

Ocena nowej generacji kopolimerów biodegradowalnych do zastosowania w technologii materiałów dziewiarskich o przeznaczeniu medycznym

Anna Pinar, Elżbieta Mielicka

Zakład Naukowy Technologii Dziewiarskich i Odzieżownictwa, Instytut Włókiennictwa, Łódź

Marek Kowalczuk

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, Zabrze

Procesy rozwojowe w zakresie najnowszej generacji specjalistycznych materiałów opatrunkowych ukierunkowane są obecnie przede wszystkim na zastosowanie surowców bioresorbowalnych, które zapewniają właściwości bioaktywne w leczeniu ran pourazowych i pooperacyjnych. Badania naukowe dowiodły, iż do szczególnych zalet bioaktywnych materiałów opatrunkowych można zaliczyć:

- stymulację procesu gojenia poprzez determinację optymalnych warunków wilgotnościowych w ranie (według wyników badań wilgotne środowisko przy zastosowaniu opatrunku aktywnego prawie dwukrotnie przyspiesza proces gojenia się rany niż przy zastosowaniu tradycyjnych opatrunków medycznych),

- stymulację oczyszczania się rany,

- zmniejszenie bólu,

- obniżenie kosztów kuracji w porównaniu z opatrunkami tradycyjnymi pomimo wyższej ceny jednostkowej (czas użytkowania opatrunku aktywnego wynosi ca 3-4 dni i nie wymaga dodatkowego stosowania innych środków leczniczych).

Z badań doświadczalnych oraz obserwacji klinicznych wynika, że wysięk wytwarzany przez powierzchnię rany zawiera tlen i czynniki odżywcze oraz czynniki przyspieszające gojenie, które zapewniają właściwy wzrost tkankowy i stanowią podłoże umożliwiające rozwój ziarniny oraz prawidłowy przebieg procesu naskórkowania. Zasada ta dotyczy ran każdego typu, również zakażonych.

Zatem niewłaściwy okazał się dawny pogląd, że częste osuszanie rany wspomaga jej gojenie. Nowa koncepcja tzw. *fazowego leczenia* sprawia, że gojenie się rany przebiega zdecydowanie skuteczniej oraz mniej boleśnie. Zastosowanie odpowiednich dla każdej fazy gojenia ran preparatów i opatrunków pozwala na prawidłowy przebieg całego procesu. W fazie oczyszczania opatrunek musi zatamować krwawienie, wchłaniać wydzielinę z rany i zapobiegać zakażeniom. W fazie ziarninowania

powinien zapewnić optymalną wilgotność rany oraz wchłaniać nadmiar wydzieliny, ochraniać tkankę ziarninową i zapobiegać zakażeniu, natomiast w fazie naskórkowania powinien utrzymywać odpowiednią wilgotność rany, jak również zapewnić ochronę dla zregenerowanych komórek naskórka.

Celem realizowanych prac było opracowanie technologii dla biomateriałów wytwarzanych z nowej generacji surowców biodegradowalnych stanowiących ko-(poliestry) alifatyczne. Założenia technologiczne w tym zakresie obejmowały zastosowanie technik dziewiarskich.

Materiały biodegradowalne, wytwarzane z kopolimeru glikolid-laktyd (PGLA) znajdują coraz większe zainteresowanie w obszarach medycznych. Wyroby wykonane z tych tworzyw kierowane są do zastosowania m.in. w chirurgii z przeznaczeniem na opatrunki wewnętrzne w procesie leczenia organów miękkich oraz w postaci płytek, śrub i kształtek na implanty w regeneracyjnym leczeniu ubytków kości. Badania naukowe w ocenie klinicznej kopolimeru PGLA wykazują dobrą biogodność materiału i brak negatywnych odczynów miejscowych oraz układowych. Biodegradowalne właściwości kopolimeru zapewniają całkowitą resorpcję wyrobów przez organizm eliminując tym konieczność chirurgicznego ich usuwania po zakończeniu procesu leczenia oraz determinują regenerację tkanek poprawiając tym jakość leczenia pacjenta.

Kopolimer PGLA znajduje również zastosowanie w dziedzinie ciekłych kompozycji polimerycznych z wykorzystaniem w pozajelitowych preparatach związków biologicznie czynnych o kontrolowanym uwalnianiu. Sposób rozwiązania obejmuje tu przetwarzanie polimeru do postaci mikrosfer zawierających substancję biologicznie czynną. Metoda ta nie znalazła jednak praktycznego zastosowania częściowo z uwagi na trudności w procesie wytwarzania jałowych i odtwarzalnych produktów oraz wysokich kosztów produkcji. Korzystniejszym sposobem rozwiązania jest tu metoda polegająca na

wytworzeniu ciekłych kompozycji polimerycznych poprzez rozpuszczenie kopolimeru i substancji biologicznie czynnej w biokompatybilnym rozpuszczalniku. Metoda wykorzystuje możliwości ciekłych kompozycji polimerycznych w zakresie tworzenia biodegradowalnych matryc lub błon pod wpływem działania środowiska wodnego (płynów ustrojowych). Po aplikacji kompozycji do organizmu, rozpuszczalnik ulega rozproszeniu w otaczającym go środowisku wodnym, natomiast z biodegradowalnego polimeru następuje proces kontrolowanego uwalniania substancji biologicznie czynnej.

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych, zrealizowanych w Instytucie Włókiennictwa (dawniej ITTD „Tricotextil”) w latach 2005 – 2007, których celem była ocena możliwości adaptacji nowej generacji polimerów biodegradowalnych do zastosowania w technologii materiałów dziewiarskich o przeznaczeniu na bioresorbowalne wyroby medyczne [1]. Prace doświadczalne zrealizowano z wykorzystaniem kopoliestrów alifatycznych, opracowanych na bazie biodegradowalnych polimerów poli (L – laktydu) i poli (L – laktydu – co – glikolu). W procesie technologicznym polimerów zastosowano metodę syntezy ataktycznego poli [(R, S) – 3 – hydromaślanu] (a – PHB), która została opracowana przez Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrzu na drodze kontrolowanej anionowej polimeryzacji racemicznego β -butyrolaktonu.

Metoda umożliwia zarówno syntezę homo- i kopoliestrów o kontrolowanej masie cząsteczkowej, polidispersyjności oraz chemicznej budowie końcowych grup funkcyjnych jak i pozwala na ich wykorzystanie do modyfikacji właściwości kompozycji polimerowych zawierających poliestry otrzymywane z surowców odnawialnych. W pracach doświadczalnych podjęto próby opracowania nowych kompozycji polimerowych przy wykorzystaniu wyników badań Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrzu z zakresu optymalizacji procesu blendowania a – PHB z naturalnymi poliestrami alifatycznymi (PHA). Podstawowym kryterium modyfikacji kompozycji kopolimerowych było zapewnienie właściwości włóknotwórczych przy założeniu otrzymania przędz ciągłych o strukturze multifilamentowej.

Wyniki badań zależności pomiędzy strukturą a właściwościami opracowanych kompozycji polimerowych stanowiły podstawę do opracowania i modyfikacji parametrów procesu formowania włókna. Kluczowym założeniem prac badawczych było otrzymanie przędz charakteryzujących się wskaźnikami jakościowymi na poziomie umożliwiającym ich przerób na maszynach dziewiarskich. Przedmiot badań stanowiły dwa rodzaje kompozycji polimerowych, które opracowano na bazie biodegradowalnego polimeru L – laktydu (ozn. jako Biomixed I

Biomixed II) i kopolimer glikolidu z L –Laktydem (G/LL).

Pierwszy etap prac badawczych obejmował ocenę własności włóknotwórczych kopolimeru Biomixed i ustalenie wstępnych warunków procesu formowania włókien. Właściwości termiczne polimeru oznaczono dla ~0,01% zawartości wilgoci w polimerze. Badaniem objęto wskaźniki temperatury zeszklenia T_g i topnienia T_m , szybkości płynięcia (MFI), temperatury rozkładu i termostabilności polimeru. Temperatury zeszklenia T_g i topnienia polimeru T_m określono metodą DSC (skaningowa kalorymetria różnicowa). Dla temperatury T_g otrzymano wartości – 27,4 i 50,6°C, natomiast dla T_m 132,9°C. Wyniki analizy DSC wykazały zdolność do krystalizacji kopoliestru Biomixed.

Wskaźniki szybkości płynięcia polimeru (MFI) określono w odniesieniu do wskaźników włóknotwórczego polimeru PP. Zakres temperatur pomiaru określono w zależności od temperatury topnienia i lepkości stopowej polimeru 140 ÷ 200°C. Badania przeprowadzono na plastometrze według metodyki pomiaru stosowanej dla polimerów włóknotwórczych, którą opracowano w Instytucie Biopolimerów i Włókien Chemicznych w Łodzi. Wyznaczono zakres temperatur, w którym lepkość stopowa polimeru Biomixed jest zbliżona do lepkości stopowej PP w warunkach jego przetwarzania na włókna. Na podstawie wyników badań wartości MFI wstępnie ustalono, że temperatura przędzenia włókien z kopolimeru Biomixed wynosić będzie ca 165°C. Temperatury rozkładu kopoliestru *Biomixed* wyznaczono metodą TGA, polegającą na pomiarze temperaturowej zależności ubytku masy polimeru w czasie ogrzewania. Otrzymano wyniki 5% ubytku masy polimeru w temperaturze 389°C, 20% w temperaturze 412°C i 50% w temperaturze 429°C. Wyniki badań wartości temperatury początku rozkładu polimeru w odniesieniu do określonej wstępnie na podstawie wartości MFI temperatury przędzenia (165°C) wykazały możliwość zastosowania dla kopoliestru Biomixed metody wytwarzania włókien ze stopu polimeru.

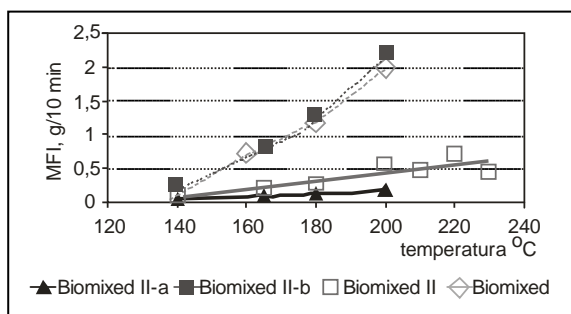
W celu oceny termostabilności polimeru Biomixed wykonano pomiary wartości MFI stosując długotrwałe wygrzewanie (w czasie 60') w ustalonej wstępnie temperaturze przędzenia polimeru 165°C. Wyniki pomiarów wykazały, że zmiany wartości MFI dla ocenianego kopoliestru są porównywalne ze zmianami MFI polimerów włóknotwórczych, np. PET.

Kopoliiester oznaczony w pracach badawczych jako Biomixed II opracowano w formie niejednorodnej kompozycji polimerowej stanowiącej granulaty dwóch frakcji zawierających biodegradowalny L – laktyd. Badania właściwości termicznych przeprowadzono odrębnie dla poszczególnych frakcji polimeru, które oznaczono dla 60% udziału w

kompozycji polimerowej jako Biomixed II – a oraz dla 40% udziału Biomixed II – b. Na podstawie wyników badań DSC określono temperaturę topnienia T_m polimerów, gdzie otrzymano 71°C dla frakcji ozn. Biomixed II – a, natomiast 126°C dla frakcji Biomixed II – b. Ustalono, że temperatura suszenia kompozycji polimerowej Biomixed II wynosić będzie ca 55°C .

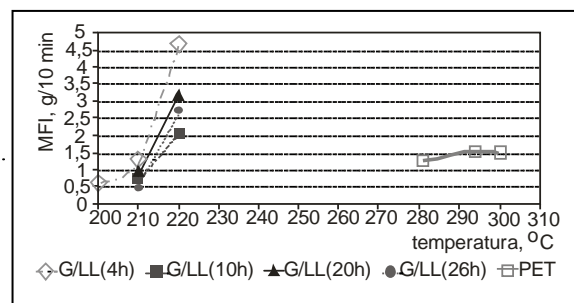
Wskaźnik szybkości płynięcia polimeru (MFI) oznaczono w zakresie temperatur $140 \div 230^\circ\text{C}$ z zastosowaniem analogicznych metod pomiaru jak dla kopoliestru Biomixed [15]. Wyniki badań wykazały znaczne różnice w zależnościach wartości wskaźnika MFI od temperatury dla poszczególnych frakcji polimeru. Dla kompozycji polimerowej Biomixed II obserwuje się również znaczne różnice zmian lepkości w stosunku do poszczególnych frakcji przy wysokiej nierównomierności wartości wskaźnika MFI. Wyniki badań wskaźnika szybkości płynięcia polimeru Biomixed II z wyszczególnieniem frakcji przedstawiono na wykresie 1. Ponadto, analiza porównawcza zmian wartości wskaźnika MFI w określonym przedziale temperatury wykazała podobne zależności dla właściwości kopoliestru Biomixed i frakcji Biomixed II – b, co zobrazowano również na rys. 1. W wyniku przeprowadzonych badań, dla kopoliestru Biomixed II ustalono wstępną temperaturę przedzenia włókien w zakresie $210 \div 230^\circ\text{C}$.

Wskaźniki temperatury rozkładu polimeru Biomixed II oznaczono dla frakcji – a i – b. Badania wykonano z zastosowaniem metody TGA przy wyznaczeniu temperatur dla 5, 20 i 50% ubytku masy polimeru. Dla frakcji ozn. Biomixed II – a otrzymano odpowiednio temperatury 389 , 408 i 424°C , natomiast dla frakcji ozn. Biomixed II – b temperatury 382 , 403 i 419°C . Wyniki badań wykazały, że ustalona na podstawie wartości wskaźnika MFI temperatura przedzenia włókien z kopoliestru Biomixed II ($210 \div 230^\circ\text{C}$) jest niższa od temperatury początku rozkładu polimeru. Własności termiczne kopoliestru Biomixed II umożliwiają więc zastosowanie klasycznej metody formowania włókna ze stopu polimeru.



Rys. 1. Zależność wskaźnika MFI od temperatury dla polimerów Biomixed II i Biomixed.

Prace badawcze nad oceną możliwości zastosowania kopoliestrów biodegradowalnych w technologii materiałów dziewiarskich zrealizowano również dla kompozycji polimerowej glikolidu z *L* – *Laktydem* (G/LL). Badania rozpoznawcze w zakresie oznaczenia zawartości wilgoci w polimerze wykazały obecność nieprzereagowanego laktydu, który podczas ogrzewania stanowił odrębną frakcję ulegającą w dalszym etapie sublimacji. W związku z tym, w celu ustalenia wstępnej temperatury przedzenia włókien z kopoliestru G/LL dokonano oznaczeń wskaźnika MFI w zależności od zawartości wilgoci w polimerze. Proces suszenia polimeru przeprowadzono w temperaturze 70°C dokonując oznaczeń wilgotności w czasie po 10, 20 i 26 godzinach suszenia, gdzie otrzymano odpowiednio 0,60, 0,46 i 0,32% zawartości wilgoci w polimerze. Wyniki badań wskaźnika MFI w zależności od temperatury przedstawiono na wykresie 2. Dla porównania właściwości kopoliestru G/LL przedstawiono również analogiczną zależność wartości MFI od temperatury dla polimeru włóknotwórczego PET blysk.



Rys. 2. Zależność wskaźnika MFI od temperatury dla kopoliestru G/LL

Wyniki badań wykazały, że zmiany wartości wskaźnika szybkości płynięcia polimeru MFI zależnie od czasu suszenia spowodowane są ubytkiem wilgoci oraz wydzielaniem się substancji małowcząsteczkowej. Ocena wpływu polimeru podczas badań wskaźnika MFI na plastometrze wykazała, że po 10 godzinach suszenia polimer został pozbawiony wilgoci. Wynik zawartości wilgoci 0,6% wskazuje na zawartość nieprzereagowanego laktydu. Na podstawie wyników badań własności termicznych wstępnie ustalono, że temperatura przedzenia włókien z kopoliestru G/LL wynosić będzie 210°C .

Wyniki badań własności termicznych opracowanych kompozycji polimerowych *Biomixed*, *Biomixed II* i *G/LL* wykazały możliwość zastosowania klasycznej metody formowania włókien ze stopu polimeru. Analiza porównawcza kopoliestru, którą przeprowadzono w stosunku do polimerów włóknotwórczych potwierdziła słuszność przyjętego kierunku prac badawczych i zastosowanych

rozwiązań w opracowaniu kompozycji polimerowych.

Z uwagi na to, że założenia projektu obejmowały opracowanie nowego typu materiałów opatrunkowych przy wykorzystaniu przędz z włókien ciągłych z nowej grupy polimerów alifatycznych, pracami badawczymi objęto ocenę właściwości zastosowanych w ramach projektu polimerów biodegradowalnych *Biomixed*, *Biomixed II* i *G/LL*, przy wykorzystaniu których przeprowadzono próby doświadczalne wytwarzania włókien. Parametry nastawcze procesu technologicznego przędz określone zostały w zależności od własności polimerów oraz wymagań jakościowych przędz. W pierwszym etapie prac badawczych określono wstępne warunki procesu wytwarzania włókien z kopoliestru *Biomixed* przy zastosowaniu klasycznej metody ze stopu polimeru [15]. Założeniem technologicznym było wytworzenie przędz o masie liniowej 56 dtex i liczbie filamentów 17. Proces formowania włókien przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych przy ustalonych wstępnych parametrach kolejnych etapów formowania włókien:

- temperatury i podciśnienia podczas suszenia polimeru,
- temperatury, prędkości odbioru i wydajność wytłaczania włókien w trakcie procesu ich przedzenia,
- prędkości rozciągania włókien i krotności rozciągu R_{II} i R_{III} w określonych warunkach temperaturowych na galecie rozciągarki oraz na zimno.

Proces przedzenia włókien przeprowadzono na przedzarce ekstruderowej. Parametry nastawcze procesu formowania włókien określono na podstawie własności polimeru *Biomixed*, jednocześnie stosując jako środek pomocniczy preparację włókienniczą, którą naniesiono na włókna w postaci emulsji wodnej.

Wytworzone w procesie przedzenia włókna ciągłe charakteryzowały się masą liniową w zakresie $186 \div 208$ dtex. W procesie rozciągania włókien zastosowano krotność rozciągu, którą określono w zależności od wydłużenia włókien w strefie odbioru przy założeniu otrzymania przędz o masie liniowej 56 dtex. Proces rozciągania włókien zrealizowano w dwóch wariantach: przy określonej temperaturze na galecie rozciągarki oraz na zimno. Podczas prób rozciągania zaobserwowano tendencje do powstawania zrywów elementarnych włókien, które często prowadziły do zrywu całej wiązki włókien. Wyniki badań wykazały mniejszą liczbę zrywów przy rozciąganiu włókien na zimno.

W rezultacie przeprowadzonych prób technologicznych wykazano, że kopolimer *Biomixed* posiada własności włóknotwórcze oraz ustalono wstępne parametry nastawcze procesu formowania włókien, w wyniku których wytworzono przędze o masach

liniowych 52,7 dtex, 62,6 dtex i 64,0 dtex. W tab. 1 przedstawiono charakterystykę porównawczą własności przędz wytworzonych z zastosowaniem parametrów nastawczych określonych na podstawie wyników prac rozpoznawczych. Celem analizy porównawczej było wykazanie różnic pomiędzy własnościami przędz wynikającymi z przyjętych parametrów nastawczych procesu formowania włókien z polimeru *Biomixed* [1].

Tabela 1. Charakterystyka porównawcza wartości parametrów jakościowych przędz z kopoliestrowych włókien *Biomixed*.

Wskaźnik	Różnice wartości parametrów dla porównywanych wariantów przędz, %		
	II a w stosunku do I	II a w stosunku do II	II w stosunku do I
Rzeczywista masa liniowa przędz, dtex	11,3	7,3	4,4
Współczynnik zmienności masy liniowej, %	42,7	3,9	40,4
Siła zrywająca, cN	12,1	- 2,7	14,5
Współczynnik zmienności siły zrywającej, %	36,8	4,0	34,2
Wytrzymałość właściwa, cN /tex	0,9	- 10	10,7
Wydłużenie przy zerwaniu, %	- 9,4	27,6	- 34,4
Współczynnik zmienności wydłużenia, %	- 20,5	0,7	- 22

Analiza porównawcza własności przędz charakteryzujących się różnymi wartościami masy liniowej wykazała, że znaczny wpływ na cechy wytrzymałościowe przędz występuje przy zastosowaniu różnych wydajności procesu przedzenia oraz różnych naprężeń i krotności rozciągu w procesie rozciągania. Warianty przędz charakteryzujące się wyższymi masami liniowymi wykazują wyższą wytrzymałość na zerwanie w stosunku do wariantów o niższej masie liniowej. Wyniki badań wykazały jednak niekorzystny wpływ wzrostu masy liniowej na równomierność własności strukturalnych i wytrzymałościowych przędz. Ponadto wyniki analizy porównawczej przędz wykazały niekorzystny wpływ zmian wartości masy liniowej przędz na ich parametry wytrzymałościowe przy kształtowaniu własności przędz tylko parametrem krotności rozciągu w procesie rozciągania włókien.

Wyniki prac badawczych nad opracowaniem założeń technologicznych procesu formowania włókien z kopolimeru *Biomixed* oraz wyniki analizy porównawczej własności przędz wytworzonych przy zastosowaniu różnych parametrów nastawczych

procesu przędzenia i rozciągania włókien wykazały na konieczność przeprowadzenia dalszych prac technologicznych nad poprawą własności przędz przedmiotowego przeznaczenia. Wyniki tych badań stanowiły podstawę do określenia kierunku działań w zakresie modyfikacji własności przędz lub własności polimeru *Biomixed*.

Analiza wyników badań parametrów mechanicznych oraz ocena organoleptyczna przędz z kopoliestrowych włókien *Biomixed* wykazały, że przędze charakteryzują się niską odpornością cech struk-

turalnych na działanie nawet niewielkich sił rozciągających. W związku z tym przeprowadzono ocenę możliwości poprawy własności strukturalnych i mechanicznych przędz poprzez zastosowanie preparacji mokrych prowadzących do zmiany stanu przędz. W badaniach laboratoryjnych zastosowano 0,5% roztwór glikolu etylenowego i 0,5% roztwór gliceryny, w których zanurzano próbki ocenianych przędz przed realizacją testów wytrzymałościowych. Wyniki badań własności wytrzymałościowych przędz w stanie mokrym przedstawiono w *tab. 2 i 3*.

Tabela 2. Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych przędz z kopoliestrowych włókien *Biomixed* określone po zamoczeniu próbek w 0,5% roztworze glikolu etylenowego

Wskaźnik		Oznaczenie wariantów przędz					
		I		II		II a	
		stan I	stan II	stan I	stan II	stan I	stan II
Siła zrywająca, cN	wartość średnia	61,3	67,2	71,2	76,5	78,6	77,0
	wartość maksymalna	68,8	74,0	78,0	84,3	83,3	80,3
	wartość minimalna	47,7	50,0	60,5	69,8	73,6	72,0
Współczynnik zmienności siły zrywającej, %		10,80	10,34	7,90	6,21	3,86	3,11
Wytrzymałość właściwa, cN /tex		10,7	11,7	11,9	12,8	12,2	12,0
Wydłużenie przy zerwaniu, %	wartość średnia	29	29	17	18	31	23
	wartość maksymalna	39	34	29	23	67	37
	wartość minimalna	22	23	13	13	14	13
Współczynnik zmienności wydłużenia, %		18,70	16,32	27,80	18,70	46,2	30,2

Tabela 3. Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych przędz z kopoliestrowych włókien *Biomixed* określone po zamoczeniu próbek w 0,5% roztworze gliceryny

Wskaźnik		Oznaczenie wariantów przędz					
		I		II		II a	
		stan I	stan II	stan I	stan II	stan I	stan II
Siła zrywająca, cN	wartość średnia	67,1	69,1	80,6	80,2	80,9	72,7
	wartość maksymalna	70,2	72,9	85,4	85,9	85,2	79,6
	wartość minimalna	60,6	63,0	75,3	72,7	77,5	41,4
Współczynnik zmienności siły zrywającej, %		4,55	4,38	5,71	5,88	2,77	17,0
Wytrzymałość właściwa, cN /tex		11,8	12,1	13,5	13,5	12,6	11,3
Wydłużenie przy zerwaniu, %	wartość średnia	28	30	20	20	24	23
	wartość maksymalna	44	42	27	26	36	34
	wartość minimalna	11	13	14	13	14	13
Współczynnik zmienności wydłużenia, %		42,60	28,44	24,80	24,90	26,7	29,60

Proces przygotowawczy próbek przędz do badań zrealizowano w dwóch wariantach:

- stan I - krótkotrwałe zamoczenie próbek w danym roztworze tuż przed realizacją testów
- stan II- zamoczenie próbek w czasie 5 minut

Własności przędz porównano na podstawie procentowych różnic pomiędzy wartościami parametrów wytrzymałościowych przędz po zamoczeniu w określonej preparacji i przędz po aklimatyzacji. Analizą objęto wartości średnie parametrów oraz

współczynniki ich zmienności. Wyniki analizy porównawczej cech wytrzymałościowych przędz przedstawiono w tabelach 4 i 5. W tabelach przyjęto oznaczenia stanów przędz wynikające z czasu zamoczenia próbek w określonych roztworach glikolu etylenowego i gliceryny: krótkotrwałe zamo-

czenie próbek (stan I) i zamoczenie próbek w czasie 5 minut (stan II) przed realizacją testów wytrzymałościowych.

Wyniki analizy porównawczej wykazały, że kierunek i wielkość zmian wskaźników wytrzymałościowych zależy zarówno od rodzaju zastosowanego

Tabela 4. Charakterystyka porównawcza wskaźników wytrzymałościowych przędz z kopoliestrowych włókien Biomixed po zastosowaniu preparacji mokrej w postaci 0,5% roztworu glikolu etylenowego i bez preparacji dla stanu aklimatyzowanego

Wskaźnik	Różnice pomiędzy wartościami parametrów wytrzymałościowych przędz z preparacją mokrą i dla stanu aklimatyzowanego, %					
	I		II		II a	
	stan I	stan II	stan I	stan II	stan I	stan II
Siła zrywająca, cN	- 8,0	0,9	- 8,6	- 1,8	3,6	1,6
Współczynnik zmienności siły zrywającej, %	51,5	49,4	- 0,8	- 22	- 53,4	- 62,5
Wytrzymałość właściwa, cN /tex	- 8,5	0	- 9,2	- 2,3	3,3	1,7
Wydłużenie przy zerwaniu, %	- 9,4	- 9,4	- 19,1	- 14,3	6,5	- 20,7
Współczynnik zmienności wydłużenia, %	- 63,5	- 68,2	- 31,4	- 53,9	11,7	- 26,0

Tabela 5. Charakterystyka porównawcza wskaźników wytrzymałościowych przędz z kopoliestrowych włókien Biomixed po zastosowaniu preparacji mokrej w postaci 0,5% roztworu gliceryny i bez preparacji dla stanu aklimatyzowanego

Wskaźnik	Różnice pomiędzy wartościami parametrów wytrzymałościowych przędz z preparacją mokrą i dla stanu aklimatyzowanego, %					
	I		II		II a	
	stan I	stan II	stan I	stan II	stan I	stan II
Siła zrywająca, cN	0,8	3,6	3,4	2,9	6,3	- 4,1
Współczynnik zmienności siły zrywającej, %	- 13,2	- 16,4	- 28,3	- 26,1	- 66,6	51,2
Wytrzymałość właściwa, cN /tex	0,8	3,3	3,0	3,0	6,4	- 4,2
Wydłużenie przy zerwaniu, %	- 12,5	- 6,3	- 4,8	- 4,8	- 17,3	- 20,7
Współczynnik zmienności wydłużenia, %	- 17,0	- 44,6	- 38,8	38,5	- 34,6	- 27,5

środka w preparacji mokrej jak i od własności strukturalnych porównywanych wariantów przędz.

Badania wykazały niekorzystny wpływ zastosowania preparacji mokrej z roztworu glikolu etylenowego na wytrzymałość dla niektórych wariantów przędz. Zastosowanie określonych preparacji mokrych nie wpłynęło w istotny sposób na poprawę własności wytrzymałościowych ocenianych przędz w zakresie wskaźników wytrzymałości na zerwanie i wytrzymałości właściwej. Wyniki analizy porównawczej przędz wykazały natomiast korzystny wpływ zastosowania preparacji mokrych na równomierność cech wytrzymałościowych przędz, co stanowiło istotny wniosek w realizacji dalszych prac badawczych nad modyfikacją parametrów jakościowych przędz z polimerów alifatycznych.

Charakterystyka dalszych prac w zakresie oceny jakościowej procesu przędzenia oraz wyniki prób doświadczalnych procesu wytwarzania materiałów dziewiarskich stanowiąc będą przedmiot dalszych publikacji.

Niniejsza praca przedstawia wyniki badań uzyskanych w ramach projektu EUREKA pt: „Biore-sorbowalne wyroby tekstylne z biodegradowalnych blend poliestrowych”.

Literatura

1. Projekt Międzynarodowy UE Inicjatywa Eureka E! 3420 BIOTEXTIL: Bioresorbowalne wyroby tekstylne z biodegradowalnych blend poliestrowych. Instytut Włókiennictwa (d. ITTD „Tricotextil). 2005-2007.
2. M. Adwent, M. Cieślak, D. Sabat: Roczna ocena in vivo wszczepów wykonanych z kopolimeru laktyny/glikolid. *Inżynieria Biomateriałów*. 61 (2007), s. 9-12.
3. M. Cieślak, D. Sabat, A. Cieślak-Bielecka: Ocena porównawcza właściwości biologicznie czystego i wzmocnionego włóknami węglowymi kopolimeru P (LLA/GLA) po wszczepieniu do żuchwy i tkanek

- miękkich królików. *Inżynieria Biomateriałów*. 58-60 (2006), s. 54-57.
4. M. Cieślik, A. Cieślik-Bielecka, M. Adwent: Porównanie właściwości biologicznych czystego i napelnionego hydroksyl-apatytem kopolimeru glikolidu z laktydem. *Inżynieria Biomateriałów*. 58-60 (2006), s. 57-60.
 5. E. Pamuła, J. Chłopek, M. Błażewicz: Materiały kompozytowe z nowego biodegradowalnego kopolimeru glikolid-laktyd dla celów medycznych. *Inżynieria Biomateriałów*. 12 (2000), s. 23-30.
 6. E. Pamuła, M. Rutkowska: Hydrolityczna i enzymatyczna degradacja kopolimeru glikolidu z laktydem. *Inżynieria Biomateriałów*. 47-53 (2005), s. 49-52.
 7. E. Pamuła, E. Menaszek, P. Dobrzyński, Jakie czynniki mikrostrukturalne wpływają na degradację in vitro i in vivo kopolimeru glikolidu z L-laktydem. *Inżynieria Biomateriałów*. 38-43 (2004), s. 22-27.
 8. Rey T. Chern, Joel R. Zingerman (Rahway, US): Ciekła kompozycja polimeryczna do kontrolowanego uwalniania eprinomektyny. Patent nr 192270 (A61K31/7048)
 9. Patent nr 191846 z dn. 30 07 2001r.: Sposób wytwarzania bioresorbowalnych polimerów. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze.
 10. M. Bero, P. Dobrzyński, J. Kasperczyk, *Polymer Bulletin* 1999; 42: 131-139.
 11. Patent nr 186754 z dn 07 12 1998r.: Biodegradowalna i biodezintegrowalna kompozycja polimerowa i sposób wytwarzania biodegradowalnej i biodezintegrowalnej kompozycji polimerowej. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze.
 12. M. Kowalczyk, *Plastic Review* 2001; 10, 34.
 13. M. Kowalczyk, *Poznań Fair Magazine, Polagra Food-Taropak* 2001; 12, 38.
 14. M. Scandola, L. Focarte, M. Kowalczyk, *Macromolecules*, 1997; 30, 2568.
 15. K. Twarowska-Schmidt: Ocena właściwości włóknotwórczych polimeru Biomixed. Raport UB-5/06.
 16. PN 93/C89069. Instytut Biomateriałów i Włókien Chemicznych w Łodzi.
 17. K. Twarowska-Schmidt, E. Ulińska: Wytworzenie włókien z polimeru Biomixed. Raport UB – 47/06.
 18. K. Twarowska-Schmidt i inni: Badania nad wytwarzaniem włókien z kopolimeru glikolidu z L-Laktydem. Raport UB – 34/07.

Nowoczesne rozwiązanie osobistej osłony balistycznej typu modułowego

Jadwiga Polak
 Grażyna Redlich
 Grażyna Grabowska
 Joanna Błaszczuk

Instytut Technologii Bezpieczeństwa ITB „Moratex”, Łódź

Wstęp

Funkcjonariusze policji i żołnierze, którzy wchodzi w skład zespołów pierwszego uderzenia są szczególnie narażeni na bezpośrednie ostrzeliwanie przez napastników często bardzo dobrze wyszkolonych i uzbrojonych. Z tego powodu od współczesnych balistycznych osłon ciała, w tym kamizelek kuloodpornych przeznaczonych dla użytkowników z tych zespołów wymaga się przede wszystkim: zwiększenia chronionej powierzchni ciała

i podwyższenia skuteczności balistycznej elementów osłaniających, przy jednoczesnym zapewnieniu dużej ergonomiczności podczas prowadzenia akcji oraz szybkiego „uwolnienia” z niej rannego użytkownika. W celu spełnienia tych wymagań niezbędnym jest zastosowanie w osłonach nowoczesnych, lekkich materiałów: balistycznych – miękkich i twardych i niebalistycznych (tkanin na poszycia i pokrowce wkładów balistycznych) oraz dobór optymalnej konstrukcji osłon.