

Wojciech H. BEDNAREK<sup>a)</sup>, Aleksandra GIREŃ<sup>a)</sup>, Marek SZOSTAK<sup>b)</sup>, Dominik PAUKSZTA<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań

<sup>b)</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Instytut Technologii Materiałów, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

e-mail: wojciech.k.bednarek@doctorate.put.poznan.pl

## Właściwości mechaniczne mieszanin PC/PA 6.6 otrzymanych z recyklatów

**Streszczenie:** W związku z powszechnym zastosowaniem poliwęglanu oraz poliamidu 6.6 zasadne jest rozwijanie technologii recyklingu tych tworzyw. W ramach niniejszej pracy otrzymano mieszaniny polimerowe PC/PA 6.6 o różnej zawartości każdego z polimerów; z granulatów handlowych oraz recyklatów. Porównano właściwości mechaniczne mieszanin. Właściwości wytrzymałościowe mieszaniny PC/PA6.6 poddanej recyklingowi są zbliżone do właściwości mieszaniny PC/PA6.6 otrzymanej z granulatów handlowych. Materiały wytworzone z poliamidu oraz poliwęglanu poddanemu recyklingowi mogą być stosowane zamiennie z materiałami wytworzonymi z poliamidu oraz poliwęglanu niepoddanych powtórnemu przetworzeniu. Najmniej zadowalające właściwości użytkowe wykazała mieszanina zawierająca 50% wag. PC oraz 50% wag. PA 6.6.

**Słowa kluczowe:** mieszaniny polimerowe, poliwęglan, poliamid 6.6, recykling materiałowy

### THE MECHANICAL PROPERTIES OF PC/PA 6.6 BLENDS OBTAINED FROM RECYCLATES

**Abstract:** In view of the extensive use of PC and PA6.6, it is reasonable to develop recycling technologies for these materials. The main aim of this study was to compare mechanical properties of PC/PA 6.6 blends with different content of each polymer. Moreover, the comparison between mechanical properties of blends made from commercial granules and recyclates was done. The strength properties of PC/PA6.6, made with use of recyclates are similar to those of the PC/PA6.6 blends, obtained from commercial polymers. The least satisfactory mechanical properties presented the blend contained 50 wt% PA 6.6 and PC.

**Keywords:** polymer blends, polycarbonate, polyamide 6.6, material recycling

## 1. WPROWADZENIE

Materiały polimerowe mają wiele zalet, które przyczyniły się do powszechnego użytku tworzyw sztucznych w działalności człowieka. Stosowanie polimerów w technologii materiałów nakłada na projektantów i użytkowników obowiązek rozsądnego zagospodarowania odpadów z tworzyw wielkocząsteczkowych. Powinno to skłaniać do intensywnego ulepszania znanych już technik recyklingu materiałowego wspomnianych wyrobów.

Interesującym sposobem modyfikacji właściwości tworzyw jest wytwarzanie mieszanin polimerowych dwu- i wieloskładnikowych.

Kluczową rolę odgrywa adhezja komponentów, decydująca o wzajemnej mieszalności polimerów. Polimery w większości nie mieszają się ze sobą. Wynika to ze zbyt małej entropii procesu mieszania tworzyw wielkocząsteczkowych [1, 2]. Jakkolwiek, dostateczna adhezja między składnikami mieszaniny przyczynia się do zadowalających właściwości wyrobów pomimo braku mieszalności termodynamicznej. Takie mieszaniny określa się jako kompatybilne. Znaną są także przypadki układów niemieszalnych i niekompatybilnych [2].

Poliamid 6.6 (PA6.6) oraz poliwęglan (PC) to tworzywa termoplastyczne szeroko stosowane w wielu dziedzinach technologii

materiałów, między innymi w motoryzacji, przemyśle maszynowym, przemyśle elektronicznym, a także w intensywnie rozwijających się ostatnio technikach kształtowania przyrostowego elementów użytkowych (zwanym „drukami 3D”) [3].

Mieszanie PC oraz PA6.6 umożliwia otrzymanie układu, który wykazuje odmienne właściwości od poszczególnych komponentów polimerowych. Obecność poliamidu 6.6 może zapewnić dobrą odporność na rozpuszczalniki, a także odporność na ścieranie dzięki obecności struktur uporządkowanych. Poliwęglan jest polimerem bezpostaciowym o bardzo dobrych właściwościach termicznych i mechanicznych, a także zachowuje swoje cechy użytkowe w obecności wilgoci [3]. Istotną trudnością technologiczną towarzyszącą otrzymywaniu mieszanin polimerowych o zadowalających właściwościach jest zła kompatybilność PA6.6 oraz PC. W związku z tym, rezultaty dotychczasowych prac badawczych dotyczących układów PC/PA6.6 są niezadowalające, szczególnie w aspektach złych właściwości użytkowych wyrobów ze wspomnianych mieszanin [4, 5].

## 2. OPIS BADAŃ

Celem badań podjętych w ramach niniejszej pracy było porównanie właściwości mechanicznych mieszanin PC/PA6.6 otrzymanych z granulatu handlowego oraz z recyklatów.

### 2.1. MATERIAŁY UŻYTE W BADANIACH

Przy otrzymywaniu mieszanin wykorzystano granulaty oraz regranulaty poliwęglanu o nazwie handlowej Carbotex, firmy Kortex (wytrzymałość przy zerwaniu 63 MPa, wydłużenie przy zerwaniu 120%) oraz poliamidu 6.6 o nazwie Technyl, firmy Solvay (wytrzymałość przy zerwaniu 100 MPa, wydłużenie przy zerwaniu 6%).

## 2.2. METODYKA BADAŃ

Granulaty poddano suszeniu w temperaturze 90°C przez okres 48 godzin. Wsuszone granulaty wymieszano w odpowiednich proporcjach, otrzymując układy: PA 50% wag. i PC 50% wag., PA 80% wag. i PC 20% wag., PA 20% wag. i PC 80% wag., PA 70% wag. i PC 30% wag., PA 30% wag. i PC 70% wag. (analogiczne dla granulatu handlowego, jak i regranulatu). Następnie w procesie wtryskiwania, otrzymano wypraski do badań mechanicznych. W tabeli 1. przedstawiono parametry pracy wtryskarki.

**Tab. 1. Parametry pracy wtryskarki podczas otrzymywania wyprasek**

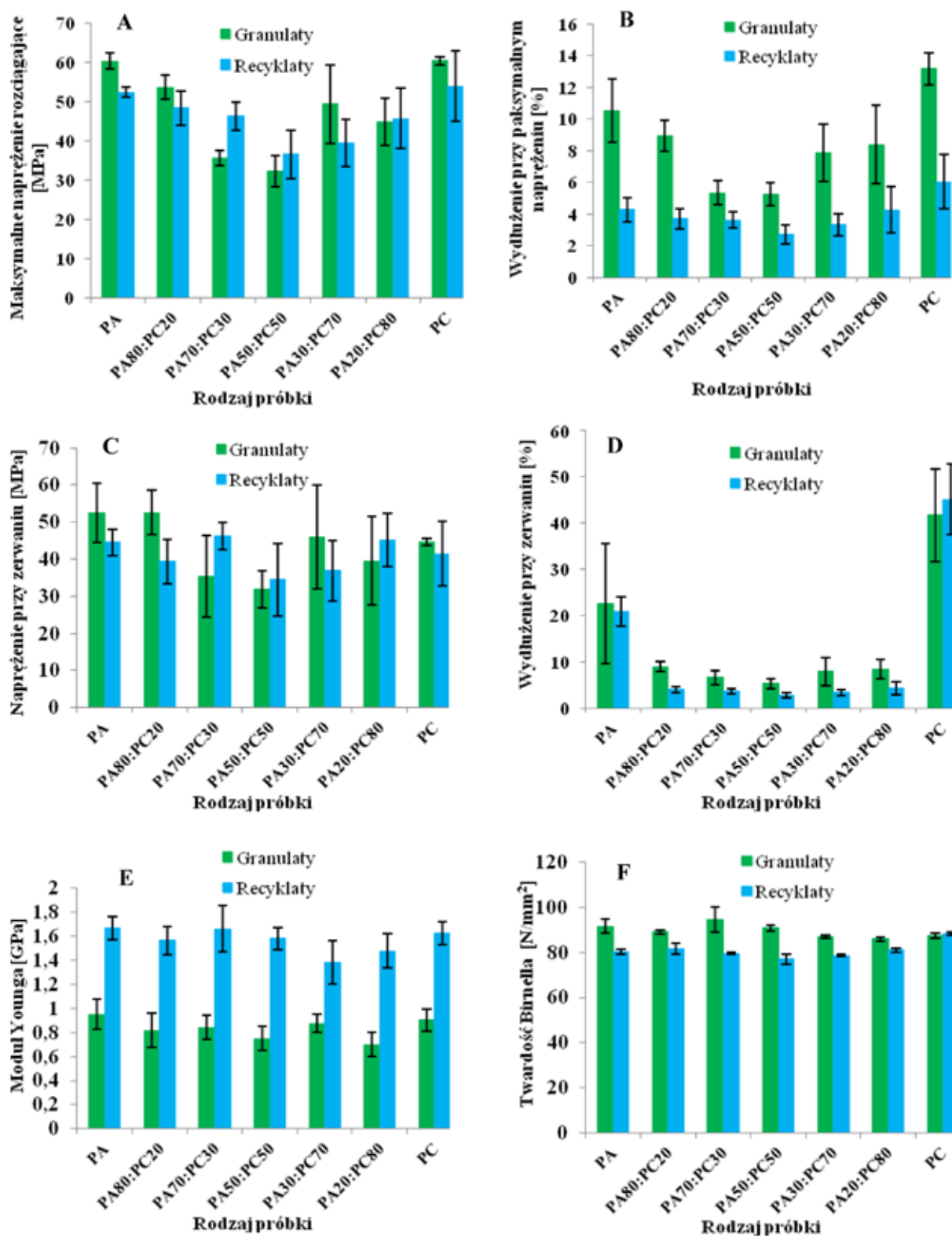
**Tab. 1. Injection moulding parameters**

Parametr	Wartość
Prędkość wtrysku	90 mm/s
Ciśnienie docisku	500 bar
Czas docisku	3 s
Czas wtrysku	1,04 s
Czas chłodzenia	30 s
Ciśnienie wtrysku	90 bar
Temperatura: strefa uplastyczniania / strefa I / II / III	225 / 230 / 220 / 200 °C

Następnie przeprowadzono badania kształtek w zakresie wytrzymałości na rozciąganie według wytycznych normy PN-EN ISO 527-1 oraz twardości metodą Brinella według wytycznych normy PN-EN ISO 6506.

## 3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Na rysunkach 1. A-F przedstawiono parametry wyznaczone podczas badania wytrzymałości na rozciąganie. Określenie „recyklat” oznacza, że dana mieszanina została wykonana z regranulatu tworzyw.



Rys. 1. Wyniki badań mechanicznych (A-Maksymalne naprężenie rozciągające, B- Wydłużenie przy maksymalnym naprężeniu, C- Naprężenie przy zerwaniu, D- Wydłużenie przy zerwaniu, E- Moduł Younga, F- Twardość Brinella)

Fig. 1. The results of mechanical tests (A- Maximum tensile stress, B- Elongation at maximum stress, C- Stress at break, D- Elongation at break, E- Young's Modulus, F- Brinell hardness)

Jak można zauważyć na rysunku 1.A. i 1.B., największe wartości maksymalnego naprężenia rozciągającego oraz wydłużenia przy maksymalnym naprężeniu odnotowano dla poliamidu 6.6 oraz poliwęglanu, niepodanych recyklingowi. Ponadto, najniższe wartości wspomnianych parametrów zaobserwowano dla mieszanin o zawartości 50% wag. każdego z tworzyw. Najbardziej prawdopodobnym wytłumaczeniem tego faktu jest zjawisko inwersji faz. Jednakże, problem ten dla mieszaniny PC/PA 6.6 nie został zbadany tak kompleksowo, jak dla mieszanin poliolefin z poliwęglanami [6].

Zanotowano znaczące różnice w wydłużeniu przy maksymalnym zerwaniu dla wyprasek otrzymanych z mieszanin polimerów handlowych w stosunku do kształtek wykonanych z mieszanin regranulatów (rys. 1.B.).

Z analizy danych, przedstawionych na rysunku 1.C. wynika, że naprężenie przy zerwaniu zmienia się nieznacznie dla mieszanin recyklatów i granulatów handlowych. Obserwuje się duże (od cztero- do dziesięciokrotnego) zmniejszenie wartości wydłużenia przy zerwaniu dla mieszanin (niezależnie od składu wagowego) względem kształtek z homopolimerów (rys. 1.D.). Przyczyną wspomnianych zależności może być niejednorodność stosowanych mieszanin PC/PA6.6. Bardzo interesującą tendencję dotyczącą wartości modułu Younga (rysunek 1.E.) zaobserwowano pomiędzy kształtkami wykonanymi z mieszanin recyklatów i wypraskami z granulatów handlowych. Zdecydowanie wyższymi wartościami modułu Younga charakteryzują się wszystkie wypraski wykonane z regranulatów. Wyniki badań dotyczące twardości Brinella (rysunek 1.F.) wskazują, że nie występują istotne różnice tego parametru dla mieszanin z granulatów handlowych oraz recyklatów.

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy danych pomiarowych, wynikających z przeprowadzenia badań, słuszne są następujące wnioski:

- Poddanie poliamidu 6.6 oraz poliwęglanu recyklingowi materiałowemu przyczynia się do zmiany właściwości mechanicznych elementów wykonanych z mieszanin tworzyw.
- Kształtki z mieszanin PC/PA6.6, wykonanych z regranulatów tworzyw cechują się znacznie większymi (o około 50%) wartościami modułu sprężystości wzdłużnej w porównaniu do wyprasek wykonanych z mieszanin granulatów handlowych.
- Najmniej zadowalające właściwości mechaniczne (maksymalne naprężenie rozciągające oraz wydłużenie przy maksymalnym naprężeniu) wykazuje mieszanina złożona w 50% wag. z PA6.6 oraz 50% wag. PC.
- Właściwości wytrzymałościowe mieszanin PC/PA6.6 wykonanych z recyklatów są zbliżone do parametrów wykazywanych przez analogiczne mieszaniny, wykonane z użyciem granulatów handlowych (poza modułem Younga oraz wydłużeniem przy maksymalnym naprężeniu). Elementy wytworzone z mieszanin PA6.6 oraz PC poddanych recyklingowi mogą być stosowane zamiennie z materiałami wytworzonymi z poliamidu oraz poliwęglanu, niepoddanych powtórnemu przetworzeniu. Ponadto, mieszaniny PC/PA6.6 mogą być stosowane do produkcji wyrobów zamiast poliwęglanu lub poliamidu 6.6 wszędzie tam, gdzie istnieje potrzeba obniżenia kosztów produkcji. Dodatkowo, potwierdzono możliwość wykorzystania recyklatów w miejsce polimerów handlowych. Związane jest to z pozytywną tendencją powtórnego wykorzystania materiałów polimerowych, będących na przykład odpadami pochodzącymi z rozmaitych dziedzin przemysłu.

#### 5. PODZIĘKOWANIA

Autorzy składają podziękowania Pani mgr inż. Annie Lewickiej za pomoc przy realizacji niniejszej pracy. Badania finansowano ze środków Politechniki Poznańskiej (03/32/DSPB/0703).

**BIBLIOGRAFIA**

1. Robeson L. M. *Polymer Blends. A Comprehensive Review*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Monachium 2007, s. 11-23.
2. Pięłowski J., Bandurski J., Jurkowski K. Właściwości modyfikowanych mieszanin poliamidu 6 z izotaktycznym polipropylem. *Polimery* 2000, vol. 45, nr 10, s. 693-700.
3. Szlezyngier W., Brzozowski Z. K. *Tworzywa sztuczne*. Tom 1, Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów 2012.
4. Laoutid F., inni *Investigation of the alumina nanoparticle role in the enhancement of the mechanical properties of polyamide/polycarbonate blends*. *Polymer Degradation and Stability* 2015, vol. 112, s. 137-144.
5. Granado A., Eguiazabal J. I., Nazabal J. *Compatible Polycarbonate/Polyamide 6,6 Blends with Fibrillar Morphology*. *Journal of Applied Polymer Science* 2011, vol. 121, nr 1, s. 161-168.
6. Kruszelnicka I., Sterzyński T. *Reologiczna i strukturalna ocena mieszanin polimerowych w warunkach inwersji faz*. *Polimery* 2005, vol. 50, nr 5, s. 358-364.

Data wpłyńięcia artykułu do redakcji: 10-07-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 01-08-2017