

# BIOKOMPOZYTY POLIMEROWE NA ELEMENTY SPRZĘTU RAHABILITACYJNEGO

NATALIA PILIP\*, STANISŁAW KUCIEL, PAULINA KUŹNIAR

POLITECHNIKA KRAKOWSKA,  
ZAKŁAD MECHANIKI DOŚWIADCZALNEJ I BIOMECHANIKI  
AL. JANA PAWŁA II 37, 31-864 KRAKÓW  
\* E-MAIL: NATALIAPILIP@GMAIL.COM

## Streszczenie

*W pracy oceniono możliwość wykorzystania nowych biodegradowalnych biokompozytów pochodzenia naturalnego napełnianych włóknami lnu w ilości 10% masowo, jako materiałów do wytwarzania elementów jednorazowych na potrzeby sprzętu rehabilitacyjnego. Oceniono podstawowe właściwości wytrzymałościowe oraz wpływ procesu biodegradacji hydrolitycznej w roztworze soli fizjologicznej na badane właściwości. Zaproponowano zastosowanie biokompozytów jako materiałów do wytwarzania elementów jednorazowego użytku dla sprzętu medycznego i rehabilitacyjnego w miejsce dotychczas używanego polistyrenu czy kompozytów polipropylenu.*

**Słowa kluczowe:** biokompozyty degradowalne, sprzęt rehabilitacyjny, elementy jednorazowe

[Inżynieria Biomateriałów, 106-108, (2011), 120-123]

## Wprowadzenie

Tworzywa sztuczne, które stosuje się na sprzęt rehabilitacyjny nie muszą spełniać tak wygórowanych wymagań jak materiały stosowane na implanty stosowane in vivo. Nie muszą być one biogodne oraz bioinertne tak jak implanty wszczepiane człowiekowi. Lecz ze względu na kontakt ze skórą materiały te powinny być hypoalergiczne oraz nie zawierać toksycznych substancji. Nie powinny wchodzić w reakcje z wydzielinami skórnymi. Ważnym kryterium jest też odporność na czyszczenie i dezynfekcje. Mimo, że większość tego sprzętu używana jest tylko przez właściciela to raz na jakiś czas sprzęt musi być dezynfekowany dla bezpieczeństwa użytkownika, dlatego materiał musi być odporny na środki chemiczne i powierzchniowo czynne takie jak kwas nadoctowy, chlorek R-benzylodimetyloamoniowy, nitylotrójoctan trisodowy, aldehyd mrówkowy, alkohol izopropylowy oraz propylowy [1,2]. Kompozyty i materiały polimerowe są stosowane na elementy sprzętu rehabilitacyjnego ze względu na możliwość kształtowania i projektowania właściwości, dużą elastyczność i odkształcalność przy sporej wytrzymałości, łatwość nadawania nawet skomplikowanych kształtów oraz możliwość ich późniejszego wytwarzania. Coraz powszechniejsze stosowanie jednorazowych końcówek czy elementów mocujących o różnych rozmiarach i kolorach w zależności od upodobań i rozmiaru pacjenta. W tej koncepcji można wypożyczać np. kule czy pionizator – dopasowując wymienne jednorazowe końcówki. Wykorzystanie polimerów pochodzenia naturalnego takich jak termoplastyczna skrobia, techniczny PLA, PHB czy kompozycje skrobi i poliestrów zarówno w czystej postaci jak i w postaci biokompozytów wzmocnionych naturalnymi włóknami np. lnu, konopi czy drzewnymi [3].

# BIOPOLYMER COMPOSITES FOR PARTS OF REHABILITATION EQUIPMENT

NATALIA PILIP\*, STANISŁAW KUCIEL, PAULINA KUŹNIAR

KRACOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
INSTITUTE OF APPLIED MECHANICS AND BIOMECHANICS  
AL. JANA PAWŁA II 37, 31-864 KRAKOW, POLAND  
\* E-MAIL: NATALIAPILIP@GMAIL.COM

## Abstract

*The study estimates the possibility of using new biodegradable biocomposites filled with 10 wt% flax fibers as materials for disposable parts of rehabilitation equipment production. Basic mechanical properties and the influence of hydrolytic degradation process in physiological saline on tensile test properties are analyzed. Application of biocomposites for disposable parts of rehabilitation and medical equipment instead of commonly used polystyrene or polypropylene is proposed in the article.*

**Keywords:** degradable biocomposites, rehabilitation equipment, disposable parts

[Engineering of Biomaterials, 106-108, (2011), 120-123]

## Introduction

Plastics used for rehabilitation equipment do not have to meet as strict requirements as materials used for in vivo implants. They do not have to be biodegradable and bioinert as implants inserted in the human body. However, due to contact with the skin, these materials should be hypoallergenic and can not contain any toxic substances. They should not react with skin secretions. Cleaning and disinfection resistance are also important issues. Though the equipment is used only by its owner, once in a while it must be disinfected for the user safety. Therefore the material must be resistant to chemical substances such as surfactants (e.g. peracetic acid, R-Benzylodimethyloammonio chloride, trisodium nitrotriacetate, formaldehyde, isopropyl alcohol and propyl) [1,2]. Composites and polymer materials are used for elements of rehabilitation equipment due to their design flexibility, significant elasticity and pliability while maintaining considerable strength, ease of shaping even to complex shapes and the possibility of their further production. The use of disposable tips or fasteners of various sizes and colours depending on preferences and size of the patient, becomes increasingly common. In this concept crutches or verticalizers with interchangeable disposable tips could be rented. In order to produce mentioned parts of rehabilitation equipment, it is possible to use natural origin polymers such as thermoplastic starch, technical PLA, PHB, or composites of starch and polyesters, whether in pure form or in form of biocomposites reinforced with natural fibres (such as flax, hemp or wood) [3]. As compared with traditional petrochemical polymers, products made of biocomposites are characterized by lower static electricity (and in result they collect less dirt and dust) and lower tendency to cause allergic reactions. Films and membranes made of biocomposites are also characterized by low permeability [1,4].

**TABELA 1. Rodzaje i właściwości badanych biopolimerów degradowalnych.**  
**TABLE 1. The sorts and properties of tested degradable biopolymers.**

Oznaczenie w pracy* / Description*	Rodzaj polimeru / Sort of polymer	Nazwa handlowa / Trade name	Gęstość / Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Masowy wskaźnik płynięcia / Melt Flow MFR [g/10 min]	Temperatura topnienia / Melting point deg C
PL	alifatyczny poliester / aliphatic polyester	Natureplast PBI 003	1.26	15-25	115
PB	polilaktyd / polylactide	Natureplast PLE 001	1.25	2-8	145-155
PH	polihydroksyalkanian / poly(hydroxy alkanate)	Natureplast PHE 001	1.25	5-15	145-155

\*Kompozyty z dodatkiem 10% wag. włókien lnu oznaczono literą L na końcu  
 \*Composites with 10 wt% of flax fibers marked with the L at the end

Wyroby z takich materiałów w porównaniu do tradycyjnych z polimerów petrochemicznych charakteryzują się mniejszą elektrostatycznością, co powoduje znacznie mniejsze zabrudzenia i pokrywanie się kurzem takich wyrobów, mniejszą skłonnością do odczynów alergicznych oraz wysoką barierowością wykonanych z nich folii i błon [1,4].

## Materiały i metody

Próbki do badań wytworzono metodą wtrysku w Zakładach Azotowych SA w Tarnowie na wtryskarce Engel ES 200/40 HSL z regranulatu uzyskanego poprzez zmieszanie 10% wagowo włókien lnu produkcji firmy Safilin Sp. z o.o (średnica włókna 20 μm i przeciętna długość 120 μm) z technicznymi degradowalnymi biopolimerami pochodzenia naturalnego produkcji francuskiej firmy Nature Plast. Ich rodzaje, przyjęte właściwości oraz oznaczenia pokazano w TABELI 1. Dla oceny zmian właściwości kompozytów z włóknami lnu przeprowadzono badania przy statycznym rozciąganiu wg PN-EN ISO 527-1 na próbkach wiosełkowych, przy użyciu maszyny wytrzymałościowej firmy MTS seria Insight z osiowym ekstensometrem firmy MTS. Oznaczono wytrzymałość na rozciąganie -  $\sigma_z$ , moduł sprężystości - E i odkształcenie przy zerwaniu -  $\epsilon_z$  dla próbek kondycjonowanych po wtrysku oraz po miesięcznej inkubacji w soli fizjologicznej o temperaturze 40°C, dodatkowo oznaczając jej chłonność po 1, 7 i 30 dniach moczenia. Zdjęcia mikrostruktury zostały wykonane na przelomach próbek po rozciąganiu przy użyciu mikroskopu skaningowego JEOL JSN5510LV z zapisem cyfrowym.

## Wyniki i dyskusja

Wyniki badań właściwości wytrzymałościowych kompozytów i polimerów oryginalnych przedstawiono w TABELI 2. Dla porównania pokazano w niej typowe materiały (referencyjne) stosowane na elementy sprzętu rehabilitacyjnego, czyli polistyren i kompozyt polipropylenu z talkiem. Biodegradowalne kompozyty z dodatkiem włókien lnu charakteryzują się wyraźnym 30-40% wzrostem modułu sprężystości przy niewielkim kilku procentowym spadku wytrzymałości i większym, ale akceptowalnym spadku odkształceń przy zerwaniu.

## Materials and methods

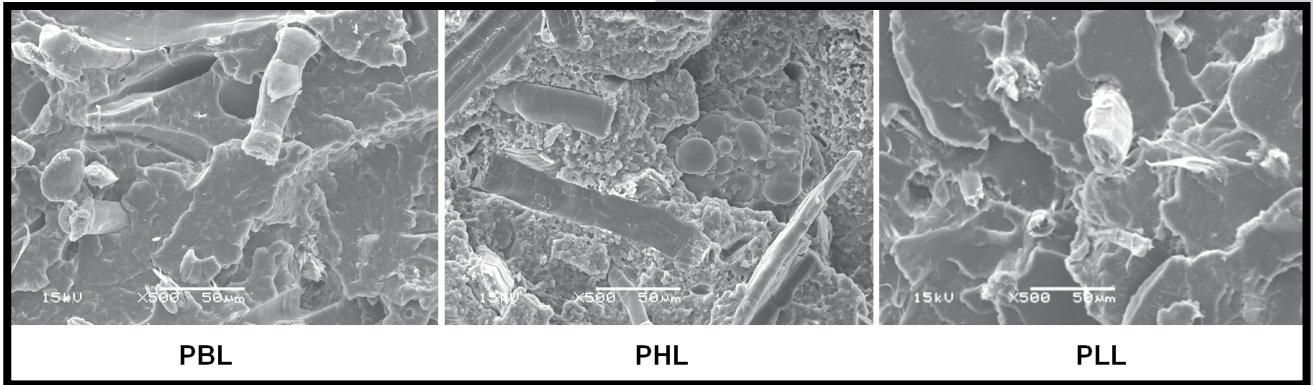
The test specimens were prepared by injection moulding method in Zakłady Azotowe SA in Tarnow on Engel ES 200/40 HLS injection moulding machine with regrind obtained by mixing 10 wt% flax fibre produced by Safilin company (fibre diameter: 20 μm, average length: 120 μm) with technical degradable biopolymers of natural origin produced by French company Nature Plast. Composition and characteristics of tested materials are shown in TABLE 1. To estimate the influence of flax fibres on mechanical properties of the composites tensile test was done on standard dumbbell samples according to PN-EN ISO 527-1 on universal testing machine MTS Insight with MTS axial extensometer. Tensile strength ( $\sigma_z$ ), modulus of elasticity (E) and elongation at break ( $\epsilon_z$ ) for samples conditioned after injection and after one month of incubation in physiological saline at 40°C were obtained. Furthermore, absorption of physiological saline was marked after 1, 7 and 30 days of immersion. Images of tensile fracture surfaces of the composites were made with JEOL JSN5510LV scanning electron microscope with digital recording.

## Results and discussion

Tensile properties determined for tested materials are shown in TABLE 2. For the comparison, the table presents also properties of typical materials used in rehabilitation components production (ex. polystyrene and polypropylene composite with talc). Biodegradable composites filled by flax fibres are characterized by significant increase of modulus of elasticity (about 30-40%) and slight decrease of tensile strength but greater than acceptable decrease of elongation at break.

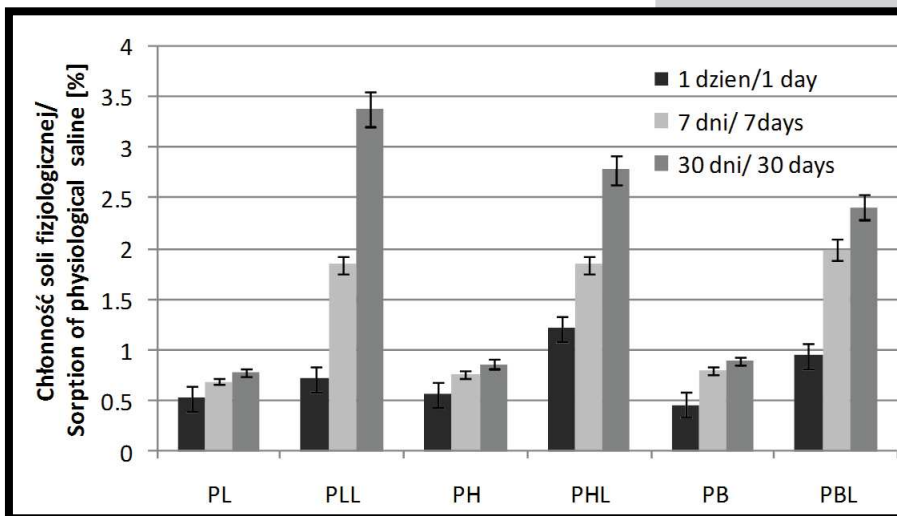
**TABELA 2. Właściwości wytrzymałościowe kompozytów oznaczane w próbie rozciągania.**  
**TABLE 2. Strength properties tested composites marked in elongation test.**

Materiał / Material	$\sigma_z$ [MPa]	$\sigma_{n-1}$	E [MPa]	$\sigma_{n-1}$	$\epsilon_z$ [%]	$\sigma_{n-1}$
PL	67.4	0.3	3868	277	4.3	1.0
PLL	61.1	0.1	5510	289	3.9	0.9
PB	41.3	0.4	703	27	54.1	42.3
PBL	36.1	0.0	1426	37	11.3	0.3
PH	11.5	0.4	329	25	16.6	4.5
PHL	12.4	0.1	676	4	8.6	0.6
PS	50.0	-	3150	-	2.0	-
PP + 40% talk	24.1	-	2410	-	4.0	-



RYS. 1. Zdjęcia wykonane za pomocą SEM dla kompozytów z udziałem 10% włókien lnu, przełomy po rozciąganiu, pow. 500x.

FIG. 1. SEM images of composites filled with 10 wt% of flax, tensile fracture surfaces, magnification 500x.

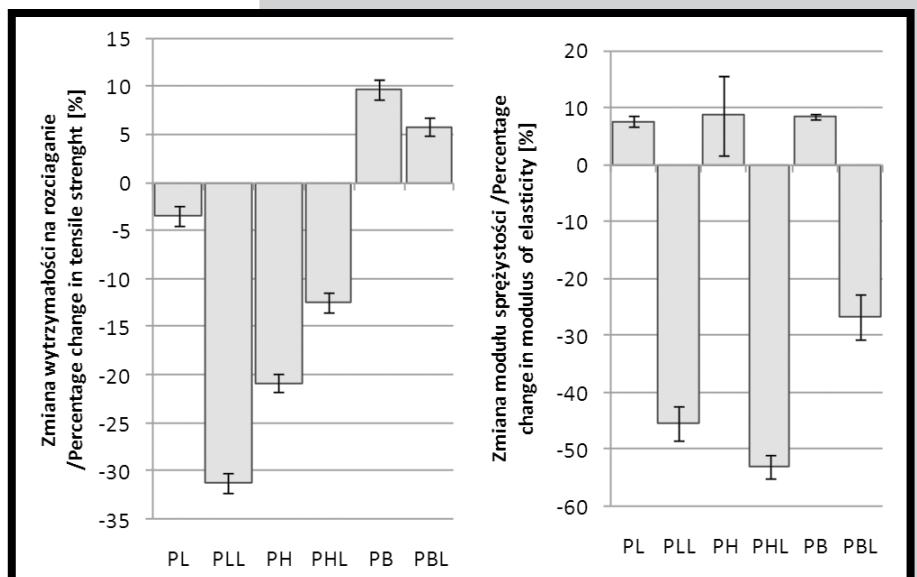


RYS. 2. Chłonność badanych kompozytów po 1, 7 i 30 dniach inkubacji w soli fizjologicznej.

FIG. 2. Physiological saline sorption of tested materials after 1, 7 and 30 days of incubation.

FIG. 1 shows images of composites tensile fracture surfaces where flax fibres well bonded with polymer matrix can be seen (crack across the fibres). FIG. 2 shows increase of physiological saline absorption after 1, 7, and 30 days of incubation. In the FIG. 3 changes of tensile strength and modulus of elasticity are shown. Addition of flax fibres to composites increases the saline absorption and causes faster decrease of their modulus of elasticity and smaller decrease of tensile strength. Reference material are not biodegradable and wasn't tested in physiological saline.

Na RYS. 1 pokazano obrazy przełomów po rozciąganiu badanych kompozytów z wyraźnie widocznymi włóknami lnu dobrze osadzonymi w matrycy polimerowej (pęknięcia w poprzek włókien). Na RYS. 2 pokazano wzrost chłonności soli fizjologicznej badanych kompozytów po 1, 7 i 30 dniach moczenia, a na RYS. 3 zmiany wytrzymałości i modułu sprężystości badanych kompozytów. Dodatek włókien lnu zwiększa chłonność soli fizjologicznej kompozytów i powoduje szybszy spadek ich modułu sprężystości oraz w mniejszym stopniu wytrzymałości. Materiały referencyjne nie są biodegradowalne i nie badano ich degradacji w soli fizjologicznej.



RYS. 3. Zmiany wytrzymałości i modułu sprężystości kompozytów po miesięcznej inkubacji w soli fizjologicznej.

FIG. 3. Percentage changes of composites tensile strength and modulus of elasticity after 30 days incubation in physiological saline.

## Wnioski

Biokompozyty na osnowie polimerów biodegradowalnych pochodzenia naturalnego napełniane włóknami lnu mogą być stosowane na elementy jednorazowego użytku (użyte raz lub używane przez krótki czas przez jednego pacjenta) sprzętu medycznego i rehabilitacyjnego. Stosowanie jednorazowych elementów sprzętu rehabilitacyjnego będzie sprzyjać utrzymaniu higieny, zwiększy ich estetykę i poprawi komfort pacjenta. Biokompozyty na osnowie polilaktydu lub czysty polimer mogą zastępować elementy o krótkim okresie użytkowania wytwarzane dotychczas z różnych odmian polistyrenu. Powszechnie stosowany na wyroby kompozyt polipropylenu z talkiem może być skutecznie zastąpiony przez kompozyty na osnowie alifatycznych poliestrów. Inkubacja w soli fizjologicznej powoduje znacznie większe zmiany modułów sprężystości badanych biokompozytów niż ich wytrzymałości na rozciąganie. Dobierając odpowiedni polimer na osnowę można dopasować czas jego biodegradacji do oczekiwanego czasu użytkowania przez pacjenta, a następnie poddać utylizacji poprzez kompostowanie lub spalenie z odzyskiem energii.

## Conclusions

Biocomposites on the base on biodegradable polymers of natural origin filled with flax fibres can be used for disposable components (used once or used for a short time by one patient) of medical and rehabilitation equipment. There are many benefits from using disposable components such as maintaining of hygiene, enhance their aesthetics and improve patient comfort. Biocomposites with polylactide matrix or pure polymer can be used instead of elements produced till now with various types of polystyrene, however only for short-life products. Commonly used in this applications composites of polypropylene matrix filled with talk can be replaced by composites with aliphatic polyester matrix. Incubation in physiological saline had bigger impact on modulus of elasticity than strength of tested biocomposites. Suitable polymer for composite matrix can be choose to adjust the time of biodegradation to the expected time of its using by patient, and then disposed through the composting or incineration with energy recovery.

## Piśmiennictwo

- [1] Gałazka M., Kuciel S. Polimery w rehabilitacji, *Plast News* 5/2011.  
 [2] Kuciel S., Liber-Kneć A., Kuźniar P., Biodegradowalne materiały polimerowe wykorzystywane jako materiały na elementy stabilizujące, *Czasopismo Inżynieria Biomateriałów* nr 99-101 ss. 38-41.

## References

- [3] Kuciel S., Kuźniar P., Liber-Kneć A., Polymer biocomposites with renewable sources, *Archives of Foundry Engineering* 2010.  
 [4] Mohanty A.K., Misra M, Drzal L.T.: *Natural fibers, biopolymers, and their biocomposites*, CRC Press UK 2, 2005.