

Stanisław Zajchowski<sup>1</sup>, Konrad Patuszyński<sup>2</sup>

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Katedra Chemii i Technologii Polimerów, ul. Seminaryjna 3, 85-326 Bydgoszcz

## WPLYW ZAWARTOŚCI WODY NA WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW POLIPROPYLENOWYCH NAPEŁNIONYCH MĄCZKĄ DRZEWNĄ (WPC)

W ostatnich kilku latach można zauważyć wyraźny wzrost zainteresowań zarówno badaczy, jak i przetwórców polimerami zawierającymi mączkę drzewną (WPC). Istotną ich zaletą jest między innymi możliwość otrzymania kompozytów tradycyjnymi metodami przetwórstwa termoplastów tj. wylączania i wtryskiwania.

W pracy przedstawiono wyniki badań kompozytów Malenu P, S-901 z mączką drzewną Lignocel C 250 S i Lignocel P Super. Badania przeprowadzono na wiosełkach o przekroju 4x10 mm otrzymanych metodą wtryskiwania. Stężenia mączek, każdej oddzielnie w kompozycie, wynosiły 0+50%. Przeprowadzono badania skurczu liniowego (rys. 1), nasiąkliwości wagowej (rys. 2) oraz udarności (rys. 3). Oznaczono właściwości mechaniczne przy statycznym rozciąganiu prób moczonych w wodzie przez okres do 13 tygodni, oznaczając naprężenie na granicy plastyczności (rys. 4a), naprężenie przy zerwaniu (rys. 4c), wydłużenie względne przy granicy plastyczności (rys. 4b), wydłużenie względne przy zerwaniu (rys. 4d). Stwierdzono, że powyższe właściwości zależą przede wszystkim od stężenia mączki, w mniejszym stopniu od jej uziarnienia. Pomimo wyraźnej chłonności wody w porównaniu do samego Malenu P, S-901 właściwości mechaniczne badanych kompozytów nie ulegają zasadniczym zmianom. Stwierdzenie to jest istotne z punktu widzenia użytkowania gotowych wytworów. Przedstawione w komunikacie wyniki badań stanowią fragment prac prowadzonych w ramach grantu KBN 4 T08E 04822 Polimery termoplastyczne modyfikowane napelniaczem drewnopochodnym; preparatyka, przetwórstwo i właściwości.

**Słowa kluczowe:** kompozyt polimerowo-drewny, WPC, właściwości fizyczne, właściwości mechaniczne

## THE INFLUENCE OF WATER CONTENT ON PROPERTIES OF POLYPROPYLENE / WOOD FLOUR COMPOSITES (WPC)

In last some years it has been noticed the significant increase in the interests in the polymers including the wood flour (WPC) both the explorers and the manufacturers. The essential advantage of many others is the possibility to obtain the composites by means of the traditional methods of processing thermoplastics i.e. the screw extrusion and the injection moulding.

The results of the investigations into wood plastic composites-Malenu P, S-901 with wood flour Lignocel C 250 S and Lignocel P Super have been presented in this article. The investigations were carried out on little paddles samples 4x10 mm in size, obtained by means of the injection moulding. The contents of the wood flour for each composite were from 0 to 50%. The investigations of linear shrinkage (Fig. 1), water absorption (Fig. 2), and impact strength (Fig. 3) were made. The mechanical properties at static tension for samples soaked for 13 weeks were determined. We determined tensile failure (Fig. 4c) stress at yield strength (Fig. 4a), elongation at yield strength (Fig. 4b), elongation at break were (Fig. 4d). It was found out that the mentioned properties depend above all on wood flour content, in a less degree of its particle range.

In spite of the significant absorption of the water in comparison to clear Malenu P, S-901 mechanical properties of studied composites do not undergo principle changes. This statement is essential from point of sight of using finished products. The results of the investigations which have been presented in the announcement make up the part of the lead research in grant of KBN 4 T08E in frames 04822 entitled „Thermoplastics modified polymer wood flour fillers; preparations, processing and properties”.

**Key words:** wood plastic composite, WPC, physical properties, mechanical properties

### WSTĘP

Kompozyty tworzyw polimerowych zawierające napelniacze pochodzenia organicznego, w tym drewno, pojawiały się po niedługim czasie w ślad za otrzymywanymi przez człowieka polimerami. Ze względu na odmienne właściwości drewna i polimeru oraz brak odpowiednich urządzeń przetwórczych napotymano na szereg przeszkód w otrzymywaniu kompozytów o wymaganych właściwościach.

W ostatnich latach można zaobserwować szczególnie wzrost zainteresowania zarówno ośrodków badawczych, jak i przemysłu kompozytami polimerowo-drewnymi

[1, 2]. Wystarczy przytoczyć kilka światowych, regularnie odbywających się konferencji poświęconych kompozytom, w szczególności polimerowo-drewnym, w Wiedniu, Kassel czy Madison.

Wyróżnić można ogólnie trzy powody, dla których kompozyty te cieszą się coraz większym zainteresowaniem, zarówno w krajach, gdzie drewno jest surowcem tanim, jak i w krajach, gdzie występuje jego deficyt. WPC stanowią wówczas cenny jego substytut.

Jednym z głównych powodów prac badawczych i zastosowań wytworów z WPC są ich dobre właściwości

<sup>1</sup> dr, <sup>2</sup> mgr inż.

mechaniczne, wysoka stabilność wymiarów, zdecydowanie mniejszy skurcz liniowy wyprasek. W porównaniu z jednej strony do typowych termoplastów, takich jak polipropylen (PP), polietylen (PE) lub polichlorek winylu (PVC), z drugiej zaś strony do drewna, WPC wykazują wiele zalet. Przy wykorzystaniu nieznanymi dotychczas sposobów modyfikacji stwarzają możliwości otrzymywania wytworów o zupełnie nowych właściwościach [3].

Drugim powodem zainteresowania WPC jest rozwój nowoczesnych maszyn umożliwiających efektywne przetwórstwo wysoko napełnionych tworzyw polimerowych. Do takich maszyn można zaliczyć zarówno wyłaczarki jedno- i dwuślماكowe ze specjalnymi głowicami chłodząco-kalibrującymi, jak również wtryskarki wyposażone w formy o konstrukcji umożliwiającej przetwórstwo omawianych kompozytów [4].

Trzecim powodem jest wyczerpywanie się, bez możliwości odnowy, złóż ropy i węgla, których cena stale wzrasta, w związku z czym rośnie również cena polimerów. Częściowe zastąpienie ich w wytworach drewnem, surowcem tanim i odnawialnym, jest racjonalne ze względów ekonomicznych, a poza tym również ekologicznych [5].

Jedną z wielu ważnych cech wytworów z WPC są właściwości mechaniczne przy statycznym rozciąganiu. Badania te przeprowadza się w większości przypadków zarówno dla wyłoczyn, jak też wyprasek otrzymanych metodą wtryskiwania [6]. Składnikiem determinującym powyższe właściwości jest polimer oraz napełniacz, rodzaj oddziaływań występujących pomiędzy nimi, sposób rozmieszczenia cząstek, jak również wilgotność mieszaniny. Zawartość w niej wody nie powinna przekraczać 1÷2% [7, 8]. Podczas przetwórstwa, np. metodą wytłaczania, możliwe jest pozbycie się części lotnych, w tym głównie resztek wody w dozowniku ślimakowym DSK07 firmy Hydrapress [9] z grzanym cylindrem lub w układzie odgazowującym wyłaczarki.

Dla wyłoczyn lub wyprasek użytkowanych na zewnątrz pomieszczeń przy dostępie czynników atmosferycznych istotna jest nasiąkliwość wytworu [7, 10, 11]. Wpływa ona w różnym stopniu na określone właściwości kompozytu. Jej poznanie ma decydujące znaczenie o zastosowaniu danego wytworu z WPC.

Celem pracy jest zbadanie wpływu zawartości wody w kompozytach polipropylenu zawierających mączkę drzewną o zróżnicowanym celowo rozdrobnieniu i stężeniu na właściwości fizykomechaniczne otrzymanych z nich wyprasek.

## METODYKA BADAŃ

Do badań zastosowano polipropylen Malen P, S-901 produkcji Zakładów Petrochemicznych Płock S.A. Zastosowano dwa rodzaje mączki drzewnej firmy Rettenmaier & Söhne GmbH + Co Lignocel C 250 S i Lignocel

P Super. Wielkość frakcji podstawowej wynosiła odpowiednio 200÷300 oraz 800÷2100  $\mu\text{m}$ , gęstość nasypowa zaś 0,06÷0,09 oraz 0,42÷0,55  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Za pomocą dozownika DSK07 z grzanym cylindrem firmy Hydrapress wprowadzano do zasobnika tworzywa wtryskarki mączkę drzewną. Drugim dozownikiem DSK04 dostarczano polipropylen. Mieszaninami obu mączek drzewnych, każdej oddzielnie o zawartości 0÷50% wag., zasilano układ uplastyczniający. Mieszaninę uplastyczniano przy obrotach ślimaka wynoszących 80 obr/min, nastawione przeciwciśnienie uplastyczniania wynosiło 7 MPa. Wtryskiwanie przeprowadzano za pomocą wtryskarki typu Wh 80Ap. Czas wtryskiwania wynosił 3 s, czas docisku 6 s, czas ochładzania 20 s. Temperatury wtryskiwania w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego wynosiły odpowiednio 160, 170, 180°C [12]. Zastosowano formę dwugniazdową, z której otrzymywano wypraski w kształcie wiosełek o długości 150 mm, i przekroju 10x4 mm, zgodnie z PN-EN ISO 3167. Badane wiosełka moczone w wodzie destylowanej w temperaturze 23°C. Próbkę wyjmowano po 2, 4, 7, 10 i 13 tygodniach.

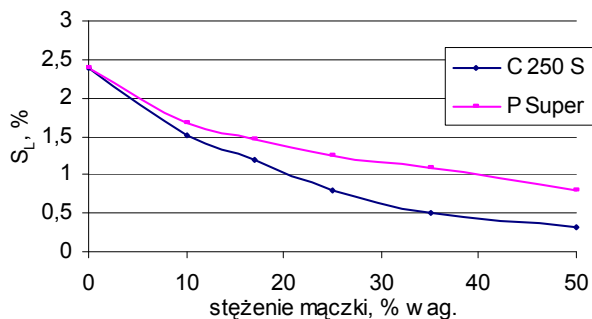
Otrzymane wypraski po odparowaniu wody z ich powierzchni poddawano badaniom właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu zgodnie z PN-EN ISO 527-1. Badania te przeprowadzano za pomocą zmodernizowanej maszyny wytrzymałościowej TIRA test 2200 przy prędkości badania 20 mm/min. Oznaczano skurcz liniowy  $S_L$  próbek niemoczonych, nasiąkliwość wagową próbek  $V_n$ , udarność bez karbu metodą Charpy'ego  $a_n$ , naprężenie na granicy plastyczności  $\sigma_y$ , naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_B$ , wydłużenie względne przy granicy plastyczności  $\epsilon_y$ , wydłużenie względne przy zerwaniu  $\epsilon_B$ .

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

Próbki w postaci wiosełek mierzono na długości zawsze w tym samym miejscu w celu oznaczenia skurczu liniowego. Wartość ta jest istotna zarówno dla użytkowników wytworów, przetwórców, jak również konstruktorów narzędzi. Dąży się do uzyskania jak najmniejszej wartości skurczu liniowego. W przypadku badanego Malenu P, S-901, niezawierającego mączki drzewnej, wartość skurczu liniowego wynosi 2,4% (rys. 1).

Dodatek mączki drzewnej zarówno Lignocelu C 250 S, jak i P Super wpływa na obniżenie skurczu liniowego. Mniejszy skurcz przy tym samym stężeniu mączki wykazują wypraski zawierające Lignocel C 250 S, tzn. cząstki o większym rozdrobnieniu. Nieco wyżej układają się wartości dla kompozytów zawierających Lignocel P Super. Najmniejsze wartości skurczu liniowego, odpowiednio: 0,35 i 0,8%, wykazują wypraski z 50% zawartością mączki drzewnej. Różnice w warto-

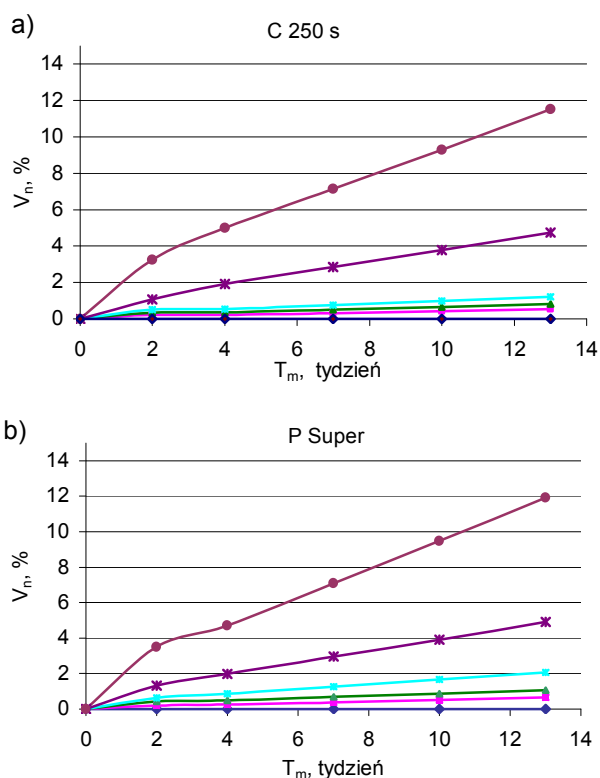
ściach skurczu dla tych samych stężeń obu mączek można tłumaczyć różnicami w rozmiarach cząstek obu napelniaczy. Cząstki drobniejsze, a zatem o bardziej rozwiniętej powierzchni oddziałują na polimer, zmieniając stopień krystalizacji, co w efekcie wpływa na mniejsze wartości skurczu liniowego.



Rys. 1. Zależność skurczu liniowego  $S_L$  kompozytów z Malenem P, S 901 od stężenia mączki drzewnej Lignocel C 250 S i Lignocel P Super

Fig. 1. Relationship of the linear shrinkage of composites Malen P, S-901 to the content of wood flour: Lignocel C 250 S and Lignocel P Super

Przeprowadzone badania chłonności wody próbek do 13 tygodni wykazują zróżnicowany przebieg nasiąkliwości wagowej (rys. 2).

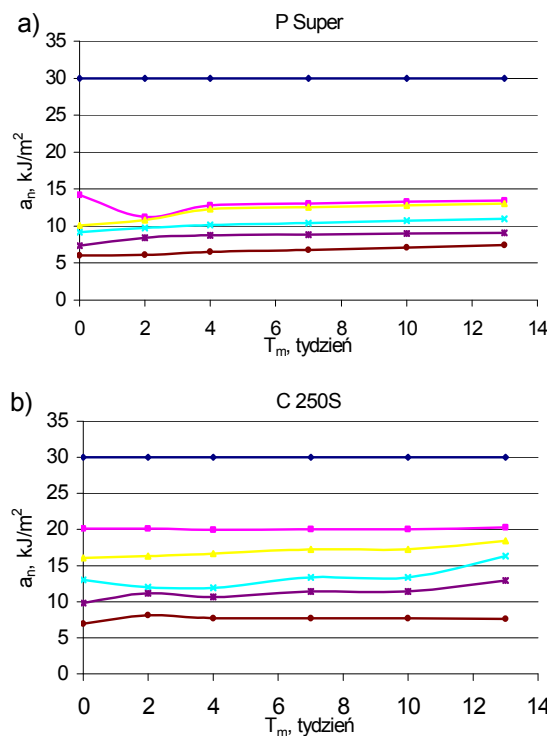


Rys. 2. Zależność nasiąkliwości wagowej  $V_n$  kompozytów z Malenem P, S-901 od stężenia mączki drzewnej Lignocel C 250 S i Lignocel P Super  
Stężenie mączki w kompozycie, % wag.:

Fig. 2. Relationship of absorption of composites Malen P, S-901 to the content of wood flour: Lignocel C 250 S and Lignocel P Super

Wartość nasiąkliwości zależy przede wszystkim od stężenia mączki w kompozycie. Sposób jej rozdrobnienia praktycznie nie wpływa na oznaczaną wartość. Można zauważyć, że przy stężeniu mączki do 25% nasiąkliwość jest zdecydowanie niższa niż dla dwóch pozostałych stężeń. Należy nadmienić, że wartości nasiąkliwości badanych kompozytów są stosunkowo wysokie, zwłaszcza dwóch ostatnich, w porównaniu do niemodyfikowanego Malenu P, S-901, którego nasiąkliwość w badanych warunkach jest praktycznie zerowa.

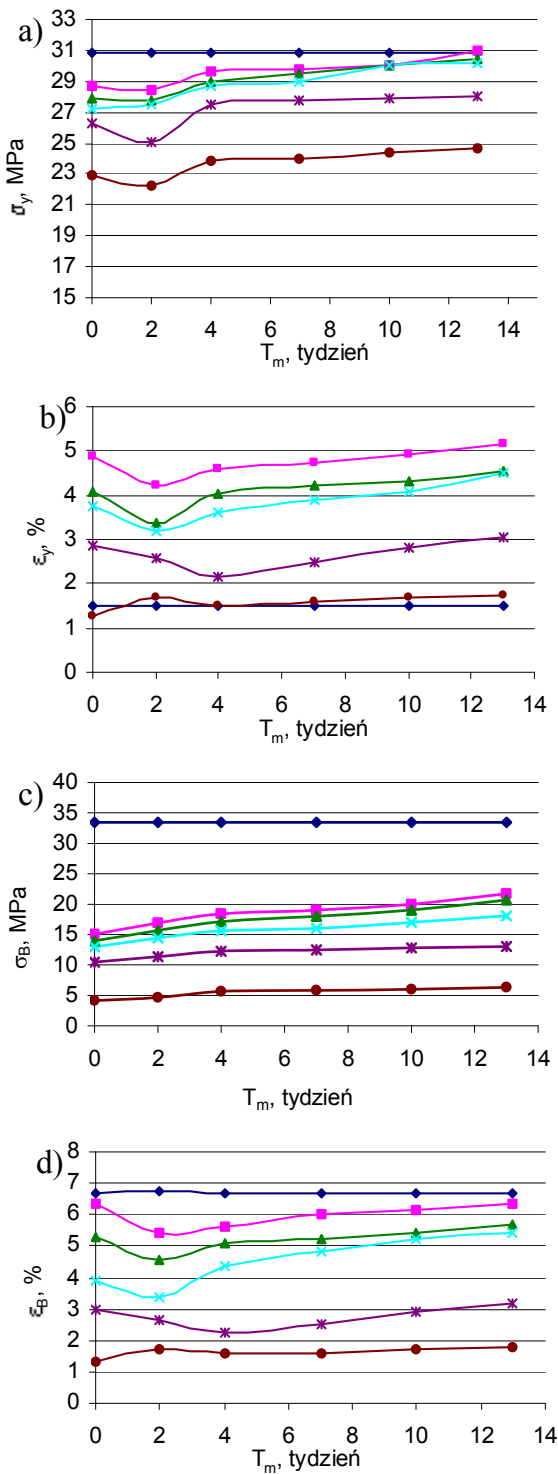
Badania udarności bez karbu prowadzą do ogólnego wniosku, że z wyjątkiem prób otrzymanych z samego Malenu P, S-901, dla których praca zużyta na dynamiczne złamanie próbki wynosi 30 kJ/m<sup>2</sup>, pozostałe ulegają złamaniu przy mniejszych wartościach. W obu przypadkach (rys. 3) wraz ze wzrostem stężenia mączki obserwujemy stopniowy spadek wartości  $a_n$  z 20 kJ/m<sup>2</sup> dla kompozytu z Lignocelem C 250 S i z około 15 kJ/m<sup>2</sup> dla P Super do wartości odpowiednio: 8 i 7 kJ/m<sup>2</sup>. Nasiąkliwość wodą nie wpływa istotnie na wytrzymałość tworzywa przy zginaniu udarowym. Należy zauważyć, że niektóre prace donoszą nawet o pewnym wzroście wybranych właściwości mechanicznych próbek przechowywanych w wodzie. Wzrost ten jest możliwy w wyniku pęcznienia drewna, co przy korzystnym ułożeniu jego cząstek prowadzi do powstawania naprężeń na ich granicy ze spoiwem polimerowym [10].



Rys. 3. Zależność udarności kompozytów z Malenem P, S-901 od zawartości mączki drzewnej Lignocel C 250 S i Lignocel P Super i czasu moczenia  
Stężenie mączki w kompozycie, % wag.:

Fig. 3. Relationship of impact resistance of composites Malen P, S-901 to the content of wood flour: Lignocel C 250 S and Lignocel P Super and curing time

Fig. 3. Relationship of the impact strength of composites Malen P, S-901 to the content of wood flour: Lignocel C 250 S and Lignocel P Super and drowned at water

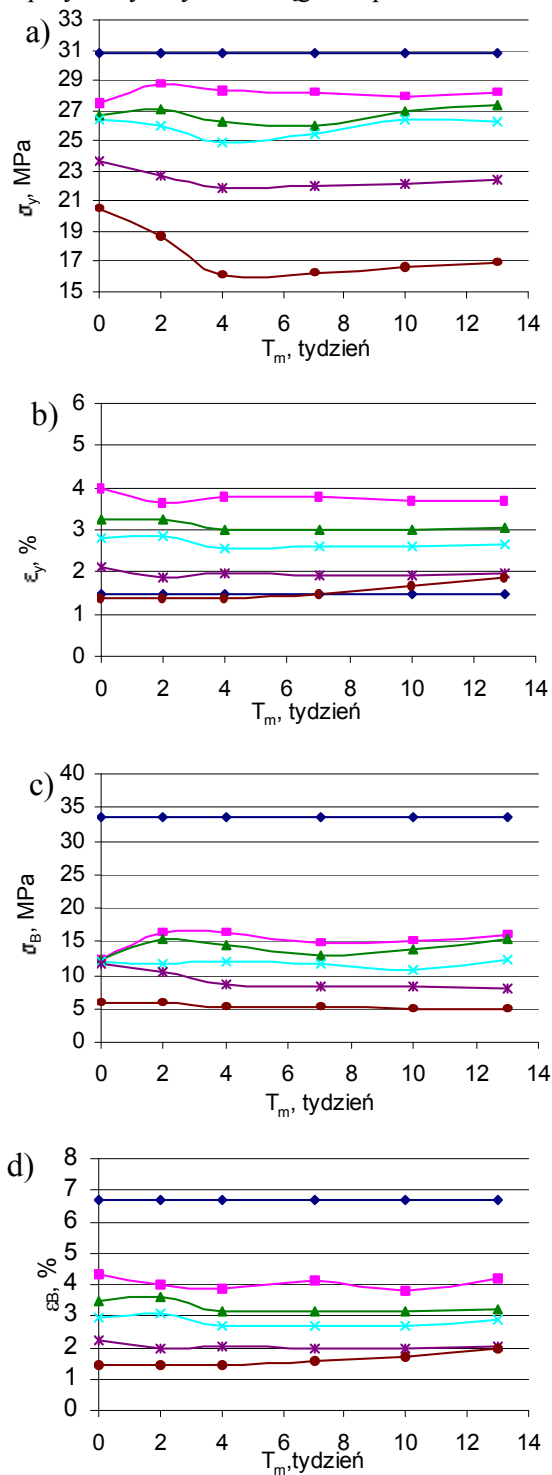


Rys. 4. Wpływ zawartości mączki drzewnej Lignocel C 250 S w kompozytach z Malenem P, S-901 moczonych w wodzie w ciągu 13 tygodni na: a) naprężenie na granicy plastyczności  $\sigma_y$ , b) wydłużenie względne przy granicy plastyczności  $\epsilon_y$ , c) naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_B$ , d) wydłużenie względne przy zerwaniu  $\epsilon_B$ . Zawartość mączki drzewnej, % wag.:

—◆— 0% —■— 10% —▲— 17% —×— 25% —\*— 35% —●— 50%

Fig. 4. The influence of wood flour content on properties WPC: a) yield strength, b) elongation at yield strength, c) tensile failure, d) elongation at break. The composites have been drowned at water for thirteen weeks

Wyniki badań właściwości mechanicznych kompozytów przy statycznym rozciąganiu przedstawiono na



Rys. 5. Wpływ zawartości mączki drzewnej Lignocel P Super w kompozytach z Malenem P, S-901 moczonych w wodzie w ciągu 13 tygodni na: a) naprężenie na granicy plastyczności  $\sigma_y$ , b) wydłużenie względne przy granicy plastyczności  $\epsilon_y$ , c) naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_B$ , d) wydłużenie względne przy zerwaniu  $\epsilon_B$ . Zawartość mączki drzewnej, % wag.:

—◆— 0% —■— 10% —▲— 17% —×— 25% —\*— 35% —●— 50%

Fig. 5. The influence of wood flour Lignocel P content on properties polypropylene Malen P, S-901: a) yield strength, b) elongation at yield strength, c) tensile failure, d) elongation at break. The composites have been drowned at water for thirteen weeks

rysunkach 4 i 5. Z rysunku 4, na którym zaprezentowano wyniki dotyczące kompozytu zawierającego Lignocel C 250 S, wynika, że naprężenie na granicy plastyczności  $\sigma_y$  (rys. 4a) i naprężenie przy zerwaniu  $\sigma_B$  (rys. 4c) maleją wraz ze wzrostem stężenia mączki. Dla tych właściwości najwyższe wartości w obu przypadkach wykazuje Malen P, S-901 bez mączki, wynoszą one odpowiednio: 31 i 33 MPa. Czas moczenia nie zmienia tych wartości.

Wartości wydłużenia na granicy plastyczności  $\varepsilon_y$  (rys. 4b) oraz wydłużenie na przy zerwaniu  $\varepsilon_B$  (rys. 4d) wykazują zbliżony charakter. Wartości  $\varepsilon_y$  i  $\varepsilon_B$  ulegają zmniejszeniu wraz ze wzrostem stężenia mączki. Wartość  $\varepsilon_y$  dla samego Malenu P, S-901 jest najniższa, w przypadku  $\varepsilon_B$  z kolei najwyższa.

Wyniki badań właściwości mechanicznych zawierających Lignocel P Super przedstawiono na rysunku 5. Przebieg poszczególnych krzywych wykazuje zbliżony charakter do krzywych otrzymanych dla Lignocelu C 250 S. Wartości naprężeń na granicy plastyczności są zbliżone przy stężeniach mączki 0÷25% wag. Natomiast dla próbek zawierających 35 i 50% wag. Lignocelu P Super wartości te ulegają obniżeniu z 22 do 17 MPa. Wartości naprężenia przy zerwaniu dla obu mączek są porównywalne. Wydłużenia względne przy granicy plastyczności i przy zerwaniu układają się nieco niżej w porównaniu z kompozytem zawierającym Lignocel C250 S. Różnice powyższe należy przede wszystkim tłumaczyć wielkością cząstek napelnacza, które w przypadku P Super są kilka razy większe. Powierzchniowe ich oddziaływanie z osnową polimerową, jak również możliwe defekty materiału spowodowane przypadkowym ułożeniem obok siebie kilku większych cząstek wpływają na obniżenie wartości wytrzymałościowych z jednoczesnym zmniejszeniem wydłużenia względnego zarówno przy granicy plastyczności, jak i przy zerwaniu.

Czas moczenia w wodzie praktycznie nie zmienia w sposób istotny wszystkich czterech oznaczanych właściwości. Zauważyć można jedynie tendencje wzrostowe zarówno w przypadku obu naprężeń, jak i wydłużeń. Po pierwszych dwóch tygodniach moczenia obserwuje się prawie na wszystkich krzywych pewne obniżenie wartości w stosunku do danych oznaczonych dla prób niemoczonych w wodzie.

## WNIOSKI

Otrzymanie wytworów z kompozytów polipropylenu o zawartości mączki drzewnej do 50% wag. przy odpowiednio skonstruowanej formie wtryskowej nie nastęca poważnych problemów. Ze względu na właściwości drewna nie należy przekraczać temperatur wtryskiwania wynoszących 185÷190°C.

Właściwości badanych kompozytów zależą przede wszystkim od stężenia mączki drzewnej. Wzrost zawartości wody w kompozycie w niewielkim stopniu wpływa na badane właściwości mechaniczne. Stwierdzenie to jest istotne z punktu widzenia użytkowania gotowych wytworów.

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego 4T08E 04822.*

## LITERATURA

- [1] Materiały reklamowe firmy J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co.
- [2] Gajewski J., Kompozyty drewno/tworzywo - własności i zastosowania, X Seminarium Tworzywa Sztuczne w Budowie Maszyn, Kraków 2003, 153-158.
- [3] Kikuchi T., Opportunities for interior furniture in wood plastic composites (Ein Wood™) a Japanese perspective, Wood-Plastic Composites, Wiedeń 2003.
- [4] Moody M., Sigworth W., Additives for improving the durability of natural fibre polyolefin composites, Wood-Plastic Composites, Wiedeń 2003.
- [5] Kuciel S., Proszek M., Liber A., Ocena możliwości kształtowania właściwości i zachowania się w gotowym wyrobie kompozycji recyklatów polietylenów z mączką drzewną, II Środkowoeuropejska Konferencja nt. Recykling Materiałów Polimerowych Nauka-Przemysł, Toruń 2003.
- [6] Poleć I., Kozłowska A., Kozłowski M., Właściwości mechaniczne kompozytów hybrydowych PP, X Seminarium Tworzywa Sztuczne w Budowie Maszyn, Kraków 2003, 317-322.
- [7] Viksne A., Rence L., Berzina R., Wlijanije modifikatorow na fizikomechaniceskije swojstwa drierwiesnopolietylenowych kompozitow, Miechanika Kompozitnych Matieriałow 2004, 40, 1.1-16.
- [8] Letman M., Bledzki A., Shapovalov V., Tavroginskaya M., Physico-mechanical and technological characteristics of polypropylene and wood-based composites, 5<sup>th</sup> Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Kassel 2004, P25-1.
- [9] Materiały reklamowe firmy Hydrapress ul. Azalowa 23, 86-005 Białe Błota.
- [10] Kuciel S., Liber A., Wpływ moczenia w wodzie kompozycji PEHD i jego recyklatów z mączką drzewną na ich właściwości mechaniczne, II Środkowoeuropejska Konferencja Recykling Materiałów Polimerowych Nauka-Przemysł, Toruń 2003.
- [11] Walon M., OptiPak™ additives to improve performance of polyolefins & PVC wood-composites, Wood-Plastic Composites, Wiedeń 2003.
- [12] Zajchowski S., Głowacka L., Formowanie kompozytu PP/mączka drzewna metodą wtryskiwania, (w:) Materiały polimerowe i ich przetwórstwo, praca zbiorowa pod red. J. Koszkula i E. Bociągi, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2004, 161-168.

Recenzent  
Henryk Leda