

# Ocena uszkodzeń polimerowych podnosków stosowanych w obuwiu ochronnym – studium przypadku

Paulina Kropidłowska<sup>1), \*)</sup>, Emilia Irzmańska<sup>1)</sup>, Magdalena Jurczyk-Kowalska<sup>2)</sup>

DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2019.7.8](https://dx.doi.org/10.14314/polimery.2019.7.8)

**Streszczenie:** Oceniano uszkodzenia polimerowych podnosków stosowanych najczęściej w obuwiu ochronnym, dostępnym w handlu. Badania laboratoryjne obejmowały wytrzymałość na obciążenie ściskające standardowe i niestandardowe występujące w rzeczywistych warunkach pracy. Z wykorzystaniem analizy mikroskopowej oceniano strukturę materiałów podnosków poddanych testom odporności na ściskanie. Wyniki badań wskazują, że polimerowe podnoski nie ulegają uszkodzeniom pod wpływem zarówno standardowego (10, 15 kN), jak i niestandardowego (20 kN) obciążenia ściskającego.

**Słowa kluczowe:** polimerowe podnoski, obuwanie ochronne, wytrzymałość na ściskanie.

## Evaluation of damage of polymeric toecaps used in protective footwear – case study

**Abstract:** The damages of polymer toecaps most commonly used in commercial protective footwear were assessed. The toecaps were tested in the laboratory using standard compressive loads and a non-standard load that may occur in an actual workplace. By using microscopic analysis, the structure of toecap materials subjected to compression resistance tests was examined. The results of the study indicate that both standard (10 and 15 kN), as well as non-standard (20 kN) loads do not cause mechanical damage in the toecap structure.

**Keywords:** polymer toecaps, protective footwear, compression resistance.

Do wytwarzania elementów ochronnych w konstrukcji środków ochrony indywidualnej, takich jak: ochrony palców w obuwiu, skorupy hełmów ochronnych, elementy środków ochrony oczu i twarzy [1] wykorzystuje się materiały polimerowe, najczęściej termoplastyczne, m.in. polietylen, poliamid oraz poliwęglan [2]. Najszybszy rozwój obserwuje się w wypadku kompozytów hybrydowych umożliwiających połączenie różnego rodzaju wzmocnień struktury polimeru. Taka modyfikacja materiału, uwzględniająca tendencję do zmniejszania masy właściwej gotowej ochrony, skutkuje zachowaniem korzystnych właściwości wytrzymałościowych przy jednoczesnej redukcji masy wykonanych elementów [3].

W wypadku elementów ochronnych stosowanych w obuwiu (podnosków) wykorzystuje się materiały metalowe oraz kompozytowe. Obiecującą grupę materiałów stanowią kompozyty polimerowe, m.in. kompozyty wzmocniane włóknem szklanym, włóknem węglowym, włóknami aramidowymi lub nanocząstkami [4, 5]. Masa

wytworzonych elementów ochronnych jest kluczowa, ponieważ podnoski są jednym z najcięższych elementów obuwia (stanowią około 35 % jego masy) [6]. Istotny jest więc dobór materiału o maksymalnie zredukowanej masie, zachowującego dobre właściwości mechaniczne [6, 7]. Dlatego też do osnowy polimerowej stosowanej często w konstrukcji niemetalowych podnosków wprowadza się włókna wzmacniające. W porównaniu z tradycyjnymi materiałami – metalami i ich stopami – kompozyty polimerowe wykazują korzystny stosunek wytrzymałości do masy, a także dużą odporność na pękanie [8]. Osnowę stanowią najczęściej polimery termoutwardzalne (poliestry, poliepoksydy) oraz termoplastyczne (nie-nasycone poliwęglany, poliamidy), zbrojenie kompozytu mogą natomiast stanowić włókna węglowe, szklane lub aramidowe. Właściwości wytworzonego kompozytu zależą nie tylko od rodzaju, ale też od kształtu, wymiarów i orientacji włókien oraz od ich koncentracji i rozkładu [9].

Ze względu na korzystne właściwości wytrzymałościowe i optymalny koszt produkcji jako zbrojenie kompozytów stosowanych w elementach ochronnych obuwia często wykorzystuje się włókna szklane. Najczęściej są to włókna wytworzone ze szkła borowo-glinowo-krzemowego (oznaczenie E) lub magnezowo-glinowo-krzemowego (oznaczenie S). Najpowszechniej stosowaną formą takiego zbrojenia jest zbrojenie włóknami ciągłymi

<sup>1)</sup> Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochrony Osobistych, ul. Wierzbowa 48, 90-133 Łódź.

<sup>2)</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa.

\*) Autor do korespondencji; e-mail: pakro@ciop.lodz.pl

w postaci tkaniny [10]. Kompozyty zbrojone włóknami węglowymi również wykazują bardzo dobre właściwości mechaniczne, a jednocześnie małą gęstość. Ocenia się, że charakteryzują się one znacznie lepszą wytrzymałością niż kompozyty zbrojone włóknami szklanymi, zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych, a także w środowisku o zwiększonych wilgotności i temperaturze [11]. Wytrzymałość włókien aramidowych jest trzykrotnie większa niż włókien szklanych [12]. Z tego względu stosuje się je jako wzmocnienie w kompozytach wykorzystywanych do wytwarzania elementów poddawanych dużym obciążeniom. Włókna aramidowe są sztywniejsze niż włókna szklane i węglowe oraz odporniejsze na działanie czynników środowiskowych w podwyższonej temperaturze [13, 14]. Jako wzmocnienie w kompozytach stosuje się także rozwiązania hybrydowe, np. połączenie włókien aramidowych i szklanych, poprawiające wytrzymałość kompozytów na ściskanie [15, 16]. Polimerowe materiały kompozytowe wykorzystane w konstrukcji elementów ochronnych zmniejszają ich masę, co wpływa na zwiększenie komfortu użytkowania obuwia do zastosowań zawodowych [17].

Autorzy prac [16] i [18] oceniali odporność na ściskanie polimerowych materiałów kompozytowych zastosowanych w podnoskach w korelacji z absorpcją energii, średnim obciążeniem w procesie kruszenia i maksymalnym obciążeniem szczytowym – parametrami symulującymi oddziaływanie sił ściskających – w odniesieniu do kompozytów na osnowie żywicy epoksydowej napełnionej włóknami węglowymi, aramidowymi oraz węglowymi z aramidowymi [16], a także kompozytów żywic poliestrowych z włóknami szklanymi [18]. Niewiele prac jest poświęconych badaniom odporności materiałów polimerowych i kompozytowych o złożonej geometrii, uformowanych jako podnoski, w kontekście oceny ich struktury.

Podnoski w obuwiu pełnią ważną funkcję ochronną. Umieszczone w przedniej górnej części obuwia mają za zadanie zmniejszenie obrażeń wynikających ze zmiżdżenia palców stóp pod wpływem uderzenia [19]. Według danych statystycznych GUS jest to drugi najczęściej występujący uraz u poszkodowanych w wypadkach przy pracy [20, 21].

Ze względów praktycznych istotna jest odpowiednia ocena podnosków ochronnych w laboratorium. Obecnie stosowane metody badań i specyfikacje dotyczące oceny skuteczności ochronnego działania obuwia nie zawsze odzwierciedlają rzeczywiste ryzyko, na które jest narażony użytkownik. Metody badań wytrzymałości mechanicznej materiału podnosków nie uwzględniają ponadto wszystkich przewidywalnych warunków eksploatacji związanych z występowaniem np. większych sił ściskania lub uderzenia (spadające przedmioty) niż określone w normach. Obuwie ochronne z podnoskami, które uzyskało pozytywną ocenę w badaniach laboratoryjnych, w warunkach użytkowania może wykazywać skuteczność mniejszą niż oczekiwana. Występujące róż-

nice wynikają z rzeczywistych ograniczeń w metodyce, związanych z odmiennymi przewidywalnymi warunkami eksploatacji.

Nieliczne prace dotyczące oceny skuteczności działania ochronnego obuwia odnoszą się do wpływu niestandardowych obciążeń ściskających na materiał konstrukcyjny podnoska. Badano zależność odkształcenia materiałów poddanych obciążeniu ściskającemu od ich grubości. Oceniano kompozyty na osnowie z polipropylenu wzmocnianej włóknami naturalnymi. Stwierdzono, że podnoski złożone z jednej warstwy kompozytu wytrzymały obciążenie rzędu 655 N, natomiast podnoski dwuwarstwowe – obciążenie rzędu 1490 N [22]. Określano również rodzaj uszkodzeń występujących na skutek sił ściskających w materiałach kompozytowych na bazie żywicy epoksydowej napełnianej włóknami węglowymi, aramidowymi oraz węglowymi połączonymi z aramidowymi. Kompozyty napełnione włóknami aramidowymi wykazywały kruche pęknięcia [14], natomiast w kompozytach z włóknami węglowymi stwierdzono załamania struktury [16]. W pracy [18] oceniano wytrzymałość podnosków wytworzonych z kompozytów poliestru i włókien szklanych na oddziaływanie sił statycznych. Na górnej powierzchni podnosków stwierdzono delaminację i zerwanie włókien.

Obecnie w celu potwierdzenia właściwości parametrów ochronnych podnosków przeprowadza się standardowe badania laboratoryjne [23]. Cechy eksploatacyjne obuwia ochronnego są przypisane jego poszczególnym elementom konstrukcyjnym, zapewniającym w określonych warunkach skuteczność i bezpieczeństwo stosowania. Na każdym z etapów przygotowania, wytwarzania i eksploatacji podnosków wykorzystywanych w obuwiu ochronnym istotna jest odpowiednia ocena jakości użytych materiałów kompozytowych. Występowanie w materiałach wad w postaci np. rozwarstwień, pęknięć lub ugięć wpływa na pogorszenie właściwości, a w konsekwencji cech użytkowych podnosków z nich wykonanych [18, 19].

Badania materiału podnosków obejmują odporność na ściskanie z zastosowaniem standardowego obciążenia ściskającego (10 kN i 15 kN) oraz szerokość prześwitu między górną krawędzią podnoska a podłożem [24–26], kwalifikującą obuwiu ochronne pod względem wymagań normy w zakresie bezpieczeństwa użytkowania. Metodyka nie uwzględnia jednak większych wartości obciążeń ściskających występujących w rzeczywistym środowisku pracy, a skutki ich działania mogą mieć kluczowe znaczenie dla zmian struktury podnoska w obuwiu ochronnym i w konsekwencji bezpieczeństwa jego użytkownika w środowisku pracy.

Obuwie ochronne ma chronić pracowników przed urazami nóg, niestety osłabienie mechaniczne struktury podnoska może przyczynić się do pogorszenia bezpieczeństwa użytkowników. Miarodajna ocena właściwości ochronnych obuwia w warunkach większych obciążeń mechanicznych, uwzględniająca badanie struktury ma-

teriału poddanego testom wytrzymałościowym, umożliwia producentom obuwia ochronnego wprowadzenie ulepszących modyfikacji.

Celem pracy było zbadanie uszkodzeń kompozytowych materiałów polimerowych stosowanych w obuwiu ochronnym. Badanie ograniczono do podnosków pozyskanych z dostępnych w handlu dwóch rodzajów obuwia ochronnego, najczęściej użytkowanego i ocenianego w laboratorium. Oceniano wpływ badań laboratoryjnych z wykorzystaniem standardowego obciążenia ściskającego (10 kN i 15 kN) oraz obciążenia niestandardowego 20 kN, występującego w rzeczywistych warunkach pracy, na powstawanie niebezpiecznych z punktu widzenia późniejszej eksploatacji w środowisku pracy uszkodzeń mechanicznych w strukturze polimerowych podnosków.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiały

Badano wykonane z materiałów polimerowych podnoski dwóch rodzajów obuwia typu trzewik (tabela 1). Próbkę wyseparowano z gotowego obuwia ochronnego, dostępnego na rynku (Nitrax, Niemcy). Pierwsza grupa próbek pochodziła z obuwia do ochrony stóp przed urazami mechanicznymi, stosowanego najczęściej w wybranych trzech zakładach pracy na terenie województwa łódzkiego. Druga grupa próbek obejmowała podnoski z obuwia najczęściej badanego w laboratorium CIOP-PIB.

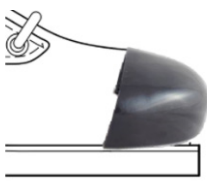
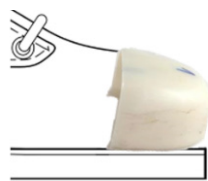
### Metodyka badań

#### Skład chemiczny materiału podnosków

Skład chemiczny materiału badanych podnosków oceniano metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR-ATR). Próbkę w postaci wycinków przykładano do diamentowego kryształu analizatora o głębokości penetracji promienia 1,7  $\mu\text{m}$  i rejestrowano

T a b e l a 1. Charakterystyka badanych podnosków

T a b l e 1. Toecaps tested in the study

Próbka	Próbka	
	A	B
Skład	materiał kompozytowy – poliwęglan + napełniacz	materiał polimerowy – poliwęglan
Grubość	3,0 mm	3,5 mm
Twardość	72 ShD	69 ShD
Masa	69 g	53 g
Zdjęcie		

charakterystyczne widmo absorpcyjne za pomocą aparatu Nicolet 67009 firmy Thermo Electron Corporation (USA) z przystawką ATR (ang. *attenuated total reflectance*). Każdą próbkę skanowano 32 razy z rozdzielczością 4  $\text{cm}^{-1}$  w zakresie liczb falowych 400–4000  $\text{cm}^{-1}$ .

### Właściwości wytrzymałościowe podnosków

Badania przeprowadzono według metodyki własnej, z uwzględnieniem wymagań normy EN 12568:2010, z zastosowaniem maszyny wytrzymałościowej (ZWICK Z100W5A) wyposażonej w dwie równoległe płyty dociskowe. Podnoski poddawano ściskaniu, zwiększając obciążenie z prędkością  $5 \pm 2$  mm/min do chwili uzyskania zadanej wartości. Symulowano nacisk z obciążeniem standardowym, zgodnym z wymaganiami (10 kN i 15 kN) oraz, dodatkowo, z obciążeniem niestandardowym wynoszącym 20 kN. Zmiany w geometrii podnosków określano na podstawie pomiaru ich wysokości wewnętrznej w stanie nieuszkodzonym oraz po ściskaniu. Wyniki badań poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statistica. Istotność statystyczną wyników oceniano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Szczegółowe zróżnicowanie istotności między wariantami określano na podstawie testu Tukeya, przy poziomie istotności  $p \leq 0,05$ . Wartości podano w postaci średnich  $\pm$  odchyłeń standardowych (SD).

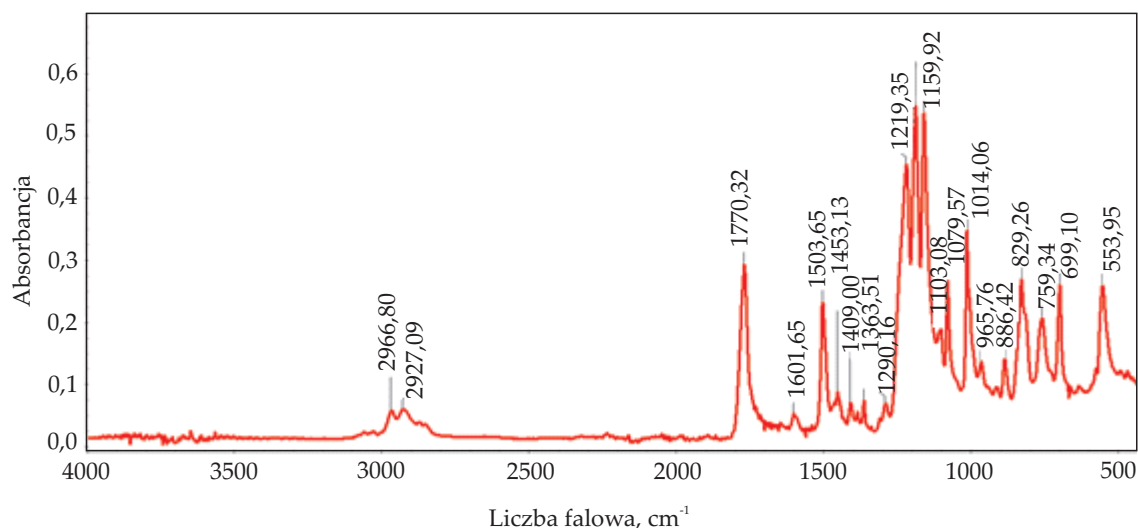
### Mikrostruktura materiału podnosków

Mikrostrukturę badanych materiałów oceniano za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) firmy HITACHI – SU8000 (Japonia). Mikroanalizę jakościową pierwiastków chemicznych wchodzących w skład badanych podnosków prowadzono przy użyciu spektrometru energodispersyjnego EDS firmy Thermo Fisher. Próbkę mrożono przez 5 minut w ciekłym azocie i poddawano łamaniu. Powierzchnie przełamów napyłano warstwą przewodzącą miedzi oraz molibdenu w wysokopróżniowej napyłarce firmy Gattan (USA). Obserwacje wykonano za pomocą detektora BSE, ujawniającego wymiary oraz kształt cząstek napełniaczy występujących w strukturze badanych materiałów polimerowych. W celu oceny uszkodzeń podnosków poddanych badaniom odporności na ściskanie przeprowadzono ich analizę mikroskopową. Badanym obszarem był przełom powstały w wyniku mechanicznego zniszczenia podnosków pod wpływem ściskania.

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

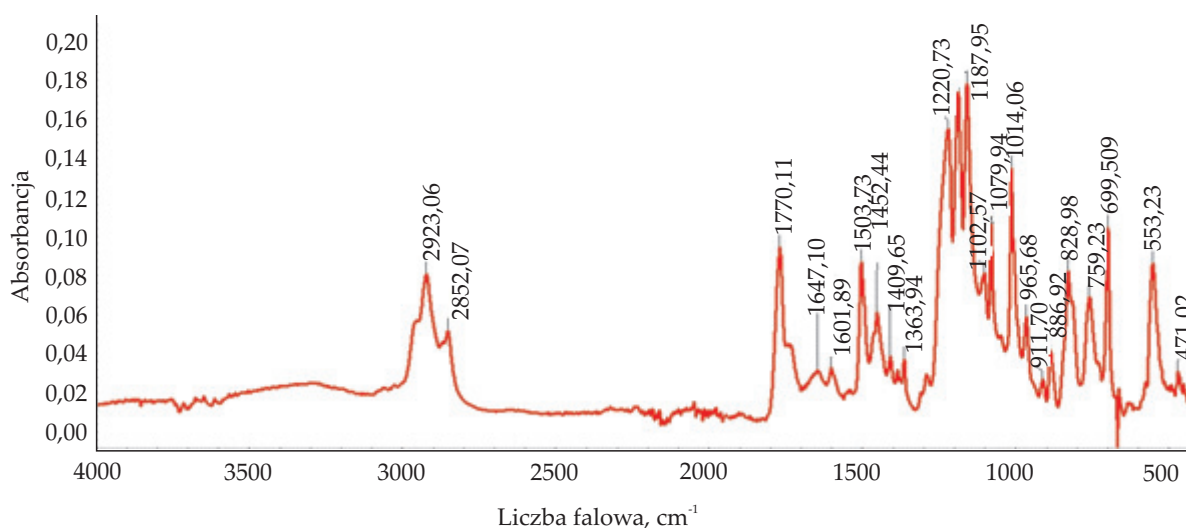
### Budowa chemiczna materiału podnosków

Strukturę chemiczną badanych materiałów wyznaczało na podstawie widm FT-IR (rys. 1 i 2). W wypadku obu rodzajów podnosków stwierdzono występowanie pasm



Rys. 1. Widmo FTIR-ATR materiału podnoska kompozytowego (próbka A)

Fig. 1. FT-IR spectrum of toecap composite material, sample A



Rys. 2. Widmo FTIR-ATR materiału podnoska polimerowego (próbka B)

Fig. 2. FT-IR spectrum of toecap polymer material, sample B

charakterystycznych dla grup funkcyjnych poliwęglanów. Pasma charakterystyczne w zakresie liczb falowych 2800–3000  $\text{cm}^{-1}$  odpowiadają drganiom rozciągającym wiązania C-H w grupach  $\text{CH}_3$ , w zakresie 1700  $\text{cm}^{-1}$  – drganiom rozciągającym grupy C=O, w zakresie 1500  $\text{cm}^{-1}$  – drganiom rozciągającym wiązania C=C, pasma w zakresie 1220–1160  $\text{cm}^{-1}$  oraz 1015  $\text{cm}^{-1}$  odpowiadają asymetrycznym drganiom rozciągającym grupy O-C-O, zaś w zakresie długości fali 1080  $\text{cm}^{-1}$  – drganiom grupy  $\text{CH}_3$  [27]. Nie zaobserwowano istotnych różnic w budowie badanych materiałów dwóch rodzajów podnosków, tj. A – poliwęglanu z napełniaczami i B – poliwęglanu.

#### Próba ściskania w symulowanych warunkach eksploatacji

Skuteczność działania ochronnego materiałów polimerowych podnosków oceniano na podstawie wyni-

ków badań odporności na ściskanie z zastosowaniem obciążeń standardowego i niestandardowego. Wyniki pomiarów wewnętrznej wysokości podnosków w stanie nieuszkodzonym oraz poddanych ściskaniu w symulowanych warunkach eksploatacji przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Uzyskane wartości ugięcia poddano analizie statystycznej i określono statystycznie istotne zmiany geometrii podnosków (tabela 4). W wypadku zarówno podnoska A (poliwęglan z napełniaczami), jak i podnoska B (poliwęglan) pod wpływem obciążenia ściskającego o wartości 20 kN następowało statystycznie istotnie zmniejszenie wysokości w porównaniu ze zmianą wysokości podnoska obserwowaną po zastosowaniu standardowego obciążenia ściskającego (10 i 15 kN).

Obserwowane ugięcie podnoska z materiału kompozytowego (próbka A) pod wpływem działania sił standardowych wynosiło 9–10 %, natomiast obciążenie nie-

**T a b e l a 2.** Wyniki badań wewnętrznej wysokości podnosków kompozytowych (próbka A)

**T a b l e 2.** Internal dimensions of composite toecaps (sample A)

Siła ściskająca kN	Podnoski nieuszkodzone	Podnoski poddane symulowanej eksploatacji
10	46,2	44,8
	46,1	43,3
	46,0	43,1
	46,2	43,4
	46,0	42,8
15	46,6	42,0
	46,3	42,0
	46,5	42,1
	46,7	41,8
	46,5	41,9
20	46,7	40,0
	46,6	39,7
	46,5	39,8
	46,6	39,6
	46,3	39,8

**T a b e l a 3.** Wyniki badań wewnętrznej wysokości podnosków polimerowych (próbka B)

**T a b l e 3.** Internal dimensions of polymeric toecaps (sample B)

Siła ściskająca kN	Podnoski nieuszkodzone	Podnoski poddane symulowanej eksploatacji
10	47,6	44,0
	47,9	44,6
	47,7	44,5
	47,9	44,8
	47,7	44,4
15	49,0	43,4
	49,1	43,8
	49,0	43,5
	49,1	43,8
	49,1	44,8
20	47,5	35,4
	47,4	35,2
	47,6	35,4
	47,2	35,5
	47,4	35,1

**T a b e l a 4.** Wyniki analizy statystycznej zmian wewnętrznej wysokości podnosków

**T a b l e 4.** Statistical analysis of variations in the internal height of toecaps

Podnosek kompozytowy (A)			
Siła ściskająca, kN	10	15	20
Wysokość, mm	43,48 ± 0,772c	41,96 ± 0,114b	39,78 ± 0,148a
Podnosek polimerowy (B)			
Siła ściskająca, kN	10	15	20
Wysokość, mm	44,46 ± 0,296b	43,86 ± 0,554b	35,32 ± 0,164a

Wartości oznaczone tymi samymi literami alfabetu są nieistotne statystycznie,  $p \leq 0,05$  (test Tukeya).

Values marked with the same letters of the alphabet are statistically insignificant,  $p \leq 0,05$  (Tukey test).

standardowe spowodowało ugięcie 14 %. W wypadku podnosków z materiału polimerowego (próbka B), ugięcie spowodowane obciążeniem standardowym wyniosło 8–11 %, a obciążeniem na poziomie 20 kN – 26 %. Analiza struktury materiałów wykazała, że zmiany wysokości próbki pod wpływem siły ściskającej są zależne od rodzaju materiału, z którego wykonano podnoski. Podnoski poliwęglanowe odkształciły się w większym stopniu niż podnoski z poliwęglanu z napełniaczami.

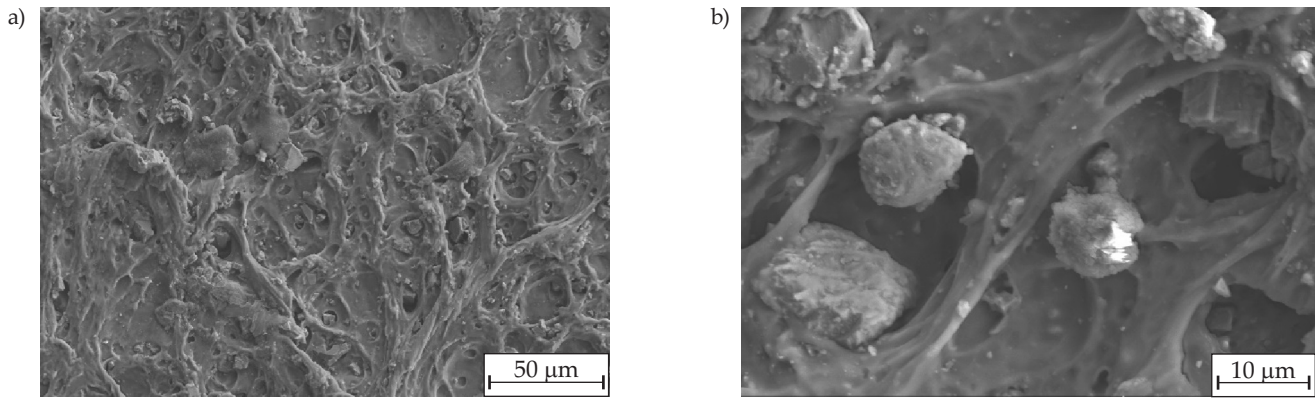
W wyniku ściskania na krawędzi podnoska wytworzonego z materiału polimerowego (próbka B) zaobserwowano zabielenia materiału. Obszar ten jest narażony na największe odkształcenia rozciągające na zewnętrznej powierzchni oraz ściskające na wewnętrznej powierzchni podnoska. Zjawisko to jest związane z orientacją makrocząstek materiału w kierunku naprężeń działających podczas ściskania podnoska. Zmiana orientacji makrocząstek prowadzi do zmiany mikrostruktury przełomu (por. rys. 6a i 7a). Zaobserwowano,

że zastosowanie większej wartości obciążenia skutkuje zwiększeniem obszarów o zorientowanych makrocząstkach.

### Mikrostruktura materiałów podnosków

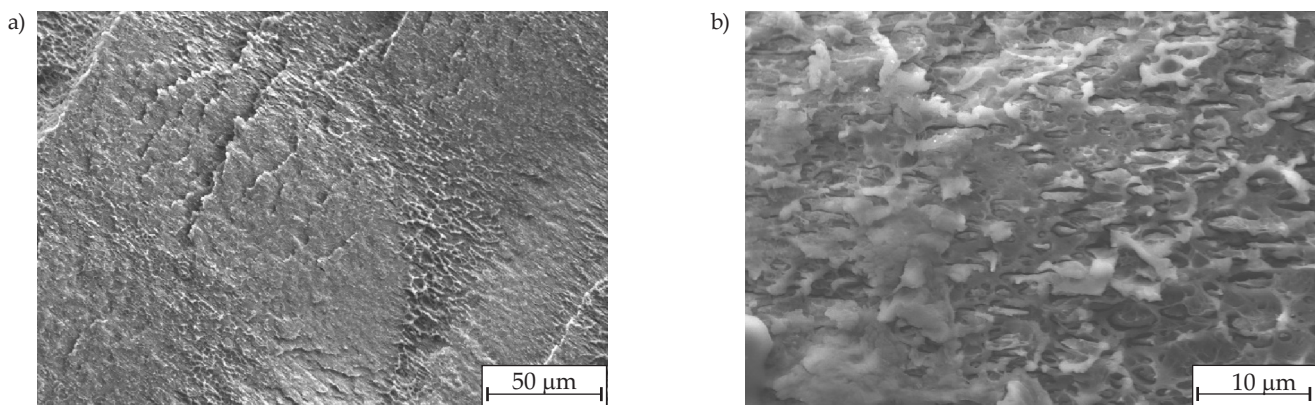
Na rys. 3 i 4 przedstawiono obrazy przełomu próbek materiałów podnoska kompozytowego i polimerowego. Badane przełomy, pomimo zmrożenia próbek w ciekłym azocie, mają charakter ciągliwy. W strukturze próbki A wyraźnie widoczne są cząstki napełniaczy o zróżnicowanych kształtach i wymiarach. Materiał próbki B wykazuje strukturę homogeniczną, typową dla kopolimerów częściowo krystalicznych [28].

Na podstawie obserwacji mikrostruktury próbki A stwierdzono występowanie w strukturze materiału dwóch rodzajów napełniaczy. Rysunek 5 przedstawia mapy składu chemicznego (EDS) powierzchni próbek,



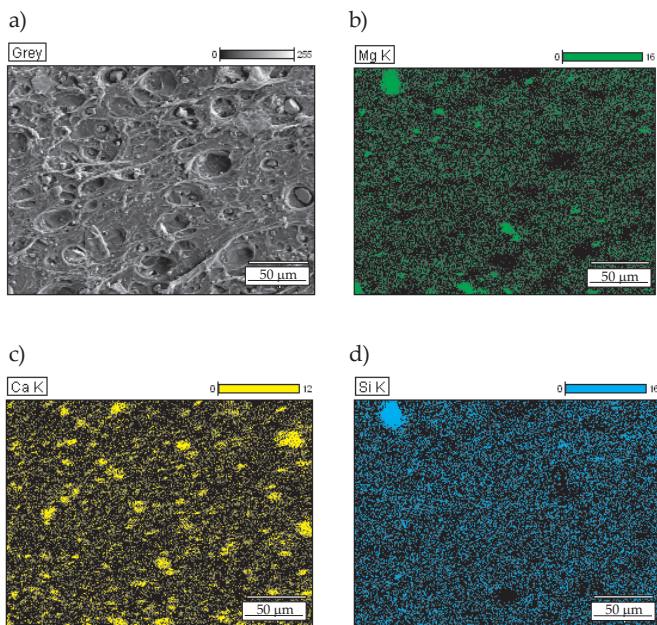
Rys. 3. Mikrostruktura przełomu próbki A, powiększenie: a) 500×, b) 2000×

Fig. 3. Microstructure of fracture surface of sample A: magnification 500× (a) and 2000× (b)



Rys. 4. Mikrostruktura przełomu próbki B, powiększenie: a) 500×, b) 2000×

Fig. 4. Microstructure of fracture surface of sample B: magnification 500× (a) and 2000× (b)



Rys. 5. a) Mikrostruktura (EDS) próbki A i mapy stężenia pierwiastków na powierzchni przełomu próbki A: b) Mg, c) Ca, d) Si  
Fig. 5. Microstructure of sample A (a) and map of concentration of elements on fracture surface of sample A: b) Mg, c) Ca, d) Si

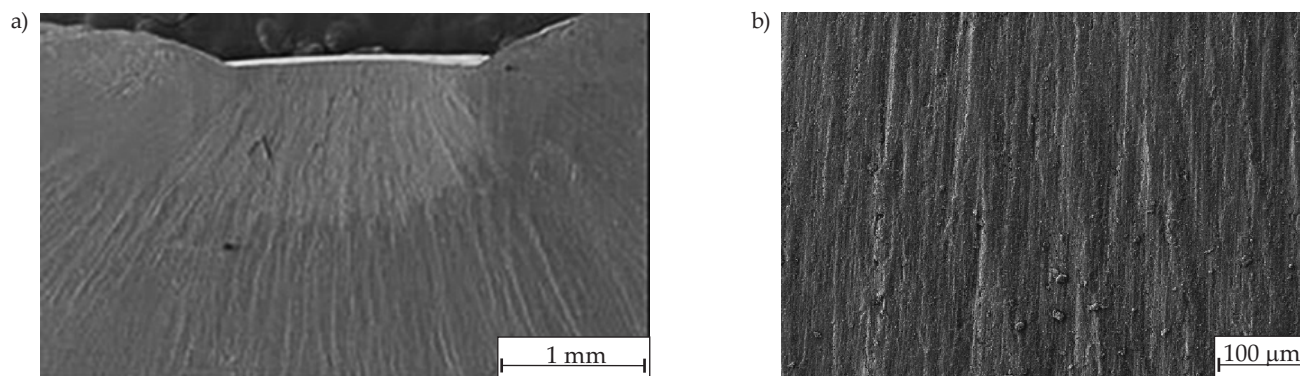
z których wynika, że w składzie cząstek napełniaczy znajdują się Mg, Ca i Si.

Na rysunkach 6a i 7a przedstawiono mikrostrukturę przełomów próbek poddanych testom ściskania. Stwierdzono, że w wyniku działania sił w temperaturze pokojowej w obszarze największych naprężeń dochodzi do ukierunkowania makrocząstek (rys. 6b i 7b).

Uzyskane wyniki badań dowodzą, że na skutek oddziaływania sił ściskających zarówno standardowych (10 kN i 15 kN), jak i niestandardowych (20 kN), w materiale podnosków kompozytowych oraz polimerowych nie wystąpiły defragmentacja, pęknięcia w strukturze oraz uszkodzenia istotne ze względów bezpieczeństwa użytkownika obuwia. Planowane są dalsze badania w tym zakresie z uwzględnieniem obciążeń cyklicznych, również występujących w rzeczywistym środowisku pracy.

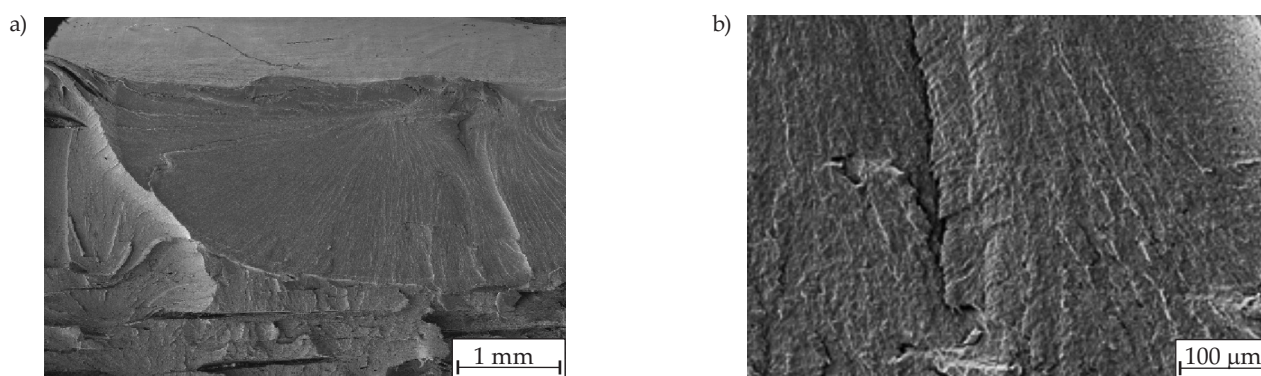
## PODSUMOWANIE

Stosowanie ochron palców wykonanych z odpowiednich materiałów konstrukcyjnych zmniejsza ryzyko urazów kończyn dolnych spowodowane czynnikami mechanicznymi. Podnoski wytworzone z materiału kompozytowego o źle dobranej grubości, wykazujące wytrzymałość na ściskanie na niewystarczającym poziomie nie spełniają jednak swojej funkcji ochronnej. Niewłaściwy



Rys. 6. Przełom próbki A, strefa największych odkształceń powstałych w wyniku ściskania

Fig. 6. Breakthrough of sample A resulted from compression in the zone of greatest deformations



Rys. 7. Przełom próbki B, strefa największych odkształceń powstałych w wyniku ściskania

Fig. 7. Breakthrough of sample B resulted from compression in the zone of greatest deformations

dobór materiałów w konstrukcji podnosków może skutkować ich niedostateczną odpornością na kruche uszkodzenia oraz defragmentację, stwarzając tym samym dodatkowe zagrożenia dla użytkowników obuwia.

Ciągły rozwój i postęp technologiczny umożliwia opracowywanie nowych tworzyw polimerowych o specjalnych właściwościach i ich aplikację w środkach ochrony indywidualnej. Wymaga to jednak szczegółowych badań właściwości i struktury nowo opracowanych materiałów metodami uwzględniającymi przewidywalne, zbliżone do rzeczywistych warunki ich stosowania.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu wieloletniego programu „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017–2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

#### LITERATURA

- [1] Majchrzycka K., Jachowicz M., Okrasa M. i in.: *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach* **2015**, 1 (11), 38.
- [2] Koradecka D.: “Use of Personal Protective Equipment in the Workplace” w: „Handbook of Human Factors and Ergonomics” (Ed. Salvendy G.), John Wiley & Sons Press, USA 2012, str. 895–910.
- [3] Fejdyś M., Łandwajt M.: *Techniczne Wyroby Włókiennicze* **2010**, 18, 12.
- [4] Wójcik P., Irzmańska E.: *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* **2016**, 6, 17.
- [5] Scheffer M.: *HSME Magazine Health & Safety Middle East* **2012**, 19, 25.
- [6] Chiou S.S., Turner N., Zwiener J. i in.: *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society* **2012**, 54, 373.  
<https://doi.org/10.1177/0018720811433464>
- [7] Turner N.L., Chiou S., Zwiener J. i in.: *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **2010**, 7, 477.  
<https://doi.org/10.1080/15459624.2010.486285>
- [8] Mayer P., Kaczmar J.W.: *Tworzywa Sztuczne i Chemia* **2008**, 6, 52.
- [9] Dobrzański L.A.: „Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo”, WNT, Warszawa 2002.
- [10] Gibson R.F.: “Principles of composite material mechanics”, McGraw Hill, 1994.
- [11] Yang C.Q., Wu Z.S., Huang H.: *Carbon* **2007**, 45, 3027.

- <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2007.09.001>
- [12] Fejdyś M., Landwijt M.: *Techniczne Wyroby Włókiennicze* **2010**, 18, 12.
- [13] Singh T.J., Samanta S.: *Materials Today: Proceedings* **2015**, 2, 1381.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.057>
- [14] Rajesh S., Ramnath B.V., Elanchezhian C. i in.: *Materials Today: Proceedings* **2018**, 5, 1156.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.196>
- [15] Tang L.-C., Wan Y.-J., Yan D. i in.: *Carbon* **2013**, 60, 16.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.03.050>
- [16] Kim J.-S., Yoon H.-J., Shin K.-B.: *International Journal of Impact Engineering* **2011**, 38, 198.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2010.11.007>
- [17] Irzmańska E.: *International Journal of Industrial Ergonomics* **2014**, 44, 706.  
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.07.006>
- [18] Lee S.M., Lim T.S., Lee D.G.: *Composite Structures* **2005**, 67, 167.  
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.09.009>
- [19] Kwon J.Y., Campbell J.T., Myerson M.S. i in.: *Foot Ankle International* **2011**, 32, 443.  
<https://doi.org/10.3113/FAI.2011.0443>
- [20] Wypadki przy pracy w 2017 r. – dane wstępne, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2018.
- [21] Wypadki przy pracy w 2016 r. – Informacje i Opracowania Statystyczne, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2017.
- [22] Yang C.C., Duhovic M., Lin R.J.T. i in.: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **2009**, 4, 012010.
- [23] Wójcik P., Irzmańska E.: *Przegląd WOS* **2016**, 7, 22.
- [24] EN ISO 20344:2011 Personal protective equipment – Test methods for footwear.
- [25] EN ISO 20345:2011 Personal protective equipment. Safety footwear.
- [26] EN 12568:2010 Foot and leg protectors – Requirement and test methods for toecaps and penetration resistant inserts.
- [27] Li J., Chen F., Yang L. i in.: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2017**, 184, 361.  
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.04.07>
- [28] Jeziórska R., Wielgosz Z., Szadkowska A. i in.: *Polimery* **2016**, 61, 710.  
<https://doi.org/10.14314/polimery.2016.710>

Otrzymano 3 XII 2018 r.