

BARBARA ZAJĄCZKOWSKA²,
ARTUR KARCZEWSKI¹,
AGNIESZKA CZAJA², JAKUB KOWALSKI²

doi: 10.12716/1002.32.09

Politechnika Gdańska
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa

¹ Katedra Projektowania Okrętów i Obiektów Oceanicznych

² Katedra Technologii Obiektów Pływających, Systemów Jakości
i Materiałoznawstwa

WYTRZYMAŁOŚĆ PĘTLI WPLATANYCH NA LINACH PODWÓJNIE PLECIONYCH

Cechą wyróżniającą statki żaglowe z grona innych obiektów pływających są żagle. To cecha widoczna, za którą kryją się mniej romantyczne elementy, takie jak maszty, liny i osprzęt. Rozpostarcie białych płócien na maszcie i następnie żeglowanie wymaga sprawnego operowania nimi, co wiąże się z doбором odpowiedniego ich zestawu, ułożenia i napięcia. To maszty są kręgosłupem takielunku, a liny jego mięśniami i ścięgnami. Do poprawnego działania całego układu przyczynia się każda z jego części. Tak jak w żywym organizmie mięśnie muszą być przyłączone do kośćca właściwym przyczepem, tak na jachtach liny należy odpowiednio połączyć z pozostałymi komponentami takielunku. W artykule skupiono się na problemie łączenia lin z innymi elementami osprzętu żaglowego i wytrzymałości tego połączenia. Przeanalizowano rozwiązanie mające zarówno cechy techniki tradycyjnej, łączenia za pomocą pętli wplatanych, jak i elementy współczesnego jachtingu, ponieważ jako materiał zastosowano linę DynaLite. Badania zostały wykonane w ramach pracy inżynierskiej na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej. W zakresie zadania znajdowało się badanie wytrzymałości pętli o różnych długościach wplotu oraz określenie wpływu parametrów konstrukcji splotu na jego wytrzymałość. Porównano również właściwości przyjętego rozwiązania z połączeniem za pomocą węzła ratowniczego oraz wytrzymałość liny, na której wykonano testy z danymi podanymi przez producenta.

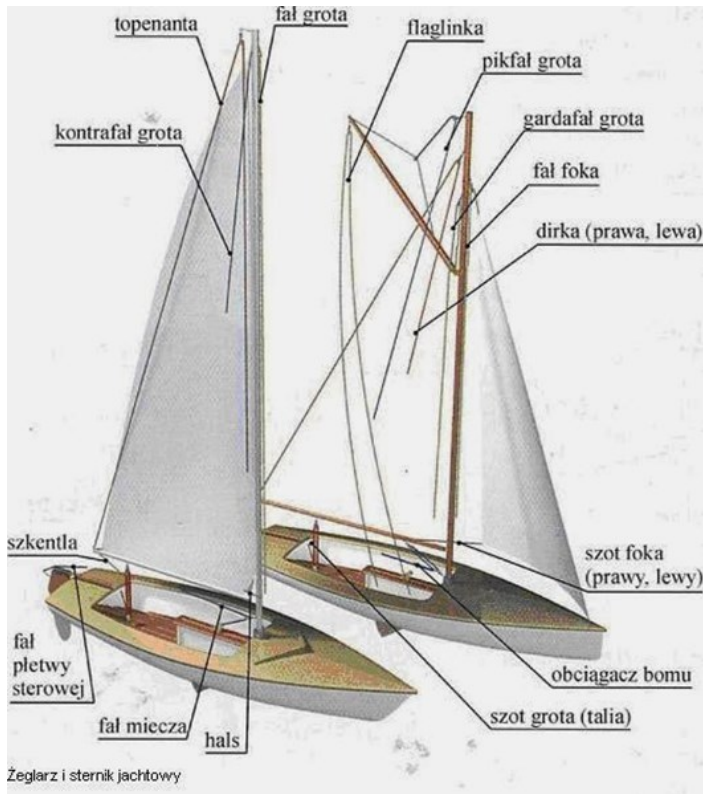
Słowa kluczowe: osprzęt żaglowy, takielunek, lina pleciona, pętla wplataną, splot Dyneema.

WSTĘP

Termin „osprzęt żaglowy” oznacza zespół elementów wyposażenia jachtu, pozwalający na wykorzystanie energii wiatru do jego napędu [1]. Można wyróżnić następujące jego części:

- żagle (np. fok, grot);
- drzewce (np. maszty, reje, bukszpryty);
- olinowanie stałe (np. sztagi, wanty);
- olinowanie ruchome (np. fały, szoty);
- drobne elementy osprzętu (np. szekle, bloki).

W artykule skupiono się na połączeniach lin należących do grupy olinowania ruchomego. Jest to część olinowania, która służy do podnoszenia i opuszczania elementów osprzętu, do manewrowania żaglami oraz regulacji ich kształtu.



Rys. 1. Przykłady takielunku ruchomego jachtu [2]

Do najważniejszych elementów olinowania ruchomego należą:

- fał – lina służąca do podnoszenia i opuszczania żagli, ruchomych części omasztowania, np. rei, a także ruchomych części wyposażenia kadłuba, np. pletwy mieczowej w jachtach mieczowych;
- szot – lina służąca do manewrowania żaglem czyli ustawiania go w odpowiednim położeniu w stosunku do wiatru;
- szkentla – lina naciągająca róg szotowy żagla;
- hals – lina naciągająca róg halsowy żagla;
- topenanta – lina stosowana na jachtach z ożaglowaniem bermudzkim, służąca do podtrzymywania noku bomu i unoszenia go w razie potrzeby;
- obciążacz bomu – lina zapobiegająca unoszeniu się bomu.

Połączenie liny z żaglami, drzewcami i z osprzętem umożliwiającym ich obsługę powinno charakteryzować się pewnością zastosowanego rozwiązania, estetyką wyglądu oraz wykluczać możliwość zacinań i blokowania.

Istnieje wiele sposobów realizacji takiego połączenia. Począwszy od wiązania węzła (rys. 2), czy wykonania przeplotu i wiązania opaski z juzingu (rys. 3), poprzez zaciskanie liny za pomocą tulei (rys. 4), a skończywszy na pętli wplataniej (rys. 5).

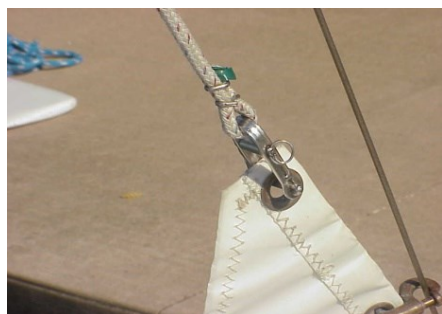
Każda z metod ma swoich zwolenników i oponentów wśród żeglarzy.



Rys. 2. Pętla na linie wykonana za pomocą węzła niezabezpieczonego [5]



Rys. 3. Pętla na linie wykonana za pomocą przeplotu i opaski z juzingu [3]



Rys. 4. Pętla na linie wykonana za pomocą tulei zaciskowej [4]

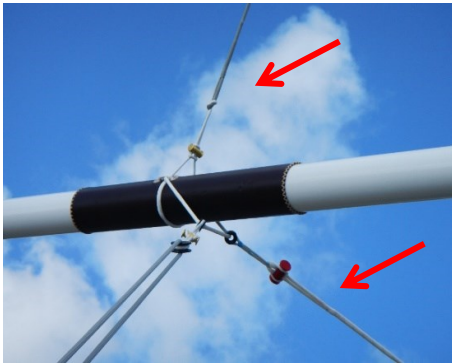


Rys. 5. Pętla wplataną

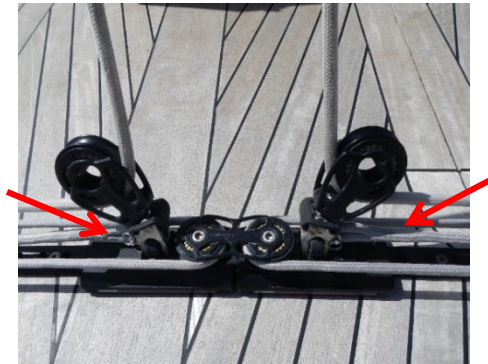
Zawiązanie węzła wydaje się być rozwiązaniem prostym i optymalnym. Jednak zdarza się, że wolna końcówka przeszkadza, a sam węzeł jest zbyt duży. Dodatkowo węzeł znacząco osłabia wytrzymałość liny, dlatego często stosuje się inne sposoby połączenia.

Rozwiązaniem, które nie zwiększa gabarytu złącza oraz nie wprowadza dodatkowego „obcego” elementu, jest użycie pętli wplataniej.

Zastosowań tego typu połączenia we współczesnym żeglarstwie jest wiele. Przykładowo na rysunku 6 pokazano topenantę i bras spinaker bomu, natomiast na rysunku 7 – liny przymocowane bezpośrednio do wózka szotowego grota (strzałki wskazują liny zakończone pętlami).



Rys. 6. Spinaker bom



Rys. 7. Wózek szotowy grota

1. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ

Doświadczenie przeprowadzono na linie DynaLite o średnicy 8 mm, wyprodukowanej przez firmę Gleistein Ropes, o nominalnej sile na zrywanie 16,5 kN. Jest to lina podwójnie pleciona. Rdzeń wykonano z materiału Dyneemy® SK78, natomiast oplot i międzyoplot z poliestrów.

Strukturę liny pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Struktura badanej liny [6]

1.1. Wykonanie pętli wplataniej

Wplatanie jest techniką łączenia lin oraz wykonania pętli bez używania węzłów czy konieczności szycia.

W przypadku lin składających się z rdzenia i oplotu należy spleść ze sobą poszczególne elementy ich struktury w ściśle określony sposób.

Na początku po odmierzeniu odpowiedniej długości liny na pętlę oraz wplot należy odsłonić rdzeń w zaznaczonych miejscach, rozsuwając włókna splotu tak, aby nie uszkodzić struktury liny (rys. 9).

a)



b)



c)



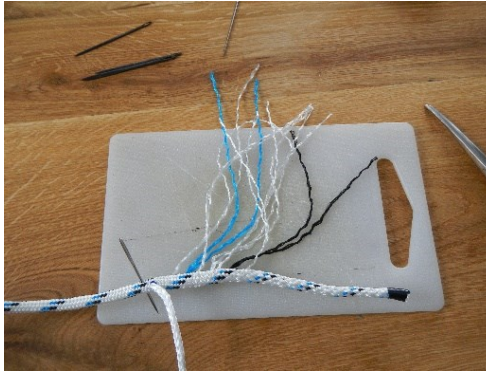
d)



Rys. 9. Czynności przygotowawcze wykonania połączenia:
 a) wyznaczenie długości wplotu, b) rozsuwanie włókien, c) wydobywanie rdzenia,
 d) przygotowanie międzyoplotu

Następnie oplot po uprzednim taperowaniu, czyli redukcji grubości poprzez stopniowe usuwanie włókien, umieszcza się pod warstwą zewnętrzną liny głównej, tworząc pętlę (rys. 10).

a)



b)



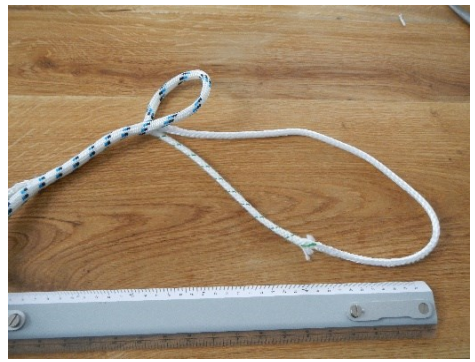
Rys. 10. Prace nad oplotem: a) taperowanie, b) tworzenie pętli

Po wydobyciu rdzenia umieszcza się fragment wplotu w przygotowanej części liny i zaciska. Długość odcinka wplecionego decyduje o wytrzymałości i zależna jest od średnicy liny (rys. 11).

a)

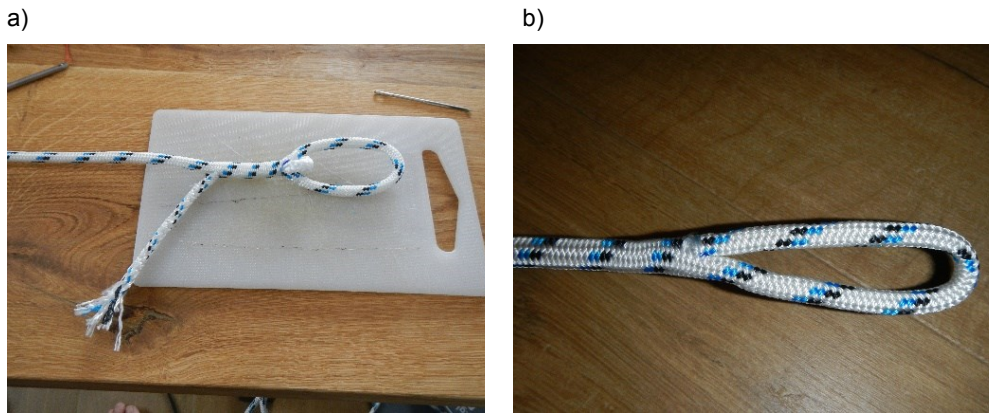


b)



Rys. 11. Prace nad rdzeniem: a) wplatanie rdzenia, b) tworzenie pętli

Po zebraniu luzu oplotu przesuwa się go w kierunku nowo powstałej pętli. Rdzeń z wplotem wewnątrz zostaje wciągnięty w linę. Niepotrzebną końcówkę oplotu odcina się w celu otrzymania gotowej pętli (rys. 12).



Rys. 12. Prace wykończeniowe: a) zbieranie luzu oplotu, b) gotowa pętla

Tworzenie tego typu pętli wymaga znacznych sił wzdłużnych, które zapewniają prawidłowe ułożenie elementów splotu liny. W związku z tym w celu prawidłowego przygotowania próbek do badań opracowano konstrukcję specjalnego stanowiska o charakterze maszyny wytrzymałościowej w celu precyzyjnego zaciśnięcia splotów liny (rys. 13).

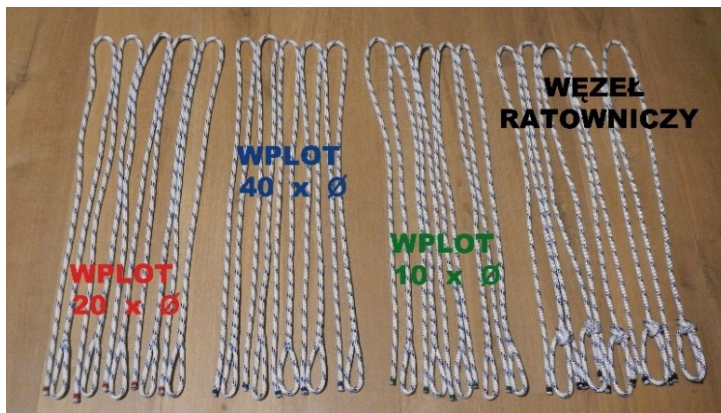


Rys. 13. Maszyna wytrzymałościowa

W trakcie wykonywania pętli modyfikuje się położenie włókien we wszystkich warstwach liny. Po wpleceniu rdzenia i oplotu w linę główną zmienia się jej średnica. Odpowiednie napięcie liny pozwala na nowo ułożyć się pasmom materiału.

1.2. Dobór i oznaczenia próbek

Doświadczenia poprowadzono na seriach czterech rodzajów próbek, trzech zakończonych pętlą o różnych długościach wplotu i jednej zakończonej węzłem ratowniczym (rys. 14).



Rys. 14. Cztery serie próbek, po pięć próbek każda

Próbki oznaczono różnymi kolorami w postaci szytych opasek na końcu liny:

- czarną – dla węzła ratowniczego;
- zieloną – dla wplotu o długości wplotu równego dziesięciokrotnej średnicy badanej liny;
- czerwoną – dla wplotu o długości wplotu równego dwudziestokrotnej średnicy badanej liny;
- niebieską – dla wplotu o długości wplotu równego czterdziestokrotnej średnicy badanej liny.

Ponadto próbki w danej serii wyróżniono numerami I, II, III, IIII, IIIII na pętli oraz na końcu liny, by móc zidentyfikować każdą z próbek po zerwaniu, co pokazano na rysunku 15.

Kolejność przeprowadzonych prób nie była tożsama z numerem próbki.

a)



b)



Rys. 15. Oznaczenie zakończeń próbek numerami porządkowymi na przykładzie:
a) oznaczenie pętli, b) oznaczenie końca liny

2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Technologii i Wytrzymałości Konstrukcji Okrętowych i Offshore na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej.

2.1. Seria próbna

Pierwsza próbka została umieszczona w maszynie wytrzymałościowej w celu opracowania metody wiązania liny do układu mocującego. Górną pętlę założono na szekli, natomiast dolną część liny zawiązano węzłem cumowniczym żeglarskim. Rozpoczęto rozciąganie, jak przedstawiono na rysunku 16.

a)



b)



Rys. 16. Seria próbna: a) mocowanie próbki, b) rozciąganie próbki

Próbka została zerwana w miejscu wiązania końca liny na szekli, czyli próba nie udała się, ponieważ celem było sprawdzenie wytrzymałości węzła ratowniczego, a nie przewiązania technicznego.

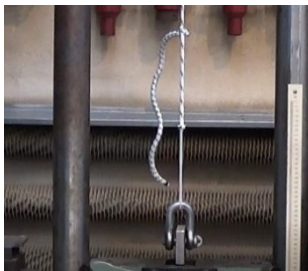
Podjęto decyzję o przeprowadzeniu prób na linie zakończonej z obu stron węzłem ratowniczym w przypadku serii pierwszej. Poprawka wiązała się ze zwiększeniem liczby oplotów liny na łuku szekli i zastosowaniem szekli o większej średnicy. Celem tych zabiegów było zmniejszenie siły tarcia zrywającego oplot liny w przypadku serii drugiej, trzeciej i czwartej.

Dodatkowo w trakcie przeprowadzania serii próbnej stwierdzono, że niezaciągnięty węzeł znacznie wydłuża przebieg eksperymentu. Wprowadzono więc kolejną modyfikację do badań nad wytrzymałością pętli utworzonych przez węzły ratownicze – wstępne zaciskanie węzłów z użyciem suwnicy i kowadła (wykorzystanego w charakterze obciążnika) w celu skrócenia czasu pracy maszyny wytrzymałościowej.

2.2. Próby

Poniżej na trzech kolejnych zdjęciach przedstawiono przykładowy przebieg próby dla wszystkich rozpatrywanych wariantów. Fotografie w kolejności prezentują:

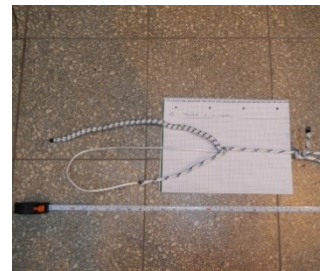
- rysunek 17 – próbka na maszynie wytrzymałościowej;
- rysunek 18 – wynik próby uchwycony na wskaźniku zegarowym;
- rysunek 19 – próbka po zniszczeniu, sfotografowana na tle kartki z numerem porządkowym, numerem próbki i nazwą serii.



Rys. 17. Seria pierwsza, próbka pierwsza nr II – próbka na maszynie



Rys. 18. Seria pierwsza, próbka pierwsza nr II – wskaźnik zegarowy



Rys. 19. Seria pierwsza, próbka pierwsza nr II – próbka po zniszczeniu

3. ANALIZA WYNIKÓW

Wyniki prób przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 20. Zebrano w nich dane dotyczące numeru próbki, długości początkowej, wydłużenia bezwzględnego i względnego badanej próbki, oraz wartości siły niszczącej próbkę wraz z bezwzględną wartością niepewności pomiarowej.

Tabela 1

Zestawienie wyników

Badania niszczące pętli o różnej długości wplecenia, na linach podwójnie plecionych laboratorium WOiO PG 20.04.2017									
	kolumna	A	B	C	D	E	F	G	
	nr próbki	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[N]	[N]	[N]	
Czarna									
Węzeł	II	74	420	346	468	-	9400	-	Pęknięcie oplotu na węźle
Węzeł	IIII	87	165	78	90	-	9800	-	
	IIII	82	144	62	76	-	10 050	-	
	I	67	157	90	134	-	10 100	-	
	III	66	140	74	112	-	10 400	-	
Zielona									
Wplot -	III	110	204	94	85	-	-	4700	Rozpleciony wplot
8 cm	II	110	198	88	80	-	-	3000	Rozpleciony wplot
	I	110	190	80	73	-	-	1800	Rozpleciony wplot
	IIII	110	245	135	123	-	-	5600	Rozpleciony wplot
	IIII	110	255	145	132	-	-	9050	Rozpleciony wplot
Czerwona									
Wplot	III	110	264	154	140	15 100	8400	-	Pęknięcie rdzenia, następnie pęknięcie oplotu
16 cm	IIII	110	260	150	136	12 900	8900	-	
	IIII	110	246	136	124	13 000	8900	-	
	II	110	257	147	134	13 400	8800	-	
	I	110	273	163	148	16 250	9000	-	
Niebieska									
Wplot	I	280	420	140	50	-	-	-	Za mały skok maszyny – zebranie luzu, ponowne zawiązanie liny
32 cm	c.d. I	250	420	170	68	-	15 800	-	Pęknięcie oplotu na szekli

cd. tabeli 1

	II	250	420	170	68		17 800	-	-	Pęknięcie rdzenia – oplot pozostał zbyt mały skok maszyny
	IIII	250	420	170	68		16 400	-	-	
	III	250	420	170	68		17 600	-	-	
	IIII	250	420	170	68		-	-	-	Za mały skok maszyny – zebranie luzu, ponowne zawiązanie liny
	c.d. IIIII	250	400	150	68		16 800	8900	-	Pęknięcie rdzenia, następnie oplotu
Opis tabeli: Kolumna A Położenie wskaźnika na miarce pionowej maszyny po zamontowaniu próbki i manualnym zebraniu luzu Kolumna B Położenie wskaźnika na miarce pionowej maszyny po wykonaniu próby Kolumna C Wartość wydłużenia bezwzględnego próbki Kolumna D Wartość wydłużenia względnego Kolumna E Siła potrzebna do zerwania rdzenia badanej liny Kolumna F Siła potrzebna do naderwania lub zerwania oplotu badanej liny Kolumna G Siła potrzebna do rozplecenia próbki										

Próbki zamocowano na maszynie wytrzymałościowej, wybierając luz ręcznie. Następnie maszyna została włączona w tryb rozciągania. Po zaciśnięciu się węzłów i napięciu liny obserwowano na wskaźniku wzrost siły rozciągającej, aż do momentu zerwania.

Należy pamiętać, że lina zbudowana jest z materiałów o różnej wartości dopuszczalnego wydłużenia (rdzeń wykonany z Dyneemy, oplot z poliestru). Efektem tego jest różny moment ich rozerwania pod działaniem siły rozciągającej. Dyneema jest mocniejsza i mniej rozciągliwa, a poliester mniej wytrzymały, ale bardziej elastyczny.

3.1. Wydłużenie próbek

Seria pierwsza. Po osiągnięciu wydłużenia maksymalnego zniszczeniu ulegał oplot na węzle górnym lub dolnym. Nie zaobserwowano reguły w tym względzie. Po przerwaniu oplotu rdzeń nie był naruszony. Wraz ze wzrostem siły rozciągającej rdzeń wysuwał się, zwiększając średnicę pętli. Wydłużenie względne osiągnęło wartość 468%, aż do maksymalnego skoku maszyny. Próbki nie uległy przerwaniu.

Seria druga. Po osiągnięciu wydłużenia maksymalnego nastąpiła reakcja na splocie – wysuwanie się liny. Maksymalne wydłużenie względne wyniosło 80–132%.

Seria trzecia. Po osiągnięciu wydłużenia maksymalnego dla rdzenia nastąpiło jego przerwanie. Wówczas rozciągnięciu ulegał oplot o wyższym współczynniku wydłużenia, aż do momentu zerwania. Względne wydłużenie próbek wynosiło między 124–148%.

Seria czwarta. Po osiągnięciu wydłużenia maksymalnego dla rdzenia nastąpiło jego przerwanie dla próbek nr II, III, IIII. Wówczas rozciąganiu podlegał oplot. Nie

ulegał jednak przerwaniu z powodu zbyt małego skoku maszyny. Próbki wydłużyły się o 68%. Próbki nr I i IIIII badano dwuetapowo. Ponieważ po wykorzystaniu maksymalnego skoku maszyny badany materiał nie ulegał zniszczeniu, próby powtórzone. Przywrócono maszynę do położenia początkowego, zebrano luz na linie i ponownie zamocowano ją na szekli. Rozciągnięto próbki do zerwania.

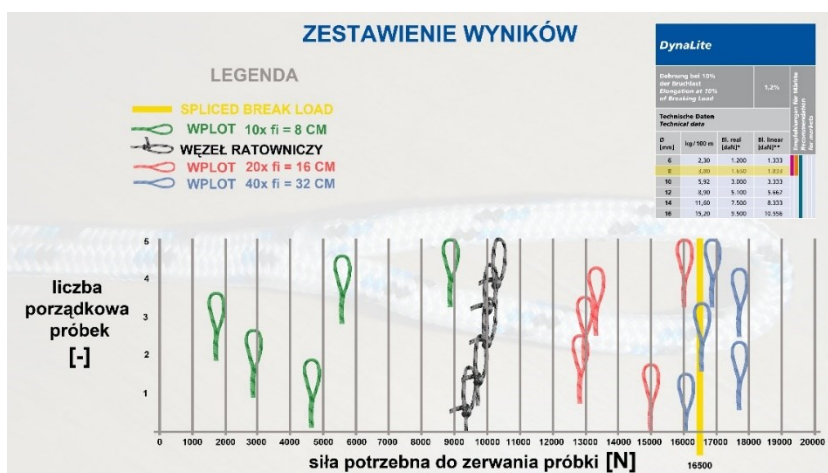
3.2. Siła zrywająca

Seria pierwsza. Wszystkie próbki ulegały zniszczeniu w miejscu wiązania. Oplot pozbawiony możliwości swobodnego wydłużenia przejmował całą siłę i przerywał się jako pierwszy w zakresie obciążenia 9,40–10,40 [kN]. Nie udało się ustalić, który z węzłów jest bardziej podatny na zniszczenie (górnny czy dolny).

Seria druga. Próbki w zakresie siły od 1,80 do 9,00 [kN] rozplatały się. Wydłużenie zwiększało się, aż do kompletnego rozplecenia, bez przyrostu siły.

Seria trzecia. Próbki wydłużały się równomiernie aż do wartości siły pomiędzy 12,90–16,25 [kN], przy której następowało przerwanie rdzenia. Po tym na wskaźniku obserwowano znaczny spadek siły. Kontynuując rozciąganie, doprowadzono do osiągnięcia siły zrywającej oplot, wyniosła ona między 8,40 a 9,00 [kN].

Seria czwarta. Trzy z pięciu próbek osiągnęły wartości graniczne i rdzeń ulegał pęknięciu przy sile między 16,40–17,80 [kN]. Oplot nie został zerwany z powodu zbyt małego skoku maszyny. Próbę zakończono, gdyż wyniki przewyższyły lub bardzo zbliżyły się do wartości siły gwarantowanej wytrzymałości liny przez producenta. Dwie z badanych próbek, numery I i IIIII, z powodu zbyt małego skoku maszyny, wymagały badania dwuetapowego. Po ponownym przewiązaniu liny i rozciągnięciu próbka nr I uległa zniszczeniu poprzez pęknięcie oplotu na łuku szekli przy wartości siły równej 15,80 [kN]. Próbka nie spełniła wymagań producenta, jednak powodem pęknięcia był węzeł. Próbka nr IIIII po drugim naciągnięciu została zerwana po osiągnięciu siły 16,80 [kN] – rdzeń, a następnie oplot – przy 9,80 [kN].



Rys. 20. Zestawienie wyników

PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule testy obejmowały dwa typy łączenia liny z innymi elementami osprzętu żaglowego. Podstawowe połączenie zrealizowano za pomocą pętli wplatanych i uzmienniono poprzez różne długości wplotu. Drugie łączenie, przyjęte dla celów porównawczych, wykonano poprzez zastosowanie węzła ratowniczego. Dodatkowo, aby poznać prawidłową technikę i parametry wykonania pętli, porównano siłę zrywającą dany typ splotu z wartością katalogową wytrzymałości liny.

Wyniki testów zostały zebrane w formie wykresu na rysunku 20. Na osi pionowej opisano liczbą porządkową próbki danego rodzaju, a na osi poziomej siłę zrywającą w [N]. Zaznaczono również wartość siły zrywającej linę, gwarantowaną przez producenta – 16 500 [N].

Przeprowadzone badania wykazały, że:

- próbki zakończone węzłem ratowniczym mają wyniki powtarzalne, jednak ta metoda łączenia znacznie osłabia linę (~ 50%);
- wyniki dla próbek o wplocie 10x fi (8 cm) leżą znacznie poniżej granicy wytrzymałości liny. Wyniki mają znaczny rozrzut, a wplot rozplatał się. Połączenie nie spełniło swojej funkcji;
- próbki o wplocie 20x fi (16 cm) zrywały się na linie tuż pod splotem, jednak 16 cm wplotu widocznie osłabiło strukturę liny;
- próbki o wplocie 40x fi (32 cm) spełniały kryteria wytrzymałości i nie osłabiały liny. Takie połączenie przyjęto jako prawidłowe, gwarantujące bezpieczeństwo eksploatacji.

Film dokumentujący przebieg badań można znaleźć pod adresem: <https://youtu.be/JOrbw6Bcg5w>.

LITERATURA

1. Dziejwski J., *Wiadomości o jachtach żaglowych*, Oficyna Wydawnicza Alma-Press, Warszawa 1995.
2. Kolaszewski A., Świdwiński P., *Żeglarz jachtowy i jachtowy sternik morski*, Oficyna Wydawnicza Alma-Press, Warszawa 2017.

Źródła internetowe

3. <http://forum.woodenboat.com/showthread.php?81116-Seizings-instead-of-a-splice> (15.05.2017).
4. <https://sportsboatworld.com/2013/01/16/jibery-pokery/> (05.05.2017).
5. <http://www.whuckaba.com/reycsss/15/MVC-288L.JPG> (15.05.2017).
6. www.goryonline.com/katalog,tendon,15463.html (15.05.2017).

THE STRENGTH OF SPLICES IN THE DOUBLE-BRAIDED ROPES

Summary

The distinguishing feature of sailing ships from the group of other floating objects are the sails. This is a visible feature behind which are less romantic elements such as masts, ropes and rigging. Raising the white sails and then sailing requires efficient handling, which involves choosing the right sails-set, their position and tension. These masts are the backbone of the rigging, and the ropes with its muscles and tendons. Every part of it contributes to the correct functioning of the whole system. As in living organisms, the muscles must be attached to the bone in the proper trailer, so that the ropes on the yacht should be properly connected to the other rigging components.

This article presented the problem of joining ropes with other components and the strength of this connection. A solution that has both the characteristics of traditional techniques, by the splice the rope and the elements of new yachting trends has been analyzed, as DynaLite has been used as a material. The research was done at the Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology of Gdansk University of Technology. The task was to test the strength of the loop with different lengths of the splice and to determine the impact of the parameters on its strength. The strength of the connection with bowline has been checked. The strength of the tested rope with the data provided by the manufacturer were also compared.

Keywords: *sails, rigging, braided rope, splice, Dyneema.*