

---

# WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

ZESZYTY NAUKOWE  
INSTYTUTU AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH  
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

---

## PROJEKT SIŁOMIERZA Z ZASTOSOWANIEM TENSOMETRII OPOROWEJ

Tomasz Molski<sup>1</sup>, Andrzej Baier<sup>2</sup>  
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,  
ul. Konarskiego 18A 44-100 Gliwice.  
<sup>1</sup>tommol@o2.pl, <sup>2</sup>andrzej.baier@polsl.pl

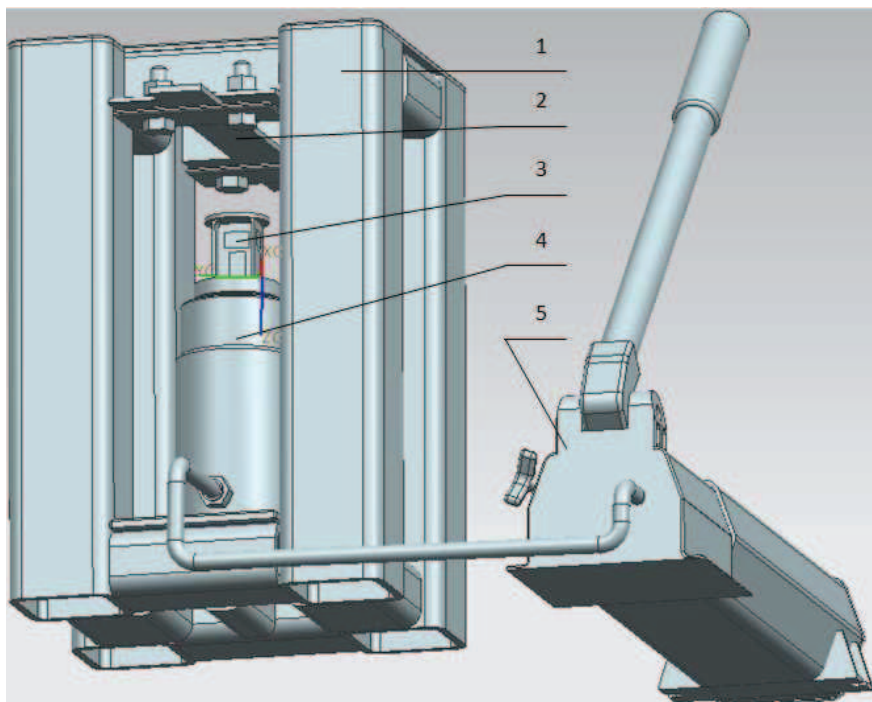
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono model stanowiska z siłomierzem. Pokazano ogólną konstrukcję siłomierza, metodę archiwizacji danych oraz przeprowadzono pomiary z zastosowaniem tensometrii elektrooporowej. Kolejno wykonano niezbędne obliczenia i sprawdzono ich poprawność, wykorzystując analizę MES w programie Unigraphics NX7.

### 1. Wstęp

„Siłomierz, dynamometr - przyrząd do pomiaru siły; mechaniczny (np. sprężynowy, dźwigniowy, hydrauliczny), elektromechaniczny (tensometryczny, indukcyjny), elektryczny (np. piezoelektryczny)” [1].

W ramach pracy wykonano funkcjonalny model siłomierza z zastosowaniem tensometrii odporowej oraz wykazano, że zaprojektowany siłomierz spełnia założenia projektowe.

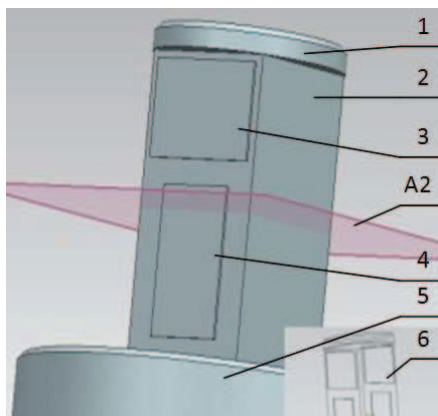
Asumptem do podjęcia pracy była potrzeba identyfikacji naprężeń w badanych próbkach kompozytów. Zaprojektowano stanowisko badawcze przedstawione na rys. 1. Stanowisko złożono z: ramy (1), badanej próbki (2), siłomierza (3), siłownika (4), pompy (5).



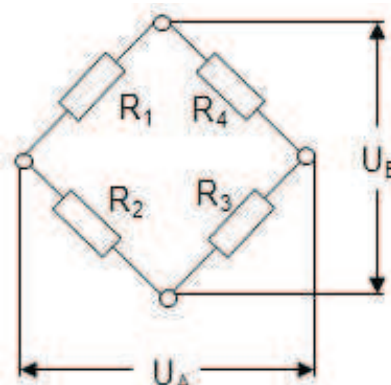
Rys. 1. Stanowisko badawcze

## 2. Projekt siłomierza

Na rys. 2 przedstawiono ogólną budowę siłomierza z zastosowaniem pełnego mostka Wheatstone'a (rys.3). Zaprojektowany siłomierz składa się z: tarczy opartej o badaną powierzchnię (1); części roboczej siłomierza (2); tensometru kompensującego wpływ temperatury (3); tensometru czynnego (4); obciążanego końca siłomierza (5) [2].



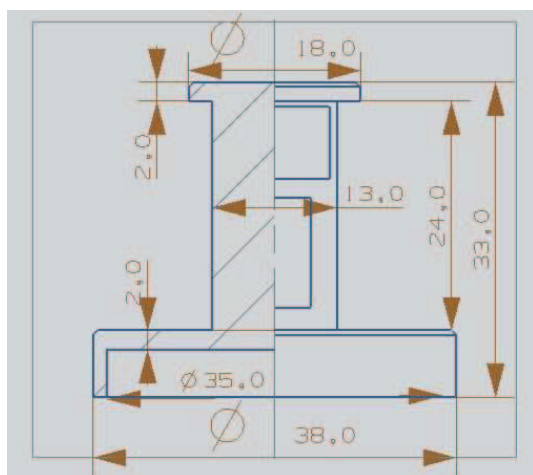
Rys. 2. Ogólna postać siłomierza z pełnym mostkiem Wheatstone'a



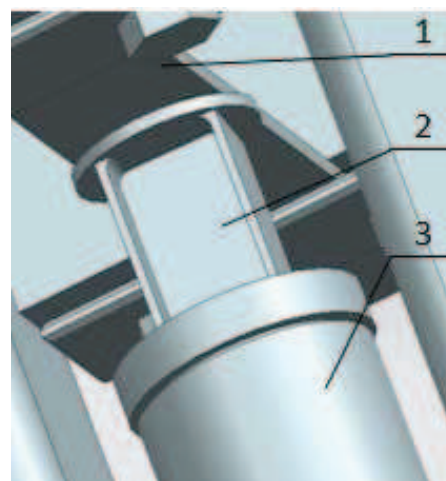
Rys.3. Pełny mostek Wheatstone'a

Pełny mostek Wheatstone'a tworzą cztery tensometry (3) i (4) oraz dwa na przeciwległym boku (6) [3].

W zakresie prac związanych z projektem wykonano: niezbędne obliczenia wytrzymałościowe w odniesieniu do doboru przekroju siłomierza (rys.2, płaszczyzna A2) oraz rzeczywisty model i pomiary. Przed przystąpieniem do obliczeń zgromadzono informacje dotyczące: wymiarów tensometru, przedziału wydłużenia względnego, w którym działa tensometr, rodzaju materiału, z którego będzie wykonany rdzeń siłomierza oraz sposobu jego zamocowania. Ważne jest także określenie, w jakim przedziale mierzonych sił będzie pracował siłomierz.



Rys. 4. Wymiary przyjęte do obliczeń



Rys. 5. Mocowanie siłomierza

Na rys. 5 przedstawiono siłomierz (2), zamocowany pomiędzy siłownikiem (3) a płaską powierzchnią próbki materiału (1). W dolnej części umieszczono pierścień, którego średnica wewnętrzna jest dopasowana do średnicy siłownika. Górna część to tarcza, której zadaniem jest zwiększenie powierzchni przylegania siłomierza do badanej próbki.

Założeniem, odnośnie części pomiarowej, była możliwość naklejenia tensometrów w formie pełnego mostka. Kolejno wykonano obliczenia przekroju części roboczej siłomierza. W tym celu zebrano niezbędne do obliczeń dane (tab.1).

Tab. 1. Dane do obliczeń

Nazwa	Oznaczenie	Wartość
Siła	F	25 000 [N]
Wydłużenie względne	$\varepsilon$	1000 [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]
Grubość dolnej tarczy	$l_1$	0.002[m]
Długość części roboczej	$l_2$	0.024[m]
Grubość górnej tarczy	$l_3$	0.002[m]
Pole przekroju dolnej tarczy	$A_1$	$1.134 \cdot 10^{-3} [\text{m}^2]$
Pole przekroju górnej tarczy	$A_3$	$2.543 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2]$
Moduł Younga	E	$210 \cdot 10^9 [\text{Pa}]$

Uwzględniając zależność na wydłużenie względne, obliczono całkowite wydłużenie pręta [4]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l [\mu\text{m}]}{l [\text{m}]}, \quad (1)$$

gdzie:

$l$  - suma  $l_1$ ,  $l_2$  i  $l_3$  [m],

$\Delta l$  - wydłużenie rzeczywiste [m],

$$\frac{1000\mu\text{m}}{1\text{m}} = \frac{\Delta l}{0.028\text{m}} \Rightarrow \Delta l = 2,8 \cdot 10^{-5} [\text{m}] \quad (2)$$

Na całej długości siłomierza występują różne pola przekrojów poprzecznych. W związku z tym siłomierz rozpatrzono jako pręt o zmiennym przekroju. Podziału dokonano w trzech miejscach, gdzie zmienia się pole przekroju lub zmienia się liczba działających sił [4].

Zapisano osobne warunki równowagi oraz zależności na wydłużenie rzeczywiste każdego z fragmentów pręta. Ze względu na to, że na siłomierz działa tylko jedna siła F, kolejne warunki będą podobne [4].

**Przedział 1**

$$N_1 = F, \quad (3)$$

$$\lambda_1 = \frac{F \cdot l_1}{E \cdot A_1} \quad (4)$$

**Przedział 2**

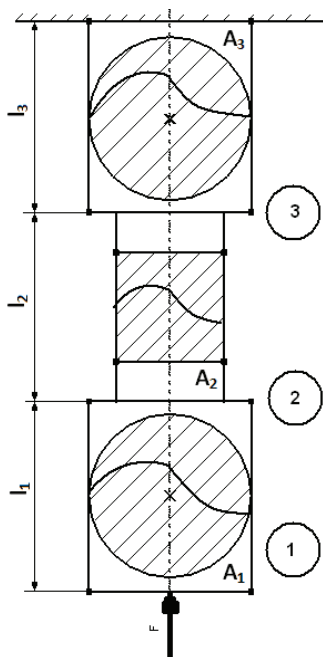
$$N_2 = F, \quad (5)$$

$$\lambda_2 = \frac{F \cdot l_2}{E \cdot A_2} \quad (6)$$

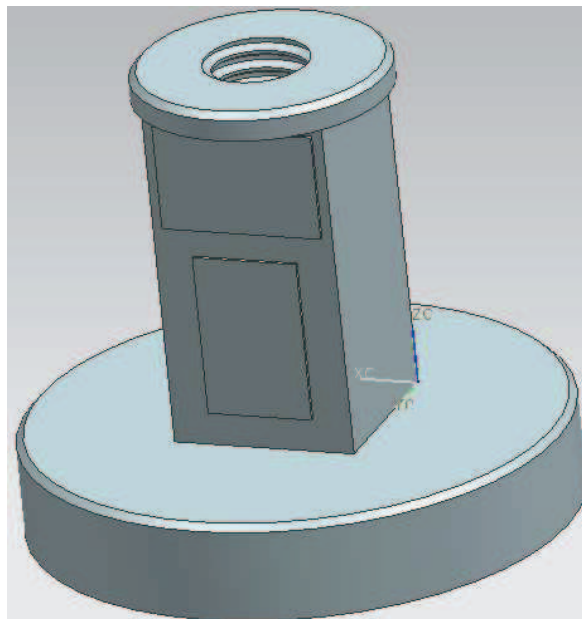
**Przedział 3**

$$N_3 = F, \quad (7)$$

$$\lambda_3 = \frac{F \cdot l_3}{E \cdot A_3} \quad (8)$$



Rys. 6. Podział pręta o zmiennym przekroju



Rys. 7. Końcowa postać siłomierza

Całkowite wydłużenie pręta jest sumą poszczególnych składowych wydłużeń, przekształconą w taki sposób, aby uzyskać pole przekroju części roboczej siłomierza  $A_2$  [4].

$$\Delta l = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3, \quad (9)$$

$$\Delta l = \left( \frac{F * l_1}{E * A_1} \right) + \left( \frac{F * l_2}{E * A_2} \right) + \left( \frac{F * l_3}{E * A_3} \right) \quad (10)$$

Po przekształceniu:

$$\frac{1}{A_2} = - \frac{l_3}{A_3 * l_2} - \frac{l_1}{A_1 * l_2} + \frac{\Delta l * E}{F * l_2} \quad (11)$$

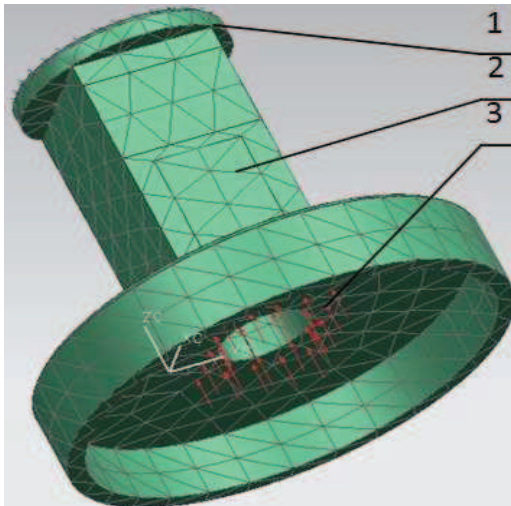
W opisywanym przypadku po podstawieniu danych, przedstawionych w tabeli 1, otrzymano wymagane pole przekroju części roboczej siłomierza dopasowane do założonej wartości siły:

$$A_2 = 1,0640 * 10^{-4} [m^2] = 106,40 [mm^2] \quad (12)$$

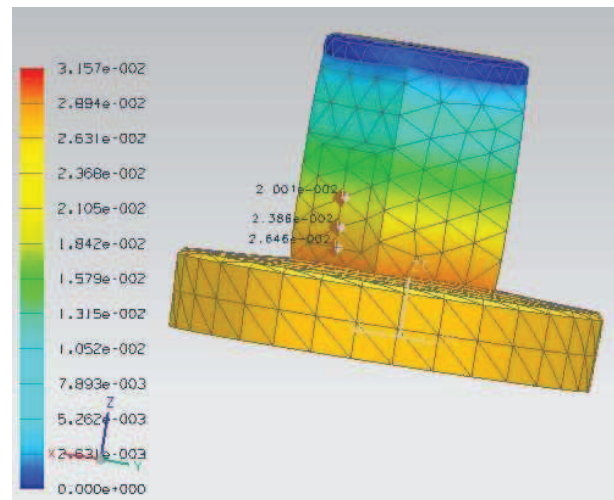
Wymagana szerokość powierzchni, na którą naklejono tensometry wynosi 12mm. Doświadczalnie przyjęto wymiar drugiego boku o długości 13mm, co daje pole  $156mm^2$ . Ponieważ wymagane pole przekroju poprzecznego to  $106,40mm^2$ , nadmiar pola przekroju zredukowano przez wykonanie nagwintowanego otworu. Pozwoli to na ewentualne zamontowanie innych końcówek do siłomierza.

W tym przypadku różnica założonego pola przekroju pręta oraz obliczonej wartości wynosi  $49,60mm^2$ . Jest to wartość zbliżona do pola przekroju śruby M8 ( $50,240mm^2$ ). W efekcie otrzymano gotowe wymiary siłomierza. Całość wykonano z litego kawałka materiału.

W celu weryfikacji obliczeń utworzono model siłomierza w programie UGS NX 7 (rys. 7). Model ten, przy użyciu narzędzi modułu Advanced Simulation, obciążono zakładaną siłą 25 kN i poddano analizie metodą elementów skończonych (rys. 8). Górną część (1) sztywno utwierdzono, zaś dolną (3) obciążono siłą. Ważne jest położenie tensometru (2), ponieważ w tym miejscu spodziewamy się zakładanego przemieszczenia ( $2.8 \times 10^{-5}mm$ ).



Rys. 8. Sposób obciążenia siłomierza



Rys. 9. Wyniki analizy MES

Na rys. 9 przedstawiono wyniki analizy MES dla zakładanego wydłużenia siłomierza. Świadczy to o poprawności wykonanych obliczeń.

### Literatura

1. Kryszewski W., Marcinkowski R.: Encyklopedia powszechna PWN. Warszawa 1983.
2. Styburski W.: Przetworniki tensometryczne: konstrukcja, projektowanie, użytkowanie. Warszawa: WNT, 1971.
3. Roliński Z.: Tensometria oporowa: podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań, Warszawa: WNT, 1981.
4. Kurowski R., Niezgodziński M.: Wytrzymałość materiałów, Warszawa: PWN, 1970.

## THE FORCE TRANSDUCER DESIGN WITH STRAIN GAUGES METHOD APPLICATION

**Summary:** The article describes approach to design of force transducer. Its general form, the method of data archiving were introduced. Moreover, measurements with strain gauges method were introduced. The necessary calculations were performed and verified by FEM analysis in Unigraphics NX7 program.

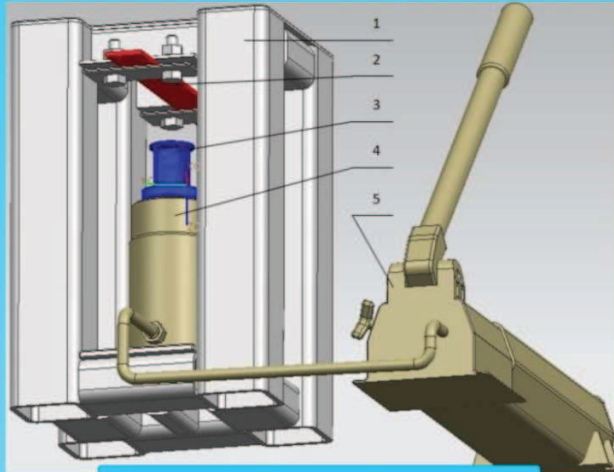
## PROJEKT SIŁOMIERZA Z ZASTOSOWANIEM TENSOMETRII OPOROWEJ

Tomasz Mołski, Andrzej Baier

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania  
tommo@o2.pl, andrzej.baier@polsl.pl

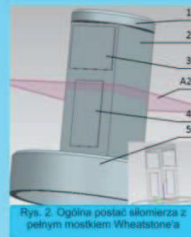
Celem pracy było wykonanie funkcjonalnego modelu siłomierza z wykorzystaniem tensometrii oporowej oraz wykazanie, że w pełni sprawny siłomierz nie musi być droгим urządzeniem.

Utworzenie siłomierza jest efektem zaistnienia potrzeby badania różnych próbek materiału pod względem nacisku na ich powierzchnię. Zaprojektowano stanowisko badawcze przedstawione na rysunku 1. Stanowisko składa się z: stelaża (1), badanej próbki (2), siłomierza (3), siłownika (4), pompy (5).

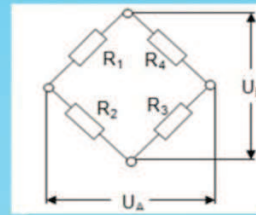


Rys. 1. Stanowisko badawcze

Każdy siłomierz zbudowany jest podobnie. Na rysunku 2 przedstawiono ogólną budowę siłomierza z zastosowaniem pełnego mostka Wheatstone'a. Na budowę siłomierza składa się: tarcza opierająca się o badaną powierzchnię (1), część robocza siłomierza (2), tensometr kompensujący wpływ temperatury (3), tensometr czynny (4), obciążony koniec siłomierza (5).



Rys. 2. Ogólna postać siłomierza z pełnym mostkiem Wheatstone'a



Rys. 3. Pełen mostek Wheatstone'a

W zakresie prac związanych z projektem było wykonanie niezbędnych obliczeń wytrzymałościowych, odnośnie doboru przekroju siłomierza (Rys. 2, płaszczyzna A2), wykonanie rzeczywistego modelu i naklejenie tensometrów.

Założeniem, odnośnie części pomiarowej, była możliwość utworzenia na niej pełnego mostka (Rys. 3). Następnym krokiem było przeprowadzenie obliczeń dotyczących przekroju części roboczej siłomierza.

$$\text{Przedział 1: } N_1 = F \quad \lambda_1 = \frac{F \cdot l_1}{E \cdot A_1} \quad \text{Przedział 2: } N_2 = F \quad \lambda_2 = \frac{F \cdot l_2}{E \cdot A_2}$$

$$\text{Przedział 3: } N_3 = F \quad \lambda_3 = \frac{F \cdot l_3}{E \cdot A_3}$$

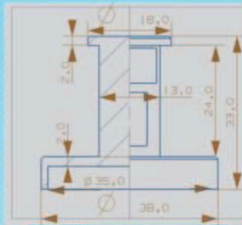
Całkowite wydłużenie pręta jest sumą poszczególnych składowych wydłużeń należy je do siebie dodać i przekształcić w taki sposób aby uzyskać pole przekroju części roboczej siłomierza A2:

$$\Delta l = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$$

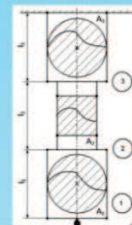
$$\text{Po przekształceniu: } \frac{1}{A_2} = \frac{l_3}{A_3 \cdot l_2} + \frac{l_1}{A_1 \cdot l_2} + \frac{\Delta l \cdot E}{F \cdot l_2}$$

W opisywanym przypadku po podstawieniu danych otrzymano wymagane pole przekroju części roboczej siłomierza dopasowane do założonej wartości sily:

$$A_2 = 1,0640 \cdot 10^{-4} = 106,40 [\text{mm}^2]$$

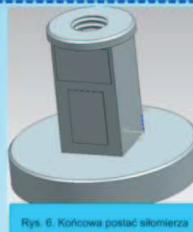


Rys. 4. Przyjęte do obliczeń wymiary

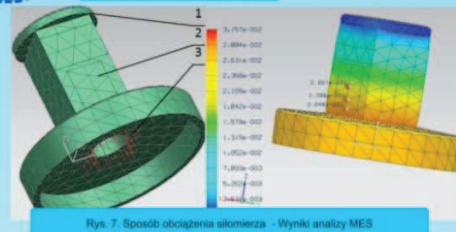


Rys. 5. Płaszczyzna A2 zmierny przekroju

W celu weryfikacji został utworzony model siłomierza w programie UGS NX 7 (Rys. 7). Model ten następnie, przy wykorzystaniu narzędzi modułu Advanced Simulation został obciążony zakładaną siłą 25 000 N i poddany analizie Metodą Elementów Skończonych.



Rys. 6. Końcowa postać siłomierza



Rys. 7. Sposób obciążenia siłomierza - Wyniki analizy MES