

Maciej Pierzchała 282 934  
Filip Kubecki 272 655

Grupa: Wtorek 10:35

Data wykonania ćwiczenia:  
15 października 2024r  
Data sporządzenia sprawozdania:  
22 października 2024r

## Laboratorium 3

### Charakteryzacja czujników naprężenia

## 1 Spis przyrządów

Do wykonania ćwiczenia wykorzystano:

- Piezoelektryczny czujnik naprężenia
- Multimetr cyfrowy Sigilent SDM 3055
- Suwmiarkę
- Śrubę mikrometryczną
- Przyrząd do kontrolowanego naprężania próbki

## 2 Przebieg i cele doświadczenia

Doświadczenie polegało na wyginaniu próbki piezorezystora grubowarstwowego wykonanego metodą sitodruku na podłożu z ceramiki alundowej przy pomocy śruby mikrometrycznej. Śruba pozwalała na precyzyjne ustalanie wartości wygięcia próbki (Interwał co 0.05 mm). Podczas wyginania próbki mierzono rezystancję w kierunku podłużnym oraz poprzecznym. Wartości mierzono podczas poddawaniu próbki stresowi oraz podczas relaksacji próbki. Pozwoli to wykreślić wykres histerezy oraz określić błąd nieliniowości oraz błąd histerezy.

## 3 Obliczenia i analiza wyników

Aby wykreślić wykres  $\Delta R/R_0 = f(\varepsilon)$  najpierw należy wyznaczyć wartość odkształcenia względnego ( $\varepsilon$ ) dla każdego pomiaru.

Wartość odkształcenia względnego wyznaczono ze wzoru:

$$\varepsilon = 1.5 \cdot \frac{t(L-x)}{L^3} \cdot f$$

Gdzie:

$\varepsilon$  - odkształcenie względne próbki [m],

$t$  - grubość płytki [m],

$L$  - odległość między górną powierzchnią statywu a punktem ugięcia próbki [m],  
 $x$  - odległość między górną powierzchnią statywu a środkiem uginanego rezystora [m],  
 $f$  - ugięcie próbki [m],

Podstawiając wartości z wykluczeniem  $f$  gdyż jest ona zmienna, uzyskamy:

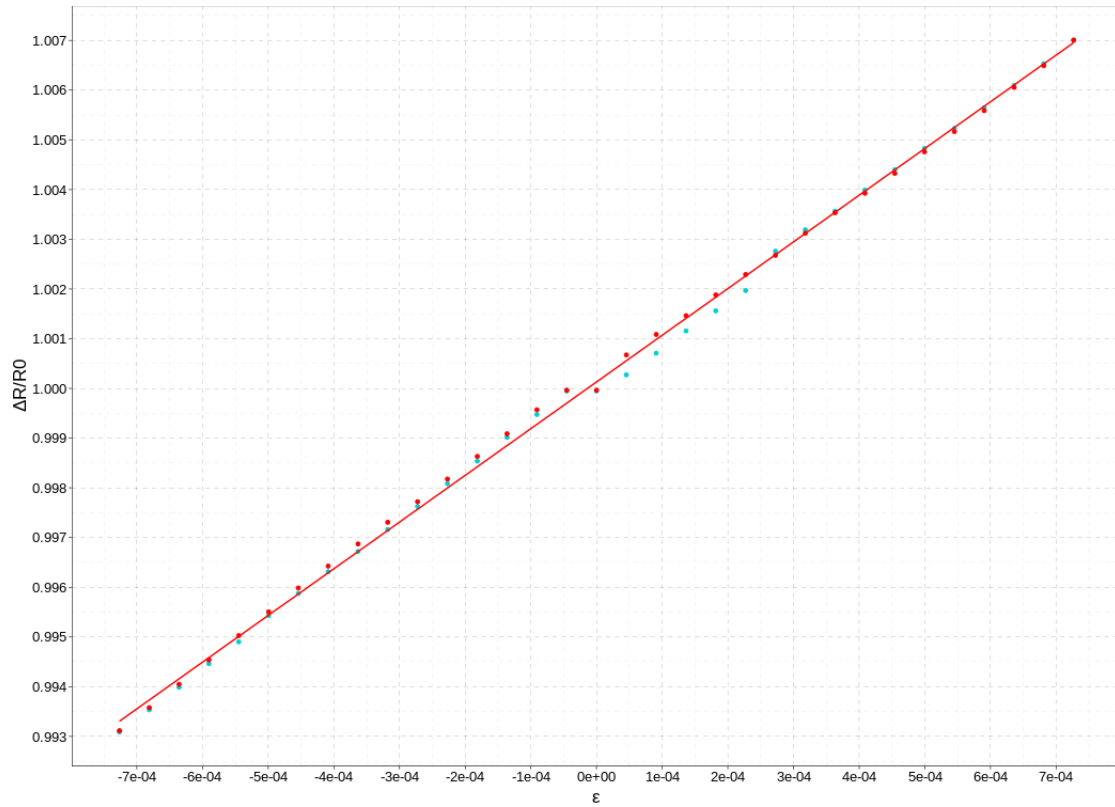
$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 1.5 \cdot \frac{0.00065[m](0.0322[m] - 0.0011[m])}{(0.0322[m])^3} \cdot f = \\
 &= 1.5 \cdot \frac{0.00065[m](0.0311[m])}{0.000033386[m^3]} \cdot f = \\
 &= 0.9082332342 \dots [m^{-1}] \cdot f
 \end{aligned}$$

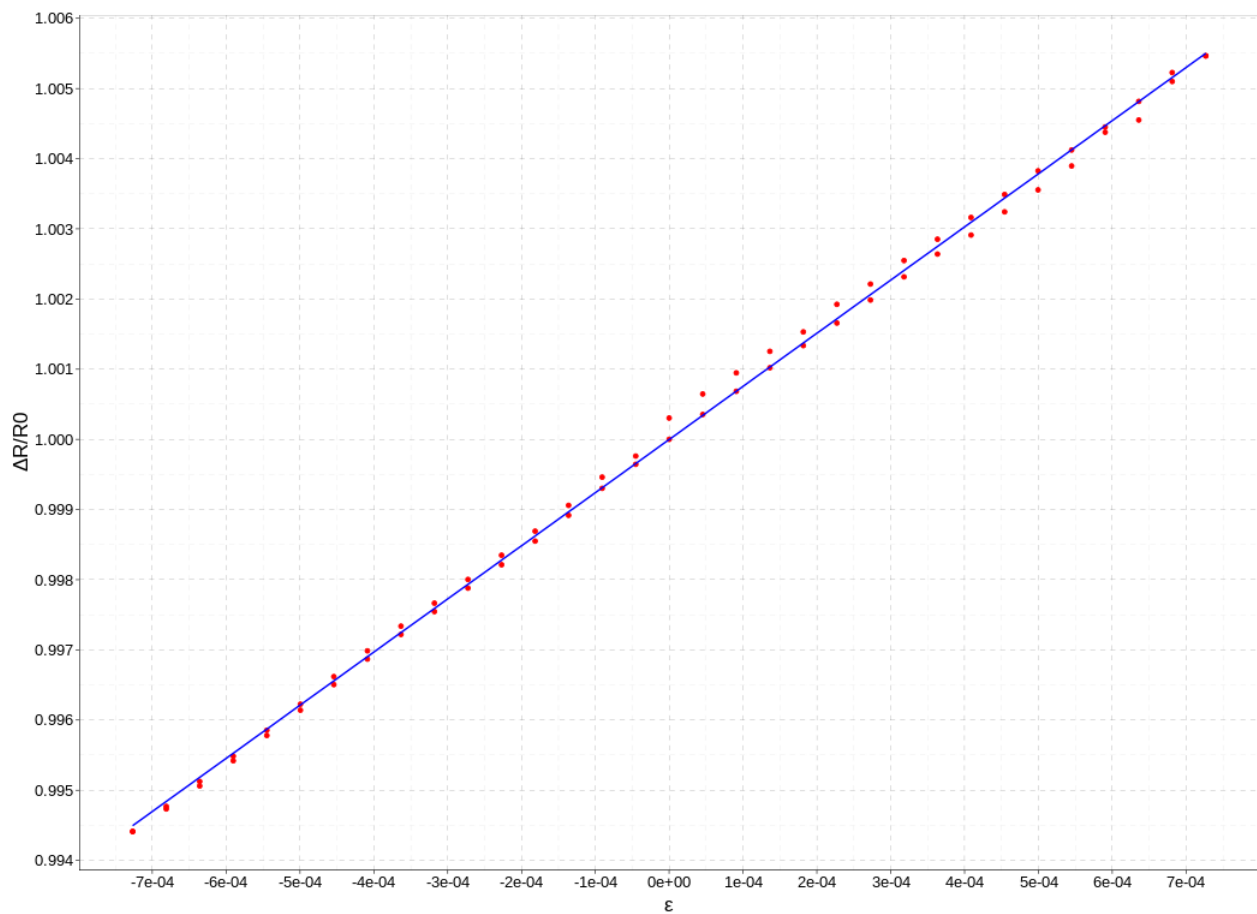
Przykładowo dla wychylenia  $x = 0.05[mm]$ :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 0.9082332342 \dots [m] \cdot 0.05[mm] = \\
 &= 0.9082332342 \dots [m^{-1}] \cdot 5 \cdot 10^{-5}[m] = 4.541166171 \cdot 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Wyliczanie wartości  $\Delta R/R_0$  jest trywialne więc pominięto tłumaczenie tej kalkulacji.

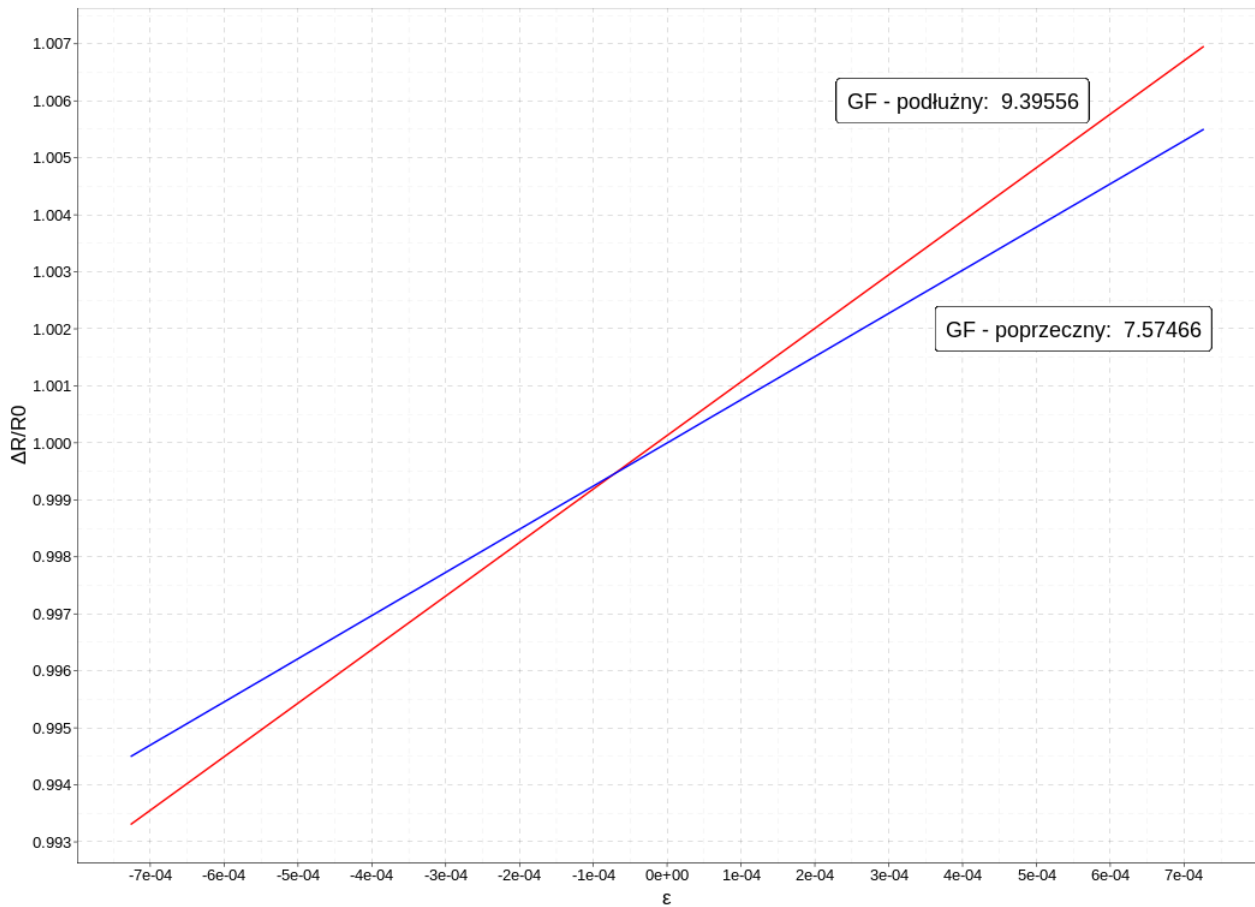
Przy pomocy powyższych kalkulacji wyznaczono charakterystyki  $\Delta R/R_0 = f(\varepsilon)$  dla efektu podłużnego i poprzecznego (wykres 1 i 2):





Na podstawie powyższych wykresów jesteśmy w stanie zaobserwować niewielką historię pomiaru. Wykreślono również aproksymację liniową wykonaną metodą regresji liniowej dla obu charakterystyk.

Poniżej zaprezentowano aproksymacje liniowe obu charakterystyk na jednym wykresie wraz z ich współczynnikami GF (czerwona linia - efekt podłużny, niebieska linia - efekt poprzeczny):



Przy pomocy powyższych wykresów wyznaczono wartość błędu nieliniowości. Wykorzystano poniższy wzór:

$$N = \frac{\Delta Y}{Y_{max} - Y_{min}} \cdot 100\%$$

Gdzie:

$\Delta Y$  - wartość maksymalna wartości bezwzględnych różnic pomiędzy wartością wyznaczoną na podstawie równania prostej i wyników pomiarów,

$Y_{max}$  - wartość maksymalna,

$Y_{min}$  - wartość minimalna,

Wartość  $\Delta Y$  wyznaczono oddzielno dla wykresu efektu poprzecznego oraz podłużnego. Dla obu charakterystyk wartość ta znajdowała się w punkcie  $\varepsilon \approx 0.045$ . Dla efektu podłużnego występowała ona dla wywierania stresu na próbkę a dla efektu poprzecznego podczas odpuszczania nacisku z próbki.

Ostatecznie wartość wyliczamy z poniższego równania wykorzystując wcześniej wyznaczone współczynniki kierunkowe:

$$\Delta Y = (GF \cdot \varepsilon) - Y$$

Gdzie:

$Y$  - najmocniej odbiegająca wartość zmierzona,

$(GF \cdot \varepsilon)$  - wartość wynikająca z regresji liniowej,

Przykładowo dla efektu poprzecznego:

$$\begin{aligned}\Delta Y &= (0.007574665 \cdot 0.04541166) \cdot 1.0003549 = \\ &= 3.442 \cdot 10^{-4}\end{aligned}$$

Dla efektu poprzecznego:

$$\Delta Y = 4.126 \cdot 10^{-4}$$

Teraz można wyliczyć błąd nieliniowości dla efektu podłużnego:

$$\begin{aligned}N &= \frac{4.126 \cdot 10^{-4}}{1.007061 - 0.9931437} \cdot 100\% = \\ &= 0.029644\%\end{aligned}$$

Dla efektu poprzecznego:

$$N = 0.031136\%$$

Ostatecznie należy wyliczyć jeszcze wartość błędu histerezy. Wyliczamy go z poniższego wzoru:

$$H = \frac{\max|Y_1 - Y_2|}{Y_{\max} - Y_{\min}} \cdot 100\%$$

Przykładowo dla efektu podłużnego w punkcie  $\varepsilon \approx 0.045$ :

$$\begin{aligned}H &= \frac{\max|1.0007260 - 1.000325|}{0.0139173} \cdot 100\% = \\ &= 0.028813\%\end{aligned}$$

Dla efektu poprzecznego:

$$H = 0.026396\%$$

## 4 Wnioski

Na podstawie wykonanych obliczeń oraz wykreślonych charakterystyk jesteśmy w stanie zaobserwować przewidywane zachowanie dla efektu podłużnego oraz poprzecznego w czujniku tensometrycznym. Współczynnik kierunkowy funkcji liniowej aproksymującej wykres charakterystyki dla efektu podłużnego jest większy niż dla efektu poprzecznego co wynikało z znanej nam teorii mówiącej że efekt podłużny jest o wiele bardziej znaczący niż efekt poprzeczny.

Na wykresie ciężko zaobserwować charakterystyczny wykres histerezy. Wartości są porożsowane losowo prawdopodobnie z powodu wszystkich niepewności które występowały w procesie pomiaru: niepewność ustawiania wartości eksperymentatora, niepewność tensometru czy niepewność multimetru.

## References

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Piezoresistive_effect)
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Strain\\_gauge](https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge)
- [3] [https://www.microsensorcorp.com/Details\\_what-is-pressure-hysteresis.html](https://www.microsensorcorp.com/Details_what-is-pressure-hysteresis.html)