

Karolina Dwórska<sup>a)\*</sup>, Leszek Jurecki<sup>a)</sup>, Mateusz Jakubowski<sup>a)</sup>, Maksymilian Żurawski<sup>a)</sup>, Łukasz Pastuszka<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy*

\* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: kdworska@cnbop.pl*

## Influence of External Factors on the Strength of Firefighting Hoses Used in Fire Protection Units

### Wpływ czynników zewnętrznych na wytrzymałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej

#### ABSTRACT

**Aim:** The purpose of this article is to review information on firefighting hoses in terms of their division and the materials used in their production, and to determine if and how external factors affect their strength and durability.

**Introduction:** Firefighting hoses are one of the most important products of technical equipment of Fire Protection Units. Since they are an indispensable element during rescue and firefighting operations, conducting research on the strength of fire hoses is needed and extremely important from the point of view of fire protection.

**Project and methods:** Technological advances in the area of using various types of materials for fire hoses over time have had (and continue to have) a significant impact on the undertaking of rescue and firefighting operations, the speed with which these operations are carried out, as well as their effectiveness. Therefore, at the beginning of the article, a historical outline of the fire hoses used for firefighting in various countries around the world over the years was made. In the following part of the article, the influence of external factors on the adhesive strength of firefighting hoses used in fire protection units in Poland was analysed. The effect of exposure to a 3% foam solution of a fire extinguishing agent on hose tape samples placed in this solution was tested, depending on the time of direct contact of the samples with this agent. The effect of UV exposure (under wetting and drying conditions) on the hose tape samples was also studied, with time intervals of different lengths.

**Results and conclusions:** When testing the exposure of the hose tape samples to UV light (for 90 minutes, at  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ , without water spray, followed by water exposure for 30 minutes, at  $50 \pm 10\%$  humidity), decreasing trends were observed for the average values of delamination strengths. Tests were also made on a series of samples exposed to a 3% solution of aqueous foam extinguishing agent on the hose tape, both externally and internally. Declining trends were observed for the mean values of adhesive strengths (after 3 and 6 weeks). The impact of factors such as exposure to UV radiation, as well as the impact of the foam extinguishing agent solution negatively affects the hose tape, reducing its strength. The article was prepared on the basis of the authors' own research results, as well as available sources, both national and foreign, based on the available literature on the raised issues.

**Keywords:** firefighting hose, fire hose strength, adhesion, UV, foam extinguishing agent

**Type of article:** preliminary (research) report

---

**Received:** 07.11.2023; **Reviewed:** 21.11.2023; **Accepted:** 06.12.2023;

Author's ORCID ID: K. Dwórska – 0009-0008-7611-1176; L. Jurecki – 0000-0002-7117-7263; M. Jakubowski – 0009-0005-0756-943X; M. Żurawski – 0000-0002-5821-287X; Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584;

Percentage contribution: K. Dwórska – 40%; L. Jurecki – 20%; M. Jakubowski – 15%; M. Żurawski – 15%; Ł. Pastuszka – 10%;

**Please cite as:** SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 150–170, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.9>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

---

#### ABSTRAKT

**Cel:** Celem niniejszego artykułu jest przegląd informacji dotyczących pożarniczych węży tłocznych pod względem ich podziału oraz materiałów stosowanych do ich produkcji, a także określenie, czy i w jaki sposób czynniki zewnętrzne wpływają na ich wytrzymałość i trwałość.

**Wprowadzenie:** Węże pożarnicze to jeden z najważniejszych wyrobów technicznego wyposażenia jednostek ochrony przeciwpożarowej. Z uwagi na fakt, że stanowią one niezbędny element podczas działań ratowniczo-gaśniczych, prowadzenie badań w zakresie wytrzymałości węży pożarniczych jest potrzebne i niezwykle istotne z punktu widzenia ochrony przeciwpożarowej.

**Projekt i metody:** Postęp technologiczny w obszarze stosowania różnego rodzaju materiałów do produkcji węży pożarniczych z biegiem czasu miał (i ma nadal) znaczący wpływ na podejmowanie działań ratowniczo-gaśniczych, szybkość prowadzenia tych działań, a także ich skuteczność. Dlatego na początku artykułu dokonano zarysu historycznego pożarniczych węży tłocznych stosowanych do gaszenia pożarów w różnych państwach świata

na przestrzeni lat. W dalszej części pracy analizowano wpływ czynników zewnętrznych na wytrzymałość adhezyjną pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej w Polsce. Sprawdzano wpływ oddziaływania 3-procentowego roztworu pianotwórczego środka gaśniczego na próbki taśmy węzowej, umieszczonych w tym roztworze, w zależności od czasu bezpośredniego kontaktu próbek z tym czynnikiem. Badano również wpływ ekspozycji promieniowania UV (w warunkach zwilżenia i suszenia) na próbki taśmy węzowej, w przedziałach czasowych o różnej długości.

**Wyniki i wnioski:** Podczas badania ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV (przez 90 min, w temperaturze  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ , bez zraszania wodą, a następnie działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności  $50 \pm 10\%$ ) zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku średnich wartości sił wytrzymałości na rozwarstwienie. Dokonano również badań serii próbek poddanych oddziaływaniu 3-procentowego roztworu wodnego pianotwórczego środka gaśniczego na taśmę węzową, zarówno od zewnątrz, jak i od wewnątrz. Zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku średnich wartości sił wytrzymałości adhezyjnych (po 3 i 6 tygodniach). Czynniki takie jak ekspozycja na promieniowanie UV, a także oddziaływanie roztworu gaśniczego środka pianotwórczego negatywnie wpływają na taśmę węzową, zmniejszając jej wytrzymałość. Artykuł przygotowano na podstawie wyników badań własnych autorów, a także dostępnych źródeł zarówno krajowych, jak i zagranicznych, z wykorzystaniem literatury dotyczącej dotyczącej poruszanych zagadnień.

**Słowa kluczowe:** pożarniczy wąż tłoczny, wytrzymałość węży pożarniczych, adhezja, UV, pianotwórczy środek gaśniczy

**Typ artykułu:** doniesienie wstępne (komunikat z badań)

**Przyjęty:** 07.11.2023; **Zrecenzowany:** 21.11.2023; **Zaakceptowany:** 06.12.2023;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Dwórska – 0009-0008-7611-1176; L. Jurecki – 0000-0002-7117-7263; M. Jakubowski – 0009-0005-0756-943X; M. Żurawski – 0000-0002-5821-287X; Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Dwórska – 40%; L. Jurecki – 20%; M. Jakubowski – 15%; M. Żurawski – 15%; Ł. Pastuszka – 10%;

**Proszę cytować:** SFT Vol. 62 Issue 2, 2023, pp. 150–170, <https://doi.org/10.12845/sft.62.2.2023.9>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

## Introduction

Fire hoses, as one of the most important products of technical equipment of fire protection units, are an essential element during rescue and firefighting operations. It is difficult to imagine performing even the least complicated firefighting operation without their use. The use of this type of equipment during firefighting operations allows water or other extinguishing agent to be pumped at the appropriate pressure from the water source (or other extinguishing agent or pump) to the location where these operations are performed [1].

## Wprowadzenie

Węże pożarnicze, jako jeden z najważniejszych wyrobów technicznego wyposażenia jednostek ochrony przeciwpożarowej, stanowią niezbędny element podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Trudno wyobrazić sobie nawet najmniej skomplikowaną akcję gaśniczą bez ich wykorzystania. Zastosowanie tego rodzaju sprzętu podczas działań gaśniczych pozwala na tłoczenie wody lub innego środka gaśniczego pod odpowiednim ciśnieniem od źródła wody (lub innego środka gaśniczego albo pompy) do miejsca, w którym te działania są wykonywane [1].



**Figure 1.** Firefighting hose for fire pumps

**Rycina 1.** Pożarniczy wąż tłoczny do pomp pożarniczych

**Source:** Own elaboration.

**Źródło:** Opracowanie własne.

Since humans have achieved the ability to start fires, there has been a simultaneous problem in controlling them, resulting in the spread of fires. Until the 17th century, firefighting techniques were characterized by high labour- and time-consuming operations and low efficiency. They were carried out by so-called "brigades with buckets" [2]. The firefighting operations then

Od kiedy ludzie osiągnęli umiejętność wzniesienia ognia, jednocześnie pojawiał się problem z opanowaniem go, co skutkowało rozprzestrzenianiem się pożarów. Do XVII wieku techniki gaszenia pożarów charakteryzowały się dużą pracochłonnością działań oraz niską skutecznością. Realizowane były przez tzw. brygady z wiadrami [2]. Działania gaśnicze polegały

consisted of setting up rows of people parallel to each other, who would pass buckets filled with water to each other in the first row, thus reaching the site of the fire. The people in the second row were tasked with picking up the empty buckets in an analogous manner, to fill them up again at the source with water and hand them over filled. Due to the short distance between the person pouring water from the bucket and the fire, this method proved to be very dangerous [3].

The breakthrough year was 1672, when a leather fire hose was invented in Amsterdam. This was done by a painter involved with the fire department, Jan Van der Heyden, together with his son Nicholaas. He manufactured a firefighting hose made of leather. One hose was a section of 50 feet, or more than 15 meters, and was terminated with brass screws, allowing the individual sections to be connected to each other, at any length. This hose served both discharge and suction functions. One end of the hose was attached to the engine, while the other end was submerged in water. The suction hole was provided with a piece of cork to make it float, and terminated with a grille or brass plate with lots of small holes to prevent mud and dirt from being sucked in [4–5]. Carefully made fire leather hose was characterized by durability, provided it was properly cleaned (i.e. rinsed with clean water, cleaned of sand and dirt, and then dried) and maintained by lubricating it with grease (such as fish oil, lard, tallow and beeswax), thus preventing it from drying out and hardening. For protection against pests (including mice), the hoses were soaked in an infusion of bitter apple or colocynth (a plant of the cucurbit family, native to the sandy areas of Africa and Asia). The invention momentarily took firefighting technology to the next level. Due to the possibility of supplying water from the water source to the place of fire, the time of firefighting operations was significantly reduced, could be carried out from a distance (increasing the safety of firefighters at that time), with much greater precision (possibility of directing the water jet to the fire focus). Despite the listed advantages, it only began to be used in England from 1760.

The technology for making hose remained unchanged for another 135 years when James Sellers and Abraham Pennock (Philadelphia Hose Company) developed a method of riveting the leather hose between 1807 and 1808, replacing the previous technique of stitching the leather pieces together.

In parallel, 1720 brought the boom of canvas fire hoses. Those who went down in history are: Beck from Leipzig, a lace weaver, who made seamless woven hemp hoses, as well as Erke from Weimar, who made linen fire hoses (later also manufactured in Dresden and Śląsk). Canvas fire hoses had the advantage of being lightweight, as well as being easily renovated by cutting out the damaged section and sewing the edges together with waxed thread. Unfortunately, these hoses were not resistant to abrasion and the effects of moisture [5]. The 19th century was the era when rubber fire hoses were popular. In 1827, a rubber fire hose was manufactured in Fulham by Thomas Hancock [5]. In 1844, the process of vulcanising rubber was independently patented by Charles Goodyear (USA) and Thomas Hancock (UK). As a result of vulcanisation, they obtained rubber that retained its properties under extreme conditions, i.e. non-melting at high temperatures and elasticity at

wówczas na ustawieniu równoległych względem siebie rzędów ludzi, którzy w pierwszym rzędzie podawali sobie kolejno wiadra wypełnione wodą, docierając w ten sposób do miejsca pożaru. Ludzie z drugiego rzędu mieli za zadanie odbierać w analogiczny sposób puste wiadra, aby ponownie zappełnić je u źródła wodą i przekazywać napełnione. Z uwagi na niewielką odległość osoby wylewającej wodę z wiadra od ognia, metoda ta okazywała się bardzo niebezpieczna [3].

Przełomowym stał się rok 1672, kiedy w Amsterdamie wynaleziono pożarniczy wąż skórzany. Dokonał tego malarz zaangażowany w sprawy straży pożarnej, Jan Van der Heyden, wraz z synem Nicholaasem. Wyprodukował on wąż tłoczny wykonany ze skóry. Jeden wąż stanowił odcinek o długości 50 stóp, czyli ponad 15 m, zakończony był mosiężnymi wkrętami, umożliwiającymi połączenie pojedynczych odcinków ze sobą, na dowolną długość. Wąż ten pełnił funkcje tłoczne i ssawne. Jeden koniec węża mocowano do silnika, zaś drugi zanurzano w wodzie. Otwór ssący zaopatrzony był w kawałek korka, aby go unosić oraz zakończony kratką lub mosiężną płytką z dużą ilością małych otworów, chroniącą przed zassaniem błota i zanieczyszczeń [4–5]. Starannie wykonany pożarniczy wąż skórzany charakteryzował się trwałością pod warunkiem odpowiedniego oczyszczenia (tzn. przepłukania czystą wodą, oczyszczenia z piasku i brudu, a następnie wysuszenia) oraz konserwacji poprzez nasmarowanie go tłuszczem (np. olejem rybnym, smalcem, łojem i woskiem pszczelim), zapobiegającej jego wyschnięciu i stwardnieniu. Dla ochrony przed szkodnikami (m.in. myszami) węże mocowano w naparze z gorzkiego jabłka lub kolocyntu (rośliny z rodziny dyniowatych, pochodzącej z obszarów piaszczystych Afryki i Azji). Wynalazek momentalnie przeniósł technikę gaszenia pożarów na wyższy poziom. Dzięki sposobności podawania wody od źródła wody do miejsca pożaru, czas działań gaśniczych uległ znacznemu skróceniu, mógł odbywać się z dystansu (zwiększając bezpieczeństwo ówczesnych strażaków), z dużo większą precyzją (możliwość nakierowania strumienia wody na ognisko pożaru). Mimo wymienionych zalet w Anglii zaczął być używany dopiero od 1760 roku.

Technologia wytwarzania pożarniczego węża pozostała niezmienna przez kolejne 135 lat, kiedy James Sellers i Abraham Pennock (Philadelphia Hose Company) w latach 1807–1808 opracowali metodę nitowania węża skózanego, zastępując tym samym dotychczasową technikę polegającą na zszywaniu skórzanych fragmentów.

Równolegle w 1720 r. nastąpił rozkwit płóciennych węży pożarniczych. Na kartach historii zapisali się: Beck z Lipska, zajmujący się tkaniem koronek, który wykonał bezszwowe, tkane pożarnicze węże konopne, jak również Erke z Weimaru, który wykonał pożarnicze węże lniane (wytwarzane później także w Dreźnie oraz na Śląsku). Zaletą płóciennych węży pożarniczych była ich niewielka waga, a także łatwa renowacja, polegająca na wycięciu uszkodzonego fragmentu i zszytciu krawędzi woskowaną nicią. Niestety węże te nie były odporne na przetarcia oraz oddziaływanie wilgoci [5]. XIX wiek to epoka popularności gumowych węży pożarniczych. W 1827 r. w Fulham przez Thomasa Hancocka został wytworzony gumowy wąż pożarniczy [5]. W 1844 r. opatentowania procesu wulkanizacji kauczuku niezależnie dokonali Charles Goodyear (USA) oraz Thomas Hancock (Wielka Brytania).

low temperatures. This invention led to the use of rubber in the manufacture of rubber fire hoses.

In 1878, the American Fire Hose Manufacturing Company manufactured the first fire hose, which had a two-layer construction and was free of seams and rivets. The outer layer was made of cotton, while the inner layer was vulcanised rubber [3].

Another milestone was the development of synthetic fibres in the 20th century, including polyester and polyamide (nylon, aramid).

Technological progress in the area of using different types of materials for fire hoses has had (and continues to have) a significant impact over time on the undertaking of rescue and fire-fighting operations, the speed with which these operations are carried out, as well as their effectiveness.

## Construction of firefighting hoses

When considering the issue of increasing the safety of firefighters during rescue and firefighting operations, manufacturers of firefighting hoses used for fire pumps and hydrants are expected to continually improve and upgrade their products. This is completely understandable, as the degree of technological sophistication of the materials used to manufacture firefighting hoses determines many characteristics, such as quality, durability, resistance, flexibility. These characteristics have a bearing on the performance of firefighting hoses, including their leak-tightness or strength. The latter, in turn, affect the speed and effectiveness of firefighting operations, and thus the safety of rescuers and rescued, as well as the success of operations in fire-prone areas. Taking this into account, changes began to be made over the years, manifested in using complex materials.

In the construction of today's firefighting hoses, there are two invariable elements (inner and outer layer) and one optional element (coating layer). A prerequisite for highly effective firefighting operations is the rapid delivery (under pressure) of the extinguishing medium to the fire zone, very often over considerable distances. The high speed of transfer of the extinguishing liquid is achieved by the smooth surface inside the firefighting hose, which minimises resistance when transporting the liquid. The high speed of transfer of the extinguishing liquid is achieved thanks to the smooth surface inside the firefighting hose, which minimises resistance when transporting the liquid. This in turn is made possible by using materials such as polyvinyl chloride (PVC), polyurethane (PU), nitrile or rubber for the layer. They reinforce the walls of the hose, making them resistant to deformation. The primary task of the inner layer is to ensure the tightness of the hose.

Closely adhering to the inner layer is the outer layer, which is a circularly woven braid made of polyester-based polymer yarn (polyester, polyester + polyamide, polyester + nylon), available in various colours. The use of these materials ensures abrasion

W wyniku wulkanizacji otrzymali gumę zachowującą swoje właściwości w ekstremalnych warunkach, tzn. nietopliwość w wysokich temperaturach oraz elastyczność w niskich temperaturach. Wynalazek ten zaowocował wykorzystaniem kauczuku do produkcji gumowych węży pożarniczych.

W 1878 r. firma American Fire Hose Manufacturing Company wyprodukowała pierwszy wąż pożarniczy, posiadający dwuwarstwową konstrukcję i pozbawiony szwów oraz nitów. Warstwa zewnętrzna wykonana była z bawełny, natomiast wewnętrzną stanowiła wulkanizowana guma [3].

Kolejnym krokiem milowym było opracowanie w XX w. włókien syntetycznych, m.in. poliestrowych i poliamidowych (nylonowych, aramidowych).

Postęp technologiczny w obszarze stosowania różnego rodzaju materiałów do produkcji węży pożarniczych z biegiem czasu miał (i ma nadal) znaczący wpływ na podejmowanie działań ratowniczo-gaśniczych, szybkość prowadzenia tych działań, a także ich skuteczność.

## Konstrukcja pożarniczych węży tłocznych

Rozpatrując zagadnienie zwiększania bezpieczeństwa strażaków podczas akcji ratowniczo-gaśniczych, od producentów pożarniczych węży tłocznych stosowanych do pomp pożarniczych i hydrantów oczekuje się ciągłego doskonalenia i unowocześniania wyrobów. Jest to całkowicie zrozumiałe, ponieważ stopień zaawansowania technologicznego materiałów stosowanych do produkcji pożarniczych węży determinuje wiele cech, takich jak: jakość, trwałość, odporność, elastyczność. Mają one przełożenie na parametry pracy węży pożarniczych, m.in. ich szczelność czy wytrzymałość. Te ostatnie z kolei wpływają na szybkość oraz efektywność działań gaśniczych, a co za tym idzie bezpieczeństwo ratujących i ratowanych, jak również powodzenie akcji na obszarach zagrożonych pożarem. Biorąc pod uwagę powyższe, z biegiem lat zaczęto wprowadzać zmiany, przejawiające się w zastosowaniu złożonych materiałów.

W budowie współcześnie stosowanych pożarniczych węży tłocznych wyróżnia się dwa niezmiennie występujące elementy (warstwa wewnętrzna i zewnętrzna) oraz jeden opcjonalny (warstwa powlekająca). Warunkiem koniecznym uzyskania wysokiej efektywności działań gaśniczych jest szybkie dostarczenie (pod ciśnieniem) medium gaśniczego do strefy zagrożonej pożarem, bardzo często na znaczne odległości. Dużą szybkość przesyłania cieczy gaśniczej uzyskać można dzięki gładkiej powierzchni wewnątrz węża pożarniczego, która minimalizuje opory podczas transportu cieczy. To z kolei możliwe jest dzięki zastosowaniu do produkcji warstwy takich materiałów jak: polichlorek winylu (PVC), poliuretan (PU), nityl czy guma. Wzmacniają one ścianki węża, czyniąc je odpornymi na odkształcenia. Podstawowym zadaniem warstwy wewnętrznej jest zapewnienie szczelności węża.

Do warstwy wewnętrznej ściśle przylega zewnętrzna, którą stanowi okrągło tkany oplot, wykonany z przędzy polimerowej na bazie poliestru (poliester, poliester + poliamid, poliester + nylon), występujący w różnych kolorach. Zastosowanie tych materiałów zapewnia odporność na ścieranie oraz wysoką wytrzymałość

resistance and high durability of the product against mechanical damage. The two layers (outer and inner) are bonded together with an adhesive that ensures that the braided carpet adheres properly.

wyrobu przed mechanicznymi uszkodzeniami. Obydwie warstwy (zewnątrzna i wewnętrzna) połączone są ze sobą za pomocą kleju, który zapewnia odpowiednią przyczepność wykładziny z oplotem.



**Figure 2.** Firefighting hose tape with polyester braid and PVC inner layer

**Rycina 2.** Taśma węzowa pożarniczego węża tłoczego z poliesterowym oplotem oraz warstwą wewnętrzną wykonaną z PVC

**Source:** Own elaboration.

**Źródło:** Opracowanie własne.



**Figure 3.** Samples of hose tape (each  $25 \pm 0.5$  mm wide) showing the variety of polyester braid colours and inner liner types, respectively: A – rubber, B – polyvinyl chloride, C – synthetic EPDM rubber, D – polyurethane, E – polyvinyl chloride

**Rycina 3.** Próbkki taśmy węzowej (każda o szerokości  $25 \pm 0,5$  mm) ukazujące różnorodność barw oplotów poliesterowych i rodzajów wykładzin wewnętrznych, odpowiednio: A – guma, B – polichlorek winylu, C – syntetyczny kauczuk EPDM, D – poliuretan, E – polichlorek winylu

**Source:** Own elaboration.

**Źródło:** Opracowanie własne.

As an option, the firefighting hose can be coated with an additional outer layer – in which case it becomes known as a coated firefighting hose and has even greater resistance to flame, dirt and damage (including abrasion and punctures). The additional coating can be made of polyurethane, PVC-based synthetic rubber or vulcanised nitrile rubber. The layer can also have fluorescent properties, making the hose more visible in difficult conditions during firefighting and rescue operations.

Opcjonalnie wąż tłoczny może być pokryty dodatkową warstwą zewnętrzną – zyskuje wtedy miano powlekanego węża tłoczego i cechuje się jeszcze większą odpornością na płomień, zabrudzenia i uszkodzenia (m.in. przetarcia i przebicia). Dodatkowa powłoka może być wykonana z poliuretanu, gumy syntetycznej na bazie PVC lub wulkanizowanego kauczuku nitylowego. Warstwa może również posiadać właściwości fluorescencyjne, dzięki czemu wąż wyróżnia się lepszą widocznością w trudnych warunkach podczas akcji ratowniczo-gaśniczej.



**Figure 4.** Sample of coated firefighting hose tape, showing styrene-acrylic coated polyester fibre braid and PVC inner lining

**Rycina 4.** Próbką taśmy węzowej powlekanego pożarniczego węża tłocznego, ukazująca opłót z włókna poliestrowego z powłoką styrenowo akrylową oraz wykładzinę wewnętrzną

**Source:** Own elaboration.

**Źródło:** Opracowanie własne.

All the layers mentioned above are permanently bonded together, creating a product that is both flexible (even at low temperatures), lightweight and resistant to damaging external factors. The use of synthetic materials eliminates the product's susceptibility to processes involving micro-organisms, providing resistance to such things as rotting or decay.

Wszystkie wyżej wymienione warstwy są ze sobą trwale połączone, tworząc wyrób zarówno elastyczny (również w niskich temperaturach), o niskiej wadze, jak i odporny na niszczące czynniki zewnętrzne. Zastosowanie materiałów syntetycznych eliminuje podatność wyrobu na procesy z udziałem mikroorganizmów, zapewniając odporność na m.in. butwienie czy gnicie.

## Application of firefighting hoses

The main focus of this article is on firefighting hoses in the context of fire protection, as equipment for fire, rescue or forestry units. However, the products are also widely used in other industries. Firefighting hoses for various types of pumps (motopumps and autopumps) are also used in civil engineering, mining, construction, transport (e.g. marine), agriculture.

## Zastosowanie pożarniczych węży tłocznych

W niniejszym artykule skoncentrowano się w głównej mierze na zagadnieniach dotyczących pożarniczych węży tłocznych w kontekście ochrony przeciwpożarowej jako wyposażeniu jednostek straży pożarnej, ratowniczych czy leśnych. Natomiast wyroby te znajdują także szerokie zastosowanie w innych gałęziach przemysłu. Pożarnicze węże tłoczne do różnego typu pomp (motopomp i autopomp) są wykorzystywane również w inżynierii wodnej i lądowej, górnictwie, budownictwie, transporcie (np. morskim), rolnictwie.

## Classification of firefighting hoses

Firefighting hoses can have internal diameters of different sizes (measured in mm), which generates one of the criteria for their division [6]. For this reason, the following hose sizes are distinguished: 25, 42, 52, 75 and 110.

Another criterion for the classification is the type of equipment used. The firefighting hose can be fitted with couplings to suit the corresponding inside diameter of the hose. Depending on the type of fittings used, a distinction is made between the following types of hose:

- ŁA – with aluminium alloy fittings,
- ŁM – with copper alloy couplings,
- B – without couplings [6].

## Podział pożarniczych węży tłocznych

Pożarnicze węże tłoczne mogą posiadać średnice wewnętrzne o różnej wielkości (mierzone w mm), co generuje jedno z kryteriów ich podziału [6]. Z tego względu, wyróżnia się następujące wielkości węży: 25, 42, 52, 75 i 110.

Kolejnym kryterium podziału jest rodzaj zastosowanego wyposażenia. Wąż tłoczny może być zakończony łącznikami, dopasowanymi do odpowiedniej średnicy wewnętrznej węża. W zależności od rodzaju użytych łączników rozróżnia się następujące odmiany węży:

- ŁA – z łącznikami ze stopu aluminium,
- ŁM – z łącznikami ze stopu miedzi,
- B – bez łączników [6].

## Research methodology and results

The main objective of this research is to determine the effect of adverse external influences on the strength of firefighting hoses used for fire pumps or hydrants and to note changes in the structure of the hose tape, as well as to capture trends in these changes. Achieving the described objective is possible by analysing the parameter delamination strength, expressed in the unit N/mm. The results of the tests will allow conclusions to be drawn regarding the strength of the materials that make up the hose tape and, consequently, the entire product.

### Purpose of the research – the importance of adhesion

The force of delamination shows how the layers of the hose tape are permanently connected to each other, that is, the braid glued to the inner lining. The force of adhesion (or bonding) between the outer layer and inner liner of a fire hose is referred to as adhesion. For a number of reasons, it is a very important aspect, because its correct value is essential for the proper, as well as effective operation of the hose – often under very extreme conditions of use.

The question of how the loss of adhesion between layers can affect the use of a firefighting hose is worth considering. The figure below shows a photo of a firefighting hose subjected to service (lasting about 30 years), as a result of which the braid and inner lining have permanently and irreversibly separated. Filling a fire hose (with water, for example) is possible, while emptying it involves complications, due to the rotation of the inner liner, which makes it difficult to pour water out of the hose. In turn, the water remaining in the fire hose contributes, among other things, to the development of mold that adversely affects the quality of the product. Poorly drained fire hoses are subject to freezing in winter, which undoubtedly leads to faster deterioration. Improper maintenance absolutely affects the lifespan of fire hoses, while their condition can determine the success of the entire firefighting and rescue operation. Loss of connection between layers will have a significant impact on the effectiveness of rescue and firefighting operations, as well as time-consuming operations, not to mention how much it will reduce comfort. A leaking hose will limit the amount of firefighting agents delivered to the site of operations, and in extreme cases, undergoing major disintegration, will cut off firefighters from firefighting resources. Such a situation not only seriously jeopardizes the success of a firefighting operation, but more importantly threatens the lives and health of firefighters working in the area of a fire hazard.

If the inner liner is improperly connected to the braid, it can tear. As a result, the flow of water is disrupted, which can cause fragments of the inner lining to break off. These, in turn, carried with the water that fills the fire hose, can get into other equipment in, for example, the nozzle or generator, restricting the flow and, in extreme cases, leading to its clogging. Considering the extreme case when – due to various factors – the fire hose loses its integrity, as a consequence, there will be a reduction in the number of

## Metodologia i wyniki badań

Głównym celem prowadzonych badań jest określenie wpływu oddziaływania niekorzystnych czynników zewnętrznych na wytrzymałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych do pomp pożarniczych lub hydrantów oraz zauważenie zmian w strukturze taśmy węzowej, a także uchwycenie tendencji tych zmian. Osiągnięcie opisanego celu jest możliwe dzięki analizie parametru, jakim jest wytrzymałość na rozwarstwienie, wyrażona w jednostce N/mm. Wyniki badań pozwolą sformułować wnioski dot. wytrzymałości materiałów składających się na taśmę węzową, a co za tym idzie całego wyrobu.

### Cel badań – znaczenie adhezji

Siła rozwarstwiania ukazuje, jak trwale połączone są ze sobą warstwy taśmy węzowej, czyli oplot sklejony z wykładziną wewnętrzną. Siła przylegania (lub przyczepności) do siebie warstwy zewnętrznej i wykładziny wewnętrznej węża pożarniczego określana jest mianem adhezji. Z wielu przyczyn stanowi ona bardzo ważny aspekt, ponieważ jej odpowiednia wartość ma podstawowe znaczenie dla prawidłowej, a także efektywnej pracy węża – często w bardzo ekstremalnych warunkach użytkowania.

Rozważaniom warto poddać zagadnienie, jak utrata adhezji pomiędzy warstwami może wpłynąć na użytkowanie pożarniczego węża tłoczego. Na rycinie poniżej przedstawiono zdjęcie pożarniczego węża tłoczego, poddanego eksploatacji (trwającej około 30 lat), w wyniku której oplot oraz wykładzina wewnętrzna trwale i nieodwracalnie oddzieliły się. Napełnienie węża pożarniczego (np. wodą) jest możliwe, natomiast opróżnienie go wiąże się z komplikacjami, z uwagi na rotowanie się wykładziny wewnętrznej, co utrudnia wylewanie z węża wody. Z kolei pozostająca w wężu pożarniczym woda przyczynia się m.in. do rozwoju pleśni niekorzystnie wpływającej na jakość wyrobu. Źle opróżnione węże pożarnicze narażone są w zimie na zamrażanie, co niewątpliwie doprowadza do szybszego ich niszczenia. Nieprawidłowa konserwacja bezwzględnie wpływa na żywotność węży pożarniczych, podczas gdy ich stan może przesądzić o powodzeniu całej akcji ratowniczo-gaśniczej. Utrata połączenia między warstwami będzie miała znaczący wpływ na skuteczność akcji ratowniczo-gaśniczej, a także czasochłonności działań, nie wspominając o tym, w jak dużym stopniu zmniejszy komfort użytkowania. Nieszczelny wąż będzie ograniczał ilość dostarczanych środków gaśniczych do miejsca działań, a w skrajnym wypadku, ulegając dużej dezintegracji, spowoduje odcięcie strażaków od środków gaśniczych. Taka sytuacja nie tylko stanowi poważnie zagrożenie powodzenia akcji gaśniczej, ale przede wszystkim zagraża życiu i zdrowiu strażaków pracujących w obszarze zagrożenia ogniowego.

W przypadku, kiedy wykładzina wewnętrzna jest w nieodpowiedni sposób połączona z oplotem, może się rozrywać. W konsekwencji zostaje zaburzony przepływ wody, co może powodować oderwanie fragmentów wykładziny wewnętrznej. Te zaś niesione z wodą, która wypełnia wąż pożarniczy, mogą przedostać się do innych urządzeń w np. prądownicy czy wytornicy, ograniczając przepływ, a w skrajnym przypadku doprowadzając do jej zapchania.

flowing firefighting agents, which can lead to rupture (according to Bernoulli's law – decreasing the flow, the pressure increases), which directly threatens rescuers and affects the success of the rescue operations.

A firefighting hose with an inside diameter of 52 mm was selected for the tests. Its hose tape consists of a polyester braid, while PVC is used as the material for the inner liner. In each test cycle, 10 specimens were cut from the hose tape after exposure to adverse external conditions and subjected to a test for delamination resistance.

Biorąc pod uwagę skrajny przypadek, kiedy – na skutek różnych czynników – wąż pożarniczy straci swoją integralność, w konsekwencji nastąpi ograniczenie liczby przepływających środków gaśniczych, co może doprowadzić do rozerwania (zgodnie z prawem Bernoulliego – zmniejszając przepływ, zwiększa się ciśnienie), co bezpośrednio zagraża ratownikom i wpływa na powodzenie działań ratowniczych.

Do przeprowadzonych badań wybrano pożarniczy wąż tłoczny do pomp pożarniczych o średnicy wewnętrznej 52 mm. Jego taśma węzowa składa się z poliestrowego oplotu, natomiast jako materiał na wkładkę wewnętrzną zastosowano PVC. W każdym cyklu badań, po narażeniu na niekorzystne czynniki zewnętrzne, z taśmy węzowej wycięto 10 próbek, które następnie poddano badaniu wytrzymałości na rozwarstwienie.



**Figure 5.** Firefighting hose in which there has been a loss of adhesion between the layers of hose tape  
**Rycina 5.** Pożarniczy wąż tłoczny, w którym nastąpiła utrata adhezji pomiędzy warstwami taśmy węzowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

## Effects of UV radiation and water

A firefighter's primary duties undoubtedly include performing firefighting and rescue operations during incidents such as fires, road accidents, natural, construction or chemical disasters, among others. Considering the duration of fires classified as small and medium, it can be concluded that the average duration of firefighting operations is about 2 h [7].

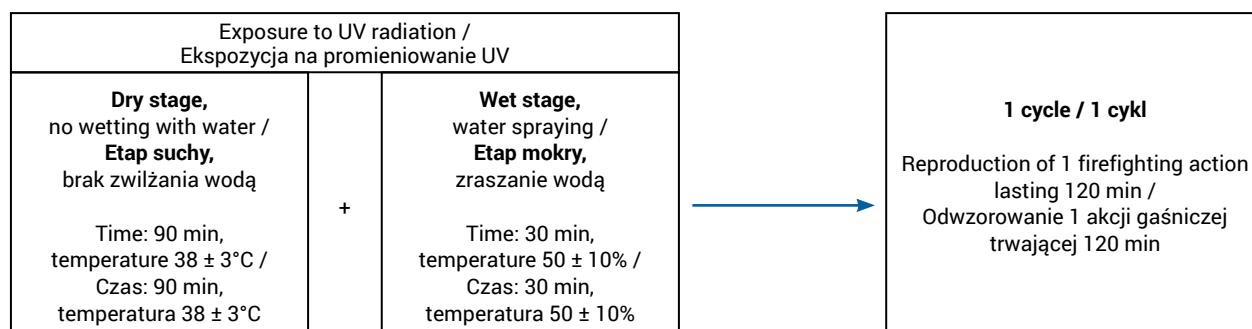
This part of the study was designed to simulate the natural conditions of hose use, when the hose tape becomes wet with water during firefighting operations and then dries. The tests were divided into two stages, during which sections of hose tape were exposed to UV light. The total time of the two stages was 2 h and mimicked the duration of one firefighting operation, later designated as 1 cycle. Stage one lasted 90 min, without the use of water, and the temperature in the chamber was  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ . Stage two lasted 30 min and involved sprinkling a section of hose tape with water, with prevailing humidity conditions of  $50 \pm 10\%$ .

## Oddziaływanie promieniowania UV i wody

Do podstawowych obowiązków strażaka niewątpliwie należy wykonywanie czynności gaśniczych oraz ratowniczych podczas zdarzeń, takich jak pożary, wypadki drogowe, katastrofy żywiołowe, budowlane czy chemiczne. Biorąc pod uwagę czas trwania pożarów sklasyfikowanych jako małe i średnie, można stwierdzić, że uśredniony czas przebiegu działań gaśniczych wynosi ok. 2 h [7].

Niniejsza część badań miała na celu zasymulowanie naturalnych warunków użytkowania węża, kiedy podczas działań gaśniczych taśma węzowa ulega zmoczeniu wodą, a następnie wysuszeniu. Badania podzielono na dwa etapy, podczas których odcinki taśmy węzowej poddano ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV. Sumaryczny czas dwóch etapów wynosił 2 h i odwzorowywał czas trwania jednej akcji gaśniczej, oznaczony później jako 1 cykl. Etap pierwszy trwał 90 min, bez użycia wody, a w komorze panowała temperatura równa  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ . Etap drugi trwał 30 min i polegał na zraszaniu wodą fragmentu taśmy węzowej, przy panujących warunkach wilgotności  $50 \pm 10\%$ .





**Figure 6.** Scheme for conducting ageing tests  
**Rycina 6.** Schemat prowadzenia badań starzeniowych

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.

In order to replicate the atmospheric conditions that occur when the materials are exposed to daylight in actual use, hose tape samples were exposed to xenon arc light in the presence of moisture (4892-2:2013-06 2013). The tests were conducted in a special Q-LAB Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-3-HS, designed for ageing tests, under controlled conditions of temperature, humidity and/or wetting (depending on the test stage).

W celu odtworzenia warunków atmosferycznych, które występują, gdy materiały wystawione są na światło dzienne w rzeczywistych warunkach użytkowania, próbki taśmy węzowej poddano naświetlaniu światłem łuku ksenonowego w obecności wilgoci (4892-2:2013-06 2013). Badania prowadzono w specjalnej komorze Q-LAB Q-SUN Xenon Test Chamber, Model Xe-3-HS, przeznaczonej do badań starzeniowych, w kontrolowanych warunkach temperatury, wilgotności i/lub zwilżania (w zależności od etapu badania).



**Figure 7.** Fragments of hose tape placed in a chamber for UV and water exposure (consecutive)  
**Rycina 7.** Fragmenty taśmy węzowej umieszczone w komorze w celu poddania ekspozycji na promieniowanie UV oraz działanie wody (następujące po sobie)

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.

The tests were accounted for by the number of cycles, meaning that delamination strength tests of the hose tape samples were performed every 100 cycles – after each sequence, it was checked how the delamination strength (adhesion) value changed and what trends were shown. The aforementioned force was determined by performing a series of tests using the methodology contained in PN-EN ISO 8033:2017-03 [8]. The issue of adhesion, defined as the strength of the outer layer and inner liner of a firefighting hose adhering to each other, is a very important aspect, as its correct value is fundamental to the effective operation of the hose under conditions of use. The samples were prepared prior to testing. Each specimen had a rectangular shape,

Testy rozliczono na liczbę cykli, co oznacza, że badania siły rozwarstwienia próbek taśmy węzowej wykonywano co 100 cykli – po każdej sekwencji sprawdzano, jak zmienia się wartość wytrzymałości na rozwarstwienie (adhezyjnej) i jakie tendencje są wykazywane. Wspomnianą powyżej siłę wyznaczano, wykonując serię badań z wykorzystaniem metodyki zawartej w normie PN-EN ISO 8033:2017-03 [8]. Zagadnienie adhezji, określanej jako siła przylegania do siebie warstwy zewnętrznej i wykładziny wewnętrznej węża pożarniczego, jest bardzo ważnym aspektem, ponieważ jej odpowiednia wartość ma podstawowe znaczenie dla efektywnej pracy węża w warunkach użytkowania. Przed przystąpieniem do badań przygotowano próbki. Każda z próbek posiadała kształt

obtained by cutting a  $25 \pm 0.5$  mm wide ring cut transversely from hose tape (with an internal diameter of 52 mm). The ring was cut from the hose perpendicular to its longitudinal axis. Before the specimen was fixed in the grips of the testing machine, the polyester braid was separated from the inner liner, in a section that allowed each separated layer to be fixed in the grips of the machine. The separated ends of a given specimen were placed in the grips in such a way that the angle between the separated layers was  $180^\circ$  to ensure a tensile force in the plane of separation. The position of the specimen in the grips was adjusted to ensure uniform stretching during the test. A Shimadzu AG-X plus 10 KN testing machine with an SLBL-500 N0 testing head was used for the tests. The machine is mechanically driven and equipped with, among other things, a force gauge, clamping fixtures and a recorder. During the test, the machine kept the mobile crosshead moving at a constant speed ( $50 \pm 5$  mm/min). Once the machine was started, the force [N] was recorded as the layers separated, over as long a distance as possible, but not less than 100 mm.

prostokąta, uzyskanego poprzez wycięcie z taśmy węzowej (o średnicy wewnętrznej równej 52 mm) pierścienia o szerokości  $25 \pm 0,5$  mm, rozciętego poprzecznie. Pierścień wycinano z węża prostopadle do jego osi wzdłużnej. Przed zamocowaniem próbki w uchwytach maszyny wytrzymałościowej oddzielono poliestrowy oplot od wykładziny wewnętrznej, na odcinku umożliwiającym zamocowanie każdej oddzielonej warstwy w uchwytach maszyny. Oddzielone końce danej próbki umieszczono w uchwytach w taki sposób, aby kąt między rozdzielanymi warstwami wynosił  $180^\circ$ , co zapewniło działanie siły rozciągającej w płaszczyźnie oddzielania. Wyregulowano położenie próbki w uchwytach, w celu równomiernego rozciągania podczas badania. Do badań zastosowano maszynę wytrzymałościową Shimadzu AG-X plus 10 KN z głowicą SLBL-500 N0. Maszyna napędzana jest mechanicznie, wyposażona m.in. w siłomierz, uchwyty zaciskowe i rejestrator. Podczas badania maszyna utrzymywała stałą prędkość przemieszczania trawersy ruchomej ( $50 \pm 5$  mm/min). Po uruchomieniu maszyny rejestrowano siłę [N], podczas oddzielania warstw, na odcinku możliwie najdłuższym, jednak nie krótszym niż 100 mm.



**Figure 8.** Shimadzu AG-X plus 10 KN testing machine with SLBL-500 N0 testing head  
**Rycina 8.** Maszyna wytrzymałościowa Shimadzu AG-X plus 10 KN z głowicą SLBL-500 N0  
**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.

The calculation of the results of the delamination strength of the tested materials was performed by determining the median peak, which was determined in accordance with PN-ISO 6133:2017-06 method B [10] based on force-time dependence plots of the test recorded.

Obliczenie wyników badań wytrzymałości na rozwarstwianie testowanych materiałów wykonano za pomocą wyznaczenia mediany pików, która została wyznaczona zgodnie z PN-ISO 6133:2017-06 metodą B [10] na podstawie wykresów zależności siły od czasu, w którym rejestrowano badanie.



**Figure 9.** Sample of hose tape fixed in the grips of the testing machine  
**Rycina 9.** Próbkę taśmy węzowej zamocowana w uchwytach maszyny wytrzymałościowej

**Source:** Own elaboration.

**Źródło:** Opracowanie własne.

The test results obtained from each cycle were subjected to the Dixon test to eliminate gross error. Corrections from the calibration certificates were then applied to the results and the average measurement result for the test cycle was determined. The scatter of the test cycle results, as measured by the standard deviation, was also calculated and the measurement uncertainty was estimated. By testing the exposure of the hose tape samples to UV light for 90 min, at  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ , without water spray, and then treating the samples with water for 30 min, at  $50 \pm 10\%$  humidity, the following results were obtained:

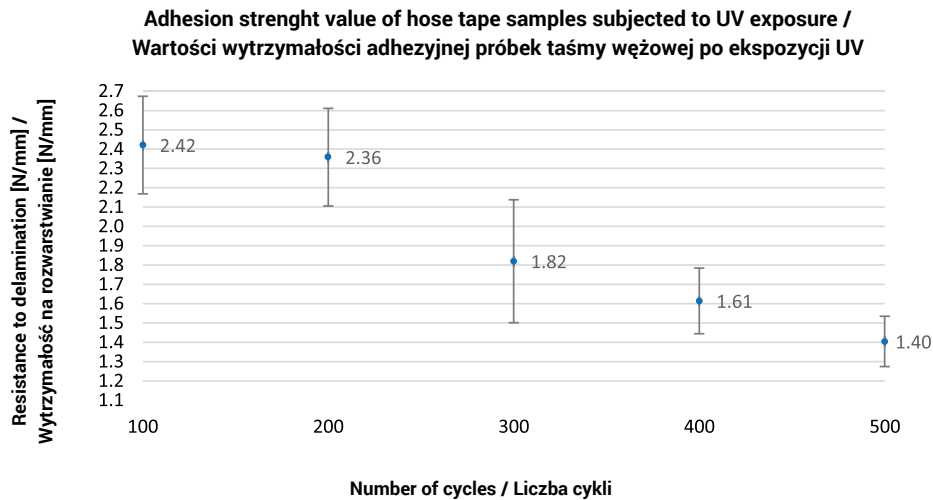
- for hose tape samples subjected to 100 cycles, a mean value for delamination resistance of  $2.42 \pm 0.39$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the expansion factor  $k$  was 2) and a scatter of results of 0.20 N/mm;
- after 200 cycles, a mean value for delamination resistance of  $2.36 \pm 0.53$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of results of 0.25 N/mm;
- after 300 cycles, a mean value for delamination resistance of  $1.82 \pm 0.67$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the expansion factor  $k$  was 2) and a scatter of results of 0.32 N/mm;
- after 400 cycles, a mean value for delamination resistance of  $1.61 \pm 0.35$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the expansion factor  $k$  was 2) and a scatter of results of 0.17 N/mm;
- after 500 cycles, a mean value for delamination resistance of  $1.40 \pm 0.28$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of results of 0.13 N/mm.

The Dixon test, to which the results obtained in each cycle were subjected, did not reveal the presence of coarse error and thus all the measurement data obtained were subjected to further analysis.

Otrzymane z każdego cyklu wyniki badań poddano testowi Dixona celem wyeliminowania błędu grubego. Następnie do wyników wprowadzono poprawki ze świadectw wzorcowania i określono średni wynik pomiaru dla cyklu badań. Obliczono również rozrzut wyników cyklu badań, którego miarą jest odchylenie standardowe oraz oszacowano niepewność pomiaru. Realizując badania ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV przez 90 min, w temperaturze  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ , bez zraszania wodą, a następnie poddając próbki działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności  $50 \pm 10\%$ , otrzymano następujące wyniki:

- dla próbek taśmy węzowej poddanej 100 cyklom uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $2,42 \pm 0,39$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,20 N/mm;
- po 200 cyklach uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $2,36 \pm 0,53$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,25 N/mm;
- po 300 cyklach uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,82 \pm 0,67$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,32 N/mm;
- po 400 cyklach, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,61 \pm 0,35$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,17 N/mm;
- po 500 cyklach, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,40 \pm 0,28$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników 0,13 N/mm.

Test Dixona, któremu poddano uzyskane w każdym cyklu wyniki, nie ujawnił występowania błędu grubego i tym samym wszystkie uzyskane dane pomiarowe były poddane dalszej analizie.



**Figure 10.** Graph of the dependence of the delamination strength of firefighting hoses on the number of cycles of exposure to UV radiation and water  
**Rycina 10.** Wykres zależności wytrzymałości na rozwarstwianie pożarniczych węży tłocznych do liczby cykli poddania ekspozycji na promieniowanie UV oraz działanie wody

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Exposure of the specimens to successive wet and dry stages resulted in rupture of the inner layer (PVC) of one of the specimens during delamination tests: after 300 cycles and after 400 cycles.

W wyniku ekspozycji próbek na oddziaływanie następujących po sobie etapów mokrego i suchego nastąpiło zerwanie warstwy wewnętrznej (PVC) jednej z próbek podczas badań rozwarstwiania: po 300 cyklach oraz po 400 cyklach.



**Figure 11.** Example of a hose tape sample subjected to a delamination force test, the PVC inner lining of which has ruptured

**Rycina 11.** Przykładowa próbka taśmy węzowej poddana badaniu siły rozwarstwienia, której wykładzina wewnętrzna wykonana z PVC uległa zerwaniu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The appearance of the specimens during the UV exposure tests of the hose tape specimens, during consecutive dry (simulated drying conditions, without water spray, for 90 min, at  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ ) and wet (water exposure for 30 min, at  $50 \pm 10\%$  humidity) stages, is shown below. The sample numbered '0' shows a reference

Poniżej przedstawiono wygląd próbek w trakcie realizacji badań ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV, podczas następujących po sobie etapów suchego (symulacja warunków suszenia, bez zraszania wodą, przez 90 min, w temperaturze  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ ) i mokrego (działaniu wody przez

sample, not subjected to ageing tests; samples numbered '1' to '5' illustrate samples subjected to 100, 200, 300, 400, 500 test cycles respectively, according to the parameters described above. Visually, it was observed that the interior lining changes colour to shades of yellow, the intensity of which increases with increasing number of cycles and exposure time to the test conditions. Poly(vinyl chloride) shows sensitivity to light. When exposed to electromagnetic radiation with a wavelength greater than 250 nm, in the presence of oxygen or nitrogen, dechlorination occurs, i.e. the PVC chain is broken and the hydrogen chloride molecules are cleaved, resulting in the formation of new double bonds. The conjugated polyenes absorb in the visible range, which is the cause of the yellow colouring of the materials. This is a negative phenomenon, leading to degradation of the PVC chain [12]. The intensity of the PVC colour increases with the degree of HCl elimination from the chain and the consequent formation of conjugated double bonds. The polluted environment favours the formation of conjugated double bonds under  $\text{NO}_2$  and  $\text{O}_3$  [13]. Therefore, the longer the inner lining (made of PVC) of the hose tape was exposed to UV light, the more intense the yellow colouration became – this is illustrated by the samples shown in Figure 12.

30 min, przy wilgotności  $50 \pm 10\%$ ). Próbkę oznaczoną jako „0” ukazuje próbkę referencyjną, niepoddaną badaniom starzeniowym; próbki o numerach od „1” do „5” obrazują próbki poddane odpowiednio 100, 200, 300, 400, 500 cyklom testowania, według parametrów opisanych powyżej. Od strony wizualnej zaobserwowano, że wykładzina wewnętrzna zmienia barwę na odcienie koloru żółtego, których intensywność zwiększa się wraz z rosnącą liczbą cykli i czasu ekspozycji na warunki panujące podczas badania. Poli(chlorek winylu) wykazuje wrażliwość na działanie światła. Pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego o długości fali wyższej niż 250 nm, w obecności tlenu lub azotu, następuje zjawisko odchlorowodorowania, czyli rozerwanie łańcucha PVC i odszczepienie cząsteczek chlorowodoru, w wyniku czego powstają nowe wiązania podwójne. Sprzężone polieny absorbują w zakresie widzialnym, co jest przyczyną zabarwienia materiałów na żółto. Jest to zjawisko negatywne, prowadzące do degradacji łańcucha PVC [12]. Intensywność zabarwienia PVC wzrasta wraz ze stopniem eliminacji HCl z łańcucha i w konsekwencji tworzenia się sprzężonych wiązań podwójnych. Zanieczyszczone środowisko sprzyja powstawaniu sprzężonych wiązań podwójnych pod wpływem  $\text{NO}_2$  i  $\text{O}_3$  [13]. Dlatego im dłużej wykładzina wewnętrzna (wykonana z PVC) taśmy węzowej zostawała poddawana działaniu promieniowania UV, tym żółte zabarwienie stawało się bardziej intensywne – obrazują to próbki ukazane na rycinie 12.



**Figure 12.** Change in appearance of inner lining of hose tape samples  
**Rycina 12.** Zmiana w wyglądzie wykładziny wewnętrznej próbek taśmy węzowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

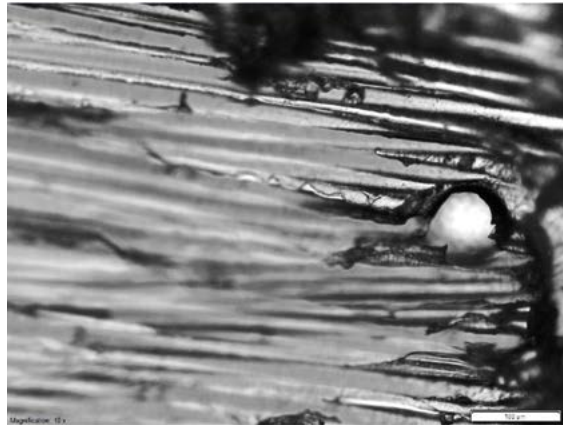
Analysis was carried out microscopically, of the surface constituting the adhesive layer connecting the braid and inner lining of the hose tape under test. Surface changes were observed using an Olympus optical microscope (model BX51), and photographs were taken (at 10x magnification) of sections of the surface of samples subjected to 100, 200, 300, 400, 500 cycles of testing of successive dry (simulated drying conditions, without water spray, for 90 min, at  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ ) and wet (exposure to water for 30 min, at  $50 \pm 10\%$  humidity) stages, respectively. The results are shown below.

Dokonano analizy mikroskopowej powierzchni stanowiącej warstwę kleju łączącego oplot i wykładzinę wewnętrzną badanej taśmy węzowej. Przeprowadzono obserwację zmian powierzchni za pomocą mikroskopu optycznego Olympus (model BX51), a następnie wykonano zdjęcia (przy powiększeniu 10x) fragmentów powierzchni próbek poddanych odpowiednio 100, 200, 300, 400, 500 cyklom testowania następujących po sobie etapów suchego (symulacja warunków suszenia, bez zraszania wodą, przez 90 min, w temperaturze  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ ) i mokrego (działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności  $50 \pm 10\%$ ). Wyniki przedstawiono poniżej.



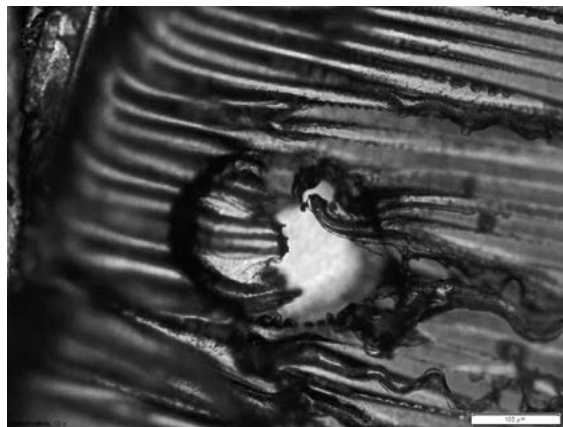
**Figure 13.** Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a reference sample, not exposed to UV light  
**Rycina 13.** Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki referencyjnej, nie poddanej ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.



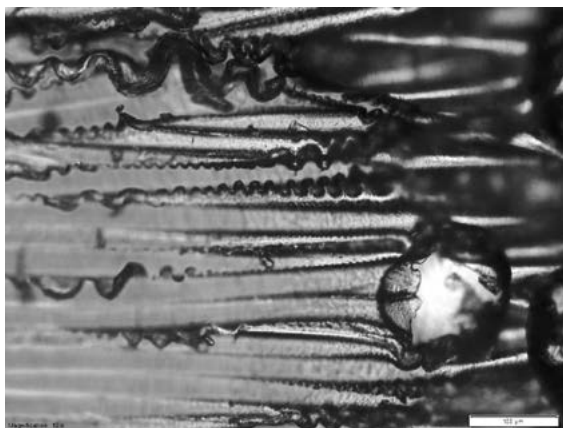
**Figure 14.** Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 100 cycles during UV exposure  
**Rycina 14.** Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 100 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.



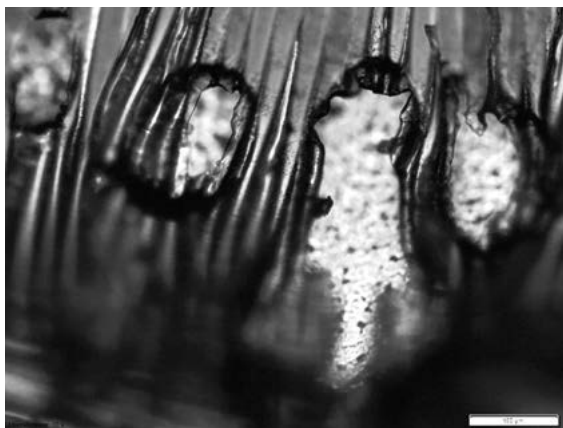
**Figure 15.** Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 200 cycles during UV exposure  
**Rycina 15.** Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 200 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.



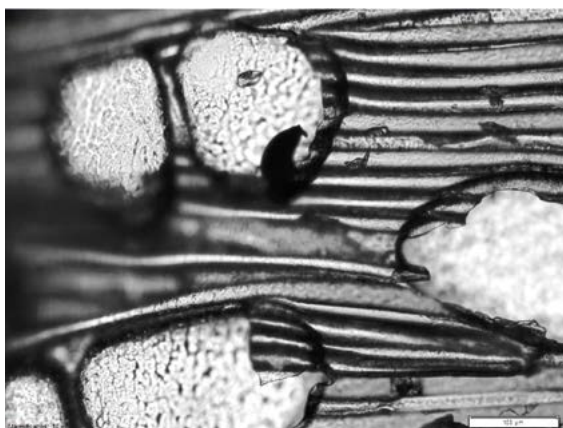
**Figure 16.** Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 300 cycles during UV exposure  
**Rycina 16.** Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 300 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.



**Figure 17.** Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 400 cycles during UV exposure  
**Rycina 17.** Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 400 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.



**Figure 18.** Photograph of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of a sample subjected to 500 cycles during UV exposure  
**Rycina 18.** Zdjęcie powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki poddanej 500 cyklom podczas ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV

**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.

During the analysis, it was observed that the image of the sample of the adhesive surface on the inner lining (PVC) of the reference sample, not exposed to UV light, differed from the images of the samples that were exposed to the aforementioned exposure. The UV-exposed specimens show areas of discontinuity in the bonding of the adhesive to the PVC lining, which are shaped like bubbles. Their number increases as the number of cycles increases.

### Effects of the extinguishing foaming agent – preliminary tests

For firefighting and fire protection, among other things, fire extinguishing foam agent is commonly used to produce foam by mixing with water, at a certain concentration – 3% or 6%. A significant amount of foam is produced during such firefighting activities. In this situation, the firefighting hoses used by firefighters very often come into direct contact with the extinguishing foaming agents. In the first case, by immersion in foam – which case the hose tape braid is exposed from the outside to the foam produced from the aqueous solution of the foam extinguishing agent. And in the second case, when the interior lining is subjected to the action of an aqueous foam-forming agent solution, when fed to foam generators or nozzles during

Podczas analizy zaobserwowano, że obraz próbki powierzchni kleju na wykładzinie wewnętrznej (PVC) próbki referencyjnej niepoddanej ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV różni się od obrazów próbek, które zostały poddane wspomnianej ekspozycji. W przypadku próbek poddanych ekspozycji na oddziaływanie promieniowania UV widoczne są obszary nieciągłości w przyczepności kleju do wykładziny wykonanej z PVC, które kształtem przypominają pęcherzyki. Ich ilość zwiększa się wraz ze wzrostem liczby cykli.

### Oddziaływanie gaśniczego środka pianotwórczego – próby wstępne

Do gaszenia pożarów oraz do ochrony przeciwpożarowej powszechnie stosuje się m.in. gaśniczy środek pianotwórczy, który służy do wytwarzania piany poprzez zmieszanie się z wodą, w określonym stężeniu – 3% lub 6%. Podczas działań z jego użyciem wytwarza się znaczna ilość piany. W takiej sytuacji stosowane przez strażaków pożarnicze węże tłoczne bardzo często mają bezpośredni kontakt z gaśniczymi środkami pianotwórczymi. W pierwszym przypadku poprzez zanurzenie w pianie – wówczas opłot taśmy węzowej narażony jest od zewnątrz na działanie piany wytworzonej z roztworu wodnego gaśniczego środka pianotwórczego. A także w drugim przypadku, kiedy wykładzina wewnętrzna poddawana jest oddziaływaniu wodnego roztworu środka pianotwórczego, przy podawaniu go do wytwornic lub prądownic pianowych podczas gaszenia.



**Figure 19.** Foam produced from a solution of foaming extinguishing agent  
**Rycina 19.** Piana wytworzona z roztworu pianotwórczego środka gaśniczego  
**Source:** Own elaboration.  
**Źródło:** Opracowanie własne.

This part of the research was designed to test the effect of the aqueous foaming agent solution on the hose tape braid (from the outside) and on the inner liner (from the inside). To begin with, an aqueous solution of 3% extinguishing foaming agent was

Niniejsza część badań miała na celu sprawdzenie oddziaływania roztworu wodnego środka pianotwórczego na opłot taśmy węzowej (od zewnątrz) oraz na wykładzinę wewnętrzną (od wewnątrz). Na wstępie, w naczyniu sporządzono roztwór wodny



prepared in a vessel. A synthetic foaming extinguishing agent was used to prepare the mixture, which is a homogeneous, transparent mixture of surfactants with a characteristic odour and colour – from blue to green. Chemically, it is a water-alcohol solution of surfactants, a hydrotropic substance, a corrosion inhibitor and a foam stabiliser. As the main physicochemical properties, it is worth mentioning the density of  $1.043 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$  (at  $20^\circ\text{C}$ ),  $\text{pH} = 6.5 \pm 9$  (at  $20^\circ\text{C}$ ), easily biodegradable [9]. Tests were accounted for by number of days, meaning that delamination force tests of the hose tape samples were performed at different intervals. A series of samples were tested prior to immersion of the hose tape fragments, the results of which allowed an average adhesion strength value to be established as a reference value. A further batch of specimens was then tested after a period of 3 weeks, with the result of an average delamination strength value. Measurements were made for a series of wet samples, as well as a series of samples that had been dried (24 h after removal from solution). The degree of drying was checked using the weight method. After each time sequence, it was checked how the delamination (adhesion) strength value changed and what trends were shown. Activities such as the preparation of the specimens for measurement, the test apparatus, the determination of adhesion forces, the statistical analysis of the results obtained and the calculation of delamination strengths (methodologies) were followed analogously to the testing of the UV-exposed specimens.

When testing the exposure of hose tape samples to a 3% aqueous solution of foaming agent, the following results were obtained:

- for the hose tape samples as reference, i.e. not treated with the above solution, an average delamination strength of  $2.13 \pm 0.33 \text{ N/mm}$  was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of  $0.16 \text{ N/mm}$ ;
- for hose tape samples as a reference, i.e. not treated with the above solution but subjected to a natural ageing process under laboratory conditions ( $T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ , humidity  $50 \pm 10\%$ ) for 6 weeks, an average delamination strength of  $2.12 \pm 0.5 \text{ N/mm}$  was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of  $0.25 \text{ N/mm}$ ;
- for wet hose tape samples tested after 1 week in the above solution, a mean value for delamination resistance of  $1.62 \pm 0.52 \text{ N/mm}$  was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of  $0.26 \text{ N/mm}$ ;
- for wet hose tape samples tested after 3 weeks in the above solution, an average delamination strength of  $1.44 \pm 0.3 \text{ N/mm}$  was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of  $0.15 \text{ N/mm}$ ;
- for wet hose tape specimens tested after 6 weeks in the above solution, an average delamination strength of  $1.20 \pm 0.3 \text{ N/mm}$  was obtained with a confidence level of 95% complex uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of  $0.15 \text{ N/mm}$ ;

zawierający gaśniczy środek pianotwórczy w stężeniu równym 3%. Do przygotowania mieszaniny użyto syntetycznego pianotwórczego środka gaśniczego, który stanowi jednorodną, przezroczystą mieszaninę związków powierzchniowo-czynnych o charakterystycznym zapachu oraz barwie – od niebieskiej do zielonej. Pod względem chemicznym jest to wodnoalkoholowy roztwór środków powierzchniowo-czynnych, substancji hydrotropowej, inhibitora korozji i stabilizatora piany. Jako główne właściwości fizykochemiczne warto wymienić gęstość równą  $1,043 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$  (w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ ),  $\text{pH} = 6,5 \pm 9$  (w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ ), łatwo biodegradowalny [9]. W tak przygotowanej mieszaninie umieszczono fragmenty taśmy węzowej, ze starannością o to, aby odcinki w całości były zanurzone w cieczy oraz aby docierała ona do wnętrza taśmy węzowej.

Testy rozliczono na liczbę dni, co oznacza, że badania siły rozwarstwienia próbek taśmy węzowej wykonywano w różnych odstępach czasu. Przed zanurzeniem fragmentów taśmy węzowej przebadano serię próbek, których wyniki pozwoliły ustalić średnią wartość wytrzymałości adhezyjnej jako wartość odniesienia. Następnie po upływie 3 tygodni przebadano kolejną partię próbek, uzyskując wynik średniej wartości wytrzymałości na rozwarstwienie. Pomiarów dokonano dla serii próbek mokrych, a także serii próbek, które uległy wysuszeniu (po 24 h od wyjęcia z roztworu). Sprawdzenia stopnia wysuszenia dokonano metodą wagową. Po każdej sekwencji czasu sprawdzano, jak zmienia się wartość wytrzymałości na rozwarstwienie (adhezyjnej) i jakie tendencje są wykazywane. W przypadku takich czynności jak: przygotowanie próbek do pomiarów, aparatura do badań, wyznaczenie sił adhezyjnych, analiza statystyczna otrzymanych wyników, oraz obliczenie wytrzymałości na rozwarstwianie (metodyki) postępowano analogicznie, jak w przypadku badań próbek poddanych ekspozycji na działanie promieniowania UV.

Realizując badania ekspozycji próbek taśmy węzowej na oddziaływanie 3-procentowego roztworu wodnego środka pianotwórczego, otrzymano następujące wyniki:

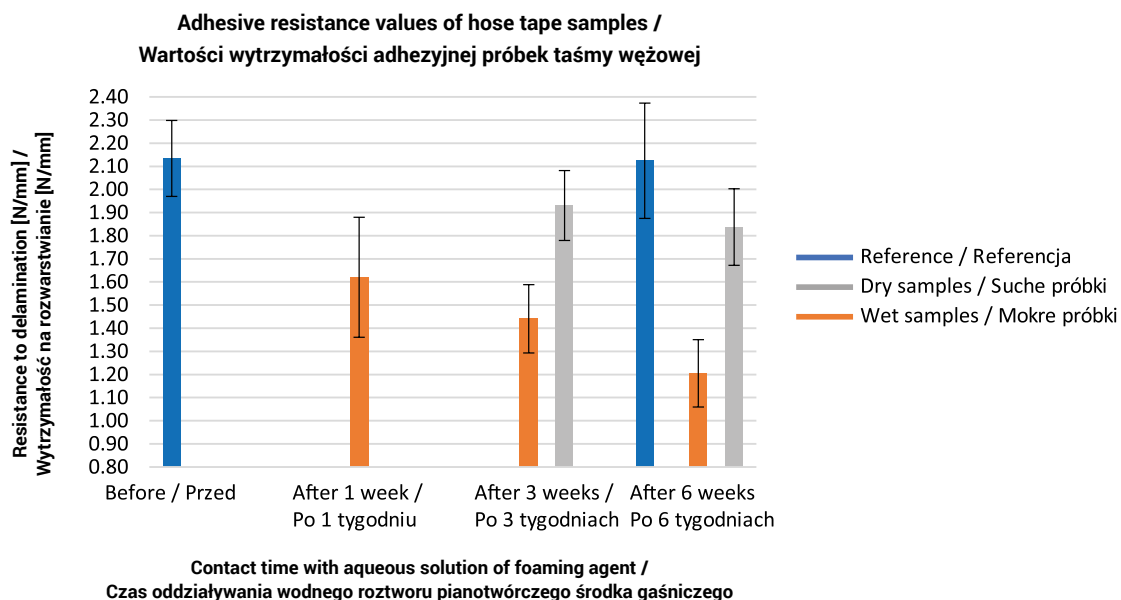
- dla próbek taśmy węzowej jako referencji, tzn. nie poddanych działaniu ww. roztworu, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $2,13 \pm 0,33 \text{ N/mm}$  przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący  $0,16 \text{ N/mm}$ ;
- dla próbek taśmy węzowej jako referencji, tzn. nie poddanych działaniu ww. roztworu, ale poddanych naturalnemu procesowi starzenia w warunkach laboratoryjnych ( $T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ , wilgotności  $50 \pm 10\%$ ) w czasie 6 tygodni uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $2,12 \pm 0,5 \text{ N/mm}$  przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący  $0,25 \text{ N/mm}$ ;
- dla mokrych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 1 tygodniu przebywania w ww. roztworze, uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,62 \pm 0,52 \text{ N/mm}$  przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący  $0,26 \text{ N/mm}$ ;
- dla mokrych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po

- for dried hose tape samples tested after 3 weeks in the above solution, an average delamination strength of  $1.93 \pm 0.31$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of 0.15 N/mm;
- for dried hose tape samples tested after 6 weeks in the above solution, an average delamination strength of  $1.84 \pm 0.34$  N/mm was obtained with a confidence level of 95% compound uncertainty (the coverage factor  $k$  was 2) and a scatter of the results of 0.17 N/mm.

The Dixon test, to which the obtained results for each cycle were subjected, did not reveal the presence of coarse error and thus all the obtained measurement data were subjected to further analysis.

- 3 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,44 \pm 0,3$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,15 N/mm;
- dla mokrych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 6 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,20 \pm 0,3$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,15 N/mm;
- dla wysuszonych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 3 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,93 \pm 0,31$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,15 N/mm;
- dla wysuszonych próbek taśmy węzowej sprawdzonych po 6 tygodniach przebywania w ww. roztworze uzyskano średnią wartość wytrzymałości na rozwarstwienie równą  $1,84$  N/mm.  $\pm 0,34$  N/mm przy poziomie ufności 95% niepewności złożonej (współczynnik rozszerzenia  $k$  wyniósł 2) oraz rozrzut wyników wynoszący 0,17 N/mm.

Test Dixona, któremu poddano uzyskane w każdym cyklu wyniki, nie ujawnił występowania błędu grubego i tym samym wszystkie uzyskane dane pomiarowe były poddane dalszej analizie.



**Figure 20.** Diagram of the dependence of the delamination resistance of firefighting hoses on the time of exposure to the aqueous solution of the foaming agent

**Rycina 20.** Wykres zależności wytrzymałości na rozwarstwienie pożarniczych węży tłocznych do czasu ekspozycji na działanie wodnego roztworu środka pianotwórczego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

## Conclusions

This article addresses issues concerning the durability of selected technical equipment used in fire protection units, such as firefighting hoses. Aging tests were carried out on samples of hose tape, which consists of an inner lining made of PVC, as well as an outer layer made of polyester.

When testing the exposure of a series of hose tape samples to UV light (for 90 min, at  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ , without water spray, followed by water exposure for 30 min, at  $50 \pm 10\%$  humidity), decreasing trends were observed for the average delamination forces. It has been proven that delamination force values decrease as the number of cycles increases. The one cycle presented in the research was intended to replicate rescue and firefighting operations lasting 120 minutes. A total of 500 cycles were carried out, so calculations indicate that 500 fire actions were simulated, giving a total of 1,000 hours of rescue and firefighting operations. This leads to the conclusion that the longer a firefighting hose is in the conditions mentioned above, its strength decreases as the number of firefighting actions in which it is used increases. However, even after 1000 h it still retains its performance characteristics.

When testing a series of specimens exposed to an aqueous foaming agent solution on the hose tape – both externally and internally – a decreasing trend was observed for the adhesion force values. The delamination force values for the samples that were immersed in the aforementioned solution were shown to decrease with time, while the average delamination force values for the samples not in solution remained the same, considering (in the latter) a time lapse of 6 weeks. When comparing the average values of the forces occurring during the tests for dried and wet specimens, it was noted that the specimens that were wet during the test showed lower values of adhesive forces. This may mean that the hose tape is more susceptible to damage.

An analysis of the effects of the tested factors, such as UV exposure as well as contact with the extinguishing agent solution, negatively affects the hose tape, reducing its strength, which was proven in the results of the measurements taken. The effect of UV exposure of the hose tape was also shown to be visually noticeable, both at a level visible to the naked eye and with the aid of an optical microscope, which gave evidence of irreversible changes in the structure of the adhesive layer.

When formulating conclusions, it should be borne in mind that the authors have made preliminary attempts to determine the influence of external factors on the strength and durability of firefighting hoses used in fire protection units, and the research described in this article is only an assumption of simulation of the real conditions of use of firefighting hoses during rescue and firefighting operations carried out by firefighters. The durability of products in actual use can vary much more, due to the differences in atmospheric conditions prevailing in different areas of Poland during rescue and firefighting operations. The following should be taken into account: ambient temperatures and humidity, moisture time, contamination and other factors. However, the essential issue seems to be the use by the manufacturers of high-quality materials for the production of firefighting hoses (braid, inner liner, adhesive) and careful production of the product,

## Wnioski

W niniejszym artykule poruszone zostały problemy dotyczące wytrzymałości wybranego sprzętu technicznego stosowanego w jednostkach ochrony przeciwpożarowej, jakim są pożarnicze węże tłoczne. Przeprowadzono badania starzeniowe próbek taśmy węzowej, składającej się z wykładziny wewnętrznej wykonanej z PVC, a także warstwy zewnętrznej z poliestru.

Podczas badania ekspozycji serii próbek taśmy węzowej na oddziaływanie promieniowania UV (przez 90 min, w temperaturze  $38 \pm 3^\circ\text{C}$ , bez zraszania wodą, a następnie działaniu wody przez 30 min, przy wilgotności  $50 \pm 10\%$ ) zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku średnich wartości sił rozwarstwienia. Dowiedziono, że wartości siły rozwarstwienia zmniejszają się wraz ze wzrostem liczby cykli. Przedstawiony w badaniach jeden cykl miał na celu odwzorować działania ratowniczo-gaśnicze trwające 120 minut. Sumarycznie przeprowadzono 500 cykli, zatem wyliczenia wskazują na wykonanie symulacji 500 akcji pożarniczych, co daje łącznie 1000 h działań ratowniczo-gaśniczych. Nasuwa się wniosek, iż im dłużej wąż pożarniczy znajduje się w wyżej wymienionych warunkach, tym jego wytrzymałość zmniejsza się wraz ze wzrostem liczby akcji gaśniczych, w których jest używany. Jednak nawet po 1000 h w dalszym ciągu zachowuje swoje parametry użytkowe.

Podczas badania serii próbek poddanych oddziaływaniu roztworu wodnego środka pianotwórczego na taśmę węzową – zarówno od zewnątrz, jak i od wewnątrz – zaobserwowano tendencje spadkowe w przypadku wartości siły adhezyjnej. Udowodniono, że wartości siły rozwarstwienia dla próbek, które były zanurzone w ww. roztworze, zmniejszają się z upływem czasu, podczas gdy średnie wartości siły rozwarstwienia dla próbek nieprzebywających w roztworze pozostały na tym samym poziomie, biorąc po uwagę (w tych ostatnich) upływ czasu równy 6 tygodni. Porównując średnie wartości sił występujących podczas badań w przypadku próbek wysuszonych i mokrych, zauważono, że próbki, które podczas badania były mokre, wykazywały niższe wartości sił adhezyjnych. Może to oznaczać większą podatność taśmy węzowej na uszkodzenia.

Badane czynniki, jak ekspozycja na promieniowanie UV, a także kontakt z roztworem gaśniczego środka pianotwórczego negatywnie wpływają na taśmę węzową, zmniejszając jej wytrzymałość, co udowodniono w wynikach wykonanych pomiarów. Wykazano, że wpływ ekspozycji taśmy węzowej na promieniowanie UV jest zauważalny również pod względem wizualnym, zarówno na poziomie widocznym gołym okiem, jak i za pomocą mikroskopu optycznego, co dało dowód zajścia nieodwracalnych zmian w strukturze warstwy kleju.

Formułując wnioski, należy mieć na uwadze fakt, iż autorzy podjęli wstępne próby określenia wpływu czynników zewnętrznych na wytrzymałość i trwałość pożarniczych węży tłocznych stosowanych w jednostkach ochrony przeciwpożarowej, a badania opisane w niniejszym artykule stanowią tylko założenie symulacji rzeczywistych warunków użytkowania pożarniczych węży tłocznych podczas działań ratowniczo-gaśniczych prowadzonych przez strażaków. Trwałość wyrobów w rzeczywistych warunkach użytkowania może być dużo bardziej zróżnicowana, ze względu na różnice

such as even distribution of the adhesive connecting the braid to the inner liner. On the other hand, it seems indisputable that the attempts made to test firefighting hoses in terms of the strength of the materials from which they are made is undoubtedly an issue worthy of further study. Moving in the direction of increasing the durability of the hose tape and, consequently, its resistance not only in difficult, but very often extreme, conditions in the fire danger zone, leads to the failure-free operation of firefighting hoses and much better performance in the extremely dangerous environment of the firefighter.

w warunkach atmosferycznych panujących w różnych obszarach Polski podczas działań ratowniczo-gaśniczych. Pod uwagę należy wziąć: temperatury i wilgotność otoczenia, czas zawilgocenia, zanieczyszczenia oraz inne czynniki. Jednak zasadniczą kwestią wydaje się zastosowanie przez producentów materiałów wysokiej jakości do produkcji pożarniczych węży tłocznych (oplot, wykładzina wewnętrzna, klej) i staranne wykonanie wyrobu, np. równomierne rozprowadzenie kleju łączącego opłot z wykładziną wewnętrzną. Natomiast bezdyskusyjnym wydaje się być fakt, iż podjęte próby badań pożarniczych węży tłocznych pod kątem wytrzymałości materiałów, z których są wykonane, niewątpliwie stanowią zagadnienie warte dalszej analizy. Podążanie w kierunku zwiększania wytrzymałości taśmy węzowej, a co za tym idzie, jej odporności nie tylko w trudnych, ale bardzo często ekstremalnych warunkach w strefie zagrożenia pożarem, prowadzi do bezawaryjności pożarniczych węży tłocznych oraz znacznie lepszej efektywności działania w niezwykle niebezpiecznym środowisku pracy strażaka.

## Literature / Literatura

- [1] Głowska S., Lemańska K., *Przegląd, zastosowanie i tendencje rozwojowe armatury pożarniczej*, BiTP Vol. 30, Issue 2, 2013, pp. 91–99.
- [2] Sicking L.P., *Wildland Fire Hose Guide*, Technology & Development Center, 1995.
- [3] Murphy J.J., Gates P.Ch., Scangas Ch.A., Donovan J.T., *An Analysis of Modern Day Fire Attack Hose*, WPI 2017.
- [4] Schwartz G., *Jan van der Heyden and the Huydecopers of Maarsseveen*, „The J. Paul Getty Museum Journal”, 1983, 11, 197–200.
- [5] Young Ch.F., *Fires, Fire Engines, and Fire Brigades: With a History of Manual and Steam Fire Engines, Their Construction, Use and Management: with Numerous Illustrations*, Lockwood & Company, 1866.
- [6] Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27.04.2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz. U. 2010, Nr 85, poz. 553).
- [7] Przybylski K., Wejman M., *Identyfikacja zagrożeń na stanowiskach pracy strażaków zawodowych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej” 2013, 59, 69–84.
- [8] PN-EN ISO 8033:2017-03. Węże z gumy i z tworzyw sztucznych – Oznaczanie adhezji między warstwami, 14.03.2017.
- [9] Karta charakterystyki produktu Roteor M Premium (Pianotwórczy środek gaśniczy) [dostęp: 25 10 2023].
- [10] PN-ISO 6133:2017-06 Guma i tworzywa sztuczne – Analizy wielopikowych wykresów uzyskanych podczas oznaczania wytrzymałości na rozdzielanie i wytrzymałości adhezyjnej, 30.08.2017.
- [11] PN-EN ISO 4892-2:2013-06 Tworzywa sztuczne – Metody ekspozycji na laboratoryjne źródła światła – Część 2: Lampy ksenonowe łukowe, 26.06.2013.
- [12] Decker Ch., Balandier M., *Degradation of poly(vinyl chloride) by U.V. radiation—I. Kinetics and quantum yields*, „European Polymer Journal” 1982, 18, 12, 1085–1091, [https://doi.org/10.1016/0014-3057\(82\)90209-9](https://doi.org/10.1016/0014-3057(82)90209-9).
- [13] Cucci C., Garcia O., Piantanida G., Elnaggar A., Cassar M., Strlic M., Pastorelli G., *Environmentally induced colour change during natural degradation of selected polymers*, „Polymer Degradation and Stability” 2013, 107, 198–209, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.11.007>.

**KAROLINA DWÓRSKA, M.SC. ENG.** – a graduate of the Faculty of Chemistry at the Warsaw University of Technology. Employee of Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment – BS at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Research and development project developer related to fire protection. In laboratory work, she is involved in research in the area of firefighting equipment.

**MGR INŻ. KAROLINA DWÓRSKA** – absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej. Pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z ochroną przeciwpożarową. W pracy laboratoryjnej zajmuje się badaniami z zakresu armatury pożarniczej.

**LESZEK JURECKI, M.SC. ENG.** – a graduate of the Mechanical Department of the Koszalin University of Technology, deputy head of the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment – BS at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. He is the author and co-author of a number of publications in the area of performance testing of fire vehicles and firefighting equipment. In addition, co-author and reviewer of CNBOP-PIB standards in the area of firefighting vehicles and pumps. Research and development project developer related to firefighting technology in the broadest sense. He specializes in issues of sustainability and durability of hydraulic platforms, mechanical ladders and jump ladders, as well as reliability of firefighting equipment. In his laboratory work, he is a specialist in fire vehicles, water and foam systems and fire pumps, as well as firefighting equipment.

**MATEUSZ JAKUBOWSKI, B.SC.** – a graduate of the Social Academy of Sciences. An employee of several years in the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Junior engineering specialist in personal protective equipment.

**MAKSYMILIAN ŻURAWSKI, M.SC. ENG.** – a graduate of the Fire Safety Engineering Department of the Main School of Fire Service in Warsaw, a senior engineering specialist at the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment at CNBOP-PIB. Author and co-author of publications in the area of fire vehicles. In addition, he is the co-author of CNBOP-PIB standards in the areas of vehicles, hydraulic tools and fire hydrants. In laboratory work, he is a specialist in fire vehicles and lifting bags.

**ŁUKASZ PASTUSZKA, M.SC. ENG.** – a graduate of the Radom University of Technology's Department of Transportation. An employee of several years in the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment at the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Specialist in fire vehicles, water-foam systems and fire pumps. Manager and contractor of research and development projects related to fire technology. Author and co-author of many scientific publications and CNBOP-PIB standards.

**MGR INŻ. LESZEK JURECKI** – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, zastępca kierownika Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej CNBOP-PIB. Autor i współautor szeregu publikacji z obszaru badań eksploatacyjnych pojazdów pożarniczych i sprzętu pożarniczego. Ponadto współautor i recenzent standardów CNBOP-PIB w obszarze pojazdów i pomp pożarniczych. Wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z szeroko rozumianą techniką pożarniczą. Specjalizuje się w zagadnieniach stateczności i wytrzymałości podnośników hydraulicznych, drabin mechanicznych i skokochronów, a także niezawodności sprzętu pożarniczego. W pracy laboratoryjnej jest specjalistą z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodno-pianowych i pomp pożarniczych, a także armatury i sprzętu pożarniczego.

**LIC. MATEUSZ JAKUBOWSKI** – absolwent Społecznej Akademii Nauk. Kilkuletni pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Młodszy specjalista inżynierijno-techniczny z zakresu środków ochrony indywidualnej.

**MGR INŻ. MAKSYMILIAN ŻURAWSKI** – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, starszy specjalista inżynierijno-techniczny w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Autor i współautor publikacji z obszaru pojazdów pożarniczych. Ponadto współautor standardów CNBOP-PIB w obszarze pojazdów, narzędzi hydraulicznych i hydrantów przeciwpożarowych. W pracy laboratoryjnej jest specjalistą z zakresu pojazdów pożarniczych i poduszek podnoszących.

**MGR INŻ. ŁUKASZ PASTUSZKA** – absolwent Wydziału Transportu Politechniki Radomskiej. Kilkuletni pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwożarowej w CNBOP-PIB. Specjalista z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodnopianowych i pomp pożarniczych. Kierownik i wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z techniką pożarniczą. Autor i współautor wielu publikacji naukowych i standardów CNBOP-PIB.



Tłumaczenie na język angielski artykułów naukowych (także ich streszczeń), w tym artykułów recenzyjnych, w półroczniku „Safety & Fire Technology” – zadanie finansowane ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach programu „Rozwój Czasopism Naukowych” (umowa nr RCN/SP/0560/2021/1).