

# Badania właściwości reologicznych zawiesiny heterogenicznego paliwa raketowego na bazie kauczuku HTPB

Bogdan FLORCZAK\* – Instytut Przemysłu Organicznego, Warszawa; Ewelina BEDNARCZYK, Andrzej MARANDA - Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2015, 69, 3, 136–145

## Wstęp

W początkowym okresie procesu technologicznego wytwarzania stałych, heterogenicznych paliw raketowych mamy do czynienia z mieszaniną substancji chemicznych ciekłych i stałych o konsystencji półpłynnej, która w wyniku mieszania w ściśle określonym czasie i określonej temperaturze, staje się zwartą płynną masą typu wysoko napełnionej zawiesiny o właściwościach płynu nienewtonowskiego. Lepkość takiej zawiesiny zależy od czasu, temperatury, szybkości ścinania i wielu innych czynników. Sprawia to, że można określić jedynie jej pozorną lepkość ( $\eta_z$ ) w danych warunkach eksperymentu, która zależy od lepkości fazy ciekłej ( $\eta_c$ ) i lepkości strukturalnej ( $\eta_s$ ) [1].

$$\eta_z = \eta_c + \eta_s \quad (1)$$

$$\eta_s(\Phi) = \eta_c[2,5\Phi + 10,5\Phi^2 + \exp(a + b\Phi)] \quad (2)$$

$$\eta_s(\Phi) = \eta_c K\Phi / (1/\Phi - 1/\Phi_m) \quad (3)$$

stąd otrzymujemy

$$\eta_z = \eta_c[1 + 2,5\Phi + 10,5\Phi^2 + \exp(a + b\Phi)] \quad (4)$$

$$\eta_z = \eta_c[1 + K\Phi / (1/\Phi - 1/\Phi_m)] \quad (5)$$

gdzie:

$\Phi$  – względny udział objętościowy fazy stałej w zawieszynie  
 $\Phi_m$  – maksymalny względny udział objętościowy fazy stałej w zawieszynie  
 $a, b, K$  – stałe określone eksperymentalnie.

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na reologiczne właściwości zawiesiny paliwa raketowego są czas, temperatura oraz szybkość ścinania. Zależność naprężenia stycznego od prędkości ścinania określa się zwykle za pomocą modelu reologicznego Ostwalda-de Vaele'a w postaci prawa potęgowego [2]:

$$\tau = kD^n \quad (6)$$

gdzie:

$\tau$  – naprężenie styczne, N/m<sup>2</sup>  
 $k$  – współczynnik konsystencji  
 $n$  – wskaźnik płynięcia  
 $D$  – prędkość ścinania, 1/s.

Współczynnik konsystencji we wzorze (6) jest miarą lepkości pozornej, natomiast wskaźnik płynięcia jest bezwymiarowym parametrem, będącym miarą odchylenia cieczy od cieczy newtonowskiej. Dla opisu reologicznych właściwości zawiesiny paliwa raketowego stosuje się wzór [2]:

$$\eta = kR^n \quad (7)$$

gdzie:

$\eta$  – lepkość, mPas  
 $k$  – mnożnik konsystencji  
 $n$  – współczynnik płynięcia  
 $R$  – prędkość obrotowa, obr/min  
 oraz wzór [3]:

$$\eta(t) = \eta_0 e^{k_1 t} \quad (8)$$

gdzie:

$\eta$  – lepkość, mPas  
 $\eta_0$  – lepkość dla czasu  $t = 0$ , mPas  
 $t$  – czas, s  
 $k_1$  – stała szybkości dla narastania lepkości (wskaźnik konsystencji).

Zależność między lepkością a prędkością obrotową modelu reprezentującego zmiany lepkości ( $\eta$ ) w czasie ( $t$ ), dokonuje się poprzez pomiar lepkości zawiesiny paliwowej w funkcji czasu [3].

Zależność zmian lepkości od czasu i temperatury można przedstawić w postaci równania [4]:

$$\ln \eta(t, T) = \ln a(T) + b(T)t \quad (9)$$

gdzie  $a, b$  – stałe określane eksperymentalnie.

Współczynnik nachylenia  $b(T)$  i  $\ln a(T)$  zmieniają się liniowo z odwrotnością temperatury ( $1/T$ ), tj.:  $\ln a(t) = m_a/T + c_a$  i  $b(T) = m_b/T + c_b$  ( $m_a, m_b$  oraz  $c_a$  i  $c_b$  to odpowiednio współczynniki nachylenia i wyrazy wolne tych funkcji) [4]. Podstawiając wzory tych funkcji do wzoru (9) otrzymamy:

$$\ln \eta(t, T) = m_a/T + c_a + (m_b/T + c_b)t \quad (10)$$

Poprzez różniczkowanie równania (10) po czasie i temperaturze otrzymamy:

$$\frac{\partial [\ln \eta(t, T)]}{\partial t} = \frac{m_b}{T} + c_b \quad (11)$$

$$\frac{\partial (\ln \eta(t, T))}{\partial T} = \left(-\frac{1}{T^2}\right)(m_a + m_b t) \quad (12)$$

Przedstawione zależności (11), (12) pozwalają wyznaczyć temperaturę, w której lepkość nie zmienia się (utrzymując zawieszynę w tej temperaturze zatrzymana zostaje reakcja sieciowania, a tym samym wydłuża się czas jej życia):

$$\frac{\partial [\ln \eta(t, T)]}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

i

$$T = -\frac{m_b}{c_b} \quad (14)$$

Autor do korespondencji:  
 Dr inż. Bogdan FLORCZAK, e-mail: florczak@ipo.waw.pl

oraz czas, po którym zawiesina traci przydatność technologiczną:

$$\frac{\partial[\ln\eta(t,T)]}{\partial T} = 0 \quad (15)$$

i wtedy

$$t = -\frac{m_a}{m_b} \quad (16)$$

Na podstawie danych doświadczalnych z pomiaru lepkości zawiesiny paliwa raketowego można określić także jej parametry termodynamiczne, tj.: energię aktywacji ( $E_a$ ), entropię ( $\Delta S_\eta^*$ ), entalpię ( $\Delta H_\eta^*$ ) i entalpię swobodną ( $\Delta G_\eta^*$ ) z równań Arrheniusa i Eyringa [4]:

$$\ln(k_\eta) = -\frac{E_a}{RT} + \ln(A) \quad (17)$$

$$\ln\left(\frac{k}{T}\right) = \ln\frac{R}{N_h} + \frac{\Delta S_\eta^*}{R} + \frac{\Delta H_\eta^*}{RT} \quad (18)$$

gdzie:

T- temperatura, K

R – uniwersalna stała gazowa,  $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

k – stała szybkości reakcji

N – stała Avogadro,  $6,02 \times 10^{23}$

h – stała Plancka,  $6,62 \times 10^{-34}$

$\Delta S_\eta^*$  – entropia, J/K

$\Delta H_\eta^*$  – entalpia aktywacji, J.

Wartości entalpii i entropii można obliczyć odpowiednio ze współczynnika nachylenia prostej i wyrazu wolnego równania (18), a entalpię swobodną określić z zależności:

$$\Delta G_\eta^* = \Delta H_\eta^* - T \cdot \Delta S_\eta^* \quad (19)$$

### Część doświadczalna

Badaniom poddano paliwo o składzie (Tab. 1).

Tablica I

Skład zawiesiny paliwa raketowego

Składnik	Zawartość, %
Chloran(VII) amonu	70,0
Pył aluminiowy	15,0
BEFP	0,2
Składniki ciekłe (HTPB R45M + DDI + ADO) + dodatki	14,8

Do sporządzenia zawiesiny paliwa użyto, oprócz kauczuku R45M (prod. IPI), następujących substancji: adypinian dioktylu (ADO) (prod. Boryszew Erg SA) jako plastyfikator;  $\rho = 0,925 \text{ g/cm}^3$ , temperatura wrzenia: 690 K, liczba kwasowa: 0,008 mg KOH/g, zawartość substancji lotnych w 373 K nie więcej niż 0,08%, zawartość wody nie więcej niż 0,05%, 2-heptylo-3,4-bis(9-izocyjaniano-nylo)-1-pentylocykloheksan (DDI) (prod. IPI) jako utwardzacz, %NCO = 13,79, 2,2'-bis(etyloferrocenylo) propan (BEFP) (prod. Neo Organics) zawartość Fe ok. 23%, zawartość  $\text{H}_2\text{O}$  0,03%, nierozpuszczalność w chloroformie poniżej 0,02%, chloran(VII) amonu (prod. IPI), powyżej 0,4 mm 2%, powyżej 0,25 mm 38%, powyżej 0,125 mm 55%, powyżej 0,071 mm 3%, poniżej 0,071 mm 2%, pył aluminiowy (prod. Benda Lutz),  $D_{10} = 3,14 \mu\text{m}$ ,  $D_{50} = 6,30 \mu\text{m}$ ,  $D_{90} = 12,72 \mu\text{m}$ .

### Przygotowanie zawiesiny paliwa

Wstępna półpłynna masa paliwa bez utwardzacza DDI wytworzona została w ZPS „GAMRAT” Sp. z o. o. Tak przygotowaną masę dozowano do mieszalnika planetarnego firmy NETZSCH (Rys. 1) o pojemności 0,5 dm<sup>3</sup>. Po wprowadzeniu odpowiedniej ilości DDI (stosunek mas równoważnikowych dla HTPB i środka sieciującego DDI wyniósł 0,9) mieszano kolejno 30 min. pod ciśnieniem atmosferycznym i 30 min pod obniżonym ciśnieniem. Otrzymaną w ten sposób zawiesinę paliwową odlewano pod próżnią (Rys. 1) do naczynia do pomiaru lepkości o pojemności ok. 115 cm<sup>3</sup>.



Rys. 1. Stanowisko do odlewania paliwa pod obniżonym ciśnieniem (z lewej) oraz mieszalnik NETZSCH (z prawej) (aparatura IPO w Warszawie)

### Przygotowanie układów sieciujących

Do pomiarów lepkości badanych ziarnistych zawiesin paliw raketowych użyto wiskozymetru nowej generacji DVII + Pro rodzaj HA z wrzecionem T- D oraz termostat TC-550 firmy Brookfield (Rys. 2). Lepkościomierz ten jest miernikiem rotacyjnym, pomiar dokonywany jest przez obracanie zanurzonej w badanej zawieszynie końcówki pomiarowej (wrzeciono) (Rys. 2). Wrzeciono sprzężone jest z kalibrowaną sprężyną. Siła oporu, wynikająca z lepkości badanego materiału, hamuje obracające się wrzeciono i powoduje odkształcenie się sprężyny, którego stopień mierzony jest elektronicznie.



Rys. 2. Aparatura do badania lepkości

Wiskozymetr zamontowany był na napędzie Helipath. Lepkościomierz z przymocowanym w odpowiedni sposób T-kształtnym wrzecionem pomiarowym, dzięki zastosowaniu tego rozwiązania, jest powoli opuszczany i podnoszony trakcie pomiaru. Pozwala to na poruszanie się wrzeciona (przy jednoczesnym jego obracaniu się) po spiralnym torze wewnątrz badanej próbki (Rys. 3), co eliminuje błąd związany z tworzeniem się swego rodzaju „kanału” wzdłuż wrzeciona [6].

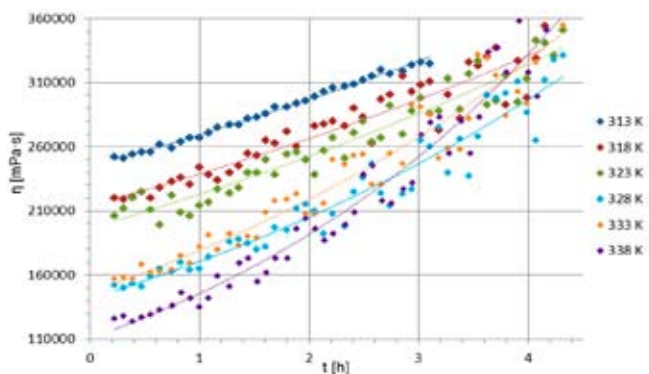


Rys. 3. Schemat poruszania się wrzeciona w trakcie pomiaru przy zastosowaniu napędu Helipath [6]

Próbka badanej zawiesiny paliwowej umieszczona była w teflowym naczyniu pomiarowym o pojemności 115 cm<sup>3</sup> (wysokość 70 mm, średnica 46 mm), usytuowanym w mniejszym termostacie zaopatrzonego w czujnik temperatury. Mniejszy termostat połączony był z większym za pomocą węży silikonowych. Pomiary przeprowadzono z zastosowaniem programu Rheocalc firmy Brookfield i wrzeciono pomiarowego T-D. Napęd Helipath podnosił i opuszczał wiskozymetr z prędkością 2,6 cm/min. Wrzeciono pomiarowe początkowo zanurzone było w zawieszynie paliwowej na głębokości 8 mm. Badania właściwości reologicznych zawiesin paliwa rakietowego polegały na zarejestrowaniu zależności lepkości od czasu oraz od prędkości obrotowej wrzeciona dla temperatur: 313 K, 318 K, 323 K, 328 K, 333 K i 338 K.

#### Wyznaczanie stałej szybkości reakcji sieciowania

Lepkość zawiesiny paliwowej w trakcie sieciowania mierzona była w jednakowych odstępach czasu, dla sześciu różnych temperatur (313 K, 318 K, 323 K, 328 K, 333 K i 338 K), przy prędkości obrotowej wrzeciona 4 obroty/min. Dane eksperymentalne zostały aproksymowane funkcją wykładniczą (8)  $\eta(t) = \eta_0 \cdot e^{k_{\eta}t}$  metodą najmniejszych kwadratów, wyznaczając stałe  $\eta_0$  i  $k_{\eta}$ . Zależność lepkości od czasu dla różnych temperatur przedstawiono na Rysunku 4, natomiast stałe zamieszczono w Tabelcy 2.



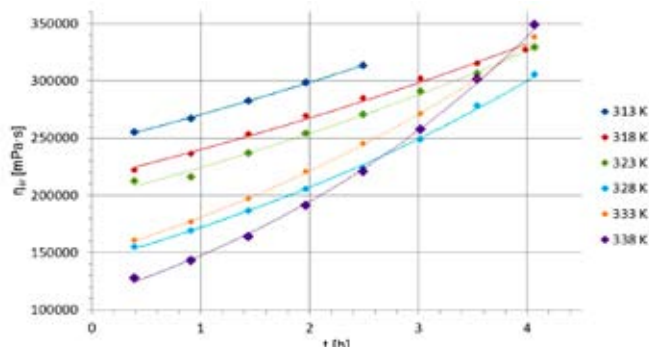
Rys. 4. Wykres zależności lepkości ( $\eta$ ) od czasu ( $t$ )

Tabelca 2

Wartości  $\eta_0$  i  $k_{\eta}$  w zależności od temperatury badanego paliwa

T, K	$\eta_0$ , mPa·s	$k_{\eta}$ , h <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
313	244569	0,0966	0,99
318	214188	0,1088	0,90
323	196811	0,1246	0,93
328	141779	0,1848	0,95
333	146597	0,2008	0,94
338	110671	0,2748	0,97

Obliczono także wartości średnie lepkości dla każdego trzydziestominutowego okresu pomiarowego (piętnasta minuta w każdym trzydziestominutowym okresie pomiarowym), które przedstawiono na Rys. 5, a wartości stałych  $\eta_0$  i  $k_{\eta}$  w Tabelcy 3.



Rys. 5. Wykres zmian lepkości uśrednionej od czasu

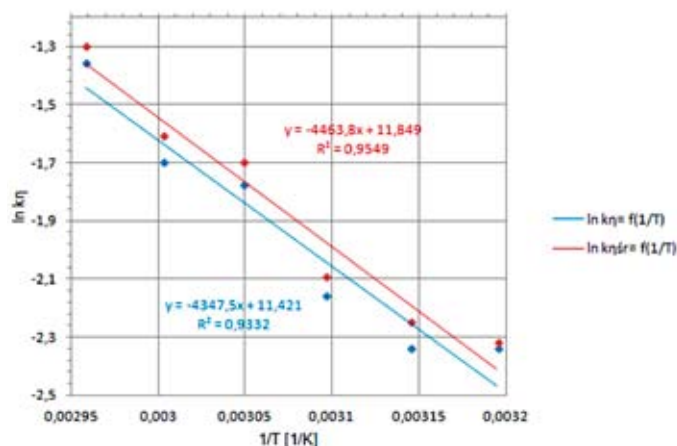
Tabelca 3

Wartości  $\eta_0$  i  $k_{\eta}$  w zależności od temperatury badanego paliwa

T, K	$\eta_0$ , mPa·s	$k_{\eta}$ , h <sup>-1</sup>	R <sup>2</sup>
313	245012	0,0989	0,99
318	215287	0,1086	0,99
323	198043	0,1245	0,99
328	142959	0,1854	0,99
333	147826	0,2018	0,99
338	111885	0,277	0,99

#### Określanie parametrów termodynamicznych

Wartość energii aktywacji ( $E_a$ ) określono z równania Arrheniusa (15), które opisuje zależność szybkości reakcji od temperatury. Energię aktywacji wyznaczono ze współczynnika kierunkowego prostej zależności  $\ln k = f(1/T)$  przedstawionej na Rysunku 6.



Rys. 6. Wykres funkcji  $\ln k_{\eta} = f(1/T)$  oraz  $\ln k_{\eta sr} = f(1/T)$

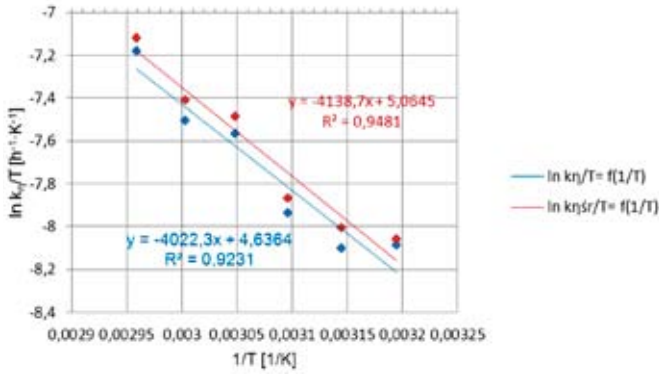
Wartość entalpii ( $\Delta H_{\eta}^{\circ}$ ) oraz entropii ( $\Delta S_{\eta}^{\circ}$ ) reakcji sieciowania paliwa rakietowego wyznaczono ze wzoru Eyringa (16) odpowiednio na podstawie współczynnika kierunkowego oraz wyrazu wolnego prostej obrazującej funkcję  $\ln k_{\eta}/T = f(1/T)$  (Rys. 7).

Korzystając ze wzoru (17) określono wartości entalpii swobodnej dla temperatur, w których przeprowadzono pomiary. Wartości wyznaczonych parametrów termodynamicznych przedstawiono w Tabelcach 4 i 5.

Tablica 6

Wartości  $\ln a$ ,  $b$  oraz współczynnik  $R^2$

T, K	dla $\eta$			dla $\eta_{sr}$		
	$\ln a$	B	$R^2$	$\ln a$	b	$R^2$
313	12,407	0,0966	0,99	12,409	0,0989	0,99
318	12,275	0,1088	0,90	12,28	0,1086	0,99
323	12,19	0,1246	0,93	12,196	0,1245	0,99
328	11,862	0,1848	0,95	11,904	0,2018	0,99
333	11,895	0,2008	0,94	11,87	0,1854	0,99
338	11,614	0,2748	0,97	11,625	0,277	0,99



Rys. 7. Wykres liniowych funkcji  $\ln k_{\eta}/T = f(1/T)$  i  $\ln k_{\eta_{sr}}/T = f(1/T)$

Tablica 4

Wartości wyznaczonych parametrów termodynamicznych

	$E_a$ , kJ/mol	$\Delta H_{\eta}^{\ddagger}$ , kJ/mol	$\Delta S_{\eta}^{\ddagger}$ , J/K·mol
dla $\eta$	$36,15 \pm 4,84$	$33,44 \pm 4,83$	$-158,92 \pm 14,84$
dla $\eta_{sr}$	$37,11 \pm 4,03$	$34,41 \pm 4,02$	$-155,44 \pm 12,37$

Tablica 5

Wartości entalpii swobodnej

T, K	313	318	323	328	333	338
$\Delta G^{\ddagger}$ dla $\eta$ , kJ/mol	83,18	83,98	84,78	85,57	86,36	87,16
$\Delta G^{\ddagger}$ dla $\eta_{sr}$ , kJ/mol	83,06	83,84	84,62	85,39	86,17	86,95

Tablica 7

Wartości współczynników oraz temperatury zahamowania sieciowania i maksymalnego czasu przydatności technologicznej

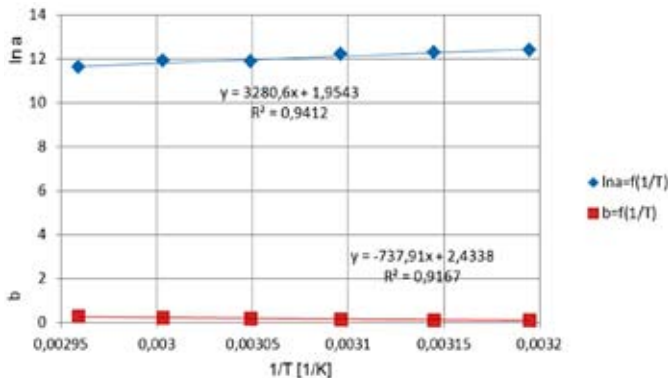
	$m_a$	$c_a$	$m_b$	$c_b$	T, K	T, h
dla $\eta_{sr}$	3284,4	3284,4	-720,73	-720,73	302,5	4,6
dla $\eta$	3280,6	3280,6	-737,91	-737,91	303	4,4

### Wpływ szybkości scinania na lepkość zawiesiny paliwa raketowego

Przeprowadzono również pomiary mające sprawdzić, czy zawiesina paliwowa wykazuje własności tiksotropowe, bądź antytiksotropowe. W tym celu badano zależność lepkości od obrotów wrzeczona zmieniających się od 4,5–9 obr./min co 0,5 obr./min. Wyniki pomiarów przedstawiono na Rysunkach 9 ÷ 14.

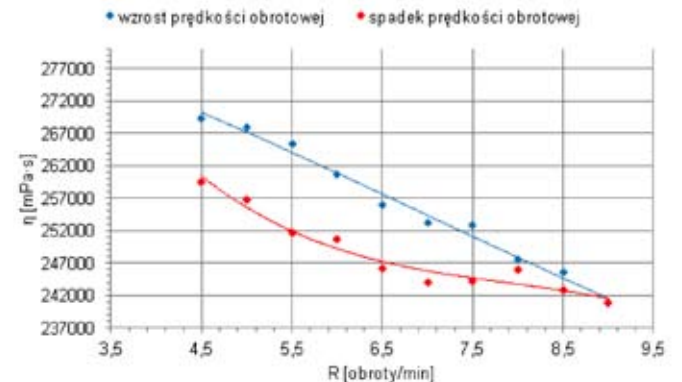
### Wyznaczanie temperatury zahamowania reakcji sieciowania oraz maksymalnego czasu przydatności technologicznej

Na podstawie współczynnika kierunkowego i wyrazu wolnego prostej  $\ln \eta = f(t)$  otrzymanej po zlogarytmowaniu równania (8), wyznaczono  $\ln a = \ln \eta_0$  oraz  $b = k_{\eta}$ . Przedstawione (Rys. 8) zależności tych parametrów od temperatury:  $\ln a = f(1/T)$  i  $b = f(1/T)$  pozwoliły wyznaczyć współczynniki:  $m_a$ ,  $m_b$ ,  $c_a$  oraz  $c_b$ .

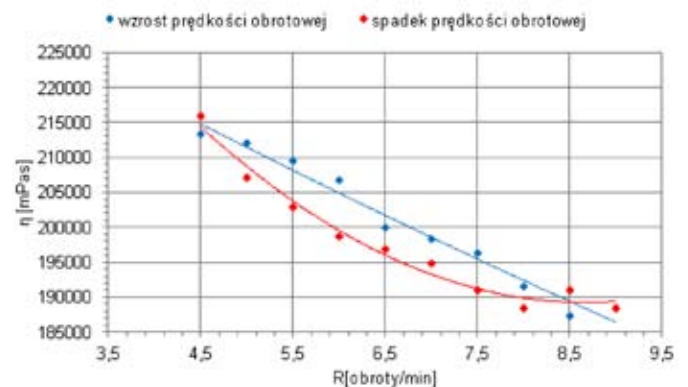


Rys. 8. Wykresy przedstawiające liniową zależność  $\ln a$  oraz  $b$  od odwrotności temperatury ( $x = 1/T$ )

Po podstawieniu do wzoru (16) wartości liczbowych odpowiadających  $m_a$  oraz  $m_b$ , otrzymujemy wartość czasu  $t = 4,4$  h, natomiast dla lepkości uśrednionej otrzymano wynik  $t = 4,6$  h, po którym lepkość gwałtownie wzrasta, a zawiesina przestaje być użyteczna technologicznie. Postępując w sposób analogiczny, po podstawieniu do wzoru (14) wartości  $m_b$  i  $c_b$ , otrzymujemy wartość temperatury  $T = 303$  K, natomiast dla lepkości uśrednionej  $T = 302,5$  K, przy której zahamowana zostaje reakcja sieciowania paliwa. Szczegółowe wyniki obliczeń przedstawiono w Tablicach 6 i 7.

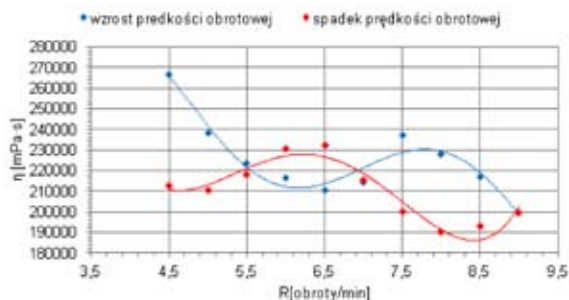


Rys. 9. Wykres zmian  $\eta$  wraz ze wzrostem i spadkiem R dla  $T = 313$  K

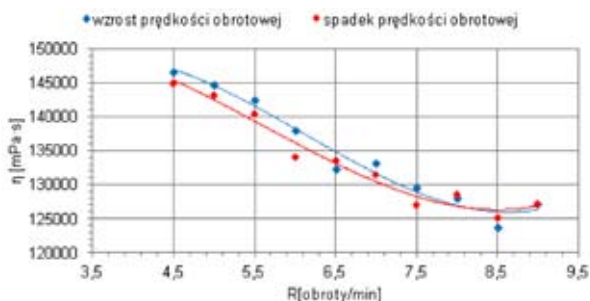


Rys. 10. Wykres zależności  $\eta$  od wzrostu i spadku R dla  $T = 318$  K

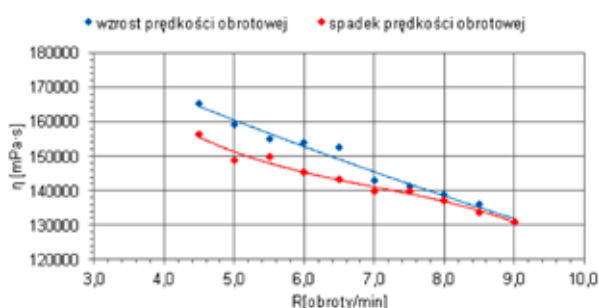




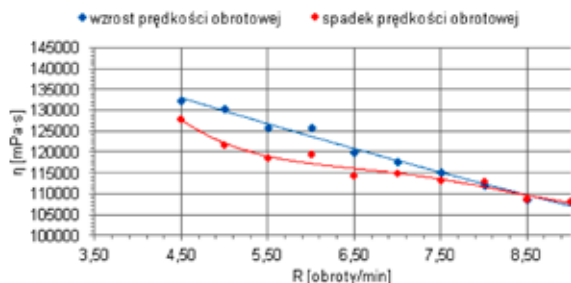
Rys. 11. Wykres zależności  $\eta$  od wzrostu i spadku  $R$  dla  $T=323$  K



Rys. 12. Wykres zależności  $\eta$  od wzrostu i spadku  $R$  dla  $T=328$  K



Rys. 13. Wykres zależności  $\eta$  od wzrostu i spadku  $R$  dla  $T=333$  K



Rys. 14. Wykres zależności  $\eta$  od wzrostu i spadku  $R$  dla  $T=338$  K

Zarejestrowane podczas pomiaru pętle histerezy wskazują, że badana zawiesina paliwowa wykazuje właściwości tiksotropowe. Z wykresów przedstawiających zależności lepkości od czasu wynika, że wraz ze wzrostem temperatury maleje jej lepkość dla określonego przedziału czasu. Ponadto, obserwuje się wzrost wartości tej lepkości wraz z upływem czasu, co świadczy o postępującej reakcji sieciowania paliwa raketowego.

Otrzymane z wyników eksperymentalnych stałe szybkości reakcji sieciowania rosną wraz z temperaturą. Świadczy to o zależności tej reakcji od temperatury, co jest oczywiste. Stałe otrzymane dla lepkości uśrednionej oraz te otrzymane z bezpośrednich wyników eksperymentalnych, różnią się nieznacznie.

Na podstawie przeprowadzonych badań określono wartości parametrów termodynamicznych: energii aktywacji, entalpii, entropii oraz entalpii swobodnej. Otrzymana wartość energii aktywacji reakcji sieciowania dla badanej zawiesiny paliwa wynosi 36 kJ/mol. Otrzymana z obliczeń dodatnia wartość entalpii swobodnej ( $\Delta G^\circ$ ) dla wszystkich temperatur, w których przeprowadzono badania, świadczy o tym, że reakcja sieciowania nie może przebiegać samorzutnie. Natomiast dodatnia wartość en-

talpii potwierdza endotermiczny charakter reakcji sieciowania. Obliczono także temperaturę, w której reakcja zostaje praktycznie zahamowana, co pozwala na wydłużenie czasu życia takiej zawiesiny paliwowej w tej temperaturze. Wyznaczono także czas, po którym lepkość gwałtownie wzrasta, a zawiesina przestaje być użyteczna technologicznie.

## Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Reakcja sieciowania zawiesiny badanego paliwa raketowego jest słabo zależna od czasu. Świadczą o tym niskie wartości stałych szybkości reakcji ( $k_{\eta}$ ), które zmieniają się od 0,0963  $h^{-1}$  do 0,2570  $h^{-1}$ , w zależności od temperatury.
2. Wyznaczony na podstawie danych eksperymentalnych graniczny czas technologicznej przydatności zawiesiny paliwa jest dość długi ( $t=4,4$  h), co wskazuje na jego dobrą przydatność technologiczną.
3. Wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych temperatura, w której prawie nie zachodzi utwardzanie paliwa, wynosi ok. 303 K, co w porównaniu z wartością literaturową  $T=264$  K [4] jest bardziej korzystne.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt rozwojowy.

## Literatura

4. Florczak B., Stokowski P., Maranda A.: *Badania właściwości wytypowanych lepizczy stałych paliw raketowych niejednorodnych*. Przemysł Chemiczny 2013, **92**, 6, 957-961.
5. Lepkościomierz Brookfield DV-II+ Pro. Instrukcja obsługi, [http://www.brookfieldengineering.com/download/files/DV2Pro\\_Manual.pdf](http://www.brookfieldengineering.com/download/files/DV2Pro_Manual.pdf) (21.01.2014).
6. Mahanta A.K., Goyal M., Pathak D.D.: *Empirical modeling of chemoviscosity of hydroxy terminated polybutadiene based solid composite propellant slurry*. Malaysian Polymer Journal, 2010, **5**, 1, 1-16.
7. Mahanta A.K., Goyal M., Pathak D.D.: *Rheokinetic analysis of hydroxy terminated polybutadiene based solid propellant slurry*. E-Journal of Chemistry, 2010, **7**, 1, 171-179.
8. Muthiah R.M., Manjari R., Krishnamurthy V.N., Gupta B.R.: *Rheology of HTPB propellant: effect of mixing speed and mixing time*. Defence Science Journal, 1993, **43**, 2, 167-172.
9. Viscosity, texture, powder, Labo Plus Sp. z o.o., 2012, <http://www.labo-plus.pl/> (24.01.2014).

\*Dr inż. Bogdan FLORCZAK, prof. IPO jest absolwentem Wydziału Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej (1976). Doktorat na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej (1990). Obecnie pracuje w Instytucie Przemysłu Organicznego. Zainteresowania naukowe: chemia i technologia materiałów wysokoenergetycznych w szczególności stałych paliw raketowych, inżynieria materiałowa.

Jest autorem lub współautorem 70 artykułów w prasie naukowo technicznej i autorem lub współautorem 60 referatów i posterów na konferencjach krajowych i zagranicznych. Jest współautorem 26 patentów i 9 zgłoszeń patentowych.

e-mail: florczak@ipo.waw.pl, tel. 609 819 698

Ewelina BEDNARCZYK ukończyła w 2014 r. stacjonarne studia I stopnia na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej – specjalność materiały niebezpieczne i ratownictwo chemiczne. Obecnie jest studentką II stopnia ww. wydziału.

Prof. dr hab. inż. Andrzej MARANDA ukończył studia w roku 1971 Wydział Chemiczny Politechniki Warszawskiej. Obecnie pracuje w Wojskowej Akademii Technicznej oraz w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie. Zainteresowania naukowe: chemia i technologia materiałów wybuchowych, ochrona środowiska. Jest autorem i współautorem pięciu monografii, 20. patentów oraz ponad 500. publikacji zamieszczonych w czasopismach naukowych oraz prezentowanych na krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych.

e-mail: amaranda@wat.edu.pl, tel. 22 683 75 41