v CAD systému Siemens NX 9.0. Navržený redukční ventil je zobrazen na **obr. 44**.



Obr. 44 Návrh redukčního ventilu v CAD systému NX

Závěr

S vývojem spalovacích motorů se vyvíjí i motorové oleje. Dříve nebyl motorový olej nijak klasifikován. Postupem času se zjistilo, že motorové oleje musejí mít rozdílné vlastnosti podle toho, v jakých venkovních teplotách jsou používány, tak vznikla viskózní klasifikace. Dále se zjistilo, že vznětové, zážehové dvoudobé a čtyřdobé motory potřebují také rozdílné vlastnosti pro svůj dokonalý chod, z tohoto důvodu se zavedla výkonnostní klasifikace. Vrcholem výkonnostní klasifikace je klasifikace výrobců vozidel (motorů), díky níž se nemusí motor navrhovat podle vlastností daného oleje, neboť pro daný motor se navrhuje co nejvíce vyhovující olej. Tento přístup vede k prodloužení výměnných intervalů oleje, snížení ztrát motoru a také k větší ekologičnosti.

V budoucnu by se měl klást větší důraz na tribodiagnostiku, která na základě stavu olejové náplně zjistí aktuální technický stav motoru. Tímto způsobem lze ušetřit mnoho peněz za opravy a snadno posoudit nutnost výměny olejové náplně.

V současné době se velice dbá na emise, které automobily se spalovacími motory vypouštějí do ovzduší. Automobilky se tedy snaží o co nejmenší spotřebu paliva, čehož se docílí snižováním energetických ztrát během spalovacího procesu. Ke snížení ztrát může přispět zavedení elektricky poháněného elektronicky řízeného olejového čerpadla, které nahradí současné mechanické olejové čerpadlo, závislé na otáčkách motoru.

Z práce plyne, že je nezbytné používat pouze takový motorový olej, jaký udává výrobce. Nikdo jiný než konstruktéři motoru nemohou vědět lépe, jaké vlastnosti má používaný olej mít. Do motorového oleje je proto naprosto nevhodné přidávat jakékoliv přísady, tzv. lubrikanty, které motoru mohou jen škodit.

Pro zajištění názornosti a srozumitelnosti uvedených informací a jejich souvislostí jsem do textu umístil větší množství obrázků, tabulek a grafů.

Důležitou součástí mé práce je konstrukční návrh redukčního ventilu olejového mazacího systému spalovacího motoru, včetně základních výpočtů potřebných pro stanovení rozměrů jednotlivých součástí.

Použité zdroje

- [1] **HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** *Příručka strojního inženýra : obecné strojní části 1.* Praha : Computer Press, 1999.
- [2] Fyzika.jreichl. *Smykové tření.* [Online] [Citace: 28. 10 2014.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/36-smykove-treni>.
- [3] Converter. *Smykové tření.* [Online] [Citace: 28. 10 2014.] <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>.
- [4] Fyzika.jreichl. *Valivý odpor.* [Online] [Citace: 28. 10 2014.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/37-valivy-odpor>.
- [5] Converter. *Valivé tření.* [Online] [Citace: 28. 10 2014.] <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>.
- [6] **GSCHEIDLE, R.** *Příručka pro automechanika.* Praha : Europa-Sobotáles, 2007.
- [7] Cappel. *Maziva.* [Online] [Citace: 2. 10 2014.] <http://www.cappo.cz/ropne-vyrobky/maziva/>.
- [8] **VLK, F.** *Paliva a maziva motorových vozidel.* Brno : Nakladatelství Vlk, 2006.
- [9] Wikipedia. *Oil.* [Online] [Citace: 12. 10 2014.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Oil>.
- [10] Wikipedia. *Minerální olej.* [Online] [Citace: 12. 10 2014.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD_olej.
- [11] **ČERNÝ, J.** *Autoexpert 11 Mazivářské mýty - mýtus třetí.* Praha : AutoPress, ročník 2004.
- [12] Wikipedia. *Syntetický olej.* [Online] [Citace: 12. 10 2014.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Syntetick%C3%BD_olej.
- [13] Ekolube, s. r. o.. *Základové oleje.* [Online] [Citace: 10. 11 2014.] <http://www.oleje.cz/clanek/Zakladove-oleje>.
- [14] **ČERNÝ, J.** *Autoexpert 9 Mazivářské mýty - mýtus první.* Praha : AutoPress, ročník 2004.
- [15] Petroleum. *Zpracování ropy.* [Online] [Citace: 10. 11 2014.] <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-34.aspx>.
- [16] Ekolube, s. r. o.. *Aditiva.* [Online] [Citace: 20. 11 2014.] <http://www.oleje.cz/obsah/Aditiva>.
- [17] TechPark, o.z.. *Aditiva v motorových olejích.* [Online] [Citace: 20. 11 2014.] <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/aditiva-v-motorovych-olejich.html>.
- [18] Ekolube, s. r. o.. *Vlastnosti motorových olejů - Detergenty a disperzanty.* [Online] [Citace: 10. 10 2014.] <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Detergenty-a-disperzanty>.
- [19] **JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B.** *Automobily 3 - Motory.* Brno : AVID, 2007.
- [20] **ČERNÝ, J.** *Autoexpert 9 Mazivářské mýty - mýtus desátý.* Praha : AutoPress, ročník 2005.
- [21] **JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J.** *Automobily 2 - Převody.* Brno : Avid, spol. s r. o., 2009.
- [22] Wikipedia. *Hustoty látek.* [Online] [Citace: 26. 1 2015.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Hustoty_l%C3%A1tek.
- [23] **LINHART, J.** *Mechanika tekutin.* Plzeň : Západočeská univerzita, 2009.
- [24] Chemistscorner. *Fluid Viscosity for the Formulation Chemist.* [Online] [Citace: 29. 1 2015.] <http://chemistscorner.com/fluid-viscosity-for-the-formulation-chemist/>.

- [25] Converter. *Kinematická viskozita*. [Online] [Citace: 29. 1 2015.]
<http://www.converter.cz/tabulky/kinematicka-viskozita.htm>.
- [26] Wikipedia.org. *Tepelná vodivost*. [Online] [Citace: 29. 2 2015.]
http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost.
- [27] MAREŠ, R. *Kapitoly z termomechaniky*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2008.
- [28] fyzika.jreichl. *Měrná tepelná kapacita*. [Online] [Citace: 29. 1 2015.]
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/578-merna-tepelna-kapacita>.
- [29] Wikipedia. *Tepelná kapacita*. [Online] [Citace: 29. 1 2015.]
http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Brn%C3%A1_tepeln%C3%A1_kapacita.
- [30] Ekolube, s. r. o.. *Tribotechnické mýty*. [Online] [Citace: 31. 1 2015.]
<http://www.oleje.cz/clanek/Tribotechnicke-myty>.
- [31] Wikipedia. *Pour point*. [Online] [Citace: 31. 1 2015.]
http://en.wikipedia.org/wiki/Pour_point.
- [32] Anton Paar GmbH. *Cloud & Pour Point Tester: CAPP I*. [Online] [Citace: 1. 2 2015.]
<http://www.anton-paar.com/se-en/products/details/capp-i/>.
- [33] BestSyntheticOil. *AMSOIL 10w30 Comparative Testing*. [Online] [Citace: 2. 2 2015.]
<http://bestsyntheticoil.com/amsoil-comparison-testing/motor-oils-diesel-oils/amsoil-10w30-comparative-testing/>.
- [34] ČERNÝ, J. *Autoexpert 3 Mazivářské mýty - mýtus šestý*. Praha : AutoPress, ročník 2005.
- [35] Noria Corporation. *Oil Viscosity - How It's Measured and Reported*. [Online] [Citace: 1. 2 2015.]
<http://www.machinerylubrication.com/Read/411/oil-viscosity>.
- [36] Ekolube, s. r. o.. *Názvosloví z oboru*. [Online] [Citace: 1. 2 2015.]
<http://www.oleje.cz/clanek/Nazvoslovi-z-oboru>.
- [37] Ekolube, s. r. o.. *Vlastnosti motorových olejů - Kyselost a alkalita olejů*. [Online] [Citace: 1. 2 2015.]
<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Kyselost-a-alkalita-oleju>.
- [38] AMSOIL. *Amsoil vs. Mobil1*. [Online] [Citace: 2. 2 2015.]
http://oilsmore.com/amsoil_vs_mobil1.htm.
- [39] Ekolube, s. r. o.. *Vlastnosti motorových olejů - Oxidační stabilita, nitrace oleje*. [Online] [Citace: 9. 3 2015.]
<http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju--Oxidacni-stabilita--nitrace-oleje>.
- [40] ČERNÝ, J. *Autoexpert 6 Mazivářské mýty - mýtus osmý*. Praha : AutoPress, ročník 2005.
- [41] Tribotechnika. *Experimentální výzkum mazacích filmů na Ústavu konstruování FSI VUT v Brně*. [Online] [Citace: 5. 2 2015.]
<http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2007-1.pdf>.
- [42] Tribotechnika. *Mazání spalovacích motorů*. [Online] [Citace: 5. 2 2015.]
<http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2009-2.pdf>.
- [43] Wikipedia. *Pístní kroužek*. [Online] [Citace: 7. 2 2015.]
http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADstn%C3%AD_krou%C5%BEek.
- [44] Jepistons. *Main cutaway* [Online] [Citace: 7. 2 2015.]
http://www.jepistons.com/Images/Catalogs/ProSeal/main_cutaway.jpg.
- [45] Blog.nulon.com. *Blog.nulon.com.au*. [Online] [Citace: 7. 2 2015.]
http://blog.nulon.com.au/uploads/2013/09/3405054705_cfd27ca252_o.jpg.

- [46] Ekolube, s. r. o.. *Vlastnosti motorových olejů - Nečistoty a saze v motorovém oleji*. [Online] [Citace: 9. 2 2015.] <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju--Necistoty-a-saze-v-motorovem-oleji>.
- [47] Ekolube, s. r. o.. *Viskozita automobilových motorových olejů*. [Online] [Citace: 7. 4 2015.] <https://www.oleje.cz/clanek/Viskozita-automobilovych-motorovych-oleju>.
- [48] DOSY s.r.o.. *OLEJE specifikace*. [Online] [Citace: 8. 4 2014.] http://www.cinol.cz/userfiles/file/Informace_rady_tipy/OLEJE_specifikace.pdf.
- [49] Ekolube, s. r. o.. *Výkonnostní třídy automobilových motorových olejů*. [Online] [Citace: 8. 4 2015.] <https://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-motorovych-oleju>.
- [50] Ekolube, s. r. o.. *Porovnání klasifikací automobilových motorových olejů*. [Online] [Citace: 10. 4 2015.] <https://www.oleje.cz/clanek/Porovnani-klasifikaci-automobilovych-motorovych-oleju>.
- [51] ČERNÝ, J. *Autoexpert 1-2 Mazivářské mýty - mýtus pátý*. Praha : AutoPress, ročník 2005.
- [52] ČERNÝ, J. *Autoexpert 12 Mazivářské mýty - mýtus třináctý*. Praha : Autopress, ročník 2005.
- [53] Tribotechnika. *Tribologie a tribotechnika*. [Online] [Citace: 14. 4 2015.] <http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2007-1.pdf>.
- [54] Tribotechnika. *Určení stavu vozového parku s využitím tribodiagnostiky*. [Online] [Citace: 14. 4 2015.] <http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2008-1.pdf>.
- [55] Tribotechnika. *Analýza motorových olejů pomocí infračervené spektroskopie*. [Online] [Citace: 4. 14 2015.] <http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2009-1.pdf>.
- [56] Tribotechnika. *Analýza olejů pro prediktivní a proaktivní údržbu*. [Online] [Citace: 14. 4 2015.] <http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2014-2.pdf>.
- [57] Ekolube, s. r. o.. *Vlastnosti motorových olejů - Otěrové kovy*. [Online] [Citace: 15. 4 2015.] <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Oterove-kovy>.
- [58] Tribotechnika. *Opotřebenění strojů sledované pomocí analýz mazacích olejů*. [Online] [Citace: 15. 4 2015.] <http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2008-1.pdf>.
- [59] Ekolube, s. r. o.. *Vlastnosti motorových olejů - Voda a glykol v oleji*. [Online] [Citace: 15. 4 2015.] <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Voda-a-glykol-v-oleji>.
- [60] *Dílenská učební pomůcka zážehový motor 3,6 l/191 kW FSI*. [dokument] místo neznámé : ŠKODA AUTO a.s., 2008.
- [61] HOREJŠ, K., Motejl, V. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů II. díl*. Brno : Littera, 2008.
- [62] Schaeffler AG. Calculation 1. [Online] [Citace: 01. 11 2014.] http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/05_products_services/technicalbasics/calculation_1/00017B7F.jpg.
- [63] ECVV. *ecvv.com*. [Online] [Citace: 4. 2 2015.] <http://www.ecvv.com/product/81117.html>.

Seznam obrázků

Obr. 1 Síly působící při smykovém tření	11
Obr. 2 Síly působící při valivém tření	12
Obr. 3 Stribeckova křivka	14
Obr. 4 Suché tření	14
Obr. 5 Polosuché tření	14
Obr. 6 Kapalinné tření	15
Obr. 7 Blokové schéma výroby mazacích olejů.....	19
Obr. 8 Složení motorového oleje.....	20
Obr. 9 Newtonův zákon viskozity.....	25
Obr. 10 Kapalina s nízkou viskozitou (vlevo) a kapalina s vysokou viskozitou (vpravo).....	26
Obr. 11 Přístroj pro stanovení bodu tuhnutí motorového oleje CAPP I.....	29
Obr. 12 Test bodu tuhnutí motorových olejů SAE 10W-30 podle normy ASTM D-97.....	30
Obr. 13 Určení viskozitního indexu motorového oleje	31
Obr. 14 Test teploty hoření a teploty vzplanutí motorových olejů SAE 5W-30 podle normy ASTM D-92	32
Obr. 15 Ložisková pánev hlavního ložiska	34
Obr. 16 Chromatický interferogram mazaného třecího povrchu s mikrodutinami	35
Obr. 17 Teploty motorového oleje	36
Obr. 18 Chladič oleje chlazený vzduchem.....	36
Obr. 19 Chladič oleje chlazený kapalinou (tepelný výměník kapalina - olej)	37
Obr. 20 Řez pístu s pístními kroužky	38
Obr. 21 Porovnání nového pístu s ojnicí a opotřebených pístů s ojnicemi se značnou korozí. 39	
Obr. 22 Hraniční čerpací teploty olejů	42
Obr. 23 Orientační teploty, do jaké maximální venkovní teploty lze používat daný SAE olej 42	
Obr. 24 Rychlost zajištění mazání ložiska ventilového vahadla při použití motorových olejů Aral s různým zimním číslem.....	43
Obr. 25 Signály oxidace a nitrace v infračervených spektrech motorových olejů (Fabia 1.4, 16V)	52
Obr. 26 Obsah celkových nečistot.....	54
Obr. 27 Hladina opotřebení motoru	54
Obr. 28 Intenzita opotřebení motoru	54
Obr. 29 Bod vzplanutí	55
Obr. 30 Vyhodnocení stavu opotřebení motoru	55
Obr. 31 Motor Škody Superb II 3,6 l/191 kW FSI.....	57
Obr. 32 Mazací systém Škody Superb II 3,6l/191 kW FSI.....	58
Obr. 33 Duocentrické olejové čerpadlo s olejovou jímkou (Škoda Superb II 3,6l/191 kW FSI)	58
Obr. 34 Zpětné vedení oleje (Škoda Superb II 3,6l/191 kW FSI).....	59
Obr. 35 Schéma tlakového mazání z olejové nádrže.....	60
Obr. 36 Zubové olejové čerpadlo	61
Obr. 37 Olejové čerpadlo s vnitřním ozubením (srpkové).....	62
Obr. 38 Trochoidní rotační olejové čerpadlo	62
Obr. 39 Rotační olejové čerpadlo G (duocentrické).....	62
Obr. 40 Olejový tlakový spínač kontrolky tlaku oleje	63
Obr. 41 Umístění plnopřtokového čističe oleje v mazacím systému motoru.....	64
Obr. 42 Umístění obtokového čističe oleje v mazacím systému motoru	65
Obr. 43 Nerozebíratelný plnopřtokový čistič oleje	66
Obr. 44 Návrh redukčního ventilu v CAD systému NX	69

Seznam tabulek

Tab. 1	Hodnoty statického a kinematického smykového tření pro různé materiály	11
Tab. 2	- Hodnoty ramena valivého odporu pro různé kombinace materiálů.....	12
Tab. 3	Délka řetězců uhlovodíků	18
Tab. 4	Hodnoty hustot látek	24
Tab. 5	Hodnoty kinematické viskozity kapalin.....	26
Tab. 6	Hodnoty tepelné vodivosti	28
Tab. 7	Hodnoty měrné tepelné kapacity.....	28
Tab. 8	Tvary pístních kroužků	38
Tab. 9	Viskózní klasifikace SAE J 300	41
Tab. 10	Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro zážehové motory	44
Tab. 11	Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro vznětové motory	45
Tab. 12	Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro dvoudobé motory	46
Tab. 13	Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro zážehové a vznětové motory	47
Tab. 14	Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro zážehové a vznětové motory osazené částicovými filtry	47
Tab. 15	Přehled výkonnostních tříd motorových olejů API pro vznětové motory těžkých vozidel.....	48
Tab. 16	Výkonnostní specifikace ACEA a jejich požadavky na chemické složení oleje a viskozitu HTHS	48
Tab. 17	Přehled Výkonnostní klasifikace VW	49
Tab. 18	Možné zdroje jednotlivých prvků stanovených v mazacím oleji.....	51
Tab. 19	Hodnoty vlnočtu sledovaných parametrů.....	53
Tab. 20	Limitní hodnoty pro motorové oleje vznětových motorů	54
Tab. 21	Vyhodnocení stavu sledovaných vozidel.....	56

Seznam příloh

Příloha č. 1 - výrobní výkres pružiny:	KKS-BP-003
Příloha č. 2 - výrobní výkres šroubu:	KKS-BP-004
Příloha č. 3 - výkres sestavy redukčního ventilu:	KKS-BP-01
Příloha č. 4 - CD s bakalářskou prací a CAD daty redukčního ventilu	

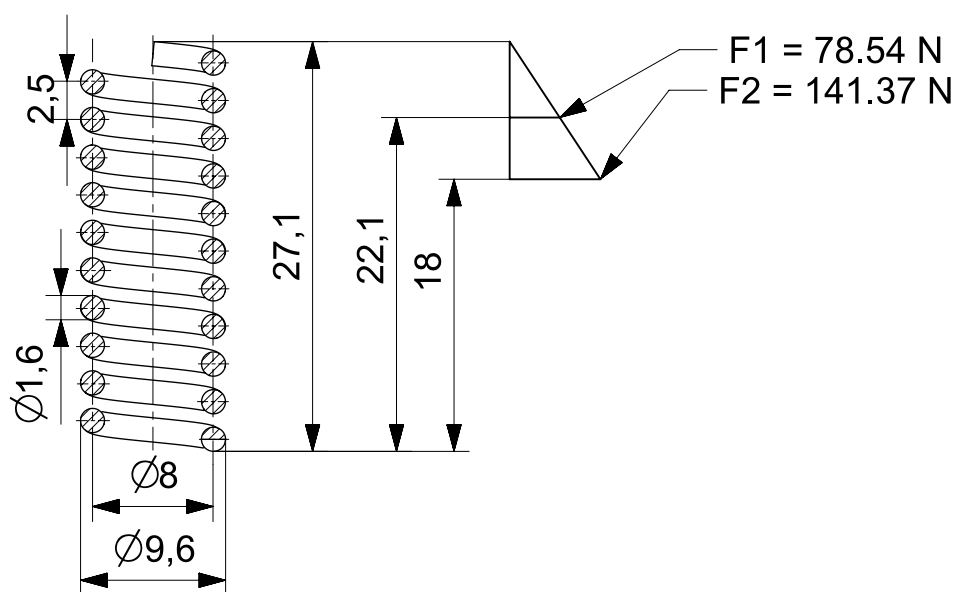
4

3

2

1

ÚDAJ	HODNOTA
POČET ČINNÝCH ZÁVITŮ	8,25
CELKOVÝ POČET ZÁVITŮ	10,25
SMĚR VINUTÍ ŠROUBOVICE	RH
TVAR KONCŮ	A
ÚPRAVA POVRCHU	FOSFÁTOVÁNO
TUHOST	15,61 N/mm
ROZVINUTÁ DÉLKA	258,7 mm



Ø 1,6 x 258,7

ČSN EN 10270-1
ČSN EN 10270-1

0,004

KKS-BP-01

3

Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	6.6.2015	MRÁZ		
Prezkoušel / Checked by				
Schválil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature



FAKULTA STROJNI
ZAPADOČESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

Poznámka / Note:

Tolerance / Tolerovani		Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale	
ISO 8015 ISO 2768mK		pruzina				2:1	
Soubor-vykres / DRW-file		pruzina		C.sestavy / Assembly No.			
Nazev / Title				Rev.		Cislo vykresu / Drawing No.	
PRUŽINA						KKS-BP-003	
				List / sheet no.		Pocet listu / sheets	
				1		1	
						Format	
						297.0 x 210.0	

4

3

2

1

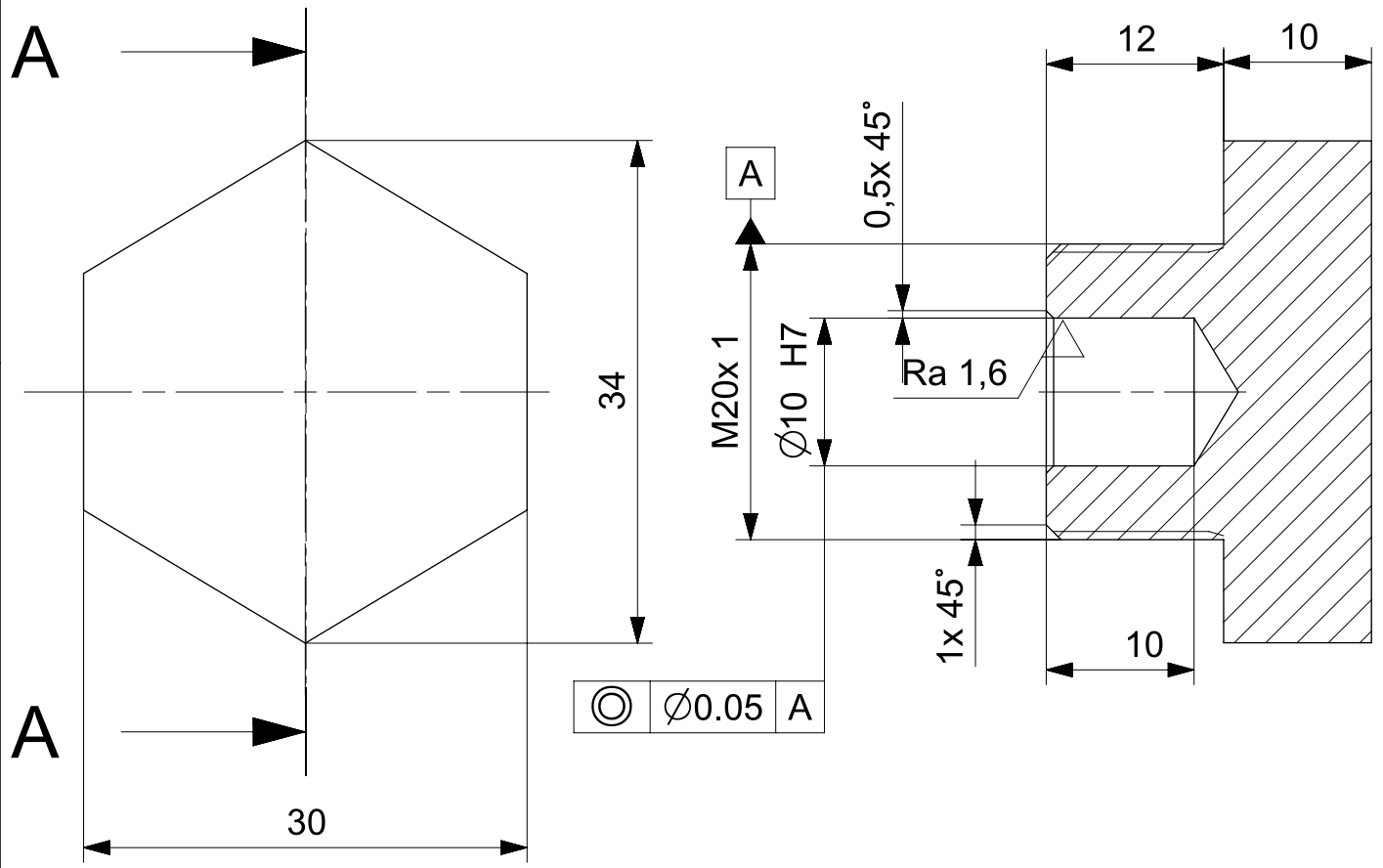
4

3

2

1

REZ A-A



		KR 36-25	ČSN 11 600 ČSN 11 600		0,081	0,9	KKS-BP-01	5
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	6.6.2015	MRÁZ			
Prezkoušel / Checked by					
Schválil / Approved by					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:

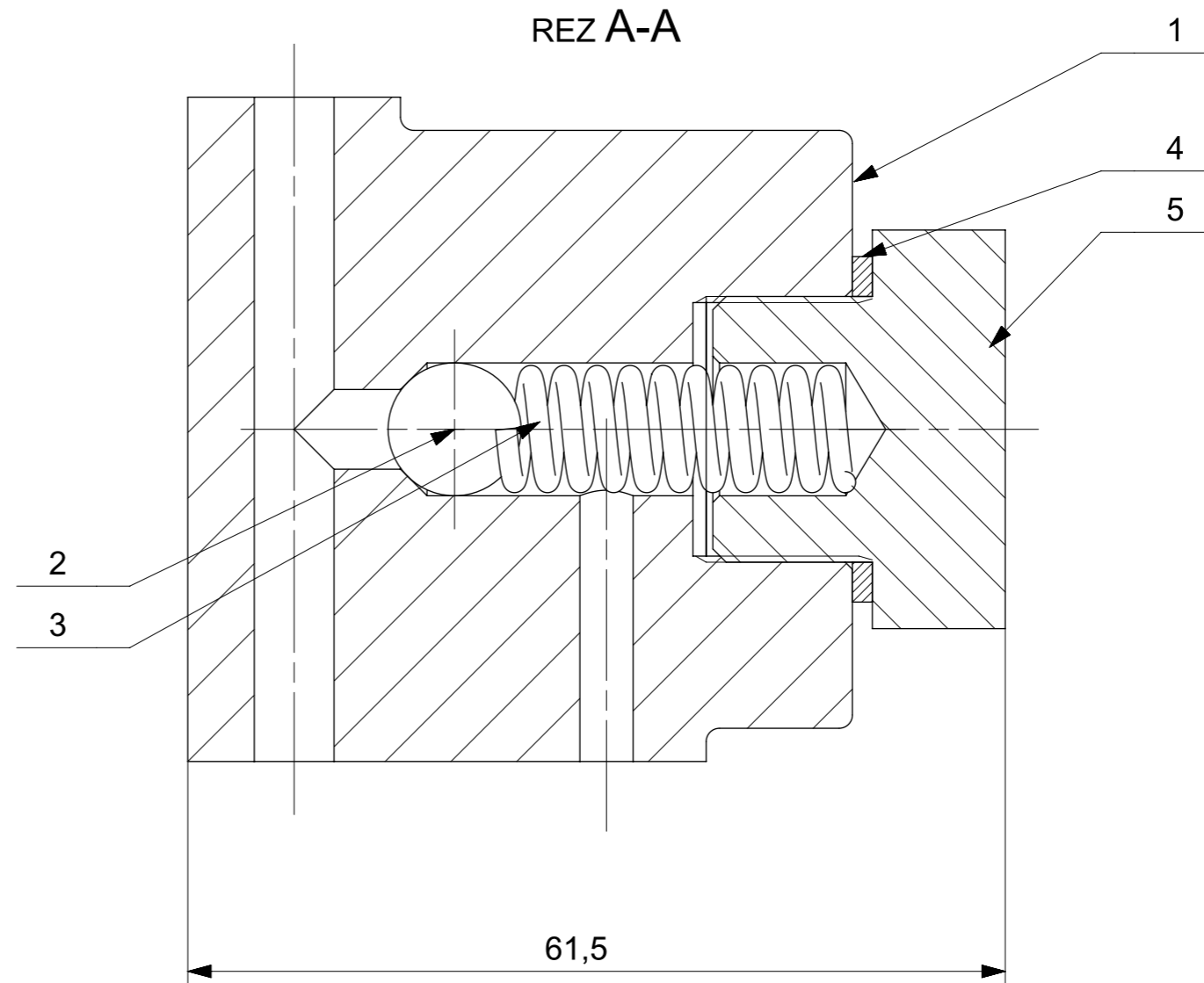
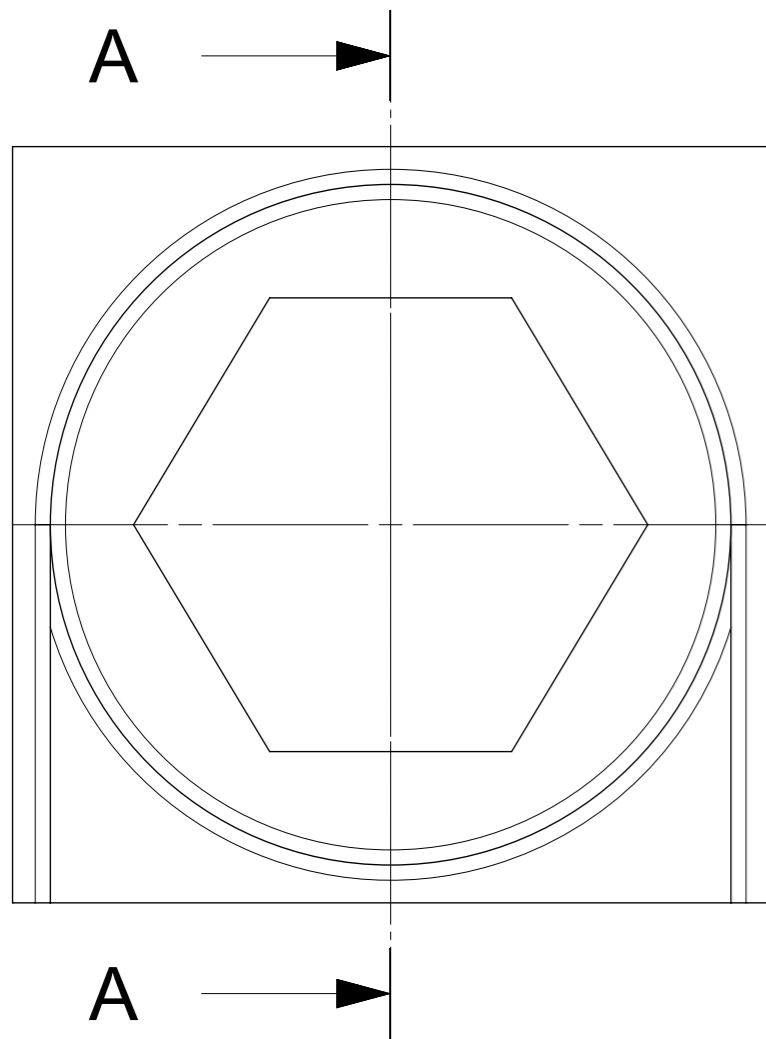
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	Meritko / Scale	
	Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.		
Nazev / Title	ŠROUB	Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
			KKS-BP-004	2:1
			List / sheet no. 1	Pocet listu / sheets 1
				297.0 x 210.0

4



3

2

1



5	ŠROUB	KKS-BP-004	ČSN 11 500	0,0812	1
4	TĚSNÍCÍ KROUŽEK 20 X 26	ČSN 02 9310.2	ČSN 42 3005	0,0025	1
3	PRUŽINA	KKS-BP-003	ČSN EN 10270-1	0,0040	1
2	KULIČKA	KKS-BP-002	ČSN 11 500	0,0041	1
1	TĚLESO (ČÁST BLOKU MOTORU)	KKS-BP-001	ČSN 42 4515	-	1
POZ.	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST	MN.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	6.6.2015	MRÁZ			
Prezkoušel / Checked by					
Schválil / Approved by					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		redukčni ventil		Projekt / Project:
	Soubor-vykres / DRW-file		redukčni ventil		C.sestavy / Assembly No.
Název / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.
<h1 style="text-align: center;">REDUKČNÍ VENTIL</h1>					<h2 style="text-align: center;">KKS-BP-01</h2>
					List / sheet no. 1 Pocet listu / sheets 1