

## 16. mérés

### Erő, nyomaték, gyorsulás mérése

#### A mérés célja

A nyúlásmérő bélyegek alkalmazástechnikájának megismerése. Húzó, hajlító, csavaró próbatestek anyaga rugalmassági modulusának meghatározása nyúlásmérés alapján. A nyúlásmérő bélyeges átalakítókhoz csatlakoztatott mérőerősítő használatának, kalibrálásának gyakorlása.

#### Általános útmutató

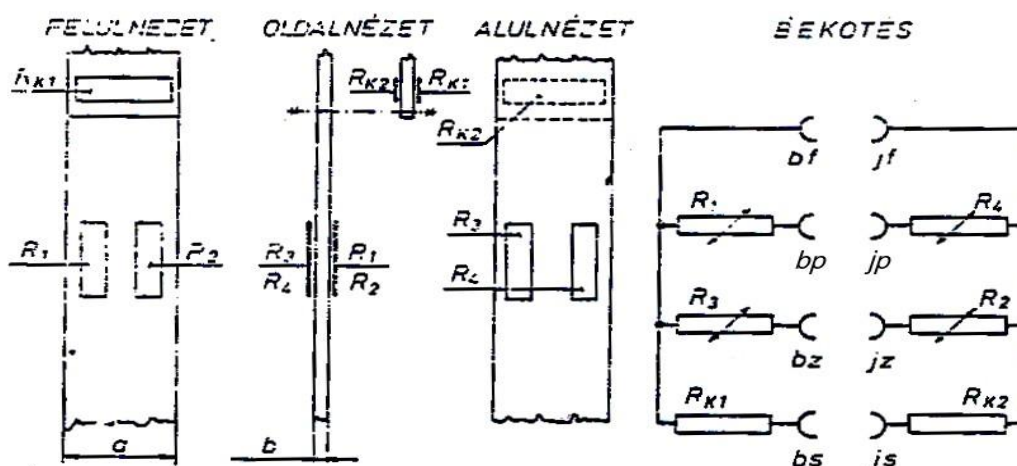
A mérési feladatoknál használt műanyag (plexi, PVC) próbatestekre, az erőmérő cellára a megadott terhelések értékeit - a próbatestek épségének megóvása érdekében - nem szabad túllépni. A mérőerősítőt minden feladat elvégzése után kapcsoljuk ki, a bemenetére csatlakozó kör szétbontását, az új feladat mérőkörének kialakítását feszültségmentes állapotban végezzük el. (A mérőerősítő hálózati kapcsolója a műszer hátoldalán található.) A mérőerősítő bekapcsolása előtt ennek méréshatár-választó kapcsolóját maximális méréshatárra állítsuk.

A mérőátalakítóknak a mérőerősítőhöz történő csatlakoztatását fokozott gondalal alakítsuk ki, ehhez segítséget nyújt az átalakítókon lévő hüvelyeknek és a mérővezetékeken lévő dugóknak - a kapcsolási vázlaton is feltüntetett - színekkel való megjelölése.

Húzó és hajlító vizsgálatokhoz 3 mm vastag plexilemezből készült próbatestet használunk. A próbatesten négy nyúlásmérő bélyeget, a próbatest anyagából készült - a csatlakozó hüvelyek elhelyezésére is szolgáló - szerelőlapon két kompenzáló bélyeget helyeztünk el. A szerelőlapon lévő hüvelyek két oszlopba csoportosítva helyezkednek el. A kapcsolási vázlatokon a hüvelyek oszlopát b(=bal) és j(=jobb) betűkkel jelöltük, színükre f(=fekete), z(=zöld), s(=sárga) és p(=piros) jelzés utal. Például a kapcsolási rajzon a bz jelölés a baloldali oszlop zöld színű csatlakozó hüvelyére hivatkozik. A fekete színű dugók a híd tápfeszültségét szolgáltatják, a piros színű dugók vezetékai a mérőerősítő bemenetéhez csatlakoznak.

A húzó-hajlító próbatest bélyegeinek elhelyezését, a csatlakozó hüvelyekhez való bekötését és az elemek jelölését a következő ábra tartalmazza.

A vivőfrekvenciás mérőerősítő 5 kHz frekvenciájú szinuszos váltakozófeszültséggel táplálja a mérőátalakítót,

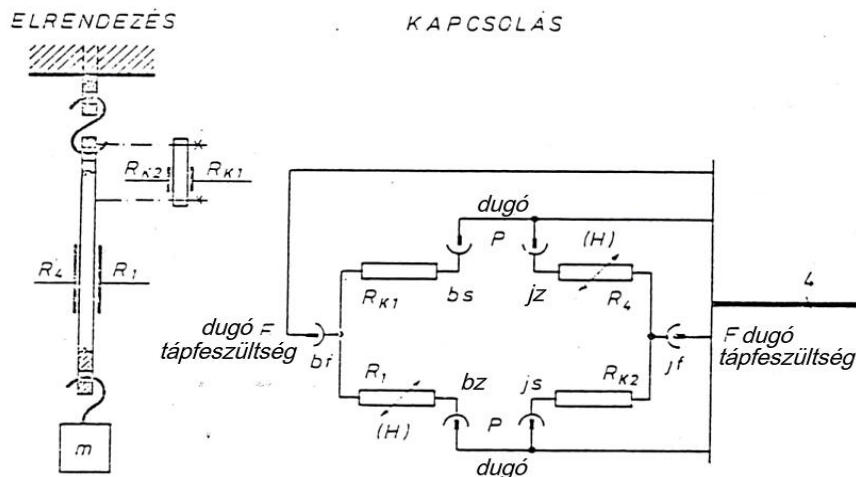


azaz a nyúlásmérő bélyegekből vagy differenciál inductivitásból alkotott hídkapcsolást. A hídtól a mérőerősítőhöz csatlakoztatott feszültséggel változtatható amplitúdójú és fázishelyzetű kompenzáló feszültség összegezhető. Ez lehetőséget ad arra, hogy a mérőátalakító és a mérővezetékek rezisztív és kapacitív aszimmetriáját, valamint az átalakító - többnyire önsúlyokból származó - alapterhelése következtében jelentkező kiegyenlítetlen állapotot kompenzáljuk. A mérőerősítő fázisérzékeny egyenirányítót, aluláteresztő szűrőket tartalmaz, statikus terhelés esetén gyakorlatilag sima egyenfeszültség jut a kimenetre és a kijelző műszerre. A mérőerősítővel 1 kHz felső határfrekvenciáig dinamikus vizsgálatok is végezhetők.

## MÉRÉSI FELADATOK

### 1. HÚZÓ PRÓBATEST VIZSGÁLATA

#### Elrendezés, kapcsolás



A próbatest két ellentétes lapján elhelyezett két aktív, húzott bélyegből (R1, R4) és két kompenzáló bélyegből (Rk1, Rk2) képezünk hidat. Ezzel a hőmérsékletváltozásra kompenzált, a hajlítónyomatékra érzéketlen mérőátalakítót kapunk. A húzó próbatestet **maximum 5 kg** terheléssel vehetjük igénybe.

#### Feladatok

A mérőerősítőn teljes híd üzemmódot, 2,5 V tápfeszültséget (Brückenspg.) állítunk be, a legnagyobb méréshatárra (Messbereich) - 100000  $\mu\text{m}/\text{m}$  - kapcsolunk. A próbatestet felszereljük, bekötjük a mérőerősítőhöz, de a terhelést tartó orsóra még nem helyezünk súlyokat. Ezután a mérőerősítőt bekapcsoljuk, majd a következő műveleteket végzzük el:

- Az erősítő méréshatárát addig csökkentjük, míg a mért érték kijelző műszere közel a végkitérésig kitér. Ebben az állapotban a kiegyenlítés (Abgleich) kezelőszerveivel az önsúlyból, aszimmetriából adódó bemenő jelet kompenzáljuk. Az R jel melletti fokozatkapcsoló és potenciométer az amplitúdó kiegyenlítést, a C jelű potenciométer a fázis kiegyenlítést szolgálja. Az R és C potenciométereket - szükség esetén az R fokozatkapcsolót is - felváltva kezelve kiegyenlítjük a mérőerősítőt úgy, hogy mind a kivezrlést (Aussteuerung) mutató, mind a mért értéket mutató műszer nulla kitérést adjon.
- Kalibráljuk a mérőerősítőt. Ehhez 500  $\mu\text{m}/\text{m}$  méréshatárra kapcsolunk, majd a beépített kalibráló jelforrás feszültségét rákapcsoljuk az erősítőre, a „Kalibrierung” fokozatkapcsolót +1 helyzetbe forgatva. A méréshatár választó kapcsoló (Messbereich) alatti potenciométer az erősítés fokozatmentes változtatását teszi lehetővé, ennek állításával a mért értékijelző műszerét végkitérésre szabályozzuk be. A kalibrálást elvégezve a Kalibrierung kapcsolót 0 helyzetbe állítjuk vissza.
- A mérőerősítőt 200  $\mu\text{m}/\text{m}$  méréshatárra kapcsoljuk, majd öt állapotban - 930...940 g-os tömegekkel növelve a terhelést - megvizsgáljuk a húzó igénybevétel hatását. Az értékeléshez jegyezzük fel a mérőerősítő üzemállapotának jellemzőit, a terhelő tömegeket és a műszer kitéréseit.
- A gyakorlatvezető közreműködésével vizsgáljuk meg a húzóerőre járulékosan szuperponált hajlító nyomaték hatását.
- A húzó terhelést megszüntetve figyeljük meg, mekkora - a terheletlen állapotban lassan megszűnő - alakváltozást okozott a terhelés.

## Értékelés

A mérőerősítő méréshatár választó kapcsolóján (Messbereich) feltüntetett névleges méréshatár  $U_{tn} = 5 \text{ V}$  tápfeszültség, 1 aktív ( $K=2$  bélyegtényezőjű) bélyeg esetén érvényes. Ettől eltérő esetekben a méréshatár a következő módon határozható meg:

$$\varepsilon'_v = \frac{1}{n} \frac{U_{tn}}{U_t} \frac{K_n}{K} \varepsilon_v = \frac{1}{n} \frac{5}{U_t} \frac{2}{K} \varepsilon_v$$

$\varepsilon'_v$  : a mérőerősítő tényleges méréshatára;  $\mu\text{m}/\text{m}$

$n$  : a híd aktív bélyegeinek száma;  $n = 1, 2, 4$

$U_{tn}$  : a névleges méréshatárhoz tartozó tápfeszültség;  $U_{tn} = 5 \text{ V}$

$U_t$  : a híd tényleges tápfeszültsége;  $U_t = 1 \text{ V} ; 2,5 \text{ V} ; 5 \text{ V}$

$K_n$  : a bélyegtényező névleges értéke;  $K_n = 2$

$K$  : a bélyegtényező tényleges értéke;

$\varepsilon_v$  : a mérőerősítő névleges méréshatára;  $\mu\text{m}/\text{m}$

Az előző összefüggéssel meghatározzuk a mérőerősítő tényleges méréshatárát. Az alkalmazott nyúlásmérő bélyegek bélyegtényezője  $K=2$ .

A mérési eredményekből számítjuk a húzófeszültség és a relatív nyúlás értékeit, diagramban ábrázoljuk a kapcsolatot. A húzófeszültség számítása:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{a \cdot b}$$

$\sigma$  : a húzófeszültség;  $\text{N}/\text{m}^2$

$m$  : a terhelő tömeg;  $\text{kg}$

$g$  : a nehézségi gyorsulás;  $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$

$a$  : a próbatest szélessége;  $30 \text{ mm}$

$b$  : a próbatest vastagsága;  $3 \text{ mm}$

A relatív alakváltozás (esetünkben a nyúlás) számítása:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon'_v}{\alpha_v} \alpha$$

$\varepsilon$  : a relatív alakváltozás;  $\mu\text{m}/\text{m}$

$\varepsilon'_v$  : a mérőerősítő tényleges méréshatára;  $\mu\text{m}/\text{m}$

$\alpha_v$  : a mérőerősítő végkitérése;  $\alpha_v = 100$  skálafok

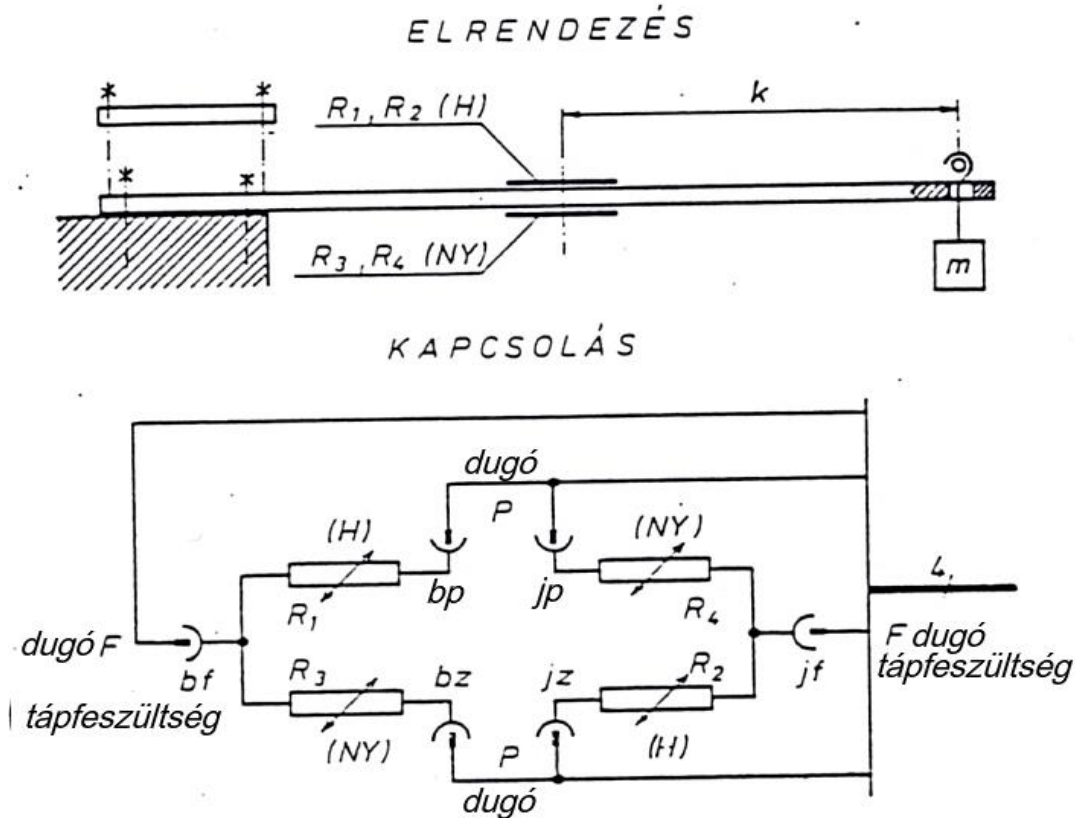
$\alpha$  : a mért kitérés; skálafok

Meghatározzuk a próbatest anyagának rugalmassági modulusát ( $E$ ) a maximális terhelésnél számított húzófeszültség és mért alakváltozás alapján.

$$E \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\sigma \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]}{\varepsilon \left[ \frac{\text{m}}{\text{m}} \right]} = 10^6 \frac{\sigma \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]}{\varepsilon \left[ \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} \right]}$$

## 2. HAJLÍTÓ PRÓBATEST VIZSGÁLATA

### Elrendezés, kapcsolás



A húzóvizsgálatnál is használt próbatestet egyik végén befogjuk és hajlító igénybevétellel terheljük. A próbatest két ellentétes lapján elhelyezett négy aktív (két húzott és két nyomott) bélyegből képezünk hídát. A híd a hőmérséklet változásaira kompenzált, a húzó és a nyomó igénybevételre érzéketlen. A hajlító próbatest szabad végét **maximum 20 g** terheléssel vehetjük igénybe.

### Feladatok

A próbatest terheletlen állapotában az 1.feladatban részletezett módon kiegyenlítjük és kalibráljuk a mérőerősítőt, majd a következő műveleteket végezzük el:

- A mérőerősítőt  $500 \mu\text{m/m}$  méréshatárra kapcsoljuk, ezután 20 g terhelést helyezünk a próbatest szabad végén lévő tálcára. Az értékeléshez jegyezzük fel a mérőerősítő üzemiállapotának jellemzőit, a műszer kitérését és a terhelő tömeget.
- A terhelést megszüntetve figyeljük meg, hogy mekkora - a terheletlen állapotban lassan megszűnő - alakváltozást okozott a terhelés.
- A gyakorlatvezető közreműködésével vizsgáljuk meg a húzó és a nyomóerő hatását.

## Értékelés

Az 1. feladatban ismertetett módszerrel meghatározzuk a mérőerősítő tényleges méréshatárát és a hajlító próbatest szélső szálainak relatív alakváltozását.

Kiszámítjuk a próbatest szélső szálaiban kialakuló húzó-nyomó igénybevételt:

$$\sigma = \frac{M}{K} = \frac{F \cdot k}{K} = \frac{m \cdot g \cdot k}{a \cdot b^2 / 6}$$

$\sigma$ : a szélső szálakban ébredő mechanikai feszültség; N/m<sup>2</sup>

K: a hajlító keresztmetszeti tényező; m<sup>3</sup>

m: a hajlító terhelés tömege; kg

g: a nehézségi gyorsulás; 9,81 m/s<sup>2</sup>

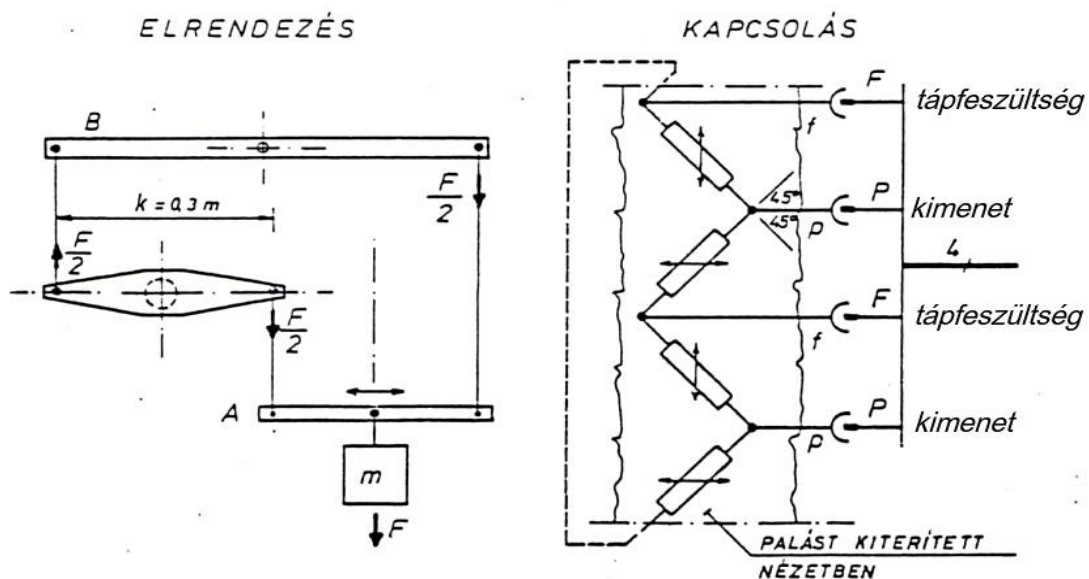
k: a hajlító erő karja; 0,15 m

a: a próbatest szélessége; 30 mm

b: a próbatest vastagsága; 3 mm

Meghatározzuk a hajlító terhelési vizsgálat eredményéből is a rugalmassági modult, összehasonlítjuk a húzópróbánál kapott értékkel.

### 3. CSAVARÓ PRÓBATEST VIZSGÁLATA



#### Elrendezés, kapcsolás

A PVC csőből készült csavaró próbatestre felragasztott négy aktív bélyegből képezzük hidat. Az egyes nyúlásmérő bélyegek hossz tengelye a hengerpalást alkotójával + 45° illetve - 45° szöget zár be, tiszta csavaró igénybevétel esetén a főfeszültségi síkokkal párhuzamosak a tengelyek. Ez a híd a hőmérséklet változásaira kompenzált, a húzó, nyomó és hajlító igénybevételre érzéketlen. A terhelő mechanizmus lehetővé teszi tiszta csavaró igénybevétel létrehozását (amikor a terhelő tömeg az „A” tartó közepén helyezkedik el). A tömeg

áthelyezése a karon járulékos hajlító igénybevételt okoz, a csavaró nyomaték viszont változatlan marad. A mechanizmus **maximum 1,5 kg** tömeggel terhelhető.

### Feladatok

---

Elvégezzük a mérőerősítő kiegyenlítését és kalibrálását az 1. feladatban részletezett módon. A további tennivalók:

- A mérőerősítőt 500  $\mu\text{m/m}$  méréshatárra kapcsoljuk, majd három állapotban - 430...440 g-os tömegekkel növelve az „A” tartó közepén ható terhelést - megvizsgáljuk a tiszta csavaró igénybevétel hatását. Az értékeléshez jegyezzük fel a mérőerősítő üzemmódjának jellemzőit, a kitéréseket és a terhelő tömegeket.
- Helyezzük át a terhelő erő hatásvonalát az „A” tartón, figyeljük meg a járulékos hajlítónyomaték hatását.
- A terhelést megszüntetve figyeljük meg, hogy mekkora - a terheletlen állapotban lassan megszűnő - alakváltozást okozott a terhelés.

### Értékelés

---

Az 1. feladat szerinti módon meghatározzuk a mérőerősítő tényleges méréshatárát és a csavaró próbatest főfeszültségi síkjaiban a relatív alakváltozást. A terhelő mechanizmus geometriája és a terhelés alapján számítjuk a csavaró nyomatékot a következő módon:

$$M_{cs} = \frac{F}{2}k = \frac{m \cdot g \cdot k}{2}$$

$M_{cs}$  : a csavaró nyomaték; Nm

$m$  : a terhelő tömeg; kg

$g$  : a nehézségi gyorsulás; 9,81 m/s<sup>2</sup>

$k$  : a csavaró próbatest karjának hossza;  $k = 0,3$  m

Tiszta csavaró igénybevétel esetén a szélső szálakban, a főfeszültségi síkokban a húzó-nyomó igénybevétel ( $|\sigma_1| = |\sigma_2|$ ) abszolút értéke azonos a keresztmetszet síkjában a szélső szálban ébredő csúsztató feszültség ( $\tau$ ) abszolút értékével.

$$\sigma = \tau = \frac{M_{cs}}{K_p} = \frac{M_{cs}}{\frac{(D^3 - d^3)\pi}{16}}$$

$\sigma$  : a főfeszültségi sík húzó- nyomófeszültsége; N/m<sup>2</sup>

$\tau$  : a keresztmetszet síkjában, a szélső szálban ébredő csúsztató feszültség; N/m<sup>2</sup>

$M_{cs}$  : a csavaró nyomaték; Nm

$K_p$  : a csavaró (poláris) keresztmetszeti tényező; m<sup>3</sup>

$D$  : a próbatest (a cső) külső átmérője; 40 mm

$d$  : a próbatest (a cső) belső átmérője; 36 mm

Az előző összefüggéssel számítjuk  $\sigma$  értékét a vizsgált terhelési esetekre.

Diagramban ábrázoljuk a főfeszültségi síkokra vonatkozó  $\sigma$  feszültség és az  $\varepsilon$  relatív alakváltozás kapcsolatát.

A maximális terhelés mérési eredményeiből meghatározzuk - az 1. feladatban megadott módszerrel - a próbatest anyagának rugalmassági modulusát (E).

#### **4. ERŐMÉRŐ CELLA, GYORSULÁSMÉRŐ ÁTALAKÍTÓ KALIBRÁLÁSA.**

A gyakorlatvezető irányításával csatlakoztassuk a mérővevőhöz az erőmérő cellát, illetve a gyorsulásmérő átalakítót. Az átalakítók paramétereit alapján végezzük el a mérővevő kalibrálását, figyeljük meg a mérőrendszer működését.

#### **ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK**

1. Húzóerő mérés nyúlásmérő bélyegekkel. Hőkompenzált, csak húzóerőre érzékeny bélyegrendezés, hídkapcsolás jellemzői. Húzott rúdra ható erő és a relatív alakváltozás kapcsolata.
2. Hajlítónyomaték mérése nyúlásmérő bélyegekkel. Hőkompenzált, csak a hajlító nyomatékra érzékeny bélyegrendezés, hídkapcsolás jellemzői. A hajlított rúdra ható hajlítónyomaték és a rúd szélső szálai relatív alakváltozásának kapcsolata.
3. Csavarónyomaték mérése nyúlásmérő bélyegekkel. Hőkompenzált, csak a csavaró nyomatékra érzékeny bélyegrendezés, hídkapcsolás jellemzői. A csavarónyomaték és a cső alakú csavaró próbatest főfeszültségi síkjai relatív alakváltozásának kapcsolata.
4. A rugalmassági modulus meghatározási módszerei ismert geometriai méretű, terhelésű húzó, hajlító illetve csavaró próbatesten végzett nyúlásmérés eredményeiből.
5. A vivőfrekvenciás mérőerősítő használatának szabályai. Kiegyenlítés, kalibrálás; tényleges méréshatár és mért érték (relatív alakváltozás) számítása.