

# Wpływ metody przygotowania powierzchni polilaktydu do procesu metalizowania na strukturę osadzonej warstwy miedzi

Krzysztof Moraczewski<sup>1)</sup>

DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.457](https://doi.org/10.14314/polimery.2017.457)

**Streszczenie:** Przedstawiono wyniki badań wpływu metody przygotowania powierzchni polilaktydu na strukturę warstwy miedzi osadzonej w procesie metalizowania. Warstwę wierzchnią polilaktydu modyfikowano metodami: chemiczną, plazmową oraz laserową. Warstwę miedzi osadzano metodą bezprądową w procesie autokatalitycznego metalizowania. Wykazano, że struktura i grubość osadzonej warstwy miedzi w istotnym stopniu zależą od sposobu modyfikowania oraz od uzyskanej struktury powierzchni metalizowanego polilaktydu.

**Słowa kluczowe:** polilaktyd, modyfikowanie warstwy wierzchniej, metalizowanie autokatalityczne, struktura powierzchni.

## Influence of the method of polylactide surface preparation for metallization process on the structure of deposited copper layer

**Abstract:** The effect of the method of preparing polylactide surface on the structure of copper layer deposited by metallization process has been studied. The surface layer of polylactide was modified by chemical, plasma, and laser methods. A layer of metal has been deposited by electroless metallization in autocatalytic copper plating process. Studies have shown that the structure and thickness of the deposited copper layer depend significantly on the modification method and the structure of the metallized surface.

**Keywords:** polylactide, surface layer modification, autocatalytic metallization, surface structure.

W procesie metalizowania materiałów polimerowych warstwa metalu najczęściej osadza się w wyniku, zachodzących w obecności katalizatora, reakcji chemicznych między znajdującymi się w roztworze jonami metalu i atomami reduktora. W wypadku, gdy katalizatorem jest osadzany metal, wówczas przebiega proces autokatalizowania, a osadzana warstwa teoretycznie może być dowolnej grubości. Takie zjawisko stanowi istotę procesów metalizowania bezprądowego materiałów polimerowych, nazywanych metalizowaniem autokatalitycznym [1].

Właściwości warstwy wierzchniej (WW) materiałów polimerowych, takie jak: skład chemiczny, struktura materiału, struktura geometryczna powierzchni, zwilżalność, swobodna energia powierzchniowa, mają istotny wpływ na przebieg metalizowania, a także na adhezję warstwy metalicznej do podłoża, jej strukturę oraz przewodnictwo elektryczne [2]. Większość materiałów polimerowych charakteryzuje się niewielką reaktywnością, hydrofobowością i małą wartością swobodnej energii powierzchniowej [3]. Cechy te w dużym stopniu utrudniają metalizowanie. Wytrzymałość adhezyjna złącza polimer/

metal może się zmieniać w szerokim zakresie w zależności od rodzaju materiałów tworzących złącze. W procesie metalizowania materiałów polimerowych niezbędnym etapem jest modyfikowanie ich WW [4]. Modyfikowanie, zmieniające chemicznie lub/i fizycznie WW, umożliwia m.in. absorpcję katalizatora oraz zwiększenie wytrzymałości adhezyjnej złącza polimer/metal [5–10].

Właściwości i struktura osadzonej warstwy miedzi zależy od struktury metalizowanej powierzchni [11]. Właściwe jej przygotowanie jest jednym z najważniejszych etapów procesu autokatalitycznego metalizowania wpływających nie tylko na jakość osadzonej warstwy metalu, ale także na możliwości zastosowania metalizowanych materiałów polimerowych.

W ostatnich latach wyraźnie zwiększyła się liczba badań dotyczących polilaktydu (PLA) oraz zastosowań tego polimeru, np. w wytwarzaniu urządzeń elektronicznych i nośników obwodów drukowanych [12–15]. Między innymi prowadzono prace badawcze określające możliwość wykorzystania metod chemicznych, plazmowych lub laserowych w procesie przygotowania WW polilaktydu do autokatalitycznego metalizowania [16–18]; w ich wyniku na zmodyfikowanej powierzchni PLA osadzono warstwę miedzi. Oceniono podstawowe właściwości osadzonej warstwy miedzi, m.in. wytrzymałość adhezyjną i przewodnic-

<sup>1)</sup> Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, ul. Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz.

e-mail: e-mail: [kmm@ukw.edu.pl](mailto:kmm@ukw.edu.pl)

two elektryczne. Nie przeprowadzono jednak szczegółowych badań dotyczących wpływu metody i parametrów modyfikowania na strukturę osadzonej warstwy.

Celem niniejszej pracy było określenie zależności struktury osadzonej warstwy miedzi od sposobu modyfikowania WW polilaktydu. Uzyskane wyniki w istotnym stopniu poszerzają wiedzę dotyczącą procesu autokatalitycznego metalizowania materiałów polimerowych oraz właściwości osadzonej warstwy miedzi.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiały

W badaniach wykorzystano następujące materiały:

- polilaktyd 2002 D (PLA, Cargill Down LLC, USA), o wagowo średnim ciężarze cząsteczkowym wynoszącym ok.  $155,5 \cdot 10^3$ , zawierający 3,5 % merów D i 96,5 % merów L;
- wodorotlenek sodu, cz.d.a. (NaOH, POCh S.A., Polska);
- etanol 96 % (PPS Polmos Warszawa, Polska);
- manganian(VII) potasu, cz.d.a. ( $\text{KMnO}_4$ , POCh S.A., Polska);
- kwas azotowy(V) 65 %, cz.d.a. ( $\text{HNO}_3$ , POCh S.A., Polska) o gęstości  $1,40 \text{ g/dm}^3$ ;
- chlorek palladu(II), cz.d.a. ( $\text{PdCl}_2$ , POCh S.A., Polska);
- chlorek cyny(II), cz.d.a. ( $\text{SnCl}_2$ , Chempur, Polska);
- kwas chlorowodorowy 35–38 %, cz.d.a. (HCl, Chempur, Polska) o gęstości  $1,19 \text{ g/dm}^3$ ;
- kąpiel do autokatalitycznego miedziowania M-Copper 85 (MacDermid, USA);
- formaldehyd 36 %, cz. (HCHO, POCh S.A., Polska).

### Otrzymywanie próbek PLA do metalizowania bezprądowego

Kształtki PLA do autokatalitycznego miedziowania wytworzono metodą wtryskiwania za pomocą wtryskarki typu Tederic TRX 80 ECO 60 (Tederic Machinery Manufacture Co. LTD, Tajwan). Temperatura I, II i III strefy cylindra wtryskarki, głowicy i formy wynosiła, odpowiednio, (I) 170 °C, (II) 180 °C, (III) 190 °C, 190 °C i 30 °C.

### Modyfikowanie warstwy wierzchniej próbek PLA

#### Modyfikowanie chemiczne

Modyfikowanie chemiczne warstwy wierzchniej PLA prowadzono przy użyciu dwóch roztworów. Pierwszy to zakwaszony wodny roztwór manganianu(VII) potasu zawierający 0,17 M  $\text{KMnO}_4$  oraz 1,24 M  $\text{HNO}_3$  (oznaczony 1). Warstwę wierzchnią próbek PLA modyfikowano w tym roztworze w temperaturze pokojowej w ciągu 30 lub 60 min. Drugi to 0,25 M wodny roztwór wodorotlenku sodu zmieszany z 0,25 M roztworem NaOH w alkoholu etylowym w stosunku objętościowym 1:1 (oznaczony 2). W tym roztworze modyfikowano warstwę wierzchnią PLA w temp.

50 °C w ciągu 1 lub 10 min [19]. Próbki oznaczono symbolami PXY, gdzie X oznacza zastosowany roztwór (M – roztwór 1, N – roztwór 2), Y – czas modyfikowania.

#### Modyfikowanie plazmowe

W procesie modyfikowania plazmowego zastosowano generator plazmy Femto (Diener electronic GmbH, Niemcy) o mocy nominalnej 100 W. Modyfikowane próbki umieszczano w metalowej komorze generatora i poddawano działaniu plazmy generowanej z wykorzystaniem połowy (50 W) mocy nominalnej generatora, w atmosferze powietrza pod obniżonym ciśnieniem (20 Pa) w ciągu 2,5 lub 30 min. Próbki oznaczano symbolami PPX, gdzie X oznacza zastosowany czas modyfikowania.

#### Modyfikowanie laserowe

W procesie laserowego modyfikowania zastosowano laser ekscymerowy ArF LPX 300 (Lambda Physik, Niemcy) o długości fali 193 nm (co odpowiada energii fotonu równej 6,4 eV). Badane próbki PLA napromieniano w atmosferze powietrza 10 lub 1000 impulsów lasera o jednostkowej energii  $E_j = 15 \text{ mJ/cm}^2$ . Czas trwania pojedynczego impulsu wynosił 20 ns. Dokładną wartość energii impulsów lasera wyznaczono przy użyciu miernika typu FieldMax II TOP (Coherent Inc., USA). Próbki oznaczono symbolami PLX, gdzie X oznacza zastosowaną liczbę impulsów.

### Miedziowanie bezprądowe próbek PLA

Miedziowanie bezprądowe realizowano metodą autokatalityczną, obejmującą następujące po sobie etapy: aktywacji powierzchni, płukania, akceleracji, metalizowania, płukania oraz suszenia. Proces aktywacji prowadzono jednoetapowo. Zmodyfikowane próbki zanurzano w wodnym roztworze zawierającym  $0,25 \text{ g/dm}^3 \text{ PdCl}_2$ ,  $12 \text{ g/dm}^3 \text{ SnCl}_2$  oraz  $60 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  38 % HCl, o temp. 25 °C na 5 min. Po aktywacji powierzchni próbki płukano w wodzie destylowanej i zanurzano w wodnym roztworze akceleratora zawierającym  $32 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  38 % HCl. Proces akceleracji prowadzono w temp. 25 °C przez 5 min, w celu usunięcia z powierzchni próbek PLA nadmiaru jonów cyny i odsłonięcia aktywnych katalitycznie cząstek palladu. Przygotowane w ten sposób próbki zanurzano następnie w kąpeli do autokatalitycznego metalizowania o pH = 12,8. Proces metalizowania realizowano w temp. 46 °C w ciągu 5 min.

### Metody badań

– Strukturę i topografię naniesionej warstwy metalicznej oceniano za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego Hitachi SU8010 (Hitachi High-Technologies Co., Japonia), z napięciem przyspieszającym 2 kV, natężeniem prądu 6–10  $\mu\text{A}$  (w zależności od rodzaju próbki), dystansem roboczym 4 mm. Przed badaniem próbki napyłano warstwą złota o grubości ok. 3 nm.

– Strukturę geometryczną powierzchni badano też za pomocą mikroskopu sił atomowych (AFM) Nanoscope IIIa (Digital Instruments, USA) w modzie oscylacyjnym w atmosferze powietrza. Użyto skanera „J” i sond RTSEP (Veeco, USA), skanowano z częstotliwością ok. 1 Hz. Rejestrowano obrazy o rozdzielczości 512 x 512 linii.

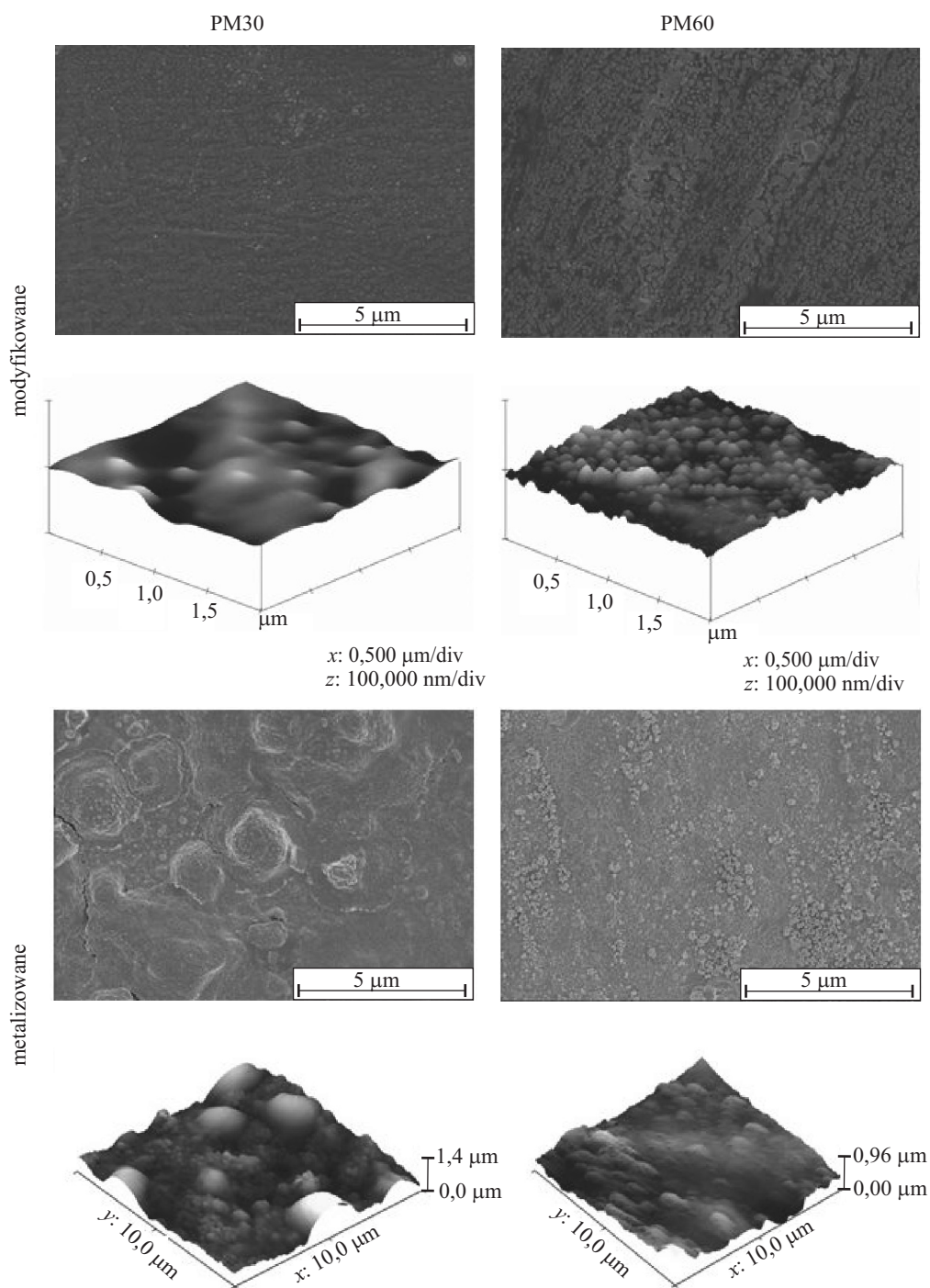
### WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Powierzchnia niezmodyfikowanych próbek PLA charakteryzowała się niewielkim średnim odchyleniem pro-

filu chropowatości (*RMS*) wynoszącym, w zależności od miejsca badania, 0,3–6,2 nm. Na powierzchni można było zaobserwować wypukłości i wklęsnięcia o różnych kształtach, prawdopodobnie będące odbiciem struktury geometrycznej powierzchni formy wtryskowej.

Metalizowanie próbek niemodyfikowanego PLA niestety się nie powiodło. Osadzona warstwa miedzi była słabo związana z powierzchnią materiału i odpadała, próbki nie nadawały się więc do dalszych badań.

W wyniku modyfikowania powierzchni próbek PLA roztworem 1 zanikały struktury powstałe podczas ich



Rys. 1. Efekty modyfikowania i metalizowania próbek PM30 i PM60

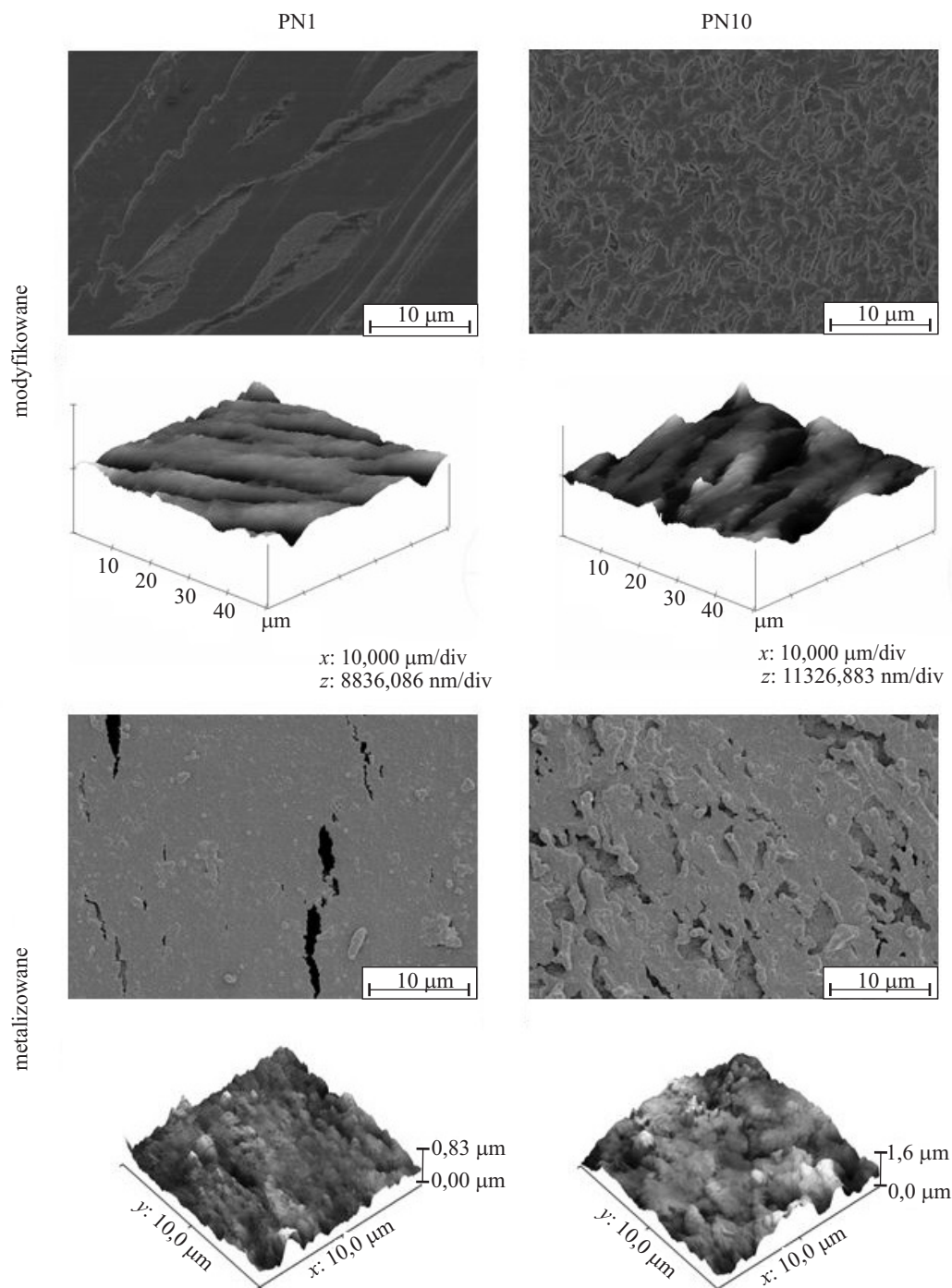
Fig. 1. Effects of modification and metallization of PM30 and PM60 samples

wytwarzania. Na powierzchni pojawiły się jednak nierówności, najprawdopodobniej na skutek wytrawienia podczas chemicznego modyfikowania. Szczególnie wyraźne było to w wypadku próbek modyfikowanych przez 60 min (PM60). Wartość *RMS* tak modyfikowanych chemicznie próbek PLA wynosiła: 1,7 nm – próbki PM30 oraz 4,3 nm – próbki PM60.

Warstwa miedzi osadzona na próbce PM30 była popękana i niejednorodna. Jej powierzchnię charakteryzowały liczne, duże, oddalone od siebie ziarna, między

którymi była widoczna bardziej gładka warstwa miedzi. Wartość *RMS* powierzchni osadzonej na próbce PM30 miedzi wynosiła 0,222  $\mu\text{m}$  (rys. 1).

Bardziej jednorodną warstwę miedzi otrzymano w wyniku metalizowania próbki PM60. Jej powierzchnia była stosunkowo gładka, z miejscami większego nagromadzenia drobnych, słabo związanych z powierzchnią ziaren osadzonej miedzi (rys. 1). Wartość *RMS* osadzonej warstwy była mniejsza niż w wypadku próbki PM30 i wynosiła 0,116  $\mu\text{m}$ .



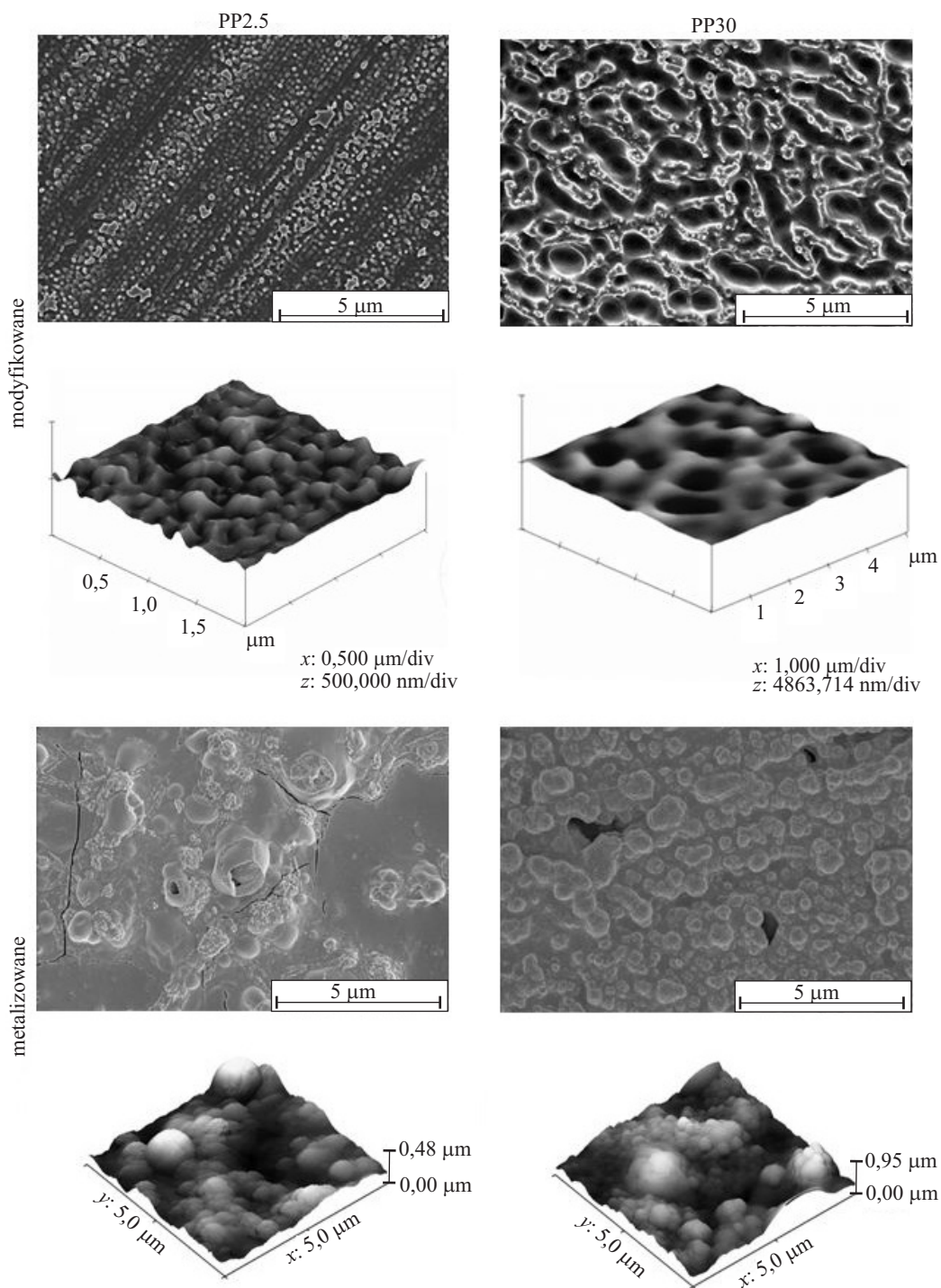
Rys. 2. Efekty modyfikowania i metalizowania próbek PN1 oraz PN10

Fig. 2. Effects of modification and metallization of PN1 and PN10 samples

Modyfikowanie chemiczne za pomocą roztworu 2 powodowało istotne zmiany powierzchni badanych próbek. Już po upływie 1 min modyfikowania na powierzchni próbki PLA tworzyły się głębokie pęknięcia, a między nimi była widoczna mało zmieniona powierzchnia. Natomiast po upływie 10 min modyfikowania cała powierzchnia próbki PLA była pokryta licznymi, małymi pęknięciami i zagłębieniami (rys. 2). Wyznaczone wartości RMS wynosiły w tym wypadku 300–700 nm, jednak,

ze względu na dużą chropowatość powierzchni, wyniki te mogą być obarczone pewnym błędem.

Obserwowane zmiany profilu powierzchni badanych próbek, zachodzące w wyniku modyfikowania chemicznego, były spowodowane procesem degradacji hydrolytycznej PLA [20], katalizowanej jonami hydroksylowymi. Duże stężenie jonów  $\text{OH}^-$  znacznie przyspieszało ten proces [21, 22]. Na skutek degradacji hydrolytycznej tworzyły się rozpuszczalne w wodzie, małowczątkowe oli-



Rys. 3. Efekty modyfikowania i metalizowania próbek PP2.5 oraz PP30

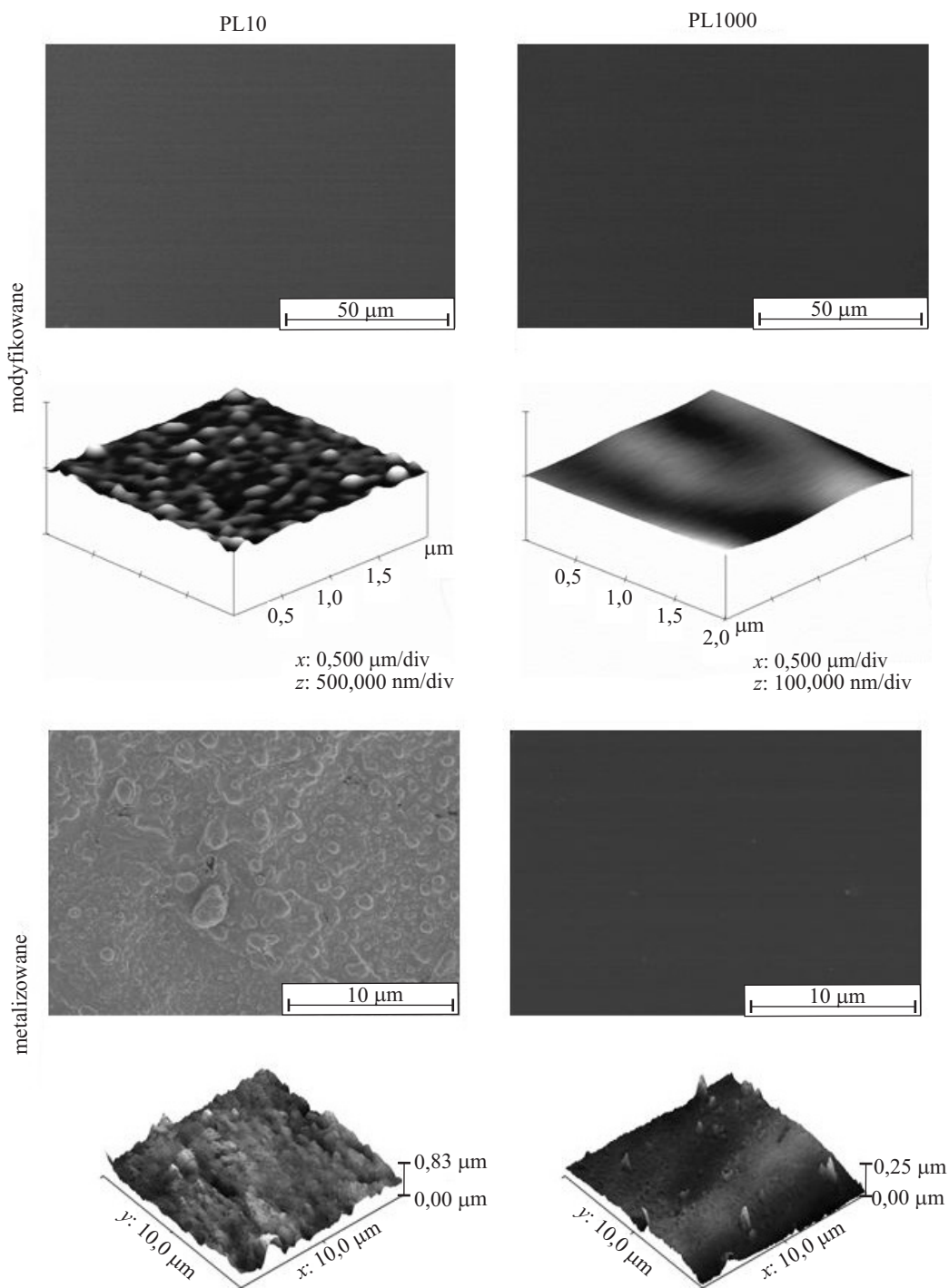
Fig. 3. Effects of modification and metallization of PP2.5 and PP30 samples

gomery i monomery wypłukiwane z osnowy, co powodowało powstawanie pęknięć i zagłębień.

W procesie metalizowania próbki PN1 otrzymano drobnoziarnistą warstwę miedzi z licznymi pęknięciami, wynikającymi prawdopodobnie z niecałkowitego wypełnienia i pokrycia pęknięć obecnych na modyfikowanej powierzchni PLA. Wartość RMS osadzonej warstwy miedzi wynosiła 0,087  $\mu\text{m}$ .

Osadzona na próbce PN10 warstwa miedzi miała strukturę odmienną niż struktura warstwy osadzonej

na próbce PN1. Utworzyły się aglomeraty miedzi o owalnym kształcie. Początkowo miedź osadzała się w powstałych po modyfikacji pęknięciach. W miarę upływu czasu metalizowania pęknięcia stopniowo wypełniały się miedzią, a po ich wypełnieniu aglomeraty miedzi wzrastały dalej z zachowaniem charakterystycznego kształtu. Wydłużenie czasu metalizowania powodowało połączenie się aglomeratów miedzi i utworzenie zwartej warstwy (rys. 2). Wartość RMS osadzonej warstwy miedzi w wypadku próbki PN10 wynosiła 0,209  $\mu\text{m}$ .



Rys. 4. Efekty modyfikowania i metalizowania próbek PL10 oraz PL1000

Fig. 4. Effects of modification and metallization of PL10 and PL1000 samples

W wyniku modyfikowania plazmowego na powierzchni próbek PLA powstały charakterystyczne krople, będące najprawdopodobniej produktami degradacji PLA i stanowiące na powierzchni tego polimeru (próbka PP2.5) warstwę lepkiej cieczy. Wielkość oraz rozmieszczenie kropli na powierzchni danej próbki zależały od warunków modyfikowania [16]. W toku procesu powstające produkty degradacji połączyły się w duże krople o nieregularnej linii brzegowej (ang. *pinning*). Zastosowanie dłuższego czasu modyfikowania skutkowało całkowitym usunięciem warstwy produktów degradacji i odsłonięciem chropowatej powierzchni PLA (próbka PP30). Wartość *RMS* zmodyfikowanej powierzchni wynosiła 34,5 nm – próbki PP2.5 oraz 146,0 nm – próbki PP30 (rys. 3).

Warstwa osadzonej na próbce PP2.5 miedzi była popękana i niejednorodna. Między obserwowanymi na powierzchni licznymi, dużymi i oddalonymi od siebie ziarnami miedzi była widoczna bardziej gładka powierzchnia. Wartość *RMS* osadzonej na próbce PP2.5 warstwy miedzi wynosiła 0,085  $\mu\text{m}$ .

W wyniku metalizowania próbki PP30 otrzymano jednorodną, ziarnistą warstwę miedzi z widocznymi na jej powierzchni równomiernie rozmieszczonymi ziarnami różnej wielkości. Wartość *RMS* tej warstwy wynosiła 0,160  $\mu\text{m}$ .

W wyniku laserowego modyfikowania próbek, na skutek procesu ablacji warstwy wierzchniej PLA powstała powierzchnia o strukturze globularnej [23]. Ablacja obszarów fazy bezpostaciowej PLA była większa niż ablacja obsza-

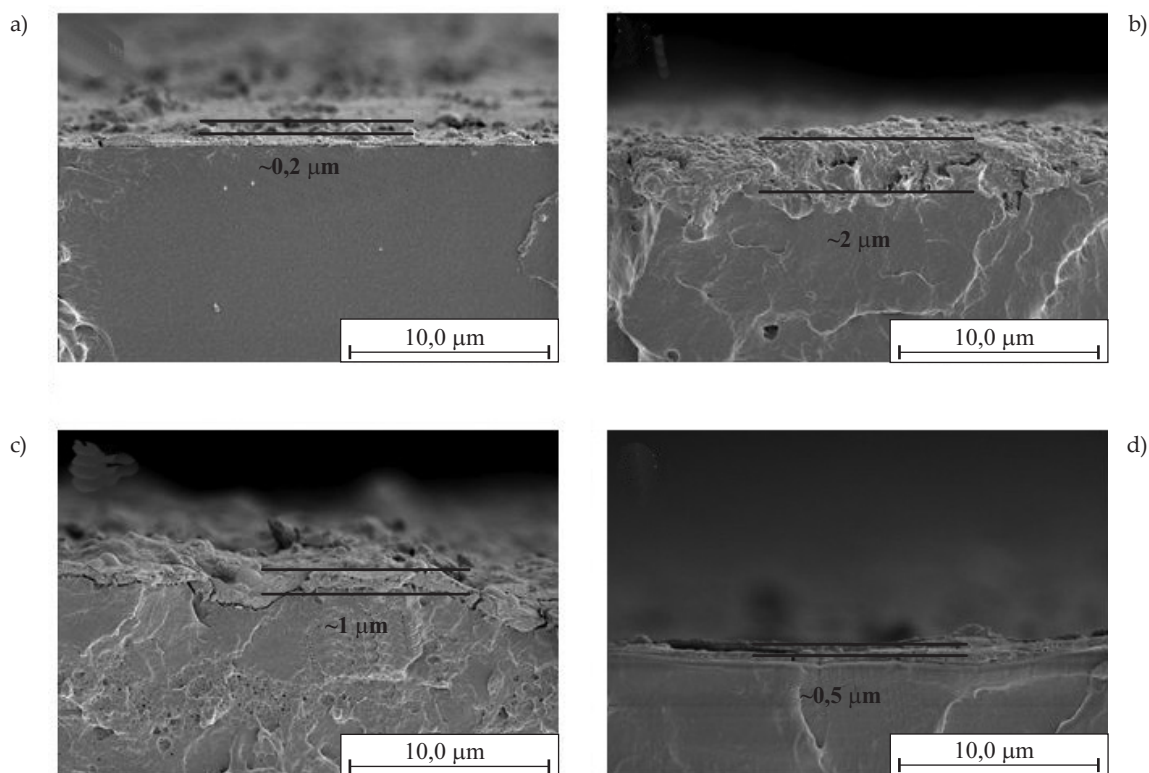
rów fazy krystalicznej, co spowodowało zmiany struktury modyfikowanej powierzchni. Zastosowanie większej liczby impulsów skutkowało wygładzeniem powierzchni polimeru, która stała się bardziej jednorodna. Pod wpływem napromieniowania modyfikowana warstwa wierzchnia uległa lokalnemu stopieniu, po którym nastąpił proces rekrytalizacji [13, 24]. Wartość *RMS* wynosiła 5,3 nm – próbki PL10 oraz 0,3 nm – próbki PL1000 (rys. 4).

Warstwa miedzi osadzona na próbce PL10 była zwarta i jednorodna, o strukturze ziarnistej, z widocznymi na powierzchni równomiernie rozmieszczonymi ziarnami różnej wielkości. Wartość *RMS* otrzymanej warstwy wynosiła 0,087  $\mu\text{m}$  (rys. 4).

W wypadku próbki PL1000 nie udało się osadzić warstwy miedzi na jej powierzchni. Szczegółowy opis przyczyn niepowodzenia przedstawiono w [18]. W wyniku zanurzenia próbki w kąpeli galwanicznej nastąpiła jednak niewielka zmiana struktury jej powierzchni, co prawdopodobnie było spowodowane mocno zasadowym odczynem kąpeli intensyfikującym degradację hydrolytyczną PLA.

Większość zastosowanych metod metalizowania umożliwiała osadzenie warstwy miedzi na powierzchni modyfikowanych wcześniej próbek. Struktura osadzonej warstwy miedzi zależała od struktury powierzchni uzyskanej w wyniku modyfikowania.

Warstwy metali osadzone na materiałach nieprzewodzących, pokrytych katalizatorem, najczęściej charakteryzują się strukturą ziarnistą [11], wynikającą z dużego rozproszenia cząstek katalizatora na metalizowanej powierzch-



Rys. 5. Obrazy SEM przełomów zmetalizowanych próbek a) PM60, b) PN10, c) PP30, d) PL10  
 Fig. 5. SEM images of fracture surfaces of metallized a) PM60, b) PN10, c) PP30, d) PL10 samples

ni. Wraz ze zwiększaniem się grubości osadzonej warstwy ziarna mają tendencję do tworzenia większych struktur. Początkowo metalizowanie zachodzi na powierzchni katalizatora, następnie, wraz z wydłużającym się czasem metalizowania, zwiększają się wymiary poszczególnych ziaren, które się łączą i tworzą warstwę metalu.

Dobrą jakościowo warstwę miedzi o dużych ziarnach (ocena wizualna), typową dla materiałów nieprzewodzących, otrzymano w procesie metalizowania próbek PP30 oraz PL10. Dobrą jakościowo warstwę miedzi otrzymano również w wyniku metalizowania próbki PN10, jednak jej struktura różniła się od pozostałych. Zmiany powierzchni próbek PLA pod wpływem modyfikowania umożliwiały dobrą absorpcję katalizatora (palladu), co sprzyjało efektywniejszemu metalizowaniu, a uzyskana warstwa miedzi była grubsza i bardziej jednorodna. Efekt ten pośrednio potwierdzały obrazy SEM przełomów metalizowanych próbek (rys. 5).

Najgrubszą warstwę miedzi otrzymano po 5 min metalizowania próbki PN10, co sugeruje, że najwięcej palladu zaabsorbowała powierzchnia próbki poddana modyfikowaniu chemicznemu roztworem 2. Najcieńszą warstwę miedzi uzyskano natomiast w wyniku metalizowania próbki PM60, co odpowiada najmniejszej ilości zaabsorbowanego na jej powierzchni palladu. Szybkość przyrostu grubości warstwy miedzi osadzonej na próbkach PM60, PN10, PP30 oraz PL10 wynosiła, odpowiednio, 0,04; 0,4; 0,2 oraz 0,1  $\mu\text{m}/\text{min}$ .

#### PODSUMOWANIE

Modyfikowanie warstwy wierzchniej PLA powoduje istotne zmiany w strukturze geometrycznej powierzchni tego polimeru. Charakter tych zmian zależy od zastosowanej metody modyfikowania i parametrów procesu. Najwyraźniejsze zmiany struktury powierzchni zaobserwowano w wypadku modyfikowania chemicznego roztworem 2 i modyfikowania plazmowego, prowadzonych w dłuższym czasie. Natomiast w wyniku modyfikowania laserowego zwiększenie liczby impulsów prowadziło do wyraźnego wygładzenia modyfikowanej powierzchni.

Zastosowane metody modyfikowania umożliwiały na ogół osadzenie warstwy miedzi na powierzchni tak przygotowanych próbek. Struktura osadzonej warstwy miedzi była zależna od struktury powierzchni uzyskanej w wyniku modyfikowania. Warstwę miedzi o dużych ziarnach, typową dla materiałów nieprzewodzących, otrzymano w wyniku metalizowania próbek modyfikowanych plazmowo i laserowo. Również dobra jakościowo warstwa miedzi powstała w efekcie metalizowania próbki modyfikowanej chemicznie alkoholowym roztworem wodorotlenku sodu. Uzyskane wyniki świadczą o tym, że odpowiednie przygotowanie powierzchni próbki do procesu jej metalizowania ułatwia absorpcję katalizatora i przyczynia się do efektywniejszego osadzania dobrej jakościowo warstwy miedzi.

#### LITERATURA

- [1] Vakelis A.: "Electroless plating" w "Coatings Technology Handbook" (red. Tracton A.A.), CRC Press, Boca Raton 2006, str. 27–1.
- [2] Siau S., Vervaet A., Schacht E. i in.: *Thin Solid Films* **2006**, 495, 348.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2005.08.355>
- [3] Paunovic M., Schleinger M.: "Fundamentals of electrochemical deposition", Wiley Interscience, Hoboken 2006.
- [4] Kim G.G., Kang J.A., Kim J.H. i in.: *Surface and Coatings Technology* **2006**, 201, 3761.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.09.052>
- [5] Beil S., Horn H., Windisch A. i in.: *Surface and Coatings Technology* **1999**, 116–119, 1195.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00155-3)
- [6] Charbonnier M., Alami M., Romand M.: *Journal of Electrochemical Society* **1996**, 143, 472.  
<http://dx.doi.org/10.1149/1.1836468>
- [7] Alami M., Charbonnier M., Romand M.: *Journal of Adhesion* **1996**, 57, 77.
- [8] Moraczewski K., Rytlewski P., Malinowski R., Żenkiewicz M.: *Applied Surface Science* **2015**, 346, 11.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.03.202>
- [9] Żenkiewicz M., Moraczewski K., Rytlewski P. i in.: *Polimery* **2017**, 62, 163.  
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.163>
- [10] Żenkiewicz M., Moraczewski K., Rytlewski P. i in.: *Polimery* **2017**, 62, 371.  
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.371>
- [11] Mallory G.O.: "Electroless plating: Fundamentals and applications", Noyes Publications/William Andrew Publications, New York 2002.
- [12] Stepczyńska M.: *Journal of Food Engineering* **2014**, 126, 56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.038>
- [13] Rytlewski P., Mróz W., Żenkiewicz M. i in.: *Journal of Materials Processing Technology* **2012**, 212, 1700.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.03.019>
- [14] Malinowski R.: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **2016**, 377, 59.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2016.04.028>
- [15] Schramm R., Reinhardt A., Franke J.: "Capability of biopolymers in electronics manufacturing", 35th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Bad Ausee, Austria, 9–13 maja 2012, str. 345–349.
- [16] Moraczewski K., Rytlewski P., Malinowski R. i in.: *Materials Chemistry and Physics* **2015**, 153, 135.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.12.045>
- [17] Moraczewski K., Malinowski R., Rytlewski P., Żenkiewicz M.: *Polimery* **2015**, 60, 492.  
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2015.492>
- [18] Moraczewski K., Mróz W., Budner B., Żenkiewicz M.: *Surface and Coatings Technology* **2016**, 304, 68.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.085>



- [19] Yang J., Wan Y.Q., Wang S.G. i in.: *Polymer International* **2003**, 52, 1892.  
<http://dx.doi.org/10.1002/pi.1272>
- [20] "Poly(lactid acid). Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications" (red. Auras R., Lim L.-T., Selke S.E.M., Tsuji H.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2010.
- [21] Yuan X., Mak A.F.T., Yao K.: *Polymer Degradation and Stability* **2003**, 79, 45.
- [22] Taddei P., Monti P., Simoni R.: *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* **2002**, 13, 469.  
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1014742003146>
- [23] Slepíčka P., Michaljaničová I., Sajdlb P. i in.: *Applied Surface Science* **2013**, 283, 438.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.06.127>
- [24] Slepíčka P., Michaljaničová I., Švorčík V.: *eXPRESS Polymer Letters* **2013**, 7, 950.  
<http://dx.doi.org/10.3144/expresspolymlett.2013.92>
- Otrzymano 17 X 2016 r.

Zakład Inżynierii i Technologii Polimerów,  
Wydział Chemiczny Politechniki Wrocławskiej  
zapraszają do udziału w

**XXIII KONFERENCJI NAUKOWEJ  
MODYFIKACJA POLIMERÓW  
Świeradów-Zdrój, 11–13 września 2017 r.**

**Patronat Honorowy:**

JM Rektor Politechniki Wrocławskiej – prof. dr hab. inż. Cezary MADRYAS  
Dziekan Wydziału Chemicznego PWr – prof. dr hab. inż. Andrzej OŻYHAR  
Zarząd Oddziału Wrocławskiego SITPChem

**Przewodniczący Komitetu Naukowego:** prof. dr hab. inż. Ryszard STELLER

**Wiceprzewodniczący Komitetu Naukowego:** prof. dr hab. inż. Jacek PIGŁOWSKI

**Tematyka konferencji:**

- Modyfikacja chemiczna i reaktywne przetwarzanie polimerów
- Modyfikacja fizyczna i kompozyty/nanokompozyty polimerowe
- Nowe lub specjalne zastosowania oraz metody badań polimerów
- Recykling i tworzywa polimerowe z surowców odnawialnych lub wtórnych

**Program naukowy konferencji obejmuje:** referaty plenarne i sekcyjne oraz sesje plakatowe.

**Oplata konferencyjna do 30 czerwca 2017 r.:** 1590 zł (pok. 1 os.), 1390 zł (pok. 2 os.), 1190 zł (tylko dla doktorantów w pok. 2 os.).

**Oplata obejmuje:** zakwaterowanie, wyżywienie, materiały konferencyjne i imprezy towarzyszące.

**Termin nadsyłania prac – 23 czerwca 2017 r.**

**Informacje** dotyczące przygotowania tekstu na [www.oficyna.pwr.edu.pl](http://www.oficyna.pwr.edu.pl) w zakładce Informacje dla autorów  
– Konferencje, Studia i materiały.

**Miejsce konferencji:** Cottonina \*\*\* Villa & Mineral SPA Resort

**Zgłoszenia prosimy przysyłać** na adres Sekretarza: [grazyna.kedziora@pwr.edu.pl](mailto:grazyna.kedziora@pwr.edu.pl)

**Informacje:** Grażyna Kędziora, tel. 071-320-33-21, [grazyna.kedziora@pwr.edu.pl](mailto:grazyna.kedziora@pwr.edu.pl);

Ryszard Steller, tel. 071-320-26-60, [ryszard.steller@pwr.edu.pl](mailto:ryszard.steller@pwr.edu.pl)