

Dariusz BIELIŃSKI, Piotr LIPIŃSKI, Barbara WOLSKA
Politechnika Łódzka
Jacek JAGIELSKI
Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Warszawa

PORÓWNANIE METOD OZNACZANIA STATYCZNEGO KĄTA ZWILŻANIA POWIERZCHNI CIECZĄ MAŁOCZĄSTECZKOWĄ

Słowa kluczowe

Powierzchnia, kąt zwilżania, aparatura, pomiary.

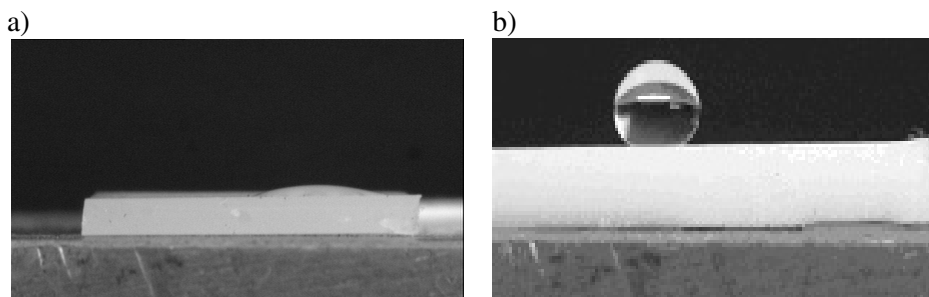
Streszczenie

Powierzchnię próbek polietylenów: wysokiej gęstości (PE-HD) oraz o bardzo wysokim ciężarze cząsteczkowym (PE-UHMW), poddano bombardowaniu niskoenergetyczną wiązką jonów, uzyskując powierzchnie o zróżnicowanej polarności i mikrochropowatości. Badano kąt zwilżania powierzchni materiałów wodą metodą osadzanej kropli za pomocą różnej aparatury, wykorzystując różne sposoby jego odczytu. Porównano uzyskane wyniki oraz zaprezentowano interpretację powodów rozbieżności w wielkości kąta zwilżania. W analizie wzięto pod uwagę jakość badanej powierzchni – przede wszystkim jej mikrochropowatość, czynniki instrumentalne: objętość kropli i szybkość jej osadzania oraz dokładność, z jaką można wyznaczyć zarys kropli i poziom jej zetknięcia się z badaną powierzchnią.

Wprowadzenie

Zwilżalność jest bardzo ważną właściwością fizyczną, charakteryzującą powierzchnię materiałów [1]. Jej wartość determinuje podstawowe funkcje ma-

teriałów, m.in. takie jak adhezję czy efektywność smarowania połączeń ruchomych, w których stanowią one elementy pary ciernej. Badania zwilżalności mają również podstawowe znaczenie dla zastosowań biomedycznych. Miarą zwilżalności powierzchni ciała stałego cieczą małącząsteczkową jest kąt (potocznie zwany *kątem zwilżania*), zawarty pomiędzy styczną do kropli w punkcie kontaktu z badaną powierzchnią a tą powierzchnią. Zatem pomiar statycznego kąta zwilżania można sprowadzić do umieszczenia kropli cieczy małącząsteczkowej na powierzchni badanego materiału i pomiaru kąta nachylenia stycznej do zarysu powierzchni kropli w punkcie jej styku z podłożem. Ciecz pomiarowa powinna charakteryzować się małą lotnością (chodzi o to, by jej odparowywanie nie wpływało na wynik pomiaru), nie wchodzić w reakcję chemiczną ani nie spęczniać warstwy wierzchniej, oraz „tworzyć” w miarę duży kąt zwilżania powierzchni badanego materiału (chodzi o łatwość i precyzję jego odczytu). Ze względu na swoją prostotę, stosunkowo niewielki koszt wykonania oznaczenia i dużą czułość, pomiar kąta zwilżania metodą osadzanej kropli cieszy się dużą popularnością pośród metod badania powierzchni [2]. Należy w tym miejscu zwrócić jednak uwagę na wiele niedogodności pomiarowych. Wielkość kąta zwilżania zależy od czasu, jaki upłynął pomiędzy umieszczeniem kropli na powierzchni a dokonaniem pomiaru [3]. Wpływ tego parametru jest z kolei uzależniony od szybkości, z jaką stawiamy kroplę cieczy na badanej powierzchni oraz od jej objętości. Objętość stawianej kropli powinna być z jednej strony na tyle mała, aby wyeliminować wpływ sił ciężkości, z drugiej zaś strony na tyle duża, aby mikrochropowatość powierzchni nie przesłaniała „energetycznego” wyniku pomiaru [4] – rys. 1.



Rys. 1. Wpływ chropowatości powierzchni PE-HD na jej zwilżalność wodą: a) powierzchnia gładka (zwilżalna $\theta \rightarrow 0^\circ$), b) powierzchnia chropowata (niezwilżalna $\theta > 90^\circ$)

Rozwinięcie powierzchni może towarzyszyć zarówno modyfikacji fizycznej, jak i chemicznej. Bombardowanie polietylenu wiązką jonów aktywuje reakcje chemiczne, które wywołują modyfikację (utlenianie, grafityzacja) i/lub wzrost naprężeń wewnątrz warstwy wierzchniej materiału (sieciovanie), prowadząc w konsekwencji do jej deformacji. Równoległe jednak powoduje usunięcie z powierzchni amorficznej „skórki” (efekt technologii przetwórstwa),

ukazując sferolityczną organizację nadcząsteczkową fazy krystalicznej. Rozmiary mikrochropowatości powierzchni są w obydwu przypadkach rzędu rozmiarów kropli cieczy pomiarowej. Z przeprowadzonego rozumowania wynika, że w niektórych przypadkach nie można zastosować metody statycznego pomiaru kąta zwilżania w celu oceny charakterystyki energetycznej powierzchni materiału. Często spotykanym błędem są próby zastosowania tej metody do badania powierzchni technicznych, z reguły charakteryzujących się zbyt dużą mikrochropowatością. Dodatkowo, wszelkie zanieczyszczenia obecne na badanej powierzchni, także związane z kondensacją pary wodnej, mają wpływ na wynik pomiaru, zniekształcając zarys powierzchni kropli w linii styku z podłożem. Wpływ warunków otoczenia zewnętrznego (temperatura i wilgotność) jest tym większy, im mniejsze krople cieczy pomiarowej, co wiąże się z coraz większym wpływem ciśnienia Laplace'a na ich kształt [5]. Oprócz objętości kropli, która powinna być powtarzalna dla całej serii oznaczeń, bardzo istotny wpływ na wynik pomiaru ma również szybkość, z jaką uderza ona o badaną powierzchnię w chwili kontaktu, na co zwracał już uwagę w swojej pracy Kuczyński [3], a co generalnie pomijają milczeniem nowsze źródła [6]. W skrajnych przypadkach można zaobserwować nawet jej drgania. Efekt jest oczywiście uzależniony od rodzaju użytej do badania cieczy. Biorąc powyższe pod uwagę, w przeprowadzonych badaniach, zastosowano krople wody o objętości ok. 5 μl (z wyjątkiem badań z użyciem goniometru PGX, w których objętość kropli pomiarowych wynosiła 0,5 μl), osadzając je na badanej powierzchni z możliwie jak najmniejszej wysokości, umożliwiającą jeszcze oderwanie kropli od mikrostrzykawki przed jej zetknięciem z podłożem.

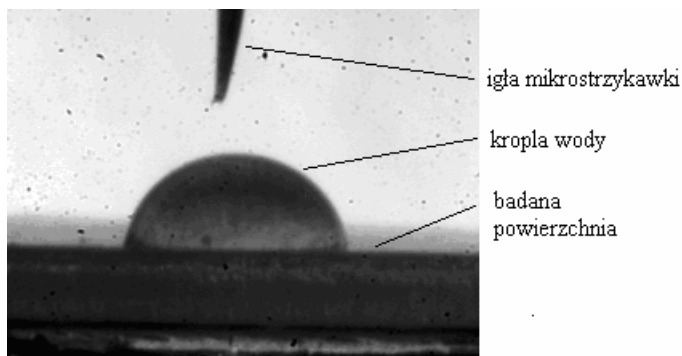
1. Cel i zakres pracy

Płytki z polietylenu: wysokiej gęstości (PE-HD; Lupolen 5280HX, BASF) oraz o bardzo wysokim ciężarze cząsteczkowym (PE-UHMW; ET 31400, Goodfellow) poddano bombardowaniu niskoenergetyczną wiązką jonów: argonu, helu lub srebra. Modyfikację prowadzono w zakresie dawki 10^{13} - 10^{17} jonów/ cm^2 i energii 100–130 keV. Uzyskano w ten sposób powierzchnie o zróżnicowanej polarności i mikrochropowatości, dla których dokonano pomiarów kąta zwilżania wodą, metodą osadzanej kropli, z użyciem aparatów o odmiennej konstrukcji, wykorzystując różne sposoby analityczne do odczytu kąta zwilżania. Celem pracy było porównanie wielkości statycznego kąta zwilżania, oznaczonego w różny sposób, oraz zwrócenie uwagi na czynniki odpowiedzialne za rozbieżności.

2. Stanowisko własnej konstrukcji

2.1. Aplikacja kropli, rejestracja i filtracja obrazu

Za pomocą mikrostrzykawki Hamiltona umieszczano na powierzchni próbki krople wody o objętości ok. 5 μl , przy zachowaniu tej samej minimalnej wysokości igły nad badaną powierzchnią oraz kierunku ścięcia jej końcówki. Zdjęcie kropli wykonywano kamerą CCD po upływie 5 sekund od momentu osadzenia jej na powierzchni próbki – rys 2. Na każdej próbce osadzano minimum sześć kropli, każdorazowo na „świeżej” powierzchni.



Rys. 2. Przykładowe zdjęcie kropli na powierzchni PE-UHMW, wykonane kamerą CCD

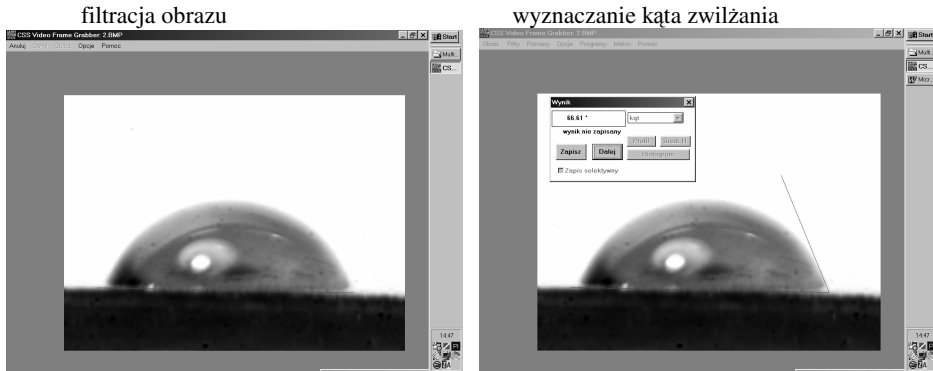
Pomiaru kąta zwilżania dokonano poddając zdjęcia kropli analizie za pomocą programu MultiScan 8.0 (CSS, Polska). Procedura rozpoczynała się od odfiltrowania obrazu. Przy doborze rodzaju filtra i parametrów filtrowania kierowano się uzyskaniem jak najlepszego kontrastu pomiędzy kroplą a badaną powierzchnią (granica faz ciecz–ciało stałe) oraz kroplą a otoczeniem (granica faz ciecz–powietrze), stosując metodę prób i błędów w odpowiednich warunkach oświetlenia można było uzyskać bardzo dobre efekty.

2.2. Wykorzystanie oprogramowania do analizy obrazu

Dla tak „wyostrzonego” obrazu program komputerowy (Multiscan 8.0) „prowadził” styczną do zarysu kropli w punkcie jej kontaktu z powierzchnią ciała stałego i automatycznie obliczał kąt jej nachylenia – rys. 3.

Pomiar kąta zwilżania, z dokładnością do $0,1^\circ$ dokonywany był dla obydwu stron kropli. Wyniki skrajnie odbiegające wartością od pozostałych, uzyskanych w danej serii pomiarowej, odrzucano. Zaletą metody jest łatwość i szybkość wykonania oznaczeń, a więc możliwość wielokrotnego powtarzania pomiaru, w różnych miejscach na badanej powierzchni. Niezmiernie ważny jest aspekt ekonomiczny – niski koszt stanowiska pomiarowego. Wadą metody jest, jak

w przypadku innych metod optycznych, silna zależność wyników od warunków oświetlenia.



Rys. 3. Obróbka obrazu kropli za pomocą oprogramowania Multiscan 8.0

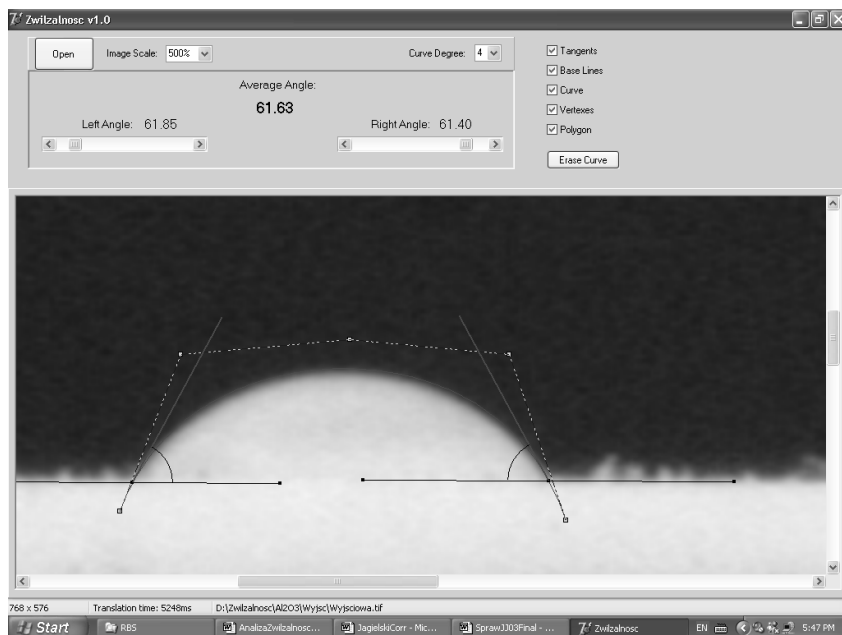
Nieprawidłowo dobrane warunki oświetlenia mają wpływ na filtrację obrazu i prawidłowy odczyt linii zarysu kropli oraz poziomu jej zetknięcia z badaną powierzchnią, co przekłada się na wielkość oznaczanego kąta zwilżania.

2.3. Wykorzystanie oprogramowania dopasowującego kształt kropli do krzywej Beziera

Do wyznaczenia kąta zwilżania użyto zdjęć kropli, uzyskanych w sposób opisany powyżej. Tym razem jednak do ich analizy wykorzystano algorytm dokonujący dopasowania kształtu kropli do wycinka kuli zgodnie z krzywą Beziera [7]. Krzywą Beziera można opisać za pomocą trzech wielomianów (odpowiednio dla współrzędnych x , y i z) oraz parametru t . Przy opracowywaniu programu komputerowego [8] wykorzystano wielomiany trzeciego stopnia. Użycie wielomianów drugiego stopnia, czyni obliczenia prostszymi, jednak stwarza problemy z dopasowaniem kształtu. Wielomiany wyższych stopni wprowadzają z kolei niekorzystne oscylacje i wymuszają większą liczbę obliczeń. Współczynniki wielomianów dobierano w taki sposób, aby krzywa przebiegała wzdłuż pożądanej ścieżki – w naszym przypadku wzdłuż kształtu kropli. Krzywa jest określana przez dwa punkty końcowe oraz punkty pośrednie, nienależące do niej. Program interpoluje oba końcowe punkty, aproksymując pozostałe. Zgodnie z opisaną wyżej metodą można dopasować krzywą do kształtu kropli. Następnie możliwe jest odczytanie wartości kątów zwilżania z obu stron krzywej – rys. 4.

Pomiary powtarzano trzykrotnie dla każdego zdjęcia kropli. Zaletą tej metody jest, jak poprzednio, niski nakład finansowy niezbędny do przygotowania stanowiska pomiarowego. Układając program komputerowy w oparciu o algo-

rytm opisujący kształt kropli krzywą Beziera [7], można było wyeliminować koszty związane z koniecznością zakupu oprogramowania do analizy obrazu. Stworzony program pozwala dodatkowo na powiększanie obrazu kropli oraz posiada opcję kompensacji zakrzywienia badanego podłoża. W przyszłości planowane jest opracowanie procedury zmiany kontrastu obrazu.



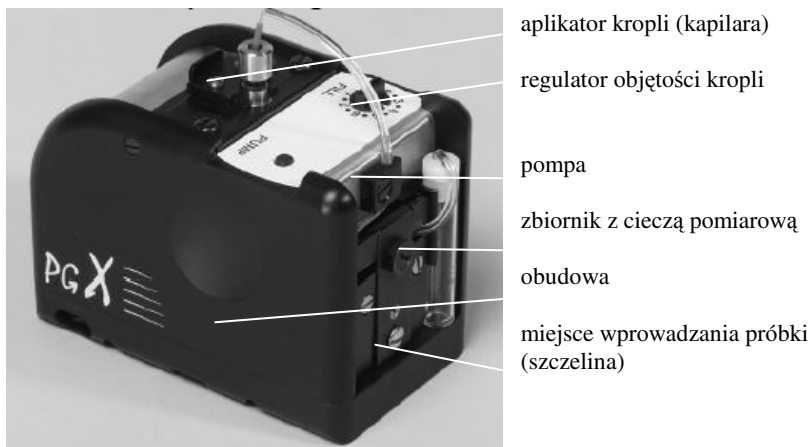
Rys. 4. Ekran programu komputerowego (wraz z dopasowaną krzywą i wyznaczonymi kątami), wykorzystujący aproksymację kształtu zarysu kropli krzywą Beziera

Wadą metody jest nieco dłuższy czas potrzebny do wykonania analizy oraz fakt, że punkty pomiarowe wyznaczone są przez eksperymentatora, co często jest związane ze zbyt małą powtarzalnością.

3. Aparaty komercyjne

3.1. Wykonanie pomiaru za pomocą goniometru PGX (Thwing-Albert Europe)

Goniometr – rys. 5 [9], jest urządzeniem przystosowanym do wyznaczania zarówno statycznego jak i dynamicznego kąta zwilżania, umożliwiającym rejestrowanie obrazu kropli z bardzo dużą szybkością – nawet do 15 zdjęć na minutę.

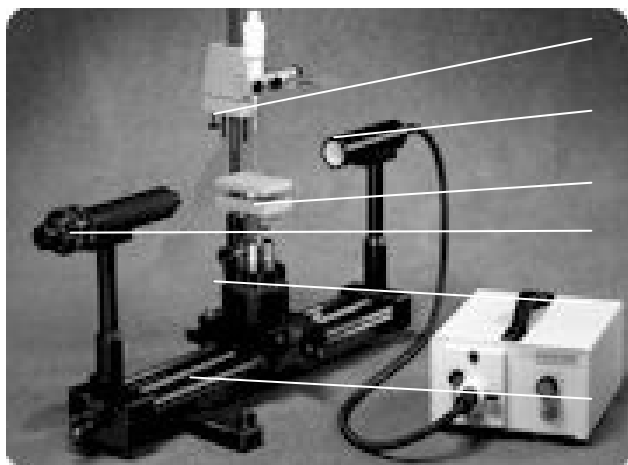


Rys. 5. Wygląd zewnętrzny goniometru PGX [8]

Oznaczenie przebiega automatycznie. Krople małowcząsteczkowej cieczy pomiarowej osadza się na powierzchni badanego materiału z użyciem mikro-pompy zintegrowanej z kapilarą. Zgodnie z sugestią producenta, objętość kropli wody została ustawiona na poziomie $0,5 \mu\text{l}$, a więc o rząd wielkości mniejszym niż w przypadku metody „ręcznej”. Mała objętość kropli w parze z dużą szybkością, z jaką wchodzi ona w kontakt z badaną powierzchnią, musi wpływać na dynamiczną deformację jej kształtu. Dostępne źródła literaturowe zalecają aplikowanie kropeł pomiarowych o objętości rzędu kilku mikrolitrów [10–11]. Aparat wykonuje zdjęcia kropli i przesyła ich zapis cyfrowy do komputera, który automatycznie analizuje obraz. Obliczenia kąta zwilżania opierają się na założeniu, że kształt kropli stanowi wycinek kuli. Znajomość jego wysokości i objętości pozwala obliczyć kąt zwilżania. Zaletą metody jest automatyzacja, pozwalająca skrócić czas trwania oznaczeń do minimum. Objętość kropli cieczy pomiarowej jest praktycznie identyczna w każdym przypadku, co ma wpływ na bardzo dużą powtarzalność wyników. Podstawową wadę stanowi natomiast zbyt mała objętość kropli, która ogranicza możliwość stosowania analizy jedynie do bardzo gładkich powierzchni. Kolejną barierę stanowi znacznie wyższy, w porównaniu z urządzeniami własnej konstrukcji, koszt aparatu.

3.2. Wykonanie pomiaru za pomocą aparatu Rame – hart Model 100-00 (USA)

Stanowisko (rys. 6) wyposażone jest w mikroskop, którego całkowite powiększenie jest 23-krotne. Obraz oglądany w mikroskopie jest odwrócony. Wewnątrz rury optycznej mikroskopu znajdują się dwie szklane siatki. Jedna zawiera „linię podstawową”, która jest stosowana do zrównania z górną powierzchnią próbki. Druga z siatek zawiera „krzyż mierzący”, który podczas pomiaru należy ustawić stycznie do zarysu kropli przy linii podstawowej. Kąt zwilżania odczytuje się bezpośrednio na siatce mierzącej w pozycji „godziny 6” na zegarze.



- aplikator
(mikrostrzykawka)
- źródło światła
- stolik pomiarowy
- luneta goniometru
- mikroskop
- ława optyczna

Rys. 6. Wygląd zewnętrzny aparatu Rame-hart Model 100-00

4. Wyniki badań

Oznaczone wielkości kąta zwilżania wraz z obliczonym odchyleniem standardowym, średnią, medianą, maksymalnymi i minimalnymi wartościami w serii 6 pomiarów dokonanych na 3 próbkach, zostały zestawione w tabelach (Tab. 1–4), zamieszczonych poniżej. Dodatkowo tabele zawierają również wartości względnego błędu pomiaru kąta zwilżania (θ) w danej serii pomiarowej,

obliczoną jako
$$\frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\max}} \times 100 [\%].$$

Największe wartości kąta zwilżania uzyskano wówczas, gdy badania prowadzono z użyciem goniometru PGX. Uzyskano wartości od kilku do kilkunastu % większe niż zastosowaniem „ręcznej” aplikacji kropli z użyciem mikrostrzykawki i odczytu kąta zwilżania za pomocą oka uzbrojonego w lunetkę lub oprogramowania do analizy obrazu (w jednym przypadku różnica dochodzi nawet do 30%). Różnica pomiędzy odczytem „odręcznym” a wynikiem analizy komputerowej nie przekracza w większości przypadków 15%, zaś rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi z użyciem programu Multiscan 8.0 a oprogramowania do opisu kształtu zarysu kropli krzywą Beziera wynoszą nie więcej jak 4% (tylko w przypadku PE-HD rozbieżność jest większa i osiąga ok. 15%). Najmniejsze wartości kąta zwilżania uzyskano wówczas, gdy badania prowadzono używając goniometru Rame-hart Model 100-00. Otrzymane wartości były od kilku do kilkunastu % mniejsze (w niektórych przypadkach różnica przekraczała nawet 25%) niż przy pomiarach na stanowisku własnej konstrukcji. Odchylenie standardowe wyników serii pomiarów od wartości średniej jest najniższe w przypadku użycia do oznaczeń goniometrów komercyjnych, co po-

Tabela 1. Wyniki pomiaru kąta zwilżania poliolefin wodą. Aplikacja kropli za pomocą mikrostrzykawki, analiza obrazu z użyciem oprogramowania Multiscan 8.0

Próbka	Wartość średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd pomiaru [%]
PE-HD	84,0	83,9	1,8	3,4
PE-HD poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	79,8	80,9	3,6	5,4
Ag ⁺ 2e16	76,5	76,4	3,6	5,9
Ag ⁺ 6e16	80,2	80,3	2,3	4,0
Ar ⁺ 1e14	80,4	80,1	1,9	3,3
Ar ⁺ 3e14	80,3	80,2	2,5	4,0
Ar ⁺ 1e15	80,9	80,9	2,5	3,7
Ar ⁺ 1e16	76,8	77,5	3,4	4,9
Ar ⁺ 2e16	81,3	82,1	3,2	4,9
He ⁺ 1e15	81,6	82,1	3,3	4,4
He ⁺ 2e16	84,8	83,6	4,9	9,1
PE-UHMW	58,7	60,7	9,2	16,3
PE-UHMW poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	82,8	82,8	1,7	2,7
Ag ⁺ 2e14	83,2	82,1	2,5	4,2
Ag ⁺ 7e14	78,8	78,7	3,8	6,8
Ag ⁺ 2e15	73,4	72,2	9,4	13,9
Ag ⁺ 2e16	81,5	85,0	7,3	9,8
Ag ⁺ 2e17	74,1	74,6	2,9	5,4
H ₂ ⁺ 5e13	86,9	87,4	5,6	8,3
H ₂ ⁺ 1e14	84,3	83,0	4,2	5,1
H ₂ ⁺ 3e14	82,9	82,9	5,7	9,2
H ₂ ⁺ 5e14	77,3	78,0	4,3	7,6
H ₂ ⁺ 1e15	87,6	86,3	6,3	11,8
H ₂ ⁺ 3e15	89,0	88,8	2,1	3,9
He ⁺ 5e15	83,0	84,1	2,9	5,1

Tabela 2. Wyniki pomiaru kąta zwilżania poliolefin wodą. Aplikacja kropli za pomocą mikrostrzykawki, analiza obrazu z użyciem oprogramowania własnego (k. Beziera)

Próbka	Wartość średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd pomiaru [%]
PE-HD	98,0	101,2	7,4	15,2
PE-HD poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	82,5	83,3	4,6	8,6
Ag ⁺ 2e16	77,1	76,1	5,4	9,3
Ag ⁺ 6e16	81,5	80,0	6,2	11,3
Ar ⁺ 1e14	82,4	83,3	4,7	7,1
Ar ⁺ 3e14	82,4	81,2	5,2	9,7
Ar ⁺ 1e15	81,1	81,6	3,7	6,8
Ar ⁺ 1e16	72,8	73,1	4,1	6,9
Ar ⁺ 2e16	81,9	81,1	3,3	4,8
He ⁺ 1e15	80,4	81,6	5,8	11,4
He ⁺ 2e16	84,4	84,6	4,7	7,5
PE-UHMW	63,1	63,5	10,2	19,6
PE-UHMW poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	85,3	85,4	5,4	11,4
Ag ⁺ 2e14	85,7	82,9	6,7	10,8
Ag ⁺ 2e15	72,2	72,8	12,9	17,9
Ag ⁺ 7e14	81,1	80,9	3,6	6,2
Ag ⁺ 2e16	86,6	89,0	9,1	13,8
Ag ⁺ 2e17	73,1	72,9	3,2	4,8
H ₂ ⁺ 5e13	91,3	90,2	9,7	16,2
H ₂ ⁺ 1e14	91,5	90,5	7,2	14,0
H ₂ ⁺ 3e14	86,2	86,4	5,4	9,1
H ₂ ⁺ 5e14	79,6	79,8	4,7	8,0
H ₂ ⁺ 1e15	89,3	90,5	8,4	13,5
H ₂ ⁺ 3e15	93,6	93,4	6,8	14,1

Tabela 3. Wyniki pomiaru kąta zwilżania poliolefin wodą z użyciem goniometru PGX (Thwing-Albert Europe)

Próbka	Wartość średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd pomiaru [%]
PE-HD	103,9	104,1	2,6	4,9
PE-HD poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	99,3	98,5	4,1	7,7
Ag ⁺ 2e16	95,4	95,3	1,6	9,3
Ag ⁺ 6e16	82,7	82,5	1,5	2,8
Ar ⁺ 1e14	91,3	91,6	3,3	6,9
Ar ⁺ 3e14	88,3	88,9	1,6	3,2
Ar ⁺ 1e15	100,3	100,4	1,8	3,6
Ar ⁺ 1e16	91,8	91,3	4,4	9,0
Ar ⁺ 2e16	100,1	99,0	2,2	3,8
He ⁺ 1e15	94,5	94,5	2,2	3,3
He ⁺ 2e16	120,5	123,2	5,4	7,8
PE-UHMW poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	83,1	81,3	6,9	16,1
Ag ⁺ 2e14	90,3	90,4	1,5	3,2
Ag ⁺ 7e14	84,4	85,4	2,8	6,9
Ag ⁺ 2e15	91,7	93,6	4,2	8,1
Ag ⁺ 2e16	86,9	85,1	4,4	9,0
Ag ⁺ 2e17	96	89,8	17,9	32,8
H ₂ ⁺ 1e14	94,6	97,7	8,2	15,3
H ₂ ⁺ 3e14	94,3	93,8	3,1	6,3
H ₂ ⁺ 1e15	105,2	105,7	3,7	6,8
He ⁺ 5e15	84,9	83,2	3,0	6,0

twierdza bardzo dobrą powtarzalność objętości i warunków aplikacji kropli. Zdecydowanie gorszą powtarzalność oznaczeń uzyskano po zastosowaniu stanowiska własnej konstrukcji. Jest to najprawdopodobniej rezultatem wpływu warunków oświetlenia na uzyskiwany obraz osadzonej kropli. Wiele do zyczenia w kwestii analitycznej pozostawia również metoda obliczeniowa, w której do opisu zarysu kropli zastosowano krzywą Beziera.

Tabela 4. Wyniki pomiaru kąta zwilżania poliolefin wodą z użyciem goniometru Rame-hart Model 100-00 (USA)

Próbka	Wartość średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Błąd pomiaru [%]
PE-HD	88,3	89,0	3,5	3,7
PE-HD poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	63,3	62,5	2,5	3,5
Ag ⁺ 2e16	73,2	73	3,2	4,2
Ag ⁺ 6e16	67,4	66,5	2,5	3,2
Ar ⁺ 1e14	75,2	75,2	1,6	2,0
Ar ⁺ 3e14	72,8	73	1,7	2,5
Ar ⁺ 1e15	71,6	70,5	4,1	4,7
Ar ⁺ 1e16	74,5	75	3,1	4,5
Ar ⁺ 2e16	68,1	67,2	2,4	3,2
He ⁺ 1e15	72,2	71,5	3,3	4,5
He ⁺ 2e16	74,9	76,0	2,3	3,6
PE-UHMW poddany modyfikacji				
Ag ⁺ 1e14	74,0	75,0	2,9	3,7
Ag ⁺ 2e14	72,7	73,0	1,8	2,5
Ag ⁺ 7e14	64,1	64,2	2,1	3,2
Ag ⁺ 2e15	63,5	62,5	5,5	7,0
Ag ⁺ 2e16	69,8	68,7	4,8	6,2
Ag ⁺ 2e17	64,7	63,5	3,9	4,5
H ₂ ⁺ 1e14	71,9	72,7	4,1	6,0
H ₂ ⁺ 3e14	70,9	71,0	1,5	2,0
H ₂ ⁺ 5e14	63,9	64,2	1,8	2,5
He ⁺ 5e15	74,4	75,0	2,2	3,0

Podsumowanie

1. Na zaobserwowane rozbieżności w wynikach oznaczeń mogą mieć wpływ następujące czynniki:
 - różnica w dokładności pomiaru na zdigitalizowanym obrzeżu i obrazie kropli, dokonywanego „komputerowo” i „od ręcznie”,
 - zbyt mała objętość kropli w odniesieniu do mikrochropowatości powierzchni próbek,

- sposób jej osadzania na badanej powierzchni,
 - błąd popełniany przy ustalaniu linii poziomej (pomiędzy punktami styku zarysu kropli z podłożem), od której odmierzano jest kąt zwilżania,
 - niedokładne odwzorowanie zarysu kształtu kropli oraz problemy z symetrią jej kształtu.
2. Wydaje się, że przy zastosowaniu stosunkowo niewielkich nakładów finansowych, można własnym sumptem skonstruować stanowisko do oznaczania kąta zwilżania ciał stałych metodą osadzanej kropli, posiadające wystarczająco precyzyjny system jej aplikacji, którego głównym elementem stanowi mikrostrzykawka Hamiltona. Wyposażając je dodatkowo w możliwość automatycznej akwizycji i komputerowej analizy obrazu można uzyskać wyniki nie odbiegające jakością i powtarzalnością od drogich przyrządów komercyjnych, produkcji zagranicznej.

Bibliografia

1. Goud R.J., Stromberg R.R. Eds.: *Surface and Colloid Science*, vol. 11, Plenum Press, New York 1979.
2. Bieliński D., Zaborski M., Ślusarski L.: *Archiwum Nauki o Mat.*, 1996, nr 17, s. 307.
3. Kuczyński J.: *Polimery*, 1990, nr 35, s. 219.
4. Zielecka M.: *Polimery*, 2004, nr 49, s. 327.
5. Israelachvili J.N.: *Intermolecular and Surface Forces*. Academic Press, New York 1991.
6. Żenkiewicz M.: *Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych*. WNT, Warszawa 2000.
7. <http://www.algorytm.cad.pl>
8. Jagielski J.: *Oprogramowanie komputerowe do oznaczania kąta zwilżania metodą aproksymacji zarysu kształtu kropli krzywą Bezierra*. Raport z I. roku realizacji projektu PBZ-KBN-095/T08/2003 „Materiały polimerowe modyfikowane nanocząstkami”, niepublikowany.
9. <http://www.pocketgoniometer.com>
10. Nussbaum R.M., *Holz als Roh – und Werkstoff*, 1999, nr 57, s. 419.
11. Gotoh K., Tagawa M., Ohmae N., Kinoshita H.: *Colloid Polym Sci*, 2001, nr 279, s. 214.

Recenzet:

Bronisław JAŃCZUK

Comparison between values of sessile drop contact angle depending on method of determination

Summary

Surface of polyethylenes: high density (HDPE) and ultrahigh molecular weight (UHMWPE), was subjected to low energy ion beam, producing surfaces of various polarity and microroughness. Sessile drop water contact angle for materials was determined with various instruments, applying different methodology. The results obtained were compared and possible reasons for discrepancies in values of the contact angles, interpreted. The analysis took into consideration quality of the surface studied – mainly its microroughness, instrumentation factors: volume of droplet and speed of its application, as well as precision of a shape of droplet boarder determination and level of its contact with the surface studied.