

# SLEDOVANIE VPLYVU EXTRÉMNYCH PODMIENOK A PRÍDAVKU BIOPALIVA NA GUMOVÉ TESNENIA

Michal DUBOVSKÝ, Milan OLŠOVSKÝ

*Fakulta priemyselných technológií TnUAD, I. Krasku 491/30, 020 01 Púchov  
e-mail: milan.olsovsky@fpt.tnuni.sk*

## ABSTRAKT

Nová legislatíva Európskej únie navrhuje hľadať nové ekologické alternatívy k tradičným palivám, ktoré by mali byť plnohodnotnou náhradou za letecký benzín a petrolej. V leteckých turbokompresorových motoroch sa používajú ako komerčne vyrábané materiály gumové tesnenia na báze NBR, ktorý je charakteristický neobvyklou kombináciou fyzikálnych vlastností. Tieto tesnenia boli vystavené extrémnym podmienkam počas 136 dní, ktoré simulujú prevádzkové podmienky. Boli vybrané podmienky -21 °C a 100 °C. Z nameraných výsledkov je zrejmé, že so zvýšením obsahu biopaliva (metylesterov kyselín repkového oleja) v leteckom petroleji dochádza k zhoršeniu fyzikálno-mechanických vlastností takto vyrábaných tesnení.

**Kľúčové slová:** metylester repkového oleja, letecký petrolej JET A1, komerčne vyrábané tesnenia, kritické podmienky

## ABSTRACT

New legislation proposed by the European Union to find new ecological alternative to traditional fuels, which should be a full replacement for aviation fuel and kerosene. The aero-turbo-compression engines are used as commercially produced materials rubber seals base on NBR, which is characterized by an unusual combination of physical properties. These seals were exposed to extreme conditions for 136 days that simulate operating conditions. The conditions relating to temperatures -21 and 100 °C were chosen for observation. The measured results indicate that addition biofuels (methylesters of rapsol oil - FAME) into aviation fuel JET A1 causes decrease of the physical and mechanical properties for used seals.

**Key words:** methylesters of rapsol oil, aviation fuel JET A1, commercially produced seals, critical conditions

## 1. ÚVOD

Letecký priemysel ako taký produkuje veľké množstvo škodlivých emisií do ovzdušia a tým dochádza k znečisteniu životného prostredia. Aby nasledujúce generácie nemuseli riešiť tento problém Európska Únia navrhla alternatívny spôsob pohonu s takou účinnosťou a efektívnosťou aby sa svojimi vlastnosťami a výkonom vyrovnal klasickým palivám. Ide o zmes leteckého petroleja Jet A1 a metylesteru repkového oleja (MERO). Biopalivá ako také sú ekologickejšie a sú považované za obnoviteľný druh energie, nakoľko k produkcii tohto typu sa používa rastlina s názvom jatropha. Hlavnou nevýhodou biopalív je obmedzená dostupnosť základnej suroviny (olejov a tukov) a vysoká cena na ich výrobu. Bionafta „MERO“ druhej generácie je v súčasnej dobe stále jediným alternatívnym palivom, ktoré sa bežne používa u bežných spaľovacích motorov. Niektorými svojimi parametrami prekonáva aj klasickú motorovú naftu a to hlavne vo vzťahu k opotrebeniu palivového systému a motora [1 - 4]. Pri prechode na biopalivá, treba zväžiť aj také aspekty, ako budú jednotlivé súčasti motorov reagovať na zmenu pohonného agregátu [5]. V leteckých turbokompresorových motoroch (LTKM) sa používajú gumové tesnenia na báze NBR. Pre gumené tesnenia sa nepožaduje mimoriadna pevnosť a odolnosť voči opotrebeniu, preto je výhodné používať väčšie plnenie menej aktívnymi sadzami, čo je aj cenovo výhodné. Je možné ich aj kombinovať (NBR a PVC) a tým získať výhodnejšie vlastnosti napr. odolnosť voči ozónu alebo napučaniu [6 - 7]. Odolnosť gumárenských zmesí závisí podľa toho aký druh rozpúšťadla sa používa a podľa podmienok pôsobenia. Jedným z kritérií odolnosti gumených tesnení proti účinku minerálnych olejov je aj stupeň napučania v oleji, ktorý je určený pri špecifických podmienkach [8]. Najmenšiu odolnosť, kedy je stupeň napučania väčší ako 100 % majú gumené tesnenia s uhlíkovým reťazcom. Polárnejšie polyméry sú odolnejšie ako napr. CR, NBR a najväčšiu odolnosť majú vulkanizáty na báze fluórkaučukov [9]. Pri napučaní vulkanizátov dochádza k zhoršeniu mechanických vlastností (pokles pevnosti v ťahu a štruktúrnej pevnosti) a tým aj k zhoršeniu funkčných a úžitkových vlastností. Tento pokles nebol taký dramatický aby v negatívnom slova zmysle ovplyvňoval funkčnosť týchto tesnení. Z našich výsledkov je evidentné [2 - 4, 10 - 12], že optimálny prídavok MERA do leteckého petroleja je do 30 % hmot. V tomto príspevku hodnotíme zmenu vybraných parametrov gumových tesnení LTKM vystavených okrem prídavku biopaliva MERO aj teplotám -20 °C a +100 °C. Tieto teploty simulujú hraničné teploty v reálnej prevádzke LTKM.

## 2. POUŽITÉ MATERIÁLY

**Metylestery kyselín repkové oleja (MERO)** - obsah esteru: min. 96,5 %; hustota (15 °C): 0,86 - 0,9 g.cm<sup>-3</sup>; kinematická viskozita (40 °C): 3,5 - 5,00 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>; bod vzplanutia: min. 120 °C; výhrevnosť: 39 MJ.kg<sup>-1</sup>; obsah síry: max. 10 mg.kg<sup>-1</sup>; uhlíkový zvyšok: max. 0,3 %; cetánové číslo: min. 51; obsah nečistôt: max. 24 mg.kg<sup>-1</sup>; obsah vody: max. 500 mg.kg<sup>-1</sup>; výrobca: Palma Tumys, a. s. Bratislava.

**Letecký petrolej JET A1** – číslo kyslosti: 0,003 mg KOH/g; bod vzplanutia: 64 °C; obsah síry: 0,01 Mg.kg<sup>-1</sup>; kinematická viskozita: 5,23 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>; výhrevnosť: 43,292 MJ.kg<sup>-1</sup>; hustota (15 °C): 810 kg.m<sup>-3</sup>; výrobca: Slovnaft, a. s. Bratislava  
**Gumové tesnenia** – štandardne používané tesnenia na báze NBR (typ: 2262A – 177).

### 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výskum bol realizovaný na Fakulte priemyselných technológií v Púchove v spolupráci s Leteckou fakultou Technickej univerzity v Košiciach. Práca sa zaoberá skúmaním vplyvu zmesi biopaliva a leteckého petroleja na gumové tesnenia vystavené nízkej a zvýšenej teplote. Tesnenia boli ponorené v leteckom palive s prídavkom 10 a 20 % hmot. metylesterov repkového oleja počas 136 dní a porovnávané s referenčnou vzorkou. Počas tohto obdobia sme merali tieto parametre: relatívnu zmenu hmotnosti (podľa normy ISO 1817), relatívnu zmenu tvrdosti (podľa normy ISO 48), pevnosť v ťahu (podľa normy ISO 37) a sieťovú hustotu (podľa postupu uvedeného v [13]). Pre každé podmienky sme robili 2 paralelné merania. Podmienky merania a zloženie palív sú uvedené v tabuľke 1.

**Tabuľka 1:** Podmienky skúšok

označenie vzorky	podmienky skúšky
0	štandard – bez pôsobenia paliva, pri laboratórnej teplote
1A, 1B	palivo JET A1 : MERO = 90 : 10, teplota: -20 °C
2A, 2B	palivo JET A1 : MERO = 90 : 20, teplota: -20 °C
3A, 3B	palivo JET A1 : MERO = 90 : 10, teplota: +100 °C
4A, 4B	palivo JET A1 : MERO = 90 : 20, teplota: +100 °C

V tabuľke 2 sú výsledky meraní počiatkovej hmotnosti a tvrdosti gumových tesnení, ktoré boli vystavené teplote -20 °C. V prvej fáze dochádzalo k absorbovaniu kvapaliny gumou a potom nastal pokles hmotnosti po 1200 h. Prvotný nárast súvisí so solvatáciou kaučukov a zvyšovaním celkového objemu vzoriek a následný pokles hmotnosti nastal po ustálení rozpúšťacej rovnováhy a bol pravdepodobne zapríčinený rozpúšťaním a vyplavovaním niektorých rozpustných častí gumových tesnení (hlavne nekaučukových prísad). Nakoniec hmotnosť opäť vzrástla čo bolo spôsobené napučívaním gummy kvapalinou resp. chemickou reakciou gummy s kvapalinou.

**Tabuľka 2:** Relatívna zmena hmotnosti a tvrdosti gumových tesnení v závislosti od času pôsobenia paliva pri -20 °C

čas pôsobenia paliva (h)	relatívna zmena hmotnosti (%)				relatívna zmena tvrdosti (%)			
	1A	1B	2A	2B	1A	1B	2A	2B
168	9,31	9,53	11,71	4,55	-2,93	-1,47	-1,47	-0,73
336	9,87	10,43	12,05	5,12	-4,39	-2,20	-1,83	-2,93
480	9,77	10,35	13,08	4,23	-4,03	-2,93	-3,66	-3,66
864	10,00	10,71	16,28	5,31	-6,22	-5,49	-6,59	-6,22
1200	8,71	8,59	11,79	2,88	-7,32	-6,23	-7,69	-6,59
1488	10,05	9,48	11,64	3,59	-8,06	-4,76	-4,03	-5,13
1992	10,15	10,17	8,08	3,23	-6,59	-7,32	-5,86	-5,86
2304	9,50	8,95	7,51	2,70	-8,06	-8,79	-8,42	-7,32
2496	9,12	8,71	7,19	2,51	-9,89	-	-8,80	-
2664	9,03	-	7,12	-	-10,62	-	-9,52	-
2952	9,49	-	7,36	-	-10,52	-	-9,61	-
3264	9,25	-	7,31	-				

So zvyšujúcim obsahom MERA v palive, ktoré pôsobí na kaučukovú maticu ako vnútorné zmäkčovadlo klesala tvrdosť gumových tesnení (Tab. 2). Bolo to zapríčinené zväčšujúcimi sa vzdialenosťami medzi jednotlivými makromolekulami a zvyšovaním ich pohyblivosti.

**Tabuľka 3:** Relatívna zmena hmotnosti a tvrdosti gumových tesnení v závislosti od času pôsobenia paliva pri 100 °C

čas pôsobenia paliva (h)	relatívna zmena hmotnosti (%)				relatívna zmena tvrdosti (%)			
	3A	3B	4A	4B	3A	3B	4A	4B
37	7,22	8,33	9,47	15,05	-	-	-	-
62	9,46	8,33	10,81	13,54	-1,47	-2,20	-2,19	-3,29
86	9,03	11,26	12,10	15,88	-2,93	-3,66	-3,30	-2,93
150	10,33	11,65	14,75	17,76	-3,29	-4,76	-4,40	-4,03
221	18,47	16,63	23,32	35,29	-4,75	-6,59	-4,76	-5,49
282	15,57	15,85	23,52	28,82	-6,96	-6,95	-6,96	-7,69
308	12,90	15,08	22,83	28,83	-2,56	-5,49	-4,40	-4,03
369	13,12	13,54	22,54	28,82	-4,39	-6,23	-5,86	-4,40
409	13,55	13,96	22,79	31,27	-6,60	-7,69	-8,42	-7,32
435	12,09	-	19,36	-	-9,89	-	-9,16	-
509	11,98	-	17,57	-	-9,52	-	-8,79	-
553	11,88	-	17,66	-	-9,45	-	-8,89	-

Po 400 h pôsobenia zvýšenej teploty a roztoku biopaliva s leteckým petrolejom ostali gumové tesnenia krehké a lesklé (dali sa veľmi ľahko zlomiť). Preto nebolo možné na nich vykonať ťahové skúšky. Bolo to najpravdepodobnejšie spôsobené vyextrahovaním a čiastočným odparením zmäkčovadiel (a ostatných prchavých látok) z kaučukovej zmesi použitej na

výrobu tohto tesnenia. Zmena hmotnosti gumových tesnení bola až v rozmedzí 20 – 30 %, čo je výrazne viac ako pri teplote -20 °C. Znamená to, že zvýšená teplota tiež urýchľuje degradáciu tesnení. Najvýraznejšia zmena hmotnosti bola pri vzorkách 7 a 8, čo sú vzorky, ktoré boli vystavené pôsobeniu paliva s prídavkom 20 % hmot. MERO. Znamená to, že MERO v kombinácii s vyššou teplotou pôsobí na gumové tesnenia značne deštruktívne. Pokles tvrdosti bol približne rovnaký pri oboch podmienkach skúšky, ani zloženie paliva nemalo výrazne odlišnejší vplyv na tvrdosť.

V priebehu vulkanizácie sa tvorí trojrozmerná priestorová sieť, čo je spôsobené tým, že medzi lineárnymi reťazcami kaučuku dochádza k vzniku chemických väzieb. Ďalšie merania uvedené v tabuľke 4 ukázali, že prídavok MERA v palive nezhoršuje parametre sieťovej hustoty čo je asi jediným pozitívnym zistením.

**Tabuľka 4:** Sieťová hustota gumových tesnení

vzorka	čas pôsobenia paliva (h)	sieťová hustota (mol/cm <sup>3</sup> ) .10 <sup>-4</sup>
0	-	7,923
1A	2496	7,319
1B	2496	7,468
2A	409	8,123
2B	409	8,197
3A	3246	8,195
3B	3246	8,210
3A	553,5	8,035
3B	553,5	8,137

#### 4. ZÁVER

Predmetom experimentu bolo zistiť, aký vplyv bude mať zmes MERA a leteckého petroleja na fyzikálno-mechanické vlastnosti gumových tesnení leteckých motorov za nízkej a zvýšenej teploty (+100 °C a -20 °C). Naše pokusy ukázali, že optimálny prídavok MERA do leteckého petroleja je do 30 %, čo dobre korešponduje s odbornou literatúrou [11 - 14]. Jednou z možností môže byť náhrada MERA iným biopalivom alebo zmena NBR za fluórkaučuky, ktoré sú výrazne odolnejšie voči ropným produktom, ale táto možnosť je nepravdepodobná nakoľko ich cena je neporovnateľne vyššia.

#### 5. LITERATÚRA

- [1] ANDOGA, R. - MADARÁSZ, L. - FÖZÖ, L.: *Situational modeling and control of a small turbojet engine*. In: MPM 20, IEEE International Conference on Computational Cybernetics Tallin, Estonia (2006), p. 81 - 85.
- [2] HOCKO, M.: *Možnosti využitia netradičných palív pre pohon leteckých turbokompresorových motorov*. In: 6. Medzinárodná konferencia Nové trendy v rozvoji letectva. Košice, 9. - 10. 9. 2004, s. 21 – 25.

- [3] HOCKO, M.: *Použitie zmesi biopaliva „MERO“ s leteckým petrolejom pre pohon leteckých turbokompresorových motorov*. In: Zborník abstraktov zo 7. Medzinárodnej vedeckej konferencie „Nové trendy rozvoja letectva“. Košice, 6. - 8. 9. 2006.
- [4] HOCKO, M. - BAJUSZ, P.: *Possibilities of using the unconventional fuels to drive aeronautical turbojet engines*. In: Acta Avionica, ročník VIII, č. 12, (2006).
- [5] RAJEC, M.: *Biozložky v zmesi s leteckým petrolejom a ich vplyv na tesniace pasty v palivových sústavách* (diplomová práca). Púchov: FPT TnUAD, 2012, 83 s.
- [6] CHRÁSTOVÁ, V. - BORSIG, E.: *Makromolekulová chémia*. Bratislava: STU, 1996.
- [7] LOADMAN, M. J. R.: *Analysis of Rubber and Rubber-like Polymers*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1999.
- [8] BARLOW, F.: *Rubber Compounding - Principles, Materials and Techniques*. New York: Marcel Dekker, 1993.
- [9] MEISSNER, B. - ZILVAR, V.: *Fyzika polymerů*. Praha: SNTL, 1987.
- [10] OLŠOVSKÝ, M. a kol.: *Vplyv obsahu biozložiek v zmesi biopaliva MERO a leteckého petroleja na vlastnosti gumových tesnení palivových sústav leteckých motorov*. In: Zborník z 8. medzinárodnej vedeckej konferencie Nové trendy rozvoja letectva. Košice, 11. – 12. 9. 2008, s. 92 – 93.
- [11] KRAJČI, J.: *Vplyv prídavku biopaliva na gumové tesnenia leteckých motorov* (diplomová práca). Púchov: FPT TnUAD, 2009, 59 s.
- [12] DUBOVSKÝ, M.: *Vplyv prevádzkových podmienok na gumové tesnenia palivových sústav s biopalivom* (diplomová práca). Púchov: FPT TnUAD, 2012, 66 s.
- [13] OLŠOVSKÝ, M. - VAJDOVÁ, J.: *Laboratórne cvičenia z chémie polymérov*. Trenčín: TnUAD (2008).
- [14] LAZAR, T.: *Inovatívne výstupy z transformovaného experimentálneho pracoviska s malým prúdovým motorom*. Košice: Elfa, 2011.