

## MOŽNOSTI VYUŽITÍ ELEKTRONOVÉHO URYCHLOVAČE PRO TESTOVÁNÍ MAZACÍCH MÉDIÍ

JIŘÍ STODOLA<sup>a</sup>, MÁRIA PORUBSKÁ<sup>b</sup>  
a PETER HYBLER<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, <sup>b</sup> Univerzita Konstantina Filozofa v Nitře, Fakulta přírodních věd, <sup>c</sup> Univerzitní centrum elektronických urychlovačů Slovenské zdravotnícké university v Bratislavě, dislokované pracoviště Trenčín  
jiri.stodola@unob.cz

Došlo 25.7.17, přepracováno 29.5.18, přijato 29.5.18.

Klíčová slova: ionizující záření, svazek urychlených elektronů, motorový olej, hydraulická kapalina, kinematická viskozita

### Úvod

Mazací média a hydraulické kapaliny jsou rozhodující konstrukční součástí energetických strojů (spalovací motory aj.), jejich funkčních systémů (převodová ústrojí, hydraulické systémy aj.) pro mobilní techniku. Hrají také velmi důležitou roli v oblasti spolehlivosti a životnosti těchto strojů. Jedná se o základní funkce mazání, tj. oddělení povrchů dynamicky namáhaných pohyblivých částí, snížení tření a opotřebení, čištění, chlazení, těsnění, ochranu proti korozi, termickou, oxidační a stříhovou stabilitu, přenos sil a momentů, mají vliv na výkon stroje, spotřebu paliva, aj.<sup>1</sup>. Mazací média jsou technologicky velmi složité výrobky, jejichž užité vlastnosti jsou klasifikovány řadou technických parametrů. Z hlediska uživatelů se jedná o dvě základní specifikace, a to viskozitní a výkonnostní. Mezi základní parametry těchto médií patří viskozita, teplotní a oxidační stabilita, obsah aditiv, obsah vody a reologické vlastnosti při nízkých teplotách.

Ionizující záření se ve světě stále masívněji využívá k testování a rovněž k optimalizaci vlastností různých materiálů. Urychlovače elektronů jsou v současnosti průmyslově řazeny do různých technologických procesů, např. výrobní linky kabelů, pneumatik a plastů<sup>2,3</sup>, standardně se užívají v oblasti úpravy a sterilizace materiálů zářením, např. sterilizace zdravotnických pomůcek a materiálů, síťování polymerů a rostlinných materiálů, úprava kontaminovaných složek životního prostředí, modifikace polovodičových struktur, ochrana historických artefaktů, ochrana potravin nebo simulace radiačního stárnutí komponentů, pracujících v prostředí s radiací.

K nežádoucí termooxidační degradaci mazacích médií a hydraulických kapalin dochází během jejich používání

ve spalovacích motorech, převodových ústrojích, hydraulických systémech aj. Ionizační záření jako masivní energetický zdroj umožňuje simulovat silné zatížení těchto médií a urychlit jejich degradaci. Na základě toho předpokládáme, že by expozice ionizačního záření mohla být významnou alternativní metodou zrychleného stárnutí a degradace mazacích médií a hydraulických kapalin, což by v pozitivním případě umožnilo odvodit korelační vztahy o jejich životnosti. Zrychlenou degradací vybraných parametrů olejů a hydraulických kapalin, podle našich znalostí, se ve světě dosud nikdo systematicky nezabývá, resp. dosud nejsou dostupné žádné výsledky z této oblasti. Předložený článek zahrnuje poznatky z první fáze výzkumu, kde hlavním cílem byl vývoj nové alternativní metody zrychlené degradace vybrané základní vlastnosti mazacích médií – viskozity ozařováním svazkem urychlených elektronů. Druhá fáze výzkumu bude zaměřena na ovlivnění životnosti vybraných mazacích médií s využitím radiačně ovlivněného materiálu.

V tomto příspěvku jsou uvedeny základní informace z testování stability, resp. degradace hotového finálního produktu v extrémních podmínkách. Ačkoliv metodicky by bylo korektnější testovat vzorky základového oleje bez balíčku aditiv, vychází se z faktu, že základové oleje jsou velmi podobné. Člení se standardně do pěti skupin. První tři skupiny zahrnují minerální oleje (rozpuštěldlové rafináty a hydrokrakové oleje), s jediným rozdílem v množství nasycených uhlovodíků, síry a v hodnotě viskozního indexu; čtvrtá a pátá skupina pak zahrnuje syntetické oleje (polyalfaolefiny, estery, polyethery, polyglykoly aj.). Obecně by bylo korektní vybrat mazací a hydraulické oleje pro testování na základě původu základového oleje (selektivní rafinát, hydrokrakový nebo polyalfaolefinový základ), ale výběr testovaných vzorků byl motivován především zcela konkrétními potřebami praxe a možným použitím testovaných mazacích médií v různých provozních podmínkách na základě konkrétního zadání. Jednalo se o tyto produkty: a) minerální motorový olej Ursula SUPER pro velké a extrémně zatížené přeplňované i nepřepřňované čtyřválcové motory speciální techniky; b) syntetický motorový olej Shell Hellix HX7 pro denně provozované benzinové a naftové motory osobních vozidel, užívající jako palivo bionaftu nebo ethanol; c) syntetický motorový olej Castrol EDGE Professional A5 pro automobily s výkonnými benzinovými i naftovými motory; d) hydraulická kapalina Shell S4 ATF HDX pro automatické a manuální převodovky, hydraulické systémy, resp. silové řídicí systémy. Příklad technické specifikace testovaného oleje Ursula SUPER viskozní třídy 10W30 z produktového listu výrobce je uvedena v tab. I.

Specifikaci viskozních tříd olejů (ČSN 65 6601) stanovuje norma ISO-SAE, výkonnostní klasifikaci olejů stanovují normy API, ACEA, MIL-L, CCMC a firemní normy: VW, MB, MAN, BMW, Volvo, Ford, Renault, Caterpillar, DAF, Scania, Iveco aj.

Tabulka I  
Typické hodnoty motorového oleje Ursa SUPER

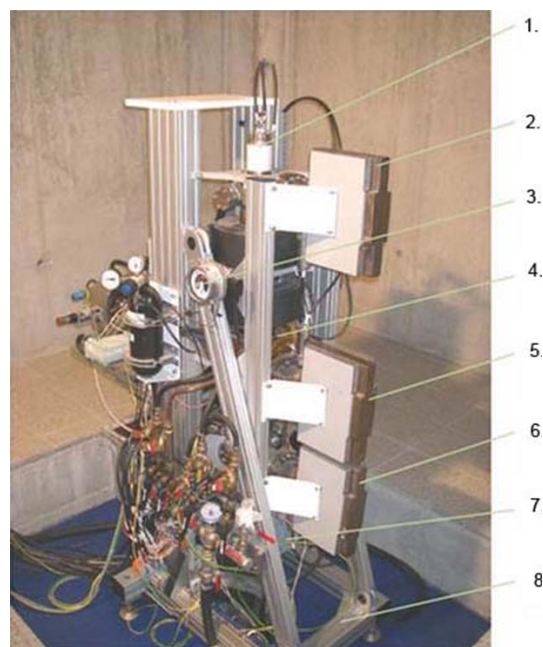
Test	Metoda testování	Výsledky	Test	Metoda testování	Výsledky
Hustota, 15 °C, kg l <sup>-1</sup>	ASTM D4052	0,88	Kinematická viskozita, 40 °C, mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	ISO 3104	108,6
Viskozitní index	ISO 2909	139	Kinematická viskozita, 100 °C, mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	ISO 3104	14,7
HTHS, 150 °C, mPas	CEC-L-36-A-90	4,0	Čerpatelnost, -25 °C, mPa s	ASTM D4684	22 000
Bod tekutosti, °C	ISO 3016	-27	Bod vzplanutí COC, °C	ISO2592	226
Těkavost -Noack, %hm.	CEC-L-40-A-93	11,5	TBN, mg KOH g <sup>-1</sup>	ISO 3771	9,5
Sulfátový popel, %hm.	ASTM D0874	1,3	Barva	ISO 2049	4,5

### Popis urychlovače a realizovaných experimentů

K ozařování byl použit lineární elektronový urychlovač UELR 5-1S, který produkuje elektrony s energií v rozsahu od 3,6 do 6,2 MeV, popř. rentgenové záření. Pro radiační úpravu materiálů je možné využít dávky od mGy až do MGy. Dozimetrické systémy urychlovače respektují mezinárodní standardy a umožňují měření od nízkých dávek (Gy) po vysoké dávky (100 kGy) s přesností do 5 %. Celkový pohled na urychlovač je na obr. 1, výstupní zařízení urychlovače je na obr. 2.

Formování a urychlení svazku elektronů se uskutečňuje v urychlovací struktuře (obr. 1, pozice 4) zářiče urychlovače. Elektrony jsou emitovány nepřímo žhavenou oxid-niklovou katodou a jsou formovány optickým systémem zdroje elektronů. Zvýšení kinetické energie elektronů se realizuje elektrickým polem elektromagnetické vlny<sup>4</sup>. Zdrojem elektromagnetické energie je impulzní magnetron, z něho se energie přenáší do urychlovací struktury s vysokým vakuem. Svazek urychlených elektronů je sledem krátkých proudových impulzů (3,5 μs) s frekvencí od 5 do 240 Hz. Zaměření svazku se realizuje vysokofrekvenčním polem. Za urychlovací strukturou je indukční snímač, jehož signál využívá řídicí program na kontrolu proudu svazku. Výstupní zařízení zabezpečuje vývod svazku do atmosféry, jeho rozklad, kontrolu délky a měření proudu. Rozklad svazku se uskutečňuje ve vakuové komoře. Dozimetrie ionizujícího záření je založena na schopnosti vytvářet v látce, kterou prochází, záporné a kladné ionty (ionizovat) a vyvolávat měřitelné fyzikální jevy, které jsou definovaným způsobem závislé na množství záření absorbovaného danou látkou. Jde např. o změnu vodivosti, teploty, barvy a o vznik termoluminiscence. Pomocí různých metod dozimetrie lze charakterizovat vlastnosti zdroje záření, pole záření nebo účinky záření na látku, kterou prochází. Základní veličinou, pomocí které charakterizujeme účinek záření na látku, je absorbovaná dávka, což je množství energie předané látce zářením.

Jednotkou dávky je 1 gray (Gy) s rozměrem J kg<sup>-1</sup>. V praxi existuje mnoho měřiců záření (dozimetrů), které lze obecně členit na dvě základní skupiny<sup>5</sup>, a to podle toho, zda podávají informaci kontinuálně, např. ionizační komory, Geigerovy-Müllerovy počítače, polovodičové detektory, scintilační detektory, elektronické dozimetry nebo je v nich informace o množství sdělené a kumulované energie vyhodnoceno integrálním dozimetrem, např. filmovým, termoluminiscenčním a fotoluminiscenčním.



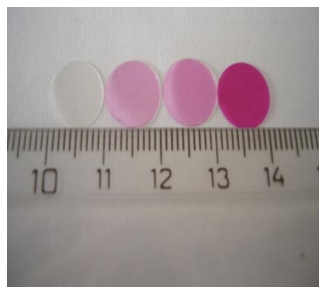
Obr. 1. Celkový pohled na urychlovač; 1 – zdroj elektronů, 2 – magnetické vybíjecí vakuové čerpadlo 1, 3 – kontaktní manometr tlaku SF<sub>6</sub>, 4 – urychlovací struktura s indukčním snímačem, 5 – magnetické vybíjecí vakuové čerpadlo 2, 6 – magnetické vybíjecí vakuové čerpadlo 3, 7 – skenovací magnet, 8 – rám zářiče



Obr. 2. Výstupní zařízení urychlovače; 1 – komora skenování svazku, 2 – magnet rovnoběžnosti svazku, 3 – blok kontroly šířky rozvinutí, 4 – pohon sběrače proudu, 5 – sběrač proudu, 6 – pohlcovač proudu

Pro vlastní měření absorbované dávky byla jako dozimetr použita radio-chromitá folie B3 (obr. 3), umožňující měření v rozsahu od 1 do 100 kGy s přesností 3 %. Vlastní dávka ozáření byla určena spektrofotometrem.

Při vývoji alternativní metody urychleného stárnutí byl nejprve zkoumán vliv elektronového svazku na kinematičnou viskozitu, která je nejdůležitější funkční vlastností mazacích médií. Kinematičká viskozita je fyzikální veličina, udávající poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti, v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny. Viskozita pak jednoznačně charakterizuje vnitřní tření, je funkcí přitažlivých sil mezi částicemi. Byly zohledněny vztahy viskozity, teploty, tlaku a smykového spádu. K vlastnímu měření byl použit poloautomatický přístroj SpectroVISC Q<sup>300</sup> (cit<sup>12</sup>). Vzorky motorových olejů Castrol EDGE 0W30, URSA SUPER, HELIX HX7 5W30 a hydraulická kapalina Shell S4 ATF HDX byly ozařovány při stejných fyzikálních



Obr. 3. Dozimetrická folie B3

parametrech urychlovače, které zahrnovali frekvenci skenování svazku 1 Hz, frekvenci impulzů svazku 120 a 240 Hz, šířku svazku 40 cm a energii urychlení elektronů 5 MeV. Postup experimentu zahrnoval ozařování vzorků o objemu 5 cm<sup>3</sup> v Petriho miskách průměru 9 cm a s výškou 1,5 cm; na dno Petriho misek a před ně byly fixovány dozimetrické misky; misky a dozimetrické byly umístěny na dopravník urychlovače. Rychlost dopravníku určovala velikost dávky ozáření, proto byla měněna pod ozařovacím oknem podle požadované hodnoty dávky.

## Vyhodnocení výsledků a diskuse

### Fyzikálně-chemické procesy při ozařování

Ropná mazací média jsou uhlovodíky s rozvětvenými řetězci nebo cykloalkany, s 5 nebo 6 členným nasyceným kruhem, s různě dlouhými alkylovými substituenty, což je podstatné pro hodnoty viskozity. Viskozitu rovněž ovlivňuje přítomnost aromatických uhlovodíků. Při ozařování uhlovodíkových materiálů elektronovým svazkem lze akceptovat skutečnost, že primárním krokem je interakce elektronů s uhlovodíkem, jehož výsledkem je excitace vazby C-H a následná tvorba radikálů<sup>8–10,16</sup>. Tyto jevy lze popsat třemi standardními stádii, iniciací, propagací a terminací<sup>13</sup>.

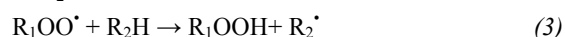
### Iniciace



Vznikající radikál v prostředí vzdušného kyslíku ihned oxiduje:



Vzniká peroxylový radikál R<sub>1</sub>OO<sup>•</sup>, který reaguje s další molekulou uhlovodíku R<sub>2</sub>H na hydroperoxylový a nový radikál R<sub>2</sub><sup>•</sup>:



Hydroperoxylový se v důsledku nízké aktivační energie relativně lehce štěpí:



Vzniklé radikály se mohou účastnit rozkladu dalších radikálů, resp. hydroperoxylových a nastartují tak tvorbu nových radikálů. Vznikají karbonylové sloučeniny typu R-CO-R a aldehydy RHO.

Propagace degradačního procesu znamená trhání uhlovodíkových řetězců na kratší fragmenty. Fyzikálním projevem popsaného děje, jako poklesu molových hmotností, je i pokles viskozity oleje.

Terminace, při které dojde k interakci generovaných radikálů (rekombinaci) za vzniku neaktivních produktů:



Terminálně neaktivní produkty mohou mít různou délku a větvení řetězců. Vznikne-li při iniciaci na řetězci dvojfunkční radikál, může se rekombinovat se dvěma dalšími radikály ze dvou různých řetězců. Vzniká tak zesítěná struktura, která neumožňuje nezávislý pohyb spojených řetězců a ztěžuje tečení oleje přes trubici (kapiláru) viskozimetru, tj. zvyšuje viskozitu. V extrémním případě může vzniknout tolik zesítěných řetězců, že v oleji vytvoří těžko vizuálně pozorovatelné částičky gelu (tzv. gelový bod), které mohou vést až k ucpávání kapiláry viskozimetru. Při radikálových reakcích nevznikají pouze karbonylové sloučeniny, ale rovněž organické kyseliny, reaktivní organické peroxidy a peroxokyseliny, které iniciují degenerativní větvení řetězce s intenzivní tvorbou radikálů, což pak významně urychluje oxidační degradaci těchto médií.

Štěpení řetězců uhlovodíků vlivem ozáření elektronovým svazkem v inertní atmosféře pro zabránění oxidace by bylo možné přirovnat ke krakování ropy, jejíž úlohou je snižovat molovou hmotnost vysokomolekulárních frakcí a produkovat nižší frakce.

Termooxidačně exponované (degradované) oleje obsahují rovněž nenasycené vazby, které mohou dále již mnohem ochotněji integrovat s elektronovým svazkem. Způsobuje to nižší disociační energie vodíku v nenasycené

vazbě  $R_x-CH=CH-R_y$ . Při štěpení, větvení a sítění uhlovodíkových řetězců dochází při odštěpení vodíku také ke vzniku dalších nenasycených struktur. Zvyšování množství nenasycených vazeb, vede ke vzniku tmavšího zbarvení ozařovaného oleje, až ke karbonizaci. S tím souvisí postupná změna barvy ozařovaného oleje v experimentu.

#### Diskuse a interpretace výsledků

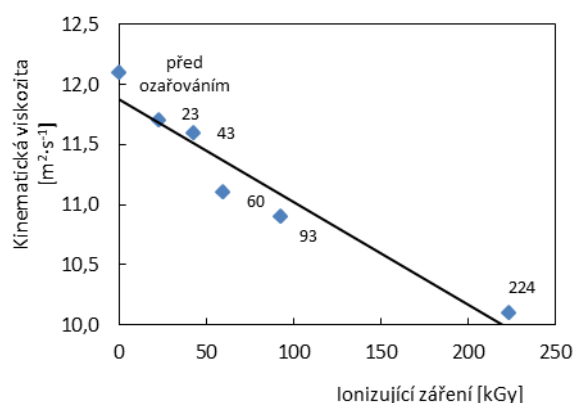
Souhrnné výsledky měření hodnot kinematické viskozity ozařovaných olejů získané během experimentu jsou uvedeny v tab. II.

Vybrané výsledky změn kinematické viskozity vlivem ozařování pro nepoužitý a opotřebovaný olej Castrol EDGE 0W30 jsou uvedeny na obr. 4 a 5.

Pokles viskozity vzorků R13–R34 indikuje postupnou degradaci oleje, trhání (zkracování délky) řetězců. Nezměněnou viskozitu vzorku R14 vzhledem k R13 lze interpretovat tak, že v daném oleji dávka  $\approx 23$  kGy ještě nevyvolala takovou míru strukturních změn, které by ovlivnily viskozitu. Při absenci informace o složení aditivního systému testovaného oleje na průběh degradace řetězce u vzorku R14 je možné usoudit, že koncentrace antioxidantů mohla být ještě dostatečně vysoká, aby úspěšně brzdila průběh

Tabulka II  
Výsledky měření kinematické viskozity ozařovaných olejů

Označení vzorku	Skupina vzorků	Druh oleje	Úprava vzorků [kGy $\pm$ 5 %]	KV 100 [mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
R1	A	URSA SUPER (nový)	před ozařováním	12,5
R2	B	URSA SUPER	224	19,2
R13	A	Shell HELIX HX7 5W30 (nový)	před ozařováním	14,9
R14	B	Shell HELIX HX7 5W30	23	14,9
R15	C	Shell HELIX HX7 5W30	43	14,7
R16	A	Shell S4 ATF HDX (nový)	před ozařováním	11,1
R17	B	Shell S4 ATF HDX	60	10,7
R18	C	Shell S4 ATF HDX	93	10,6
R19	A	Castrol EDGE A5 0W30 (nový)	před ozařováním	12,1
R20	B	Castrol EDGE A5 0W30	23	11,7
R21	C	Castrol EDGE A5 0W30	43	11,6
R22	D	Castrol EDGE A5 0W30	60	11,1
R23	E	Castrol EDGE A5 0W30	92,94	10,9
R24	F	Castrol EDGE A5 0W30	224 kGy	10,1
R29	A	Castrol EDGE 0W30 (použitý 30 000 km)	před ozařováním	11,2
R30	B	Castrol EDGE 0W30	23	11,1
R31	C	Castrol EDGE 0W30	43	10,8
R32	D	Castrol EDGE 0W30	60	10,7
R33	E	Castrol EDGE 0W30	92,94	10,5
R34	F	Castrol EDGE 0W30	224	9,8

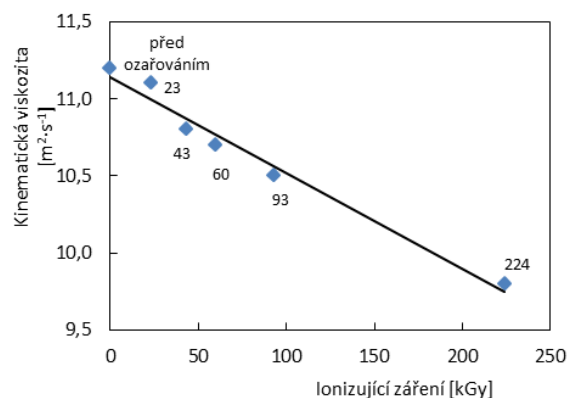


Obr. 4. Změna kinematické viskozity vlivem ozařování nového oleje

radikálových štěpicích a oxidačních reakcí. V případě nestabilizovaného oleje by pravděpodobně neexistovala lineární souvislost s energií ionizujícího záření, ale dala by se očekávat s indukční periodou. Nejvyšší aplikovaná dávka ozáření  $\approx 224 \text{ kGy}$  u vzorku R2 vyvolala nárůst viskozity o  $6,7 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  vzhledem k výchozímu vzorku, což je v protikladu s klesající viskozitou ostatních vzorků. To indikuje fakt, že absorbovaná dávka zde vyvolala větší větvení, popř. síťování řetězců. Pohyblivost masivně rozvětvených struktur s délkou větví porovnatelnou s lineárním řetězcem o shodné molové hmotnosti je brzděna v důsledku vytváření většího počtu fyzikálních zauzlení s jinými řetězci. Proto je průtok kapilárou viskozimetru v porovnání s lineárním řetězcem ztížený, a tedy zvyšuje kinematickou viskozitu. Totéž platí pro olej obsahující mikrogel vzniklý zformováním příčných vazeb.

Vzhledem k tomu, že v syntetických polymerech se měřitelný gel pozoruje při ozáření okolo  $200 \text{ kGy}$  (cit.<sup>2-4</sup>), můžeme hypoteticky předpokládat, že k naměřené relativně vysoké viskozitě v tohoto vzorku přispívá také přítomnost této gelové frakce, i když dobře neznáme vliv konkrétních aditiv na průběh stárnutí. Při koncentraci antioxidantů, které by jinak zabránily masivnímu nárůstu radikálů v průběhu expozice vysokoenergetického záření, mohlo dojít k masivnímu nárůstu vysokomolekulárních sloučenin karbonového charakteru. Podrobná struktura exponovaného vzorku zatím nebyla studována.

Porovnání vývoje viskozity vzorků Castrol EDGE 0W-30, obr. 4 a 5, naznačuje, že parametry trendových přímk by mohly být využity pro charakteristiky vývoje viskozity, resp. efektivnosti aditivního systému stroje. Na podrobnější analýzu dosud chybí statisticky významný vzorek dat.



Obr. 5. Změna kinematické viskozity vlivem ozařování použitého oleje (30 000 km)

## Závěr

Úvodní studie byla zaměřena na ověření zrychlené degradace vybraných motorových olejů a hydraulické kapaliny standardně používaná v automobilovém průmyslu vlivem ozařování urychlenými vysoce-energetickými elektrony<sup>12</sup>. Za míru degradace byla vybrána změna kinematické viskozity měřené podle platného standardu<sup>15</sup> v závislosti na absorbované dávce záření. Výsledky ukazují, že účinkem svazku urychlených elektronů dochází ke změnám sledovaného parametru, což jednoznačně potvrzuje existenci zrychlených degradačních procesů<sup>14</sup>. Získané poznatky vytváří předpoklady pro komplexní analýzu změn základních vlastností provozních kapalin, používaných v automobilovém průmyslu resp. u speciální techniky, vlivem ionizujícího záření. Existuje reálný předpoklad, že analogické experimenty zaměřené na další důležité parametry mazacích olejů a hydraulických kapalin (TBN, stříhová stabilita, oxidační produkty aj.) a jejich korelace s hodnotami pro praktické používání budou podkladem pro koncipování metody urychleného stárnutí s cílem predikovat jejich životnost<sup>6,7</sup>. Do testování budou zahrnuty také základové oleje pro vyloučení zkreslujícího vlivu aditiv a získání relevantních výsledků závislých pouze na uhlovodíkovém složení oleje. Na druhé straně lze uvažovat o vhodnosti metody pro testování účinnosti aditiv pro mazací oleje a hydraulické kapaliny. Podle dostupných informačních pramenů nebyl tento typ experimentu dosud nikde ve světě realizován.

## LITERATURA

1. Vlastnosti motorových olejů. <http://www.olejepema.cz/cs/vlastnosti-motorovych-oleju.html>, staženo 7. 7. 2017.
2. Usačev S., Chrapan J., Chudý, M., Vanovič J.: *Experimentální jadrová fyzika*. Alfa, Bratislava 1982.

3. Niiefa D., Jefremova V.: *Lineárny urýchľovač elektrónov UELR-5-1S*, Interní zpráva UCEA SZU, Trenčín 2010)
4. *Industral Radiation Processing With Electron Beams and X-rays*. Interní zpráva IAEA International Atomic Energy Agency, Vienna 2011.
5. Ullmann V.: *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření*. <http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>, staženo 3. 7. 2017.
6. Stodola J., Novotný P.: *Tribodiagnostika BSV*. Skriptata. Univerzita obrany Brno, Brno 2015.
7. Stodola J., Machalíková J.: *Spolehlivost a diagnostika BSV, Část: Provozní hmoty a materiály pro MVT*, Skripta. Univerzita obrany Brno, Brno 2006.
8. Lazár M., Rado R., Rychlý J.: *Adv. Polymer Sci.* 95, 149 (1990).
9. Chodák I.: *Prog. Polym. Sci.* 20, 1165 (1995).
10. Porubská M., Janigová I., Jomová K., Chodák I.: *Rad. Phys. Chem.* 102, 159 (2014).
11. Interní materiály UCEA. <http://www.szu.sk/index.php?&menu=351&oid=#menutop>, staženo 3. 7. 2017.
12. Ptašínský J., Stodola J., Hybler P.: *Zmena vlastností kvapalín používaných v automobilovom priemysle vplyvom radiačného ožarovania*. Interní zpráva. Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka, Fakulta špeciálnej techniky, 2017.
13. McMurry J.: *Organická chemie*. Vutium 2015.
14. Furch J.: *Proc. 15<sup>th</sup> International Conference Transport Means, Kaunas 20-21 Oct 2011*, (Ostaševičius V., ed.) str. 5-8. (Plenary Lecture).
15. ČSN EN ISO 3104 (656216). *Ropné výrobky. Průhledné a neprůhledné kapaliny. Stanovení kinematické viskozity a výpočet dynamické viskozity*. EAN 8590963264301 (1998).
16. Radikálová substitute. [https://cs.wikipedia.org/wiki/Radikalova\\_substitute](https://cs.wikipedia.org/wiki/Radikalova_substitute), staženo 7. 7. 2017.

**J. Stodola<sup>a</sup>, M. Porubská<sup>b</sup>, and P. Hybler<sup>c</sup>**  
 (<sup>a</sup> *University of Defence in Brno, Faculty of Military Technology, Department of Combat and Special Vehicles, Czech Republic*, <sup>b</sup> *Constantine the Philosopher University in Nitra, Faculty of Natural Sciences, Department of Chemistry*, <sup>c</sup> *University Centre of Electron Accelerators, Slovak Medical University in Bratislava, Dislocated Workplace Trenčín, Slovakia*): **Possibilities of Using Accelerated Electron Beam for Testing Engine Oil Media**

The article deals with selected results of a pilot project on the research of changes in the kinematic viscosity of mineral oils due to the exposition to ionizing radiation. Lubricating media are essential for the operation of energy sources and their functional systems (internal combustion engines, gear units, hydraulic systems, etc.). Their functional properties, base oil and used additives (detergents, dispersants, anti-corrosion and anti-wear additives, viscosity modifiers, polymer swelling agents, adhesion promoters, oxidation inhibitors, metal deactivators, anti-fouling agents, etc.) significantly affect the reliability and durability of energy sources and their systems.

Keywords: ionizing radiation, accelerated electron beam, engine oil, hydraulic liquid, kinematic viscosity