

Olga OLEJNIK<sup>1</sup>, Emilia IRZMAŃSKA<sup>1\*</sup>, Jakub SARAMAK<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>SMK3D Jakub Saramak, ul. Pabianicka 49, 95-082 Chechło Pierwsze

\*Adres do korespondencji: emirz@ciop.lodz.pl

## **MATERIAŁY POLIMEROWE PRZEZNACZONE DO RĘKAWIC ODPORNÝCH NA PRZECIĘCIE WYTWARZANE Z ZASTOSOWANIEM TECHNIKI DRUKU 3D**

**Streszczenie.** Według najnowszych statystyk GUS z dnia 10 kwietnia 2024 r., najliczniejszą grupę urazów w wypadkach przy pracy, pod względem jego umiejscowienia, stanowią urazy kończyn górnych (43,4%). Do tego typu wypadków bardzo często dochodzi w wyniku kontaktu z przedmiotem ostro zakończonym, dlatego jednym z istotnych obecnie działań są badania i rozwój w zakresie materiałów antyprzecięciowych przeznaczonych na rękawice ochronne. Celem pracy było otrzymanie metodą zgrzewania hybrydowego materiału polimerowego o potwierdzonych ochronnych właściwościach antyprzecięciowych, składającego się z warstwy termoplastycznej uzyskanej technologią druku 3D oraz nośnika tekstylnego. Dla otrzymanego hybrydowego materiału polimerowego wyznaczono odporność na przecięcie, zgodnie z normami: PN-EN 388+A1:2019-01 (małe ostre przedmioty) i PN-EN ISO 13997:2023-11 (duże ostre przedmioty). Na podstawie otrzymanych wyników zaprojektowany materiał zakwalifikowano do poziomu skuteczności na poziomie 2, zgodnie z PN-EN 388+A1:2019-01 oraz do poziomu skuteczności na poziomie D, zgodnie z PN-EN 388+A1:2019-01. Tym samym potwierdzono dobre właściwości ochronne w zakresie odporności na przecięcie otrzymanego hybrydowego materiału polimerowego.

*Słowa kluczowe: druk 3D, rękawice ochronne, materiały hybrydowe, materiały antyprzecięciowe*

## **POLYMERIC MATERIALS DEDICATED TO CUT RESISTANT PROTECTIVE GLOVES PREPARED USING 3D-PRINTING TECHNIQUE**

**Abstract.** According to the latest statistics of the Central Statistical Office of April 10, 2024, the largest group of injuries in accidents at work, in terms of their location, are upper limb injuries (43.4%). This type of accidents occurs very often as a result of contact with a sharp object, thus one of the important current activities is research and development in the field of anti-cut materials dedicated for protective gloves. The aim of the present work was to obtain (by contact welding) a hybrid polymer material with confirmed protective anti-cut properties, consisting of a thermoplastic layer prepared with the use of 3D printing technology and a textile carrier. The cut resistance of the obtained hybrid polymer material was determined in accordance with the standards: PN-EN 388 + A1: 2019-01 (small sharp objects) and PN-EN ISO 13997: 2023-11 (large sharp objects). Based on the obtained results, the designed material was classified as effective at level 2, in accordance with PN-EN 388+A1:2019-01 and as effective at level D, in accordance with PN-EN 388+A1:2019-01. These results confirmed good protective properties in terms of cut resistance of the obtained hybrid polymer material.

*Keywords: 3D-printing, protective gloves, hybrid materials, cut-resistant materials*

Opracowano i wydano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr I.PN.03 pt.: „Hybrydowe materiały kompozytowe przeznaczone do rękawic odpornych na przecięcie wytwarzane z zastosowaniem techniki druku 3D”.



Politechnika  
Śląska

**ENGINEERING POLYMERS  
AND COMPOSITES**



**CIOP  PIB**

# **Materiały polimerowe przeznaczone do rękawic odpornych na przecięcie wytwarzane z zastosowaniem techniki druku 3D**

**DR INŻ. OLGA OLEJNIK**

**DR HAB. INŻ. EMILIA IRZMAŃSKA**

**MGR INŻ. JAKUB SARAMAK**

**PRACOWNIA OCHRON RĄK I NÓG  
ZAKŁAD OCHRON OSOBISTYCH;  
CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY  
– PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

Opracowano i wydano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Projekt nr I.PN.03 pt.: „Hybrydowe materiały kompozytowe przeznaczone do rękawic odpornych na przecięcie wytwarzane z zastosowaniem techniki druku 3D”.

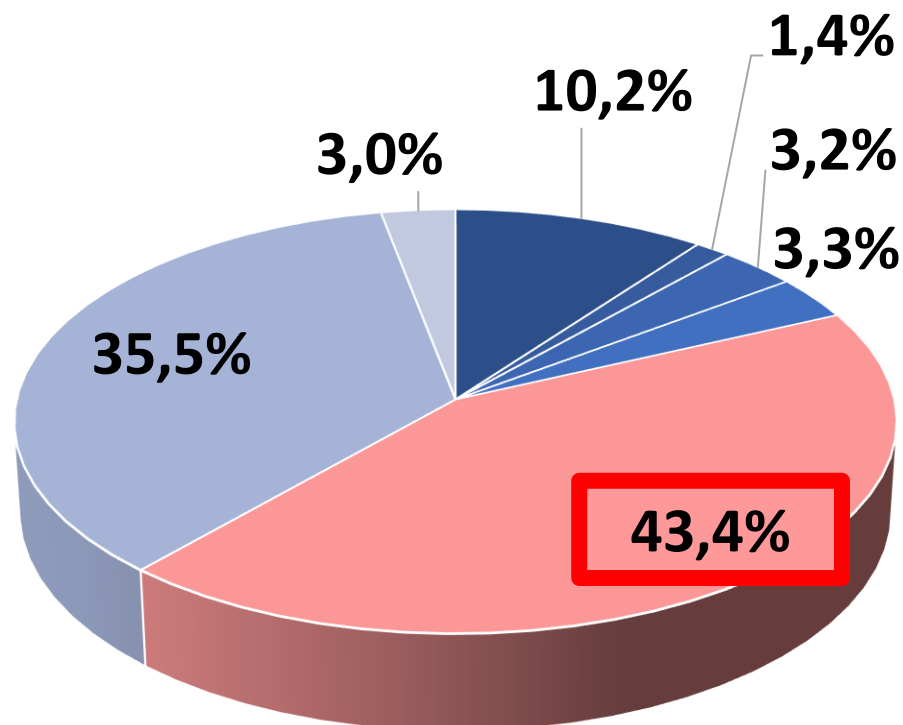
## POSZKODOWANI W WYPADKACH PRZY PRACY WEDŁUG UMIEJSCOWIENIA URAZU W 2023 r.

■ GŁOWA

■ SZYJA WRAZ Z  
KRĘGOSŁUPEM SZYJNYM■ GRZBIET ŁĄCZNIE Z  
KRĘGOSŁUPEM■ TUŁÓW I ORGANY  
WEWNĘTRZNE

■ KOŃCZYNY GÓRNE

■ KOŃCZYNY DOLNE

■ CAŁE CIAŁO I JEGO RÓŻNE  
CZĘŚCI

W 2023 r. zgłoszono **68663** osoby poszkodowane w wypadkach przy pracy, o **3,1% więcej** niż w 2022 r. Wzrosła również liczba poszkodowanych przypadająca na 1000 pracujących (wskaźnik wypadkowości) z 4,66 do 4,90.

Najliczniejszą grupę urazów w wypadkach przy pracy pod względem umiejscowienia urazu stanowią urazy kończyn górnych (43,4 %)



## POSZKODOWANI W WYPADKACH PRZY PRACY WEDŁUG WYDARZEŃ POWODUJĄCYCH URAZ W 2023 r.







**PRACOWNICY BUDOWLANI**



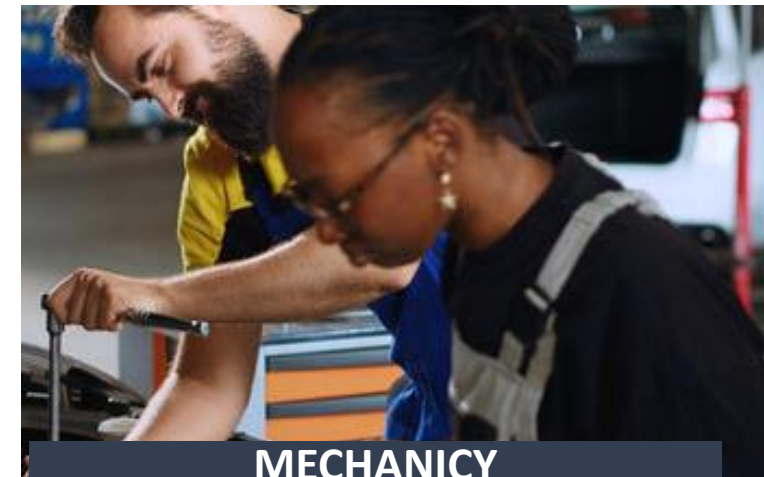
**OSOBY PRACUJĄCE NA LINIACH  
PRODUKCYJNYCH**



**OSOBY PRACUJĄCE PRZY  
OBRÓBCE METALI**

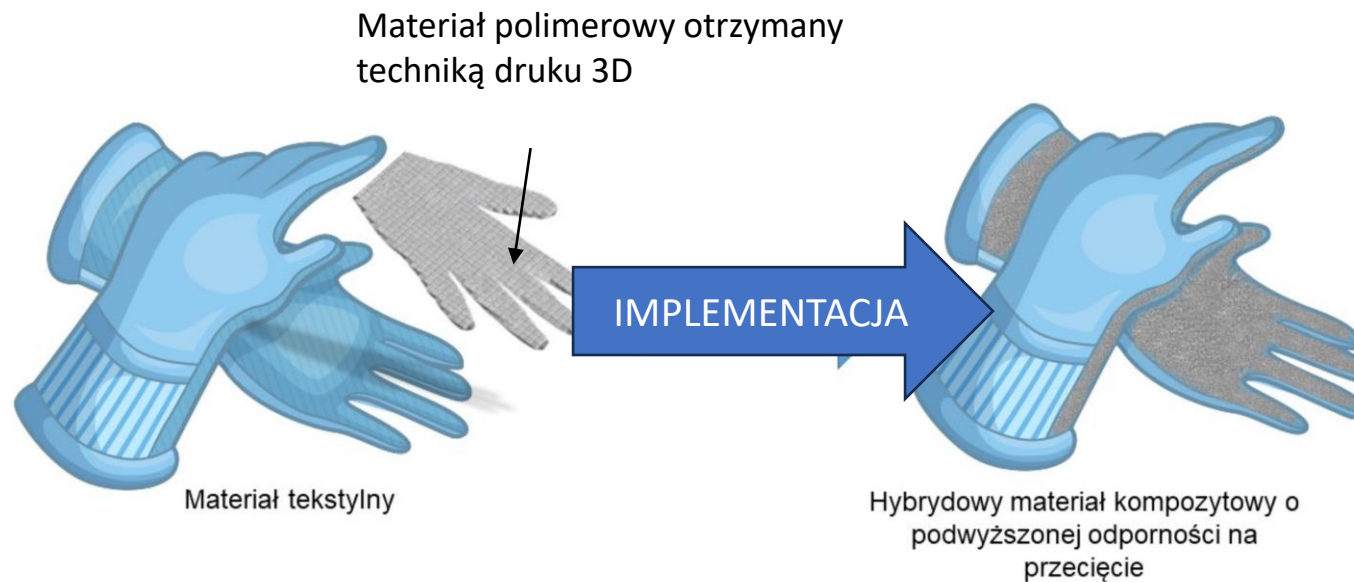


**OSOBY PRACUJĄCE PRZY MONTAŻU SZKŁA**



**MECHANICY**

**Celem badań** jest otrzymanie hybrydowych materiałów kompozytowych z uwzględnieniem techniki polimerowego druku 3D dedykowanych rękawicom ochronnym oraz potwierdzenie ich dobrych właściwości ochronnych w zakresie odporności na przecięcie.

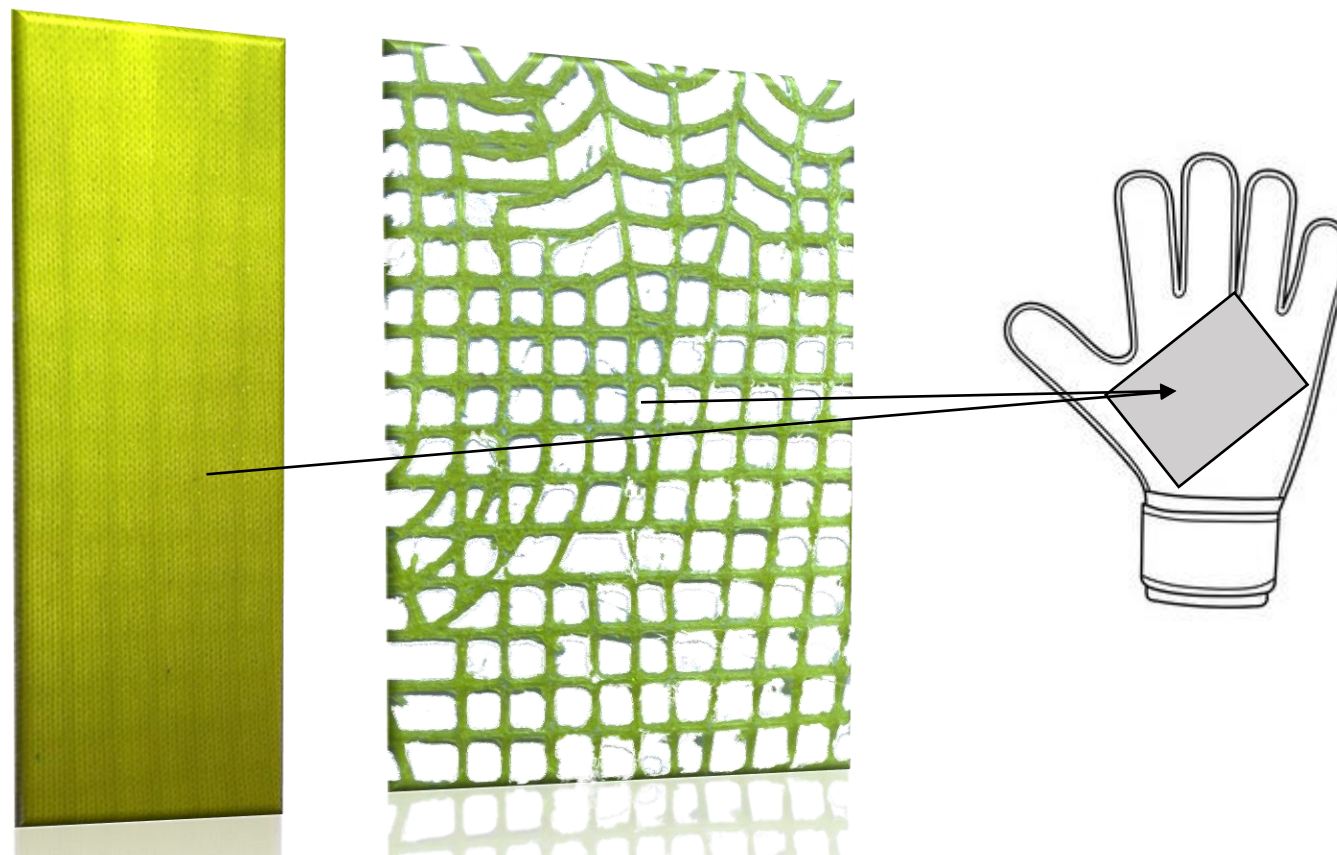




## ZALETY TECHNIKI DRUKU 3D W PRODUKCJI ŚRODKÓW OCHRONY INDYWIDUALNEJ

### ELEMENTY DRUKOWANE METODĄ 3D

- dzięki technice druku 3D możliwe jest drukowanie złożonych i skomplikowanych struktur, które mogą wzmocnić rękawice ochronne;
- złożone struktury drukowane techniką 3D można łączyć z materiałami powszechnie stosowanymi do produkcji rękawic ochronnych;
- technika druku 3D umożliwia otrzymanie rękawicy ochronnej w krótszym czasie



Przykład detali otrzymanych metodą druku 3D z kopolimeru poli(tereftalanu etylenu) (PET-G), które po zaimplementowaniu mogą pełnić rolę wzmocnienia w rękawicach ochronnych

- Dżianina poliestrowa (50,01 tex dostarczona przez firmę Zgoda S.A.)
- Wzmocnienia polimerowe wykonane techniką druku 3D przez firmę SMK 3D z komercyjnie dostępnych filamentów:
  - **PET-G** - filament z kopolimeru poli(tereftalanu etylenu) firmy Fiberlab S.A. (Brzezie, Polska) (nazwa handlowa: Fiberlogy EASY PET-G,  $\rho = 1.27 \text{ g/cm}^3$ )
  - **ABS** - filament z terpolimeru akrylonitrylo-butadieno-styrenowego, firmy Fiberlab S.A. (Brzezie, Polska) (nazwa handlowa: Fiberlogy EASY ABS,  $\rho = 1.04 \text{ g/cm}^3$ )
  - **PLA** - filament z polilaktydu firmy Fiberlab S.A. (Brzezie, Polska) (nazwa handlowa: Fiberlogy EASY PLA,  $\rho = 1.24 \text{ g/cm}^3$ )



**ABS**

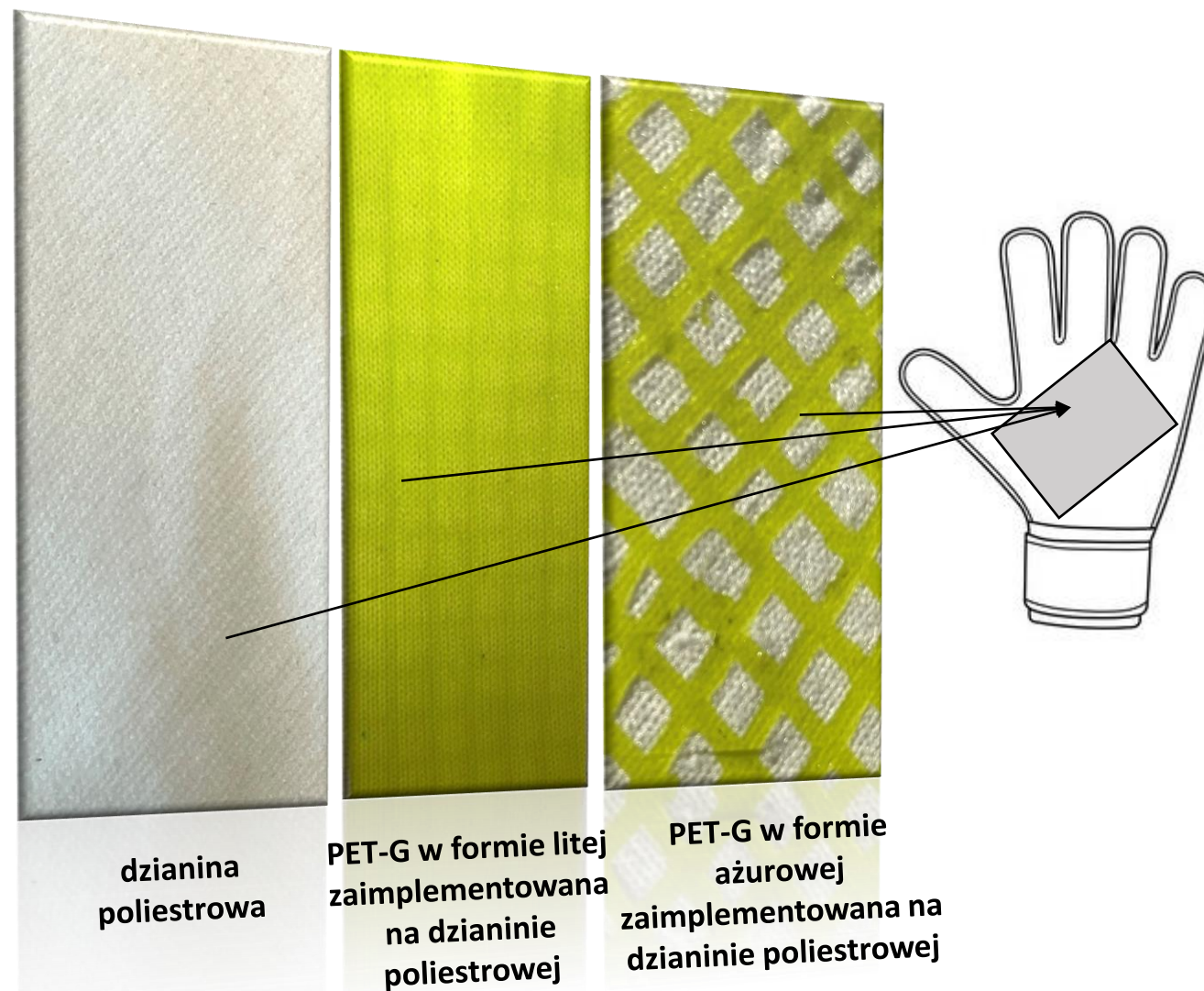


**PET-G**



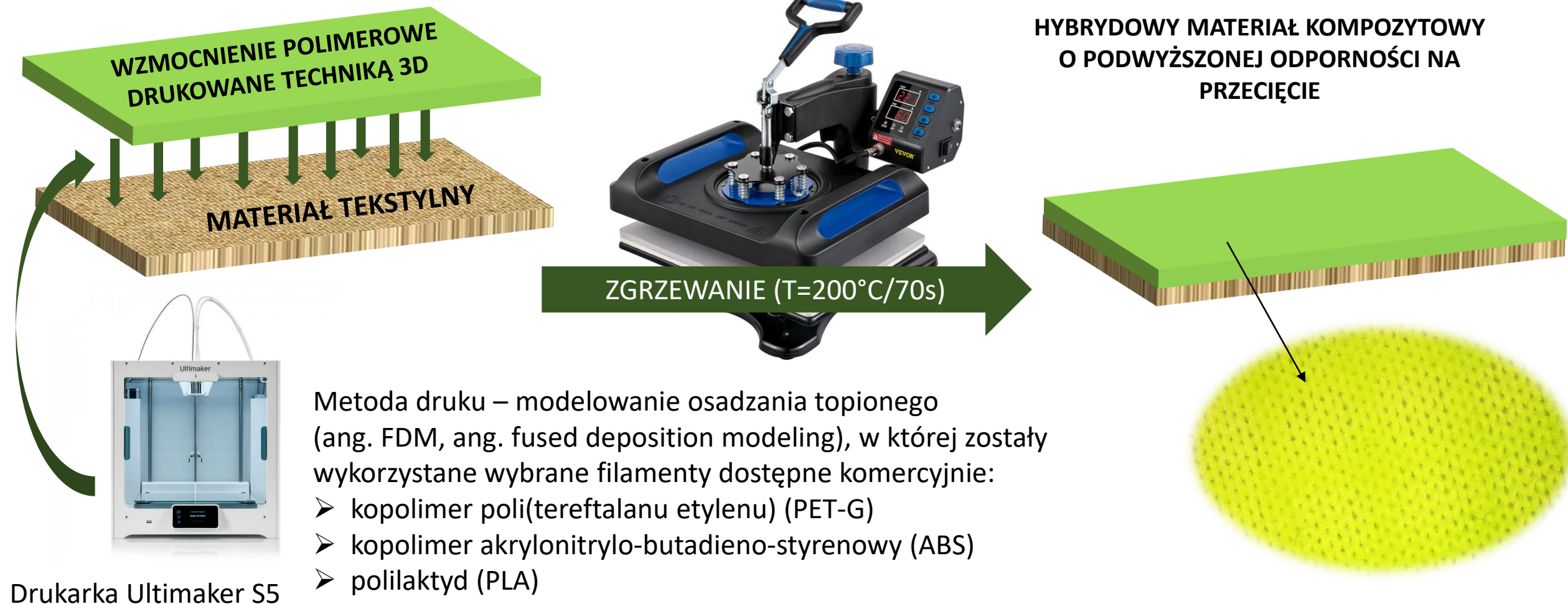
**PLA**

Przykład wytworzonych w skali laboratoryjnej hybrydowych materiałów kompozytowych (od lewej: tworzywo ABS zaimplementowane na dzianinie poliestrowej, PET-G na dzianinie poliestrowej, PLA na dzianinie poliestrowej).





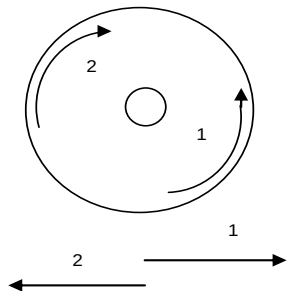
## Zastosowanie prasy termotransferowej do implementacji nakładki polimerowej otrzymanej techniką druku 3D na materiał tekstylny



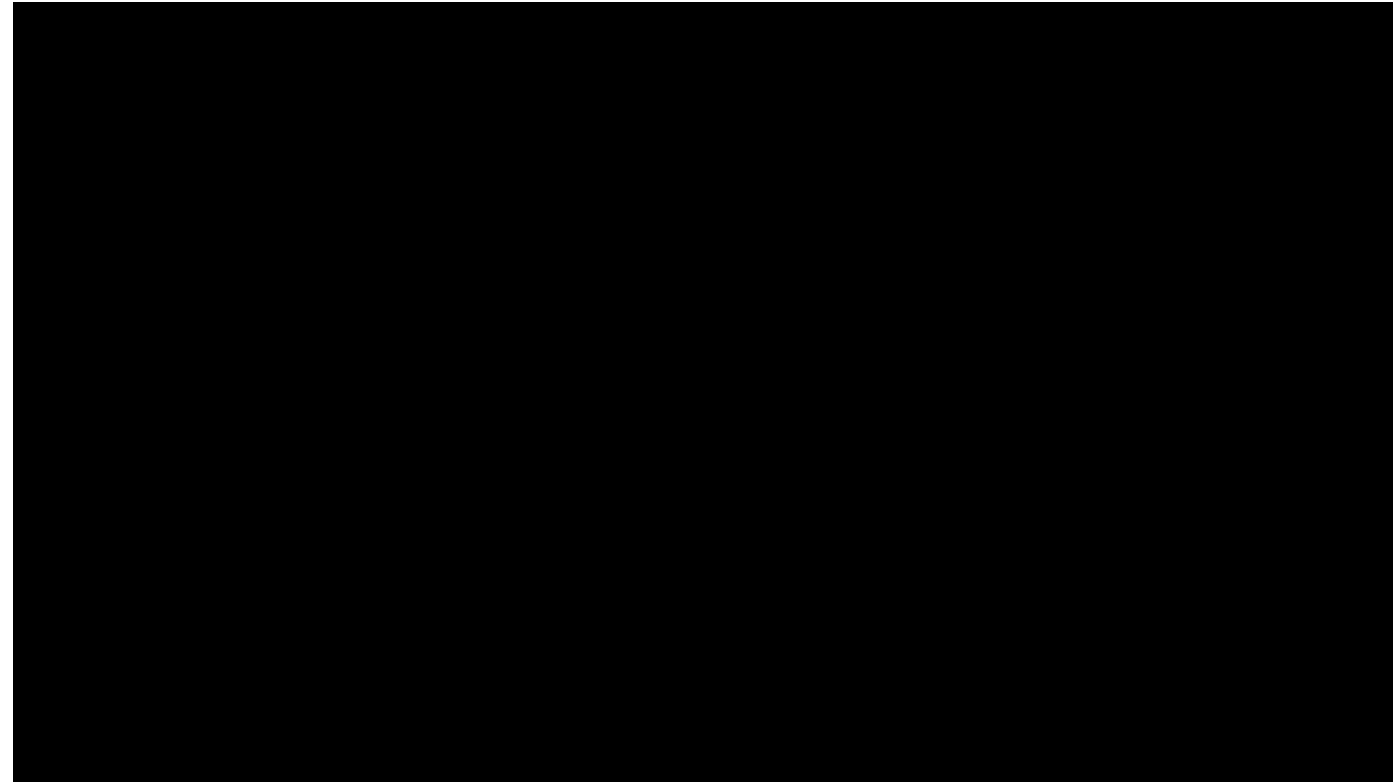
## METODA COUPTEST ZGODNA Z NORMĄ PN-EN 388+A1:2019-01 (EN 388:2016+A1:2018)

### Zasada badania

przecinanie próbek obracającym się  
i przemieszczającym okrągłym ostrzem. Wyznacza się  
wskaźnik „I” z uwzględnieniem liczby cykli powodujących  
przecięcie próbki tkaniny kontrolnej oraz próbki do badań.



Okrągłe ostrze stosowane w metodzie COUPTEST  
zgodnie z normą PN-EN 388+A1:2019-01 (EN  
388:2016+A1:2018)



## METODA COUPTEST ZGODNA Z NORMĄ PN-EN 388+A1:2019-01 (EN 388:2016+A1:2018)

Parametrem ocenianym, informującym o ochronie podczas pracy z ostrymi przedmiotami, jest **odporność materiału na przecięcie** wyrażona **wskaźnikiem I** ( $I = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 i_n$ ), który uwzględnia **liczbę cykli powodującą przecięcie próbki**.

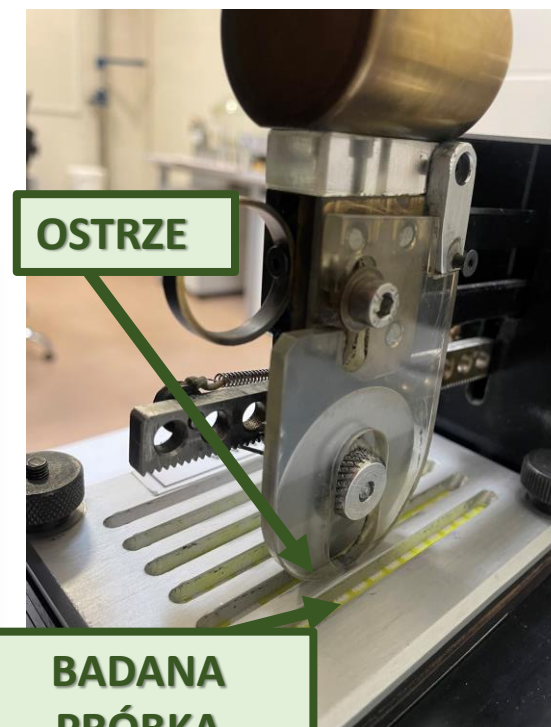
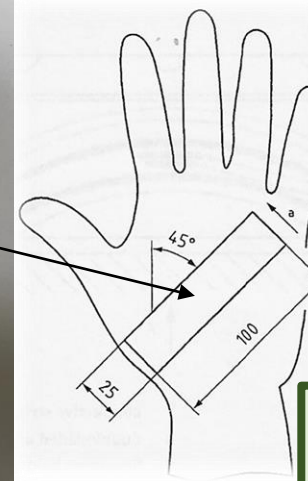
$\bar{C}_n$  - średnia liczba cykli wykonana dla próbki wzorcowej przed przecięciem i po przecięciu próbki do badań  
 $T_n$  - liczba cykli wykonana dla próbki badanej

$$i_n = \frac{(\bar{C}_n - T_n)}{\bar{C}_n}$$

| Poziom skuteczności | Odporność na przecięcie (wskaźnik I) |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1                   | 1,2                                  |
| 2                   | 2,5                                  |
| 3                   | 5,0                                  |
| 4                   | 10,0                                 |
| 5                   | 20,0                                 |



Próbki dzianiny poliestrowej ze wzmocnieniem polimerowych przygotowane do badania odporności na przecięcie (wycięta pod kątem 40°)



Próbka podczas badania metodą COUPTEST

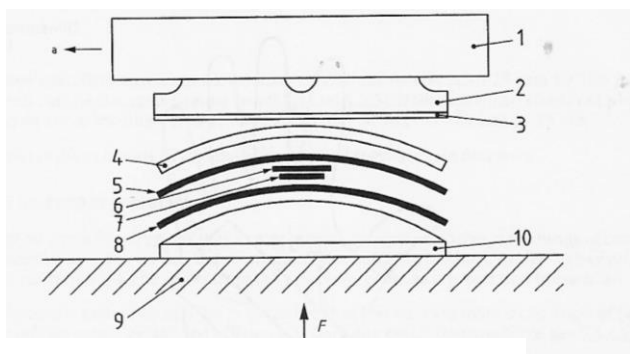


## METODA TDM ZGODNA Z NORMĄ PN-EN ISO 13997:2023-11 (EN ISO 13997:2023)

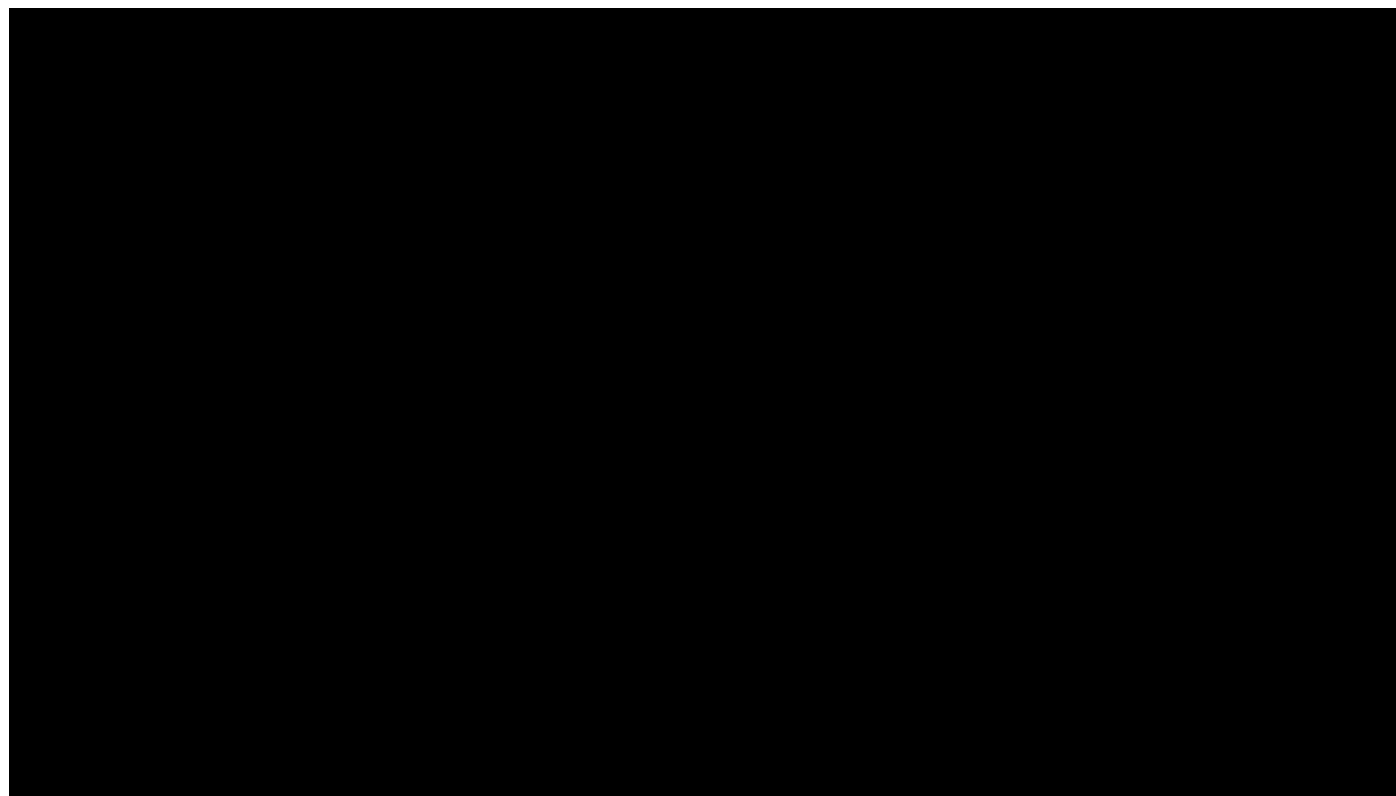
Rozwój nowych materiałów doprowadził do nowelizacji normy **EN 388** w 2016 r. i możliwość zastosowanie alternatywnej metody badania dla materiałów o dużej i bardzo dużej odporności na przecięcia według **EN ISO 13997**

### Zasada badania

przeciąganie ostrza o znormalizowanych parametrach przez próbkę ze stałą siłą normalną i pomiar drogi, którą pokonuje ostrze do przecięcia materiału. Wyznaczana jest wartość siły potrzebnej do przecięcia próbki przy przemieszczeniu się ostrza na odcinku 20 mm.



Okrągłe ostrze stosowane w metodzie COUPTEST  
zgodnie z normą PN-EN 388+A1:2019-01 (EN  
388:2016+A1:2018)

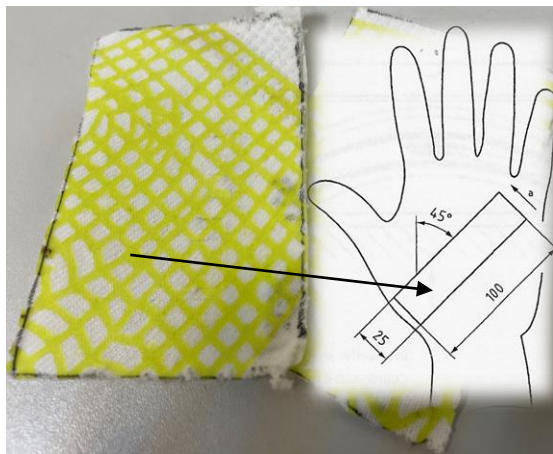


## METODA TDM ZGODNA Z NORMĄ PN-EN ISO 13997:2023-11 (EN ISO 13997:2023)

Rozwój nowych materiałów doprowadził do nowelizacji normy **EN 388** w 2016 r. i możliwość zastosowanie alternatywnej metody badania dla materiałów o dużej i bardzo dużej odporności na przecięcia według **EN ISO 13997**

**Parametrem ocenianym**, informującym o ochronie podczas pracy z ostrymi przedmiotami, jest **odporność materiału na przecięcie** wyrażona **siłą przedstawioną w N** potrzebną do przecięcia próbki.

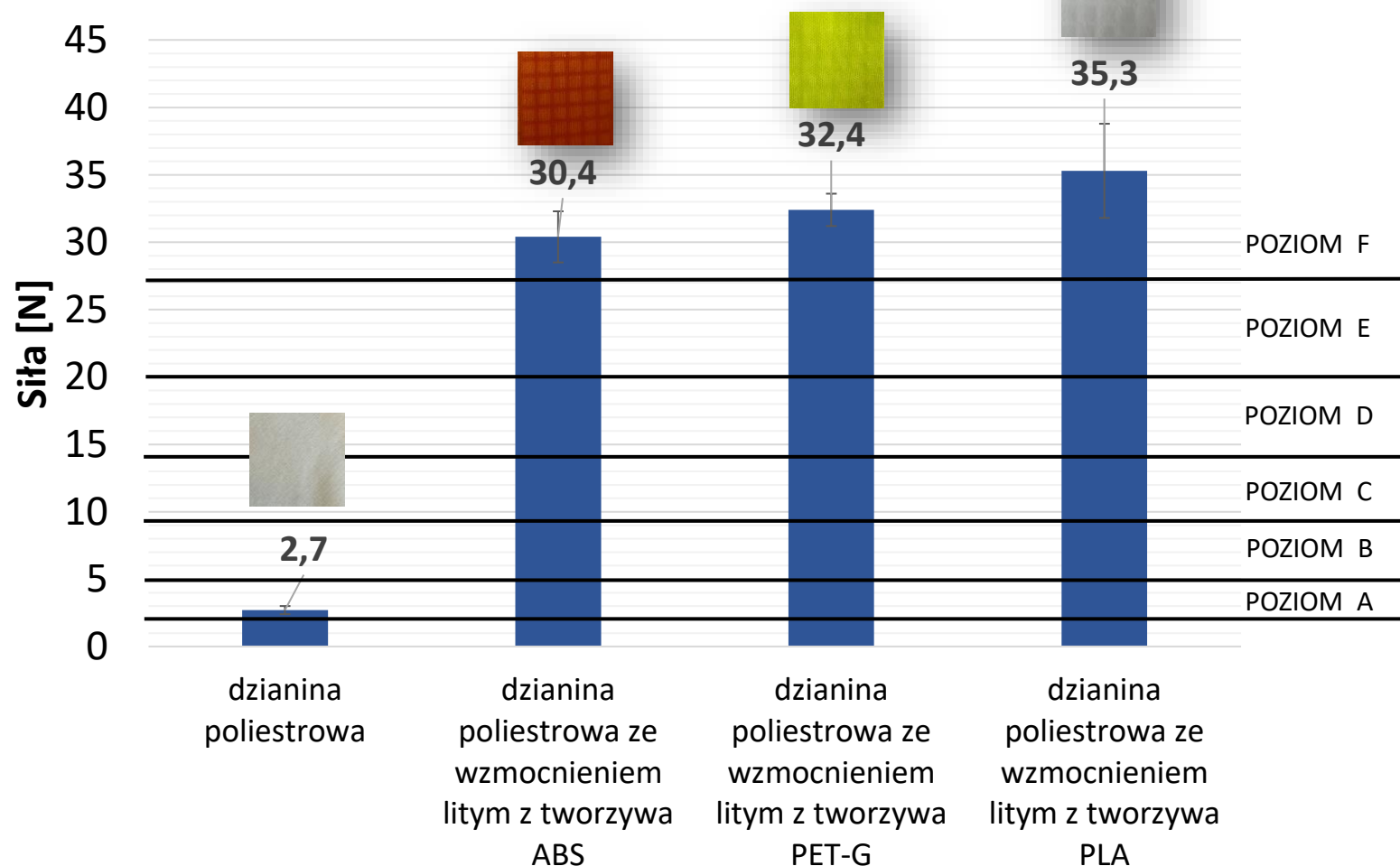
| Poziom skuteczności | Siła przecięcie [N] |
|---------------------|---------------------|
| A                   | 2                   |
| B                   | 5                   |
| C                   | 10                  |
| D                   | 15                  |
| E                   | 22                  |
| F                   | 30                  |



Próbki dzianiny poliestrowej ze wzmocnieniem polimerowych przygotowane do badania odporności na przecięcie (wycięta pod kątem 40°)

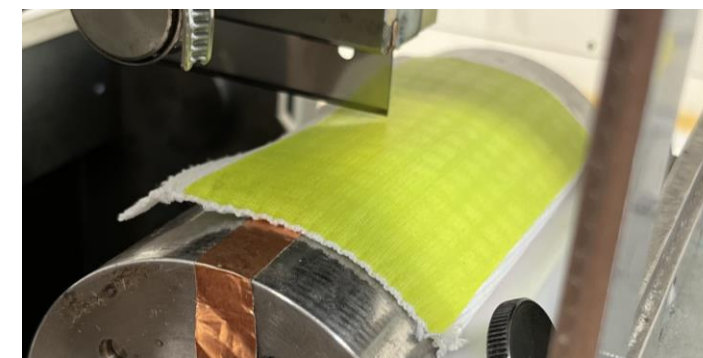


Wyniki odporności na przecięcie (metoda TDM zgodna z PN-EN ISO 13997:2023-11 (EN ISO 13997:2023)) dla dzianiny poliestrowej ze wzmocnieniami polimerowymi



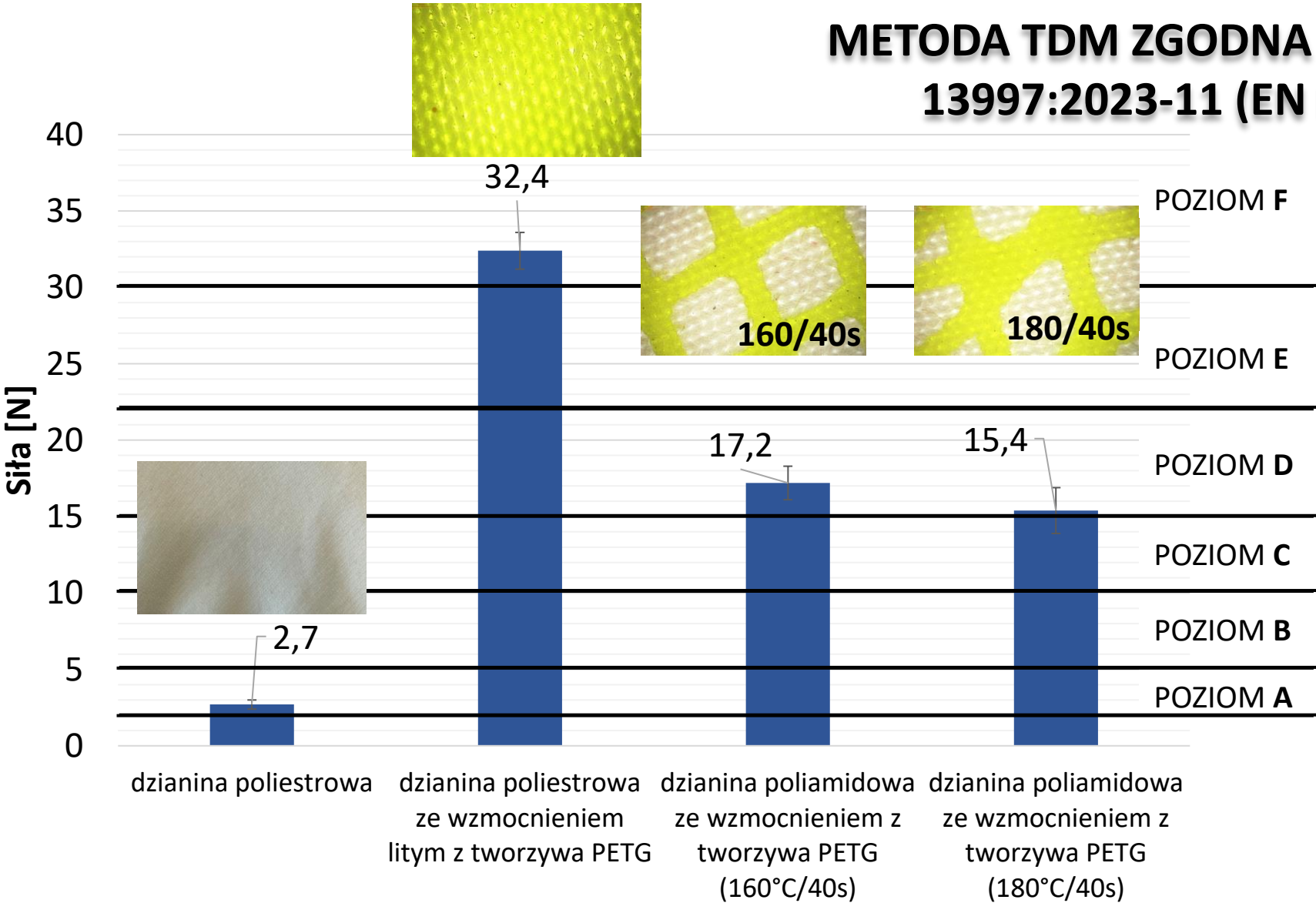
Poziomy skuteczności dla materiałów badanych wg EN ISO 13997

| Poziom skuteczności | Siła przecięcia [N] |
|---------------------|---------------------|
| A                   | 2                   |
| B                   | 5                   |
| C                   | 10                  |
| D                   | 15                  |
| E                   | 22                  |
| F                   | 30                  |



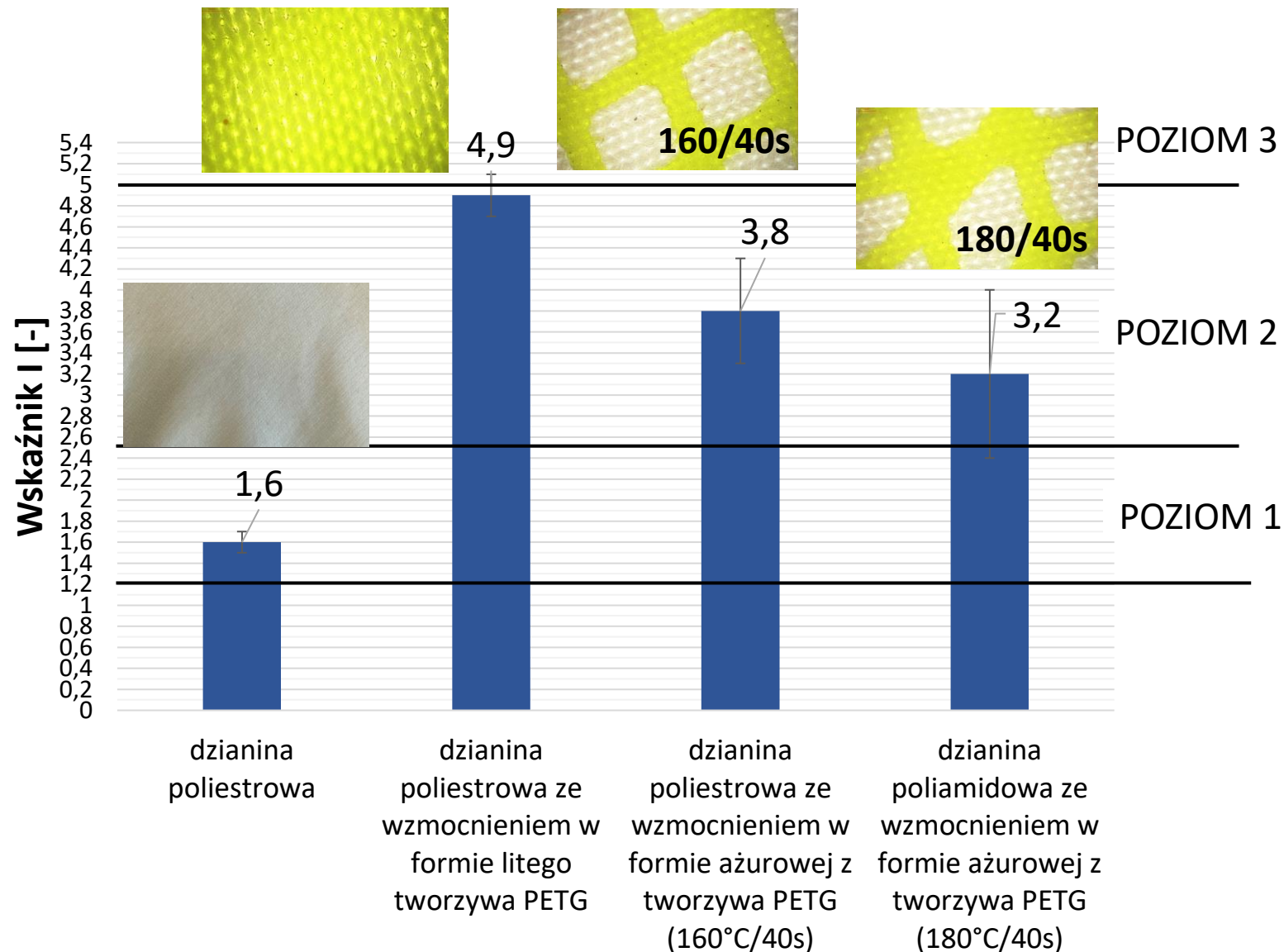


METODA TDM ZGODNA Z NORMĄ PN-EN ISO 13997:2023-11 (EN ISO 13997:2023)



Poziomy skuteczności dla materiałów badanych wg EN ISO 13997

| Poziom skuteczności | Siła przecięcia [N] |
|---------------------|---------------------|
| A                   | 2                   |
| B                   | 5                   |
| C                   | 10                  |
| D                   | 15                  |
| E                   | 22                  |
| F                   | 30                  |



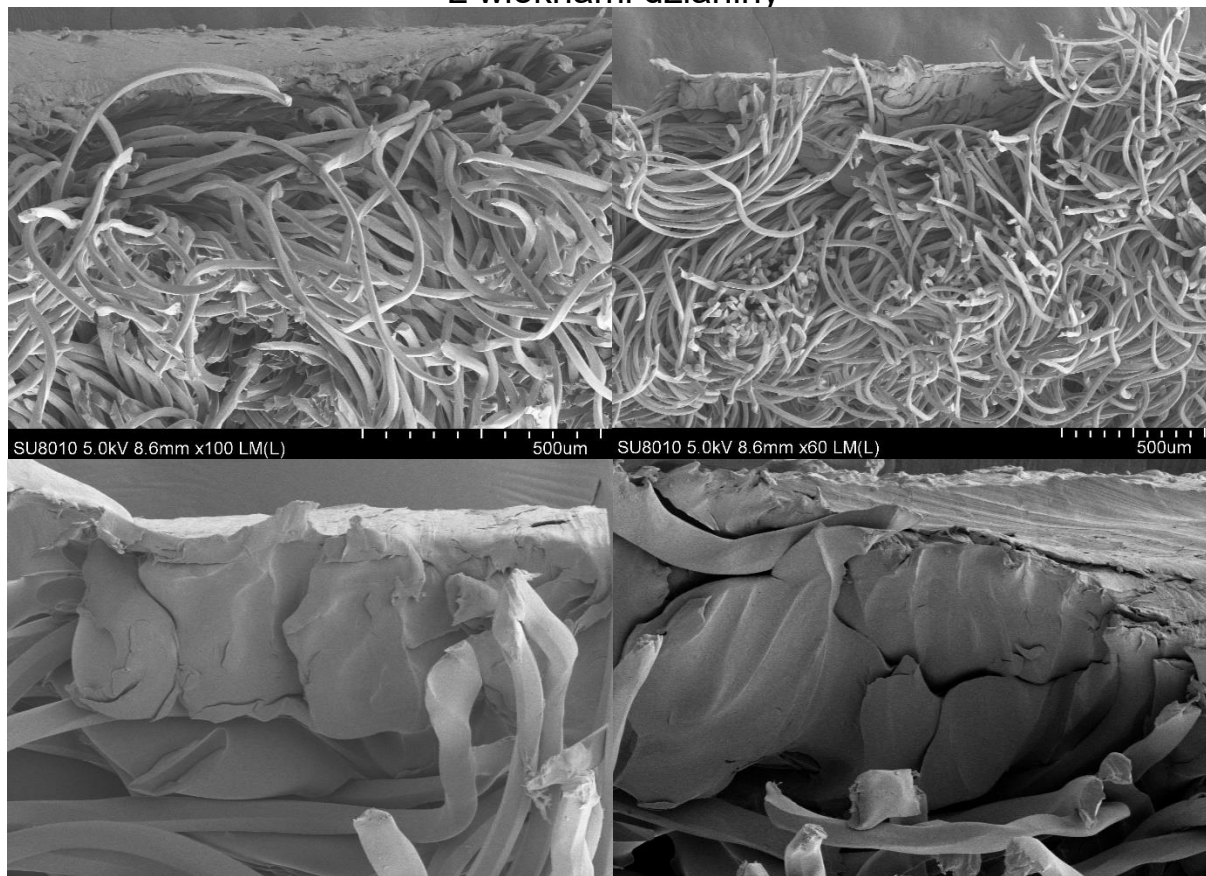
## METODA COUPTEST ZGODNA Z NORMĄ PN-EN 388+A1:2019-01 (EN 388:2016+A1:2018)

Poziomy skuteczności dla materiałów badanych wg EN 388:2016

| Poziom skuteczności | Odporność na przecięcie (wskaźnik I) |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1                   | 1,2                                  |
| 2                   | 2,5                                  |
| 3                   | 5,0                                  |
| 4                   | 10,0                                 |
| 5                   | 20,0                                 |

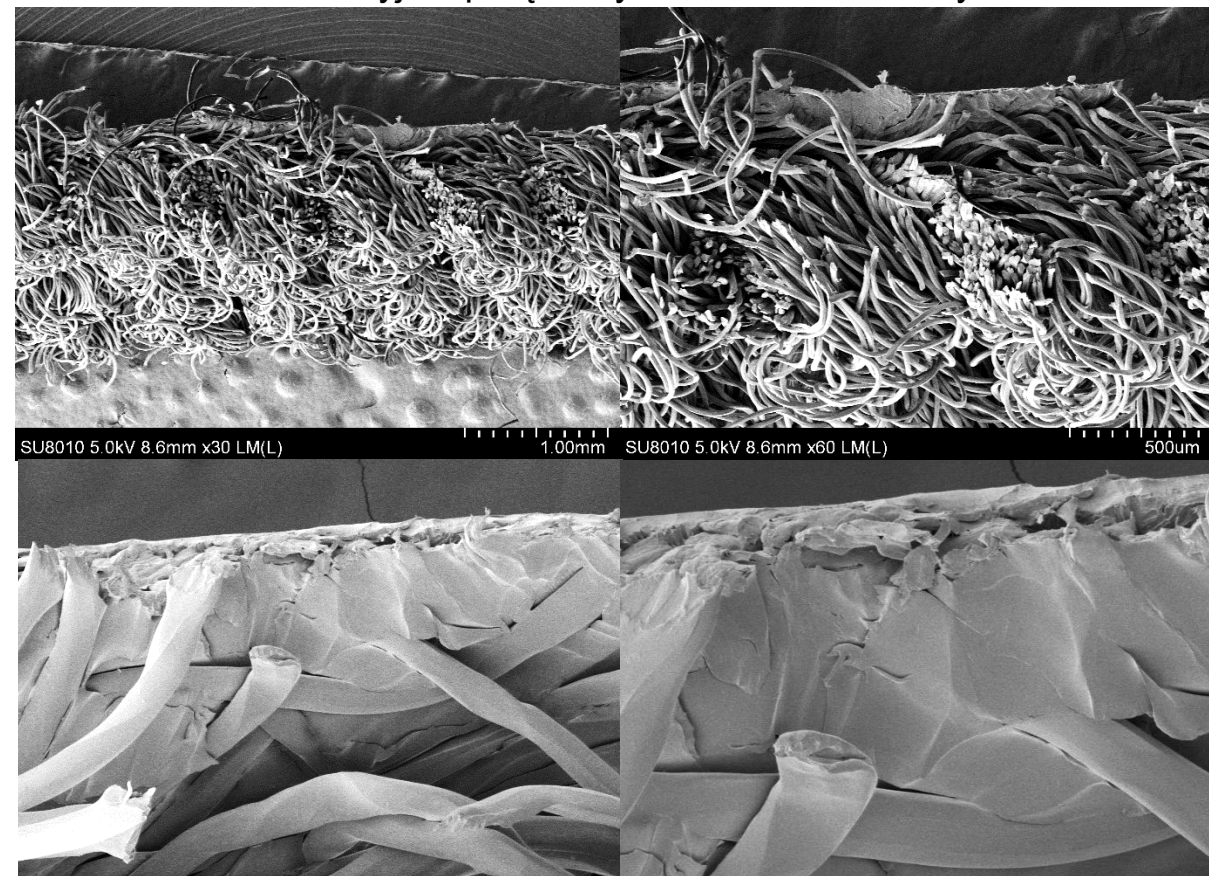


Materiał PET-G zgrzany z dzianiną poliestrową w temperaturze **160°C** w czasie **40 s**. Przekrój warstwy polimeru o charakterze krystalicznym o grubości **ok. 100  $\mu\text{m}$**  adhezyjnie dobrze połączone z włóknami dzianiny



Morfologia przekroju przez dzianinę w miejscu występowania wzmocnienia kompozytowego (PET-G) zgrzewanego w  $T=160^{\circ}\text{C}/40\text{s}$

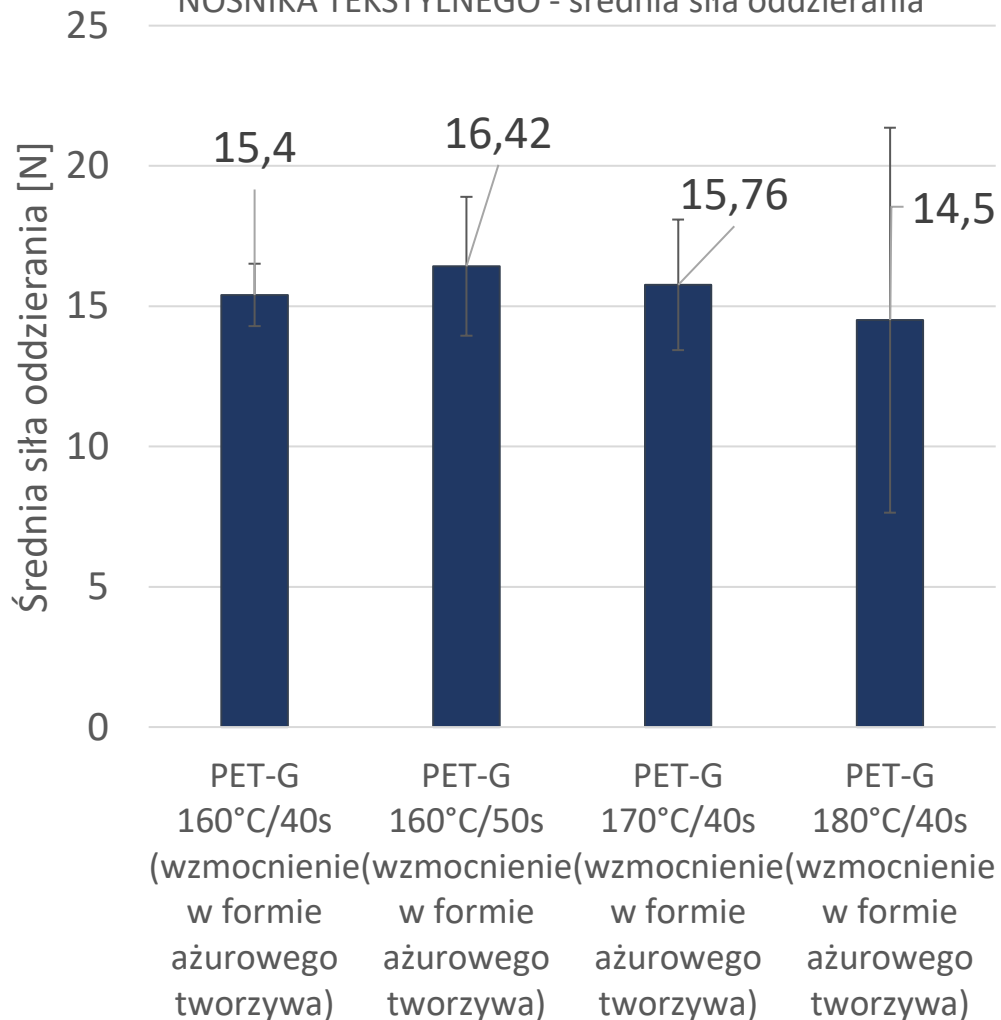
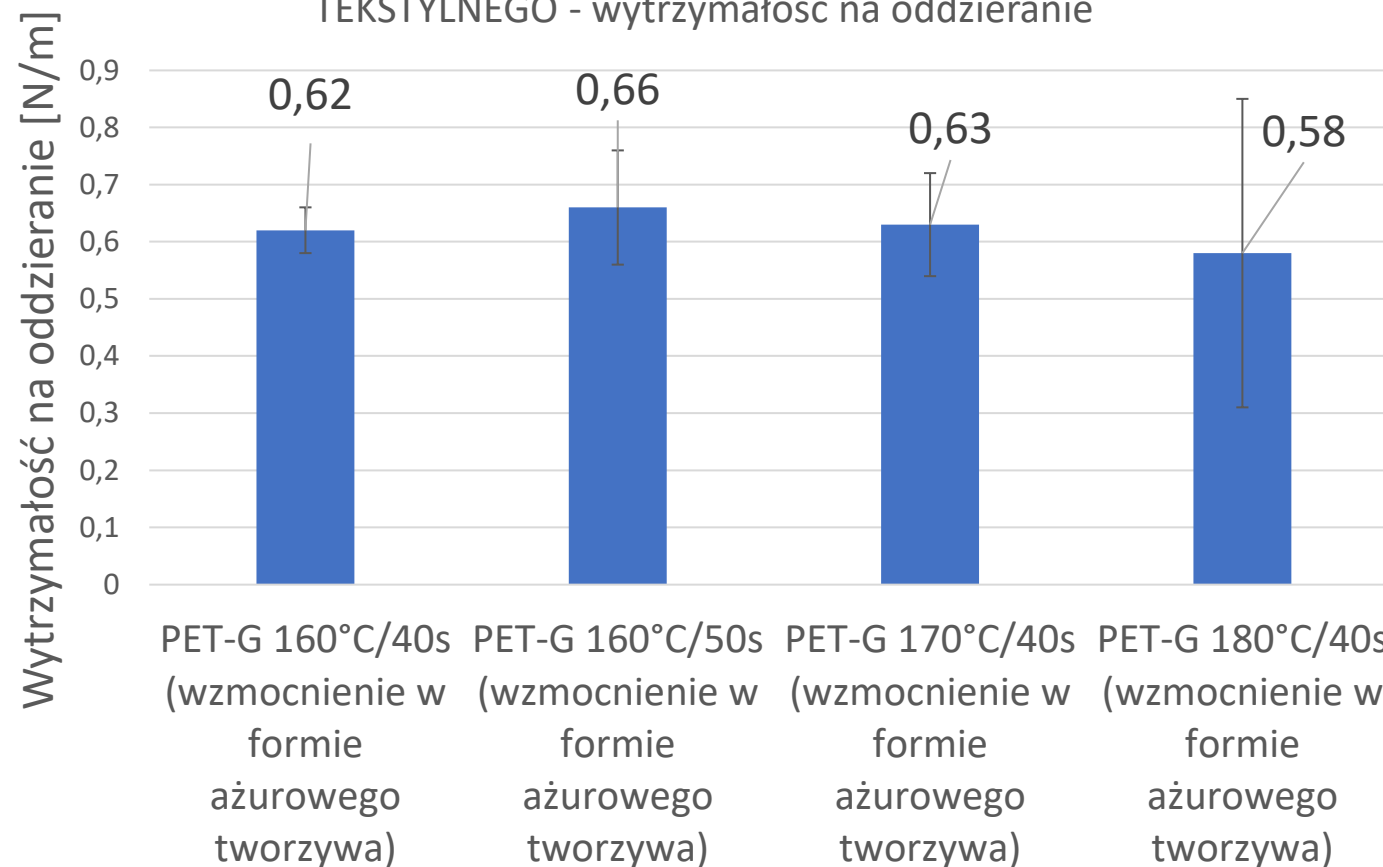
Materiał PET-G zgrzany z dzianiną poliestrową w temperaturze **180°C** w czasie **40 s**. Grubość warstwy **ok. 50  $\mu\text{m}$** . Charakter przekroju warstwy krystaliczny dobrze adhezyjnie połączony z włóknami dzianiny.



Morfologia przekroju przez dzianinę w miejscu występowania wzmocnienia kompozytowego (PET-G) zgrzewanego w  $T=180^{\circ}\text{C}/40\text{s}$

Zdjęcia SEM wykonane przez dr inż. Magdalenę Płocińską w CIOP-PIB



ODDZIERANIE WZMOCNIEŃ POLIMEROWYCH OD  
NOŚNIKA TEKSTYLNEGO - średnia siła oddzieraniaODDZIERANIE WZMOCNIEŃ POLIMEROWYCH OD NOŚNIKA  
TEKSTYLNEGO - wytrzymałość na oddzieranie

## Wnioski:

- Technika druku 3D umożliwia otrzymanie nietypowych kształtów materiałów polimerowych, które mogą spełniać rolę wzmocnień dedykowanych do rękawic ochronnych;
- Wzmocnienia polimerowe wyraźnie poprawiają właściwości ochronne w zakresie odporności na przecięcie materiałów powszechnie stosowanych w rękawicach ochronnych;
- Materiały tekstylne wzmacniane tworzywem w postaci litej osiągają najwyższy poziom skuteczności odporności na przecięcie na poziomie F zgodnie z normą PN-EN 388+A1:2019-01, jednak zbyt duża sztywność ogranicza ich implementację w rękawicach ochronnych;
- Dobór odpowiedniego materiału polimerowego, zaprojektowanie właściwego kształtu wzmocnienia oraz optymalizacja parametrów implementacji pozwala na osiągnięcie kompromisu pomiędzy dobrą odpornością na przecięcie oraz dobrymi właściwościami ergonomicznymi.

Opracowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr I.PN.03 pt. „Hybrydowe materiały kompozytowe przeznaczone do rękawic odpornych na przecięcie wytwarzane z zastosowaniem techniki druku 3D”

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Podziękowania dla firmy **SMK3D Jakub Saramak** za dostarczenie polimerowych wydruków 3D oraz dla firmy **S.I. ZGODA** za dostarczenie dzianin do badań



Dziękuję za uwagę

