

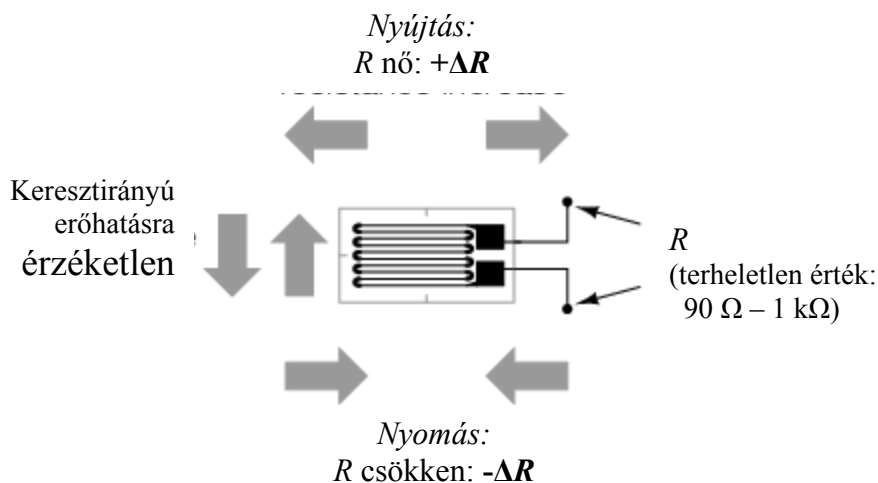
HIBA-KOMPENZÁLÁS

NYÚLÁSMÉRŐ BÉLYEG HŐMÉRSÉKLET KOMPENZÁLÁSA¹

1. Igénybevételnek kitett szerkezeti elemeknél *mechanikai feszültség* (σ) lép fel, ami kritikus paraméter és közvetlenül nem egyszerű mérni. Mérhető viszont a szerkezet külső felületén a *relatív nyúlás* ($\Delta\ell/\ell$), ún. **nyúlásmérő bélyeggel** (strain gauge), és *egyirányú* feszültség állapotban (Hooke törvény): $\sigma = E \cdot (\Delta\ell/\ell)$, ahol E a rugalmassági modulus (az anyag alakváltozással szembeni ellenállása).²

A mérendő szerkezettel *együtt* deformálódó nyúlásmérő bélyeg (speciális ellenállás) fajlagos **ellenállás-változása** a relatív nyúlással arányos: $(\Delta R/R) = g \cdot (\Delta\ell/\ell)$, ahol g az ún. bélyeg állandó (gauge factor). A fellépő kis ellenállás-változást mérve kapjuk a keresett σ értékét (ez a nyúlásmérés célja).

A **bélyeg** szigetelő fóliára cikk-cakkban felvitt vékony elektromos vezető réteg, amely *hosszirányban* „érzékeny”. Ha a vezető megnyúlik (vagyis keresztmetszete lecsökken), akkor megnő az ellenállása ($+\Delta R$). Fordítva, nyomásnak kitéve rövidül (keresztmetszete nő), így ellenállása csökken ($-\Delta R$).



Példa: $\sigma = 10 \text{ MPa}$ ($= 10 \text{ N/mm}^2$), $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ (acél) esetén $\Delta\ell/\ell = \sigma/E = 5 \cdot 10^{-5}$, így $g = 2$ értékkel $\Delta R/R = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 10^{-4} = 0.01\%$, ami $R = 120 \text{ } \Omega$ alapellenállásnál $\Delta R = 120 \cdot 10^{-4} = 12 \text{ m}\Omega$ változást jelent.

Ilyen kis változás mérése ún. *híd-kapcsolással* lehetséges.

A bélyeget a mérendő szabad felületére ragasztják és (jól felragasztott bélyegnél) feltételezzük, hogy a bélyeg fajlagos nyúlása megegyezik az alkatrész felületének (a mérési hosszának megfelelő területen átlagolt) relatív nyúlásával.

¹ A példa egy hiba-kompenzálási *elvet* szemléltet, a technikai részletek mellőzésével (a konkrét kivitelezési és eszköz *problémák* megoldása a mérnökök dolga).

² Egy henger alakú, A keresztmetszetű és ℓ hosszúságú testet *tengelyirányban* F erővel húzva, $\sigma = F/A$ rugalmas feszültség ébred és ez $\Delta\ell$ megnyúlást hoz létre. A σ feszültség egysége *pascal* [$\text{Pa} = \text{N/m}^2$]. A *lineáris* kapcsolat a rugalmassági határig érvényes (ezen túl tartós alakváltozás, majd törés következik be, ezen innen – ha a terhelés megszűnik, a nyúlás nullára csökken).

Ha nem ismerjük a főfeszültségi irányt, akkor két vagy három irányban mért nyúlásból lehet a feszültség-állapotot meghatározni. Ehhez különleges bélyeget, ún. *rozettát* használnak (kétirányú mérésnél egymásra merőlegesek, háromirányú mérésnél 45 vagy 120 fokosak a mérési irányok).

2. A bélyeg terhelése nélkül ($\Delta R = 0$) a mérőhíd („**NEGYED**” híd) kiegyenlített: azonos ellenállásokkal a két hídágban (az **A** és **B** ponton) azonos a villamos feszültség leosztás, a különbséget ideális (igen nagy belső ellenállású) **V mérő** méri ($V = 0$).

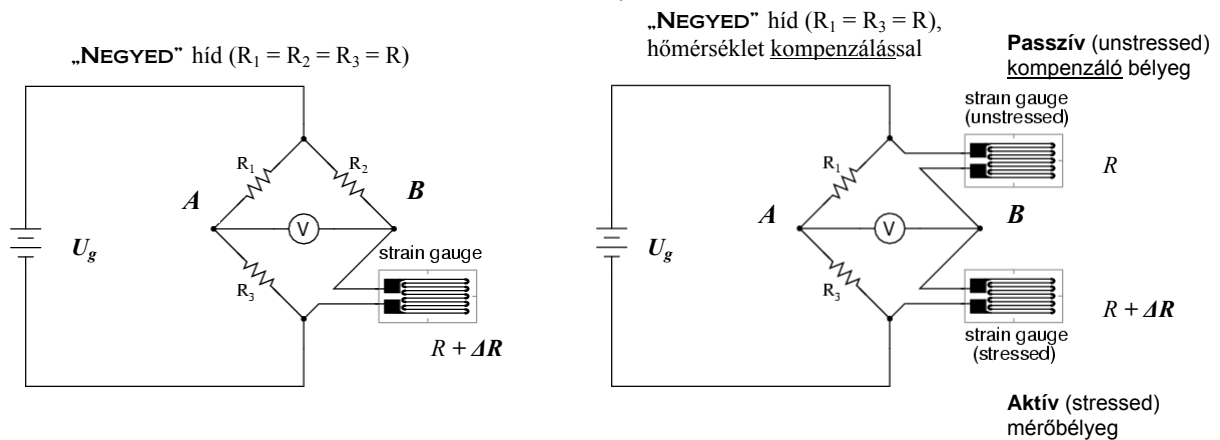
(a) A baloldali hídág a tápfeszültséget felezi: $U_A = U_g/2$. Terhelés esetén a jobboldali hídágban ($+\Delta R$ változás hatására)

$$U_B = U_g \frac{R + \Delta R}{R + (R + \Delta R)} = U_g \frac{1 + (\Delta R / R)}{2 + (\Delta R / R)}$$

értékűre változik, ezzel

$$V = U_B - U_A = U_g \left(\frac{1 + (\Delta R / R)}{2 + (\Delta R / R)} - \frac{1}{2} \right) = \frac{U_g}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{1 + (1/2) \cdot (\Delta R / R)}$$

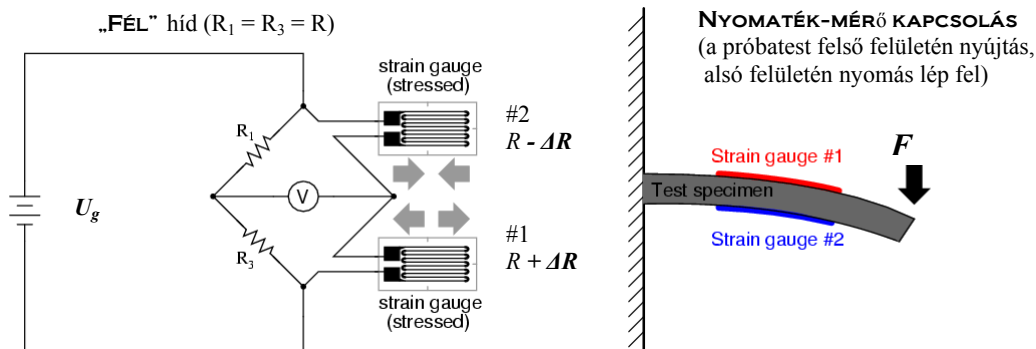
Kedvezőtlen, hogy a kifejezés $\Delta R/R$ nemlineáris függvénye. (De ez akár analóg módszerrel, akár mérés után numerikusan linearizálható.)



(b) A nagyobb probléma: a bélyeg hőmérséklet függése. Az érzékelő ellenállásnak a hőmérséklet miatti megváltozása nem különíthető el a deformáció függéstől!

A mérni nem kívánt befolyásoló mennyiség (a hőmérséklet) hatását tehát ki kell iktatni, **KOMPENZÁLNI** kell. Ez egyszerűen megtehető egy azonos, de terheletlen (passzív) bélyeg beiktatásával a jobboldali ágba („**NEGYED**” híd, hőmérséklet kompenzálással). Könnyen belátható: ha egy ágban mindkét ellenállás érték (a hőmérséklet hatására) egy irányban, azonos mértékkel változik, akkor a leosztott feszültség (pl. U_B) változatlan marad.

3. Innen csak egy lépés az ellentétes irányban terhelt, aktív **bélyeg pár** alkalmazása („**FÉL**” híd, pl. **NYOMATÉKMÉRŐ KAPCSOLÁS**ban), amely hőmérséklet-kompenzált és emellett, „melléktermékként”, linearizált és megnövelt érzékenységgű!



A terhelt „FÉL” híd hídágainak feszültség különbsége

$$V = U_g \left(\frac{R + \Delta R}{(R - \Delta R) + (R + \Delta R)} - \frac{1}{2} \right) = \frac{U_g}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

közvetlenül az fajlagos ellenállás változással arányos.

Megjegyzés: a módszer kiterjeszhető a „TELJES” hídra (és a páronként *ellentétes* irányban terhelt, aktív **bélyeg négyes** tovább javítja az átalakítás érzékenységét, működésére lásd: <http://www.rdpe.com/ex/hiw-sglc.htm>).

4. Az érzékelő bélyeg a hídkapcsolásban

erőhatás → geometriai méretváltozás → ellenállás változás → feszültség

$$(\Delta \ell / \ell) = \sigma / E \qquad (\Delta R / R) = g \cdot (\Delta \ell / \ell) \qquad (V / U_g) = k \cdot (\Delta R / R)$$

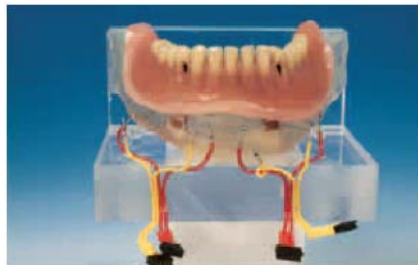
átalakítással és villamos feszültség méréssel ad lehetőséget *mechanikai feszültség* (σ), vagy – mechanikai/szilárdságtani ismeretek felhasználásával – a kiváltó ok, az *erő* (ill. forgatónyomaték) meghatározására, és számítógépes elemzésére.

A bélyeget széles körben használják pl. erőmérő cellákban és mérlegekben. Más példák terhelés vizsgálatra:

kerékpár kormány



műfogsor



vasúti sín



cső nyomásvizsgálata

