

## Badanie sprężystości tworzyw mikrokomórkowych EVA przeznaczonych na elementy spodowe do obuwia

Research on the resilience of microcell materials based on ethylene/vinyl acetate copolymer for footwear industry

Anna Opalska<sup>\*</sup>, Maria Haduch, Kazimierz Paweł Gąsiorowski

Instytut Przemysłu Skórzanego w Łodzi, Oddział w Krakowie

---

### Abstrakt

Artykuł przedstawia analizę właściwości sprężystych wybranych mikrokomórkowych materiałów wytworzonych na bazie kopolimerów etylenu z octanem winylu. Sprężystość oznaczano za pomocą urządzenia zaprojektowanego i skonstruowanego w IPS O/Krakowie. Badane materiały sklasyfikowano w trzech grupach sprężystości: materiały o sprężystości powyżej 35% (grupa I), materiały o sprężystości 30% ÷ 35% (grupa II) oraz materiały o sprężystości poniżej 30% (grupa III). Najlepszymi właściwościami sprężystymi (37%) charakteryzuje się materiał EVA-3 o najniższej twardości i gęstości. Modyfikowanie mieszanki polimerowej 10% dodatkiem kopolimeru blokowego SBS poprawia właściwości mechaniczne mikrokomórkowych materiałów EVA przy zachowaniu sprężystości w zakresie od 30% do 35%.

### Abstract

This article presents an analysis of the resilience properties of selected EVA microcellular materials produced on the basis of ethylene/vinyl acetate copolymers. The resilience was determined with the use of a device designed and constructed in the Institute of Leather Industry Branch in Cracow. Materials tested were classified into three groups of resilience: materials with a resilience of more than 35% (group I), materials with a resilience from 30% to 35% (group II) and materials with a resilience of less than 30% (group III). The material EVA-3 has the best resilient properties (37%) with the lowest hardness and density. Modification of the polymer blend with the addition of a SBS block copolymer (10%) improves the mechanical properties of microcell EVA materials while maintaining a resilience in the range from 30% to 35%.

*Słowa kluczowe:* badanie sprężystości, tworzywa mikrokomórkowe, kopolimery etylenu i octanu winylu (EVA), elementy spodowe;

*Keywords:* resilience testing, microcell plastics, ethylene and vinyl acetate copolymers, outsole elements;

---

## 1. Wstęp

Elastyczne tworzywa mikrokomórkowe wytworzone na bazie kopolimerów etylenu i octanu winylu (EVA) ze względu na swoje walory użytkowe znalazły zastosowanie w przemyśle

---

<sup>\*</sup> autor korespondencyjny: Anna Opalska: a.opalska@ips.krakow.pl

obuwniczym [1, 2]. Materiały wytworzone z mikrokomórkowych tworzyw EVA charakteryzują się niską gęstością ( $0,1 - 0,3 \text{ g/cm}^3$ ), niską twardością (20 – 60 ShA), wysoką odpornością na ścieranie (150 – 250 mg) i wysoką odpornością na zginanie w temperaturach dodatnich i ujemnych (100 000 cykli). Stosowanie tych materiałów na elementy spodowe obuwia gwarantuje użytkownikom wysoki komfort. Takie cechy jak lekkość, elastyczność, sprężystość, amortyzacja obuwia mają zasadnicze znaczenie dla osób aktywnych, uprawiających rekreacyjnie lub zawodowo różne dyscypliny sportowe. Każda dyscyplina sportu jest uprawiana w odmiennych warunkach (różne podłoża), angażuje inne partie mięśni i stawów oraz poddaje obuwiu innym rodzajom działania sił i obciążeń [3]. Dlatego też, obuwie sportowe powinno być dedykowane do danej aktywności fizycznej. Obuwie do biegania powinno amortyzować mikrowstrząsy powstające wskutek uderzenia stopy o podłoże, a które przenoszone są na wszystkie segmenty ciała (kręgosłup, stawy). Jednocześnie, obuwie powinno umożliwiać efektywne przeniesienie siły wybicia w początkowej fazie kroku w celu wydajniejszego biegu [4]. Dla sportowców biorących udział, w takich konkurencjach jak: skok wzwyż, skok w dal, czy bieg na krótkie dystanse, najważniejsza będzie sama faza odbicia, którą można poprawić stosując w obuwiu materiały o wysokiej sprężystości. Dlatego też, dobór odpowiednich materiałów w obuwiu sportowym jest istotnym czynnikiem, który przekłada się na komfort i bezpieczeństwo użytkownika a nawet na satysfakcję z osiągnięć sportowych.

Przedmiotem rozważań w pracy jest analiza właściwości sprężystych dla wybranych materiałów wytworzonych na bazie kopolimeru etylenu i octanu winylu.

## 2. Metodyka badań

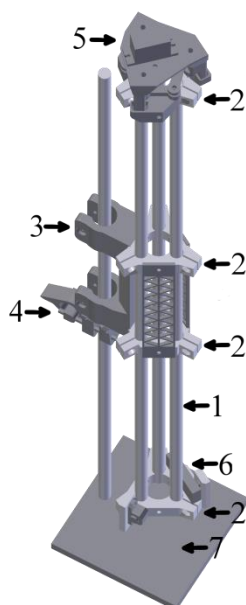
Sprężystość badanych materiałów oznaczano według normy PN-EN ISO8307: 2000 [5] za pomocą urządzenia zaprojektowanego i skonstruowanego w Zakładzie Inżynierii Materiałowej IPS O/Kraków. Badanie sprężystości polega na oznaczeniu wysokości odbicia stalowej kulki od powierzchni badanego materiału. Kulka o średnicy  $\varnothing = 16 \pm 0,5 \text{ mm}$ , masie  $m = 16,8 \pm 1,5 \text{ g}$  i energii potencjalnej grawitacyjnej  $E_0 = 8,24 \times 10^{-2} \text{ J}$  spada na próbkę ruchem jednostajnie przyspieszonym z określonej wysokości ( $h_0 = 500 \text{ mm}$ ). Wysokość pierwszego odbicia ( $h_1$ ) jest oznaczana pośrednio, po zmierzeniu przedziału czasowego ( $t$ ) między pierwszym a drugim zetknięciem kulki z powierzchnią próbki badawczej. Wysokość odbicia obliczana jest ze wzoru (1), w którym wielkość  $g$  jest przyspieszeniem ziemskim dla danej szerokości geograficznej (dla Krakowa  $g = 9,8105 \text{ m/s}^2$ ).

$$h_1 = \frac{g \times t^2}{8}, [m] \quad (1)$$

Sprężystość danego materiału ( $R$ ) wyrażona jest zależnością (2) i określa ułamek energii ponownie przekazanej kulce przez badany materiał po pierwszym uderzeniu. Sprężystość materiału jest tym większa im więcej energii przekazał kulce odbijającej się od jego powierzchni ( $E_1$ ):

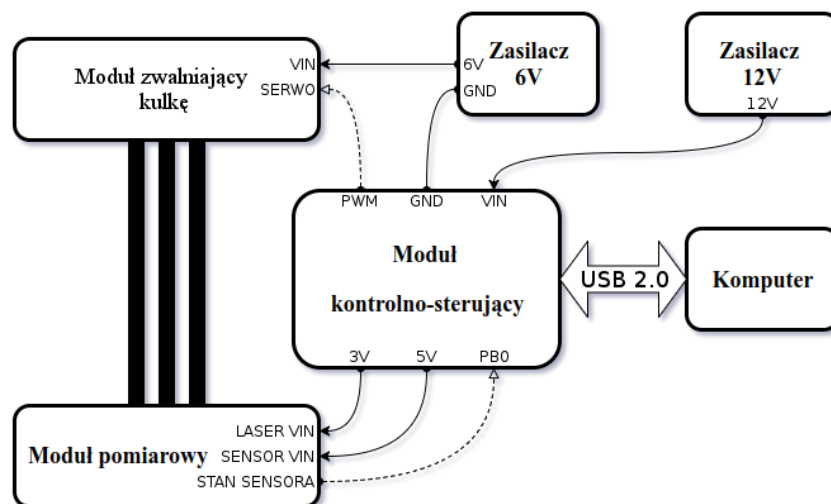
$$R = \frac{E_1}{E_0} \times 100\% = \frac{h_1}{h_0} \times 100\% \quad (2)$$

Urządzenie pomiarowe przedstawiono na rysunku 1. Konstrukcję stanowią następujące elementy: szyny (1) – umocowane w kołnierzach dystansujących (2) ograniczające przestrzeń, w której porusza się kulka, suwnica (3) – element umożliwiający pozycjonowanie urządzenia wzdłuż osi pionowej  $Z$  i zapewniający wypoziomowanie urządzenia, blokada (4) – element umożliwiający odseparowanie urządzenia od powierzchni badanej próbki, moduł zwalniający kulkę (5), moduł pomiarowy (6) z rejestrem optycznym (fotokomórka) oraz podstawa stanowiska (7). Przemyślana konstrukcja urządzenia gwarantuje, że kulka w czasie ruchu nie wykonuje ruchów obrotowych, nie zderza się z powierzchnią szyn i spada centrycznie na badaną próbkę.



**Rys. 1.** Konstrukcja urządzenia pomiarowego.

Urządzenie do oznaczania sprężystości obsługiwane jest przez moduł kontrolno – sterujący odpowiedzialny za przekazywanie danych do komputera oraz za sterowanie serwomechanizmem obsługującym moduł zwalniający kulkę. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego.

### 3. Cel i obiekt badań

Celem podjętych badań było przetestowanie możliwości zaprojektowanego i skonstruowanego stanowiska badawczego do oznaczania sprężystości tworzyw porowatych i mikrokomórkowych.

Obiektem badań były tworzywa mikrokomórkowe wytworzone metodą wulkanizacji na bazie kopolimerów etylenu i octanu winylu (EVA) sieciowanych nadtlenkami organicznymi w zakresie temperatur 160°C – 180°C. Badano sprężystość wybranych materiałów EVA oznaczonych symbolami: EVA-1, EVA-2, EVA-3, EVA-4 i EVA-5. Materiał EVA-1 różnił się od pozostałych materiałów składem chemicznym. W procesie wytwórczym dodano do mieszanki polimerowej 10% elastomeru charakteryzującego się wysoką składową sprężystą, to jest kopolimeru blokowego styren – butadien – styren (SBS).

Właściwości fizyko mechaniczne są szczególnym wyróżnikiem jakości tworzyw sztucznych. Dlatego też, wykonano badania jakościowe mikrokomórkowych materiałów EVA i oznaczono ich gęstość [6], twardość [7], odporność na wielokrotne zginanie [8] oraz parametry wytrzymałościowe przy rozciąganiu (naprężenie przy max sile, wydłużenie względne przy

zerwaniu) [9], a także wytrzymałość na rozdzieranie [10]. Gęstość badanych materiałów, wyznaczona za pomocą wagi hydrostatycznej, mieści się w zakresie od  $0,15\text{g/cm}^3$  do  $0,28\text{g/cm}^3$ . Gęstość mikrokomórkowych materiałów EVA jest odwrotnie proporcjonalna do stopnia ekspansji. Im mniejsza gęstość materiałów EVA, tym większy jest udział fazy gazowej w masie tworzywa, a co za tym idzie struktura badanego materiału jest bardziej porowata. Twardość badanych tworzyw, wyznaczona przy użyciu twardościomierza, mieści się w zakresie od 38 ShA do 59 ShA i zależy od ilości napełniacza, który wbudowując się w strukturę tworzywa utwardza go. Badania wytrzymałość na wielokrotne zginanie przeprowadzono za pomocą aparatu de Mattia przy częstotliwości zginania równej 5Hz w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ . Wszystkie badane materiały charakteryzują się wysoką odpornością na wielokrotne zginanie, ponieważ wytrzymały test 100 000 zgięć. Parametry mechaniczne badanych tworzyw były oznaczane za pomocą maszyny wytrzymałościowej INSTRON 4301 przy maksymalnym obciążeniu równym 5kN, przy prędkości rozdzierania równej 100 mm/min oraz przy prędkości rozciągania równej 500 mm/min. Charakterystyka badanych materiałów przedstawiona została w tabelach 1 i 2.

**Tab. 1.** Charakterystyka fizykochemiczna badanych materiałów.

Material	Gęstość, [ $\text{g/cm}^3$ ]	Twardość, [ShA]	Skład polimerowy, % wag.	
			EVA*	SBS**
EVA-1	0,28	59	90	10
EVA-2	0,16	40	100	0
EVA-3	0,13	38	100	0
EVA-4	0,15	45	100	0
EVA-5	0,21	51	100	0

\*EVA – kopolimer etylenu z octanem winylu o zawartości octanu winylu od 18% do 28%;

\*\*SBS – kopolimer blokowy styren – butadien - styren o zawartości butadienu powyżej 30%

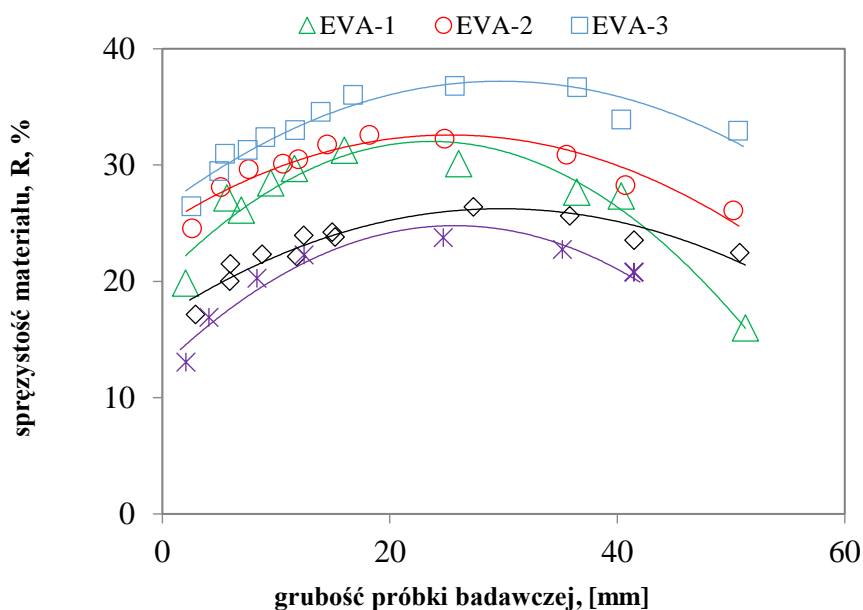
**Tab. 2.** Charakterystyka mechaniczna badanych materiałów.

Material	Odporność na zginanie, [mm]	Naprężenie przy max sile, [MPa]	Wydłużenie względne przy zerwaniu, [%]	Wytrzymałość na rozdzieranie, [kN/m]
EVA-1	0	3,1	106	2,8
EVA-2	0	1,5	102	1,5
EVA-3	0	1,4	119	1,3
EVA-4	0	1,4	80	1,2
EVA-5	0	2,5	109	2,8

W celu oznaczenia sprężystości danego materiału przygotowane zostały próbki badawcze, których powierzchnie (górną i dolną) były względem siebie równoległe i z których usunięta była skórka integralna. Próbki do badań o wymiarach 100 mm × 100 mm stanowiły pojedyncze części o grubości 2÷3 mm albo układy wielowarstwowe złożone ze swobodnie ułożonych pojedynczych części (tzn. bez użycia spoiwa) o grubości 4÷50 mm.

#### 4. Rezultaty badań i dyskusja wyników

Wyniki badań charakteryzujące właściwości sprężyste mikrokomórkowych materiałów EVA przedstawiono w formie graficznej (rys. 3). Wartość sprężystości (R) jest średnią wartością z pięciu pomiarów wykonanych w różnych miejscach dla każdej badanej próbki. Urządzenie umożliwia wyznaczenie wysokości odbicia kulki z dokładnością do  $\pm 1\%$  całkowitej wysokości spadania (tj.  $\pm 5$  mm).



Rys. 3. Wpływ grubości próbek badawczych na sprężystość badanych materiałów.

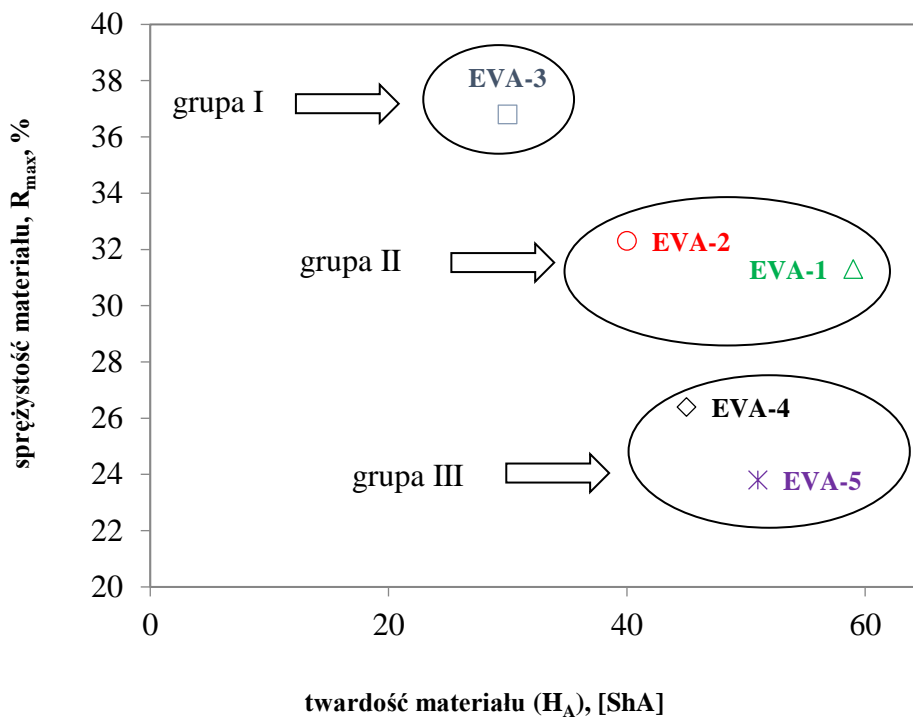
Wyniki badań wskazują, że istnieje zależność sprężystości materiału od: grubości próbki badawczej, liczby pojedynczych części w układzie wielowarstwowym stanowiącym próbkę badawczą oraz od parametrów fizykochemicznych materiału. Najniższe wartości sprężystości zostały zarejestrowane dla próbek, które stanowiły pojedyncze części danego materiału, o grubości 2÷3 mm. Dla tych próbek sprężystość osiągnęła następujące wartości: 18% dla EVA-1, 25% dla EVA-2, 27% dla EVA-3, 17% dla EVA-4 i 13% dla EVA-5. W tych warunkach na

oznaczaną wielkość wpływa stalowe podłoże, na którym umieszcza się próbkę badawczą. Dla próbek badawczych, które stanowiły układ wielowarstwowy (od 2 do 25 warstw), o grubości od 4 mm do 50 mm, sprężystość początkowo rośnie wraz z liczbą warstw i osiąga wartość maksymalną ( $R_{max}$ ) przy średniej grubości próbek równej 25 mm. Oznaczona sprężystość wynosi odpowiednio: 31% dla EVA-1, 32% dla EVA-2, 37% dla EVA-3, 26% dla EVA-4 i 24% dla EVA-5. Wraz z dalszym wzrostem grubości próbki sprężystość dla układów wielowarstwowych maleje i osiąga wartość odpowiednio: 16% dla EVA-1, 26% dla EVA-2, 33% dla EVA-3, 22% dla EVA-4 i 20% dla EVA-5.

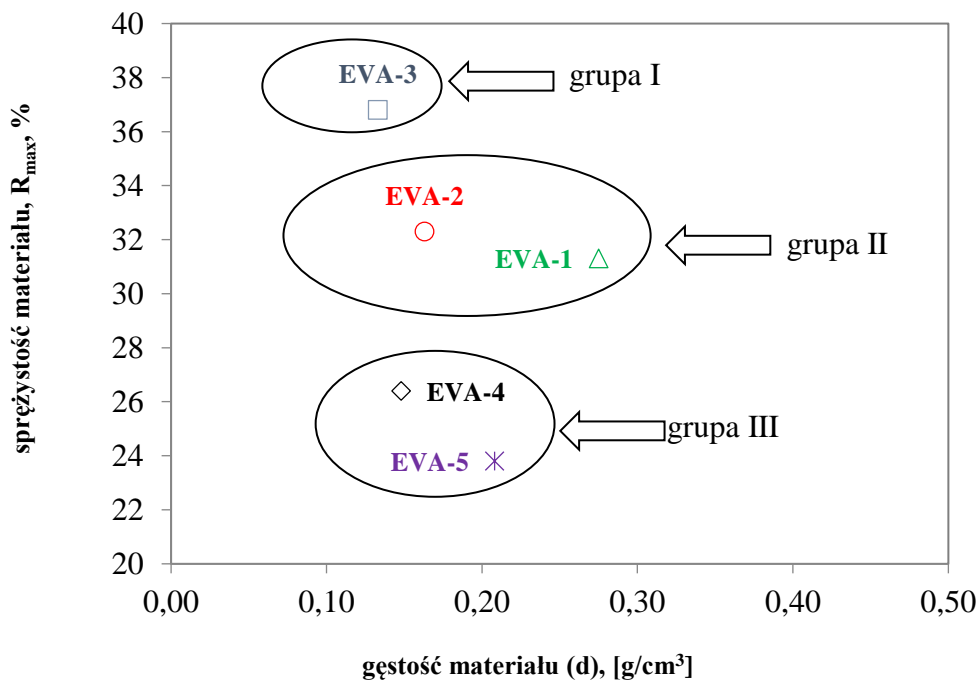
W układach wielowarstwowych składających się z co najmniej 15 warstw, o grubości powyżej 30 mm, zauważono wpływ na sprężystość badanych materiałów tzw. „poduszek powietrznych” tworzących się między pojedynczymi warstwami. Wraz ze wzrostem ilości „poduszek powietrznych” rejestrowany jest spadek sprężystości wywołany rozproszeniem energii uderzenia. Ponadto, dalsza analiza wyników badań doprowadziła do sklasyfikowania badanych materiałów do trzech grup sprężystości (rys. 4, 5):

- grupa I – sprężystość powyżej 35%,
- grupa II – sprężystość w zakresie od 30% do 35%,
- grupa III – sprężystość poniżej 30%.

Do grupy I zaklasyfikowano materiał EVA-3, charakteryzujący się największą sprężystością spośród badanych materiałów, która wynosi 37% i charakteryzuje się jednocześnie najniższą twardością (30 ShA) oraz najniższą gęstością ( $0,13 \text{ g/cm}^3$ ). Do grupy II i III zaklasyfikowano materiały posiadające zbliżoną sprężystość, ale różniące się twardością i gęstością. Dla materiału EVA-1, o twardości 59 ShA i gęstości  $0,28 \text{ g/cm}^3$ , maksymalna wartość sprężystości wynosi 31,0%, a dla materiału EVA-2, o twardości 40 ShA i gęstości  $0,16 \text{ g/cm}^3$ , maksymalna wartość sprężystości wynosi 32%. Jednocześnie materiał EVA-1 różni się od pozostałych materiałów składem polimerowym, oprócz kopolimeru etylenu z octanem winylu zawiera również 10% wagowych kopolimeru blokowego styren – butadien – styren. Dodatek kopolimeru SBS wpływa na poprawę zarówno właściwości mechanicznych, jak i sprężystych materiału EVA-1 w porównaniu do materiału EVA-2. Do grupy III zaklasyfikowano materiały EVA-4 i EVA-5. W przypadku materiału EVA-4, o twardości 45 ShA i gęstości  $0,15 \text{ g/cm}^3$ , maksymalna wartość sprężystości wynosi 26%, a dla materiału EVA-5, o twardości 51 ShA i gęstości  $0,21 \text{ g/cm}^3$ , maksymalna wartość sprężystości wynosi 20%.



Rys. 4. Wpływ twardości próbek badawczych na sprężystość badanych materiałów.



Rys. 5. Wpływ gęstości próbek badawczych na sprężystość badanych materiałów.



## 5. Wnioski

1. Zaprojektowane i skonstruowane stanowisko badawcze do oznaczania sprężystości tworzyw porowatych i mikrokomórkowych pozwala na charakterystykę właściwości sprężystych materiałów pod kątem aplikacji w obuwiu dla osób aktywnych.
2. Badane materiały można zaklasyfikować do trzech grup sprężystości: grupa I – materiały o sprężystości powyżej 35%, grupa II – materiały o sprężystości od 30% do 35% i grupa III – materiały o sprężystości poniżej 30%.
3. Najlepsze właściwości sprężyste ( $R_{max} = 37\%$ ) posiada materiał o symbolu EVA-3, który charakteryzuje się najniższą gęstością i najniższą twardością wśród badanych materiałów.
4. Dodatek do mieszanki polimerowej 10% wagowych zawartości kopolimeru SBS wpływa na poprawę właściwości mechanicznych badanych materiałów przy zachowaniu sprężystości w zakresie od 30% do 35%.
5. Przeprowadzone badania sprężystości mikrokomórkowych materiałów EVA dla próbek o grubość mieszczącą się w zakresie od 20 mm do 30 mm wskazują, że zakłócenia pomiaru, takie jak efekt podłoża i efekt „poduszek powietrznych”, zostały zminimalizowane. Jednakże do oznaczenia sprężystości zaleca się stosowanie próbek, które stanowią pojedyncze części, a nie układy wielowarstwowe.

Badania będą kontynuowane w zakresie oceny wpływu struktury materiałów mikrokomórkowych EVA na jego właściwości amortyzujące, czyli zdolności tłumienia energii uderzenia oraz w zakresie opracowania wymagań jakościowych materiałów o właściwościach sprężystych i amortyzujących.

## Podziękowania

Autorzy dziękują Przedsiębiorstwu Produkcyjnemu „PAGUM” Bogusław Papież i wspólnicy Sp. J. za przekazanie próbek badawczych.

Autorzy dziękują Panu Sebastianowi Wajdzie, za opracowanie oprogramowania obsługującego urządzenie do oznaczania sprężystości elastycznych tworzyw mikrokomórkowych.

## Literatura

- [1] PL170277 (1996), *Sposób formowania wielowarstwowych spodów z mikrokomórkowych kopolimerów etylenu z octanem winylu.*
- [2] PL179931 (2000), *Sposób formowania kształtek.*
- [3] Grimshaw P., Less A., Fowler N., Burden A.: *Biomechanika sportu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017.
- [4] Stöggel T., Wunsch T.: *Biomechanics of Marathon Running: [w:] Marathon Running: Physiology, Psychology, Nutrition and Training Aspects*, C. Zinner, B. Sperlich (Eds.), Springer, Berlin, 2016, str. 13 – 45.
- [5] EN ISO 8307:2007: *Elastyczne tworzywa sztuczne porowate – Oznaczenie sprężystości przy odbiciu.*
- [6] PN-ISO 2781 +AC1:1996: *Guma - Oznaczanie gęstości.*
- [7] PN-EN ISO 868:2005: *Tworzywa sztuczne i ebonit - Oznaczanie twardości metodą wciskania z zastosowaniem twardościomierza (twardość metodą Shore'a).*
- [8] PN-87/O-91132 *Materiały obuwiowe. Guma i tworzywa na podeszwy. Wyznaczenie odporności na wielokrotne zginanie.*
- [9] PN-ISO 37:2007 *Guma i kauczuk termoplastyczny - Oznaczanie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu.*
- [10] PN-ISO 34-1:2007 *Guma i kauczuk termoplastyczny - Oznaczanie wytrzymałości na rozdzieranie - Część 1: Próbki do badań prostokątne, kątowe i łukowe.*