



## BADANIA SIŁY ZRYWAJĄCEJ ZAWIESI POCISKU RAKietOWEGO DO SPADochRONU

### *TESTING THE BREAKING FORCE OF ROCKET PROJECTILE SUSPENSIONS TO PARACHUTE*

Łukasz RYBAKIEWICZ, [rybakiewicz1@witu.mil.pl](mailto:rybakiewicz1@witu.mil.pl), ORCID: 0000-0001-6777-7306  
Aleksandra PLACHA, [plachaa@witu.mil.pl](mailto:plachaa@witu.mil.pl), ORCID: 0000-0003-1359-5640  
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka  
*Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland*

DOI 10.5604/01.3001.0053.9219

**Streszczenie.** W pracach konstrukcyjnych nad pociskami raketowymi jednym z istotnych zadań, na etapie procesu projektowania, jest konstrukcja układu odzyskiwania. Prawidłowo zaprojektowany układ odzyskiwania zapewnia odzyskanie pocisku testowego po wystrzale, w stanie nieuszkodzonym, co znacznie redukuje czas i koszt prowadzenia badań. Do kluczowych elementów układu odzyskiwania, które mają wpływ na jego prawidłowe działanie, zaliczają się spadochron i jego mocowanie do pocisku, który chcemy odzyskać. Ze względu na występujące wysokie wartości sił podczas rozłożenia spadochronu i wyhamowania obiektu dobór odpowiednich zawiesi jest ważnym czynnikiem, bez którego nie jest możliwe skuteczne odzyskanie obiektu. W ramach niniejszego artykułu przedstawiono badania różnych typów zawiesi łączących obiekt i spadochron pod względem siły zrywającej.

Słowa kluczowe: mechanika, statyczna próba rozciągania, pocisk raketowy, układ odzyskiwania, spadochron, lina

## 1. Wstęp

W projektowaniu pocisków raketowych istotnym zagadnieniem jest konstrukcja układu odzyskiwania pocisku testowego. Zagadnienie to jest kluczowe w kontekście kosztów i regularności prowadzenia badań poligono-

**Abstract:** Design of a recovering system is one of crucial tasks in development work over the rocket projectiles. Properly designed recovering system secures the recovery of testing projectile after firing in undamaged state, what significantly reduces the time and cost of conducted tests. A parachute with its fixation to a projectile which has to be recovered are key components of the recovering system providing its proper operation. Due to the presence of high values of forces acting at the parachute opening and deceleration of the object the proper selection of suspension is important factor for its efficient recovery. The paper present tests of breaking force for various types of suspensions connecting the object and the parachute.

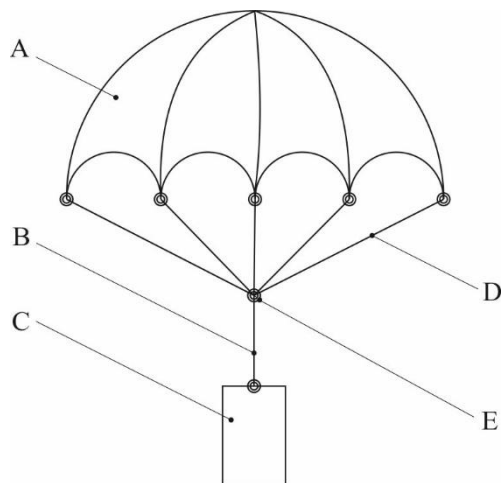
Keywords: mechanics, static tension test, rocket projectile, recovering system, parachute, line

## 1. Introduction

At the development of rocket projectiles there is an essential question of a designing of a system recovering the testing projectile. The question is important, considering the context of costs and regularity

wych nowo opracowywanych pocisków rakietowych. Prawidłowo funkcjonujący układ odzyskiwania zapewnia bezpieczne lądowanie pocisku testowego po wystrzale, a tym samym umożliwia wielokrotne wykorzystanie tego samego pocisku przy badaniach poligonowych. Na etapie projektowania wspomnianego układu odzyskiwania (rys.1), poza doбором parametrów spadochronu, kluczowe znaczenie ma rodzaj i konstrukcja zawiesia, na które podczas procesu rozkładania spadochronu działają siły o wysokich wartościach. Przy konstrukcji zawiesia ważny jest zarówno właściwy dobór materiału tworzącego zawiesie, jak również jego zaczep, czyli mocowanie do spadochronu i obiektu odzyskiwanego.

of conducted range tests, for newly developed rocket projectiles. A properly functioning recovering system provides safe landing of a testing projectile after firing and the use of the same projectile for many times at the range testing. At the designing stage of the recovering system mentioned above (Fig. 1), beside selection of parachute characteristics, a key meaning has the type and design of the suspension which is subjected to the action of high value forces at the parachute opening process. Both, the proper matching of the suspension material and its catcher, i.e. the fixing to the parachute and to the recovered object, is important at the design of suspension.



**Rys. 1. Szkic układu odzyskiwania:**

A – spadochron, B – zawiesie, C – obiekt odzyskiwany, D – lina spadochronu, E – zaczep liny spadochronu / zawiesia

**Fig. 1. Outlook of the recovering system:**

A – parachute, B – suspension, C – recovered object, D – parachute's line, E – catcher of parachute line / suspension

### 1.1. Budowa i rodzaje zawiesi

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów zawiesi, których klasyfikacji można dokonać przez wzgląd na [5], [6]:

- 1) materiał wykonania cięgien;
  - a) łańcuchowe,
  - b) linowe,
  - c) z taśm z włókien naturalnych i syntetycznych,
- 2) liczbę występujących cięgien;
  - a) jednocięgnowe,
  - b) wielocięgnowe
  - c) jedнопętlowe,
  - d) dwupętlowe,
  - e) z hakiem,

### 1.1. Structure and Types of Suspensions

There are various types of suspensions available in the market and they can be classified according to [5], [6]:

- 1) Material of lines;
  - a) chains,
  - b) lines,
  - c) with strips of natural and synthetic fibres,
- 2) Number of lines;
  - a) singular line,
  - b) multi-line
  - c) with a singular loop,
  - d) with a double loop,
  - e) with a hook,

- f) z ogniwem,
  - g) o obwodzie zamkniętym,
  - h) w formie siatki,
- 3) sposób mocowania transportowego obiektu;
- a) chwytne,
  - b) zaczepowe,
  - c) samozaciskowe,
  - d) szczękowe,
  - e) kabłąkowe,
  - f) podciśnieniowe,
  - g) widłowe.

Zakres materiałów stosowanych do produkcji zawiesi jest bardzo szeroki: od metali poprzez włókna naturalne i syntetyczne różnego typu.

Na szczególną uwagę jednak zasługują zawiesia linowe i taśmowe wykonane z włókien syntetycznych, będące przedmiotem badań niniejszej publikacji.

Wśród popularnych materiałów syntetycznych stosowanych do produkcji taśm i lin można wyróżnić:

1. Poliamid (PA), zwany też nylonem, będący produktem polikondensacji kwasu adypinowego oraz heksametylodiaminy o gęstości ok.  $1,14 \frac{g}{cm^3}$ , o średnim zakresie temperaturowym ciągłej pracy  $-30^{\circ}C$  a  $+100^{\circ}C$  [7], dużej odporności na ścieranie i termicznej stabilności wymiarowej [8].
2. Polieterosulfon (PES) będący termoplastycznym tworzywem sztucznym o gęstości ok.  $1,37 \frac{g}{cm^3}$ , doskonałej odporności chemicznej charakteryzujący się możliwością długotrwałej pracy w wysokich temperaturach, o zakresie temperaturowym ciągłej pracy  $-50^{\circ}C$  do  $+180^{\circ}C$  [9],[10].
3. Dyneema® będąca wysokowytrzymałym włóknem żelowo – wiórowym wytworzonym z polietylenu o bardzo wysokiej masie cząsteczkowej. Dyneema® charakteryzuje się niewielką gęstością ok.  $0,97 \frac{g}{cm^3}$  [11], bardzo wysokim stosunkiem wytrzymało-

- f) with a link,
  - g) in closed perimeter,
  - h) in form of a net,
- 3) method of fixing the transported object;
- a) catching,
  - b) grabbing,
  - c) self-seizing,
  - d) jaw chuck,
  - e) bow-shaped,
  - f) low-pressure,
  - g) forked.

There is a wide range of materials used for fabrication of suspensions: starting with metals through the natural and synthetic fibres of different types.

But a special attention has to be paid to line and strip suspensions made from synthetic fibres which were the subject of investigations in the paper.

Following common synthetic materials used for fabrication of strips and lines may be distinguished:

1. Polyamide (PA), also known as nylon, a product of polycondensation of adipate acid and hex-methyl-diamine with density ca.  $1.14 \frac{g}{cm^3}$ , and mean temperature range of continuous work  $-30^{\circ}C$  to  $+100^{\circ}C$  [7], and a high resistance to abrasion and thermal dimension stability [8].
2. Polyether-sulfone (PES) which is a synthetic thermoplastic with density ca.  $1.37 \frac{g}{cm^3}$  and perfect chemical resistance, and can work at high temperatures for long periods of time, and can work continuously within temperatures from  $-50^{\circ}C$  to  $+180^{\circ}C$  [9],[10].
3. Dyneema® which is a highly resistant jelly-chip fibre produced from polyethylene with the high molecular mass. Dyneema® has low density of ca.  $0.97 \frac{g}{cm^3}$  [11], and a very high relation between the strength of fibres and their

ści włókien do ich masy, ognioodpornością, o zakresie temperaturowym ciągłej pracy  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$  [12], dużej odporności na ścieranie i małej absorpcją wilgoci [13].

## 1.2. Dobór zawiesi do układu odzyskiwania

Dobór zawiesi do spadochronu ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego działania układu odzyskiwania pocisku. Zawiesie powinno posiadać wysoką sprężystość i wytrzymałość na zrywanie, aby nie uległo zerwaniu przy rozkładaniu spadochronu, a także powinno charakteryzować się niewielką masą i zajmować możliwie najmniejszą objętość w pocisku

W związku z powyższym zdecydowano się na przeprowadzenie badań na maszynie wytrzymałościowej w celu zbadania wartości siły zrywającej dla zawiesi różnego typu w kilku konfiguracjach. Podobne badania wytrzymałościowe lin syntetycznych zostały opisane w publikacjach [2], [3], [4].

W pierwszym etapie testom wytrzymałościowym poddane zostały zawiesia bazujące na skręcanych linach poliamidowych, mocowanych do lin uchwytów stalowych za pomocą węzłów różnego typu. Otrzymane wyniki zostały zaprezentowane i szerzej omówione w publikacji [1]. Po przeprowadzeniu analizy rezultatów uzyskanych we wspomnianych testach stwierdzono, że przebadane rozwiązania nie spełniają założonych wymagań przez wzgląd na zbyt niską wytrzymałość węzłów w porównaniu do materiału tworzącego linę. W związku z powyższym podjęto decyzję o poddaniu testom innych rodzajów zawiesi, niewymagających stosowania wiązań, tj. zawiesi linowych dwupętlowych (z kauszą i bez) wykonanych ze splotów poliamidowych, a także zawiesi taśmowych dwupętlowych oraz taśmowych o obwodzie zamkniętym, wykonanych z polieterosulfonu oraz z Dyneemy®. Uzyskane wyniki badań przedstawiono

mass, and is fireproof, and can work in a continuous mode at temperatures from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$  [12], and has a high resistance against abrasion and low absorption of moisture [13].

## 1.2. Selection of Suspensions for the Recovering System

Matching the suspensions with a parachute has a crucial meaning for proper operation of projectile's recovering system. The suspension has to represent high elasticity and resistance against breakage in order to prevent its disruption at the opening of parachute, and it also has to have low mass and occupy possibly the lowest space in the projectile.

Regarding the above, it was decided to perform tests in a testing machine to investigate the values of breaking force for different types of suspensions in various configurations. Similar tensile tests for the lines were described in [2], [3], [4].

At the first stage of strength tests there were investigated suspensions based on twisted polyamide lines fixed to the steel catchers by the knots of different types. Received results were presented and described in details in [1]. The analysis of results received in the aforementioned tests shows that the investigated solutions do not meet the assumed requirements because of the lower resistance of knots in comparison to the material of the line. Regarding the above, it was decided to test other types of suspensions without ties, i.e. the double-loop line suspensions (with a thimble or without) fabricated from polyamide splices, and also the double-loop strip suspensions and the strip suspensions of closed perimeter made from polyether-sulfone and Dyneema®. The received results of tests are presented further

w dalszej części niniejszej publikacji.

## 2. Badania wytrzymałości na zrywanie

### 2.1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań były zawiesia lino-  
 we wykonane z poliamidu w układzie z kauszą (fot. 1A) i w układzie bez kauszy (fot. 1B), zawiesia taśmowe, polieterosulfonowe, o obwodzie zamkniętym (fot. 1C) i w układzie dwupętlowym (fot. 1D.), a także zawiesia taśmowe wykonane z materiału Dyneema® o obwodzie zamkniętym (fot. 1E) oraz w układzie dwupętlowym (fot. 1F). Wybrane parametry badanych zawiesi podane przez producentów zostały zestawione w tabeli 1.

in the paper.

## 2. Tensile Tests

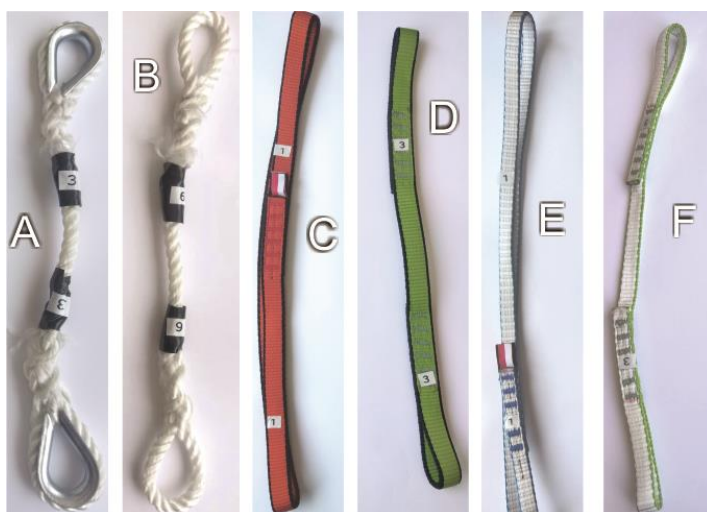
### 2.1. Subject of Tests

Investigated objects were in the form of line suspensions made of polyamide in configuration with (Photo 1A), or without (Photo 1B) a thimble, and strip polyether-sulfone suspensions with closed perimeter (Photo 1C) and in double-loop configuration (Photo 1D), and also strip suspensions made of Dyneema® with closed perimeter (Photo 1E) and in double-loop configuration (Photo 1F). Some characteristics of investigated suspensions provided by manufacturers are presented in table 1.

Tabela 1. Wybrane parametry badanych zawiesi podane przez producentów [14]

Table 1. Selected parameters of investigated suspensions provided by manufacturers [14]

Material <i>Material</i>	Poliamid (PA) <i>Polyamide</i>	100 % PES	Dyneema®
Minimalna siła zrywająca <i>Minimal breaking force</i>	7,40 kN	20 kN	22 kN
Konstrukcja <i>Design</i>	Skręcana, 3 – sploty <i>Twisted, 3 splices</i>	Pętlowa, zszyta <i>Looped, sewn together</i>	Pętlowa, zszyta <i>Looped, sewn together</i>
Rozciągliwość <i>Extensibility</i>	43 %	21 %	Brak danych <i>Not available</i>
Temperatura topnienia <i>Melting temperature</i>	216 °C	260 °C	140 °C



**Fot. 1. Badane zawiesia:** A- poliamidowe w układzie z kauszą, B - poliamidowe w układzie bez kauszy, C - polieterosulfonowe o obwodzie zamkniętym, D - polieterosulfonowe w układzie dwupętlowym, E - Dyneema o obwodzie zamkniętym, F - Dyneema w układzie dwupętlowym

**Photo 1. Investigated suspensions:** A- polyamide in configuration with a thimble, B – polyamide in configuration without a thimble, C - polyether-sulfone with closed perimeter, D - polyether-sulfone with double-loop configuration, E - Dyneema with closed perimeter, F - Dyneema with double-loop configuration

### 2.1.1. Lina poliamidowa

Lina poliamidowa o średnicy  $\varnothing 6 \text{ mm}$ , przekroju poprzecznym ok.  $28 \text{ mm}^2$  została przebadana w układzie dwupętlowym z kauszą i bez kauszy. Pętle na linach zostały wykonane poprzez zaplot jej dwóch swobodnych końców. Zaplot został wykonany manualnie, przeciwnie do kierunku splotów włókien wykonanych przez producenta.

### 2.1.2. Taśma polieterosulfonowa

Taśma polieterosulfonowa, o szerokości 16 mm i grubości 3,5 mm, o przekroju poprzecznym  $56 \text{ mm}^2$  została zbadana w układzie dwupętlowym i w układzie pętli zamkniętej. Taśma polieterosulfonowa ma znacznie większy przekrój poprzeczny niż pozostałe badane próbki, jednak nie było możliwości zakupu taśmy polieterosulfonowej o mniejszych wymiarach. Taśma była zszyta 6 szwami równoległymi na odległości 60 mm.

### 2.1.3. Taśma Dyneema®

Taśma Dyneema®, o szerokości 11 mm i grubości 3 mm, o przekroju poprzecznym  $33 \text{ mm}^2$ , charakteryzująca się właściwościami przedstawionymi, została przebadana w układzie dwupętlowym i w układzie pętli zamkniętej.

## 2.2. Przebieg i warunki badań

Badania wytrzymałości statycznej na rozciąganie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell BT2-FR100 THW.AK, z prędkością rozciągania  $0,1 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ . Podczas badań rejestrowana była zależność siły rozciągającej  $F[N]$  w funkcji wydłużenia próbki  $\Delta L[\%]$ . Próbki mocowane były na kołkach oraz tulejach i rozciągane osiowo (fot. 2).

### 2.1.1. Polyamide Line

Polyamide line with diameter of  $\varnothing 6 \text{ mm}$  and cross-section ca.  $28 \text{ mm}^2$  was tested in the double-loop configuration with and without a thimble. The loops were made in the lines by splicing its two free ends. The splicing was made manually in opposite direction to the splices of fibres made by the manufacturer.

### 2.1.2. Polyether-sulfone Strip

The polyether-sulfone strip with the width of 16 mm and thickness 3.5 mm and cross-section  $56 \text{ mm}^2$  was tested in double-looped configuration and in configuration of closed loop. The cross-section of polyether-sulfone strip is significantly greater than the remaining tested samples but it was not possible to buy the strip with lower dimensions. The strip was sewn together by 6 parallel seams on the distance of 60 mm.

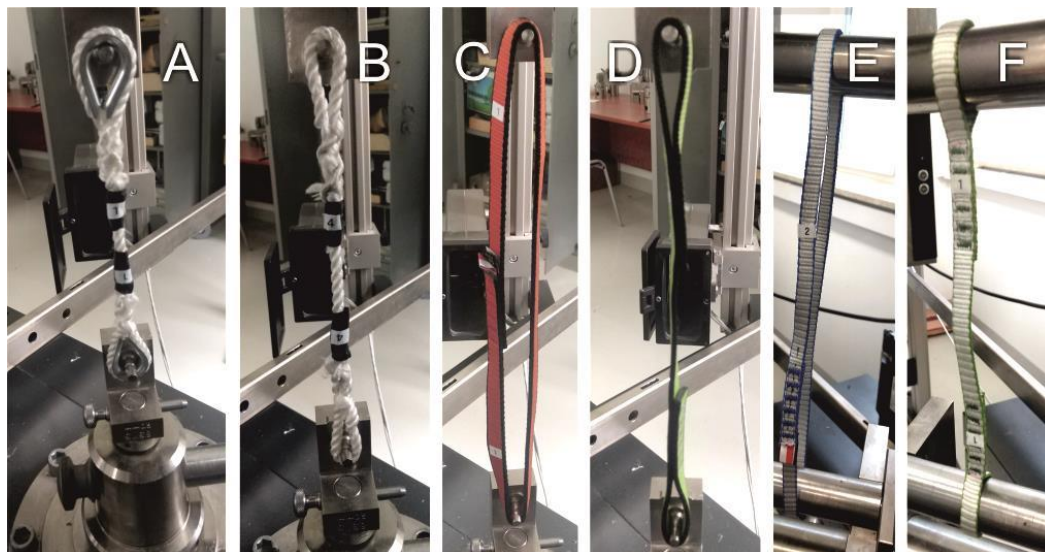
### 2.1.3. Dyneema® Strip

Dyneema® strip with presented characteristics and width 11 mm and thickness 3 mm and the cross-section  $33 \text{ mm}^2$  was tested in configurations of a double-loop and closed loop.

## 2.2. Execution and Conditions of Tests

Tests over static tensile resistance were made on tester Zwick Roell BT2-FR100 THW.AK at the rate of stretching  $0,1 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ . The relation between the tensile force  $F[N]$  and extension of the sample  $\Delta L[\%]$  was recorded. The samples were fixed on pins and sleeves and pulled out axially (Photo 2).





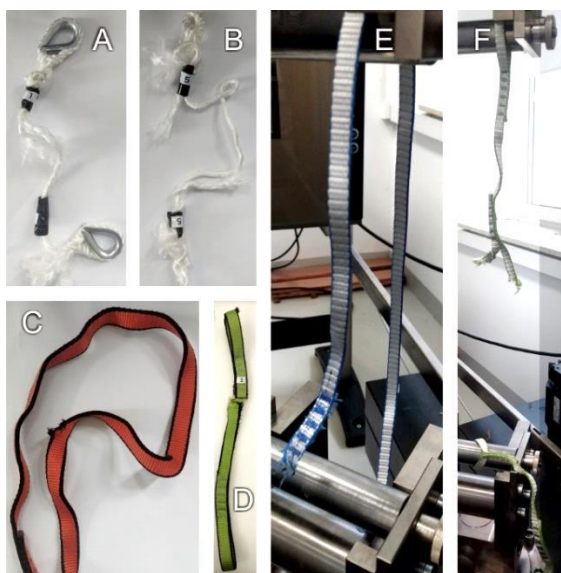
**Fot. 2. Zamocowanie badanych zawiesi na maszynie wytrzymałościowej:**  
A – poliamidowe w układzie z kauszą, B- poliamidowe w układzie bez kauszy,  
C - polieterosulfonowe o obwodzie zamkniętym, D – polieterosulfonowe  
w układzie dwupętlowym, E – Dyneema o obwodzie zamkniętym,  
F – Dyneema w układzie dwupętlowym

**Photo 2. Fixation of tested suspensions on the tester:**

A – polyamide with thimble, B- polyamide without thimble,  
C - polyether-sulfone with closed perimeter, D – polyether-sulfone with double-loop configuration,  
E – Dyneema with closed perimeter, F – Dyneema with double-loop configuration

### 3. Wyniki Badań

### 3. Results of Tests



**Fot. 3. Badane zawiesia po statycznej próbie**

**rozciągania:** A – poliamidowe w układzie z kauszą, B- poliamidowe w układzie bez kauszy,  
C - polieterosulfonowe o obwodzie zamkniętym, D – polieterosulfonowe w układzie dwupętlowym,  
E – Dyneema o obwodzie zamkniętym,  
F – Dyneema w układzie dwupętlowym

**Photo 3. Tested suspensions after the static tensile trial:**

A – polyamide with thimble,  
B- polyamide without thimble,  
C - polyether-sulfone with closed perimeter,  
D – polyether-sulfone with double-loop configuration,  
E – Dyneema with closed perimeter,  
F – Dyneema with double-loop configuration

Otrzymane wyniki badań przedstawiono w formie wykresów zależności siły rozciągającej  $F$  [N] w funkcji wydłużenia danej próbki  $\Delta L$  [%] (rys. 2.), a także dokonano zbiorczego zestawienia danych w tabeli 2. Zdjęcia próbek po badaniach zamieszczono na fot. 3.

Received results of tests are presented in diagrams as dependence of tensile force  $F$  [N] on function of elongation of a sample  $\Delta L$  [%] (Fig. 2.), and in summarised specification of data in table 2. Photo 3 shows pictures of samples after tests.

### 3.1. Wyniki badań dla liny poliamidowej z kauszą

Przebadano 3 próbki liny poliamidowej z kauszą: A, B i C. Dwie próbki (A i B) uległy zerwaniu na dwóch z trzech splotów, z których zostały wykonane. W obu przypadkach trzeci splot nie uległ zerwaniu gdyż, zgodnie z wprowadzonymi ustawieniami pracy maszyny wytrzymałościowej, proces rozciągania ulegał automatycznemu przerwaniu po spadku wartości siły rozciągającej  $F [N]$  o min. 80%, co skutkowało zatrzymaniem maszyny przed zerwaniem ostatniego splotu. Trzecia próbka (C) uległa zerwaniu na jednym splocie, a następnie nastąpiło zerwanie liny na kauszy, co mogło wynikać z faktu, że zaploty lin były wykonywane manualnie w warunkach warsztatowych i nie uzyskano powtarzalności zaplotu.

Na wykresie (rys. 2) dostrzegalne są punkty, w których następowało zerwanie kolejnych splotów liny. Pierwszy punkt załamania wykresu odpowiada za moment zerwania pierwszego splotu, po którym nastąpił spadek siły rozciągającej i ponowne jej narastanie, aż do momentu zerwania drugiego splotu. W przypadku próbki C zauważalne są wielokrotne załamania wykresu, wynikające z zerwań pojedynczych włókien.

### 3.2. Wyniki badań dla liny poliamidowej bez kauszy

Wszystkie 3 próbki liny poliamidowej plecionej bez kauszy (A, B i C) uległy zerwaniu na dwóch z trzech splotów, z których zostały wykonane, co odzwierciedla wykres (rys. 2) jako skokowe spadki siły, z których pierwszy, odpowiadający najwyższej wartości siły, odnosi się do zerwania pierwszego splotu, zaś ostatni punkt na wykresie odpowiada za zerwanie drugiego splotu liny. Niskie zmiany wartości siły na wykresie wynikają z zerwań pojedynczych włókien.

We wszystkich przypadkach trzeci splot

### 3.1. Results of Tests for Polyamide Line with thimble

There were tested 3 samples of polyamide line with thimble: A, B and C. Two samples (A and B) were broken up on two of three splices they were made of. The third splice was not disrupted in two cases as according to tester's settings the process of extension was automatically stopped when the tension force  $F [N]$  falls down by minimum 80% and the machine was off before disruption of the last splice. The third sample (C) was broken up on the one splice and next the line was disrupted at the thimble what could be caused by manual splicing of lines in workshop conditions without its repeatability.

The diagram (Fig 2) shows the points where the consecutive line splices have broken up. The first slump of the curve corresponds to the breakage of the first splice followed by a decrease and increase of the tensile force until the second splice is interrupted. In the case of sample C multiple slumps are visible due to disruption of individual fibres.

### 3.2. Results of Tests for Polyamide Line without Thimble

All 3 samples of polyamide spliced line without any thimble (A, B and C) were broken up in two of three splices they were made of, what is reflected in the diagram (Fig. 2) as sudden falls of the force, and the first one with the highest value of the force stands for the breakage of the first splice whereas the last point in the diagram for the second splice of the line. Low changes of force in the diagram are caused by disruptions of individual fibres.

In all cases the third splice was not dis-



nie uległ zerwaniu gdyż, zgodnie z wprowadzonymi ustawieniami pracy maszyny wytrzymałościowej, proces rozciągania ulegał automatycznemu przerwaniu po spadku wartości siły rozciągającej  $F[N]$  o min. 80%, co uniemożliwiało zerwanie trzeciego splotu.

### **3.3. Wyniki badań dla taśmy polietersulfonowej w układzie dwupętlowym**

Przebadano 3 próbki taśmy polietersulfonowej w układzie dwupętlowym: A, B i C. Wszystkie próbki (A, B i C) zostały zerwane jedynie częściowo i żadnej z nich nie udało się doprowadzić do całkowitego zniszczenia. Po wystąpieniu częściowego naderwania taśmy próbki zsuwały się z mocowania i następowało zatrzymanie pracy maszyny, co odzwierciedla wykres (rys. 2).

### **3.4. Wyniki badań dla taśmy polietersulfonowej w układzie pętli zamkniętej**

Przebadano 3 próbki taśmy polietersulfonowej w układzie pętli zamkniętej: A, B i C. Dwie próbki (A i B) zostały zerwane jedynie częściowo i żadnej z nich nie udało się doprowadzić do całkowitego zniszczenia, gdyż wystąpił ten sam problem, co w przypadku taśmy polietylosulfonowej w układzie dwupętlowym, tj. taśma częściowo została naderwana, po czym zsunęła się z uchwytu i nastąpiło zatrzymanie pracy maszyny wytrzymałościowej, co obrazuje wykres (rys. 2). Natomiast przy rozciąganiu trzeciej próbki (C) nastąpiło uszkodzenie mocowania próbki do maszyny i badania zostały zakończone, bez uzyskania wyniku dla próbki C.

### **3.5. Wyniki badań dla taśmy Dyneema® w układzie dwupętlowym**

Przebadano 3 próbki taśmy Dyneema® w układzie dwupętlowym: A, B i C. Badania

zakończono zgodnie z ustawieniami wprowadzonymi do testera, proces rozciągania został automatycznie zatrzymany, gdy siła rozciągająca  $F[N]$  spadła o minimum 80% w celu zapobieżenia zerwaniu trzeciego splotu.

### **3.3. Results of Tests for Polyethersulfone Strip in Double-loop Setting**

There were tested 3 samples of polyether-sulfone strip in double-loop configuration: A, B and C. All samples (A, B and C) were only partially disrupted and none of them was completely broken. After the partial breakage of the strip the samples slid off from the fixing and the machine was off, what is shown in the diagram (Fig. 2).

### **3.4. Results of Tests for Polyethersulfone Strip in Configuration of Closed Loop**

There were tested 3 samples of polyether-sulfone strip in closed-loop configuration: A, B and C. Two samples (A and B) were only partially disrupted and none of them was totally destructed as the same problem appeared as in the case of polyether-sulfone strip in double-loop configuration, i.e. the strip was partially torn and then slid off the catcher and the tester stopped, what is shown in diagram (Fig. 2). And at the stretching of the third sample (C) the fixing of the sample was damaged and the test was terminated without receiving any result for sample C.

### **3.5. Results of Tests for Dyneema® in Double-loop Configuration**

There were tested 3 samples of Dyneema® strip in double-loop configura-

były prowadzone na innym mocowaniu niż w przypadku poprzednich próbek przez wzgląd na uszkodzenie mocowania przy badaniu taśmy polieterosulfonowej. Taśma Dyneema® była mocowana na dwóch tulejach (fot. 3F.), a nie na kołkach jak miało to miejsce przy badaniu wcześniejszych próbek. Ten sposób mocowania niestety nie odzwierciedlał rzeczywistych warunków połączenia liny ze spadochronem tak dobrze jak mocowanie na kołkach, ale zastosowanie tego uchwytu było niezbędne ze względów wytrzymałościowych.

Wszystkie próbki (A, B, C) zostały zerwane. W każdym wypadku zerwanie nastąpiło na szwie tworzącym dolną pętlę. Na wykresie (rys. 2) zauważalne są, w formie załamań, kolejne etapy zrywania szwów tworzących konstrukcję dwupętlową. Wartość siły zrywającej dla wszystkich próbek oscylowała w granicach 16 kN, a wydłużenie liny  $\Delta L$  w granicach 17,5%.

### 3.6. Wyniki badań dla taśmy Dyneema® w układzie pętli zamkniętej

Przebadano 3 próbki taśmy Dyneema® w układzie pętli zamkniętej: A, B i C. Podobnie jak w przypadku taśmy Dyneema® w układzie dwupętlowym badania były prowadzone na dwóch tulejach (fot. 3E.).

Wszystkie próbki (A, B, C) zostały zerwane. W każdym wypadku zerwanie nastąpiło na szwie tworzącym pętlę. Wykres (rys. 2.) przebiega gładko do momentu załamania, które odpowiada za zerwanie liny na szwie, spadek siły poniżej wartości 80% i zatrzymanie pracy maszyny. Wartość siły zrywającej dla wszystkich próbek oscylowała w granicach 25 kN, a wydłużenie liny w granicach 14%.

### 3.7. Zestawienie wyników badań

Wyniki badań wszystkich próbek tj. liny poliamidowej w układzie dwupętlowym z

tion: A, B and C. Tests were conducted on another holding than for previous samples because it was damaged at testing the polyether-sulfone strip. Dyneema® strip was fixed into two sleeves (Photo 3F) instead of the pins which were used earlier. Unfortunately, this way of fixing cannot reflect such faithfully as the pins realistic conditions of connection between the line and parachute, but it was necessary to use it because of strength reasons.

All samples (A, B, C) were broken up. In each case the breakage took place in the seam creating the bottom loop. The diagram (Fig. 2) shows the slumps responsible for consecutive stages of breaking up the seams creating the double-loop structure. The value of breaking force for all samples was close to 16 kN, and the elongation of the line was close to 17.5%.

### 3.6. Results of Tests for Dyneema® in Closed-loop Configuration

There were tested 3 samples of Dyneema® strip in closed-loop configuration: A, B and C. The tests were carried out with two sleeves (Photo 3E) like in the case of Dyneema® strip in double-loop configuration.

All samples (A, B, C) were broken up. In each case the breakage occurred on the seam creating the loop. The diagram (Fig. 2) runs smoothly until a moment of breaking corresponding to disruption of the line on the seam and decrease of the force below 80%, and the stop of machine. Value of disrupting force for all samples was near 25 kN and extension of line near 14%.

### 3.7. Specification of Testing Results

Test results of all samples, i.e. for polyamide line in double-loop configuration

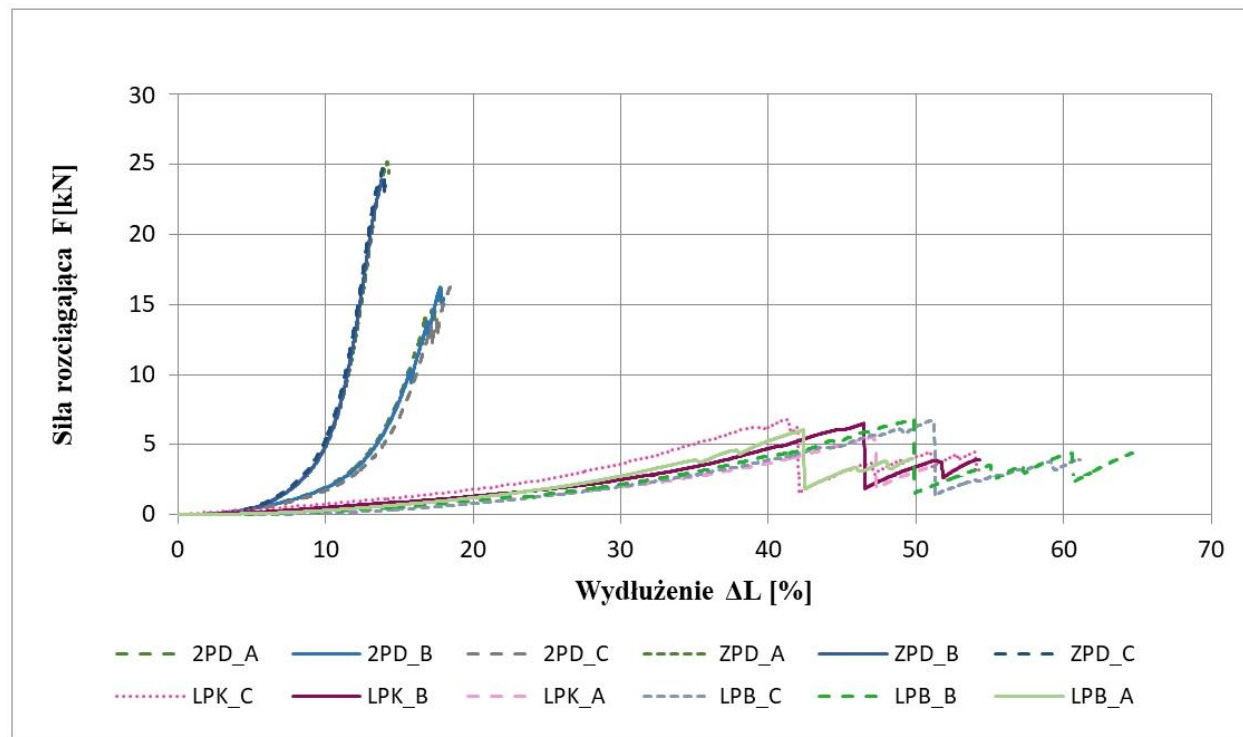
kauszą i bez kauszy, taśmy polieterosulfonowej w układzie dwupętlowym i pętli zamkniętej, a także taśmy Dyneema® w układzie dwupętlowym i pętli zamkniętej zestawiono w tabeli 2.

with and without the thimble, and polyether-sulfone strip in double-loop and closed-loop configurations, and also for Dyneema® strip in double-loop and closed-loop configurations are specified in table 2.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań wytrzymałościowych

Table 2. Specification of tensile strength test results

Przedmiot badań <i>Subject of testing</i>		$F_{max}$ (N)	$\Delta L_{F_{max}}$ (mm)	$\Delta L_{F_{max}}$ (%)
Lina poliamidowa pleciana z kauszą <i>Spliced polyamide line with thimble</i>	Próbka/ <i>Sample A</i>	5 516,4	96,2	47,0
	Próbka/ <i>Sample B</i>	6 506,6	105,5	46,4
	Próbka/ <i>Sample C</i>	6 775,1	102,0	41,1
Średnia / <i>Average</i>		<b>6 266,1</b>	<b>101,2</b>	<b>44,8</b>
Lina poliamidowa pleciana bez kauszy <i>Spliced polyamide line without thimble</i>	Próbka/ <i>Sample A</i>	6 039,6	104,9	42,3
	Próbka/ <i>Sample B</i>	6 866,1	123,4	49,8
	Próbka/ <i>Sample C</i>	6 744,0	130,6	51,1
Średnia/ <i>Average</i>		<b>6 549,2</b>	<b>119,6</b>	<b>47,7</b>
Taśma polietylosulfonowa w układzie dwupętlowym <i>Polyether-sulfone strip in double-loop configuration</i>	Próbka/ <i>Sample A</i>	15 652,8	105,9	33,8
	Próbka/ <i>Sample B</i>	11 913,4	92,6	28,9
	Próbka/ <i>Sample C</i>	15 713,7	109,5	34,8
Średnia/ <i>Average</i>		-	-	-
Taśma polietylosulfonowa w układzie pętli zamkniętej <i>Polyether-sulfone strip in closed-loop configuration</i>	Próbka/ <i>Sample A</i>	16 193,7	110,0	29,4
	Próbka/ <i>Sample B</i>	15 676,0	110,5	29,6
Średnia/ <i>Average</i>		<b>15 934,8</b>	<b>110,3</b>	<b>29,5</b>
Taśma Dyneema® w układzie dwupętlowym <i>Dyneema® strip in double-loop configuration</i>	Próbka/ <i>Sample A</i>	15 652,1	72,1	17,7
	Próbka/ <i>Sample B</i>	16 209,5	73,2	17,8
	Próbka/ <i>Sample C</i>	16 258,4	75,2	18,4
Średnia/ <i>Average</i>		<b>16 040,0</b>	<b>73,2</b>	<b>17,8</b>
Taśma Dyneema® w układzie pętli zamkniętej <i>Dyneema® strip in closed-loop configuration</i>	Próbka/ <i>Sample A</i>	25 149,8	67,2	14,1
	Próbka/ <i>Sample B</i>	23 903,5	66,6	13,8
	Próbka/ <i>Sample C</i>	24 731,8	65,8	13,9
Średnia/ <i>Average</i>		<b>24 595,0</b>	<b>66,5</b>	<b>13,9</b>



**Rys. 2. Zestawienie wykresów zależności wydłużenia liny  $\Delta L$  [%] od siły rozciągającej  $F$  [N]:**

2PD\_A, 2PD\_B, 2PD\_C – taśma Dyneema® w układzie dwupętlowym; ZPD\_A, ZPD\_B, ZPD\_C - taśma Dyneema® w układzie zamkniętej pętli, LPK\_A, LPK\_B, LPK\_C – lina poliamidowa w układzie dwupętlowym z kauszą, LPB\_A, LPB\_B, LPB\_C – lina poliamidowa w układzie dwupętlowym bez kauszy.

**Fig. 2. Specification of diagrams for line extension  $\Delta L$  [%] versus stretching force  $F$  [N]:**

2PD\_A, 2PD\_B, 2PD\_C – Dyneema® strip in double-loop configuration; ZPD\_A, ZPD\_B, ZPD\_C - Dyneema® strip in closed-loop configuration, LPK\_A, LPK\_B, LPK\_C – polyamide line in double-loop configuration with thimble, LPB\_A, LPB\_B, LPB\_C – polyamide line in double-loop configuration without thimble

Siła rozciągająca – Stretching force

Wydłużenie – Extension

Zbiorczy wykres zależności wydłużenia liny  $\Delta L[\%]$  od siły rozciągającej  $F[N]$  (rys. 2.) wykonano z pominięciem wyników dla próbek z taśmy polieterosulfonowej, aby nie zaburzać przejrzystości wykresu, gdyż nie nastąpiło całkowite zerwanie tych próbek. Badania dla tych próbek zostaną powtórzone w przyszłości w oparciu o mocowanie na dwóch tulejach.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć znaczne wydłużenie próbek przed zerwaniem. Jest to korzystne zjawisko z uwagi na występowanie wysokiej wartości sił przy rozłożeniu spadochronu. Największe wydłużenie wystąpiło dla liny poliamidowej plecionej bez kauszy i średnia wartość tego wydłużenia wyniosła 47,7%. Zbliżoną wartość: 44,8% średniego wydłużenia osiągnięto dla liny poliamidowej plecionej z kauszą. Odpowiednio, średnia siła zrywająca dla liny bez kauszy i z kauszą wyniosła 6549,2 N i 6266,1 N. Różnica ta częściowo wynika z ułożenia liny na oczku. Oczko bez kauszy ulega większemu wydłużeniu. Różnica w wartości siły maksymalnej wynosi 4,5% między liną poliamidową z kauszą, a liną bez kauszy. Ze względu na małą ilość próbek uzasadnienie rozbieżności jest utrudnione, potwierdza to próbka C liny z kauszą i próbka C liny bez kauszy. Rozbieżność wartości siły maksymalnej dla tych dwóch próbek jest mniejsza niż 1%. Siła zerwania drugiego splotu liny wyniosła 55,5% wartości siły maksymalnej w przypadku liny z kauszą i 62,8% siły maksymalnej w przypadku liny bez kauszy.

Taśmy Dyneema wykazały znacznie niższą rozciągliwość niż pozostałe próbki. Średnie wydłużenie dla taśmy Dyneema w układzie dwupętlowym wyniosło 17,8% przy średniej sile zrywającej 16010 N, a w przypadku układu

The summarised diagram of dependence of the line extension  $\Delta L[\%]$  on the stretching force  $F[N]$  (Fig. 2.) was prepared at omitting the results for samples of polyether-sulfone strip to prevent the lack of diagram transparency as they were not efficiently disrupted. These samples will be tested with using two sleeves for fastening.

#### 4. Conclusions

Performed tests indicate significant extension of samples before the breakage. It is a beneficial effect regarding the existence of forces of high values at the opening of a parachute. The greatest extension was for the spliced polyamide line without the thimble and the mean value of this extension was 47.7%. A similar value of 44.8% of the mean extension was received for the spliced polyamide line with the thimble. Respectively, the mean disrupting force for the line without and with the thimble was 6549.2 N and 6266.1 N. The difference is partially caused by the laying down of line in the eyelet. The eyelet without thimble gets greater extension. Difference of maximal forces for polyamide lines with and without the thimble is 4.5%. Low number of samples is not helpful to explain the differences what is confirmed by sample C with and without the thimble. Difference of maximal force is below 1% for these two samples. Force of disruption of the second splice was 55.5% of maximal force for line with thimble and 62.8% for line without thimble.

Dyneema strips show significantly lower rate of extension than other samples. The mean extension for Dyneema strip in double-loop configuration was 17.8% at the mean disruptive force 16010 N, and in the

pętli zamkniętej 13,9%, przy średniej sile zrywającej 24595 N. Jednakże mocowanie taśm Dyneema, na skutek uszkodzenia uchwytu w maszynie, było inne niż pozostałych próbek, w związku z tym otrzymane wyniki pomiaru wydłużenia mogą być obarczone błędem. Badania dla tych próbek zostaną powtórzone na dalszym etapie prac projektowych.

Bazując na otrzymanych wynikach badań statycznej próby rozciągania podjęto decyzję o zastosowaniu, do badań poligonowych, zawiesia wykonanego z liny poliamidowej z kauszą, przez wzgląd na jego wysoką rozciągliwość i dość wysoką wartość siły zrywającej. Planowane jest również przeprowadzenie prób statycznego rozciągania zawiesi w skrajnych temperaturach eksploatacji  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $+60^{\circ}\text{C}$ .

closed-loop configuration 13.9% at the mean disruptive force 24595 N. But the fastening of Dyneema strips was different than for the remaining samples due to damage of tester's catcher, and the received results of extension can be burdened by the error. These samples will be tested again in the developing stage.

On the basis of received results of static tensile trials decision was made to use at the range tests the suspension made of the polyamide line with the thimble due to its high extendibility and relatively high value of disruptive force. Moreover, it is planned to perform the static tensile trials of the suspensions at extreme temperature of use:  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $+60^{\circ}\text{C}$ .

## Literatura / Literature

- [1] Plachá A., Ruliński P., Rybakiewicz Ł., The influence of knot types on rope static tensile strength, *Journal of Physics Conference Series* 2090(1):012130, 2021
- [2] Radoń-Zajączkowska B., Kozak J., Kowalski J., Politechnika Gdańska, Wytrzymałość drobnych elementów olinowania ruchomego wykonanych z Dyneemy, *Katedra Technologii Obiektów Pływających, Systemów Jakości i Materiałoznawstwa, Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni* 33/2018
- [3] Sanborn B., DiLeonardi A.M., Weerasooriya T., Tensile properties of SK76 single fibers at multiple loading rates using a direct gripping Method, *Journal of Dynamic Behavior of Materials* 1, 4-14, 2015
- [4] Jiangao Shi, Wenwen Yu, Wenzhu Zhong, Yongli Liu, LeiWang, Xiaoxue, A Study on the Tensile Mechanical Properties of HSPE Twisted Rope, *Journal of Research of the National Bureau of Standards IFEESD* 2016
- [5] <https://www.metalopedia.pl/artukul/czym-sa-zawiesia-i-jakie-sa-ich-rodzaje-83291>, marzec 2022
- [6] <https://porozumieniedlabezpieczenstwa.pl/doc/188/Standardy%20BHP%20-%20%20Zawiesia.pdf>, czerwiec 2022
- [7] <https://www.plastem.pl/oferta/tworzywa-sztuczne/poliamid-pa/>, czerwiec 2022
- [8] <https://www.ensingerplastics.com/pl-pl/polwyroby/produkty/pa66-tecamid-66-natural#/product-technical-detail-collapse-item0-lvl-1>, czerwiec 2022
- [9] [https://plastics.pl/content/pliki/380/katalog\\_tworzywa\\_techiczne\\_tworzywa\\_PES](https://plastics.pl/content/pliki/380/katalog_tworzywa_techiczne_tworzywa_PES), czerwiec 2023
- [10] <https://zatorski.pl/wp-content/uploads/2018/02/PES>, czerwiec 2022
- [11] <https://Yjatex-pasmanterie.pl/pl/Produkty/Tasmy-Dyneema-R/Tasmy-Dyneema-R>, czerwiec 2023
- [12] [https://dsm.com/dyneema/en\\_GB/applications/ropes-lines-slings-chains/lifting-](https://dsm.com/dyneema/en_GB/applications/ropes-lines-slings-chains/lifting-)



slings/pucharsing-more-than-just-a-brak-strength.html, czerwiec 2023

[13] <https://materialyinzynierskie.pl/dyneema/>, czerwiec 2023

[14] Dane otrzymane od dostawcy YSM and Partners, niepublikowane

[15] Dane otrzymane od dostawcy Lhotse, niepublikowane

