

Monika CHOMIAK*, Józef STABIK

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny

* e-mail: monika.chomiak@polsl.pl

Badania kąta zwilżania napełniaczy węglowych żywicami epoksydowymi

Streszczenie. Artykuł przedstawia ocenę wpływu rodzaju podłoża węglowego i lepkości ciekłego polimeru na wzajemną zwilżalność wyrażoną przez swobodną energię powierzchniową na granicy stanów skupienia: ciało stałe – ciecz, a w efekcie na adhezję składników kompozytu. Określono kąt zwilżania dwóch typów węgla żywicami epoksydowymi o różnej lepkości na podstawie analizy kształtu kropli. Uzyskane wyniki wskazują, że kompozycje wykonane z żywicy epoksydowej o niższej lepkości (Epidian 6011) charakteryzują się lepszą zwilżalnością i adhezją składników niezależnie od wybranego rodzaju węgla kamiennego, o czym świadczy wyższa wartość pracy adhezji w relacji do kompozytów wykonanych z żywicy Epidian 6.

RESEARCH OF THE COAL FILLER WETTING ANGLE WITH THE EPOXY RESINS

Summary. The paper presents investigations results of the influence of coal type and liquid polymer viscosity on mutual wettability expressed as surface free energy at solid – liquid interface and in effect on the adhesion between composite components. Contact angle was determined for two types of coal and epoxy resins with various viscosities, basing on the drop shape analysis. Achieved results show that compounds made of low viscosity epoxy resin (Epidian 6011) exhibit superior wettability and adhesion between ingredients, independently on the kind of selected coal, as evidenced by the higher value of the adhesion energy in relation to composites made of Epidian 6 resin.

1. WPROWADZENIE

Adhezja jest to zjawisko powierzchniowego wiązania się (sczepiania się) ze sobą, ma ono miejsce w przypadku ciał stałych i cieczy. Adhezja jest możliwa dzięki siłom van der Waalsa polegającym na oddziaływaniu cząsteczek o dipolach trwałych bądź indukowanych oraz chemisorpcji – zjawiska polegającego na wytwarzaniu wiązań chemicznych z powierzchnią podłoża. Jednym z podstawowych i koniecznych warunków uzyskania silnej więzi adhezyjnej pomiędzy osnową a wzmocnieniem jest dobra zwilżalność powierzchni wzmocnienia cieczą. Zwilżanie polega na zastąpieniu powierzchni ciała stałego i cieczy powierzchnią graniczną, której utworzeniu towarzyszy przemiana energetyczna. Energia adhezji to energia potrzebna do rozdzielenie-

nia powierzchni jednostkowej dwóch ciał będących w kontakcie. Warunki zwilżania wynikają z równania Younga (1), które zostało wyprowadzone z warunków swobodnej energii powierzchniowej:

$$\gamma_S = \gamma_{CS} + \gamma_C \cdot \cos \Theta \quad (1)$$

gdzie:

γ_S – swobodna energia powierzchniowa ciała stałego [mJ/m²],

γ_{CS} – swobodna energia powierzchniowa na granicy stanów skupienia: ciało stałe – ciecz [mJ/m²],

γ_C – swobodna energia powierzchniowa cieczy [mJ/m²],

Θ – kąt zwilżania [°].

Po przekształceniu równania (1) otrzymuje się wyrażenie (2):

$$\cos \Theta = (\gamma_S - \gamma_{CS}) / \gamma_C \quad (2)$$

z którego wynika, że warunkiem dobrej zwilżalności, tzn. małej wartości kąta zwilżania, jest mała wartość γ_C lub duża wartość wyrażenia $(\gamma_S - \gamma_{CS})$. Na ogół przyjmuje się, że aby ciecz dobrze zwilżała powierzchnię napełniacza jej swobodna energia powierzchniowa powinna być mniejsza od energii tego napełniacza [1-3].

Kąt zwilżania charakteryzuje oddziaływanie między cieczą, a powierzchnią ciała stałego. Przyjęto, że ciecz słabo zwilża ciało stałe, gdy kąt $\Theta > 90^\circ$. Jeżeli $\Theta < 90^\circ$, to występuje dobre zwilżenie powierzchni ciała stałego cieczą. Natomiast, gdy $\Theta = 0^\circ$ to ciecz rozplywa się na powierzchni, wówczas energia adhezji jest największa i zależy od swobodnej energii powierzchniowej cieczy. Jedną z metod określenia kąta zwilżania jest metoda bezpośredniego pomiaru kąta zwilżania przy użyciu goniometru [4].

Nowoczesny przyrząd do pomiaru kąta zwilżania wyposażony jest w kamerę video, za pomocą której można obserwować kształt kropli na ekranie monitora. Komputer wyposażony w odpowiedni program dokonuje zapisu wyników pomiaru parametrów (wysokości czaszy h i promienia powierzchni styku kropli r) zmieniających się w czasie zwilżania, co umożliwia wyznaczenie kąta zwilżania Θ [5]. Pozwala to na śledzenie kinetyki procesu zwilżania, w odróżnieniu od typowych goniometrów, które pozwalają wyznaczać jedynie kąt zwilżania po ustaleniu jego wartości.

O tendencji cieczy do zwilżania ciała stałego decyduje praca adhezji. Praca adhezji przedstawia energię potrzebną do oderwania cieczy od jednostkowej powierzchni ciała stałego z równoczesnym utworzeniem dwóch nowych powierzchni o tej samej wielkości: powierzchni ciecz-gaz oraz ciała stałe-gaz.

Praca adhezji W_{adh} zgodnie z definicją powierzchniowej energii swobodnej (właściwej) wynosi (3):

$$W_{adh} = \gamma_C + \gamma_S - \gamma_{CS} \quad (3)$$

W podobny sposób definiuje się pracę kohezji, W_k jako pracę rozerwania słupa cieczy o jednostkowym przekroju, z utworzeniem dwóch powierzchni swobodnych o tej samej wielkości stąd (4):

$$W_k = 2 \cdot \gamma_C \quad (4)$$

Biorąc pod uwagę powyższe równania pracę adhezji można wyrazić równaniem (5):

$$W_{adh} = \gamma_C \cdot (1 + \cos\theta) = 0,5 \cdot W_k \cdot (1 + \cos\theta) \quad (5)$$

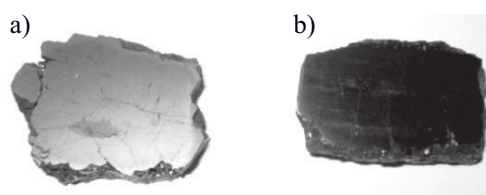
Wielkość kąta zwilżania Θ zależy od warunków energetycznych na granicy między fazą stałą, a ciekłą oraz na granicy między cieczą, a gazem. Jeżeli $W_{adh} > W_k$ to $\cos \Theta = 1$ czyli $\Theta = 0^\circ$ – ciecz zwilża doskonale ciało stałe. Natomiast, jeżeli $W_{adh} < W_k$, wówczas Θ przybierze odpowiednio wartości z przedziału $0-180^\circ$. W przypadku granicznym $W_{adh} = 0$, gdy $\Theta = 180^\circ$, ciecz tworzy kulistą kroplę na powierzchni ciała stałego (nie zwilża ciała stałego).

Celem pracy było sprawdzenie czy konieczna jest modyfikacja powierzchni cząstek węgla kamiennego celem poprawy zwilżalności ciekłymi żywicami epoksydowymi. Informacja ta odgrywa niezwykle istotną rolę przy wytwarzaniu kompozytów epoksydowo-węglowych. Ponieważ nie znaleziono w literaturze danych dotyczących swobodnej energii powierzchniowej interesujących nas kompozytów polimero-węglowych, zapoczątkowało to prace z tym związane [6-8].

2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

2.1. Materiały do badań

Próbki do badań wykonano z dwóch rodzajów węgla kamiennego – węgiel ortokoksowy typ 35 i antracyt typ 42. Próbki wykorzystane do pomiaru kąta zwilżania zostały wycięte z większej bryły, wyszlifowane na płycie stalowej oraz wypolerowane na szkle matowym do momentu usunięcia rys widocznych okiem nieuzbrojonym. Wybrane charakterystyki obu



Rys. 1. Próbki węgla do badań kąta zwilżania: a) antracyt typ 42, b) węgiel ortokoksowy typ 35

rodzajów węgla przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1. Natomiast jako ciecz zwilżającą zastosowano dwa rodzaje żywicy epoksydowej Epidian 6 (lepkość w 25°C wynosi 10000÷15000 mPas) [9] oraz Epidian 6011 (lepkość w 25°C wynosi 200÷400 mPas) [10] produkcji firmy Zakłady Chemiczne „Organika-Sarżyna” S.A.

Tabela 1. Wybrane charakterystyki węgla kamiennego.

Typ	węgiel typ 35	węgiel typ 42
Gęstość ¹ [g/cm ³]	ok. 1,40	ok. 1,37
Zawartość węgla pierwiastkowego ² [%]	71,5	90,1
Zawartość popiołu [%]	16,78	3,37
Twardość ⁴ HV	31,09	materiał sprężysty
Miejsce wydobywania	KWK „Zofiówka” w Jastrzębie-Zdroju	Kuznieckie Zagłębie Węglowe (Kuzbas)

⁽¹⁾ Oznaczenia gęstości właściwej obu rodzajów węgla zostały wykonane w Instytucie Nawozów Sztucznych Oddziale Chemii Nieorganicznej „IChN” w Gliwicach, według PN-92/C-04504.

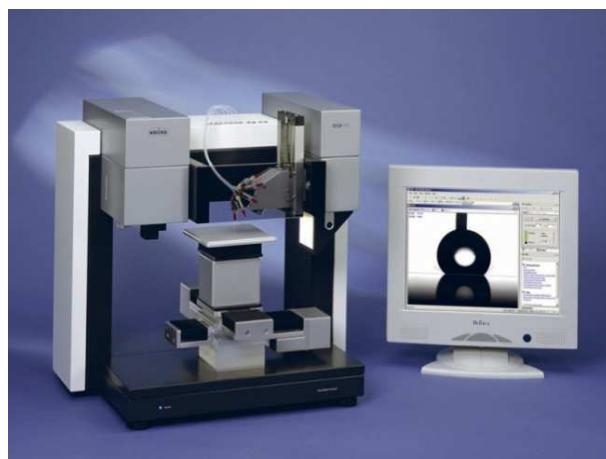
⁽²⁾ Oznaczenie zawartości pierwiastka węgla w obu rodzajach napełniacza zostało przeprowadzone metodą instrumentalną na automatycznym analizatorze amerykańskiej firmy Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O na Wydziale Chemii Politechniki Śląskiej w Katedrze Chemii, Technologii Nieorganicznej i Paliw.

⁽⁴⁾ Twardość określono za pomocą wskaźnika mikrotwardości Vickersa FM700 firmy Future-Tech z Gliwic.

2.2. Metodologia badań

Pomiar kąta zwilżania węgla kamiennego cieczami wzorcowymi (woda demineralizowana, gliceryna, formamid) przeprowadzono na mikroskopie optycznym warsztatowym MWD z głowicą goniometryczną znajdującym się w Zakładzie Przetwórstwa Materiałów Metalowych i Polimerowych na Wydziale Mechanicznym Technologicznym w Gliwicach. Próbkę badanego węgla wypoziomowano na stoliku pomiarowym, następnie mikropipetą na-

niesiono krople pomiarowe na powierzchnię próbki. Przy pomocy mikroskopu obserwowano kształt kropli, natomiast przy pomocy głowic goniometru oraz przesuwne go stolika dokonywany był pomiar wysokości oraz promienia powierzchni styku kropli. Wykonano po 10 pomiarów dla każdej próbki, przy czym skrajnie różniące się wyniki zostały odrzucone. Wyznaczony kąt zwilżania stanowił podstawę obliczeń swobodnej energii powierzchniowej próbek węgla kamiennego metodą Owens-Wendta [7]. W wykorzystywanej metodzie Owens-Wendta przyjmuje się, że swobodna energia powierzchniowa (γ_s) jest sumą dwóch wzajemnie zależnych składowych: polarnej (γ_s^P) i dyspersyjnej (γ_s^D). Aby wyznaczyć wg równania (1) składowe polarną i dyspersyjną SEP należy przeprowadzić pomiary kąta zwilżania powierzchni badanych materiałów cieczami o różnej polarności. Wartości uzyskanych w badaniach kątów zwilżania są mniejsze od 90°, co świadczy o zwilżalności próbek przez ciecze wzorcowe. Oba rodzaje węgla charakteryzują się dobrą zwilżalnością, jednakże antracyt odznacza się nieco wyższą energią adhezji w porównaniu do węgla ortokoksowego.



Rys. 2. Aparat Kruss model DSA 100 do automatycznego określania kąta zwilżania (goniometr) i swobodnej energii powierzchniowej oraz napięcia powierzchniowego i międzyfazowego przy pomocy analizy kształtu kropli [11]

Pomiar dynamicznego kąta zwilżania węgla żywicą epoksydową przeprowadzono na aparacie DSA 100 firmy Krüss (Rys. 2) z oprogramowaniem DSA wersja 1.90.0.14 w temperaturze otoczenia wynoszącej 22°C. Aparat umożliwia badania kinetyki zwilżania oraz określenie swobodnej energii powierzchniowej (SEP) oraz napięcia powierzchniowego na podstawie analizy kształtu kropli.

Swobodną energię powierzchniową ciekłej żywicy epoksydowej γ_C przyjęto na podstawie danych literaturowych. Mieści się ona w przedziale 34-36 mJ/m² [12-13]. Znając również swobodną energię powierzchniową obu rodzajów węgla kamiennego i żywicy epoksydowej oraz kąt zwilżania węgla żywicą można wyznaczyć swobodną energię powierzchniową na granicy stanów skupienia: ciało stałe – ciecz, γ_{CS} przy wykorzystaniu równania (1). Warunkiem niezbędnym do uzyskania zwilżania ciała stałego przez ciecz jest przewaga energii powierzchniowej ciała stałego nad energią powierzchniową cieczy.

3. WYNIKI BADAŃ

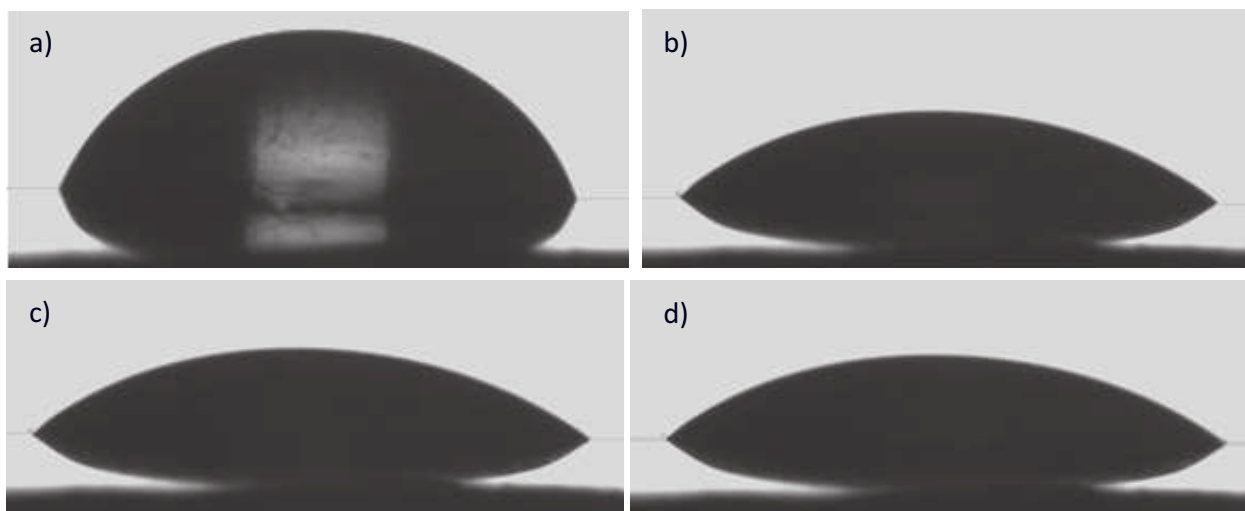
Dla materiałów chłonnych, takich jak węgiel kamienny, dla których następuje penetracja cieczy w podłoże, kąt zwilżania zmienia się

w sposób ciągły w funkcji czasu. Dla niektórych zastosowań np. przy drukowaniu lub klejeniu czynnik czasu może być krytyczny dla całego procesu. Po to, aby zmierzyć „dynamiczny kąt zwilżania”, „szybkość pochłaniania” i „szybkość rozptywania” konieczne jest uchwycenie sekwencji zmieniających się obrazów, na których widoczny jest przebieg całego procesu. Wybrane sekwencje obrazów uzyskane w badaniach kąta zwilżania węgla ciekłymi żywicami epoksydowymi pokazano na rysunku 3÷4. W tabelach (Tab. 2÷5) zestawiono wyniki pomiaru kąta zwilżania czterech różnych układów, natomiast na wykresach (Rys. 5÷8) przedstawiono zmiany kąta zwilżania w funkcji czasu.

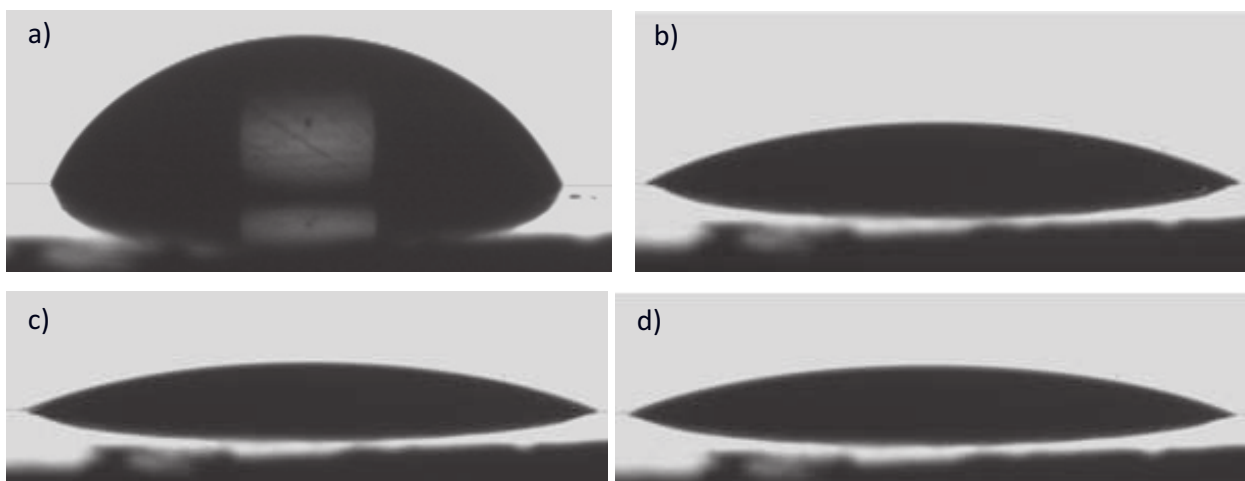
Wyznaczone metodą Owens-Wendta wartości swobodnej energii powierzchniowej dwóch rodzajów węgla wynoszą odpowiednio:

- SEP dla antracytu – $\gamma_{S_A} = 37,9$ mJ/m²,
- SEP dla węgla ortokoksowego – $\gamma_{S_Z} = 43,2$ mJ/m².

W wyniku przeprowadzonych badań kąta zwilżania oraz prostych obliczeń (według wzorów 1÷5) wyznaczono wartość swobodnej energii powierzchniowej γ_{CS} dla powstałej warstwy granicznej pomiędzy węglem, a żywicą epoksydową oraz pracę kohezji W_k i adhezji W_{adh} łączy, co zostało zestawione w Tabeli 6.



Rys. 3. Obraz kropli cieczy Epidian 6011 naniesionej na powierzchnię antracytu zarejestrowany po czasie: a) $t=0s$, b) $t=20s$, c) $t=40s$, d) $t=60s$



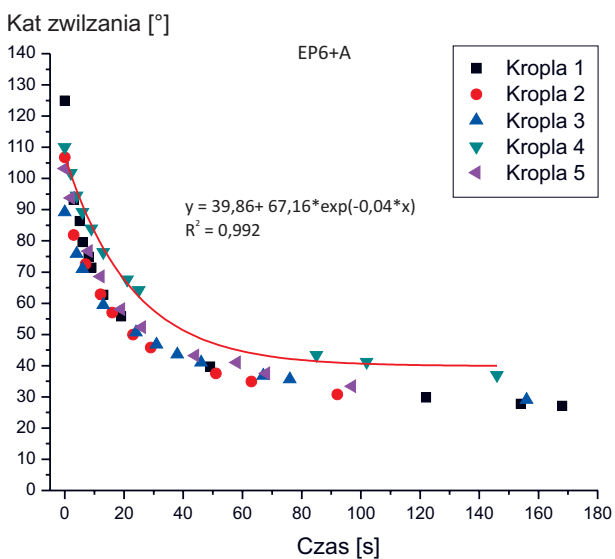
Rys. 4. Obraz kropli cieczy Epidian 6011 naniesionej na powierzchnię węgla ortokoksowego zarejestrowany po czasie: a) $t=0s$, b) $t=20s$, c) $t=40s$, d) $t=60s$

Tabela 2. Kąt zwilżania Θ [°] antracytu (A) żywicą epoksydową EP6 w funkcji czasu t [sek]

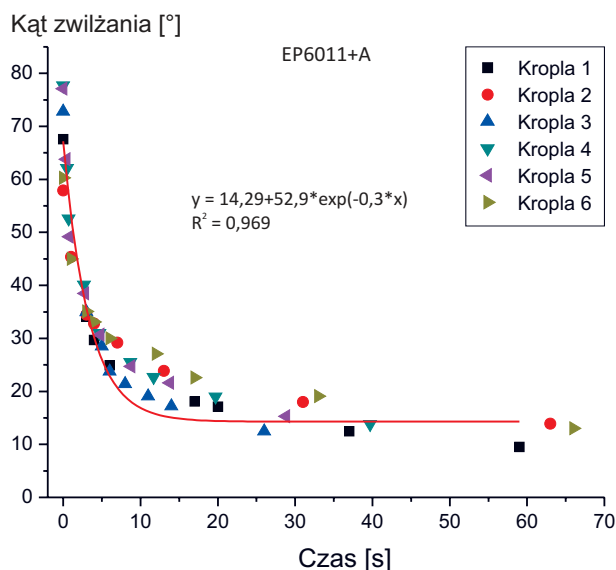
L.p.	Kropla 1		Kropla 2		Kropla 3		Kropla 4		Kropla 5	
	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]
1	0	125	0	106,8	0	89,2	0	110	0	103,2
2	3	93,2	3	81,9	4	75,9	2	101,7	2	93,8
3	5	86,4	7	72,6	6	71	4	94,5	8	76,7
4	6	79,6	12	62,9	13	59,5	6	89,2	12	68,6
5	8	74,9	16	57	24	50,7	9	83,9	19	58,1
6	9	71,4	23	50	31	46,8	13	76,4	26	52,3
7	13	62,7	29	45,8	38	43,6	21	67,6	44	43,2
8	19	55,8	51	37,5	46	41	25	64,2	58	41
9	49	39,7	63	34,9	67	36,8	85	43,4	68	37,5
10	122	29,8	92	30,8	76	35,7	102	41,2	97	33,4
11	154	27,8			156	29,1	146	37		
12	168	27,1								

Tabela 3. Kąt zwilżania Θ [°] antracytu (A) żywicą epoksydową EP6011 w funkcji czasu t [sek]

L.p.	Kropla 1		Kropla 2		Kropla 3		Kropla 4		Kropla 5		Kropla 6	
	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]
1	0	67,6	0	57,9	0	72,8	0	77,7	0	77,1	0	60,3
2	3	34,1	1	45,4	3	35	0,5	62,1	0,4	63,8	1	45
3	4	29,7	3	34,5	5	28,5	0,7	52,6	0,8	49,2	3	35,1
4	6	24,9	4	32,8	6	23,8	2,7	40,1	2,8	38,5	4	33,1
5	17	18,1	7	29,2	8	21,4	4,7	31	4,8	30,7	6	30
6	20	17,1	13	23,9	11	19,1	8,7	25,5	8,8	24,7	12	27,1
7	37	12,5	31	18	14	17,2	11,7	22,7	13,8	21,6	17	22,6
8	59	9,5	63	13,9	26	12,5	19,7	19	28,8	15,3	33	19,1
9							39,7	13,8			66	13



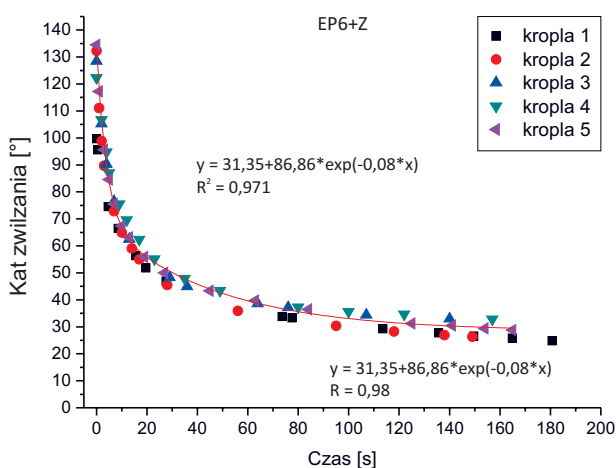
Rys. 5. Zależność kąta zwilżania antracytu żywicą epoksydową EP6 od czasu pomiaru z funkcją dopasowania dla przykładowej jednej kropli cieczy naniesionej na powierzchnię węgla



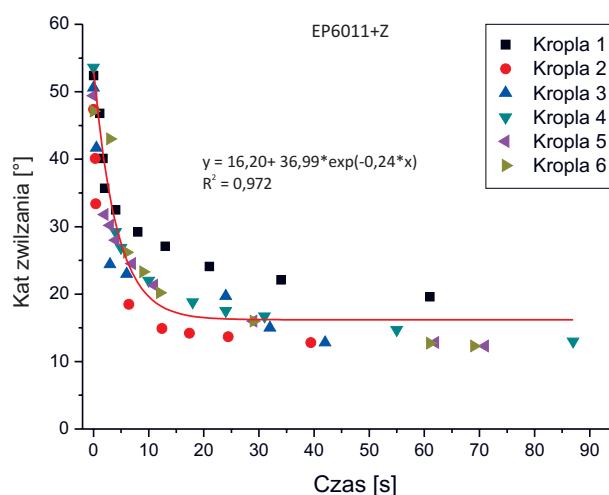
Rys. 6. Zależność kąta zwilżania antracytu żywicą epoksydową EP6011 od czasu pomiaru z funkcją dopasowania dla przykładowej jednej kropli cieczy naniesionej na powierzchnię węgla

Tabela 4. Kąt zwilżania Θ [°] węgla kamiennego ortokoksowego (Z) żywicą epoksydową EP6 w funkcji czasu t [sek]

L.p.	Kropla 1		Kropla 2		Kropla 3		Kropla 4		Kropla 5	
	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]
1	0	99,7	0	132,3	0	128,5	0	122,3	0	134,5
2	0,5	95,6	1	111,1	2	105,3	2	106,7	1	117,2
3	4,6	74,6	2	98,9	4	90,3	4	94,8	3	95,6
4	8,6	66,5	3	89,7	7	76,5	5	87	5	84,6
5	15,6	56,4	7	72,9	13	62,5	9	75,5	7	75,5
6	19,6	51,8	10	65	29	48,3	12	69,6	10	67,4
7	27,6	47	14	59,1	36	44,9	17	62,4	13	63,1
8	73,6	33,8	17	55	64	38,6	23	55,1	19	55,9
9	77,6	33,3	28	45,5	76	37,2	35	47,9	27	50
10	113,6	29,3	56	35,9	107	34,4	49	43,4	45	43,3
11	135,6	27,8	95	30,4	140	33	80	37,3	63	39,7
12	149,6	26,6	118	28,3			100	35,6	84	36,4
13	164,9	25,8	138	26,9			122	34,7	125	31,2
14	180,6	24,8	149	26,3			157	32,8	141	30,5
15									154	29,4
16									165	28,8



Rys. 7. Zależność kąta zwilżania węgla ortokoksowego żywicą epoksydową EP6 od czasu pomiaru z funkcją dopasowania dla przykładowej jednej kropli cieczy naniesionej na powierzchnię węgla



Rys. 8. Zależność kąta zwilżania węgla ortokoksowego żywicą epoksydową EP6011 od czasu pomiaru z funkcją dopasowania dla przykładowej jednej kropli cieczy naniesionej na powierzchnię węgla

Tabela 5. Kąt zwilżania Θ [°] węgla kamiennego ortokoksowego (Z) żywicą epoksydową EP6011 w funkcji czasu t [sek]

L.p.	Kropla 1		Kropla 2		Kropla 3		Kropla 4		Kropla 5		Kropla 6	
	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]	t [sek]	Θ [°]
1	0	52,4	0	47,4	0	50,6	0	53,6	0	49,4	0	47,1
2	1,1	46,8	0,3	40,1	0,5	41,7	4	29,2	2	31,8	3	43
3	1,7	40,1	0,4	33,4	3	24,4	5	26,9	3	30,2	6	26,2
4	2	35,7	6,4	18,5	6	23	10	22	4	28	9	23,3
5	4	32,5	12,4	14,9	24	19,7	18	18,8	7	24,5	12	20,2
6	8	29,2	17,4	14,2	32	15	24	17,5	11	21,3	29	16
7	13	27,1	24,4	13,7	42	12,8	31	16,7	29	16	61	12,7
8	21	24,1	39,4	12,8			55	14,7	62	12,8	69	12,3
9	34	22,1					87	13	71	12,3		
10	61	19,6										
11	96	12,5										

Tabela 6. Wyniki badań kąta zwilżania oraz obliczeń swobodnej energii powierzchniowej na granicy stanów skupienia: ciało stałe – ciecz oraz pracy kohezji i adhezji

	Θ_{sr} [°]	SEP γ_{CS} [mJ/m ²]	W_k [mJ/m ²]	W_{adh} [mJ/m ²]
A_EP6	31,48	8,05	70	43,53
A_EP6011	13	3,80		54,48
Z_EP6	29,14	12,63		42,57
Z_EP6011	12,62	9,05		51,16

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań określono zwilżalność węgla kamiennego żywicą epoksydową o różnej lepkości. Materiały o podobnej energii swobodnej (składniki wytwarzanych kompozytów) charakteryzują się dobrą wzajemną zwilżalnością, co potwierdzą otrzymane wyniki badań. Analiza energii powierzchniowej, pracy kohezji i adhezji stwierdza niewielkie różnice. Kompozyty

wykonane z żywicy epoksydowej o niższej lepkości EP6011 charakteryzują się nieznacznie lepszą zwilżalnością i adhezją składników niezależnie od wybranego rodzaju węgla kamiennego, o czym świadczy wyższa wartość pracy adhezji czyli energii potrzebnej do rozdzielenia cząstek węgla kamiennego od osnowy w stosunku do kompozytów wykonanych z żywicy EP6.

Wyniki badań kąta zwilżania i pracy adhezji wskazują, że nie jest konieczna dalsza modyfikacja powierzchni cząstek węgla kamiennego celem poprawy zwilżalności ciekłymi żywicami epoksydowymi. Dlatego zrezygnowano z poszukiwania środków powierzchniowo czynnych, które dla wypełniaczy nieorganicznych są niejednokrotnie stosowane.

Literatura

- [1] Żenkiewicz M., Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielocząstkowych, WNT Warszawa 2000.
- [2] Atkins P.W., Chemia fizyczna, PWN Warszawa, 2001, 150.
- [3] K. Pigoń, Z. Ruziewicz, Chemia Fizyczna, PWN, Warszawa 2005
- [4] Żenkiewicz M., Przetwórstwo tworzyw wielocząsteczkowych. Charakterystyka, podstawy fizyczne, metody, Wydawnictwo Akademii, Bydgoskiej, Bydgoszcz 2002.
- [5] Dutkiewicz E.T., Fizykochemia powierzchni, WNT, Warszawa, 1998.
- [6] Stabik J., Rojek M., Suchoń Ł., Mrowiec B., Carbon materials as fillers for polymer matrix composites, Arch. Mater. Sci. Eng. 2012 vol. 53 nr 1, s. 29-37.
- [7] Stabik J., Suchoń Ł., Rojek M., Badanie kąta zwilżania węgla kamiennych cieczami wzorcowymi, Polimery i kompozyty konstrukcyjne. Praca zbiorowa. Pod red. G. Wróbla. Cieszyn: Wydaw. Logos Press, 2010, s. 376-384.
- [8] Stabik J., Suchoń Ł., Rojek M., Badanie kąta zwilżania węgla kopalnego wybranymi poliolefinami. Polimery i kompozyty konstrukcyjne. Praca zbiorowa. Pod red. G. Wróbla. Cieszyn: Wydaw. Logos Press, 2009, s. 121-129.
- [9] Karta charakterystyki Nr KCh/TE/5. Nazwa: Epidian 6, wyd. 4, Zakłady Chemiczne „Organika – Sarzyna” S.A., 2006.
- [10] Karta charakterystyki Nr KCh/PPE/29. Nazwa: Epidian 6011, wyd. 6, Zakłady Chemiczne „Organika – Sarzyna” S.A., 2009.
- [11] Strona internetowa – www.meranco.com.pl/produkty/goniometr-dsa100e – 04.02.2014
- [12] Żenkiewicz M., Analiza głównych metod badania swobodnej energii powierzchniowej materiałów polimerowych, Polimery 52/10 (2007), 760-767.
- [13] Dobrzański L.A., Dobrzańska-Danikiewicz A.D., Obróbka powierzchni materiałów inżynierskich, Open Access Library 5 (2011), 347.