

# Badania doświadczalne urządzeń mechatronicznych

2019

dr inż. Michał Dolata  
[www.mdolata.zut.edu.pl](http://www.mdolata.zut.edu.pl)



# Badania doświadczalne urządzeń mechatronicznych

Prowadzący:

- ▶ dr inż. Michał Dolata
- ▶ Pok. 140
- ▶ Konsultacje: **Poniedziałki 12.15 – 14.00**
- ▶ www: **[mdolata.zut.edu.pl](http://mdolata.zut.edu.pl)**
- ▶ e-mail: **[Michal.Dolata@zut.edu.pl](mailto:Michal.Dolata@zut.edu.pl)**

# Pojęcie Maszyna

- Maszyna jest to urządzenie techniczne złożone z połączonych ze sobą różnych części, służące do przetwarzania energii lub wykonywania kosztem pobranej energii określonej pracy.
- Maszyna jest to zespół części lub podzespołów, wyposażony w mechanizm napędowy inny niż bezpośrednio wykorzystujący siłę mięśni ludzkich lub zwierzęcych, którego przynajmniej jedna część jest ruchoma, połączonych w całość mającą konkretne zastosowanie.

# Maszyny technologiczne

- Obrabiarki są motorem postępu technicznego. W przemyśle obrabiarkowym odzwierciedla się zdolność produkcyjna gospodarki; w dużym stopniu obrabiarki decydują o standardzie życiowym społeczeństwa. Obrabiarki są potrzebne dzisiaj, będą potrzebne i niezastąpione jutro.

# Pierwsza frezarka

5

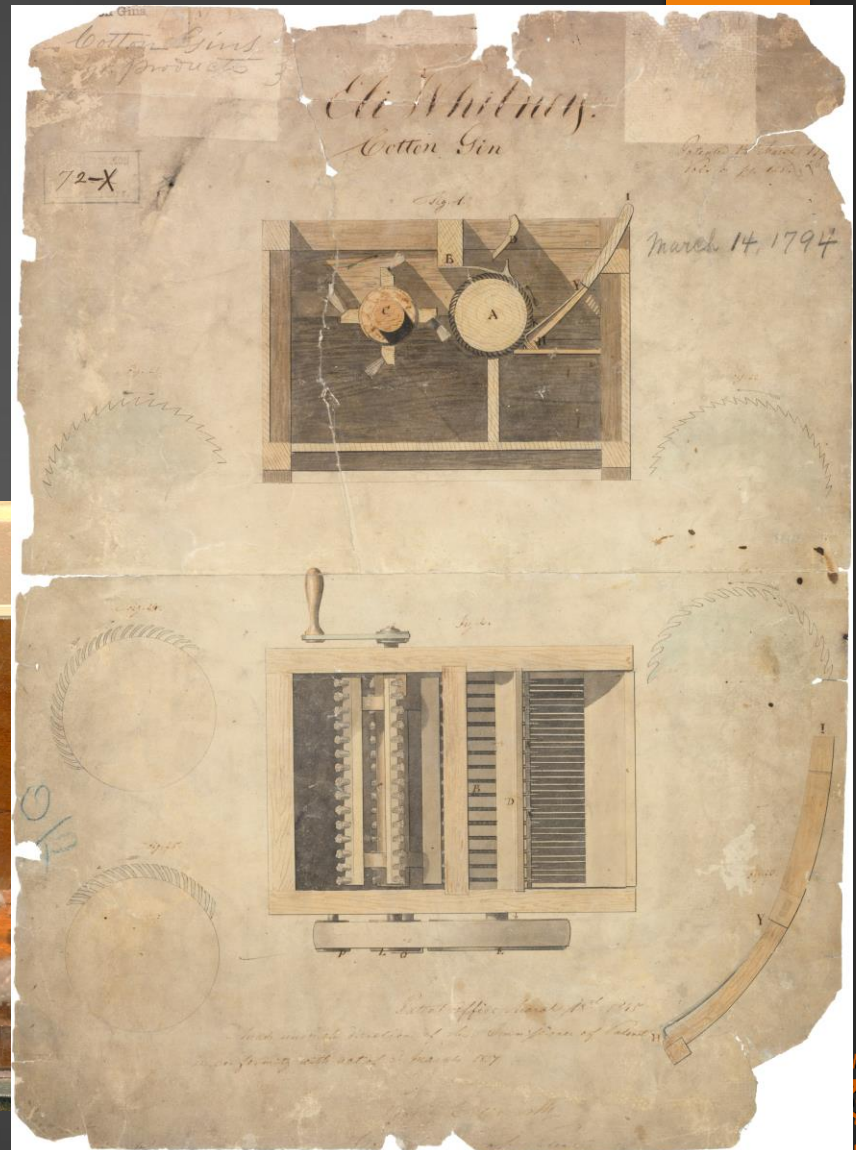
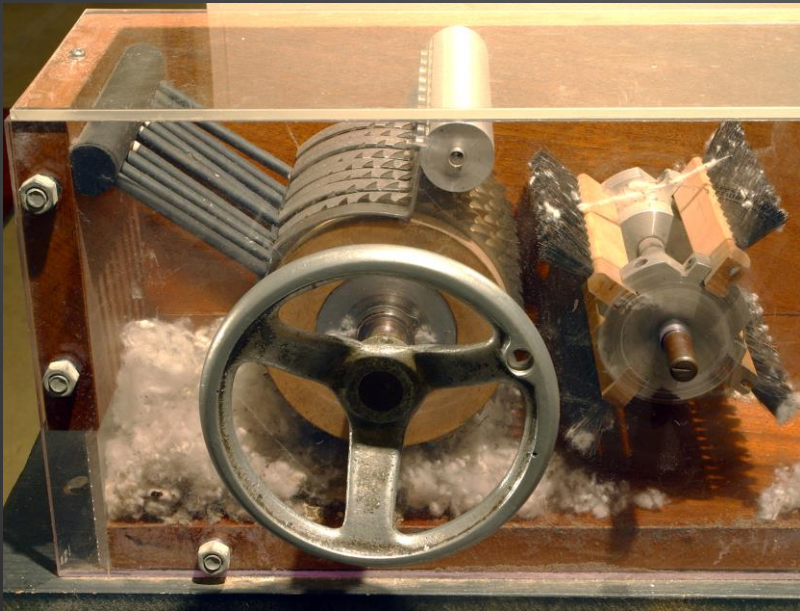
- Eli Whitney 1765-1825
- Absolwent Yale,
- Wynalazca,
- Konstruktor zautomatyzowanej maszyny do odziarniania bawełny (cotton gin),
- W bardzo znaczący sposób przyczynił się do rozpoczęcia wojny secesyjnej



# Pierwsza frezarka

6

- Znacznie zwiększona wydajność,
- Problemy prawne i patentowe



# Pierwsza frezarka

- Na początku XIX w. w Ameryce Północnej brakowało pracowników o wysokich kwalifikacjach,
- Whitney znając realia szukał sposobu jak niewykwalifikowana osoba mogła wytwarzać zaawansowane komponenty,
- Bez fabryki, czy choćby maszyny Whitney przekonał rząd do przydzielenia mu kontraktu na wykonanie 10 000 muszkietów w cenie 13,40 dolara za sztukę



# Pierwsza frezarka

- Do tej pory wytwarzanie muszkietów było produkcją jednostkową. Każdy muszkiet wyglądał podobnie, ale jego elementy pasowały tylko do tej samej sztuki,
- Pomysłem Whitney'a było zaprojektowanie broni od nowa i wykonanie szablonów na każdy element w sposób podobny do przymiarów koszul,
- Kolejnym zadaniem była konieczność wymyślenia maszyny, która pozwoliłaby pracownikowi na wycięcie z kawałka metalu elementu zgodnego z przymiarem.



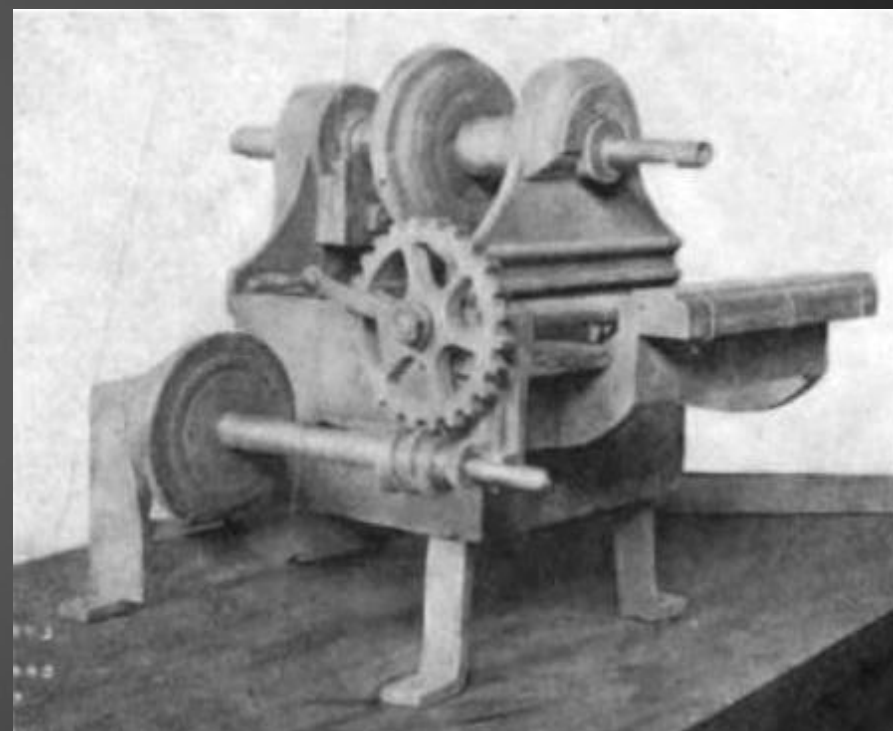
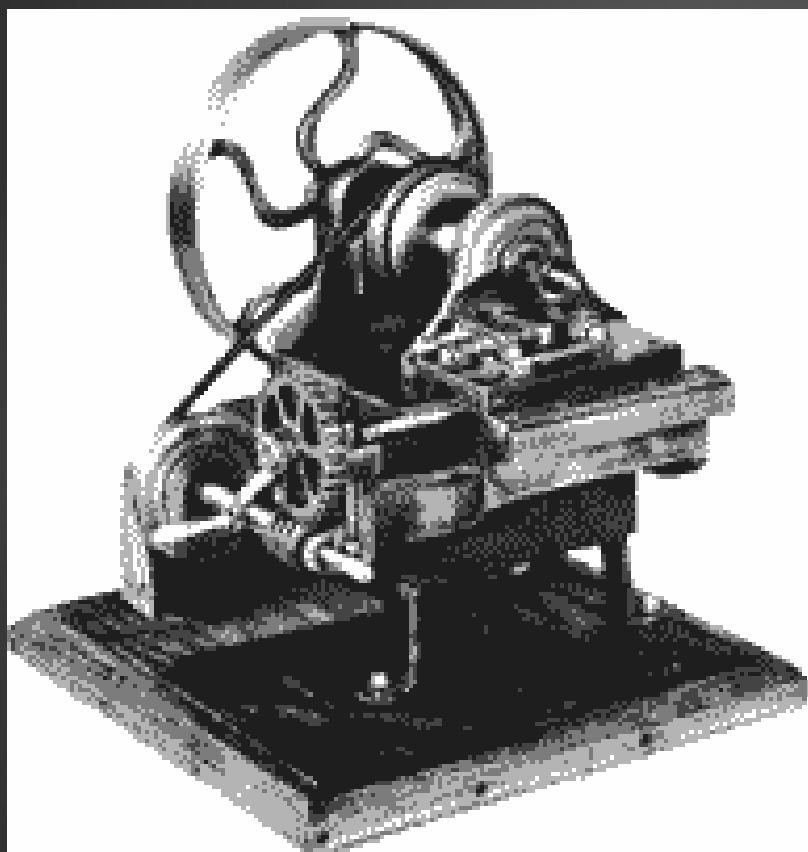
# Pierwsza frezarka

- Wynalazca wpadł na pomysł nacięcia koła w sposób podobny do koła zębatego, z tą różnicą, że każdy ząb był dodatkowo naostrzony. Następnie koło to było hartowane.
- Odpowiedni kawałek metalu mocowany był do stołu, a na nim kładziony był przymiar. W ten sposób niewykwalifikowany pracownik mógł wytwarzać względnie dokładne przedmioty,
- Whitney zaprojektował w ten sposób pierwszą frezarkę.

# Pierwsza frezarka

10

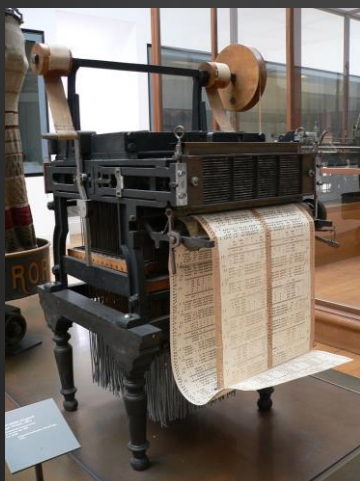
- Około 1818 roku



# Krosno Jacquarda

11

- W 1805 r Joseph Marie Jacquard wynalazł mechanizm przesmykowy pozwalający na sterowanie pojedynczymi nitkami za pomocą kart perforowanych
- krosno



# Sterowanie NC i CNC

12

- ▶ Prace nad sterowaną numerycznie obrabiarką rozpoczął Parsons ok. 1942 roku
- ▶ Prace nad pierwszą sterowaną numerycznie obrabiarką zakończyły się w roku 1952 (sterowanie kartami perforowanymi)
- ▶ W 1959 roku na konferencji prasowej zaprezentowano pierwszą wykonaną przy użyciu maszyny sterowanej CNC popielniczkę wykonaną na maszynie trójosiowej
- ▶ CNC

# Cechy techniczno-użytkowe obrabiarek

- ▶ Przeznaczenie produkcyjne,
- ▶ Możliwości obróbkowe,
- ▶ Wydajność obróbki,
- ▶ Dokładność obrabiarki,
- ▶ Stopień automatyzacji i rodzaj sterowania,
- ▶ Wielkości charakterystyczne,
- ▶ Wyposażenie,
- ▶ Wskaźniki energetyczne,
- ▶ Niezawodność,
- ▶ Trwałość.

# Cechy techniczno-użytkowe obrabiarek

- ▶ **Dokładność obrabiarki** – podstawowa cecha użytkowa. Rozumiana jest jako odchyłka wykonania oraz odchyłka efektów obróbki od modelu teoretycznego. Wyróżniamy cztery kryteria oceny:
  - ▶ Dokładność geometryczna,
  - ▶ Dokładność kinematyczna,
  - ▶ Dokładność ustawcza,
  - ▶ Dokładność obróbki.

# Cechy techniczno- użytkowe obrabiarek

15

- ▶ **Dokładność geometryczna** – błędy wymiarowo kształtowe oraz błędy położenia bez obciążenia komponentów maszyny odpowiedzialnych za nadawanie kształtu lub położenia,
- ▶ **Dokładność kinematyczna** – błędy wykonania i montażu elementów kinematycznych – przekładni, które łączą ze sobą ruchy kształtowania,
- ▶ **Dokładność ustawcza** – błąd mechanizmów służących do ustawiania zespołów obrabiarki w żądanym położeniu,
- ▶ **Dokładność obróbki** – dokładność wynikowa, mierzona jest na podstawie jakości przedmiotów obrobionych na maszynie, przy założonych parametrach procesu.



# Kilka technicznych uwag

16

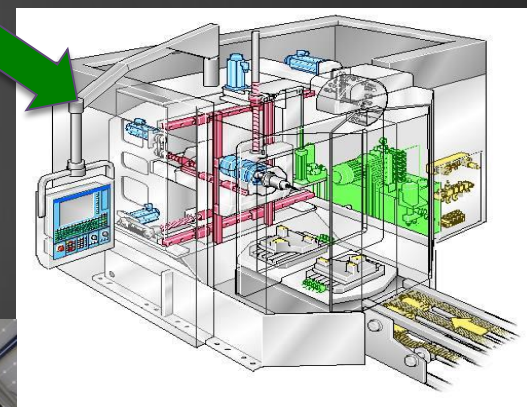
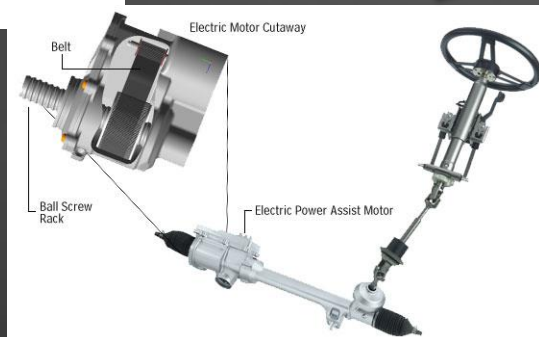
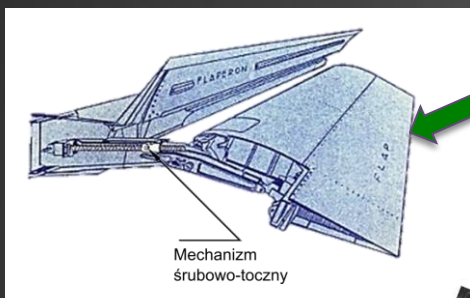
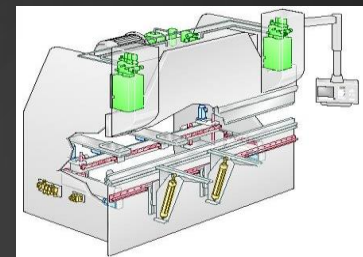
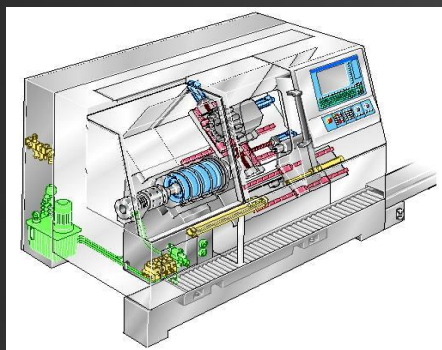
- ▶ Luz w łożysku
- ▶ Montaż łożyska
- ▶ Osiowanie
- ▶ Fixturelaser
- ▶ Inny rodzaj badań

# Podstawowe pomiary

17

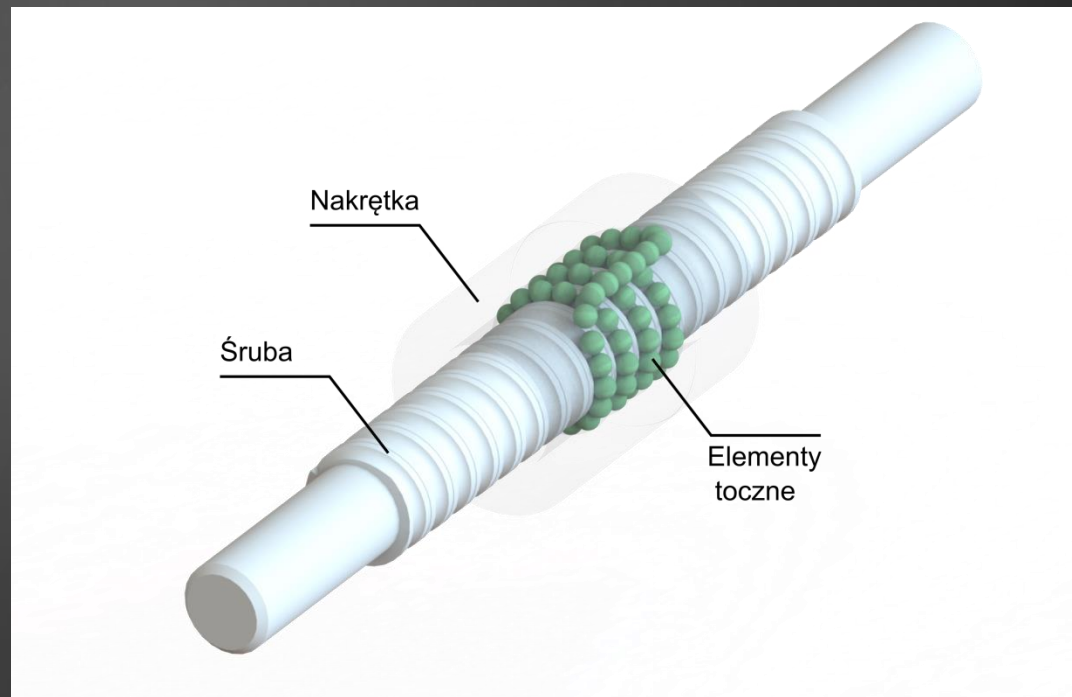
- ▶ Równoległość przewodnic, 2

# Zastosowanie



# Budowa mechanizmu śrubowo- tocznego

- ▶ Wysoka sprawność
- ▶ Brak samohamowności
- ▶ Konieczność napinania wstępnego

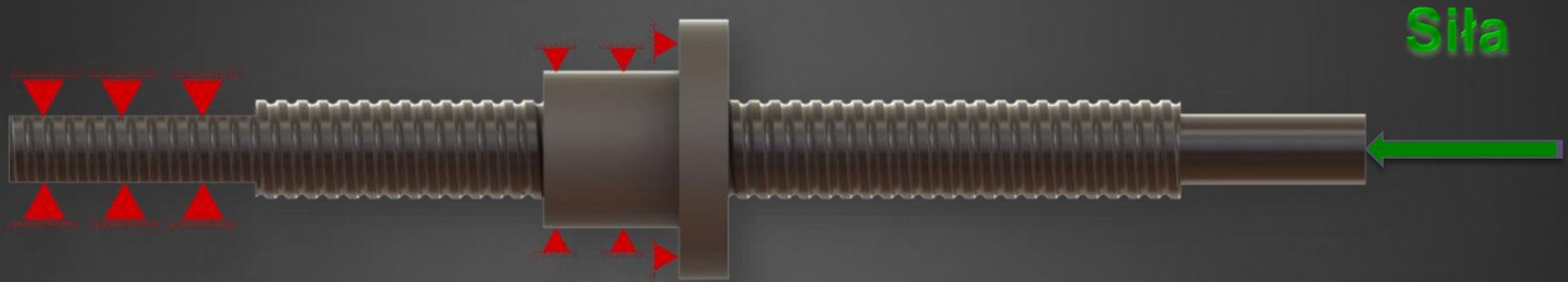


# Produkcja mechanizmu śrubowotocznego

- ▶ Frezowanie
- ▶ Walcowanie
- ▶ Walcowanie 2

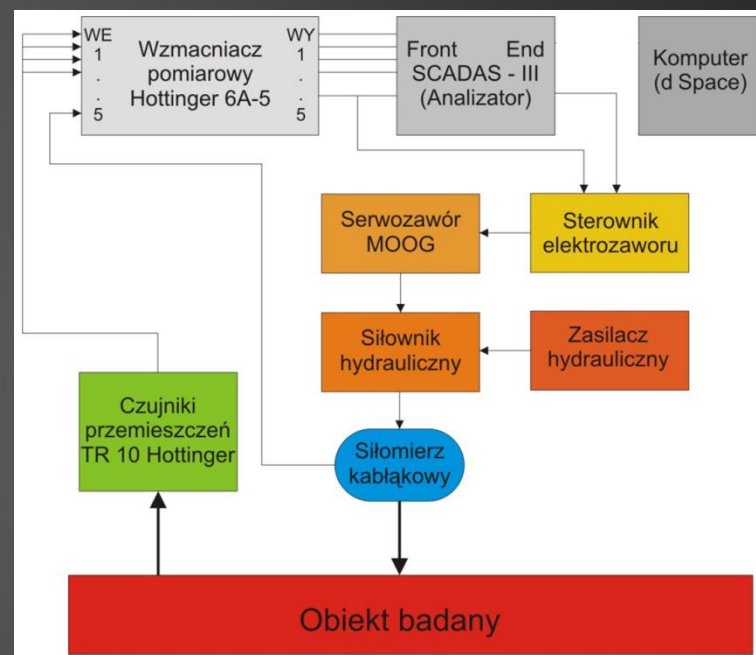
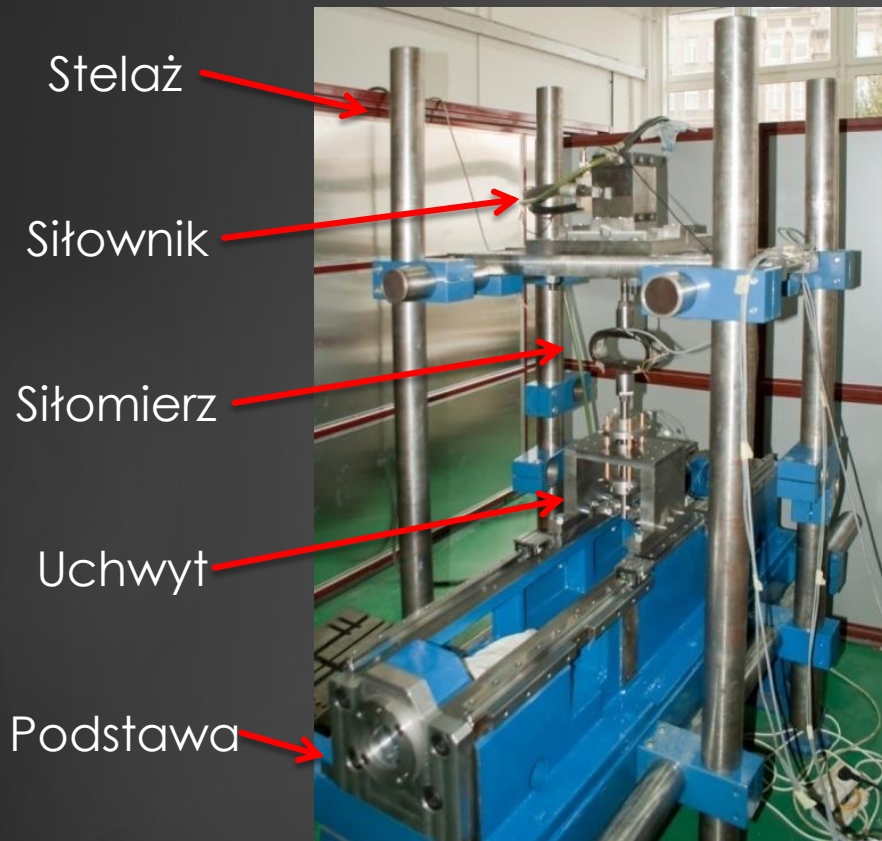
# Sposób umocowania i obciążenia modeli podczas obliczeń

21



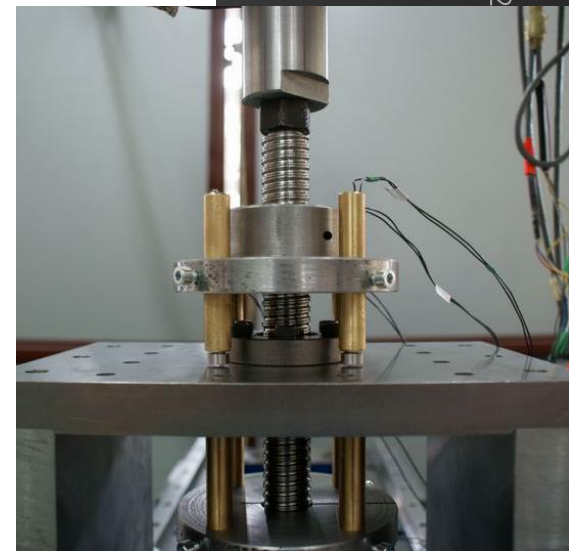
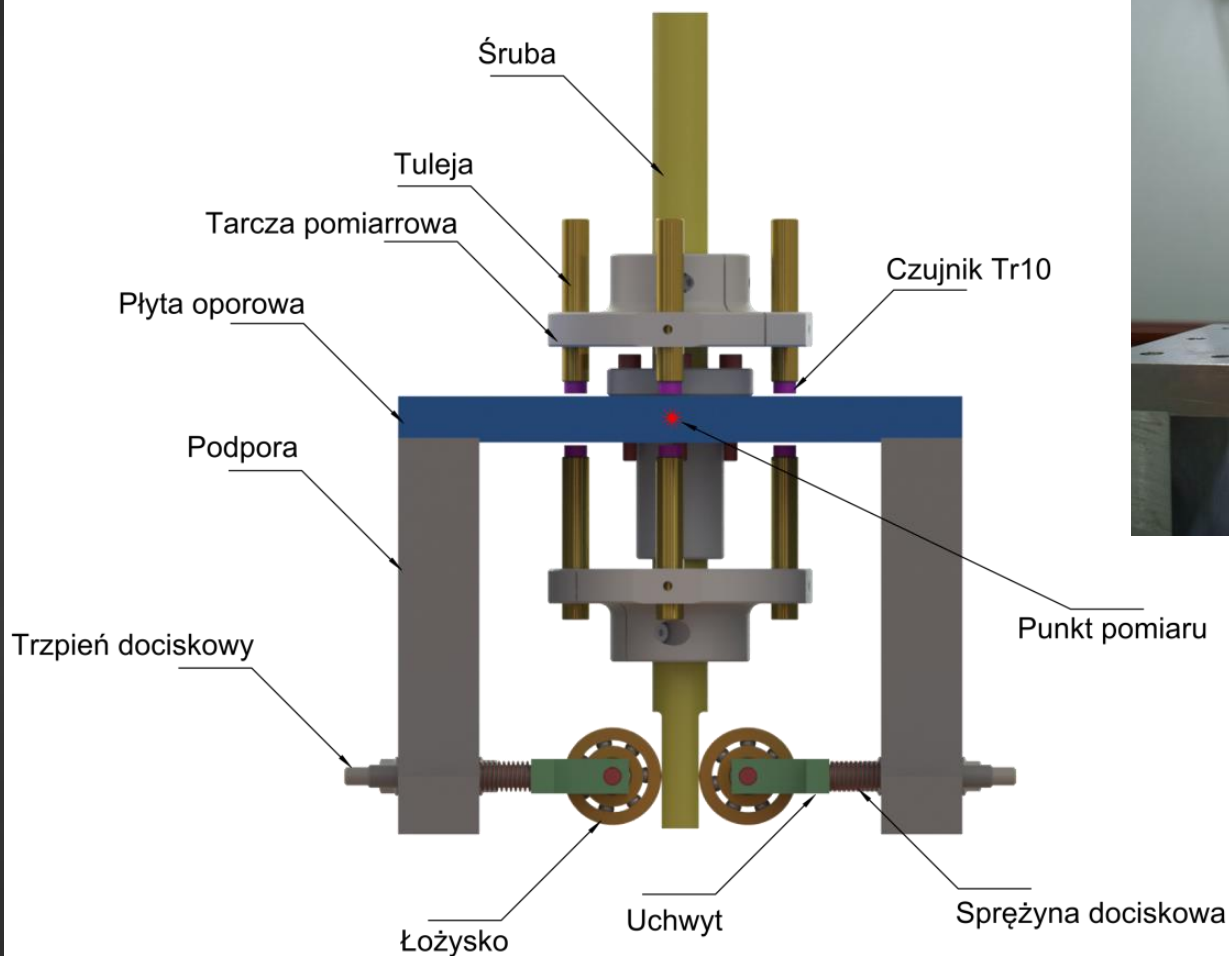
# Stanowisko do badania mechanizmów śrubowo-tocznych

22







# Stanowisko do badania mechanizmów śrubowo-tocznych

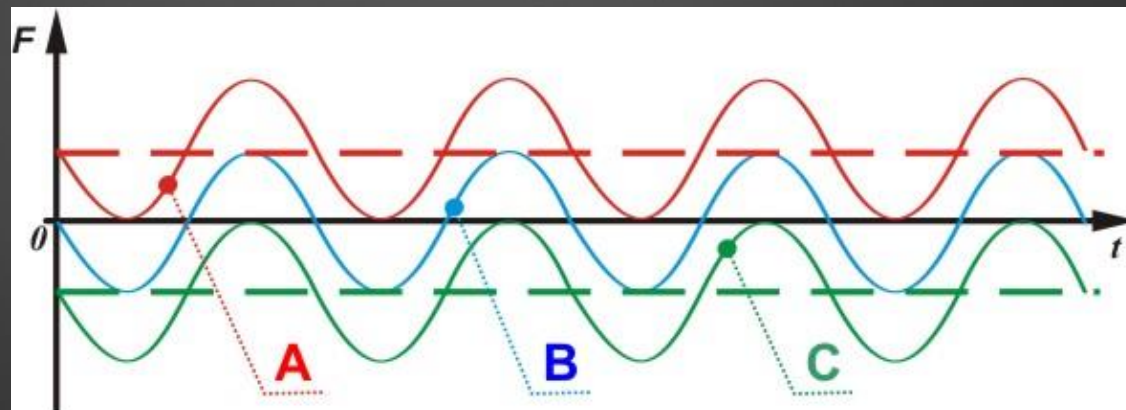
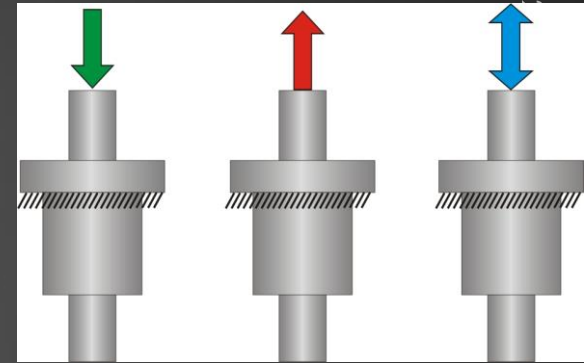


# Badane mechanizmy

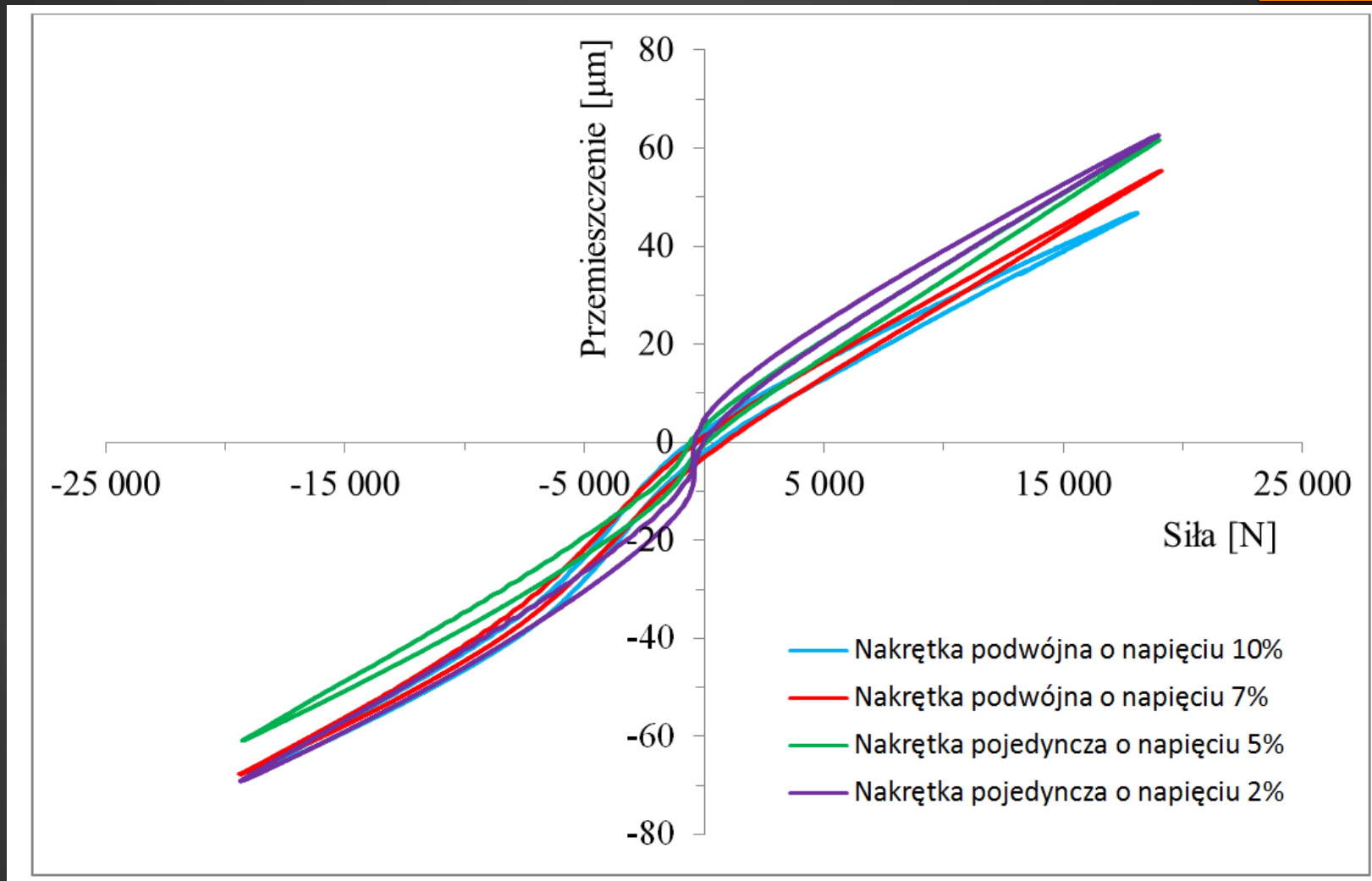
Typ	Widok poglądowy	C [N] Nośność dynamiczna	Co [N] Nośność statyczna	V max [m/min] Prędkość liniowa	Oznaczenie $d_0 \times P \times D_w - i$	Napięcie wstępne [% C]
FEM-E-S R 1512		15900	27200	30	25x5Rx3-4	2% / 5%
FDM-E-S R 1503		15900	27200	30	25x5Rx3-4	7% / 10%

# Warianty obciążenia

- ▶ Obciążenia wolnozmiennie
- ▶ Trzy rodzaje obciążeń:
- ▶ A: rozciąganie 0 N ÷ 25 000 N,
- ▶ B: ściskanie 12 500 N ÷ rozciąganie 12 500 N
- ▶ C: ściskanie 25 000 N ÷ 0 N



# Wyniki badań doświadczalnych



# Niepewności pomiarowe

- ▶ Ze względu na stopień skomplikowania badań doświadczalnych oraz złożoność konstrukcyjną stanowiska, poziom niepewności wyników pomiarowych jest trudny do oszacowania.
- ▶ Sytuacja ta implikuje konieczność przeprowadzenia analizy źródeł niepewności i ich wpływu na wyniki.
- ▶ Należy przyjąć założenie, że każdy element systemu pomiarowego wprowadza jakąś niepewność pomiarową, która wchodzi w skład całkowitej niepewności pomiarowej wyniku.
- ▶ Z uwagi na fakt, że stanowisko pomiarowe jest skomplikowane, dodatkowo mierzone są wartości zależne od siebie. Uzasadnionym wydaje się być przeprowadzenie dokładniejszej analizy – takiej, która uwzględni informacje niestatystyczne.

# Niepewności pomiarowe

- ▶ Na wstępie zebrano dane o wszystkich możliwych czynnikach wpływających na niepewność pomiaru oraz określono zakres poszczególnych niepewności opierając się o dane dotyczące klasy poszczególnych przyrządów.
- ▶ W celu określenia wpływu poszczególnych składowych niepewności, a także oszacowania całkowitej niepewności pomiaru zdecydowano się na zastosowanie metody Monte-Carlo.
- ▶ Przeprowadzono symulacje wpływu pojedynczych źródeł niepewności na wynik, a następnie zbadano wpływ wspólny wszystkich źródeł niepewności na wynik.

# Niepewności pomiarowe

- ▶ Ze względu na uzależnienie dokładności metody Monte-Carlo od zastosowanej liczby iteracji przyjęto, że wykonane zostanie dziewięć badań z liczbą iteracji zmieniającą się w zakresie 5÷50 000.
- ▶ Każde badanie powtarzano pięciokrotnie, analizując maksymalne odchylenie standardowe wyników.
- ▶ Ostatecznie przyjęto liczbę iteracji wynoszącą 5 000, dla tej liczby wartości odchyłeń były najmniejsze (Tabela).
- ▶ Metoda Monte-Carlo z uwagi na swoją specyfikę związana jest ściśle z metodą generowania wartości liczb pseudolosowych. Przy przekroczeniu pewnej liczby iteracji następuje pogorszenie jakości uzyskiwanych wyników.



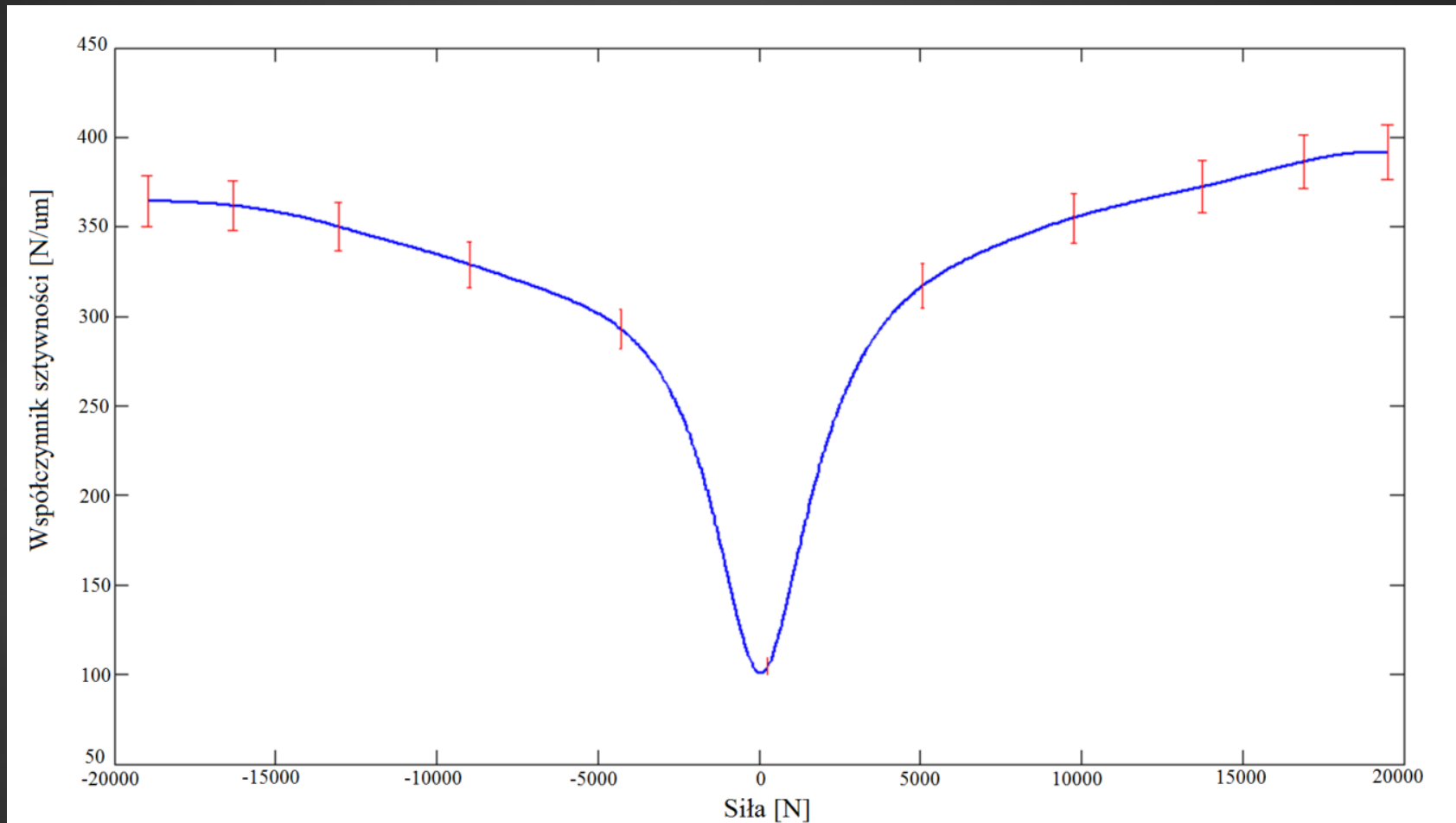
# Określenie liczby iteracji

Liczba iteracji	Maksymalne odchylenie standardowe
5	1,1596
10	0,8933
20	0,3824
100	0,1168
500	0,1126
1 000	0,082
5 000	0,0132
10 000	0,0924
50 000	13,8109

# Szacowanie niepewności pomiarowych przy użyciu metody Monte-Carlo

Rodzaj	Zakres	Wpływ na wynik pomiaru sztywności
Niepewność wskazania siłomierza	$\pm 2\%$ wartości siły	28%
Analizator Scadas dla siły	$\pm 0,5\%$ wartości sygnału	8%
Wzmacniacz Hottinger dla siły	$\pm 0,5\%$ wartości sygnału	7%
Wzmacniacz Hottinger różnice we wskazaniach uzależnione od skoków napięcia dla siły	$\pm 0,2\%$ wartości sygnału	4%
Niepewność wynikająca z zerowania i rozdzielczości siłomierza	$\pm 2\%$ wartości siły	3%
Wzorowanie czujników pomiarowych przemieszczeń (gain)	$\pm 1 \mu\text{m}$	35%
Niedokładność wykonania tarcz pomiarowych	$\pm 1 \text{ mm}$	3%
Analizator Scadas dla przemieszczenia	$\pm 0,5\%$ wartości sygnału	4%
Wzmacniacz Hottinger dla przemieszczenia	$\pm 0,5\%$ wartości sygnału	5%
Wzmacniacz Hottinger różnice we wskazaniach uzależnione od skoków napięcia dla przemieszczenia	$\pm 0,2\%$ wartości sygnału	3%

# Szacowanie niepewności pomiarowych przy użyciu metody Monte-Carlo



# Szacowanie niepewności pomiarowych przy użyciu metody Monte-Carlo

Rodzaj	Wartość odchyłki w $N/\mu\text{m}$ ( $2\sigma$ )
Niepewność wskazania siłomierza	7,616
Analizator Scadas dla siły	2,032
Wzmacniacz Hoffinger dla siły	2,024
Wzmacniacz Hoffinger różnice we wskazaniach uzależnione od skoków napięcia dla siły	1,058
Niepewność wynikająca z zerowania i rozdzielczości siłomierza	0,724
Wzorowanie czujników pomiarowych (gain)	9,548
Niedokładność wykonania tarcz pomiarowych	0,875
Analizator Scadas dla przemieszczenia	1,211
Wzmacniacz Hoffinger dla przemieszczenia	1,216
Wzmacniacz Hoffinger różnice we wskazaniach uzależnione od skoków napięcia dla przemieszczenia	0,812
Łączna wartość niepewności	12,794

# Badanie łożysk na statkach

- ▶ Zachowanie odpowiedniego położenia węzłów łożyskowych podpierających wały napędowe statków jest kluczowe dla ich bezawaryjnej pracy,
- ▶ Utrzymanie odchyłki położenia węzłów w pożądanej klasie dokładności dla wałów o długości kilkunastu metrów jest ogromnym wyzwaniem.
- ▶ [badanie film](#)