

Strength of the thermoplastic starch/poly lactide mixture

Wytrzymałość mieszaniny skrobia termoplastyczna/polilaktyd

DOI: 10.15199/62.2024.3.5

Granules of thermoplastic starch (TPS), polylactide (PLA) and their mixts. in mass proportions of 25, 50, 75% were formed using a injection molding machine. Static tensile tests were performed for each of the tested mixts. The measured values were force, strain and Young's modulus. TPS/PLA blends showed much higher strength parameters than each of the component materials separately.

Keywords: TPS, PLA, polymer mixtures, strength, deformability, Young's modulus

Przedstawiono wyniki badań mieszaniny TPS/PLA o różnych proporcjach składników. Wykonano próby rozciągania statycznego dla każdej z badanych mieszanin. Wielkościami mierzonymi były wytrzymałość, odkształcenie oraz moduł Younga.

Słowa kluczowe: TPS, PLA, mieszaniny polimerów, wytrzymałość, odkształcalność, moduł Younga

Otrzymywanie nowych polimerów jest pracochłonne i kosztowne. Alternatywą jest wytwarzanie mieszanin polimerowych z dwu lub kilku polimerów. W ten sposób otrzymuje się materiały o unikatowych właściwościach łączących cechy polimerów biorących udział w tworzonej kompozycji. Ważnym elementem takiego procesu jest dobór odpowiedniego składu mieszaniny. Oprócz utrzymania odpowiednich parametrów wytrzymałościowych dużą rolę odgrywa cena końcowa materiału¹⁻⁵).

W trakcie procesu mieszania dochodzi do modyfikacji fizycznej, do której zalicza się zmiany w strukturze wywołane przez wymuszoną orientację, tworzenie tzw. kompleksów polimerowych, zmiany stopnia dyspersji i struktury fazowej oraz zmiany interakcji międzycząsteczkowych. Wśród różnych metod sporządzania mieszanin polimerowych można wyróżnić wykonywanie ich w procesie ciągłym, w stanie uplastycznionym w typowych maszynach przetwórczych⁶⁻⁸). Tradycyjnie, wykorzystuje się do tego procesu wyciskarki, najczęściej dwuślimakowe współbieżne^{9,10}). W trakcie tego procesu zachodzi mieszanie polimerów i wytworzenie gra-

natu do dalszego przetwórstwa. Obserwuje się tu wiele zmian właściwości związanych z mieszaniem dwóch różnych polimerów, takich jak rozpuszczalność, mieszalność, reakcje chemiczne oraz zmiana morfologii końcowego materiału. Proces mieszania może wpływać na właściwości mechaniczne końcowego materiału, takie jak wytrzymałość, wydłużenie i twardość. Dokładne zrozumienie tych aspektów jest kluczowe dla uzyskania zamierzonej jakości granulatu i końcowego produktu¹¹⁻¹⁴).

Inną metodą przygotowywania takich materiałów jest mieszanie poszczególnych składników we wtryskarce i otrzymanie gotowego wyrobu. Ten sposób przygotowania próbek różnych mieszanin skrobi termoplastycznej (TPS) i polilaktydu (PLA) zastosowano w prezentowanej pracy.

Tworzywa te należą do tzw. grupy polimerów biodegradowalnych. W ostatnich latach rynek tych materiałów przeżywa gwałtowny wzrost, którego tempo zwiększa się z roku na rok¹⁵⁻¹⁸). Jest to spowodowane głównie wymogami ochrony środowiska. Wśród polimerów biodegradowalnych na pierwszy plan w ostatnich latach wysunął się PLA. Ma



Dr hab. inż. Jacek GARBARSKI, prof. PW (ORCID: 0000-0002-6770-207X), w roku 1975 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Warszawskiej. W 1981 r. uzyskał stopień doktora, a w 1990 r. stopień doktora habilitowanego na tym samym wydziale. Od 2008 r. jest profesorem uczelni w Zakładzie Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych na Wydziale Mechanicznym Technologicznym PW. Specjalność – inżynieria mechaniczna.



Dr inż. Mariusz FABIJĄŃSKI (ORCID: 0000-0001-6606-3416) w roku 2000 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej. Jest adiunktem w Zakładzie Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Warszawskiej. Specjalność – technologie przetwórstwa tworzyw sztucznych oraz kształtowanie ich właściwości.

*** Adres do korespondencji:**

Zakład Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych, Instytut Technik Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Warszawska, ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa, tel.: (22) 234-81-15, e-mail: mariusz.fabijanski@pw.edu.pl

on wiele zalet, wśród których najważniejszą jest możliwość przetwarzania metodami konwencjonalnymi. Jednak jego właściwości mechaniczne, w tym wytrzymałość, nie spełniają wielu oczekiwań. W związku z tym podejmowane są liczne wysiłki, aby polepszyć jego właściwości. Zazwyczaj dodaje się różnych, sproszkowanych komponentów, zarówno organicznych, jak i nieorganicznych^{19–22}.

Innym polimerem tego typu jest TPS, która ze swej natury jest nie tylko kompostowana jak PLA, ale też w pełni biodegradowalna w każdych warunkach naturalnych^{23–25}. Może być ona otrzymywana z kartofli lub z kukurydzy. Podobnie jak PLA materiał ten jest nazywany „podwójnie zielonym”, co oznacza, że jest produkowany z surowców odnawialnych i jest całkowicie biodegradowalny. TPS charakteryzuje się dużym stopniem homogeniczności i korzystnymi właściwościami mechanicznymi. Wyroby z niej wykonane wykazują dobrą stabilność kształtu w zastosowaniach praktycznych^{26, 27}. TPS jest handlowo dostępna w postaci granulatu gotowego do przetwórstwa tradycyjnymi metodami, takimi jak wtryskiwanie i wytłaczanie. Przeznaczona jest do wykonywania opakowań, folii, toreb na zakupy i śmieci oraz wyrobów jednorazowego użytku, takich jak sztućce i talerze^{28–30}. TPS otrzymuje się przez rozrywanie struktury warstwowej skrobi natywnej i przeprowadzanie struktury częściowo krystalicznej w materiał prawie całkowicie bezpostaciowy i homogeniczny. Krystaliczna budowa skrobi może być zniszczona przez połączone działanie czynników mechanicznych i cieplnych, co ma miejsce podczas wytłaczania^{31–33}. TPS ma wiele zalet. Przede wszystkim jest w pełni kompostowalna, nie zostawiając żadnych toksycznych pozostałości. Jest również niedroga w porównaniu z polimerami syntetycznymi. Jej zastosowanie zależy od stosowanego plastyfikatora i od pochodzenia pod względem botanicznym. Do wad należy zaliczyć małą odporność na wilgoć i słabe właściwości mechaniczne^{34, 35}.

Prezentowana praca jest kontynuacją badań³⁶, w których przeprowadzono pilotażowe próby wykonania mieszanin TPS/PLA. Podjęto tu wstępną próbę sporządzania mieszanin PLA/TPS o różnym udziale składników, z zastosowaniem niestandardowego rozwiązania, w celu maksymalnego skrócenia całego procesu i otrzymania końcowego produktu w jednym procesie technologicznym. W związku z tym zaproponowano pominięcie dwuetapowego procesu przygotowania granulatu w wytłaczarce, a następnie wtrysku próbek. Zamiast tego za pomocą wtryskarki sporządzano zarówno same mieszaniny, jak i gotowe próbki, po wcześniejszym fizycznym wymieszaniu obu rodzajów granulatu w mieszalniku bębnowym.

Ze względu na pilotażowy charakter prowadzonych badań wyznaczono jedynie podstawowe fizykomechaniczne właściwości otrzymanych mieszanek polimerowych. Jednak zaobserwowano pewien mechanizm synergii pomiędzy oboma materiałami, gdyż uzyskane parametry były lepsze niż właściwości zarówno czystej TPS, jak i PLA.

Celem pracy była próba wyjaśnienia, na podstawie szczegółowej analizy krzywych rozciągania, zjawiska synergii połączonych w ten sposób dwóch różnych materiałów, które tworzą w rzeczywistości tzw. mieszaninę termodynamicznie niestabilną. W przyszłości uzyskane wyniki mogą pozwolić na opracowanie takich mieszanin o zadanych parametrach, do konkretnych zastosowań.

Część doświadczalna

Materiały

W badaniach wykorzystano TPS o nazwie handlowej Envifill MB173 prod. Grupy Azoty (Polska)³⁷. Materiał ten jest w pełni biodegradowalny i przeznaczony głównie do produkcji wyrobów za pomocą technologii wtrysku. Granulat jest w naturalnym kolorze mlecznym. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe informacje o tym materiale.

Table 1. Properties of Envifill MB173 TPS³⁷

Tabela 1. Właściwości TPS Envifill MB173³⁷

Parametr	Wartość
Gęstość, g/cm ³	1,25
Wskaźnik płynięcia (MFR) 210°C; 2,16 kg, g/10 min	30
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	50
Odształcenie względne przy rozciąganiu, %	10
Udarność z karbem wg Charpy'ego, kJ/m ²	6
Temperatura mięknięcia wg Vicata, °C	60
Temperatura przetwarzania, °C	165–200

PLA o nazwie handlowej Ingeo Biopolymer 3100HP zakupiono w firmie Nature Works (USA)³⁸. Materiał ten może być przetwarzany metodą wtryskiwania i wytłaczania. Charakteryzuje się dobrą barierowością na tlen i małym skurczem przetwórczym. Przed przetwórstwem materiał powinien być suszony tak, aby jego wilgotność była nie większa niż 0,01%, ponieważ zawartość wody pogarsza właściwości i jakość gotowego wyrobu (pęcherze, zapadnięcia skurczowe). W tabeli 2 przedstawiono podstawowe dane o materiale.

Table 2. Properties of Ingeo Biopolymer 3100HP PLA³⁸

Tabela 2. Właściwości PLA Ingeo Biopolymer 3100HP³⁸

Parametr	Wartość
Gęstość, g/cm ³	1,24
Masowy wskaźnik płynięcia (MFR) 210°C; 2,16 kg, g/10 min	24
Temperatura krystalizacji, °C	160–170
Temperatura przemiany szklistej, °C	55–65
Przezroczystość	przezroczysty
Granica plastyczności przy rozciąganiu, MPa	65
Odształcenie względne przy rozciąganiu, %	2,2
Udarność wg Izoda, kJ/m	18,2
Wytrzymałość na zginanie, MPa	112
Temperatura przetwarzania, °C	180–205

Metodyka badań

Do przygotowania próbek wykorzystano wtryskarkę ślimakową UT90 firmy Ponar Żywiec (Polska) serii UT do tworzyw termoplastycznych, z pięciopunktowym podwójnym dźwigniowym systemem zamykania formy oraz bezpośrednim napędem ślimaka wysokomomentowym silnikiem hydraulicznym. Ponadto stanowisko było wyposażone w urządzenia peryferyjne, takie jak forma wtryskowa z wymiennymi wkładkami, termostat, waga elektroniczna Darwag, suszarka KC 100/200 oraz młynek do rozdrabniania tworzyw. Z uwagi na znaczącość chłonności wody przez oba materiały przed przystąpieniem do badań suszono je w temp. 80°C przez 8 h, zgodnie z zaleceniem producentów w celu usunięcia wilgoci, która mogłaby wpłynąć na jakość końcową gotowych próbek do badań, a tym samym zafałszować wyniki pomiarów. Następnie przygotowano próbki. Zastosowano następujące proporcje mieszanin: (i) czysta TPS, (ii) 75% TPS + 25% PLA, (iii) 50% TPS + 50% PLA, (iv) 25% TPS + 75% PLA i (v) czysty PLA.

Granulaty w odpowiednich proporcjach wymieszano w mieszalniku bębnowym, a następnie przystąpiono do wykonania próbek, wykorzystując wtryskarkę do wymieszania granulatu w stanie stopionym. Bezpośrednie wykonanie próbek do badań wymusiło znalezienie pewnego kompromisu pomiędzy parametrami przetwórstwa TPS i PLA. Tworzywa te nieco inaczej się przetwarza i niezbędna była tu korekta nastaw poszczególnych parametrów technologicznych wtryskarki. Dodatkową trudnością było wykorzystanie układu plastyfikacji wtryskarki do wymieszania tworzyw i tu też konieczna była pewna modyfikacja parametrów. Po ostatecznym ustaleniu parametrów technologicznych wykonano niezbędne próbki do badań. Ostatecznie próbki zostały wtrysnięte przy następujących parametrach: temperatura formy 25°C, ciśnienie wtrysku 120 bar, ciśnienie docisku 170 bar, czas wtrysku 8 s, czas chłodzenia 15 s i siła zamykania 757 kN.

Przed rozpoczęciem pomiarów wszystkie próbki były poddane procesowi klimatyzacji w stałej temp. 23°C i wilgotności 50% przez 48 h. Dla każdego z wymienionych materiałów (proporcji TPS/PLA) wykonano próby rozciągania statycznego w maszynie wytrzymałościowej Fu-1000e wyposażonej w elektroniczny pomiar siły rozciągającej, zgodnie z normami^{39, 40}. Zastosowano stałą prędkość odkształcania względnego wynoszącą 0,3 1/min. Wykonano standardowe próbki (wiosełka) zgodnie z normą⁴⁰ o długości bazy pomiarowej $l_0 = 75$ mm oraz o przekroju poprzecznym bazy pomiarowej 10×4 mm.

Wyniki badań i ich omówienie

Na rys. 1–5 przedstawiono wyniki rozciągania statycznego. Wszystkie obserwowane na wykresach przebiegi miały podobny charakter. Po fazie liniowego (zakres sprężystości), a następnie nieliniowego wzrostu naprężenia następowało wyraźnie zaznaczone maksimum, które można uznać

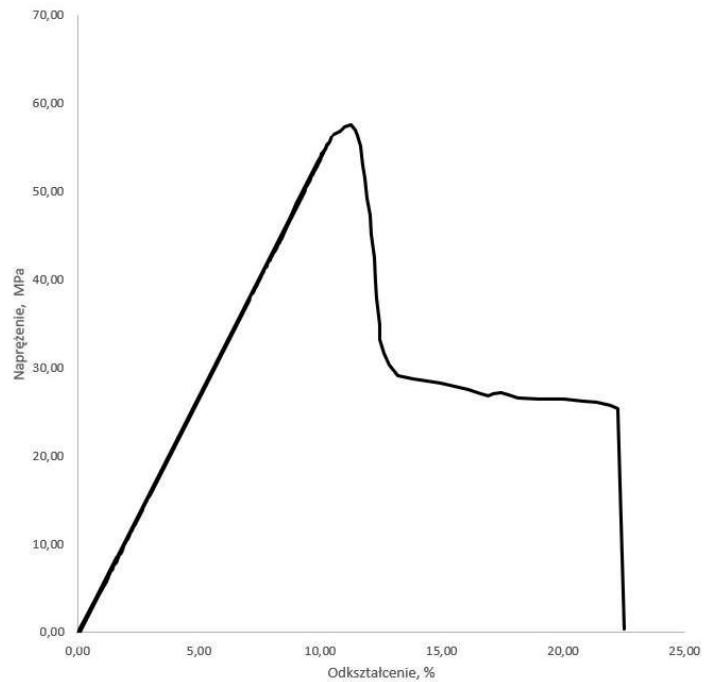


Fig. 1. Static tensile curve for pure TPS

Rys. 1. Krzywa rozciągania statycznego dla czystej TPS

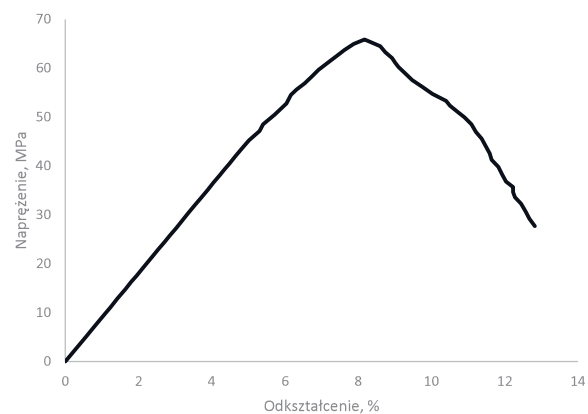


Fig. 2. Static tensile curve for the mixture of 75% TPS + 25% PLA

Rys. 2. Krzywa rozciągania statycznego dla mieszaniny 75% TPS + 25% PLA

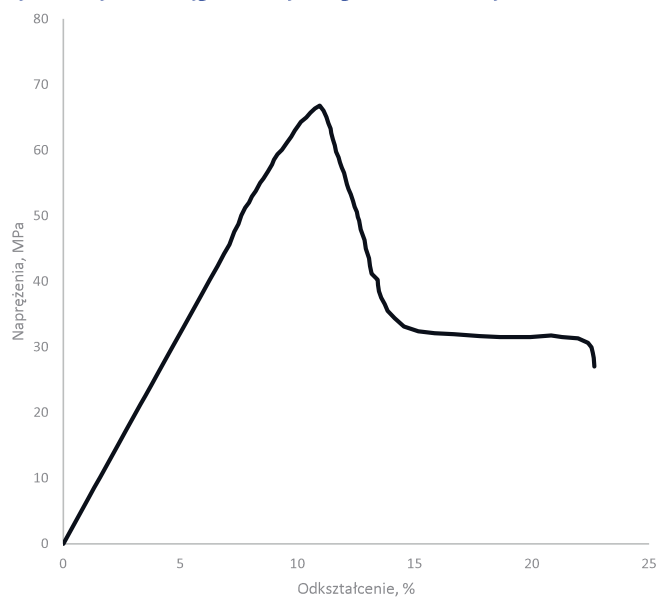


Fig. 3. Static tensile curve for the mixture of 50% TPS + 50% PLA

Rys. 3. Krzywa rozciągania statycznego dla mieszaniny 50% TPS + 50% PLA

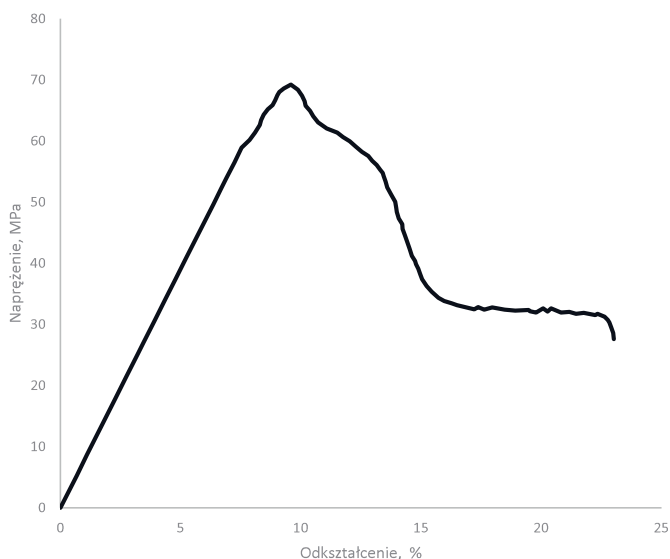


Fig. 4. Static tensile curve for the mixture of 25% TPS + 75% PLA

Rys. 4. Krzywa rozciągania statycznego dla mieszaniny 25% TPS + 75% PLA

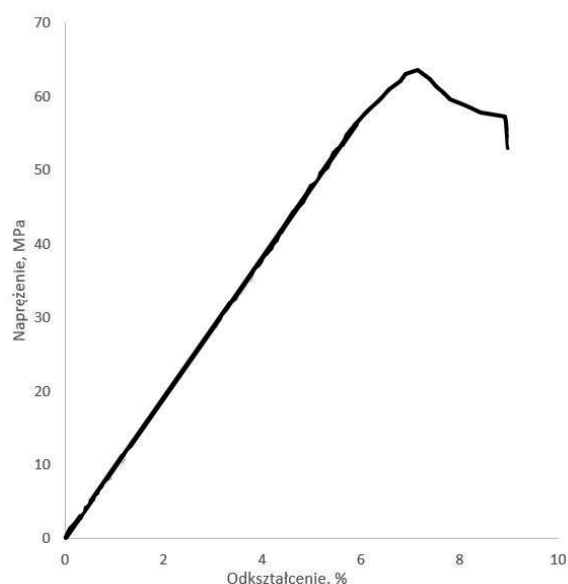


Fig. 5. Static tensile curve for pure PLA

Rys. 5. Krzywa rozciągania statycznego dla czystego PLA

za wytrzymałość materiału. Po kolejnej fazie, łagodnego spadku naprężenia towarzyszącego szykowaniu próbki, następowało jej zerwanie. Na rys. 6 przedstawiono zdjęcie poszczególnych próbek po procesie rozciągania. Maksyma na wykresach w tym przypadku oznaczały zarówno granicę wymuszonej elastyczności R_e , jak i wytrzymałość materiału R_m . Odształcenia względne odpowiadające tym punktom oznaczały odkształcalność materiału. Moduł Younga wyznaczono jako tangens kąta nachylenia (rozumiany fizycznie) krzywej rozciągania w zakresie prostoliniowym.

Dzięki przeprowadzonym testom uzyskano informacje na temat właściwości mechanicznych poszczególnych mieszanin. Określono sztywność, wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie. Wymienione elementy są cha-

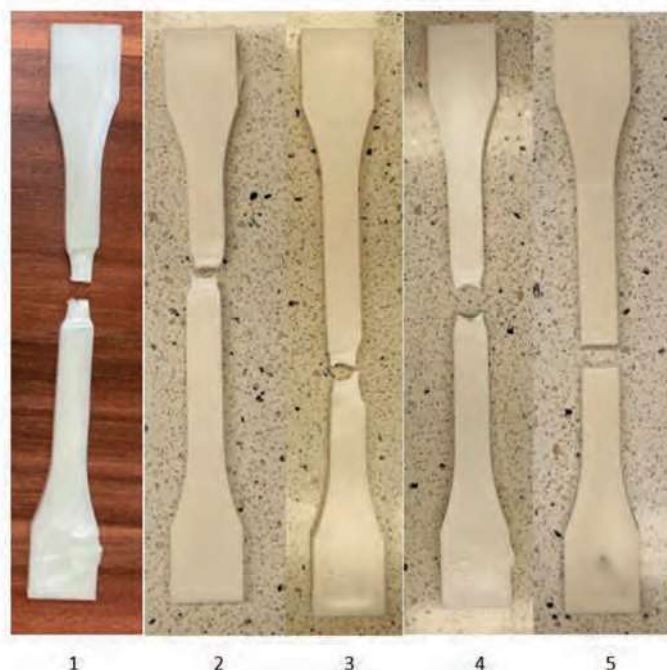


Fig. 6. View of specimens after the tensile test (1 – TPS; 2 – 75% TPS + 25% PLA; 3 – 50% TPS + 50% PLA; 4 – 25% TPS + 75% PLA; 5 – PLA)

Rys. 6. Widok próbek po próbie rozciągania (1 – TPS; 2 – 75% TPS + 25% PLA; 3 – 50% TPS + 50% PLA; 4 – 25% TPS + 75% PLA; 5 – PLA)

rakterystyczne dla typowego wykresu rozciągania, a ich analiza dostarcza istotnych informacji dla projektantów i inżynierów materiałowych projektujących mieszaniny materiałowe.

W tabeli 3 przedstawiono uzyskane wyniki w postaci liczbowej, a na rys. 7–9 w postaci wykresów słupkowych. Zarówno wytrzymałość, jak i odkształcenie (rys. 7 i 8) mieszanin TPS i PLA odznaczały się wyższymi wartościami w porównaniu z czystymi materiałami. Ten efekt synergii mógł być wynikiem różnic we właściwościach obu materiałów, które komplementowały się nawzajem w pewien sposób. Istnieje kilka możliwych wyjaśnień tych zjawisk. Prawdopodobnie podczas mieszania występowały korzystne interakcje międzyfazowe, takie jak adhe-

Table 3. Values of strength, strain and Young's modulus for the tested TPS//PLA mixtures

Tabela 3. Wartości wytrzymałości, odkształcenia i modułu Younga dla badanych mieszanin TPS/PLA

Skład mieszaniny	Napężenie maksymalne, MPa	Odształcenie przy naprężeniu maksymalnym, %	Moduł Younga, MPa
TPS	57,0	9,50	666,0
75% TPS + 25% PLA	69,0	9,50	769,0
50% TPS + 50% PLA	67,0	10,36	790,0
25% TPS + 75% PLA	66,0	8,20	888,0
PLA	63,0	6,40	1105,0

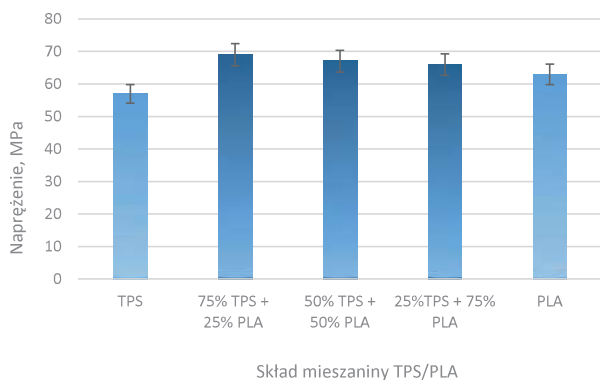


Fig. 7. Strength vs. proportion of TPS/PLA components in the mixture

Rys. 7. Zależność wytrzymałości od proporcji składników TPS/PLA w mieszaninie

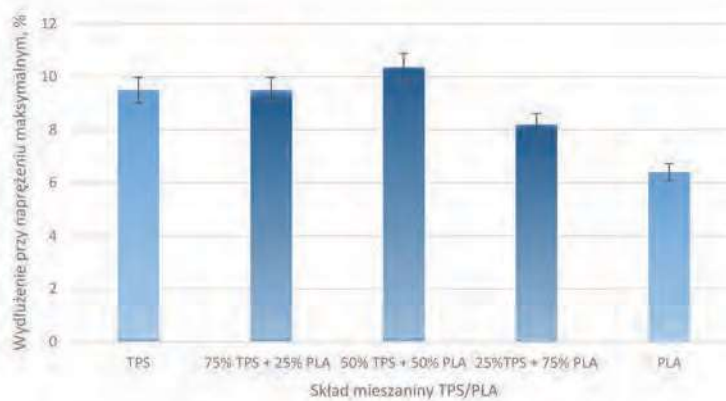


Fig. 8. Strain vs. proportion of TPS/PLA components in the mixture

Rys. 8. Zależność odkształcenia od proporcji składników TPS/PLA w mieszaninie

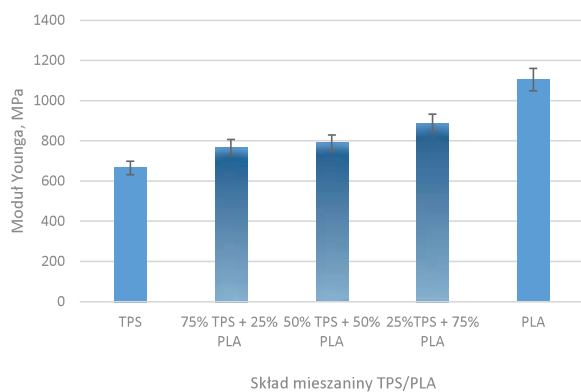


Fig. 9. Young's modulus versus proportion of TPS/PLA components in the mixture

Rys. 9. Zależność modułu Younga od proporcji składników TPS/PLA w mieszaninie

zja między fazami TPS i PLA. To mogło prowadzić do zwiększenia wytrzymałości materiału. Idąc dalej, można potwierdzić poprawność przyjętej metody otrzymywania mieszanin, czyli procesu technologicznego. Kluczowym elementem potwierdzającym ten mechanizm mogą być badania morfologii. Synergia TPS i PLA otwiera nowe możliwości w projektowaniu mieszanin polimerowych.

W przypadku modułu Younga (rys. 9) obserwowano obniżenie wartości w kierunku czystej TPS. PLA jest bar-

ziej sztywny i mniej elastyczny niż TPS. Mieszanie tych dwóch polimerów może prowadzić do zmniejszenia modułu Younga PLA, a dodatek TPS do PLA powoduje generalnie zmniejszenie sztywności.

Podsumowanie

Dodatek TPS w mieszaninie TPS/PLA przynosi korzyści we wszystkich badanych aspektach i wpływa na poprawę prawie wszystkich parametrów wytrzymałościowych. Badania potwierdzają również istnienie mechanizmu synergii końcowych właściwości materiału, co otwiera drzwi do dalszych badań nad tymi mieszaninami polimerowymi. Równocześnie otrzymywanie ich w przedstawiony sposób zwiększa zakres stosowania. Ważnym elementem potwierdzającym poprawność przyjętego procesu technologicznego jest wykonanie próbek z pominięciem granulacji na wylączarce. Jest to skuteczne rozwiązanie, które ułatwia i znacząco skraca proces produkcyjny gotowych wyrobów.

Wyniki sugerują, że mieszaniny TPS/PLA mają potencjał do wytwarzania wyrobów o leprzych właściwościach mechanicznych w porównaniu z czystym PLA i TPS. Dalsze badania nad mikrostrukturą, interakcjami międzyfazowymi i innymi aspektami tych mieszanek mogą pomóc w pełniejszym zrozumieniu mechanizmów synergii i poprawić procesy produkcyjne.

Otrzymano: 03-01-2024

LITERATURA

- [1] A. Kmetty, T. Barany, J. Karger-Kocsis, *Prog. Polym. Sci.* 2010, **35**, 1288, <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.07.002>.
- [2] J. Karger-Kocsis, T. Barany, *Compos. Sci. Technol.* 2014, **92**, 77, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2013.12.006>.
- [3] I. Kruszelnicka, T. Sterzyński, *Polimery* 2022, **50**, nr 5, 358, <http://polimery.ichp.vot.pl/index.php/p/article/view/1640>.
- [4] J.Y. Sun, J.J. Shen, S.K. Chen, M.A. Cooper, H.B. Fu, D.M. Wu, Z.G. Yang, *Polymers* 2018, **10**, nr 5, 505, <https://doi.org/10.3390/polym10050505>.
- [5] A.E. Chalykh, V.K. Gerasimov, T.F. Petrova, A.A. Shcherbina, *Polymers* 2024, **16**, 68, <https://doi.org/10.3390/polym16010068>.
- [6] P. Rytlewski, K. Moraczewski, R. Malinowski, M. Żenkiewicz, *Compos. Interfaces* 2014, **21**, nr 8, 671, DOI: 10.1080/15685543.2014.927262.
- [7] M. Fabijański, *Przem. Chem.* 2022, **101**, nr 1, 65, DOI: 10.15199/62.2022.1.9.
- [8] M. Fabijański, *Polymers* 2023, **15**, 3878, <https://doi.org/10.3390/polym15193878>.
- [9] A. Nastaj, K. Wilczyński, *Polymers* 2020, **12**, 149, <https://doi.org/10.3390/polym12010149>.
- [10] A. Nastaj, K. Wilczyński, *Polymers* 2023, **15**, 1489, <https://doi.org/10.3390/polym15061489>.
- [11] J. Garbarski, M. Fabijański, *Polish Tech. Rev.* 2023, **3**, 9, DOI: 10.15199/180.2023.3.2.
- [12] M. Fabijański, J. Garbarski, *Przem. Chem.* 2023, **102**, nr 8, 829, DOI: 10.15199/62.2023.8.10.
- [13] M. Żenkiewicz, J. Richert, *Polimery* 2022, **53**, nr 7, 591, <https://polimery.ichp.vot.pl/index.php/p/article/view/1348>.
- [14] P. Żochowski, M. Cegła, K. Szczurowski, J. Mączak, M. Bajkowski, E. Bednarczyk, R. Grygoruk, M. Magier, D. Pyka, M. Bocian, K. Jamroziak, R. Gieleta, P. Prasuta, *Contin. Mech. Thermodyn.* 2023, **35**, nr 4, 1745, DOI:10.1007/s00161-023-01210-2.

- [15] T.P. Haider, C. Völker, J. Kramm, K. Landfester, F.R. Wurm, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2019, **58**, 50, <https://doi.org/10.1002/anie.201805766>.
- [16] R. Tejada-Oliveros, R. Balart, J. Ivorra-Martinez, J. Gomez-Caturla, N. Montanes, L. Quiles-Carrillo, *Molecules* 2021, **26**, nr 1, 240, <https://doi.org/10.3390/molecules26010240>.
- [17] P. Rytlewski, U. Gohs, M. Stepczyńska, R. Malinowski, T. Karasiewicz, K. Moraczewski, *Ind. Crops. Prod. Part A* 2022, **188**, 115587, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115587>.
- [18] R. Tejada-Oliveros, S. Fiori, J. Gomez-Caturla, D. Lascano, N. Montanes, L. Quiles-Carrillo, D. Garcia-Sanoguera, *Polymers* 2022, **14**, 1874, <https://doi.org/10.3390/polym14091874>.
- [19] N. Nomadolo, O.E. Dada, A. Swanepoel, T. Mokhena, S.A. Muniyasamy, *Polymers* 2022, **14**, 1894, <https://doi.org/10.3390/polym14091894>.
- [20] M. Fabijański, *J. Compos. Sci.* 2022, **6**, nr 12, 387, <https://doi.org/10.3390/jcs6120387>.
- [21] A. Moldovan, S. Cuc, D. Prodan, M. Rusu, D. Popa, A.C. Taut, I. Petean, D. Bomboș, R. Doukeh, O. Nemes, *Polymers* 2023, **15**, 2855, <https://doi.org/10.3390/polym15132855>.
- [22] A. Gałęski, E. Piórkowska, M. Pluta, Z. Kuliński, R. Masirek, *Polimery* 2022, **50**, 562, <http://polimery.ichp.vot.pl/index.php/p/article/view/1664>.
- [23] Z. Żółek-Tryznowska, E. Bednarczyk, M. Tryznowski, T.A. Kobiela, *Materials* 2023, **16**, 3320, <https://doi.org/10.3390/ma16093320>.
- [24] F.S. Mosquera Rodríguez, A. Quintero Vélez, E. Córdoba Urrutia, H. Ramírez-Malule, J.H. Mina Hernandez, *Polymers* 2023, **15**, 3952, <https://doi.org/10.3390/polym15193952>.
- [25] J.B. Scharnowski, A. Rodriguez, A.K. Pal, T. Wang, M.R. Snowdon, M. Misra, A.K. Mohanty, *Macromol. Mater. Eng.* 2022, **307**, 2100960, <https://doi.org/10.1002/mame.202100960>.
- [26] T.G. Dastidar, A. Netravali, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2013, **1**, 1537, <https://doi.org/10.1021/sc400113a>.
- [27] S. Kugler, *Chemik* 2010, **64**, nr 7–8, 531.
- [28] L.E. Velásquez-Castillo, M.A. Leite, V.J.A. Tisnado, C. Ditchfield, P.J. Sobral, I.C.F. Moraes, *Foods* 2023, **12**, 576, <https://doi.org/10.3390/foods12030576>.
- [29] K. González, L. Iturriaga, A. González, A. Eceiza, N. Gabilondo, *Eur. Polym. J.* 2020, **123**, 109415, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109415>.
- [30] T. Jiang, Q. Duan, J. Zhu, H. Liu, L. Yu, *Adv. Ind. Eng. Polym.* 2020, **3**, 8, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003>.
- [31] B. Swierz-Motysia, R. Jeziórska, A. Szadkowska, M. Piotrowska, *Polimery* 2011, **56**, 271.
- [32] Z. Ni, J. Shi, M. Li, W. Lei, W. Yu, *Polymers* 2023, **15**, 2382, <https://doi.org/10.3390/polym15102382>.
- [33] Q. Ju, Z.P. Tang, H.D. Shi, Y.F. Zhu, Y.C. Shen, T.W. Wang, *Int. J. Biol. Macromol.* 2022, **219**, 175, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.232>.
- [34] R. Jeziórska, A. Szadkowska, M. Studziński, M. Chmielarek, E. Spasówka, *Polymers* 2023, **15**, 1762, <https://doi.org/10.3390/polym15071762>.
- [35] R. Jeziórska, A. Szadkowska, E. Spasówka, A. Lukomska, M. Chmielarek, *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018, **15**, <https://doi.org/10.1155/2018/4571368>.
- [36] M. Fabijański, J. Garbarski, *Przem. Chem.* 2023, **102**, nr 9, 954, DOI: 10.15199/62.2023.9.14.
- [37] Envifill MB137 (Data: 28/12/2023), Prospekt firmowy, <https://oferta.grupaazoty.com/upload/1/files/2022/envifill/m/envifill%20MB%20173.pdf>.
- [38] Ingeo™ Biopolymer 3100HP (Date: 28/12/2023), Prospekt firmowy, https://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet_3100HP_injection-molding_pdf.pdf.
- [39] PN-EN ISO 527-1:2020, *Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Cz. 1. Zasady ogólne*.
- [40] PN-EN ISO 527-2:2012, *Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Cz. 2. Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do prasowania, wtrysku i wytłaczania*.



Stowarzyszenie Inżynierów
i Techników Przemysłu Chemicznego
Oddział Gliwice zaprasza



XXX Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna

ANTYKOROZJA
SYSTEMY - MATERIAŁY - POWŁOKI

30. Ogólnopolska Konferencja Naukowo - Techniczna

ANTYKOROZJA

Systemy - Materiały - Powłoki

14 - 16 maja 2024 r.

Ustroń - hotel JAWOR

- Materiały, powłoki, systemy i technologie,
- Elektrochemiczna ochrona przed korozją,
- Kierunki badań antykorozyjnych,
- Problemy korozyjne w budownictwie,
- Korozja mikrobiologiczna,
- Zabezpieczenie maszyn, urządzeń i środków transportu

Informacje i kontakt:

tel. 664 421 351, 664 421 349

www.gliwice.sitpchem.org.pl