

THE PREDICTION PHYSICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF FLOWING LIQUID IN THE TECHNICAL ELEMENT

PREDIKCE FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÝCH POMĚRŮ PROUDÍCÍ KAPALINY V TECHNICKÉM ELEMENTU

Kumbár V., Bartoň S., Křivánek I.

Department of technology and Automobile Transport, Faculty of Agriculture, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: vojtech.kumbar@mendelu.cz

ABSTRACT

This paper describes the prediction of physical and mechanical behavior of flowing liquid in the technical element using numerical modeling. Flowing liquid were variously viscous motor oil. Technical element was supply pipe to the turbocharger engine oil in engines Zetor. First they were measured the temperature dependence dynamic viscosity and density. Modern measuring devices were used. These values were then smoothed by regression curves appropriately. They were chose in order to achieve continuity of dependence. With the ANSYS program were developed numerical models of average values of the mass flow, velocity and pressure of engine oil in the six selected sections at medium temperatures 0 °C, 20 °C and 70 °C.

Key words: prediction, modeling, engine oil, temperature.

Acknowledgments: The research has been supported by the project IP 22/2012 “Monitoring of wear particles and chemical elements in the oils used in agricultural technology“, financed by IGA AF MENDELU.

ÚVOD

Velká spousta podniků, konstruktérů a výzkumníků se v současné době se zabývá tím, jak ušetřit peníze za výrobu určitých výrobků. Je tomu tak i ve strojírenství, kdy snížením množství materiálů na výrobu, může podniku ušetřit nemalé peníze. Vystupuje zde ale otázka, jak ušetřit materiál, ale zároveň nesnížit kvalitu, popř. bezpečnost vyráběného zboží? Náklady na experimentální pokusy mohou ale někdy převýšit i úsporu samotnou. V těchto případech se může velice dobře osvědčit numerické modelování. Jsou-li kvalitní vstupní data, může být pomocí vhodně zvolených modelovacích metod výsledek velmi přesný. Takto získané modely pomohou konstruktérům navrhovat takové součásti, které nejsou zbytečně předimenzované, ale zároveň bezpečné a v souladu s požadovanými normami. Dále se mohou modelovat ideální tvary součástí, ať už z pohledu statistického nebo dynamického – pružnost, pevnost, hydrodynamika, aerodynamika, termodynamika atd.

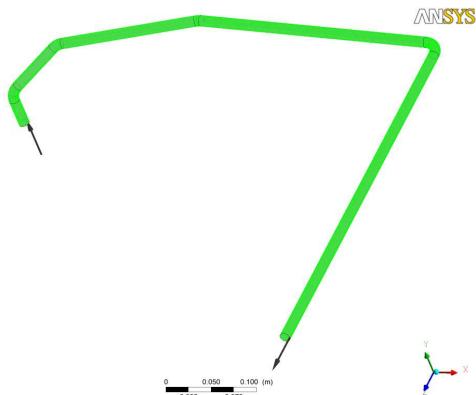
V tomto článku jsou prezentovány výsledky výzkumu, který si klade za cíl numericky modelovat fyzikálně-mechanické stavy proudících kapalin v reálném technickém prvku. Ke studiu této problematiky byly použity publikace Kozubková (2008) a Stevar (2012).

Konkrétně se v této práci jedná o stanovení tlakových a rychlostních poměrů podél geometrie modelu ve zvolených místech pro tři různé teplotně závislé materiály (motorové oleje různých viskozitních tříd) při třech různých teplotách proudícího média (0 °C, 20 °C a 70 °C). Sledována jsou především místa za zakřivením geometrie (celkem 6 pozic), která jsou z hlediska tokových a mechanických vlastností nejzajímavější.

MATERIÁL A METODIKA

Reálným technickým prvem bylo přírodní potrubí motorového oleje k turbodmychadlu, které se používá u motorů traktorů Zetor. Jeho tvar, rozměry a sledovaná místa za zakřivením geometrie jsou vyobrazeny na Obrázku 1.

Obr. 1 Reálný technický prvek



K numerickému modelování bylo nejprve třeba získat kvalitní vstupní hodnoty. Tři různě teplotně závislé materiály – kapaliny, byly zvoleny komerčně prodávané automobilové motorové oleje různých viskozitních tříd. Jednalo se o motorové oleje viskozitní třídy 5W-30, 10W-40 a 15W-40. U těchto motorových olejů byla měřena teplotní závislost dynamické viskozity a teplotní závislost měrné hmotnosti (hustoty), pomocí moderních přístrojů.

Teplotní závislost dynamické viskozity byla měřena pomocí rotačního viskozimetru Anton Paar DV-3P s teplotním čidlem Pt100. Bylo použito standardizované vřeten R3, které je nevíce vhodné pro měření kapalin podobných viskozit. Teplotní rozsah měření byl zvolen od -10°C do 100°C , podobně jako uvádí Maggi (2006) a Severa a kol. (2010).

Teplotní závislost měrné hmotnosti (hustoty) byla měřena pomocí digitálního hustoměru Densito PX30 se stupnicí API pro měření ropných produktů. Teplotní rozsah měření byl zvolen od -10°C do 60°C .

Numerické modelování bylo prováděno v programu ANSYS.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Teplotní závislost dynamické viskozity a měrné hmotnosti (hustoty)

Pomocí výše popsaných metod jsme dosáhli výsledků, které jsou zobrazeny v Tabulce 1 a v Tabulce 2.

Tab. 1 Teplotní závislost dynamické viskozity

Teplota, °C	Termodynamická teplota, K	Dynamická viskozita, mPa.s		
		Shell 5W- 30	Shell 10W- 40	Mogul 15W- 40
-9,65	263,5	1,433	2,415	5,298
0,35	273,5	0,828	1,108	2,667
10,35	283,5	0,374	0,607	0,739
20,35	293,5	0,227	0,306	0,412
30,35	303,5	0,144	0,180	0,225
40,35	313,5	0,089	0,115	0,144
50,35	323,5	0,067	0,085	0,098
60,35	333,5	0,057	0,070	0,074
70,35	343,5	0,049	0,059	0,063
80,35	353,5	0,042	0,053	0,056
90,35	363,5	0,040	0,047	0,052
100,35	373,5	0,038	0,045	0,050

Tab. 2 Teplotní závislost měrné hmotnosti (hustoty)

Teplota, °C	Termodynamická teplota, K	Hustota, kg.m ⁻³		
		Shell 5W-30	Shell 10W-40	Mogul 15W-40
-9,65	263,5	859	867	881
0,35	273,5	856	863	878
10,35	283,5	852	862	876
20,35	293,5	848	860	873
30,35	303,5	845	856	870
40,35	313,5	838	854	867
50,35	323,5	835	852	862
60,35	333,5	834	848	858

Dále bylo nutné pro potřeby numerického modelování vytvořit spojité funkce z naměřených hodnot dynamické viskozity i měrné hmotnosti (hustoty). Podobně postupoval ve své práci i Severa a kol (2009).

Nejvhodnější funkce sloužící k proložení výsledků naměřených hodnot dynamické viskozity byla i v souladu s publikací Šedivý (2002) zvolena nelineární lomená funkce, dle obecného tvaru:

$$y(x) = \frac{a_1 \cdot (x + a_2)}{x^2 + b_1 \cdot x + b_0} + c, \quad (1)$$

po dosazení platí:

$$\eta(T) = \frac{a_1 \cdot (T + a_0)}{T^2 + b_1 \cdot T + b_0} + c, [Pa \cdot s; K], \quad (2)$$

kde η je dynamická viskozita a T je termodynamická teplota.

Nejvhodnější funkce sloužící k proložení výsledků naměřených hodnot měrné hmotnosti (hustoty) byla i v souladu s publikací Kumbár a kol. (2012) zvolena lineární funkce, dle obecného tvaru:

$$\rho(x) = a_1 \cdot x + a_0, \quad (3)$$

po dosazení platí:

$$\rho(T) = a_1 \cdot T + a_0, \quad (4)$$

kde ρ je měrná hmotnost (hustota) a T je termodynamická teplota.

Hodnoty vypočítaných parametrů pro (a_0 , b_0 , c , d_0) pro všechny tři vzorky motorových olejů jsou uvedeny v Tabulce 3.

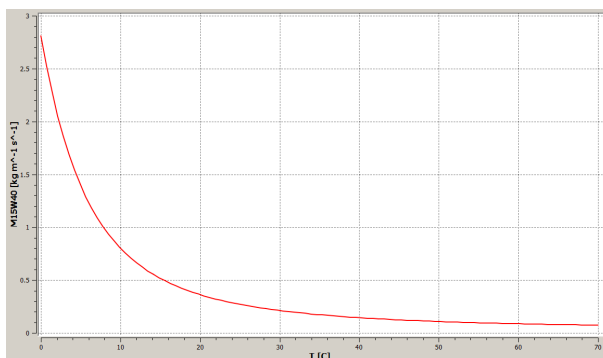
Tab. 3 Hodnoty parametrů rovnic (2) a (4)

koeficient	Shell 5W-30	Shell 10W-40	Mogul 15W-40
a_0	1,15E+04	3,39E+02	1,92E+05
a_1	4,25E-01	-6,86E+00	1,35E-03
b_0	-6,25E+02	6,79E+04	7,08E+04
b_1	-2,49E+02	-5,20E+02	-5,32E+02
c	-1,23E-01	6,31E-02	2,97E-02
d_0	9,61E+02	9,35E+02	9,67E+02
d_1	-3,87E-01	-2,57E-01	-3,23E-01

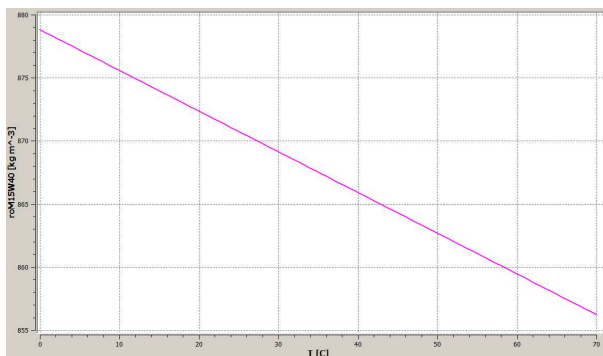
Na Obrázku 2 je zobrazen průběh nelineární lomené funkce prokládající naměřené hodnoty dynamické viskozity. Pro názornost byl vybrán motorový olej s viskozitní třídou 15W-40. Na Obrázku 3 je zobrazen průběh lineární funkce prokládající naměřené hodnoty měrné hmotnosti (hustoty). Pro názornost byl vybrán motorový olej s viskozitní třídou 15W-40.

Vysoké hodnoty koeficientu determinace $R^2=0,98$ (pro nelineární lomenou funkci) a koeficientu korelace $R=0,97$ (pro funkci lineární) dokazují vhodnost zvolených regresních funkcí.

Obr. 2 Průběh dynamické viskozity v závislosti na teplotě



Obr. 3 Průběh měrné hmotnosti (hustoty) v závislosti na teplotě



3.2 Modelování hmotnostního toku, rychlosti proudění a tlaků

Modelování bylo provedeno pro tři zvolené různě viskózní motorové oleje (5W-30, 10W-40 a 15W40). Pro názornost byl v tomto článku vybrán motorový olej s viskozitní třídou 10W-40.

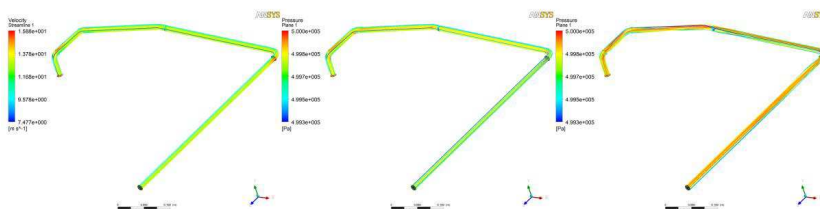
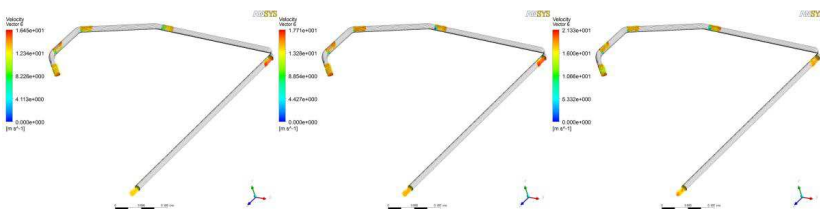
Průměrné hodnoty tlaku, hmotnostního toku a rychlosti oleje při teplotách média 0°C, 20°C a 70°C jsou uvedeny v Tabulce 4, a to pro všech šest zvolených průřezů. Velmi nízké záporné hodnoty tlaku v posledním průřezu znázorňují nulový tlak. Dále je možné z hodnot vysledovat stoupající rychlost proudění motorového oleje při zvýšení teploty, resp. snížení dynamické viskozity.

Tab. 4 Hodnoty tlaku, hmotnostního toku a rychlosti proudění

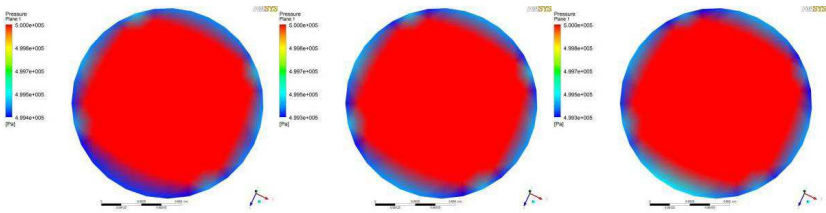
Shell 10W40								
0 °C			20 °C			70 °C		
ϕ tlak [Pa]	ϕ tok [kg.s ⁻¹]	ϕ rychlost [m.s ⁻¹]	ϕ tlak [MPa]	ϕ tok [kg.s ⁻¹]	ϕ rychlost [m.s ⁻¹]	ϕ tlak [MPa]	ϕ tok	ϕ rychlost
0.4998	-0.01461	13.12	0.4999	-0.01637	14.73	0.4999	-0.01892	16.62
0.468	-0.01507	13.21	0.4714	-0.01678	14.86	0.4682	-0.01948	16.99
0.4195	-0.01469	13.17	0.428	-0.01655	14.79	0.4332	-0.01878	16.74
0.3176	-0.01455	13.14	0.3367	-0.01641	14.74	0.3485	-0.01897	16.66
0.1766	-0.01458	13.14	0.1914	-0.01636	14.75	0.2031	-0.01857	16.85
-0.00000211	-0.01461	13.14	-0.000004521	-0.0164	14.74	-0.00001236	-0.01925	16.64

Na Obrázku 4 jsou zobrazeny proudnice rychlostí ve zvolených průřezech 1 až 6 při teplotě 0°C, 20°C a 70°C. Obrázek 5 zobrazuje vektory rychlostí oleje ve stejných průřezech, za stejných teplot.

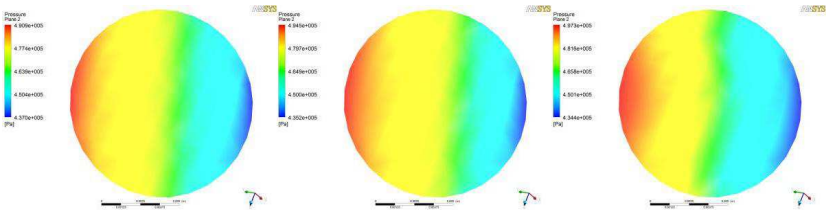
Na Obrázcích 7 až 12 jsou modelovány a znázorněny graficky tlaky ve zvolených průřezech 1 až 6, při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C. Při vytváření numerických modelů tlaků v průřezích byla zvolena nejjemnější zobrazovací síť, tudíž jsou Obrázky 7 až 12 velmi přesné. Dále je možné sledovat stoupající hodnoty tlaku s narůstající teplotou oleje v průřezech, a to především v zakřivení geometrie potrubí.

Obr. 4 Proudnice rychlostí při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C

Obr. 5 Vektory rychlostí oleje při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C


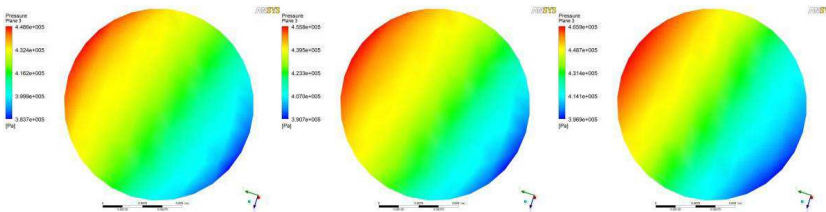
Obr. 7 Tlak v průřezu 1 při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C



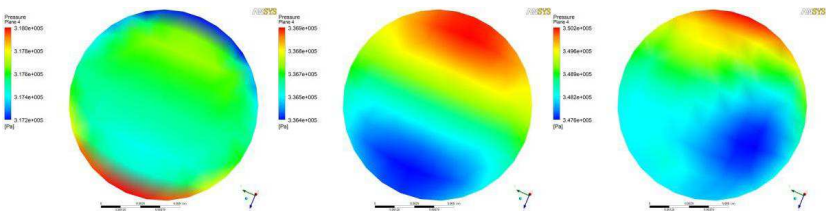
Obr. 8 Tlak v průřezu 2 při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C



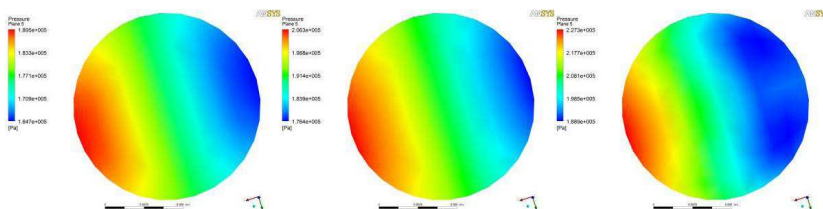
Obr. 9 Tlak v průřezu 3 při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C



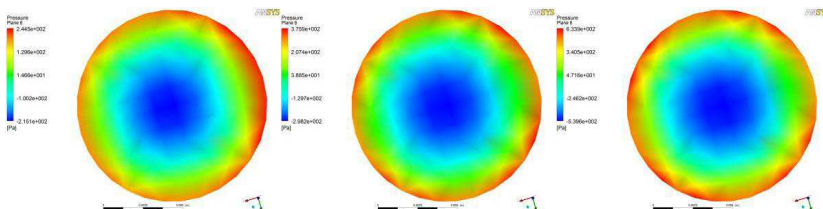
Obr. 10 Tlak v průřezu 4 při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C



Obr. 11 Tlak v průřezu 5 při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C



Obr. 12 Tlak v průřezu 6 při teplotě média 0°C, 20°C a 70°C



ZÁVĚR

V tomto článku bylo provedeno numerické modelování fyzikálně-mechanických stavů proudícího motorového oleje v reálném prostředí technického prvku – přívodního potrubí motorového oleje k turbodmychadlu používaného v motorech Zetor.

Nejprve byly změřeny teplotní závislosti dynamické viskozity a měrné hmotnosti (hustoty) pomocí moderních měřicích zařízení. Tyto hodnoty byly dále proloženy vhodně zvolenými regresními křivkami, aby bylo dosaženo spjitosti závislosti.

Dále byly pomocí programu ANSYS vytvořeny numerické modely průměrných hodnot hmotnostního toku, rychlosti proudění a tlaků motorového oleje v šesti zvolených průřezích. Tyto průřezy byly logicky vybrány – vstup, výstup a zakřivení geometrie přívodního potrubí.

Numerické modelování bylo provedeno pro tři zvolené různě viskózní motorové oleje (5W-30, 10W-40 a 15W40) při teplotách média 0°C, 20°C a 70°C. Pro názornost byly v tomto článku ilustrovány především výsledky numerického modelování motorového oleje s viskozitní třídou 10W-40, ovšem výsledky modelování měly obdobné trendy pro všechny tři vzorky motorových olejů.

Z výsledků průměrných hodnot tlaku, hmotnostního toku a rychlosti proudění oleje při třech zvolených teplotách je možné vysledovat stoupající rychlost proudění motorového oleje při zvýšení teploty, resp. snížení dynamické viskozity. Tím pádem stouply i hodnoty hmotnostního toku oleje.

Při vytváření numerických modelů tlaků v průřezech byla zvolena nejjemnější zobrazovací síť, tudíž jsou barevně zobrazené hodnoty tlaků v průřezech velmi přesné. Hodnoty tlaků oleje v průřezech stoupaly s teplotou, což lze vysvětlit zvýšením rychlosti proudění oleje při rostoucí teplotě.

Výsledky v tomto článku mohou sloužit nejen strojním konstruktérům k predikci fyzikálně-mechanických stavů proudění motorového oleje (nebo podobně viskózních kapalin) v potrubí podobného průměru a geometrie.

LITERATURA

KOZUBKOVÁ, M., 2008: *Modelování proudění tekutin*. 1. Vydání, Ostrava, 153 s.

KUMBÁR, V., ČUPERA, J., HAVLÍČEK, M., BUCHAR, J., 2012: Modelování teplotních závislostí vybraných fyzikálních vlastností směsí nového a upotřebeného motorového oleje. *Technická diagnostika*. 21, 1: 124—133. ISSN 1210-311X.

MAGGI, C., P., 2006: Advantages of Kinematic Viscosity Measurement in Used Oil Analysis. *Practicing Oil Analysis Magazine* 5, s. 38-52. ISSN 1536-3937.

SEVERA, L., HAVLÍČEK, M., ČUPERA, J., 2010: Changes of engine oil flow properties during its life cycle. *Acta Universitatis agriculturae et silviculturae Mendelianae Brunensis*. 58, 4: 203--208. ISSN 1211-8516.

SEVERA, L., HAVLÍČEK, M., KUMBÁR, V., 2009: Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oil. *Acta Universitatis agriculturae et silviculturae Mendelianae Brunensis*. 57, 4: 95--102. ISSN 1211-8516.

STEVAR, M., S., P., VOROBEV A., 2012: Shapes and dynamics of miscible liquid/liquid interfaces in horizontal capillary tubes. *Journal of Colloid and Interface Science*. 383: 184—197. ISSN 0021-9797.

ŠEDIVÝ, P., 2002: Teplotní závislosti fyzikálních veličin. Knihovnička fyzikální olympiády č.51. MAFY. Hradec Králové.