

---

## TEMPERATURE DEPENDENT KINEMATIC VISCOSITY OF NEW AND USED ENGINE OIL

**Kumbár V., Severa L., Havlíček M.**

Department of Technology and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: kumbarv@centrum.cz

---

### ABSTRACT

The objective of this study is to measure how the viscosity of engine oil changes with temperature. Six different commercially distributed new engine oils and two used engine oils (primarily intended for motorcycle engines) of 10W40 viscosity grade have been evaluated. All oils have been assumed to be Newtonian fluids, thus flow curves have not been determined. Oils have been cooled to below zero temperatures and under controlled temperature regulation, kinematic viscosity ( $mm^2.s^{-1}$ ) have been measured in the range of  $-5\text{ }^{\circ}C$  and  $+115\text{ }^{\circ}C$ . Anton Paar digital viscometer with concentric cylinders geometry has been used. In accordance with expected behavior, kinematic viscosity of all oils was decreasing with increasing temperature. Viscosity was found to be independent on oil's density. Temperature dependence has been modeled using several mathematical models – Vogel equation, Arrhenius equation, polynomial, and Gaussian equation. Proposed models can be used for description and prediction of rheological behavior of engine oils.

**Key words:** engine oil, kinematic viscosity, modeling

## ÚVOD

Na motorové oleje jsou kladeny rozmanité a často i protichůdné nároky. Podle [14] motorový olej z hlediska tribotechnického musí:

- dobře lpět na mazaném povrchu při všech provozních podmínkách, což je určeno jeho hlavní komplexní vlastností – mazací schopností,
- odolávat smykovým silovým polím,
- dobře odvádět třecí a provozní teplo,
- chránit jak železné, tak barevné kovy (ložiska) před korozí,
- odolávat co nejdéle i za nepříznivých podmínek stárnutí – oxidaci uhlovodíků, resp. základních složek oleje,
- přispívat k těsnění pístů ve válci i za vysokých teplot,
- rozptylovat co nejmeněji nečistoty vznikající otěrem a zabraňovat jejich usazování,
- umožňovat provoz při velkých mrazech, ale i při vysokých teplotách.

Olej nesmí:

- napadat těsnící materiály,
- pěnit při provozu v motoru,
- vykazovat vysoké karbonizační číslo a rovněž nesmí být náchylný k tvorbě tzv. studených kalů.

Olej má být:

- málo odparný, což se příznivě odráží na malých ztrátách v provozu i za vysokých teplot (tato vlastnost souvisí s frakčním složením základového oleje),
- skladovatelný alespoň dva roky v temnu (plechová či polystyrenová embaláž) v přiměřené teplotě,
- ekonomický v provozu, což souvisí s jeho cenou a užitnými vlastnostmi,

- míšitelný s jinými oleji téže skupiny SAE<sup>1</sup> (dle viskozity) a dle podmínek provozu bez ohledu na firemní původ,
- v účelném balení i vzhledem k laickému používání – na obalu má být vytištěn návod k použití a případná upozornění,
- účelně značen dle mezinárodních norem SAE tak, aby byla jasná jeho specifikace a podmínky použití.

### Viskozita

Rozlišujeme viskozitu kinematickou a dynamickou.

- Kinematická viskozita definuje poměr dynamické viskozity a hustoty kapaliny:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}; [m^2 \cdot s^{-1}], \quad (1)$$

- dynamická viskozita se dá vyjádřit slovně:

$$\eta = \frac{\text{síla} \cdot \text{čas}}{\text{plocha}}; \left[ \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s \right]. \quad (2)$$

Jednotka  $[Pa \cdot s]$  je vysoká, a proto se v praxi mnohem více uplatňuje jednotka o tři řády menší, tedy  $[mPa \cdot s]$ , pro kterou platí  $1mPa \cdot s = 1 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ .

Viskozita se měří přístrojem zvaným viskozimetr. Stanovuje se například podle doby průtoku daného množství oleje kapilárou za přesně dané teploty, měřením rychlosti pádu kuličky v měřené kapalině či měřením na základě přenosu rotačního momentu. [14]

V praxi se nejvíce uplatňuje viskozitní index. Při nízké viskozitě je olej řídký a rychle tekoucí, při vysoké naopak hustý a teče velmi pomalu. Z toho vyplývá, že olej s nízkou viskozitou potřebuje kratší dobu a nižší tlak k tomu, aby zcela vyplnil dutinu, do níž je napaštěn. Viskozita olejů je rozdělena do tříd SAE. Absolutně nejnižší viskozitu má olej SAE0W (W jako Winter = zima), ale ten je tak řídký, že jeho optimální použití má opodstatnění za velmi nízkých teplot okolí (od  $-35 \text{ }^\circ\text{C}$  výše). Nej hustší olej nese označení SAE60, ten je ale pro běžnou potřebu zase velice hustý. To všechno jsou oleje, které v motorech motocyklů příliš neupotřebíme, pro motocyklové

---

<sup>1</sup> Základní rozdělení do tzv. viskozitních tříd bylo vytvořeno Společností amerických inženýrů (Society of Automotive Engineers), známá pod zkratkou SAE.



**MATERIÁL A METODIKA****Motorové oleje**

K experimentům byly vybrány vzorky motocyklových motorových olejů, a to vzorky olejů nových (nepoužitých) i olejů použitých. Vzorky nepoužitých olejů byly vybrány mezi běžně prodávanými motocyklovými oleji vyrobenými v Evropské unii. Celkem bylo použito šest vzorků olejů s viskozitním indexem 10W40. Čtyři oleje jsou syntetické a dva oleje jsou polosyntetické. Vzorky použitých olejů byly odebrány z motocyklů Yamaha SR 125 (tzv. zajižďecí olej) a Suzuki GSX-R 750 SRAD (tzv. vyjetý olej).

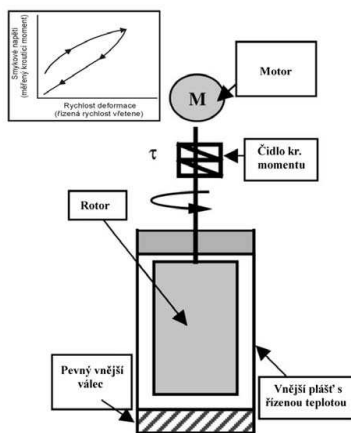
Tab. 1 *Vybrané nové motocyklové motorové oleje*

číslo vzorku	typ oleje	označení	výrobce	viskozitní index	země původu
1	syntetický	Moto 4T Off Road	Repsol	10W40	Španělsko
2	syntetický	Motex 4T-X	Chevron	10W40	Belgie
3	syntetický	Silkolene Comp 4	Fuchs	10W40	Velká Británie
4	syntetický	5100 Ester 4T	Motul	10W40	Francie
5	polosyntetický	Power 1 GPS	Castrol	10W40	Evropská unie
6	polosyntetický	DuraBlend 4T	Valvoline	10W40	Nizozemsko

Tab. 2 *Vybrané použité motocyklové motorové oleje*

číslo vzorku	typ oleje	označení	výrobce	viskozitní index	země původu	najeto, km	použití
7	syntetický	5100 Ester 4T	Motul	10W40	Francie	650	zajižďení motoru
8	syntetický	5100 Ester 4T	Motul	10W40	Francie	6200	běžné užití

Měření viskozity motorových olejů bylo provedeno pomocí rotačního viskozimetru Anton Paar DV-3P, který měří krouticí moment rotujícího vřetena ponořeného do vzorku. Tento viskozimetr pracuje na principu měření krouticí síly nutné k překonání odporu u rotujícího válce nebo disku ponořeného v měřeném materiálu. Rotující válec nebo vřeteno jsou propojeny přes pružinu s hřídelem motoru, který se točí definovanou rychlostí. Úhel pootočení hřídele je měřen elektronicky a poskytuje přesnou informaci o poloze hřídele, potažmo vřetene. Z měřených hodnot je na základě interních výpočtů přímo zobrazena hodnota dynamické viskozity  $\nu$  [ $mPa \cdot s$ ]. Pro kapaliny konstantní viskozity odpor vůči pohybu roste s velikostí vřetena. Rozsah měření pro stanovení reologických vlastností materiálu může být přizpůsoben zvolením vhodné kombinace vřetene a rychlosti otáčení. Pro získání relevantních výsledků měření je nezbytné znát nejdůležitější reologické vlastnosti vzorku. Je tedy třeba vyhodnotit, o jaký typ materiálu se jedná a správně jej klasifikovat. [8]



Obr. 2 Schematické znázornění mechanismu měření (převzato z [8])

K měření bylo použito standardizované vřeteno s označením R3. Toto vřeteno je nejvíce vhodné pro kapaliny podobných vlastností, jako má motorový olej.

Na rotačním viskozimetru jsme nastavili předem změřenou hustotu vzorku motorového oleje. Dále jsme nastavili počet otáček vřetena na 50 za minutu a nakonec ještě zvolili vzorkovací frekvenci. Do kyvety jsme odměřili 250 ml měřeného vzorku oleje zchlazeného na  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tuto kyvetu se vzorkem jsme umístili do měřicího prostoru rotačního viskozimetru a vložili do ní měřící vřeteno (R3), nakalibrovaný teplotní senzor Pt 100 a spustili měření kinematické viskozity. Kinematická

viskozita je poměr viskozity dynamické a hustoty měřeného vzorku:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (3)$$

kde ( $\nu$ ) je kinematická viskozita, ( $\eta$ ) je dynamická viskozita a ( $\rho$ ) je hustota.

### Matematické modelování

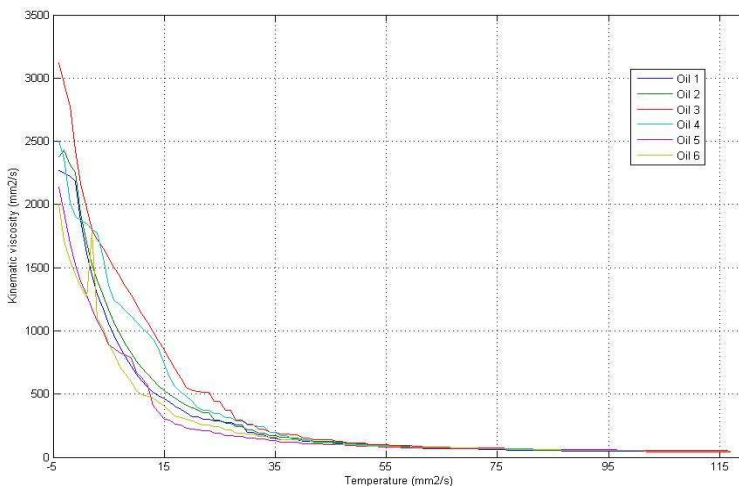
Matematický model byl vytvořen pomocí softwaru MATLAB<sup>®</sup> v. 7.1.0.246(R14) Service Pack 3, Curve fitting application (The MathWorks, Inc., USA). Dalším softwarem, pomocí něhož byl vytvořen matematický model, byl Microsoft<sup>®</sup> Excel 2002 (10.6856.6856) Service Pack 3.

Mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami byly následně zjišťovány korelační koeficienty  $R^2$ . U nových i použitých motorových olejů byly k matematickému modelování použity vztahy – Vogelův, Arrheniův, Gaussův, exponenciální a také polynom 6. stupně.

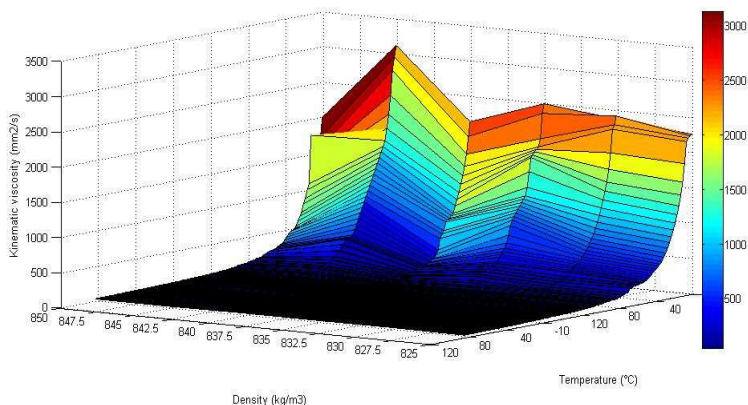
## VÝSLEDKY A DISKUZE

### Nový (nepoužitý) motorový olej

Nejprve byla uvažována a měřena závislost kinematické viskozity na teplotě u šesti nových olejů. Naměřené hodnoty jsou graficky znázorněny na obr. 3, kde lze vidět přehled teplotních závislostí jednotlivých motorových olejů.



Obr. 3 Teplotní závislost olejů (převzato z [10])



Obr. 4 Závislost viskozity na teplotě a hustotě olejů (převzato z [10])

Z grafu na obr. 4 je zřejmé, že závislost kinematické viskozity na hustotě nebyla měřením prokázána, závislost viskozity (kinematické i dynamické) na teplotě je vysoká. Pro smysluplné porovnání musíme vybrat srovnávací teplotu. Podle normy ISO 8217 je srovnávací teplota pro různé kapaliny 100 °C . Pro předestilované kapaliny je srovnávací teplota 40 °C . V tab. 3 je vytvořen podrobný přehled kinematických viskozit a hustoty jednotlivých motorových olejů při srovnávací teplotě 40 °C . [10]

Tab. 3 Přehled kinematických viskozit a hustot nepoužitých olejů (převzato z [10])

číslo vzorku oleje:	1	2	3	4	5	6
$\nu$ (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	116	127	142	120	104	116
$\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	830	834	852	839	840	860

Klesání viskozity olejů se stoupající teplotou bylo očekávané a ztotožňuje se i se závěry v literatuře [3] a [6]. Je zřejmé, že teplotní závislost je vzdálená závislosti lineární. Jedním z důvodů je jistě účinek chemických procesů probíhajících při zahřívání v oleji.

Vliv teploty na kinematickou viskozitu oleje může být dobře matematicky modelován. Matematické modelování poskytuje prostředky reprezentující jisté množství reologických dat pomocí matematického výrazu. Je mnoho přijatelných tvarů rovnic vhodných k modelování



určitých stavů, ale neexistuje pouze jeden model vhodný pro všechny stavy [11]. Závislost kinematické viskozity na teplotě může být modelována například pomocí Voglova vztahu:

$$\nu = z \cdot e^{\left(\frac{T_1}{T_2+T}\right)}, \quad (4)$$

kde ( $\nu$ ) je kinematická viskozita, ( $z$ ) je hustota oleje, ( $T_1$ ) je celková teplota teplotně-viskozitní závislosti, ( $T_2$ ) je spodní hranice teploty související s přechodem tepla soustavy květa-olej a ( $T$ ) je teplota měřené oleje. Při rostoucí teplotě ( $T_1$ ) se zvyšuje i kinematická viskozita pro danou teplotu, kdežto vzrůstající teplota ( $T_2$ ) má opačný účinek. Pro malé teploty ( $T_1$ ) nebo vysoké teploty ( $T_2$ ) se může stát viskozita nezávislou na teplotě [12]. Při použití Voglova vztahu byla mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami zjištěna korelace  $R^2 = 0,92 \pm 0,04$  (pro všechny měřené nové oleje). [10]

Vliv teploty na viskozitu newtonských kapalin (včetně motorových olejů) můžeme také vyjádřit pomocí Arrheniova vztahu, který zahrnuje celkovou teplotu ( $T$ ), univerzální plynovou konstantu ( $R$ ) a aktivační energii pro viskozitu ( $E_a$ ):

$$\nu = f(T) = A \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right), \quad (5)$$

kde jsou hodnoty ( $A$ ) a ( $E_a$ ) stanoveny experimentálně. Vyšší hodnoty ( $E_a$ ) ukazují na rychlejší změny viskozity v závislosti na teplotě. Vzhledem k neznámé viskozitě ( $\nu$ ), při libovolné teplotě ( $T$ ), při referenční viskozitě ( $\nu_r$ ) a při referenční teplotě ( $T_r$ ) nemusíme uvažovat konstantu ( $A$ ). Potom nám vyplyne rovnice zapsaná v logaritmickém tvaru:

$$\ln\left(\frac{\nu}{\nu_r}\right) = \left(\frac{E_a}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r}\right). \quad (6)$$

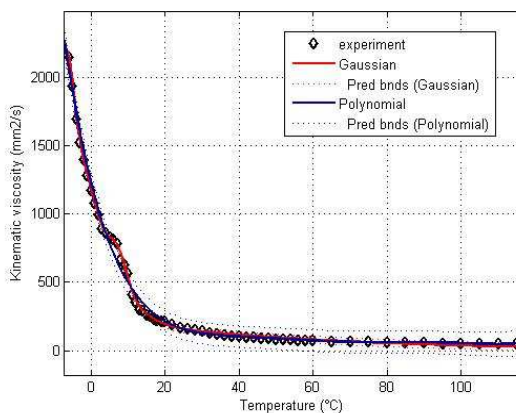
Takový nebo podobný přístup byl použit pro popis závislosti viskozity na teplotě newtonských kapalin u mnoha autorů (například [2], [4], [9]). Při použití Arrheniova vztahu byla mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami zjištěna korelace  $R^2 = 0,96 \pm 0,08$  (pro všechny měřené nové oleje).

Velmi vysokých přesností korelace mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami bylo dosaženo při použití Gaussova nebo polynomickeho modelu. Příznivého výsledku korelace  $R^2 = 0,993 \pm 0,007$  (pro všechny měřené oleje) bylo dosaženo u polynomu 6. stupně. Jak můžeme vidět v [10], bylo dosaženo ještě vyšší přesnosti korelace  $R^2 = 0,9993 \pm 0,003$  (pro všechny měřené nové oleje)

pomocí Gaussova modelu a při použití vztahu:

$$a_1 * \exp\left(-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2\right) + \dots + a_4 * \exp\left(-\left(\frac{x-b_4}{c_4}\right)^2\right). \quad (7)$$

Příklad polynomické a Gaussovy aproximace můžeme vidět na obr. 5, kde bylo použito naměřených hodnot pro vzorek oleje č.3.



Obr. 5 Naměřené hodnoty a matematický model pro olej č. 3 (převzato z [10])

Obdobné matematické vztahy byly použity mnohými autory (například [7], [13]) k popsání teplotní závislosti reologických vlastností různých materiálů. Popis závislosti viskozity na teplotě, především klesání viskozity s rostoucí teplotou, byl ve výše uvedených publikacích a studiích obdobný.

Můžeme tedy říci, že viskozita motorového oleje je funkcí teploty. Znalost tohoto chování má velký význam, obzvláště s ohledem na efektivnost a výkon spalovacího motoru. Viskozita ovlivňuje tekutost oleje, což má vliv i na hnací sílu motoru, a také na tlak oleje v olejové náplni spalovacího motoru. Tekutost oleje je i důležitým faktorem ovlivňujícím délku životnosti motoru. Dříve byla u motorových olejů viskozita a s ní související tekutost sledována především s ohledem na schopnost dobrého mazání třecích ploch v motoru a schopnost dobrého odvádění tepla a nečistot v motorovém prostoru. S vzestupem regulace a řízení motoru (především přesné seřízení zapalování) se klade i mnohem větší důraz na znalost viskozitního chování motorového oleje [1]. Vzestupem regulace a řízení motoru je chápáno například řízení vačkového hřídele, aktivní palivové řízení a dvoufázové ovládání ventilů. Jedná se o velmi přesná zařízení, která potřebují stálý přísun tzv. tlakového oleje (tj. olej, který je přiváděn pod určitým tlakem), který umožňuje

hydraulické ovládání součástí v motoru. Proto je jejich funkce velice citlivá na viskozitu motorového oleje. [10]

### Použitý motorový olej

K měření použitého motorového oleje byly použity dva vzorky olejů. V obou případech byl použit olej od výrobce Motul.

Pro smysluplné porovnání musíme opět vybrat srovnávací teplotu. Podle normy ISO 8217 je srovnávací teplota pro předestilované kapaliny je srovnávací teplota 40 °C .

Tab. 4 *Přehled kinematických viskozit a hustot použitých olejů*

číslo vzorku oleje:	7	8
$\nu$ (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	91	89
$\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	855	858

Porovnáme-li vzorky použitého oleje se vzorkem novým (viz tab. 3) můžeme vidět, že hustoty vzorků jsou podobné, kdežto kinematické viskozity u použitých olejů jsou o poznání menší.

### Motorový olej použitý k běžnému provozu motoru motocyklu (tzv. vyjetý olej)

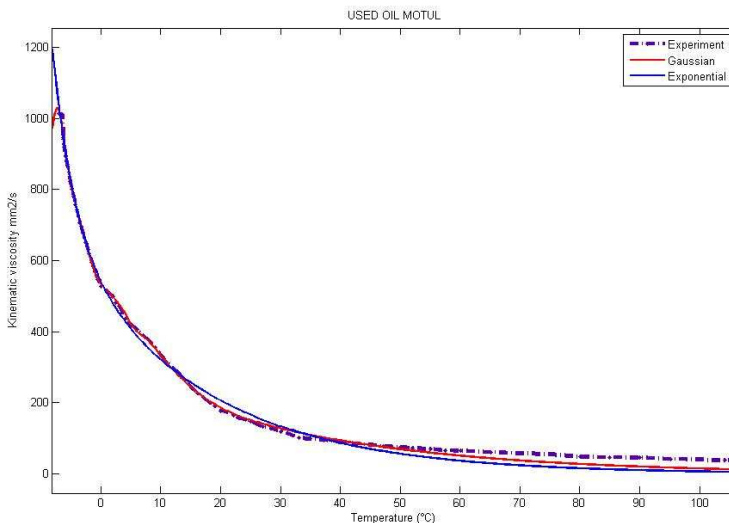
První použitou metodou k zjištění korelace mezi hodnotami naměřenými a vypočítanými je pro tzv. vyjetý motorový olej metoda Gaussova. U vzorku tzv. vyjetého oleje byla pomocí Gaussova modelu zjištěna korelace  $R^2 = 0,9983$  při použití vztahu:

$$a_1 * \exp\left(-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2\right) + \dots + a_s * \exp\left(-\left(\frac{x-b_s}{c_s}\right)^2\right) \quad (8)$$

Další metodou k zjištění korelace mezi hodnotami naměřenými a vypočítanými je pro tzv. vyjetý motorový olej metoda exponenciální. U vzorku tzv. vyjetého oleje byla pomocí exponenciálního modelu zjištěna korelace  $R^2 = 0,9952$  při použití vztahu:

$$a * \exp(b * x) + b * \exp(d * x) \quad (9)$$

Graf na obr. 6 znázorňuje teplotní závislost kinematické viskozity u tzv. vyjetého motorového oleje. Jsou zde znázorněny i křivky získané pomocí Gaussovy a exponenciální metody.



Obr. 6 Graf teplotní závislosti kinematické viskozity u tzv. vyjetého oleje

Motorový olej použitý k zjetí motoru motocyklu (tzv. zajížděcí olej)

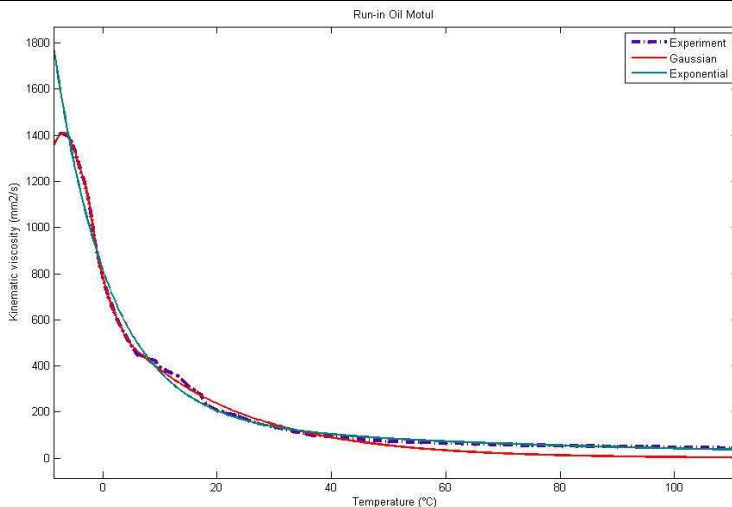
První použitou metodou k zjištění korelace mezi hodnotami naměřenými a vypočítanými je pro tzv. zajížděcí motorový olej metoda Gaussova. U vzorku tzv. zajížděcího oleje byla pomocí Gaussova modelu zjištěna korelace  $R^2 = 0,9977$  při použití vztahu:

$$a_1 * \exp\left(-\left(\frac{x-b_1}{c_1}\right)^2\right) + \dots + a_5 * \exp\left(-\left(\frac{x-b_5}{c_5}\right)^2\right) \tag{10}$$

Další metodou k zjištění korelace mezi hodnotami naměřenými a vypočítanými je pro tzv. zajížděcí motorový olej metoda exponenciální. U vzorku tzv. zajížděcího oleje byla pomocí exponenciálního modelu zjištěna korelace  $R^2 = 0,9873$  při použití vztahu:

$$a * \exp(b * x) + b * \exp(d * x) \tag{11}$$

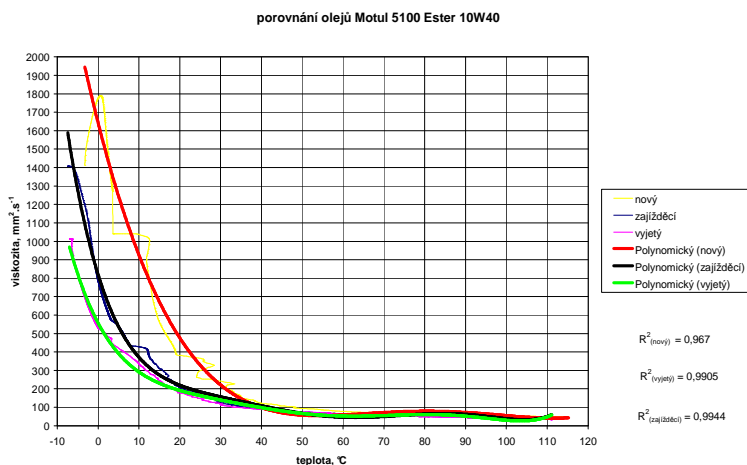
Graf na obr. 7 znázorňuje teplotní závislost kinematické viskozity u tzv. zajížděcího motorového oleje. Jsou zde znázorněny i křivky získané pomocí Gaussovy a exponenciální metody.



Obr. 7 Graf teplotní závislosti kinematické viskozity u tzv. zajižedcího oleje

Přímé porovnání použitého motorového oleje

Grafické porovnání všech tří vzorků motocyklového motorového oleje Motul je vyhotoveno na obr. 8. Při porovnání bylo použito polynomického modelu, přesněji polynomu 6. stupně. Hodnoty korelace ( $R^2$ ) jsou pro všechny tři křivky uvedeny na obr. 8.



Obr. 8 Porovnání olejů Motul

Z grafu na obr. 8 je patrné, že nejvyšší viskozitu při nízkých teplotách vykazuje olej nepoužitý (nový). Nižší hodnoty kinematické viskozity vykazuje olej tzv. zajížděcí, na který byly sice při záběhu motoru po výbrusu válce kladeny velké nároky, ale byl v motoru jen do konce záběhu, což bylo asi 650 km. Nejnižších hodnot kinematické viskozity dosahuje olej tzv. vyjetý, který konal své úkoly ve vysokootáčkovém motoru silničního sportovního motocyklu po dobu běžně užívaného intervalu výměny, a to přesně 6200 km. Nad hodnotou teploty oleje asi 50 °C jsou hodnoty kinematické viskozity u všech tří vzorků olejů přibližně stejné.

Z výše uvedeného vyplývá, že je olej potřeba měnit podle uživatelské příručky, jelikož s narůstajícím počtem ujetých kilometrů ztrácí olej svou viskozitu, a to především při teplotách asi do 50 °C. Olej se pak stává více tekutým při nižších teplotách, a tím motor více trpí při tzv. studených startech, jelikož olej již nedovede tak dobře vytvořit na součástech motoru tenkou olejovou vrstvu (olejový ochranný film). Studený start můžeme chápat jako start takového motoru, který má stejnou teplotu s teplotou okolí. Motor tedy není přehřátý. Při těchto startech potom nejsou dostatečně mazány dotykové plochy v motoru, jelikož olej kvůli svým vlastnostem steče z těchto ploch, a tím dochází k většímu opotřebení těchto částí.

## ZÁVĚR

Motorové oleje slouží především k mazání a čištění spalovacích motorů. Dále chrání motory před korozi, zdokonalují těsnění a odvádí teplo od jednotlivých částí a prvků motoru. Tato práce je primárně zaměřena na kvantifikaci vlivu teploty na kinematickou viskozitu právě motorových olejů.

Popis a znalost teplotní závislosti kinematické viskozity motorových olejů jsou velmi významné, a to především při hodnocení provozní účinnosti spalovacích motorů. Navržené matematické modely mohou být použity pro popis a predikci tokového chování motorových olejů.

### Nový (nepoužitý) motorový olej

Sledováno bylo šest komerčně distribuovaných olejů různých výrobců: Moto 4T Off Road (Resol), Motex 4T-X (Chevron), Silkolene Comp 4 (Fuchs), 5100 Ester 4T (Motul), Power 1 GPS (kastrol) a DuraBlend 4T (Valvoline). Použité oleje jsou určeny pro motocyklové motory a patří do stejné viskozitní třídy 10W40. Čtyři oleje jsou syntetické a dva polosyntetické. Tokové křivky sestavovány nebyly, protože (v souladu s literaturou a vlastním měřením) oleje byly považovány za newtonovskou kapalinu. Vzhledem k této skutečnosti nebylo třeba provádět žádné speciální úpravy vzorků před začátkem měření (např. zatěžování definovanou rychlostí deformace po definovanou dobu, odstávání vzorků apod.). Oleje byly zchlazeny na teploty pod 0 °C a dále u nich byla v řízených teplotních podmínkách stanovena kinematická viskozita ( $mm^2 \cdot s^{-1}$ ) v rozsahu teplot od -5 °C až do +115 °C. V souladu s očekáváním u všech olejů hodnota kinematické viskozity klesala se zvyšující se teplotou. Vzhledem k tomu, že je viskozita motorového oleje výrazně teplotně závislá a za účelem objektivizace jejího vyjádření, byla

v souladu s normou ISO 8217 stanovena referenční teplota 40 °C . Hodnoty viskozit testovaných olejů se při této referenční teplotě pohybovaly od 104 do 146  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Bylo zjištěno, že viskozita různých olejů přímo nekoreluje s jejich hustotou. [10]

Teplotní závislost olejů byla modelována pomocí několika matematických modelů. Mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami byly zjištěny následující korelace:  $R^2 = 0,92$  pro Vogelův vztah,  $R^2 = 0,96$  pro Arrheniův vztah,  $R^2 = 0,993$  pro polynom šestého stupně a  $R^2 = 0,9993$  pro Gaussův vztah. [10]

### Použitý motorový olej

K měření použitého motorového oleje byly použity dva vzorky olejů. V obou případech byl použit stejný olej 5100 Ester 4T (Motul) s viskozitním indexem 10W40. Ani zde nebyly sestavovány tokové křivky, protože (v souladu s literaturou a vlastním měřením) oleje byly opět považovány za newtonovskou kapalinu. Vzhledem k této skutečnosti nebylo třeba provádět žádné speciální úpravy vzorků před začátkem měření (např. zatěžování definovanou rychlostí deformace po definované dobu, odstávání vzorků apod.). Oleje byly zchlazeny na teploty pod 0 °C a dále u nich byla v řízených teplotních podmínkách stanovena kinematická viskozita ( $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) v rozsahu teplot od -5 °C až do +115 °C . V souladu s očekáváním u obou olejů hodnota kinematické viskozity klesala se zvyšující se teplotou. Vzhledem k tomu, že je viskozita motorového oleje výrazně teplotně závislá a za účelem objektivizace jejího vyjádření, byla v souladu s normou ISO 8217 stanovena referenční teplota 40 °C . Hodnoty viskozit obou testovaných vzorků při této referenční teplotě byly 91  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  pro tzv. zajížděcí olej a 89  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  pro olej tzv. vyjetý. Bylo také zjištěno, že viskozita různých olejů přímo nekoreluje s jejich hustotou.

Při srovnání obou vzorků použitých motorových olejů se vzorkem nepoužitého (nového) oleje stejné značky bylo zjištěno, že nejvyšší viskozitu při nízkých teplotách vykazuje olej nepoužitý (nový). Nižší hodnoty viskozity vykazuje olej tzv. zajížděcí, na který byly sice při záběhu motoru po výbrusu válce kladeny velké nároky, ale byl v motoru jen do konce záběhu, tedy asi 650 km . Nejnižších hodnot viskozity dosahuje olej tzv. vyjetý, který konal své úkoly v motoru po dobu běžně užívaného intervalu výměny, a to přibližně 6200 km . Nad hodnotu teploty oleje asi 50 °C jsou hodnoty viskozity u všech tří vzorků olejů přibližně stejné.

I zde byla teplotní závislost olejů modelována pomocí matematického modelu. Byl zde použit matematický model polynomický (6. stupně), Gaussův model a model exponenciální.

Pro polynomický model byly zjištěny mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami následující korelace:  $R^2 = 0,994$  u oleje tzv. zajížděcího a  $R^2 = 0,991$  u oleje tzv. vyjetého. Pro Gaussův model byly zjištěny mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami korelace  $R^2 = 0,9977$  u oleje tzv. zajížděcího a  $R^2 = 0,9983$  u oleje tzv. vyjetého. Pro model exponenciální byly zjištěny mezi

naměřenými a vypočtenými hodnotami korelace  $R^2 = 0,9866$  u oleje tzv. zajižďecího a  $R^2 = 0,9952$  u oleje tzv. vyjetého.

## LITERATURA

- [1] ALBERTSON, W. C., STALEY, D. R., MC DONALD, M. M., PRYOR, B. K.: *Engine oil viscosity diagnostic system and methods*, 2008, United States Patent 20080223114.
- [2] FRISO, D., BOLCATO, F.: *Rheological properties of some Newtonian food liquids*. Rivista di Ingegneria Agraria 2, 2004. s. 75–80.
- [3] GUO, B., LYONS, W. and GHALAMBOR, A.: *Petroleum production engineering*. Elsevier Science and Technology Books, 2007. ISBN 0750682701.
- [4] HLAVÁČ, P.: *The rheologic properties of dark beer, Proceedings of Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*, Nitra, 5.–6.6.2007, s. 169–175.
- [5] KOLIČ, V.: Černá krev, *Motohouse*. Praha, 1998, č. 5, s. 112–119. ISSN 1213-3086
- [6] MANN, D.: *Motor Oils and Engine Lubrication*. Motor Oil Engineers, L.L.C., Detroit. 2007.
- [7] MARCOTTE, M., TAHERIAN, A. R., TRIGUI, M., RAMASWAMY, H. S.: *Evaluation of rheological properties of selected salt enriched food hydrocolloids*. Journal of Food Engineering 48, 2001. s. 157–167.
- [8] SEVERA, L.: *Tixotropní chování vybraných druhů potravin* [habilitační práce]. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 113 s.
- [9] SEVERA, L. a LOS, J.: *On the influence of temperature on dynamic viscosity of dark beer*. Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně. 2008. s. 303–307.
- [10] SEVERA, L., HAVLÍČEK, M., KUMBÁR, V.: *Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oils*. Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně. 2009. sv. LVII, č. 4, s. 95–102. ISSN 1211-8516.
- [11] STEFFE, J. F.: *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2. vyd. Freeman Press, East Lansing, MI, USA. 1996. s. 428. ISBN 0-9632036-2-2.
- [12] TAKATA, R., WONG, V.W.: *Effects of lubricant viscosity on ring/liner friction in advanced reciprocating engine systems*. Proceedings of ICEF06 ASME Internal Combustion Engine Division. 2006 Fall.
- [13] TAVARES, D. T., ALCANTARA, M. R., TADINI, C. C., TELIS-ROMERO, J.: *Rheological Properties of Frozen Concentrated Orange Juice (FCOJ) as a Function of Concentration and Subzero Temperatures*. International Journal of Food Properties 10 (4), 2007. s. 829–839.
- [14] ZEHNÁLEK, J.: *Chemie, paliva, maziva*, 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. 176 s. ISBN 80-7157-314-0.