



Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Śląska



[www.imio.polsl.pl](http://www.imio.polsl.pl)



[fb.com/imiopolsl](https://fb.com/imiopolsl)



[twitter.com/imiopolsl](https://twitter.com/imiopolsl)

## LABORATORIUM WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW

### Statyczne pomiary tensometryczne

## 1. CEL ĆWICZENIA

- ♦ Zapoznanie się z tensometrią i różnymi rodzajami tensometrów.
- ♦ Zapoznanie się z obsługą mostka tensometrycznego.
- ♦ Poznanie sposobu wyznaczania stałej tensometru.
- ♦ Poznanie metod pomiaru odkształceń za pomocą tensometrii oporowej i sposobu wyznaczania naprężeń na podstawie otrzymanych wyników pomiaru.

## 2. WPROWADZENIE

Pomiary tensometryczne należą do jednej z częściej stosowanych metod doświadczalnych pomiarów odkształceń na powierzchni danego elementu. Pozwalają one, za pomocą pomiaru odkształceń obciążonych elementów konstrukcji, obliczyć naprężenia stosując zależności znane z kursu wytrzymałości materiałów. Pomiary tensometryczne są często stosowane między innymi w takich przypadkach, jak:

- ♦ wyznaczanie stałych sprężystych tworzyw;
- ♦ eksperymentalne określanie składowych stanu odkształcenia i wielkości związanych z nimi, jak: naprężenia, siły, momenty, ciśnienia, itp.;
- ♦ analiza stanu naprężenia w częściach maszyn i konstrukcji.

## 3. PODSTAWY TEORETYCZNE

Tensometrami nazywamy przyrządy pozwalające na pomiar odkształceń. Przyrządy te możemy podzielić na: mechaniczne, optyczne, elektryczne, pneumatyczne, hydrauliczne i strunowe. Obecnie stosuje się zwykle tensometry elektryczne (najczęściej elektryczne oporowe).

### 3.1 Elektryczne tensometry oporowe

W tensometrach elektrycznych wykorzystuje się relacje zachodzące pomiędzy pewnymi wielkościami elektrycznymi a odkształceniami. Zależnie od tego, która z wielkości jest mierzona, dokonuje się podstawowego podziału tych tensometrów na:

- ♦ elektrooporowe;
- ♦ indukcyjne;
- ♦ pojemnościowe,
- ♦ piezoelektryczne;
- ♦ fotoelektryczne;
- ♦ magnetostrykcyjne.

Tensometry elektryczne cechuje duża dokładność i możliwość pomiaru bardzo małych odkształceń. Pomiary te mogą być dokonywane nawet w znacznej odległości od elementu badanego, ponadto istnieje możliwość niemal równoczesnego pomiaru odkształceń w wielu punktach konstrukcji. Ponadto, ze względu na pomijalną bezwładność układu pomiarowego, doskonale nadają się one do pomiarów odkształceń szybkozmiennych.

W układzie urządzenia pomiarowego znajdują się następujące zasadnicze części:

- ♦ czujnik służący do przenoszenia i zamiany wielkości mechanicznej (odkształcenia) na wielkość elektryczną;
- ♦ układ zasilający, tj. mostek pomiarowy wraz z generatorem prądu zmiennego lub źródłem prądu stałego;
- ♦ układ wzmacniający, służący do wzmocnienia impulsów pochodzących z czujników lub mostka;
- ♦ urządzenie rejestrujące zmiany wartości mierzonej wielkości elektrycznej.

W tensometrach elektrycznych oporowych wykorzystuje się zjawisko zmiany oporu elektrycznego drutu na skutek zmiany jego długości. Oporność odcinka drutu o długości  $l$  wynosi:

$$R = \rho \frac{l}{A}, \quad (1)$$

gdzie:

$R$  – opór materiału (tensometru);

$\rho$  – opór właściwy tensometru;

$l$  – długość drutu;

$A$  – pole przekroju poprzecznego drutu.

W przypadku tensometrów oporowych długość pomiarowa  $l$  jest zwana *bazą tensometru*. W miarę, jak tensometr zaczyna pracować, zmianie długości ulega baza tensometru. Jednocześnie zmienia się średnica drutu, powodując zmianę oporności.

Dla niezbyt dużych odkształceń zależność pomiędzy zmianą oporności a odkształceniem tensometru można wyrazić zależnością:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \varepsilon \quad (2)$$

lub

$$\varepsilon = \frac{1}{k} \frac{\Delta R}{R}, \quad (3)$$

gdzie:

$k$  – stała tensometru;

$\varepsilon$  – odkształcenie;

$\frac{\Delta R}{R}$  – względna zmiana oporu tensometru.

Wzory (2) i (3) są podstawowymi zależnościami tensometrii elektrycznej oporowej.

Korzystając z prawa Hooke'a można obliczyć naprężenie  $\sigma$  w badanym miejscu:

$$\sigma = E \varepsilon = \frac{E}{k} \frac{\Delta R}{R} \quad (4)$$

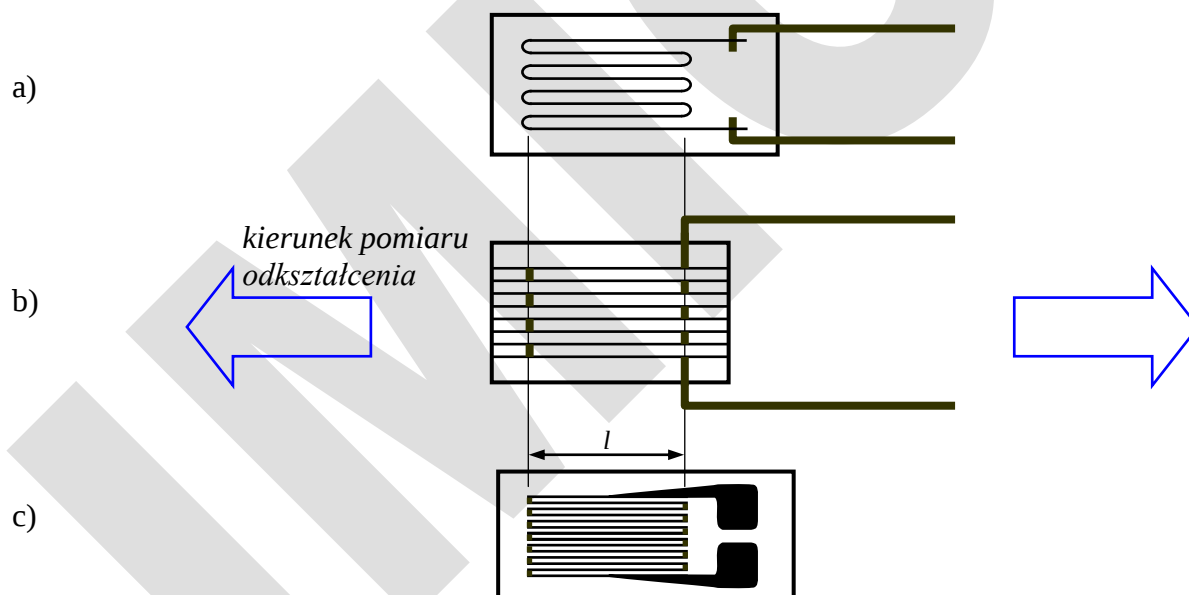
*Stala tensometru*  $k$  zależy od rodzaju materiału, z którego wykonany jest drucik czujnika, zaś jej wartość waha się w granicach od 1.6 do 3.6 dla najczęściej stosowanych stopów. Stałą  $k$  nazywa się również współczynnikiem czułości odkształceniowej lub współczynnikiem tensoczułości.

Tensometry elektryczne oporowe charakteryzują się tym, że w przenoszeniu odkształceń z obciążonego elementu uczestniczy cały tensometr zespolony z badanym elementem specjalnym klejem (sposób zamocowania eliminuje możliwość ich wielokrotnego używania – są tensometrami jednorazowego użycia). Miejsce naklejenia musi być dokładnie oczyszczone zarówno mechanicznie, jak i chemicznie. Proces przygotowania do prowadzenia badań jest stosunkowo długi, gdyż oprócz naklejania tensometrów trzeba starannie przygotować przewody łączące je z aparaturą pomiarową.

Tensometria elektrooporowa ma szereg zalet, które decydują o jej szerokim stosowaniu. Nadaje się jednakowo do prowadzenia badań przy obciążeniach statycznych i dynamicznych, jak i do badań elementów znajdujących się w ruchu. Tensometry są czułe, a ich bardzo mały ciężar nie ma wpływu na dokładność pomiarów. Bezpośrednie przekazywanie odkształceń na drut oporowy eliminuje błędy niedokładności przekładni czy też poślizgów, które mogą występować w innych tensometrach. Pomiary nie zależą od przyjętej bazy ze względu na to, że odczyty są bezwymiarowe. Ponieważ do jednego układu pomiarowego może wchodzić kilka lub kilkanaście tensometrów czynnych, badania można prowadzić zdalnie, kontrolując jednocześnie przebieg odkształceń. Wrażliwość na wilgoć i zmiany temperatury mogą być prawie całkowicie wyeliminowane poprzez stosowanie tzw. tensometrów kompensacyjnych.

Zwykle stosuje się trzy typy elektrycznych tensometrów oporowych: wężykowe, kratowe i foliowe. Największą popularność obecnie zyskują najmłodsze z nich – tensometry foliowe.

Tensometry wężykowe wykonane są z odpowiednio ukształtowanego jednego kawałka drutu (rys. 1a), pokrytego obustronnie bardzo cienkim papierem lub folią. Do końca drutu dołączona jest ocynkowana taśma miedziana, łącząca tensometr z przewodami obwodu elektrycznego. Drucik, najczęściej konstantanowy, chromonikelinowy lub nichronowy ma średnicę od 0.02 mm do 0.05 mm.



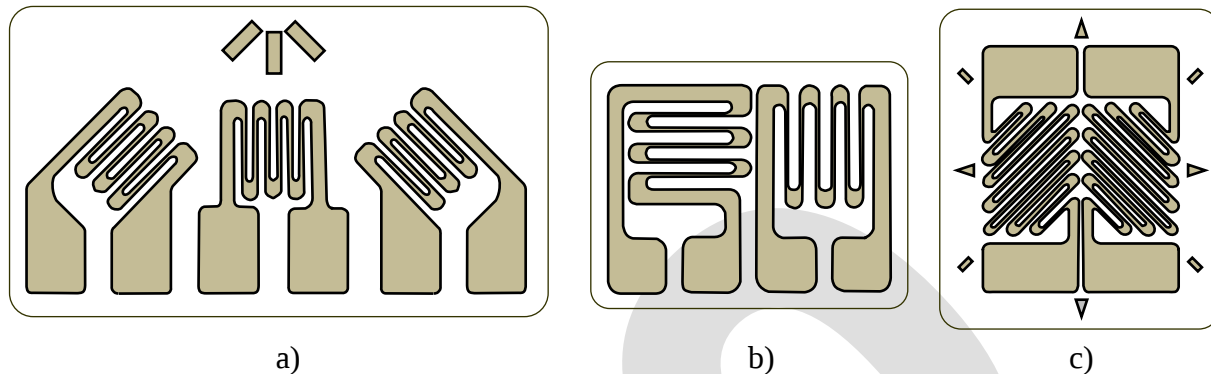
Rys. 1. Schemat tensometrów: a) wężykowego; b) kratowego; c) foliowego

Tensometry kratowe (rys. 1b) składają się z szeregu pojedynczych odcinków drutów ułożonych równolegle i połączonych ze sobą w obwód taśmą o większym przekroju wykonaną z materiału o małej oporności właściwej. Łączniki takie zapewniają, że zmiany oporu spowodowane ich odkształceniem są o dwa rzędy mniejsze niż w drucikach podłużnych i w związku z tym znajdują się poza zakresem pomiarowym stosowanej aparatury. Tensometry kratowe są w związku z tym dużo mniej czułe na odkształcenia w kierunku poprzecznym. Druciki w tych tensometrach są konstantanowe o średnicy nie większej niż  $50\ \mu\text{m}$  i łączone z taśmami miedzianymi poprzez lutowanie cyną. Fakt łączenia cyną czyni je mniej przydatnymi do badań zmęczeniowych oraz ogranicza możliwość stosowania do warunków, w których temperatura nie przekracza  $180^\circ\text{C}$ . Bazy tensometrów kratowych oraz tensometrów wężykowych zwykle wynoszą od 5 mm do 70 mm.

Tensometry foliowe (rys. 1c) wykonuje się z folii metalowej o grubości od 0.0025 mm do 0.025 mm sposobem podobnym do tego, jakim wytwarza się obwody drukowane. Stosowanie podczas ich wytwarzania techniki fotograficznej i trawienia pozwala na wykonywanie

tensometrów o dowolnym w zasadzie kształcie jak również całych zespołów tensometrów (rozet tensometrycznych).

Rozety tensometryczne są zestawami tensometrów, ustawionych wzajemnie pod określonymi kątami. Liczba tensometrów (zwykle 2-3, rzadko 4) wynika z liczby mierzonych składowych stanu odkształcenia. Przykładowe rozety przedstawione są na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe rozety tensometryczne: a) prostokątna; b) typu T; c) do skręcania

Rozeta prostokątna służy do pomiaru odkształceń w wieloosiowym stanie naprężenia. Rozeta typu T jest używana w przypadku dwuosiowego pola naprężeń. Rozeta do skręcania naklejana jest na powierzchni pręta skręcanego.

Tensometry powinny podczas pomiaru stanowić całość z badanym obiektem, co wiąże się z koniecznością bardzo starannego ich przyklejenia po poprzednim przygotowaniu podłoża. Sposób naklejania czujnika przedstawiony jest na rys. 3.

Warstwa kleju powinna być możliwie cienka (najlepiej  $< 10 \mu\text{m}$ ), jednocześnie zapewniając doskonałe przyleganie tensometru oraz idealną izolację elektryczną między tensometrem a badanym obiektem. Ponadto klej nie może być higroskopijny, zmieniać własności z upływem czasu i musi być odporny na wpływ temperatury. Jakość połączenia należy sprawdzić – najlepiej specjalnym testerem. Po przyklejeniu tensometru należy go pokryć warstwą zabezpieczającą (często stosowany jest воск).

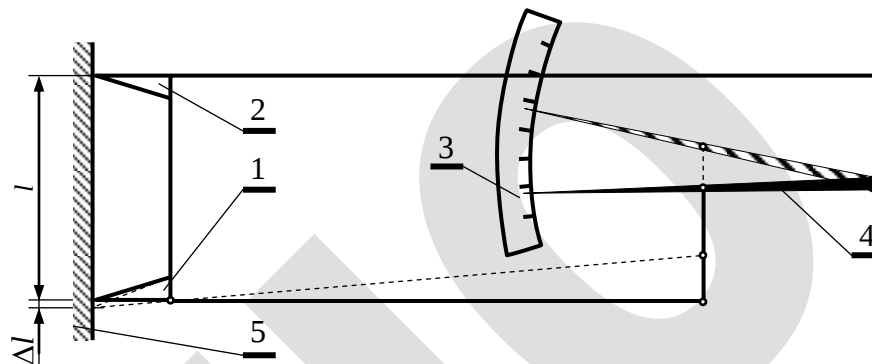


Rys. 3. Sposób naklejania czujnika tensometrycznego

### 3.2 Inne rodzaje tensometrów

#### a. Tensometry mechaniczne

Najprostszymi tensometrami są tensometry mechaniczne. W tego typu tensometrach wydłużenie mierzy się między dwoma ostrzami i odczytuje na skali, gdzie przekazywane jest do wskazówki za pomocą układu dźwigni mechanicznych, dających z reguły 1000-krotne powiększenie. Rysunek 4 przedstawia schemat przykładowego tensometru mechanicznego – tensometru Huggenbergera, który składa się z dwóch ostrzy – ruchomego **1** i nieruchomego **2** – dociskanych do powierzchni badanego elementu **5** za pomocą specjalnych uchwytów, układu dźwigu ze wskazówką **3** i podziałki **4**. Na rysunku jest zaznaczona baza pomiarowa.

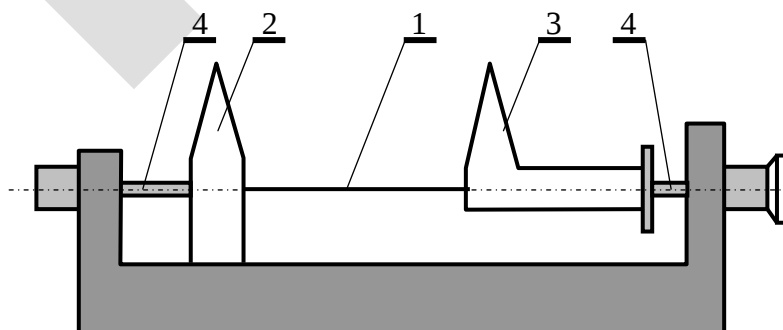


Rys. 4. Tensometr mechaniczny Huggenbergera

Zmiana odległości pomiędzy ostrzami (odkształcenie  $\Delta l$ ) powoduje uruchomienie układu dźwigni, który powiększa rzeczywiste wydłużenie od 300 do 3000 razy. Baza tensometru Huggenbergera przyjmuje wartości od 5 mm do 100 mm. Najbardziej czułe tensometry mierzą wydłużenia rzędu 1  $\mu\text{m}$ . Masa tych tensometrów wynosi zwykle około 50 g.

#### b. Tensometry strunowe

Tensometry strunowe stosowane są w budownictwie przy badaniach prowadzonych na powierzchni i w masie badanego elementu. Zasadniczym elementem pomiarowym jest napięta struna **1**, rozpięta za pomocą śrub napinających **4** i **5** między dwoma ostrzami: stałym **2** i ruchomym **3** (rys. 5). Istnieje zależność pomiędzy odkształceniami a częstotliwościami drgań własnych struny mierzonymi przed odkształceniem i po odkształceniu.



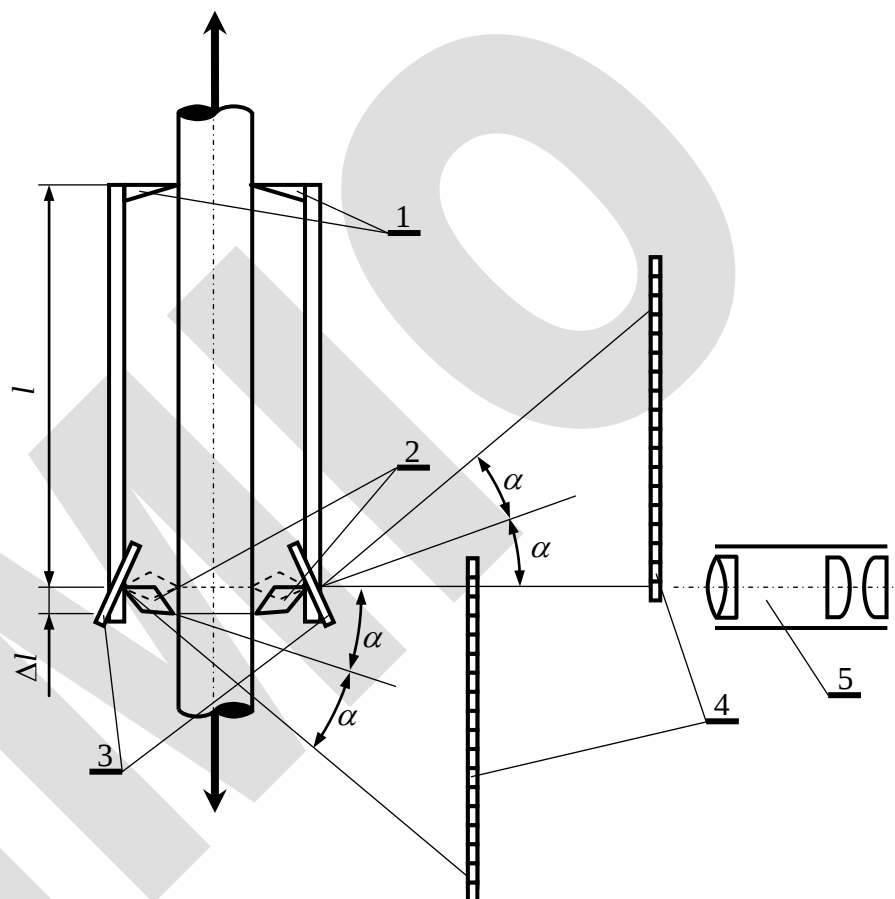
Rys. 5. Tensometr strunowy

Pomiar częstotliwości drgań struny daje obraz stanu odkształcenia i stanu naprężenia. Mierzenie częstotliwości przeprowadza się najczęściej metodą drgań zanikających i metodą rezonansu.

### c. Tensometry optyczne

Tensometry optyczne mają stosunkowo duże przełożenie, a zatem umożliwiają prowadzenie badań przy niewielkich odkształceniach, niemieszczących się w zakresie pomiarowym tensometrów mechanicznych. Z całego szeregu istniejących tensometrów optycznych w badaniach laboratoryjnych stosowany jest w zasadzie tylko tensometr lusterkowy Martensa, którego schemat przedstawiony jest na rys. 6.

Zasada działania niniejszego tensometru sprowadza się do tego, iż wraz ze zmianą długości początkowej bazy pomiarowej (wyznaczonej przez nieruchome ostrza **1** i ruchome ostrza **2**) o  $\Delta l$  następuje obrót zwierciadeł **3**. Rzucona wiązka światła ulega obrotowi, a przesunięcie odbitej wiązki odczytuje się na skalach **4** specjalną lunetą **5**.



Rys. 6. Tensometr lusterkowy Martensa

Praca tymi tensometrami ogranicza się zwykle do badań laboratoryjnych, co uwarunkowane jest znaczną wrażliwością na wstrząsy.

### d. Tensometry pneumatyczne

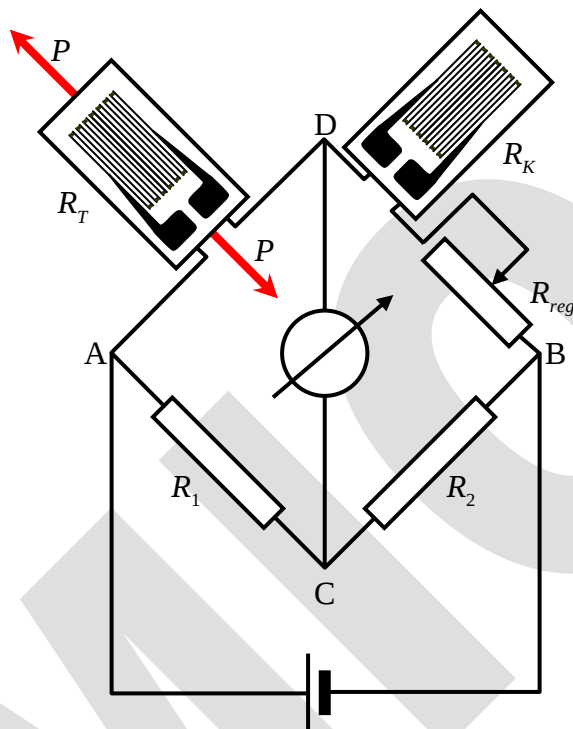
Tensometry te, rzadko obecnie stosowane, wyróżniają się dużą dokładnością i znaczną czułością. Przy dobrych warunkach pracy przełożenie może wynosić nawet do 200 000.

Zasada ich działania opiera się na liniowej zależności pomiędzy odkształceniem a zmianą pola przekroju dyszy, które z kolei związane jest z wysokością słupa wody. Wysokość ta odniesiona do skali pozwala na bezpośrednie odczytanie odkształceń.

### 3.3 Zasada pomiaru stosowana w tensometrii oporowej

Najczęściej stosowaną metodą pomiaru odkształceń w tensometrii oporowej jest metoda zerowa. Zasadę pomiaru tą metodą ilustruje rys. 7.

W celu zmierzenia odkształceń próbki (w kierunku działania siły  $P$ ) nakleja się na nią tensometryczny pomiarowy czujnik oporowy o oporze  $R_T$ .



Rys. 7. Schemat układu pomiarowego

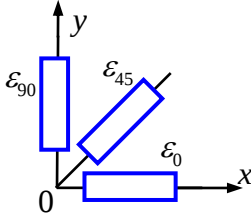
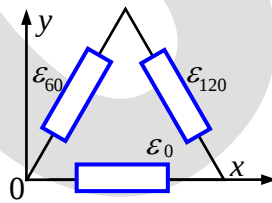
W celu określenia zmian jego oporu  $\Delta R_T$  należy czujnik włączyć w gałąź AD mostka Wheatstone'a. Badana próbka odkształca się nie tylko wskutek działań mechanicznych, lecz również na skutek mogących występować w trakcie badań ewentualnych zmian temperatury. Aby wyeliminować wpływ zakłóceń na pomiary włączamy w gałąź BD drugi czujnik oporowy – *tensometr kompensacyjny* – o oporze  $R_K$  ( $R_K \approx R_T$ ). Czujnik ten powinien być naklejony na nieobciążonej próbce wykonanej z dokładnie tego samego materiału, co próbka badana i znajdującej się w tych samych warunkach termicznych.

Metoda zerowa sprowadza się do zrównoważenia mostka przed obciążeniem, a następnie po obciążeniu i odczytaniu różnicy jego wskazań. Zrównoważenie mostka oznacza, że w gałęzi CD nie ma przepływu prądu. Do zrównoważenia mostka służy specjalny opornik regulacyjny  $R_{reg}$ . Praktycznie zmiana oporności  $\Delta R$  jest wielkością bardzo małą i dlatego do jej pomiaru stosuje się bardzo czułe urządzenia.

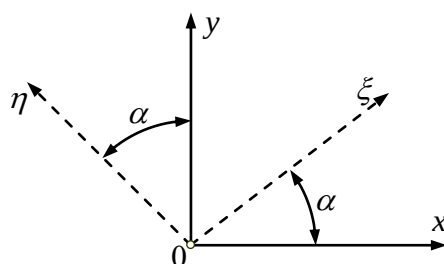
### 3.4 Odkształcenia i naprężenia główne w złożonym stanie odkształcenia

W tab. 1 przedstawiono najczęściej stosowane rozety tensometrów oporowych i wzory umożliwiające wyznaczenie kierunków i odkształceń głównych z wielkości zmierzonych.

Tabela 1

|                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Rozeta prostokątna</i>                                                                     |                                                                                                                                                    |
| Maksymalne odkształcenie główne                                                               | $\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90})^2}$                                                              |
| Minimalne odkształcenie główne                                                                | $\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90})^2}$                                                              |
| Tangens podwojonego kąta między kierunkiem maksymalnego odkształcenia głównego a kierunkiem x | $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90})}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}$                                                                                                        |
| <i>Rozeta równokątna (delta)</i>                                                              |                                                                                                                                                   |
| Maksymalne odkształcenie główne                                                               | $\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{60} + \varepsilon_{120}}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{60})^2 + (\varepsilon_{60} - \varepsilon_{120})^2 + (\varepsilon_{120} - \varepsilon_0)^2}$ |
| Minimalne odkształcenie główne                                                                | $\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{60} + \varepsilon_{120}}{3} - \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{60})^2 + (\varepsilon_{60} - \varepsilon_{120})^2 + (\varepsilon_{120} - \varepsilon_0)^2}$ |
| Tangens podwojonego kąta między kierunkiem maksymalnego odkształcenia głównego a kierunkiem x | $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot (\varepsilon_{60} - \varepsilon_{120})}{2\varepsilon_0 - \varepsilon_{60} - \varepsilon_{120}}$                                                                                  |

W zagadnieniach dwuwymiarowych (płaskich) kierunki główne stanu odkształcenia wyznacza się znajdując kąt pomiędzy danym układem współrzędnych a układem  $\xi\eta$ , w którym odkształcenia postaciowe  $\gamma_{\xi\eta} = 0$  (rys. 8).



Rys. 8. Zmiana położenia układu współrzędnych

Korzysta się z zależności:

$$\varepsilon_{\xi} = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) + \frac{1}{2}(\varepsilon_x - \varepsilon_y)\cos 2\alpha + \frac{1}{2}\gamma_{xy}\sin 2\alpha \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\eta} = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) - \frac{1}{2}(\varepsilon_x - \varepsilon_y)\cos 2\alpha - \frac{1}{2}\gamma_{xy}\sin 2\alpha \quad (6)$$

$$\frac{1}{2}\gamma_{\xi\eta} = -\frac{1}{2}(\varepsilon_x - \varepsilon_y)\sin 2\alpha + \frac{1}{2}\gamma_{xy}\cos 2\alpha, \quad (7)$$

gdzie:

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$  – składowe stanu odkształcenia w układzie  $xOy$ ;

$\varepsilon_{\xi}, \varepsilon_{\eta}, \gamma_{\xi\eta}$  – składowe stanu odkształcenia w układzie  $\xi O\eta$ .

Przyjmując  $\gamma_{\xi\eta} = 0$  otrzymuje się zależność:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)}, \quad (8)$$

gdzie  $\alpha_0$  – kąt, o jaki należy obrócić układ  $xOy$ , aby otrzymać kierunki główne.

Odkształcenia główne wynoszą:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2} \quad (9)$$

Znajomość odkształceń głównych pozwala na obliczenie naprężeń głównych ze wzorów:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) \end{aligned} \quad (10)$$

Dla materiałów izotropowych kierunki główne stanu naprężenia pokrywają się z kierunkami głównymi stanu odkształcenia.

Na podstawie  $\sigma_1$  i  $\sigma_2$  obliczyć można naprężenie redukowane np. według hipotezy energii odkształcenia postaciowego:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \leq \sigma_{dop} \quad (11)$$

W przypadku znanych kierunków głównych na powierzchni badanego elementu wystarczy przeprowadzić pomiar za pomocą dwóch tensometrów, które nakleja się w kierunkach głównych.

#### 4. PRZEBIEG ĆWICZENIA

Sposób przeprowadzenia ćwiczenia zostanie przedstawiony w trakcie zajęć laboratoryjnych.

## 5. OPRACOWANIE WYNIKÓW I WYTYCZNE DO SPRAWOZDANIA

*Sprawozdanie powinno zawierać:*

- I. Cel ćwiczenia
- II. Wstęp teoretyczny z wyprowadzeniem wzoru na strzałkę ugięcia belki jak na rys. 9
- III. Rysunek i opis stanowiska pomiarowego
- IV. Część obliczeniową, w której należy zawrzeć elementy podane przez prowadzącego na zajęciach
- V. Wnioski z ćwiczenia

## 6. PRZYKŁADOWE PYTANIA KONTROLNE

1. Co to jest tensometria, na czym polegają pomiary tensometryczne?
2. Wymienić rodzaje tensometrów.
3. W jaki sposób eliminuje się wpływ temperatury na pomiary w przypadku tensometrii oporowej?
4. Do czego służy tensometr kompensacyjny?
5. Omówić metodę „zerową” pomiaru mostkiem tensometrycznym.
6. Co to są rozety tensometryczne i w jakim celu są stosowane?

## 7. LITERATURA

1. Beluch W., Burczyński T., Fedeliński P., John A., Kokot G., Kuś W.: *Laboratorium z wytrzymałości materiałów*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Skrypt nr 2285, Gliwice, 2002.
2. Bąk R., Burczyński T.: *Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego*, WNT, Warszawa 2001.
3. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z.: *Wytrzymałość materiałów*, t. I-II, WNT, Warszawa 1996-97.
4. Zielnica J.: *Wytrzymałość materiałów*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.
5. *Ćwiczenia z wytrzymałości materiałów. Laboratorium*. Praca zbior. pod red. Lambera T., Skrypty uczelniane Pol. Śl., nr 1527, Gliwice 1990.
6. Materiały szkoleniowe MEASUREMENTS GROUP Meßtechnik GmbH z I Sympozjum *Techniki pomiarowe w mechanice*, Warszawa 1995.



**Czy  
wiesz,  
że...**

Studenckie Koło Naukowe Metod Komputerowych poczynając od 2007. roku organizuje coroczną studencką konferencję naukową, na której również i Ty możesz zaprezentować wyniki swoich projektów oraz nawiązać kontakty z przedstawicielami przemysłu. Więcej:

<http://dydaktyka.polsl.pl/kwmimkm/KN/konferencje>.





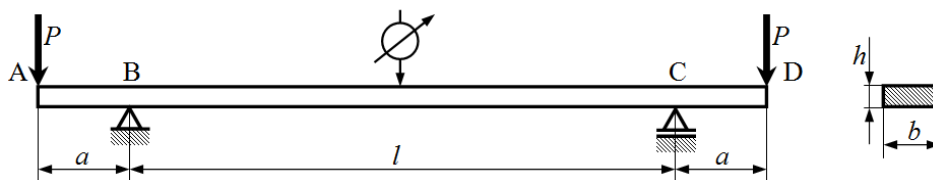
## PROTOKÓŁ Z ĆWICZENIA

### STATYCZNE POMIARY TENSOMETRYCZNE

Kierunek: \_\_\_\_\_ Grupa: \_\_\_\_\_ Sekcja: \_\_\_\_\_

Data wykonania ćwiczenia: \_\_\_\_\_

Prowadzący: \_\_\_\_\_ Podpis \_\_\_\_\_



Parametry układu

| a [mm] | l [mm] | b [mm] | h [mm] |
|--------|--------|--------|--------|
|        |        |        |        |
|        |        |        |        |

Wyniki pomiarów odkształceń

| L.p. | f [mm] | $\varepsilon$ [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ] |   |   |   |   |   |
|------|--------|------------------------------------------|---|---|---|---|---|
|      |        | 1                                        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 2    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 3    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 4    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 5    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 6    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 7    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 8    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 9    |        |                                          |   |   |   |   |   |
| 10   |        |                                          |   |   |   |   |   |