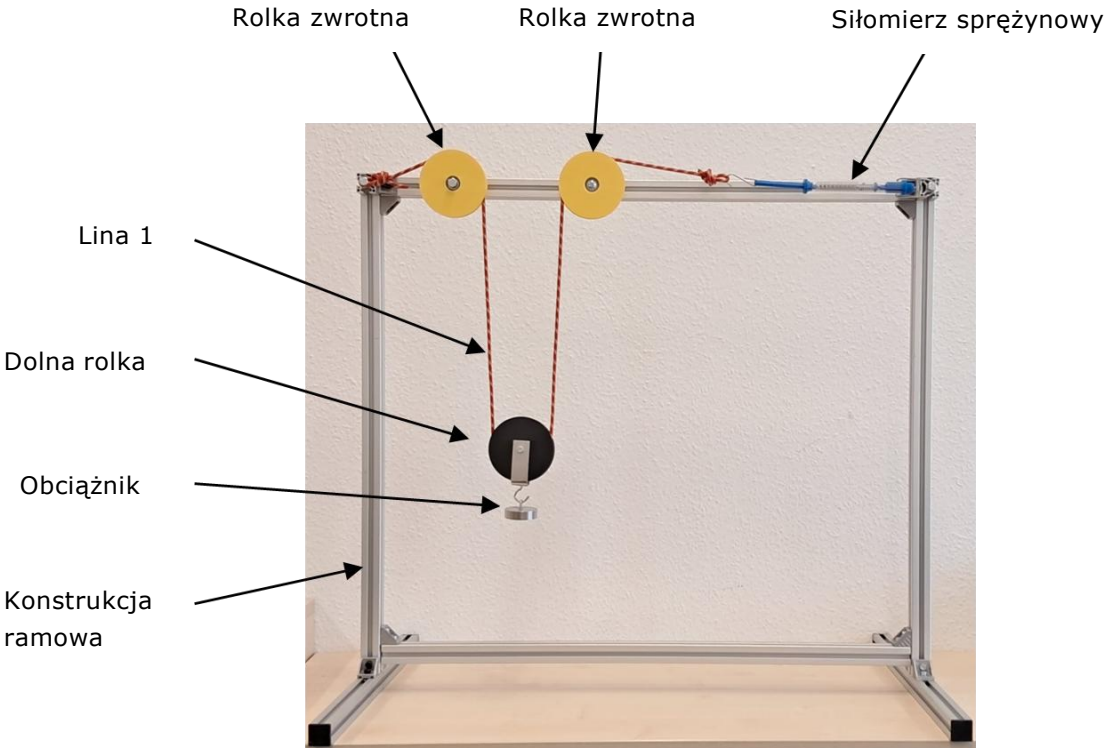
Łukasiewicz
PORT
Polski Ośrodek
Rozwoju
Technologii

TRÓJKĄT SIŁ

1. Elementy potrzebne do wykonania doświadczenia:

Wymagane elementy:

- Stanowisko badawcze lin
- Siłomierze sprężynowe: 1 N, 5 N, 10 N, 20 N, 30 N
- Obciążniki
- Kątomierz
- Waga do wyznaczania masy



Rysunek 1. Stanowisko badawcze lin z pomiarami sił w trójkącie sił.

Wymagania techniczne:

- Wymiary stanowiska badawczego (S × W × G): ok. 600 × 400 × 150 mm
- Liczba rolek zwrotnych: 2
- Średnica rolek: ok. 30 – 50 mm
- Lina – materiał: poliamid (mało rozciągliwy)
- Lina – średnica: ok. 1 – 2 mm
- Lina – długość: ok. 1000 mm
- Siłomierze sprężynowe (liczba / zakresy): 5 sztuk: 1 N, 5 N, 10 N, 20 N, 30 N
- Obciążniki: zestaw o rosnących masach (np. 50 g, 100 g, 200 g, 500 g, 1000 g)
- Kątomierz: 1 sztuka, zakres pomiarowy 0° – 180°
- Waga: do wyznaczenia dokładnych mas obciążników

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

2. Cel ćwiczenia

Głównym celem dydaktycznym jest badanie sił w linach na stanowisku badawczym przy zmiennym obciążeniu, kącie i tarciu. Uczniowie powinni zrozumieć zasadę trójkąta sił jako podstawę przemysłowych czujników naprężeń oraz rozpoznać zależność między zawieszonym obciążeniem, kątem zwrotu a wynikową siłą w linie. W szczególności uczniowie powinni osiągnąć następujące cele:

- potrafią mierzyć siły za pomocą siłomierzy sprężynowych o różnych zakresach pomiarowych i wybierać odpowiedni siłomierz dla danego zakresu pomiaru.
- potrafią wyznaczać kąty na stanowisku doświadczalnym za pomocą kątomierza.
- potrafią rozpoznać równowagę sił w trójkącie sił, naszkicować równoległobok sił i obliczyć siły w linie.
- potrafią jakościowo opisać wpływ tarcia na rolkach zwrotnych na wyniki pomiarów i wykazać go za pomocą prostych metod (stukanie).
- potrafią szacować niepewności pomiarowe i ocenić wpływ wyboru techniki pomiarowej na dokładność wyników.

3. Krótki wstęp teoretyczny

Trójkąt sił przekazuje uczennicom i uczniom podstawową wiedzę dotyczącą wyznaczania sił w linach za pomocą pomiaru siły na stanowisku badawczym lin. Głównym celem dydaktycznym jest badanie sił w linach przy zmiennym obciążeniu, kącie i tarciu. Uczniowie uczą się przy tym pomiaru sił za pomocą siłomierza sprężynowego (wagi sprężynowej), wyznaczania kątów, szkicowania i obliczania równoległoboku sił, a także szacowania niepewności pomiarowych.

Moduł nawiązuje do programów nauczania przedmiotów fizyka i matematyka różnych typów szkół i obejmuje takie zagadnienia jak siły i ich działanie, tarcie, zasady dynamiki Newtona, podstawy statyki oraz geometria wektorowa (klasy 6–13). Zasada trójkąta sił stanowi podstawę wielu przemysłowych czujników naprężeń stosowanych w technologii kompozytów włóknistych do wyznaczania sił w nitkach. Siły w nitkach mają znaczący wpływ na jakość elementów kompozytowych, na przykład przy pultruzji lub nawijaniu. Moduł tworzy zatem bezpośrednie powiązanie między szkolną wiedzą podstawową a zastosowaniem przemysłowym.

Wyznaczanie sił w nitkach ma fundamentalne znaczenie dla wielu technologii kompozytów włóknistych, ponieważ siły w nitkach wywierają znaczący wpływ na jakość elementów kompozytowych. Do pomiaru sił w nitkach często stosuje się tzw. czujniki naprężeń, jak pokazano na Rys. 1. Zasada działania tych przyrządów do pomiaru nitek opiera się na wyznaczaniu sił trójkąta sił.

Trójkąt sił opisuje układ mechaniczny, w którym lina prowadzona jest przez dwa punkty zwrotne (np. rolki) i zostaje wychylona przez obciążenie działające pośrodku. Powstaje przy tym geometryczny kształt trójkąta, w którym występujące siły pozostają w równowadze. Podstawą fizyczną jest równowaga sił: siły naciągu działające w odcinkach liny oraz siła ciężkości zawieszonego obciążenia w sumie dają zero. Siły w linie można wyznaczyć graficznie za pomocą równoległoboku sił lub obliczyć z wykorzystaniem zależności trygonometrycznych. Kąt między odcinkami liny w istotny sposób wpływa na wielkość sił w linie – im bardziej płaski kąt, tym większe występujące siły naciągu.

Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

W praktyce istotną rolę odgrywa również tarcie w punktach zwrotnych: zafałszowuje ono pomiar siły, ponieważ część siły jest pochłaniana przez tarcie na rolkach i nie wchodzi w pełni do mierzalnej siły w linie. Poprzez celowe zmniejszanie tarcia statycznego (np. poprzez stukanie w rolki) wpływ ten można uwidocznić i zmierzyć.
Aby poznać zasadę tej metody pomiarowej, uczniowie przeprowadzają doświadczenia na prostym stanowisku badawczym lin, zmieniając parametry takie jak obciążenie, kąt i tarcie. Uczniowie zajmują się równowagą sił oraz pomiarem i obliczaniem sił. Poznają wpływ konstrukcji doświadczenia oraz wyboru techniki pomiarowej na niepewność pomiaru. Ponadto badają prostymi metodami wpływ tarcia na siły w linie.



Rysunek 2. Wyznaczanie siły w nitce za pomocą czujnika naprężenia FSB1-10K.

4. Przebieg zajęć

Przygotowanie
Stanowisko badawcze lin jest ustawiane na stabilnym, poziomym stole. Należy sprawdzić, czy lina jest poprawnie poprowadzona przez obie rolki zwrotne i czy może się swobodnie poruszać. Przygotowuje się wszystkie potrzebne materiały: pięć siłomierzy sprężynowych (1 N, 5 N, 10 N, 20 N, 30 N), zestaw obciążników, kątomierz, wagę oraz kartę pracy z tabelami pomiarowymi i wykresem.

Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów wszystkie obciążniki są pojedynczo ważone na wadze, a dokładne masy w gramach wpisywane są do pierwszej kolumny obu tabel pomiarowych. Następnie wyznacza się kąt między dwoma odcinkami liny za pomocą kątomierza i zapisuje na karcie pracy.

Doświadczenie 1 – Pomiar siły bez stukania

Interreg Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Pomiary rozpoczynają się od najmniejszego siłomierza (1 N). Jest on zaczepiany do liny, a następnie zawieszany jest najlżejszy obciążnik. Gdy lina się ustabilizuje, a wskazówka siłomierza zatrzyma się, odczytuje się wskazaną wartość siły i wpisuje do Tabeli 1. Przy tym wyraźnie nie stuka się w rolki.

Następnie obciążenie jest stopniowo zwiększane, przy czym każdą wartość pomiarową odczytuje się i dokumentuje po uspokojeniu układu. Jeśli siłomierz pokazuje ogranicznik (wskazówka nie porusza się dalej), obciążnik jest dla tego siłomierza zbyt ciężki – odpowiednie pole pozostaje puste.

Po zakończeniu wszystkich pomiarów siłomierzem 1 N przechodzi się do następnego większego siłomierza (5 N) i powtarza całą procedurę dla wszystkich obciążników. Czynność tę wykonuje się kolejno dla wszystkich pięciu siłomierzy, aż Tabela 1 zostanie całkowicie wypełniona.

Doświadczenie 2 – Pomiar siły ze stukaniem

Drugi przebieg wykonuje się identycznie jak pierwszy, z jedną zasadniczą różnicą: przed odczytaniem wartości siły uderza się lekko małym przedmiotem (np. długopisem lub ołówkiem) w obie rolki zwrotne. Dopiero po tym, jak wskazówka siłomierza po stuknięciu ponownie całkowicie się uspokoi, odczytuje się wartość i wpisuje do Tabeli 2. O stukaniu nie wolno zapomnieć przy żadnym pomiarze.

Przebieg ten wykonuje się jak poprzednio dla wszystkich obciążników i wszystkich siłomierzy, aż Tabela 2 zostanie całkowicie wypełniona.

Doświadczenie 3 – Analiza wyników

Wartości pomiarowe z obu tabel są przenoszone na wykres siła-masa (Wykres 1). Dla obu przebiegów stosuje się różne kolory, aby wyniki były wyraźnie rozróżnialne. Należy sporządzić odpowiednią legendę.

Uczniowie obserwują i opisują różnice między obydwoma przebiegami. Powinni przy tym w szczególności rozpoznać wpływ tarcia na rolkach zwrotnych na zmierzone siły w linie i wyjaśnić, dlaczego stukanie prowadzi do zmienionych wartości pomiarowych. Dodatkowo dla wybranego pomiaru szkicuje się i oblicza równoległobok sił z wykorzystaniem zmierzonego kąta i zmierzonej siły. Na koniec uczniowie powinni ocenić wpływ wyboru siłomierza na dokładność pomiaru.

Doświadczenie 4 – Dokumentacja wyników

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Uczennice i uczniowie sporządzają krótki protokół z doświadczenia. Dokumentują w nim konstrukcję doświadczenia, przeprowadzone pomiary oraz swoje obserwacje. Następnie analizują wyniki i formułują swoje wnioski dotyczące zależności między siłą ciężkości, siłą w linie, kątem zwrotu i tarciem. Ponadto zastanawiają się nad możliwymi niepewnościami pomiarowymi i ich wpływem na wyniki doświadczenia.

Struktura protokołu:

Cel doświadczenia

- Co ma zostać zbadane?
- Jakie zagadnienie jest opracowywane?

Konstrukcja doświadczenia

- Szkic lub zdjęcie konstrukcji
- Wykorzystane materiały i przyrządy pomiarowe

Wartości pomiarowe

- Zarejestrowane masy, kąty i siły
- Wypełnione tabele pomiarowe

Obserwacje

- Cechy szczególne podczas pomiarów
- Różnice między seriami pomiarowymi
- Wpływ stukania w rolki

Analiza

- Przedstawienie wyników na wykresie
- Porównanie wartości pomiarowych z oczekiwaniami teoretycznymi
- Obliczenie lub graficzne przedstawienie równowagi sił

Dyskusja

- Wpływ tarcia na wyniki pomiarów
- Przyczyny możliwych odchyleń pomiarowych
- Ocena dokładności użytych przyrządów pomiarowych

Wnioski / Podsumowanie

- Najważniejsze wyniki własnymi słowami
- Odpowiedź na postawione pytanie
- Powiązanie z zastosowaniami technicznymi (np. pomiar siły nitki w technologii kompozytów włóknistych)

Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580

Tabela 1: *Wartości pomiarowe w N dla pierwszego pomiaru siły siłomierzem sprężynowym (FW)*

	Masa [g]	FW 1 N	FW 5N	FW 10N	FW 20N	FW 30N
Obciążnik 1						
Obciążnik 2						
Obciążnik 3						
Obciążnik 4						
Obciążnik 5						

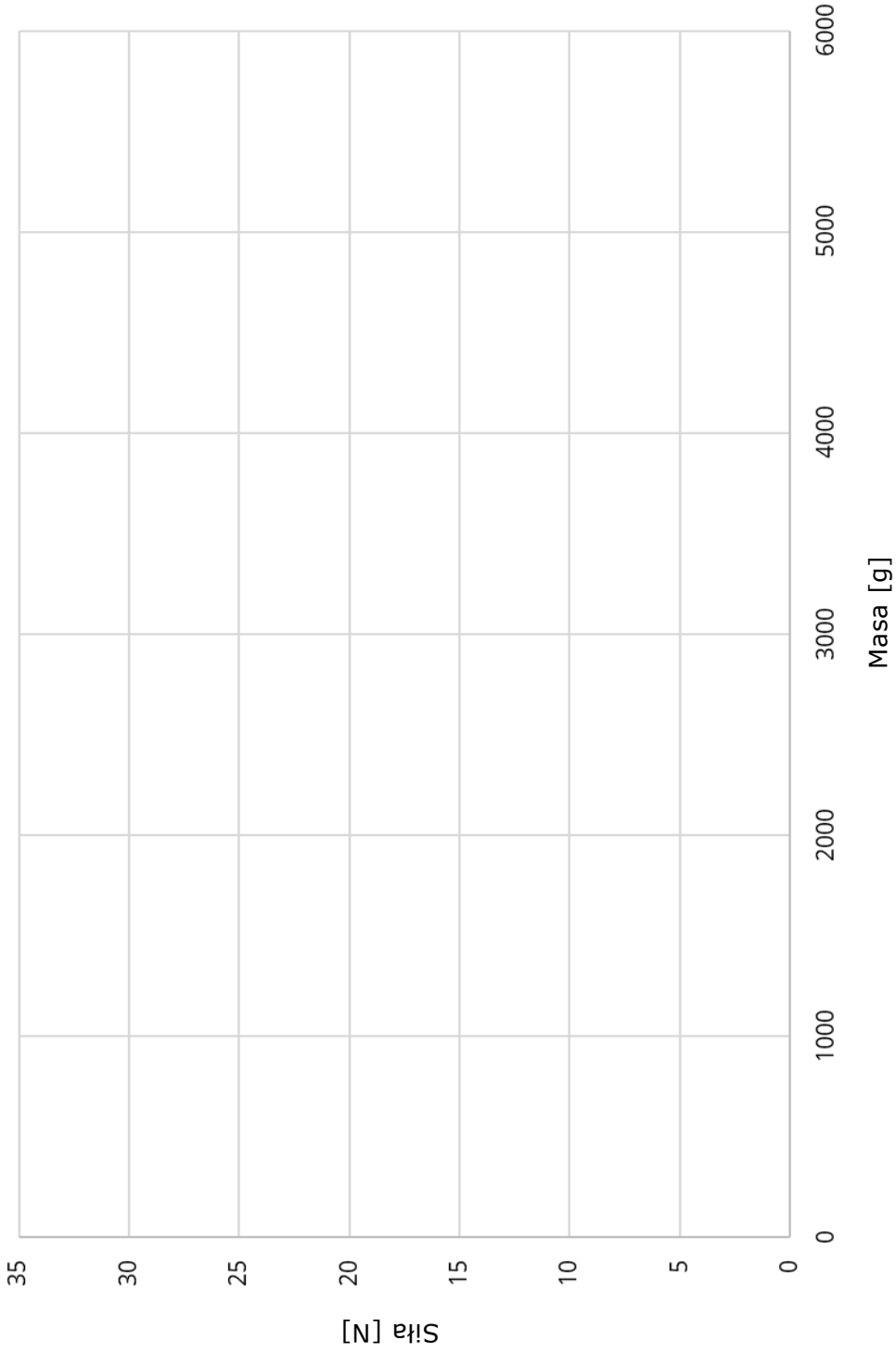
Tabela 2: *Wartości pomiarowe w N dla drugiego pomiaru siły siłomierzem sprężynowym (po stuknięciu w rolki)*

	Masa [g]	FW 1 N	FW 5N	FW 10N	FW 20N	FW 30N
Obciążnik 1						
Obciążnik 2						
Obciążnik 3						
Obciążnik 4						
Obciążnik 5						

Interreg
Polska – Saksonia
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580



Interreg
Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ
Polska – Saksonia

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu współpracy INTERREG Polska-Saksonia 2021-2027na podstawie umowy nr PLSN.02.01-IP.01-0001/24,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
54-066 Wrocław, ul. Stabłowicka 147, Tel: +48 71 734 77 77,
E-mail: biuro@port.lukasiewicz.gov.pl | NIP: 894 314 05 23, REGON: 386585168
Sąd Rejonowy dla Wrocławia – Fabrycznej we Wrocławiu, VI Wydział Gospodarczy KRS,
Nr KRS: 0000850580