

Nedostaci i ograničenja u primjeni mehaničkih tenzometara

- » Moguća su samo statička mjerenja
- » Potrebno je osiguranje jakih sila pričvršćenja instrumenata
- » Uzorak mora biti fiksiran s obzirom na promatrača
- » Ograničenja u svezi dimenzija ispitivanog uzorka
- » Relativno velika mjerna baza
- » Nije moguć automatski zapis mjernih rezultata.

ELEKTRO-OTPORNI TENZOMETRI (METAL STRAIN GAGE)

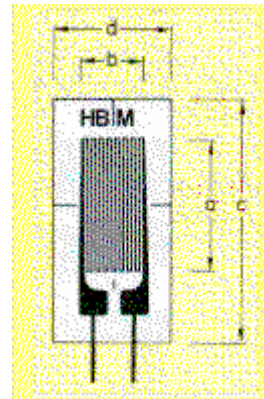
- » *Charles Wheatstone (1843)* : promjena električnog otpora provodnika uslijed mehaničkih naprezanja;
- » *William Thomson (1856)*
- » *Lord Kelvin (1892)*
- » **ARTHUR CLAUDE RUGE (1940)** - patentirao mjerne trake kakve danas poznajemo.

» PRINCIP RADA :

$$\frac{dR}{R_0} = \varepsilon (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho}$$

promjena geometrije

promjena u mikrostrukturi



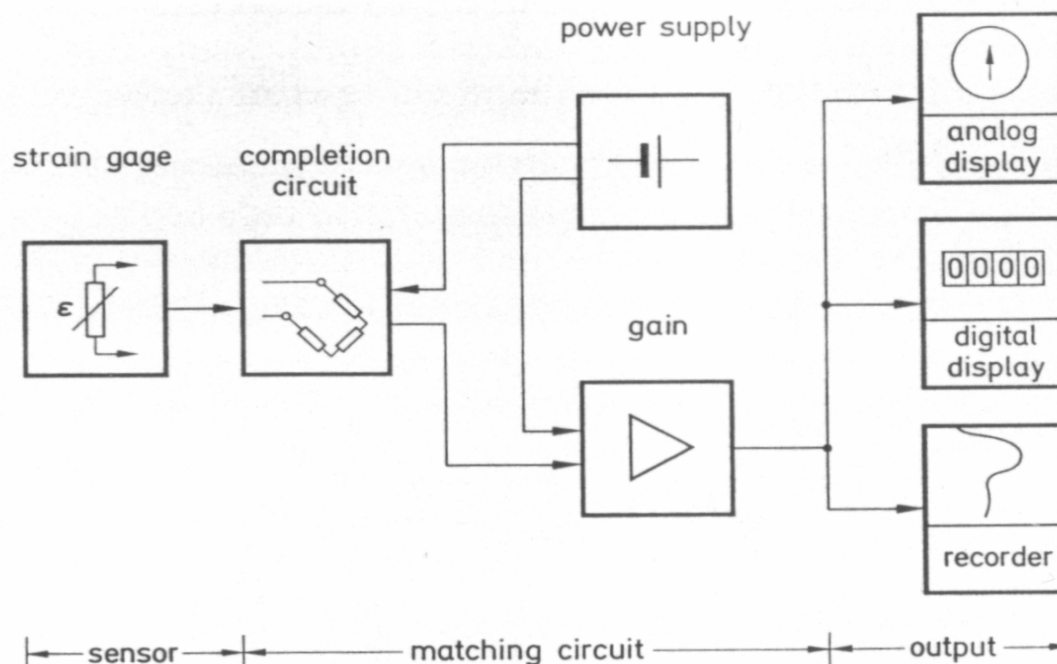
VRSTE I PRIMJENA MJERNIH TRAKA

- » metalne mjerne trake
- » poluprovodničke mjerne trake
- » “thin film” mjerne trake
- » kapacitativne mjerne trake
- » piezoelektrične mjerne trake
- » fotoelastične mjerne trake
- » mehaničke mjerne trake.

PRIMJENA :

- » eksperimentalna analiza naprezanja, modelska ispitivanja (mjerne trake oznake Y, ulančane mjerne trake, rozete)
- » izrada prijenosnika (transducer) - mjerne trake oznake G i K.

MJERNI SUSTAV



- » Mjerna traka (strain gage) - pretvara mehaničku deformaciju u promjenu električnog otpora
- » mjerni strujni krug (Wheatstoneov most) - promjena ravnoteže
- » pojačalo - povećava izlazni napon mjernog kruga
- » display - pretvara izlazni signal u željeno očitavanje.

IZBOR MJERNE TRAKE

- » Velik broj različitih oblika i veličina mjernih traka rezultat je njihove prilagodbe različitim problemima.
- » Kriteriji izbora odgovarajuće vrste i oblika mjernih traka:
 - » duljina mjerne trake (0.6mm - 150mm)
 - » homogena polja deformacije
 - » nehomogena polja deformacije (mjerimo srednju vrijednost deformacije ispod mjerne trake)
 - » stanje dinamičkih deformacija
 - » višestruke mjerne trake (dvostruke, ulančane, rozete) - visoka preciznost međusobnog razdvajanja i orijentacije pojedinih mjernih traka, manje posla oko pričvršćenja za podlogu, izbjegavanje postavljanja velikog broja pojedinačnih mjernih traka
 - » ulančane mjerne trake za određivanje gradijenta naprezanja
 - » rozete za određivanje uvjeta stanja naprezanja (X rozete-dvije trake pod kutom od 90° (L,T,V), R rozete-tri trake koje se sijeku pod kutom $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ (desna rozeta), R rozete-tri trake koje se sijeku pod kutom $0^\circ/60^\circ/120^\circ$ (delta rozeta)
 - » rozete za ispitivanje rezidualnih naprezanja

TEHNIČKI PODACI

» OSJETLJIVOST MJERNE TRAKE (GAGE FACTOR)

$$k = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta l / l_0} = \frac{\Delta R / R_0}{\varepsilon}$$

constantan (57%Cu,43%Ni) : $k=2.05$

karma (73%Ni,20%Cr,Fe,Al) : $k=2.1$

nichrome V (80%Ni,20%Cr) : $k=2.2$

» POPREČNA OSJETLJIVOST MJERNE TRAKE

» promjena otpora uslijed deformacije okomito na “aktivni” smjer

$$q = \frac{k_t}{k_l}$$

» UTJECAJ TEMPERATURE NA POSTAVLJENU MJERNU TRAKU

Objašnjene oznaka elektrootpornih tenzometara

L Y 1 1 - 3 / 120 A

dodatna oprema : A - pričvršenje
V, Z - spajanje

El otpor tenzometra (Ohm)

Duljina mjerne trake (mm)

Materijal podloge-nositelja mjerne trake (1,3,5,6,7,8,9)

Raspored mjernih traka, vrsta i položaj spajala (1,2,3,4,5,6,7,8,9)

Serijska mjerne trake : C (polyimide / chromium/nickel alloy)

Y (polyimide / constantan)

G (glass-fibre reinforced phenolic resin / constantan)

K (glass-fibre reinforced phenolic resin / constantan)

V (polyimide / constantan)

Broj mjernih traka

i njihov međusobni položaj :

L - jedna mjerna traka, linearni tenzometar

D - dvije mjerne trake, paralelno

X - dvije mjerne trake, pod kutem od 90 : T ili X oblika

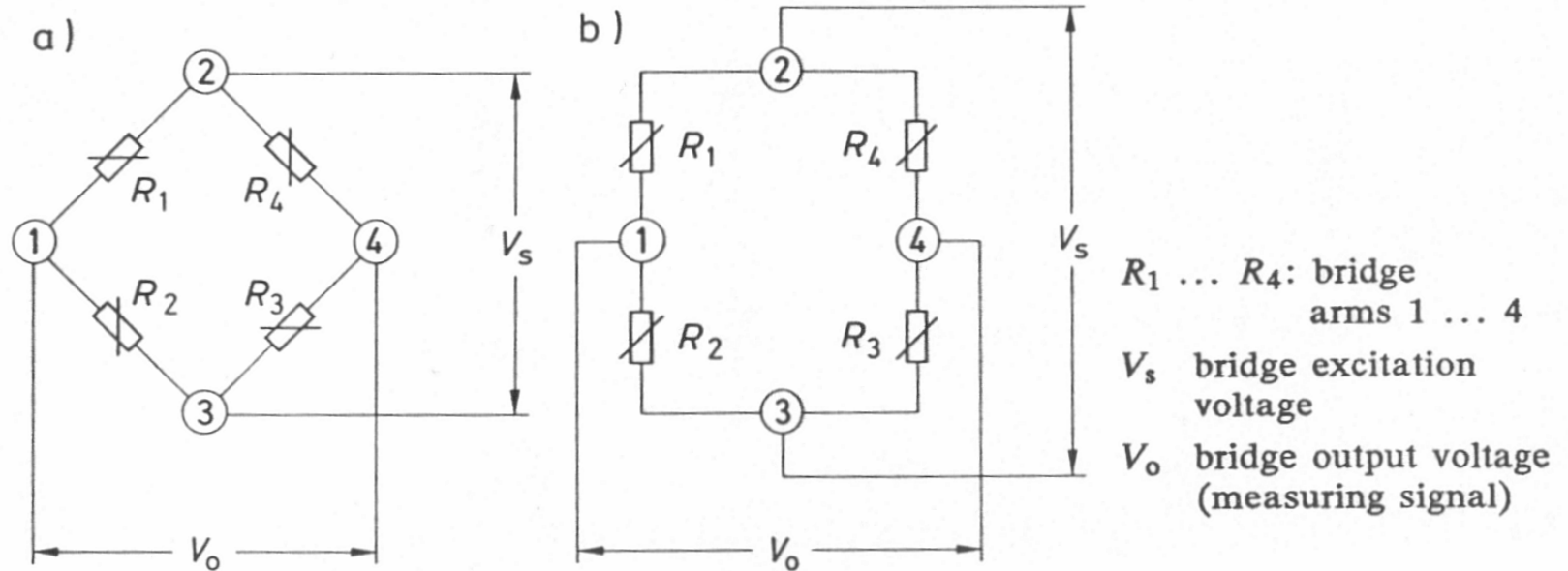
R - tri mjerne trake - rozete

V - četiri mjerne trake, puni mjerni most

M - puni mjerni most - rozeta dijafragma

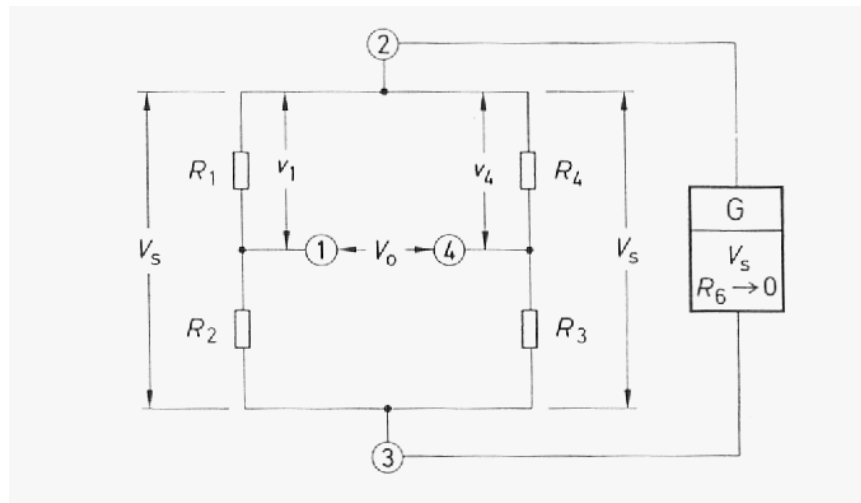
K - lanac tenzometara za određivanje gradijenta deformacija.

WHEATSTON-ov MOST



- » Mogućnost točnog mjerenja električnog otpora
- » most se može koristiti na dva načina :
 - » određivanje apsolutne veličine otpora usporedbom s poznatim otporom
 - » određivanje relativne promjene otpora ($10^{-4} - 10^{-2} \Omega/\Omega$).

PRINCIP RADA WHEATSTONE-ovog MOSTA



$$v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_s, \quad v_2 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_s$$

$$V_0 = V_s \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) = V_s (v_1 - v_4)$$

» Dva su slučaja za koje je $V_0=0$ (most je uravnotežen) :

- $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$
- $R_1/R_2 = R_4/R_3$.

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

OBLICI WHEATSTONE-ovog MOSTA KOJI SE PRIMJENJUJU U TEHNICI MJERNIH TRAKA

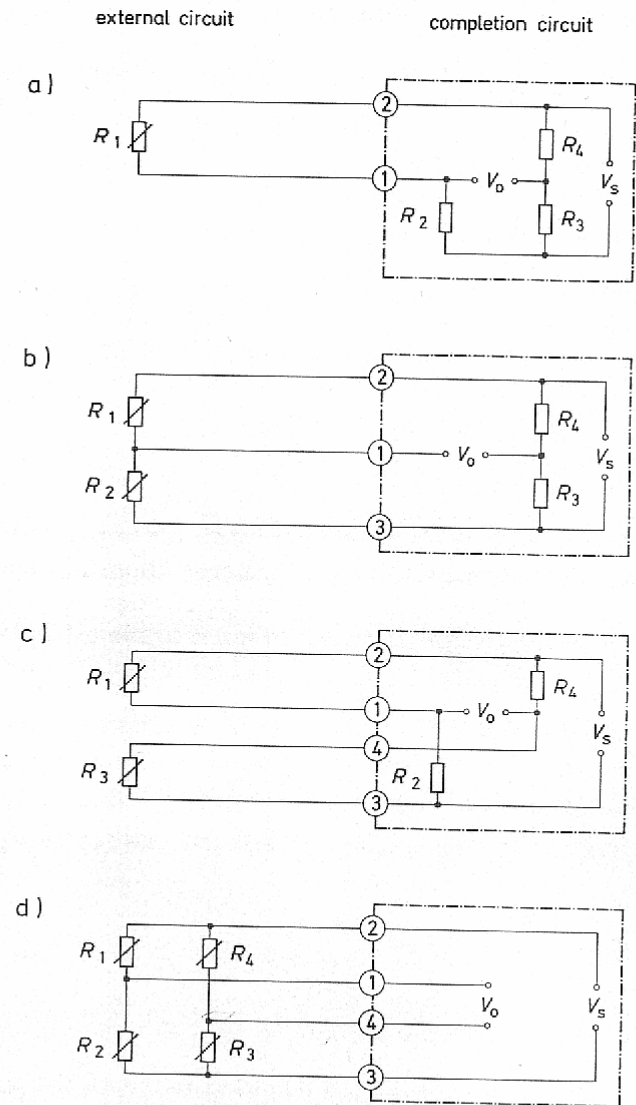
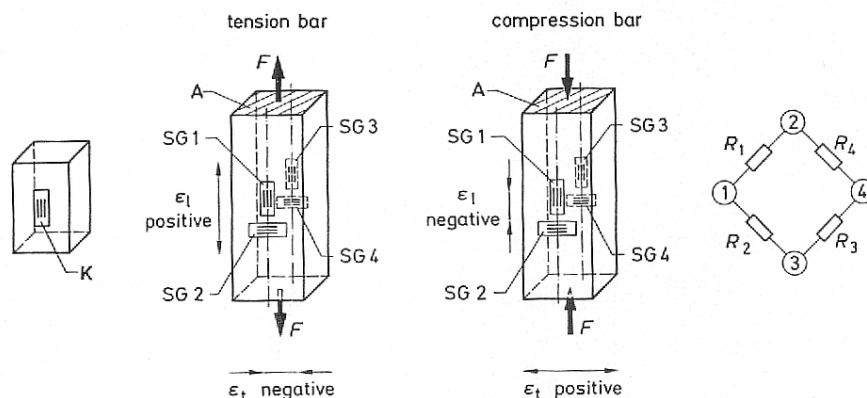


Fig. 5.2-2: Forms of the Wheatstone bridge circuit used in strain gage techniques
a) quarter bridge
b) half bridge
c) double quarter or diagonal bridge
d) full bridge

MJERENJE DEFORMACIJA I ANALIZA NAPREZANJA ZA RAZLIČITE SLUČAJEVE OPTEREĆENJA



K = compensating strain gage on a mechanically unloaded part (see section 7.1-3)

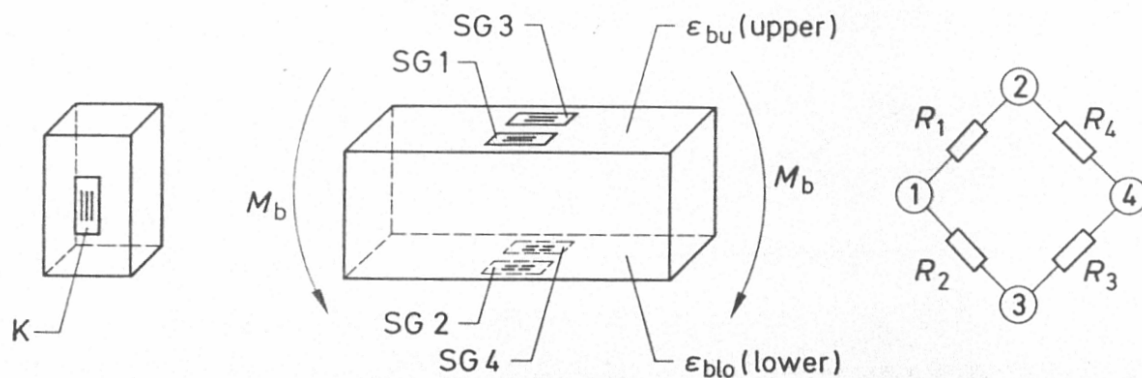
Bridge arm	R_1	R_2	R_3	R_4	Result	Notes
Bridge equation	$\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4 = \epsilon_i$					1
Simple quarter bridge	SG1	R_C	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_l$	2
Quarter bridge with comp. strain gage	SG1	K	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_l$	3
Half bridge	SG1	SG2	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_l + \epsilon_q = (1+\nu) \cdot \epsilon_l$	4
Diagonal bridge	SG1	R_C	SG3	R_C	$\epsilon_i = 2 \cdot \epsilon_l$	5
Diagonal bridge with 2 comp. strain gages	SG1	K	SG3	K	$\epsilon_i = 2 \cdot \epsilon_l$	6
Full bridge	SG1	SG2	SG3	SG4	$\epsilon_i = 2(\epsilon_l + \epsilon_q) = 2(1+\nu)\epsilon_l$	7

Napomene u vezi s prethodnom tablicom

- 1 Obratiti pozornost na promjene predznaka u jednadžbi te predznaka deformacija.
- 2 Rezultat su superponirane deformacije pri savijanju. Toplinske deformacije treba eliminirati s temperaturno-kompenzirajućim trakama; suprotno dolazi do pogreške u mjerenju. $\sigma_1 = \sigma_n + \sigma_b = \varepsilon_i \cdot E$
- 3 U odnosu na slučaj 2, toplinske se deformacije kompenziraju i u slučajevima kada koef. toplinske dilatacije materijala odstupa od standardnih vrijednosti za temperaturno-kompenzirajuće trake te kada se premaši područje kompenziranja mjerne trake.
- 4 Rezultat su superponirane deformacije pri savijanju. Toplinske su deformacije vrlo dobro kompenzirane. $\sigma_1 = \sigma_n + \sigma_b = \frac{\varepsilon_i \cdot E}{1 + \nu}$
- 5 Kod simetričnih presjeka, deformacije pri savijanju su kompenzirane. Toplinske deformacije treba eliminirati s temperaturno-kompenzirajućim trakama; suprotno dolazi do pogreške u mjerenju. $\sigma_n = \frac{1}{2} \varepsilon_i \cdot E$
- 6 Postupak poput 5, kompenzacija toplinskih deformacija kao u 3.
- 7 Kod simetričnih presjeka, deformacije pri savijanju su kompenzirane. Toplinske su deformacije vrlo dobro kompenzirane.



$$\sigma_n = \frac{\varepsilon_i \cdot E}{2(1 + \nu)}; \quad F = \frac{\varepsilon_i \cdot E}{2(1 + \nu)} \cdot A$$



Bridge arm	R_1	R_2	R_3	R_4	Result	Notes
Bridge equation	$\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4 = \epsilon_i$					1
Simple quarter bridge	SG1	R_C	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_{bu}$	2
	SG2	R_C	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_{blo}$	
Quarter bridge with comp. strain gage	SG1	K	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_{bu}$	3
	SG2	K	R_C	R_C	$\epsilon_i = \epsilon_{blo}$	
Half bridge	SG1	SG2	R_C	R_C	$\epsilon_i = 2 \epsilon_b$	4
Diagonal bridge	SG1	R_C	SG3	R_C	$\epsilon_i = 2 \epsilon_{bu}$	5
	SG2	R_C	SG4	R_C	$\epsilon_i = 2 \epsilon_{blo}$	
Diagonal bridge with 2 comp. strain gages	SG1	K	SG3	K	$\epsilon_i = 2 \epsilon_{bu}$	6
	SG2	K	SG4	K	$\epsilon_i = 2 \epsilon_{blo}$	
Full bridge	SG1	SG2	SG3	SG4	$\epsilon_i = 4 \epsilon_b$	7

Napomene u vezi s prethodnom tablicom

- 1 Obratiti pozornost na promjene predznaka u jednadžbi te predznaka deformacija.
- 2 Rezultat su superponirane deformacije pri savijanju. Toplinske deformacije treba eliminirati s temperaturno-kompenzirajućim trakama; suprotno dolazi do pogreške u mjerenju. $\sigma = \sigma_b + \sigma_n = \varepsilon_i \cdot E$
- 3 U odnosu na slučaj 2, toplinske se deformacije kompenziraju i u slučajevima kada koef. toplinske dilatacije materijala odstupa od standardnih vrijednosti za temperaturno-kompenzirajuće trake te kada se premaši područje kompenziranja mjerne trake.
- 4 Superponirane uzdužne deformacije se kompenziraju. Toplinske su deformacije vrlo dobro kompenzirane.
$$\sigma_b = \frac{1}{2} \varepsilon_i \cdot E; \quad M_b = \sigma_b \cdot W$$
- 5 U rezultatu sudjeluju superponirane uzdužne deformacije. Toplinske deformacije treba eliminirati s temperaturno-kompenzirajućim trakama; suprotno dolazi do pogreške u mjerenju.
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_n = \frac{1}{2} \varepsilon_i \cdot E$$
- 6 Postupak poput 5, kompenzacija toplinskih deformacija kao u 3.
- 7 Kod simetričnih presjeka, uzdužne deformacije su kompenzirane. Toplinske su deformacije vrlo dobro kompenzirane.
$$\sigma_b = \frac{1}{4} \varepsilon_i \cdot E$$

