



Ćwiczenie 2

Badanie sensorów naprężeń mechanicznych na przykładzie tensometru metalowego

1. Cel ćwiczenia

Poznanie i przetestowanie typowych układów pomiarowych, stosowanych przy pomiarach naprężeń mechanicznych tensometrami metalowymi. Wyznaczenie charakterystyk przetwarzania dla układów tensometrycznych: ćwierć-mostkowych, pół-mostkowych, różnicowych. Sprawdzenie wpływu błędu temperaturowego na pomiary naprężeń, oraz zaprojektowanie i przetestowanie układu kompensacji błędu temperaturowego.

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia student zobowiązany jest do przyswojenia wiedzy teoretycznej znajdującej się w literaturze przedmiotu ze szczególnym uwzględnieniem dwóch pozycji: „Laboratorium Miernictwa Wielkości Nielektrycznych” autorstwa A. Michalski, S. Tumański, B. Żyła. oraz „Przetworniki i Sensory” autorstwa A. Michalskiego.

2. Przebieg ćwiczenia

Zadaniem studentów jest samodzielne zestawienie układów pomiarowych oraz wykonanie pomiarów i wyznaczenie charakterystyk zgodnie z programem ćwiczenia, jak również opracowanie sprawozdania końcowego z przygotowaniem odpowiedzi na pytania postawione w poniższej instrukcji.

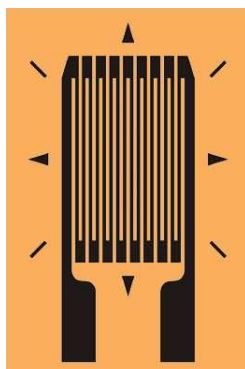
Uwaga: Po zestawieniu układu pomiarowego, przed przystąpieniem do dalszej pracy konieczne jest sprawdzenie i akceptacja układu pomiarowego przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

2.1 Stanowisko pracy

Do realizacji ćwiczenia przeznaczone jest stanowisko wyposażone w:

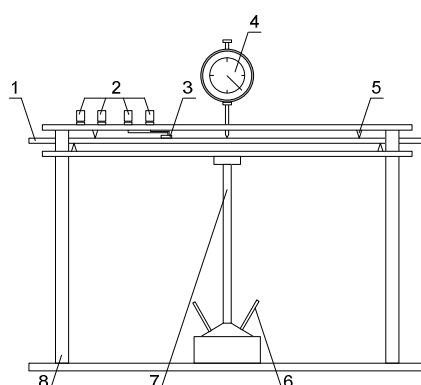
- Układ do wytwarzania odkształceń statycznych, w skład którego wchodzi:
 - Element odkształcany – stalowa belka wzorcowa z naklejonymi 10 tensometrami (dwa zestawy po 5 tensometrów) umożliwiającymi pomiar różnoimiennych odkształceń wzdłużnych oraz poprzecznych
 - Stelaż umożliwiający kontrolowane wytwarzanie odkształceń statycznych belki
 - Mikrometr
- Mostek tensometryczny
- Układ grzewczy elementu odkształcanego
- Termometr cyfrowy
- Rezystor dekadowy
- Komputer PC z oprogramowaniem pozwalającym na przedstawienie wyników pomiarów w sposób graficzny oraz wspomagającym wykonanie sprawozdania końcowego.
- Instrukcje wykonania ćwiczenia

Podstawowym elementem badanym w ćwiczeniu jest tensometr metalowy foliowy przedstawiony na Rys. 1.



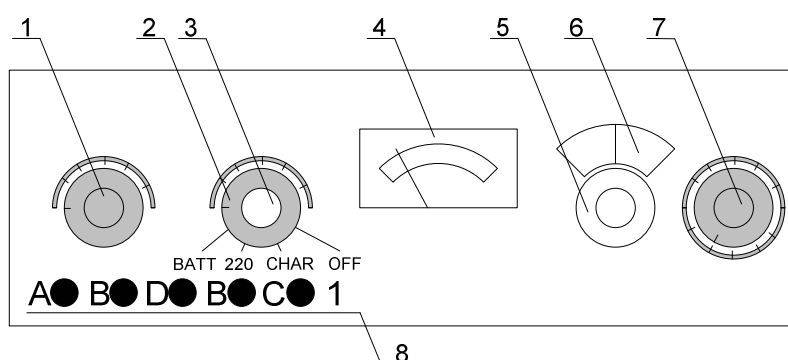
Rys. 1. Tensometr metalowy foliowy

Do badań są dostępne dwa zestawy po pięć tensometrów tego samego typu naklejonych na stalowej belce sprężystej umieszczonej na stelażu. Poglądowy schemat stelaża wraz z zamontowaną belką przedstawiony jest na Rys. 2. Zastosowana konstrukcja daje możliwość zadawania powtarzalnych odkształceń statycznych. Wzrost naprężeń (odkształceń) powodowany jest poprzez skręcenie śruby stelaża w lewo, co powoduje podniesienie ruchomych trzpień naciskających na belkę wzorcową. Zainstalowany mikrometr pozwala zmierzyć strzałkę ugięcia belki wzorcowej.



Rys. 2. Stelaż (1. belka wzorcowa, 2. zaciski tensometrów badanych, 3. umiejscowienie tensometrów na belce, 4. mikrometr, 5. trzpień naciskowy, 6. pokrętko śruby dociskowej, 7. śruba dociskowa, 8. statyw)

Podstawowym przyrządem pomiarowym służącym do określenia zmian rezystancji tensometrów, w czasie pracy w układzie pomiarowym, jest mostek tensometryczny. Płyta czołowa używanego w ćwiczeniu mostka tensometrycznego jest zaprezentowana na Rys. 3.



Rys. 3 Mostek tensometryczny (1. przełączniki kanałów wejściowych, 2. przełączniki stałej mostka tensometrycznego, 3. pokrętko przełączające tryb pracy mostka, 4. Wskaźnik główny (przy wskazaniu $\epsilon = 0$ mostek jest zrównoważony), 5. precyzyjne pokrętko regulacji – równoważenia mostka, 6. wskaźnik nastawy precyzyjnej, 7. zgrubne pokrętko regulacji)

Aby odczytać aktualną wartość odkształcenia ε należy zrównoważyć mostek pokrętłami 7 i 5 a następnie zsumować ich wskazania

Np. zrównoważenie mostka nastąpiło gdy pokrętło zgrubnej regulacji (7) zostało ustawione na wartość 16, natomiast pokrętło 5 ustawiło tarczę wskaźnika 6 na wartość 1,035 aktualna wartość odkształcenia $\varepsilon = 16 + 1,035 = 17,035 \text{ ‰}$

2.2 Wyznaczenie czułości odkształceniowej pojedynczego tensometru

Stała tensometru K (czułość odkształceniowa) jest podstawowym parametrem tensometru, wiążącą zmianę względną rezystancji tensometru z jego odkształceniem. Można to wyrazić następującą zależnością:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon, \quad (1)$$

gdzie: ε – wartość zadawanego odkształcenia względnego $\left(\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}\right)$;

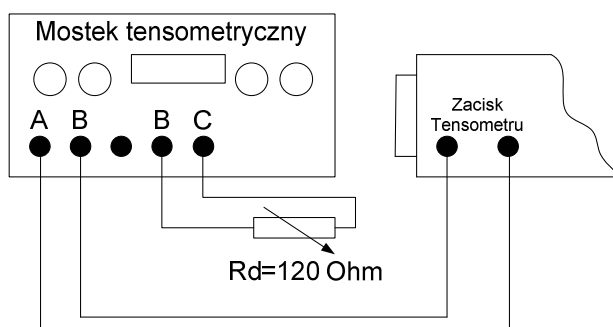
l – długość elementu odkształcanego;

Δl – przyrost długości elementu odkształcanego

R – rezystancja tensometru;

ΔR – przyrost zmiany rezystancji tensometru.

Schemat układu pomiarowego umożliwiającego wyznaczenie stałej tensometru przedstawiony jest na Rys. 4.



Rys 4. Układ pomiarowy do wyznaczenia stałej pojedynczego tensometru

Badany tensometr pracuje w układzie ćwierć mostka – oznacza to, że tylko w jednej gałęzi mostka jest włączony czynny tensometr (poddawany odkształceniom), w drugą gałąź mostka należy włączyć rezystor dekadowy o rezystancji równej rezystancji bazowej tensometru (Rys. 4).

O ile prowadzący nie zaleci inaczej przed przystąpieniem do pomiarów należy:

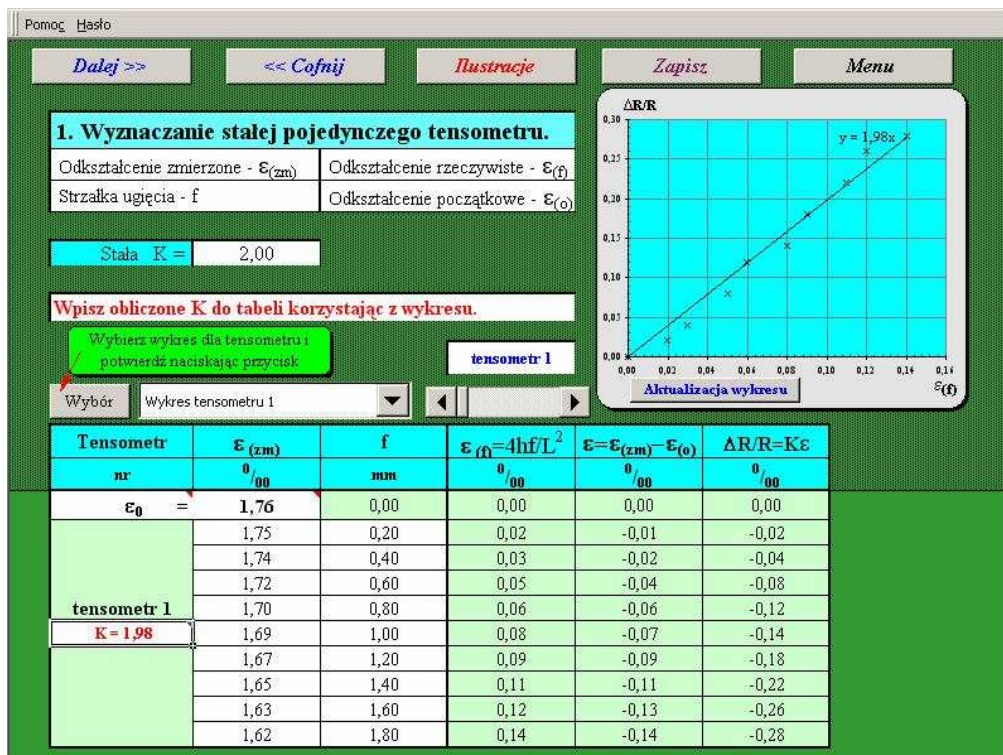
- a) Ustawić wstępne minimalne ugięcie belki wzorcowej za pomocą śruby dociskowej.
- b) Ustawić wskaźnik zera mikrometru odpowiadający aktualnemu położeniu wskazówki mikrometru na wartość $f = 0$.
- c) Ustawić wartość rezystora dekadowego na 120Ω (jest to wartość rezystancji bazowej użytych w ćwiczeniu, tensometrów)
- d) Włączyć mostek tensometrycznym pokrętelem 3 (Rys.3.)
- e) Pokrętelem nr 1 (Rys. 3) wybrać odpowiedni kanał wejściowy mostka (w przypadku pracy na zaciskach frontowych - kanał nr 1), w przypadku pracy na zaciskach tylnych odczytać numer kanału z zacisków, do których podpięte są przewody łączeniowe).
- f) Pokrętelem 2 ustawić stałą mostka na 2.0 i wprowadzić stałą do arkusza kalkulacyjnego.

W ćwiczeniu istnieje możliwość skorzystania z oprogramowania wspomagającego. Oprogramowanie wspomagające badanie parametrów tensometrów metalowych ma postać arkusza kalkulacyjnego z odpowiednim interfejsem graficznym. Uruchomienie następuje za pośrednictwem ikony umieszczonej na pulpicie. Po wprowadzeniu danych osobowych oraz przejściu testu początkowego, uzyskiwany jest dostęp do panelu (Rys. 5) umożliwiającego wprowadzenie wyników pomiarów związanych z wyznaczeniem stałej pojedynczego tensometru.

W celu wyznaczenia czułości odkształceniowej pojedynczego tensometru należy:

- a) Podłączyć do układu pomiarowego jeden z pięciu tensometrów badanych.
- b) Zrównoważyć mostek za pomocą pokręteł 7 (regulacja zgrubna) i 5 (regulacja precyzyjna).
- c) Podać wartość odkształcenia ϵ (poprzez zsumowanie wartości z podziałki pokrętła 7 oraz wskaźnika 6) dla aktualnego ugięcia f
- d) Zanotować wyniki w protokole i wprowadzić dane do arkusza kalkulacyjnego
- e) Zmienić wartość ugięcia śrubą dociskową o 0,1 mm

- f) Powtórzyć punkty a) do e) tak, aby charakterystyka przetwarzania składała się z 10 punktów.



Rys. 5. Panel wspomagający wyznaczenie charakterystyki przetwarzania czujnika

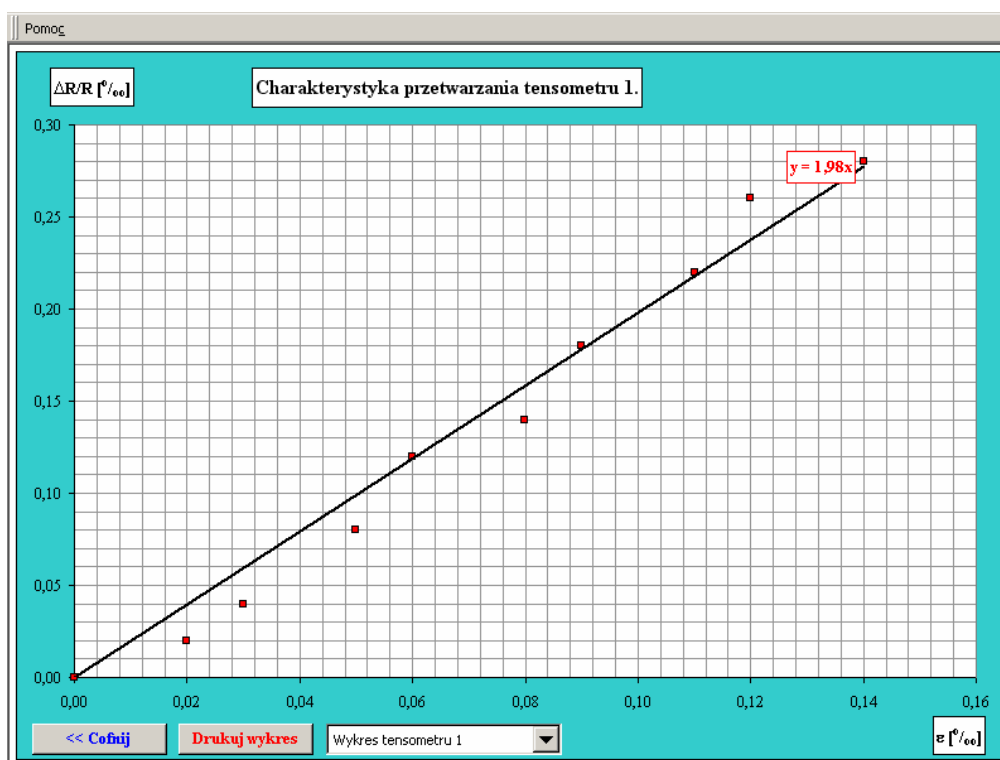
W identyczny sposób należy wyznaczyć czułość odkształceniową K dla wszystkich pięciu tensometrów znajdujących się na belce wzorcowej.

Po wykonaniu pomiarów i wpisaniu ich do formularza, istnieje możliwość wydrukowania wybranych charakterystyk naciskając klawisz **Wybór**. Druk rozpoczynamy przyciskiem **Drukuj wykres**. Charakterystyka przedstawiona na Rys. 6 jest typową rzeczywistą charakterystyką

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon \text{ dla tensometru metalowego.}$$

Przed rozpoczęciem wydruku należy ocenić, czy uzyskana charakterystyka spełnia wymagania dla tensometru metalowego, tzn. czy uzyskana czułość odkształceniowa zawiera się w granicach 1,8 – 2,6, jeżeli nie, to należy ocenić co może być przyczyną widocznego odstępstwa. Czy uzyskany

rozzrut punktów pomiarowych jest akceptowalny. W przypadku wątpliwości co do poprawności uzyskanych wyników należy zgłosić swoje uwagi prowadzącemu zajęcia.



Rys. 6. Panel edycji i wydruk charakterystyk $\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$

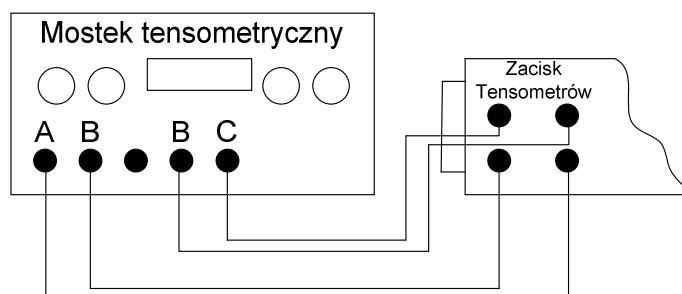
Problemy:

1. Wiedząc, że wszystkie badane tensometry są tego samego typu zastanowić się co może wpływać na zróżnicowanie uzyskanych wyników?
2. Jakie informacje dotyczące układu pomiarowego można uzyskać z uzyskanych charakterystyk?

Po wydrukowaniu charakterystyk należy przejść do poprzedniego panelu a następnie do kolejnej części ćwiczenia wciskając klawisz **Dalej**.

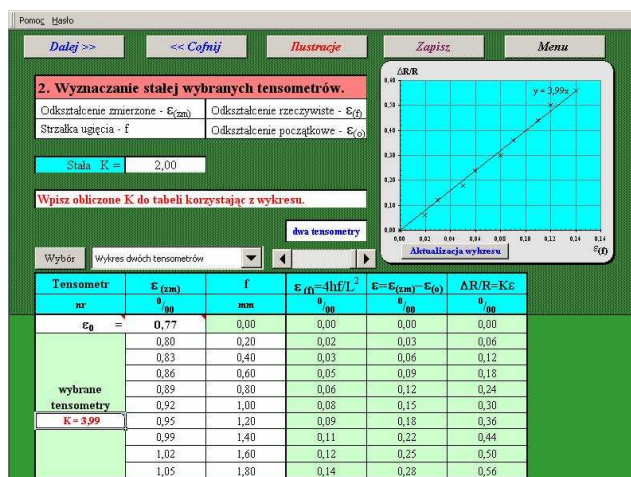
2.3 Wyznaczenie czułości odkształceniowej dla wybranej pary tensometrów

Następnym punktem realizowanym w ćwiczeniu jest wyznaczenie efektywnej czułości odkształceniowej dwóch tensometrów pracujących w układzie „pół-mostkowym”. Celem jest zestawienie układu pomiarowego o wynikowej czułości odkształceniowej nie mniejszej niż 4. Schemat układu pomiarowego przedstawiony jest na Rys. 7.



Rys. 7. Układ pomiarowy do wyznaczeniu stałej dwóch tensometrów

Przed przystąpieniem do pomiarów należy, bazując na wcześniej uzyskanych wynikach, wybrać odpowiednie dwa tensometry. Należy uzasadnić dlaczego właśnie te dwa tensometry zostały wybrane – wybór nie może być uzyskany na podstawie metody prób i błędów. Panel wspomagający wyznaczenie czułości odkształceniowej pary tensometrów przedstawiony jest na Rys. 8.

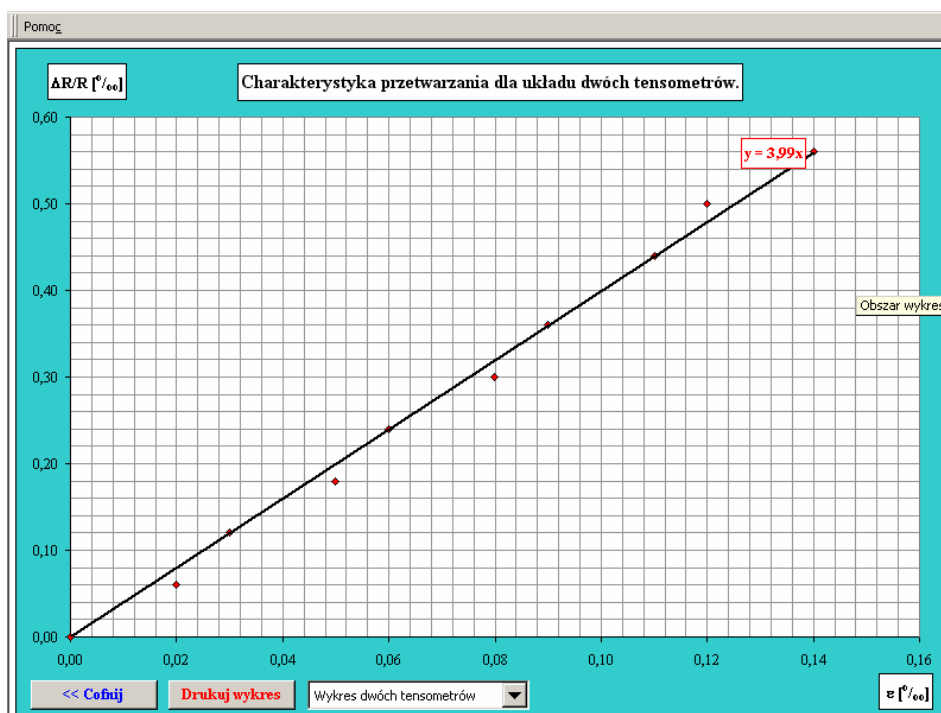


Rys. 8. Panel wspomagający wyznaczenie czułości odkształceniowej dla dwu tensometrów połączonych różnicowo.

W celu wyznaczenia efektywnej czułości odkształceniowej K układu dwóch tensometrów:

- Podłączyć do układu pomiarowego wybrane tensometry zgodnie z Rys. 7.
- Zrównoważyć mostek tensometryczny (zgodnie z wcześniej opisanymi procedurami).
- Pomierzyć wartość odkształcenia ε dla aktualnego ugięcia f .
- Zanotować wyniki w protokole i wprowadzić dane do arkusza kalkulacyjnego.
- Zmienić wartość ugięcia belki sprężystej za pomocą śruby dociskowej o 0,1 mm
- Powtórzyć punkty a) do e) tak, aby charakterystyka wyznaczająca czułość odkształceniową K składała się z 10 punktów.

Rzeczywista charakterystyka prawidłowo dobranego układu dwóch tensometrów metalowych przedstawiona jest na Rys. 9.



Rys. 9. Rzeczywiste charakterystyki $\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$ pary tensometrów

Problemy:

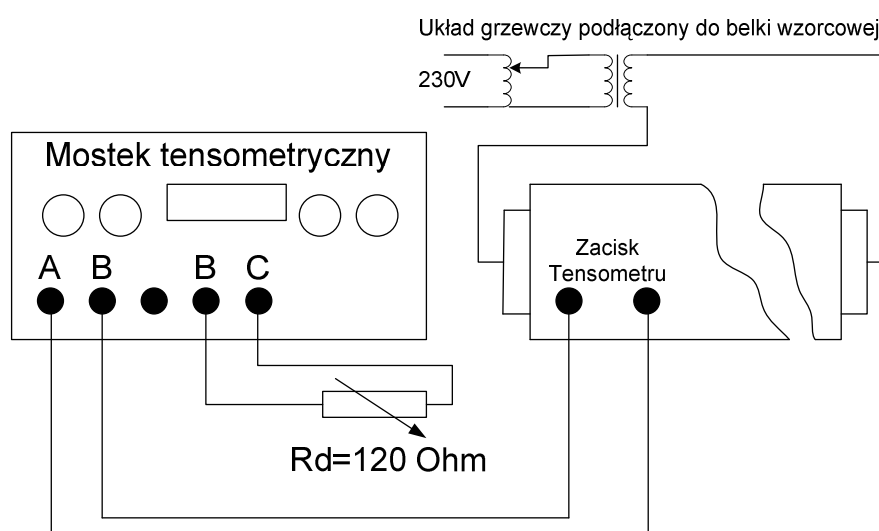
1. Uzasadnić wybór tensometrów umożliwiających uzyskanie czułości odkształceniowej równej 4.
2. Przedstawić alternatywne możliwości uzyskania czułości odkształceniowej na tym samym poziomie.

Po wyznaczeniu charakterystyki należy przejść do ekranu umożliwiającego druk, wydrukować wykres i przejść do następnej części ćwiczenia wciskając klawisz **Dalej**.

2.4 Badanie wpływu temperatury na pojedynczy tensometr

W tym punkcie ćwiczenia należy wyznaczyć wpływ temperatury na pracę pojedynczego tensometru. Zmiany temperatury elementu badanego uzyskiwane będą poprzez nagrzewanie belki wzorcowej prądem przemiennym o natężeniu ok. 100A.

Do badań należy wybrać jeden z wcześniej badanych tensometrów charakteryzujących się czułością odkształceniową zbliżoną do 2. Schemat układu pomiarowego przedstawiony jest na Rys. 10.



Rys. 10. Układ do badania wpływu temperatury na pracę pojedynczego tensometru

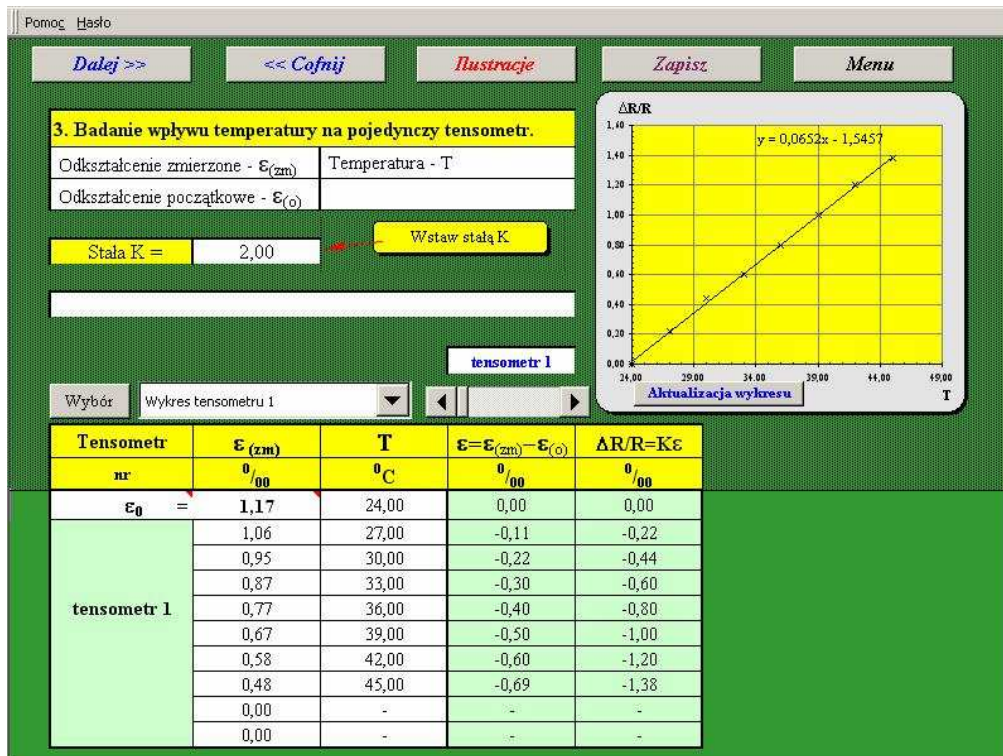
O ile przewodzący nie zaleci inaczej, w celu wyznaczenia charakterystyki $\frac{\Delta R}{R} = f(T)$ przy

$\varepsilon = \text{constans}$ należy:

- a) Zestawić schemat pomiarowy zgodnie z Rys. 10.
- b) Ustawić wartość rezystora dekadowego na 120Ω
- c) Włączyć termometr cyfrowy – sprawdzić czy czujnik termometru znajduje się na belce wzorcowej
- d) Ustawić wstępne ugięcie belki wzorcowej, strzałka ugięcia f powinna znajdować się w okolicach $\frac{1}{2}$ ugięcia maksymalnego. Przez cały czas trwania pomiarów kontrolować, aby ugięcie pozostawało na stałym poziomie. Ewentualne zmiany strzałki ugięcia, korygować w miarę potrzeby śrubą dociskową.
- e) Zrównoważyć mostek tensometryczny.
- f) Zanotować wartość odkształcenia początkowego w protokole i arkuszu kalkulacyjnym.
- g) W celu podgrzania belki ustawić pokrętko autotransformatora na wartość 100 (co spowoduje, że przez belkę popłynie prąd rzędu 100A).
- h) Po podgrzaniu belki o 3°C w stosunku do temperatury początkowej, skorygować ugięcie – o ile się zmieniło.
- i) Zrównoważyć mostek tensometryczny i odczytaną wartość odkształcenia zanotować w protokole i arkuszu kalkulacyjnym
- j) Powtórzyć punkt h) i) do czasu osiągnięcia przez belkę temperatury ok. 45°C

Po wyznaczeniu charakterystyki koniecznie ustawić pokrętko autotransformatora na wartość zero !!!

Panel wspomagający wyznaczenie wpływu temperatury na pracę pojedynczego tensometru wraz z przykładowymi wynikami przedstawiony jest na Rys. 11.



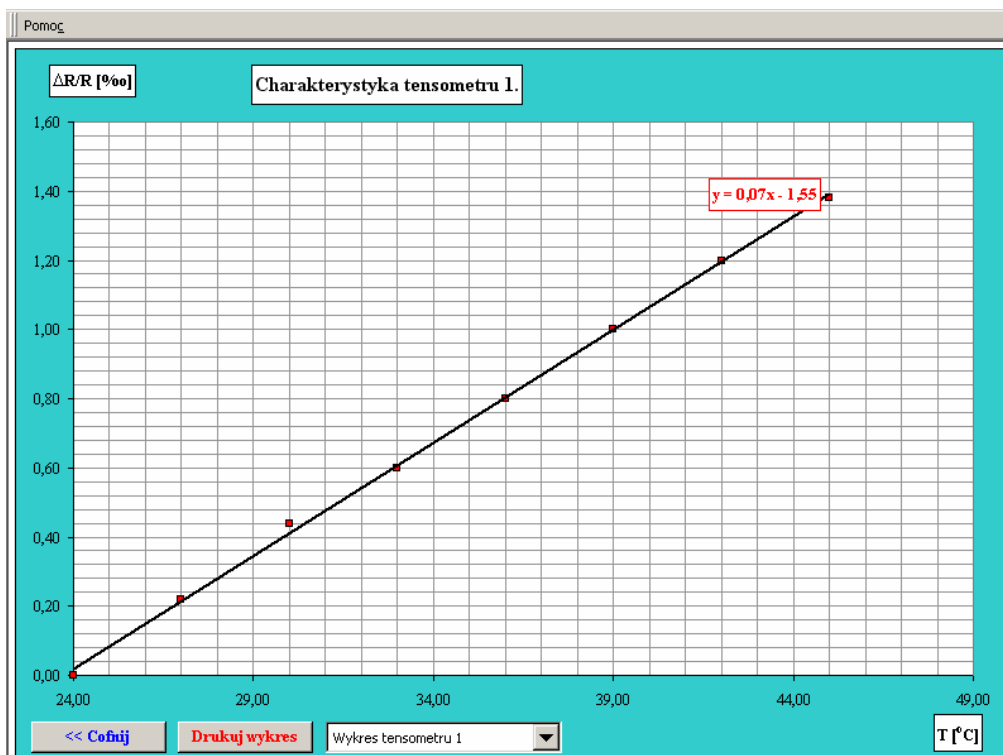
Rys. 11. Panel wspomagający wyznaczenie wpływu temperatury na pracę pojedynczego tensometru.

Problemy:

1. Wyznaczyć temperaturowy współczynnik rezystancji dla badanego tensometru, porównać z termorezystorem platynowym.
2. Przeanalizować możliwości pomiaru naprężeń pojedynczym tensometrem w środowisku o zmiennej temperaturze.

Przykładowa charakterystyka $\frac{\Delta R}{R} = f(T)$ dla tensometru metalowego przedstawiona jest na Rys.

12.

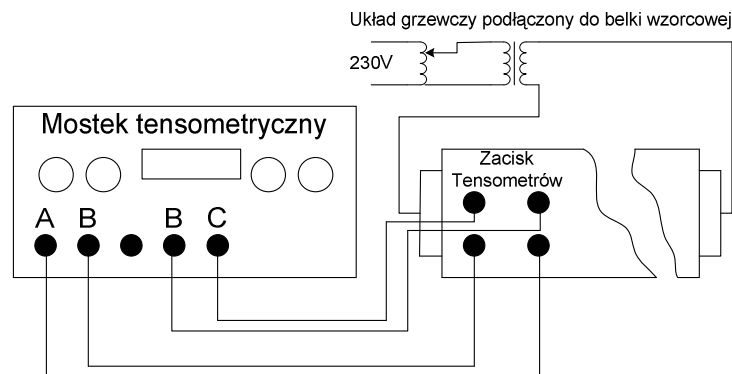


Rys. 12 Panel przedstawiający charakterystykę $\frac{\Delta R}{R} = f(T)$.

Po wyznaczeniu charakterystyki należy przejść do ekranu umożliwiającego druk, przeanalizować poprawność uzyskanych rezultatów. Po akceptacji, wydrukować wykres i przejść do następnej części ćwiczenia wciskając klawisz **Dalej**.

2.5 Badanie wpływu temperatury dla dwóch tensometrów w układzie pół-mostka.

Do wyznaczenia wpływu temperatury na pracę dwóch tensometrów pracujących w układzie pół-mostkowym należy wybrać te same tensometry, co w punkcie 2.2 ćwiczeni, i włączyć je do układu zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 13.



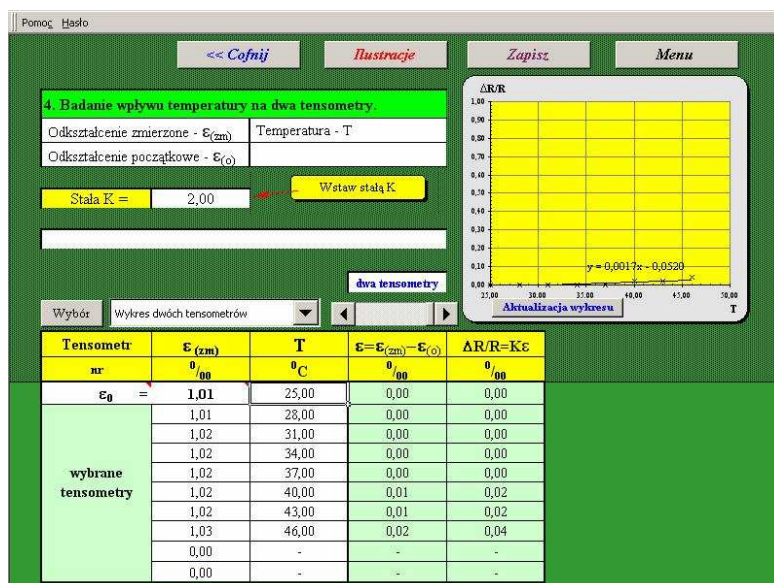
Rys. 13. Układ pomiarowy do wyznaczenia wpływu temperatury na pracę dwóch tensometrów

O ile prowadzący nie zaleci inaczej w celu wyznaczenia charakterystyki $\frac{\Delta R}{R} = f(T)$ przy

$\varepsilon = \text{constans}$ należy:

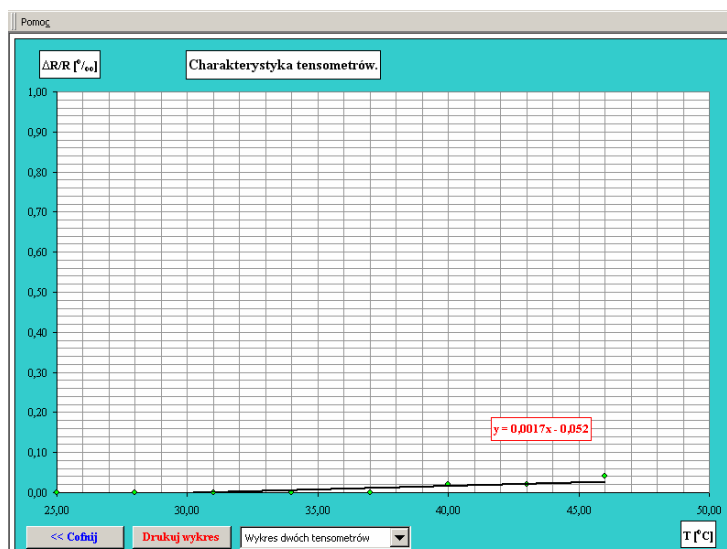
- Zestawić schemat pomiarowy zgodnie z Rys. 13, pamiętając o włączeniu odpowiednich tensometrów.
- Włączyć termometr cyfrowy – **sprawdzić czy temperatura belki jest zbliżona do temperatury pokojowej**, jeśli jest wyższa w związku ze wcześniejszymi badaniami, poczekać na ostygnięcie belki.
- Ustawić wstępne ugięcie belki wzorcowej, strzałka ugięcia f powinna znajdować się w granicach $\frac{1}{2}$ ugięcia maksymalnego. Przez cały czas trwania pomiarów kontrolować, aby ugięcie pozostawało na stałym poziomie. Korygować w miarę potrzeby naprężenie śrubą dociskowa.
- Zrównoważyć mostek tensometryczny, zanotować zmierzoną wartość odkształcenia początkowego w protokole i arkuszu kalkulacyjnym.
- W celu podgrzania belki ustawić pokrętko autotransformatora na wartość 100. Po podgrzaniu belki o 3°C skorygować ugięcie – o ile uległo zmianie w stosunku do ugięcia wstępnego.
- Zrównoważyć mostek tensometryczny i zmierzone odkształcenie zanotować w protokole i arkuszu kalkulacyjnym.
- Powtórzyć punkt e) i f) do czasu osiągnięcia przez belkę temperatury ok. 45°C .

Panel wspomagający wyznaczenie wpływu temperatury na pracę dwóch tensometrów przedstawiony jest na Rys. 14.



Rys. 14. Panel wspomagający wyznaczenie wpływu temperatury na pracę dwóch tensometrów

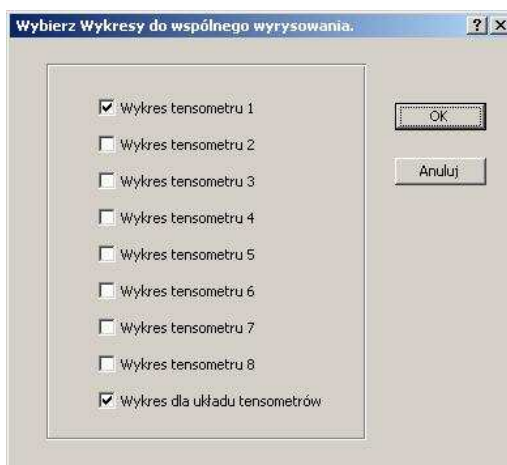
Wydruk charakterystyki możliwy jest dzięki panelowi przedstawionemu na rysunku 15.



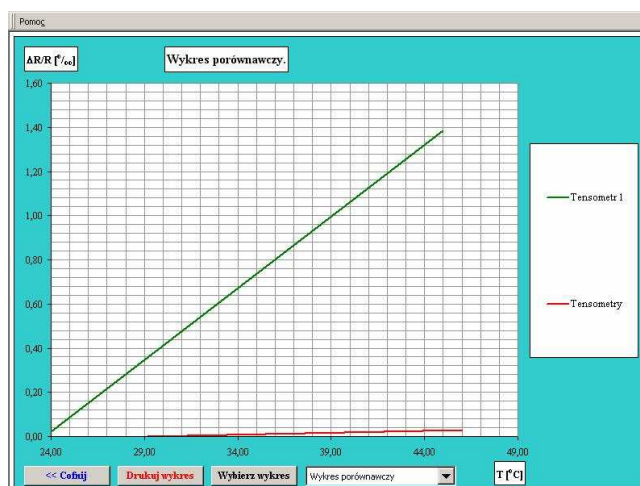
Rys. 15. Panel charakterystyk z przykładową rzeczywistą charakterystyką $\frac{\Delta R}{R} = f(T)$ układu dwóch tensometrów

Po wyznaczeniu charakterystyki konieczne ustawić pokrętko autotransformatora na wartość zero !!!

Możliwe jest również wydrukowanie wykresu porównawczego, charakterystyk odzwierciedlających wpływ temperatury na pracę jednego i dwóch tensometrów, poprzez wybranie na panelu (Rys 15 – okno informacyjne) opcji wykres porównawczy. W nowo otwartym oknie (Rys. 16) należy wybrać charakterystyki przewidziane do wspólnego wykreślenia. Na Rys. 17. zaprezentowano przykładowy wykres porównawczy.



Rys. 16 Panel wyboru charakterystyk do wspólnego wyrysowania



Rys. 17 Przykładowy wykres porównawczy

Problemy:

1. Wyjaśnić wpływ zmian temperatury na pracę układu pół-mostka wykorzystującego dwa czynne tensometry.
2. Dokonać oceny możliwości zastosowania, w rzeczywistych warunkach, badanych układów pomiarowych (z jednym i dwoma tensometrami)
3. Oszacować przebieg charakterystyk dla układu pełnego mostka tensometrycznego wykorzystującego różnoimienne odkształcenia.

3. Sprawozdanie

W sprawozdaniu powinny znaleźć się:

- Schematy układów pomiarowych;
- Wyniki pomiarów;
- Wydrukowane charakterystyki;
- Odpowiedzi na pytania zawarte w instrukcji;
- Wnioski własne i spostrzeżenia.

Po wykonaniu sprawozdania należy wyłączyć przyrządy pomiarowe oraz komputer, Sprawozdanie przekazać prowadzącemu zajęcia laboratoryjne.