

## WYTRZYMAŁOŚĆ DROBNYCH ELEMENTÓW OLINOWANIA RUCHOMEGO WYKONANYCH Z DYNEEMY

*Rozwój materiałów w oceanotechnice otwiera nowe możliwości w budowie jachtów. Poniższy artykuł porusza kwestie wplatania nowoczesnych lin typu HMPE (ang. high-modulus polyethylene) w konstrukcje takielunku jachtu, a dokładniej w część olinowania ruchomego. Dzięki specjalnej konstrukcji liny bez oplotu zbudowanej z 12 splotek utworzonej przez ich przeplatanie, możliwe jest konstruowanie drobnych elementów nośnych, takich jak miękkie oczka, zawiesia bezkońcowe i pojedyncze lub miękkie szkle zaledwie w kilka minut. Celem pracy jest sprawdzenie nośności poszczególnych technik plecenia w statycznej próbie rozciągania. Przebadano trzy grupy splotów, porównano ich wyniki pod względem wytrzymałościowym i statystycznym. Po analizie rezultatów wyznaczono najbardziej niezawodne techniki sporządzania węzłów i splotów na linie wyprodukowanej przez firmę Lancelin, model PURE DYNEEMA Racing Braid o średnicy 5 mm.*

**Słowa kluczowe:** osprzęt żaglowy, takielunek, olinowanie ruchome, splot, Dyneema, zawiesie, HMPE.

### WSTĘP

HMPE jest to włókno o równolegle zorientowanych cząsteczkach wytłoczonego żelu polietylenowego o wysokim module i wysokiej wytrzymałości na rozciąganie [PN-EN ISO 1968:2006]. Ma handlową nazwę Dyneema lub Spectra. Charakteryzuje się niezwykle wysokim stosunkiem wytrzymałości włókien do ich masy, dużą odpornością na ścieranie i niską absorpcją wilgoci. Materiał ten, ze względu na swoje właściwości, jest często wykorzystywany w budowie jachtów. Wraz ze wzrostem popularności drobnych elementów olinowania, zbudowanych z HMPE, w związku z niskim stopniem trudności wykonania, bardzo wysoką wytrzymałością na rozciąganie i niewielkim kosztem materiału, pojawiło się w Internecie wiele instrukcji zachęcających do samodzielnego wykonania wspomnianych elementów. Wiele informacji jest niepełnych, niesprawdzonych lub wręcz wykluczających się nawzajem. W poniższej pracy przedstawiono najczęściej spotykane konstrukcje, opisano różnice między nimi i wskazano, jak wpływają one na wytrzymałość otrzymanych wyrobów.

## 1. OPIS BADANYCH ELEMENTÓW

Przedmiotem badań są trzy rodzaje elementów plecionych, zbudowanych z dyneemy, wchodzących w skład elementów nośnych. Według definicji stanowią one część liny w postaci pętli, która przechodzi wokół części nieruchomej lub łączy się z hakiem podnośnika albo łączy się z innymi obiektami i przenosi przyłożoną siłę do innych obiektów, gdy lina jest naprężona [PN-EN ISO 1968:2006]. Są to:

1. Zawiesie pojedyncze – odcinek liny uformowany w zawiesie, jak ukazuje rysunek 1, poprzez utworzenie oczek na każdym końcu tego odcinka [PN-EN ISO 1968:2006]. Splot ten służy najczęściej jako element nośny do przeniesienia lub podwieszania rozmaitych elementów takielunku. Przykład takiego zastosowania przedstawia rysunek 2. Konstrukcja ta może być również wykorzystana jako obiekt pomocniczy do budowania innych elementów olinowania, takich jak zawiesie bezkońcowe lub miękka szekla.



**Rys. 1.** Zawiesie pojedyncze

*Źródło: opracowanie własne.*



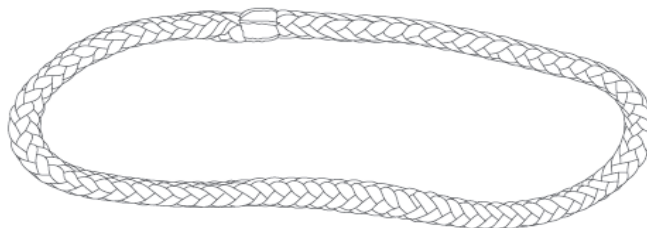
**Rys. 2.** Konstrukcja zbudowana z zawiesi pojedynczych

*Źródło: opracowanie własne.*

2. Zawiesie bezkońcowe – bezkońcowe połączenie zakończeń jednej liny połączeniem krótkim na styk lub długim [PN-EN ISO 1968:2006]. Przykład takiego zawiesia z przeszyciem prezentuje rysunek 3. Zastosowań tego rodzaju splotu jest wiele jak np. funkcja zawiesia czy przedłużenia oczek miękkich. Coraz



częściej również odnajduje się te konstrukcje w charakterze elementów nośnych do mocowań bloków, bloczków, kości czy ringów do przeprowadzania liny. Niekiedy całe konstrukcje talii zbudowane są na zawiesiach bezkońcowych. Przykład taki obrazuje rysunek 4.



**Rys. 3.** Zawiesie bezkońcowe

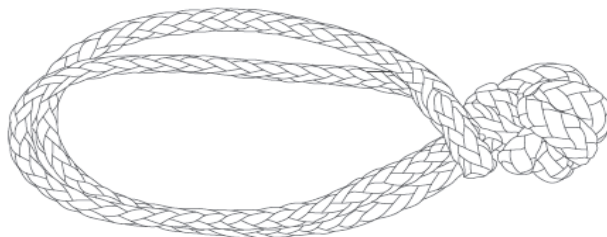
*Źródło: opracowanie własne.*



**Rys. 4.** Konstrukcja talii obciążacza bomu

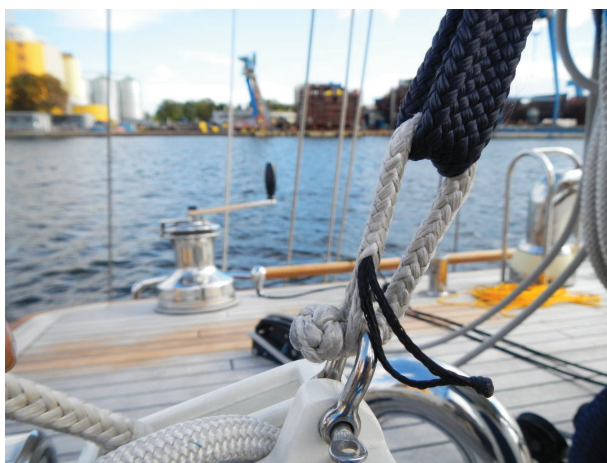
*Źródło: opracowanie własne.*

3. Miękka szekla – jest to element nośny, służący do łączenia lin ze sobą lub z innymi częściami osprzętu jachtów. W formie zamkniętej posiada kształt zawiesia bezkońcowego, w formie otwartej jest fragmentem liny zakończonej z jednej strony oczkiem miękkim, a z drugiej węzłem. Ilustrację miękkiej szekli z węzłem typu *oversize* przedstawia rysunek 5, a szeklę zwieńczoną węzłem diamentowym w praktyce – rysunek 6.



**Rys. 5.** Mięka szekla

*Źródło: opracowanie własne.*



**Rys. 6.** Mięka szekla jako łącznik pomiędzy nokiem bomu a topenantą

*Źródło: opracowanie własne.*

## 2. PRZEBIEG BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Konstrukcji Oceanotechnicznych na Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa na maszynie wytrzymałościowej ZD 10/90 do prób statycznych o zakresie  $P = 100$  kN, przestrzeń robocza dla prób rozciągania:  $400 \times 900$  mm, szybkość odsuwu dolnej głowicy mocującej 10–30 mm/min, posiadającej świadectwo wzorcowania nr 6W1/84.1/08 wydane przez Okręgowy Urząd Miar w Gdańsku. Wszystkie próbki miały identyczne warunki badań, różniły się jedynie techniką splotu. Do zamocowania zawiesi i miękkich szekli posłużyły stalowe szekle typu omega ze średnicą sworznia, wynoszącą 10 mm [PN-EN ISO 2307:2010]. Jako prędkość rozciągania wybrano 10 mm/min. Do badań użyto liny typu HMPE, wyprodukowanej przez firmę Lancelin, model PURE DYNEEMA Racing Braid o średnicy 5 mm i wytrzymałości na zrywanie 22,05 kN.

Stronę z katalogu producenta wybranej liny przedstawia rysunek 7.

# PURE DYNEEMA®

## RACING BRAID

**Composition**  
12-plait Dyneema® SK78 or SK99 racing braid

**Characteristics**  
Hot coating and pre-stretching improves the braid's tensile strength and resistance to abrasion when compared to a non pre-stretched braid of a similar diameter.  
Dyneema® SK78 is strongly recommended for use where a low creep is required.  
Dyneema® SK99 is preferred for those applications where high tensile strength and low stretch (<3%) are needed.  
The racing version is ideal for backstays.

**Applications**

- Backstays • Halyard tensioners • Running backstays • Spinnaker pole bridles • Kicking straps

Diameter (mm)	Weight (kg/100m)	Item Ref. 12 strand stretched coated Dyneema® SK78 braid	Resistance (kgf)	Item Ref. 12 strand stretched coated Dyneema® SK99 braid	Resistance (kgf)
1.25	-	-	-	DYNE125RSK99	160
1.5	-	-	-	DYNE015RSK99	250
2	-	-	-	DYNE02RSK99	500
2.25	-	-	-	DYNE225RSK99	600
2.5	-	-	-	DYNE025RSK99	1,025
3	0.50	DYNE03RSK78	900	DYNE03RSK99	1,400
4	0.90	DYNE04RSK78	1,800	DYNE04RSK99	2,300
5	1.10	DYNE05RSK78	2,250	DYNE05RSK99	3,050
6	1.70	DYNE06RSK78	3,750	DYNE06RSK99	4,750
7	2.40	DYNE07RSK78	4,950	DYNE07RSK99	6,150
8	3.20	DYNE08RSK78	7,000	DYNE08RSK99	8,750
9	4.30	DYNE09RSK78	9,000	DYNE09RSK99	11,000
10	5.70	DYNE10RSK78	12,200	DYNE10RSK99	15,000
12	7.90	DYNE12RSK78	15,850	DYNE12RSK99	19,950
14	11.00	DYNE14RSK78	18,900	DYNE14RSK99	24,900
16	13.50	DYNE16RSK78	23,000	DYNE16RSK99	28,500
18	15.80	DYNE18RSK78	26,800	DYNE18RSK99	33,150
20	18.80	DYNE20RSK78	31,000	DYNE20RSK99	39,800
22	23.00	DYNE22RSK78	36,500	DYNE22RSK99	45,000
24	27.70	DYNE24RSK78	40,000	DYNE24RSK99	51,200
26	32.70	DYNE26RSK78	45,000	DYNE26RSK99	59,500
28	39.00	DYNE28RSK78	52,350	DYNE28RSK99	66,100
30	44.60	DYNE30RSK78	59,750	DYNE30RSK99	76,250

Rys. 7. Karta katalogowa liny użytej do badań

Źródło: [http://www.lancelin.com/catalogue/NAUTISME\\_ENG/mobile/index.html#p=17](http://www.lancelin.com/catalogue/NAUTISME_ENG/mobile/index.html#p=17).

### 2.1. Zawiesia pojedyncze

Konstrukcja zawiesia pojedynczego z odcinka dyneemy nie jest skomplikowaną operacją. Po obu stronach fragmentu liny znajdują się miękkie oczka zabezpieczone stoperem, a wolny koniec liny zostaje wpleciony do wnętrza liny pracującej. Przykładowe próbki ukazują rysunek 8. W literaturze przedmiotu można znaleźć informacje, że fragment ten powinien wynosić między 20 a 100-krotnością średnicy danej liny. Aby znaleźć idealny kompromis pomiędzy wytrzymałością splotu a ekonomicznym uzasadnieniem długości wplatanego liny, wykonano 5 populacji po 5 próbek każda. Zbadano zawiesia z wplotem o długości 10, 20, 30, 40, 50-krotnej średnicy badanej liny w sposób, jaki przedstawia rysunek 9.



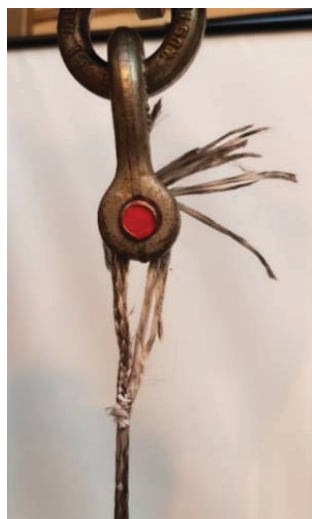
**Rys. 8.** Przygotowane próbki



**Rys. 9.** Próbką w trakcie badań

*Źródło: opracowanie własne.*

Zaobserwowano dwie reakcje testowanych splotów. Dwie pierwsze populacje, w których wplot wynosił kolejno 5 i 10 cm długości, uległy rozpleceniu, tak jak przedstawia to rysunek 10. Próbki, w których wpleciony odcinek wolnego końca liny wynosił między 15 a 25 cm, nie rozplotły się, a włókna pękły w sposób, jaki obrazuje rysunek 11.



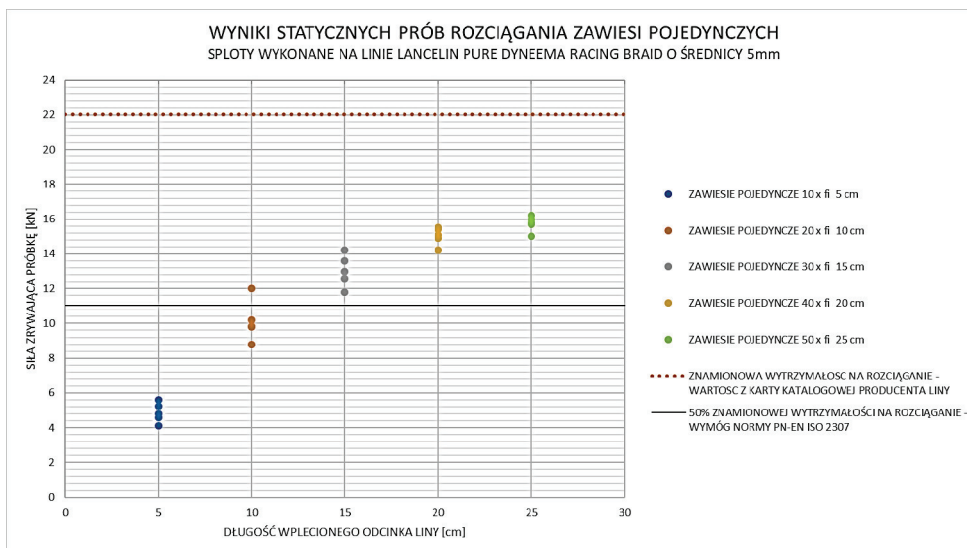
**Rys. 10.** Próbką po rozpleceniu



**Rys. 11.** Próbką po zerwaniu

*Źródło: opracowanie własne.*

Wyniki próby statycznego rozciągania zawiesi pojedynczych z różną długością wplecionego końca liny pokazuje rysunek 12. Zgodnie z normą PN-EN ISO 2307:2010 wyniki pomiarów można uznać, jeżeli siła zrywająca przekracza 50% nominalnej wartości, wyznaczonej dla danej liny przez producenta.



**Rys. 12.** Wykres wyników badań zawiesi pojedynczych

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Wyniki dwóch pierwszych prób należy więc odrzucić. Trzy kolejne populacje, w których wpleciono kolejno 30, 40, 50-krotność średnicy liny, spełniły wymagania normy i nie rozplotły się pod działaniem sił zrywających. Szukając informacji w ogólnodostępnych materiałach na stronach producentów lin, różnych blogach czy filmach instruktażowych na YouTube, spotyka się różne zasady obliczania długości wplotu. Nie ma jednak żadnych informacji na temat obniżenia granicy wytrzymałości na rozciąganie. Lina tak zapleciona obniża swoje cechy wytrzymałościowe niemal o połowę. Na podstawie poniższych badań można stwierdzić, że pracując z liną Lancelin model PURE DYNEEMA Racing Braid o średnicy 5 mm, minimalna długość wplotu wynosi 15 cm. Im dłuższy odcinek wplecionej liny, tym lepsze cechy wytrzymałościowe i mniejszy rozrzut wyników, co potwierdza analiza statystyczna.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki analizy statystycznej badania zawiesi pojedynczych.

**Tabela 1**

Analiza statystyczna zawiesi pojedynczych

rodzaj próbek:	wartość siły zrywającej badanych próbek [kN]					wartość średnia	mediana	odchylenie standardowe z próby	przedział ufności T STUDENTA dla sd		współczynnik zmienności
ZAWIESIE POJEDYNCZE						$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2$	$Me = x_{\frac{n+1}{2}}$	$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$\bar{x} - t_{\alpha} \cdot \frac{sd}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} + t_{\alpha} \cdot \frac{sd}{\sqrt{n}}$	$v = \frac{sd}{\bar{x}}$
długość wpleczonego odcinka liny	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$\bar{x}$	Me	sd	Pmin	Pmax	v
10 x fi = 5 cm	4,10	4,60	4,80	5,25	5,60	4,87	4,80	0,58	3,67	6,07	11,92%
20 x fi = 10 cm	9,85	8,80	9,80	10,20	12,00	10,13	9,80	1,17	7,72	12,54	11,53%
30 x fi = 15 cm	12,60	11,80	13,00	13,60	14,20	13,04	13,00	0,92	11,14	14,94	7,06%
40 x fi = 20 cm	14,20	14,90	15,10	15,40	15,50	15,02	15,10	0,52	13,96	16,08	3,44%
50 x fi = 25 cm	15,00	15,70	15,80	16,00	16,20	15,74	15,80	0,46	14,80	16,68	2,90%

Wartości wykorzystane w tabeli analizy statystycznej są następujące:

- $x_i$  – wynik badania,
- $\bar{x}$  – wartość średniej arytmetycznej,
- Me** – mediana,
- sd** – wartość odchylenia standardowego z próby,
- P** – przedział ufności,
- v** – współczynnik zmienności,
- n** – liczba wszystkich elementów próby,
- $t_\alpha$  – wartość krytyczna rozkładu T Studenta.

Wyniki przedstawione w tabeli 1 zawierają wartości sił zrywających próbki, miary położenia i zróżnicowania rozkładu. Do obliczeń, zważywszy na niewielką liczbę próbek, wybrano model rozkładu Studenta. Obliczono wartość odchylenia standardowego z próby, czyli bezwzględną miarę zróżnicowania wyników, oraz współczynnik zmienności, określający siłę rozproszenia cechy. Dzięki wyznaczeniu tej względnej miary zróżnicowania można porównać wyniki, odnoszące się do różnych populacji próbek.

Na rysunku 12 można zaobserwować wykładniczy charakter układania się wyników prób. Badane zawiesia różnią się długością wplecionego wolnego odcinka liny, w równych odstępach co 5 cm. Testy zakończono na długości 25 cm z powodu ograniczeń geometrią maszyny. Zaobserwowano wykładniczy charakter rozkładu mediany. Wzrost długości wplotu o 5 cm początkowo znacząco poprawia wyniki. Podczas piątej próby polepszenie jest już niewielkie.

Drugi wniosek wynikający z powyższej analizy ukazuje, że im dłuższy wplot, tym rozproszenie wyników jest mniejsze. Graficzne przedstawienie wartości ma swoje potwierdzenie w wynikach analizy statystycznej. Na potrzeby badań przyjęto współczynnik ufności  $1 - \alpha$  wynoszący 0,99. Wykorzystując wzory rozkładu Studenta, obliczono przedziały ufności wartości minimalnych i maksymalnych spodziewanej wytrzymałości konstruowanych elementów.

## 2.2. Zawiesia bezkońcowe

Istnieje wiele różnych sposobów zaplecenia liny w pętlę. W poniższych badaniach skupiono się na czterech przypadkach: jednym sposobie klasycznym z przszyciem oraz trzech różnych kombinacjach pętli powstałych z odpowiedniego przeplecenia zawiesia pojedynczego.

Przygotowane próbki prezentuje rysunek 13.



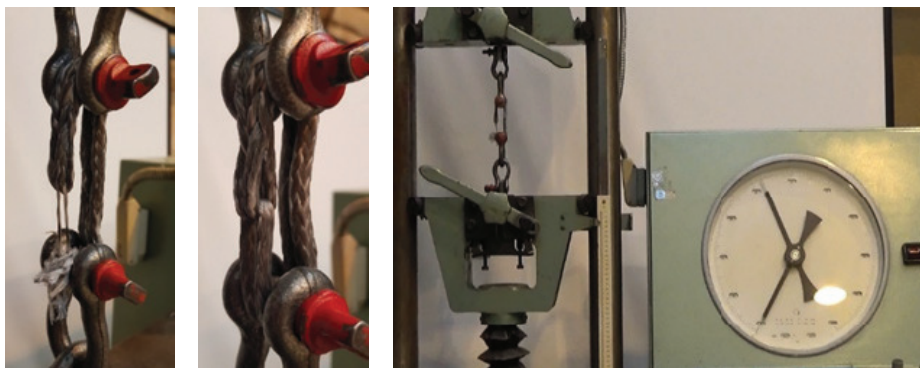




**Rys. 13.** Zawiesie bezkońcowe (od lewej) z przeszyciem, typu S, typu U, typu 8

*Źródło: opracowanie własne.*

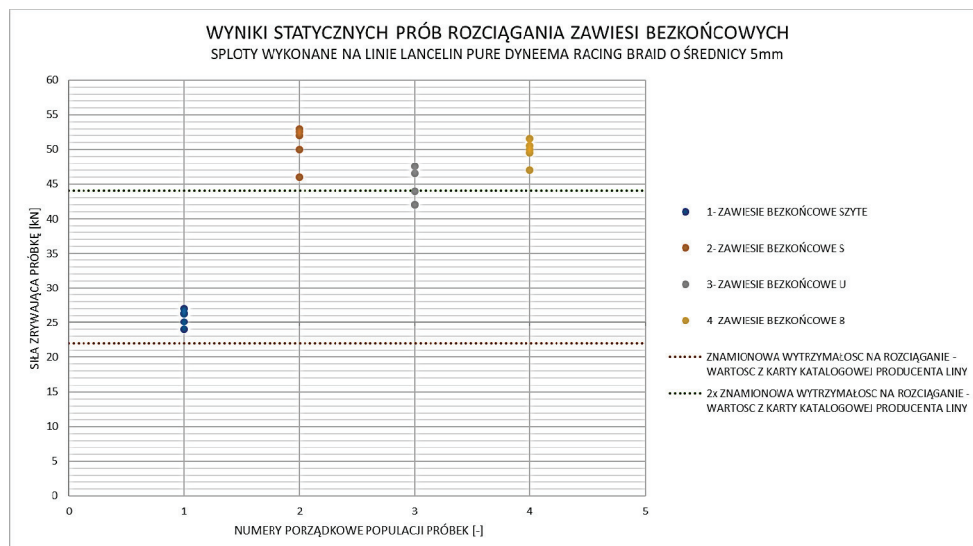
Przebieg próby rozciągania statycznego pętli typu U przedstawia rysunek 14. Widać na nim, jak przebiega niszczenie próbki. W przypadku tego splotu wszystkie badane przykłady pętki w identyczny sposób.



**Rys. 14.** Przebieg badań siły zrywającej na zawiesiu bezkońcowym typu U

*Źródło: opracowanie własne.*

Wyniki prób zawiesi bezkońcowych przedstawia rysunek 15. Populacja oznaczona numerem 1 dotyczy klasycznego zawiesia z przeszyciem. Kolejne elementy, o numerach 2, 3, 4, różnią się między sobą jedynie rodzajem połączenia. Wszystkie powstały na bazie zawiesia pojedynczego. Wyniki wszystkich prób spełniają warunek, wynikający z normy PN-EN ISO 2307:2010.



**Rys. 15.** Wykres wyników badań zawiesi bezkońcowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy statystycznej badania zawiesi bezkońcowych.

**Tabela 2**

Analiza statystyczna zawiesi bezkońcowych

rodzaj próbek:	wartość siły zrywającej badanych próbek [kN]					wartość średnia	mediana	odchylenie standardowe z próby	przedział ufności T STUDENTA dla sd		współczynnik zmienności
ZAWIESIE BEZKOŃCOWE	próbek					$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2$	$Me = x_{\frac{n+1}{2}}$	$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$\bar{x} - t_{\alpha} \cdot \frac{sd}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} + t_{\alpha} \cdot \frac{sd}{\sqrt{n}}$	$v = \frac{sd}{\bar{x}}$
nazwa splotu	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$\bar{x}$	Me	sd	Pmin	Pmax	v
ZAWIESIE SZYTE	24,00	25,10	26,30	26,40	27,00	25,76	26,30	1,20	23,29	28,23	4,66%
ZAWIESIE S	46,00	50,00	52,00	52,50	53,00	50,70	52,00	2,86	44,80	56,60	5,65%
ZAWIESIE U	42,00	42,00	44,00	46,50	47,50	44,40	44,00	2,53	39,18	49,62	5,71%
ZAWIESIE 8	47,00	49,50	50,00	50,50	51,50	49,70	50,00	1,68	46,24	53,16	3,38%

Wyniki badań nie są uszeregowane w sposób charakterystyczny, gdyż kolejność poddawanych testom próbek jest przypadkowa. Zawiesia z przeszyciem osiągnęły wyniki w zakresie 24,00–27,00 kN i charakteryzują się niskim rozproszaniem, poniżej 5%. Kolejne trzy populacje zapleciono na bazie zawiesi pojedynczych. Wyniki prób zawierają się w granicach 42,00-53,00 kN. Zawiesie bezkońcowe typu 8 charakteryzuje się największym skupieniem wyników i wynosi 3,38%, w odniesieniu do wartości średniej. Na potrzeby badań przyjęto współczynnik ufności  $1 - \alpha$  wynoszący 0,99. Wykorzystując wzory rozkładu Studenta, obliczono przedziały ufności wartości minimalnych i maksymalnych spodziewanej wytrzymałości konstruowanych elementów.



### 2.3. Miękkie szekle

Liczba instrukcji wykonania miękkich szekli, zamieszczonych w Internecie, jest niezliczona. Poza klasyczną szeklą z węzłem diamentowym (ang. *Diamond knot*), zaczęły pojawiać się nowe pomysły jak szekla z węzłem guzikowym (ang. *Button knot*) czy szekla z węzłem *oversize*, zbudowana z zawiesia pojedynczego.

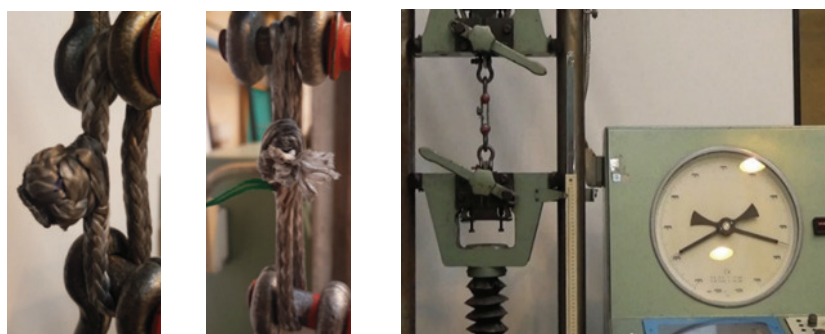
Rysunek 16 przedstawia poniżej cztery rodzaje szekli, które wytypowano do badań wytrzymałościowych.



**Rys. 16.** Miękkie szekle (od lewej): z węzłem półprzeplecionym, z węzłem diamentowym, z węzłem *oversize* i węzłem guzikowym

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 17 przedstawia proces zrywania szelki z najczęściej spotykanym węzłem – diamentowym. Wszystkie próbki tego typu uległy zniszczeniu w podobny sposób. Po osiągnięciu siły granicznej węzeł rozplata się.

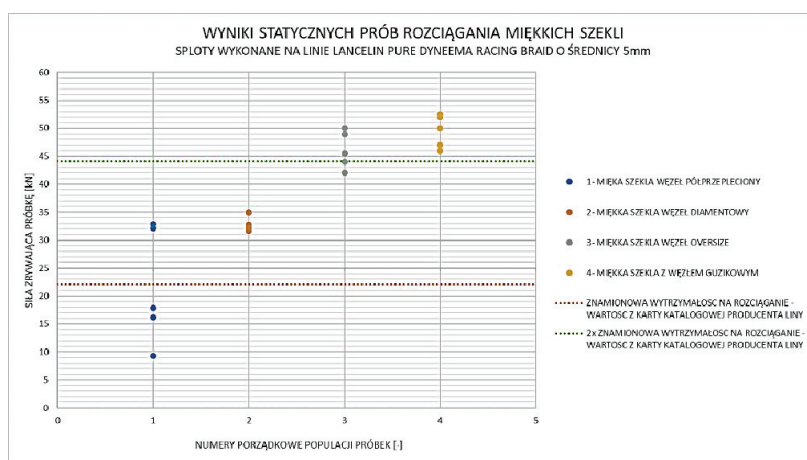


**Rys. 17.** Przebieg badań miękkich szekli z węzłem diamentowym

Źródło: opracowanie własne.

Poprawne wykonanie węzła powinno być gwarantem dobrej wytrzymałości szekli. Niestety, niekiedy sama konstrukcja węzła jest wadliwa jak w przypadku szekli z węzłem półprzeplecionym (z czerwonym sznurkiem). Wyniki, które

przedstawia rysunek 18, w pierwszej populacji próbek nie są jednoznaczne i mają znaczny rozrzut. Jest to konstrukcja, którą należy wykluczyć w dalszych rozważaniach. Szekła z węzłem diamentowym jest najbardziej rozpowszechnionym modelem i znajduje swoje miejsce w katalogach producentów lin jako pełnoprawny produkt. Po badaniach niszczących okazuje się jednak, że istnieją sploty dużo bardziej wytrzymałe. Pierwszym z nich jest szekła zbudowana z zawiesia pojedynczego, z węzłem *oversize*. Prawdziwym liderem jest jednak szekła z węzłem guzikowym. Przenosi ona siły ponaddwukrotnie wyższe niż obciążenie graniczne liny przewidziane przez producenta.



Rys. 18. Wykres wyników badań miękkich szekli

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy statystycznej badania miękkich szekli.

Tabela 3

Analiza statystyczna miękkich szekli

rodzaj próbek:	wartość siły zrywającej badanych próbek [kN]					wartość średnia	mediana	odchylenie standardowe z próby	przedział ufności T STUDENTA dla sd		współczynnik zmienności
MIĘKKIE SZEKLE						$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2$	$Me = x_{\frac{n+1}{2}}$	$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$\bar{x} - t_{\alpha} \cdot \frac{sd}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} + t_{\alpha} \cdot \frac{sd}{\sqrt{n}}$	$v = \frac{sd}{\bar{x}}$
nazwa węzła	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$\bar{x}$	Me	sd	Pmin	Pmax	v
PÓŁPRZEPLECIONY	9,30	16,20	17,90	32,10	32,90	21,68	17,90	10,39	0,28	43,08	47,94%
DIAMENTOWY	31,60	32,20	32,80	34,90	35,00	33,30	32,80	1,57	30,08	36,52	4,70%
OVERSIZE	42,00	44,00	45,50	49,00	50,00	46,10	45,50	3,36	39,18	53,02	7,29%
GUZIKOWY	46,00	47,00	50,00	52,00	52,50	49,50	50,00	2,92	43,50	55,50	5,89%

Z punktu widzenia opisu statystycznego najlepszy wynik osiągnęły próby szekli z węzłem diamentowym. Współczynnik zmienności wynosi jedynie 4,7%. Najwyższe wartości pod względem wytrzymałościowym uzyskały szekle zakończone węzłem guzikowym. Rozproszenie wyników w tym przypadku wyniosło poniżej 6%. Szekła z węzłem półprzeplecionym nie spełniła wymagań normy PN-EN ISO 2307:2010, więc pozycja została odrzucona. Potwierdzeniem nieprawidłowości wyników może być miara rozrzutu, wynosząca prawie 50% dla tego

przypadku. Na potrzeby badań przyjęto współczynnik ufności  $1 - \alpha$  wynoszący 0,99. Wykorzystując wzory rozkładu Studenta, obliczono przedziały ufności wartości minimalnych i maksymalnych spodziewanej wytrzymałości konstruowanych elementów.

## PODSUMOWANIE

Powyższy artykuł porusza tematykę wplatania nowych materiałów w takie-lunek jachtu. Przedstawia różne formy i techniki zaplotu małych elementów olinowania ruchomego wykonanych z dyneemy, porównuje ich wytrzymałość na podstawie wyników statycznych prób rozciągania oraz podaje interpretacje pod względem statystycznym.

Zawiesia pojedyncze wykazują wzrost wytrzymałości wraz z wydłużeniem wplatanego odcinka liny. Poprawie ulega również skupienie wyników. Najlepszym rezultatem charakteryzuje się próbka z wplotem o długości 25 cm, odpowiadająca 50-krotności średnicy badanej liny. Wartości siły zrywającej zawierają się w przedziale 15,00–16,20 kN, a rozproszenie wyników wynosi jedynie 2,9%.

Zawiesia bezkońcowe nie mają jednego parametru, który by bezpośrednio decydował o wytrzymałości splotu. Porównano jedną konstrukcję szytą i trzy plecione typu U, S, 8, różniące się techniką przeplotu. Najwyższe wartości siły zrywającej osiągnęła próbka pleciona typu 8. Wyniki zawierają się w przedziale 47,00–51,50 kN, a miara rozrzutu wynosi 3,38%.

Czynnikiem jednoznacznie wpływającym na wytrzymałość miękkich szekli jest rodzaj zastosowanego węzła. Najlepsze wyniki osiągnęła szekla zakończona węzłem guzikowym. Wartości siły zrywającej zawierają się w przedziale 46,00–52,50 kN, a rozproszenie wyników wynosi 5,89%.

Pomimo bardzo korzystnych rezultatów opracowania statystycznego wyników prób rozciągania statycznego należy pamiętać, że zaplecione liny są dziełem ludzkich rąk, a przez to obarczone są potencjalnym błędem. W trakcie planowania odpowiednich rozwiązań i technologii splotu należy trafnie ocenić ryzyko danego zastosowania, odpowiednio dobrać materiał, z którego wykonana jest lina, jej średnicę i prawidłowy do danej sytuacji współczynnik bezpieczeństwa. Według prawideł wydanych przez Cordage Institute [CI 1401-15 2015], współczynnik bezpieczeństwa powinien wynosić między 5:1 a 12:1. Przykładem może być test przeprowadzony na zawiesiu bezkońcowym typu 8. Pomimo znakomych wyników prób rozciągania statycznego, wynoszących powyżej 47,00 kN, zakładając współczynnik bezpieczeństwa 10:1, wybrana konstrukcja pracować będzie w zakresie sił do 4,7 kN.

Drobne elementy olinowania wykonane z dyneemy będą wypierać klasyczne materiały, jak np. stalowe zawiesia czy szekle ze względu na niewielką wagę produktów, niski koszt i łatwość wykonania splotów, prostotę użytkowania, oraz wysoką kulturę pracy – są bezpieczne dla dłoni.



Zadaniem inżynierów i projektantów jest poszerzanie wiedzy na temat nowych materiałów oraz możliwości aplikacji danego splotu, by zapewnić pełne bezpieczeństwo użytkowanych konstrukcji.

Artykuł powstał w ramach IV Konferencji „Osiągnięcia Studenckich Kół Naukowych Uczelni Technicznych” – STUKNUT 2018, zorganizowanej przez Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej.

## LITERATURA

1. ANIMATED KNOTS by Grog, <https://www.animatedknots.com/softshackle/index.php> (dostęp 6.09.2018).
2. ATLANTIC BRAIDS, <http://atlanticbraids.com/splicing-instructions/> (dostęp 10.09.2018).
3. BALANCE COMMUNITY, <http://www.balancecommunity.com/slack-science/comparison-soft-shackle-methods/> (dostęp 21.09.2018).
4. CI 1401-15 2015, *Recommended Safety Practices for Use of Fiber Rope*, Cordage Institute Guideline, October.
5. IMPROVED SOFT SHACKLE, <https://www.youtube.com/watch?v=K0eZz36PRYI> (dostęp 23.08.2018).
6. PN-EN ISO 1968:2006, *Liny włókienne i wyroby powroźnicze, terminologia*.
7. PN-EN ISO 2307:2010, *Liny włókienne – wyznaczanie niektórych własności fizycznych i mechanicznych*. Wersja angielska.
8. <http://www.lancelin.com/> (dostęp 27.08.2018).
9. [http://www.lancelin.com/catalogue/NAUTISME\\_ENG/mobile/index.html#p=17](http://www.lancelin.com/catalogue/NAUTISME_ENG/mobile/index.html#p=17) (dostęp 15.09.2018).

## STRENGTH OF SMALL SPLICED ELEMENTS OF RUNNING RIGGING MADE OF DYNEEMA

### Summary

*The development of materials in ocean engineering opens new possibilities in the field of yachts construction. The following article discusses the issue of placing modern high-modulus polyethylene (HMPE) ropes in the construction of the rigging of the yacht, and more specifically in the part of running rigging. Thanks to the special no cover construction of the 12 strands rope, created by their interlacing, it is possible to construct small load-bearing elements such as loops, slings or soft shackles in just a few minutes. The purpose of my work is to check the carrying capacity of individual plaiting techniques in a static tensile test. Three groups of spliced elements were tested, their results were compared in terms of strength and statistics. After analyzing the results, the most reliable techniques for making knots and splices on a rope manufactured by Lancelin, the PURE DYNEEMA Racing Braid model with a diameter of 5 mm, were determined.*

**Keywords:** sailing equipment, rigging, running rigging, weave, Dyneema, loop, soft shackle, HMPE.

