

E11 laboratóriumi mérés – Fizikai Tanszék

Nyúlásmérő elem relatív ellenállás-változása és fajlagos megnyúlása közötti összefüggés meghatározása

1. A mérés célja, elve

A rugalmas testek deformációja során az anyagban keletkező mechanikai feszültségek a test több fizikai tulajdonságát is nagy mértékben megváltoztatják. Fémek esetén például az adott fémtest ellenállása is erősen függ annak deformáltságától.

A test deformációját többféleképpen is jellemezhetjük, nekünk ezen mérés során a fajlagos megnyúlás lesz a deformációt jellemző mennyiségünk. Ezt kell összehasonlítani a relatív ellenállás-változással (a deformálatlan állapothoz képest).

A mérés feladata a fenti két mennyiség között fennálló összefüggés mérése, ábrázolása és jellemzése.

2. Elméleti és technikai leírások

Az alábbi rövid összefoglalás nem az elméleti anyag részletezését célozza, pusztán emlékeztető az előadásokon és gyakorlatokon tanultakra, illetve bemutatjuk azok technikai alkalmazásait. Kiegészítésként szerepelni fog a fajlagos megnyúlás meghatározása és kiszámításának módja is.

Az egyes alfejezetekben szereplő, aláhúzott, vagy bekeretezett részek, illetve a mérések kapcsolási rajzai a laboratóriumi mérések beugró dolgozataiban számon kérhetőek.

2.1. Fajlagos megnyúlás kiszámítása

A mérés során egy meghatározott méretű fémlap deformációjának mértékét kell mérni. A mérési összeállítás leírásánál ez részletesen szerepelni fog. Azonban a mért mennyiség nem a fajlagos megnyúlás lesz, hanem a fémlap adott pontjának a fémlapot feszítő csavar által létrehozott lehajlását.

A lehajlás nagyságát f -el jelöljük, ez lesz a közvetlenül mért mennyiség. Az ε fajlagos megnyúlást ebből a következő képlettel számolhatjuk ki:

$$\varepsilon = \frac{v}{l^2} \cdot f,$$

ahol v és l a fémlap méretei, vagyis $v = 4\text{mm}$, illetve $l = 105\text{mm}$. Ezen adatok behelyettesítése és az f lehajlás pontonkénti mérése segítségével minden mérési pontban kiszámítható a fajlagos megnyúlás.

A kísérleti elrendezésben a fémlapon két bélyeg található, egy az alsó, egy pedig a felső felületén. A felső a mérés során rövidülést szenved (vagyis $\varepsilon < 0$), míg az alsó megnyúlik (vagyis $\varepsilon > 0$). Ezt minden mérési pontban fontos figyelembe venni.

2.2. A relatív ellenállás-változás kiszámítása

A mérés során a fémlapon elhelyezett bélyegek által mérhető ellenállásértékeket tudjuk megmérni Wheatstone-híddal (lásd következő alfejezet). Ebből még ki kell számítani a relatív ellenállás-változást. Ha R_0 -val jelöljük a nyújtatlan állapothoz ($f = 0$) tartozó ellenállást (ezt külön mérni kell), és egy adott f lehajlás esetén a mért ellenállás R_x , akkor az ellenállás megváltozása

$$\Delta R_x = R_x - R_0,$$

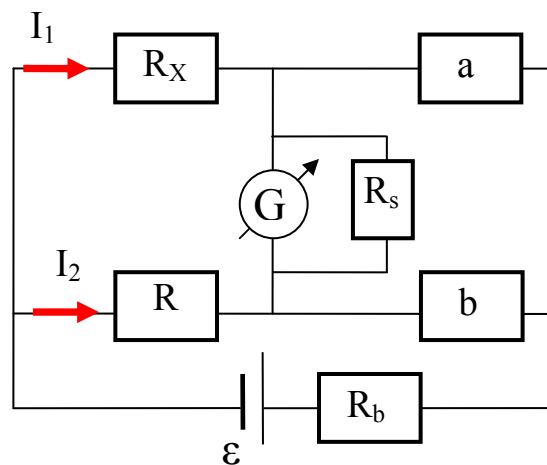
és ebből a relatív ellenállás-változás a

$$\frac{\Delta R_x}{R_0} = \frac{R_x - R_0}{R_0}$$

összefüggéssel számítható ki. Jól látható, hogy ha az ellenállás növekszik, a relatív ellenállás-változás pozitív lesz, ha viszont csökken, akkor negatív értéket vesz fel.

2.3. Ellenállásmérés Wheatstone-híddal

Egy adott áramköri elem ellenállását az alábbi kapcsolásban tudjuk mérni (ezt nevezzük Wheatstone-hídnak). A kapcsolási rajz a beugró dolgozatban számonkérhető.



1. ábra Ellenállás mérése Wheatstone-híd kapcsolással

A hídkapcsolásban R_x az ismeretlen, mérendő ellenállás, R értékét szabályozni tudjuk. G jelöl egy érzékeny áramerősség-mérő műszert, úgynevezett galvanométert (ennek elhelyezkedése miatt nevezzük a fenti elrendezést hídkapcsolásnak). Az R_b ellenállás a feszültségforrás belső ellenállása, míg R_s a galvanométerre kapcsolt söntellenállás.

Az elrendezést összeállítva általában a G galvanométeren áram fog folyni. Azonban az R ellenállást addig szabályozhatjuk, amíg a híd árammentes nem lesz, $I_G \approx 0$. Ekkor a Wheatstone-híd kiegyenlített állapotban van. A kiegyenlített állapotra felírhatóak az alábbi hurokegyenletek:

$$I_1 R_x - I_2 R = 0 \text{ és } I_1 a - I_2 b = 0$$

Ezek alapján kiszámíthatjuk az ismeretlen ellenállás értékét:

$$R_x = R \cdot \frac{a}{b}$$

Ennek az eredménynek a felhasználásával az ellenállásmérés egyszerű. Az ismeretlen ellenállást bekötjük a Wheatstone-híd megfelelő bemenetére, az állítható ellenállást addig változtatjuk, amíg a hidat ki nem egyenlítjük, majd leolvassuk az egyes ellenállások értékét, amelyekből egyszerűen számolható R_x .

3. A mérés módszere

Az első mérési feladat a felső bélyeg által mérhető ellenállásértékek mérése különböző lehajlású pontokban, majd ugyanezt kell végrehajtani az alsó bélyeggel is. A folyamatosan, pontonként beállított f

értékekhez leolvassuk az R_x ellenállás értékét a Wheatstone-híd segítségével, majd ezekből kiszámítjuk az ε fajlagos megnyúlást, illetve a relatív ellenállás-változást.

Az így megadott pontokat a felső és az alsó bélyegre külön-külön ábrázolhatjuk, és az így elkészült ábrák mutatják meg, hogy a kettő hogyan függ egymástól, vagyis hogy a

$$\frac{\Delta R_x}{R_0} = g(\varepsilon)$$

függvény milyen alakú.

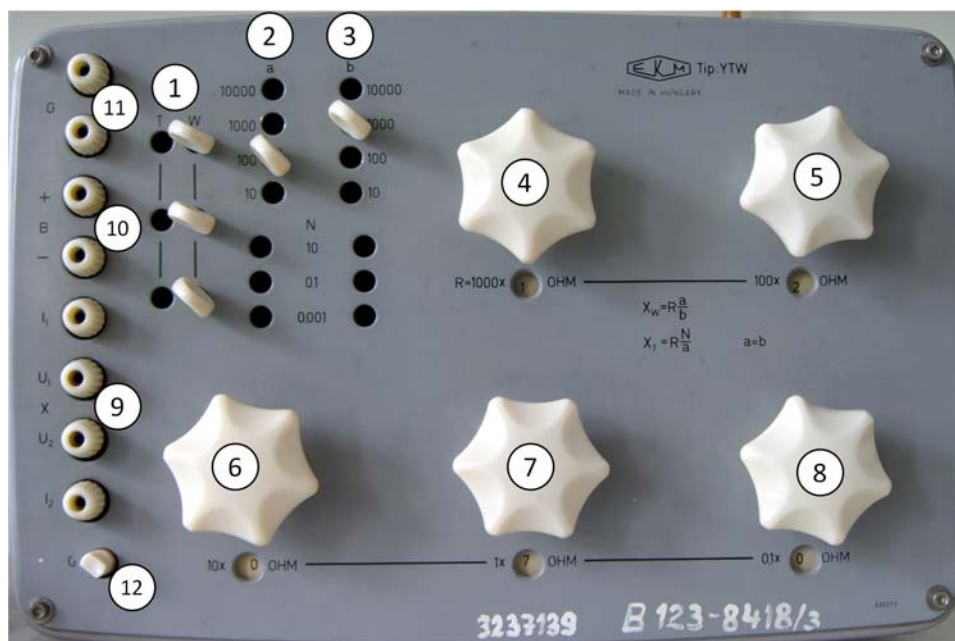
A Wheatstone-híddal történő ellenállásmérést kétféleképpen tudjuk elvégezni. Az első eset – amely az elméleti leírásban is szerepel – a galvanométeren átfolyó áram erősségének mérésével valósul meg. Ekkor a híd kiegyenlítése az áramerősség 0A-re történő beállítását jelenti.

A másik módszer, hogy a mérőberendezésen (ekkor ez már nem egy galvanométer) eső feszültséget mérjük. Ha a feszültségesés 0V a berendezésen, akkor nyilván áram sem folyik rajta, vagyis a híd 0V-os feszültség mérése esetén van kiegyenlítve. A laboratóriumban használt mérőeszköz ez utóbbit pontosabban hajtja végre, ezért a mérés során mi is ezt az utat követjük, vagyis a hidat nem az áramerősség mérésével, hanem feszültségmérés segítségével egyenlítjük ki.

4. A mérés folyamata

4.1. A kapcsolás összeállítása

A kapcsolás összeállításánál a Wheatstone-híd áll a középpontban:



1. kép A Wheatstone-híd

- 1 – A híd-típusok közti kapcsolók. Ezeknek W állásban kell lennie.
- 2 – az a ellenállás beállítására alkalmas sor – ezt a 100-as állásra kell állítani
- 3 – a b ellenállás beállítására alkalmas sor – ezt a 1000-es állásra kell állítani
- 4, 5, 6, 7, 8 – a változtatható R ellenállás 1000 Ω -os, 100 Ω -os, 10 Ω -os, 1 Ω -os és 0,1-os osztása
- 9 – Ezen két pont közé kell bekötni a mérendő R_x ellenállásokat (alsó és felső bélyeg)
- 10 – Ezen két pont közé kell bekötni a feszültségforrást (pozitív a pozitívba, negatív a negatívba)
- 11 – Ezen két pont közé kell bekötni a mérőműszert (negatív a földre, pozitív a mérendő pontra)
- 12 – Ezzel a gombbal (G jelzés) lehet a mérőműszert a hídba bekapcsolni

Fontos megemlíteni, hogy ezen Wheatstone-híd esetében az állandónak tekintett a és b ellenállások is változtathatóak, bár nagyon szűk keretek között. A tűskék beállításakor különböző a/b arányokat hozhatunk létre, így több különböző aránypár esetén végrehajtott mérés átlagolásával a mérés pontosságát növelhetnénk (erre az idő hiányában nem lesz mód) – a híd belső felépítéséből származó hibákat lehet így kiküszöbölni. Azonban ezeknek az ellenállásoknak a változtatása nem része a híd kiegyenlítési folyamatának, azt az R ellenállás változtatásával kell elérni.

Az alkalmazott tápegység egy iker-tápegység, amelynek mindkét oldala autonóm módon működik. Az egyes mérőhelyeken csak az egyik vagy másik felét kell használni. Működtetéséhez az alábbiakat kell tudni:



2. kép A mérés során alkalmazott tápegység előlapja

- 1 – A tápegység kimenetének pozitív pólusa
- 2 – A tápegység kimenetének negatív pólusa
- 3 – A feszültség változtatását biztosító potméter (nem szabad változtatni!)

A méréshez galvanométer helyett egy többfunkciós mérőeszközt használunk, amely nagyban pontosítja a mérési folyamatot.



3. kép A mérőeszköz előlapja

- 1 – A mérőműszer „föld” pontja – ide kell a híd egyik sarkát kötni
- 2 – A mérendő pont aljzata – ide kell kötni a híd másik sarkát
- 3 – A mérés típusát és méréshatárát változtató kapcsoló

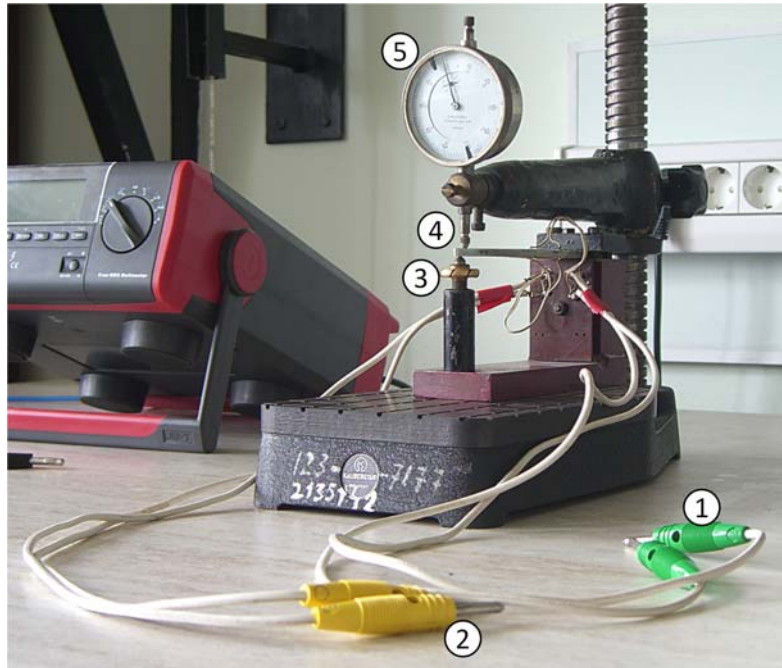
A mérőeszköz központi kapcsolója a hátlapján található, azzal kapcsolható be a berendezés.

A mérési összeállításra a központi feszültséget a gyakorlatvezető az áramkör ellenőrzése után kapcsolja rá.

A központi feszültség bekapcsolása után a mérőeszköz áram alá helyezésével kezdődhet a mérés a 4.3. és 4.4. alfejezetek lépései szerint.

4.2. A lehajlás változtatásának módja, f leolvasása

A mérendő fémlap befogását, és a precíziós elmozdulás-mérőt mutatják az alábbi ábra. A vizsgált fémlap f lehajlását ennek az elmozdulás-mérőnek a segítségével tudjuk beállítani precízen (a lehajlás értéke megegyezik a fémlap végén mért elmozdulás értékével).



4. kép A mérés alapját képező fémlap, és az elmozdulás-mérő

- 1 – A felső bélyeg kimenete
- 2 – Az alsó bélyeg kimenete
- 3 – A megnyúlást beállító csavar
- 4 – Az elmozdulás-mérő tuskéje
- 5 – Az elmozdulás-mérő számlapja

Első lépésben az elmozdulás-mérőt a feszítetlen állapotban 0 elmozdulás értékre kell beállítani (ez tartozik a 0 lehajlás értékhez). Ehhez a mérőeszköz számlapját kell az 5. képhez hasonlóan beállítani úgy, hogy a mutató 0-t mutasson. Ezután a mérési sorozat lezárásáig nem szabad állítani a számlapon!



5. kép Az elmozdulás-mérő 0-ra állítása



6. kép Az lehajlás értékének beállítása

Ezután minden lépésben be kell állítani az új lehajlás értéket. Ezt a megnyúlást beállító csavarral tesszük, a 6. kép alapján. Addig tekerjük, míg a kívánt elmozdulás-értéket el nem érjük.

A számlapon egy osztás 0,01 mm-nek felel meg, vagyis a 0,5 mm-es változtatás a mutató fél fordulatát jelenti a számlapon (50 osztás). Ekkor a beállított f értéke leolvasható.

4.3. A nyújtatlan helyzet R_0 ellenállásának mérése

1. Ellenőrizzük, hogy az a ellenállás a 100-as értékre, a b ellenállás pedig az 1000-es értékre van beállítva!
Megjegyzés: az a/b arány így a mérés során végig 0,1.
2. Az R változtatható ellenállás értékét 1000 Ω -ra állítsuk be!
3. Ellenőrizzük, hogy a fémlap nincs megfeszítve!
4. Ebben az állásban állítsuk az elmozdulás-mérőt 0-ra!
5. Ebben a helyzetben mérjük meg az ellenállást az alábbi lépésekben:
 - a. Ellenőrizzük, hogy a mérőberendezés feszültségmérésre van állítva, 1V nagyságrendben. Ez a kapcsoló (3. kép 3. pont) bal szélső állása.
 - b. A „G” jelzésű gombbal (1. kép, 12. pont) az áramkörbe kapcsoljuk a mérőeszközt.
 - c. R változtatásával kiegyenlítjük a hidat, vagyis úgy állítjuk be, hogy a mérőeszköz 0V feszültséget mutasson.
 - d. Ha már 0V-ot mutat a mérőberendezés, átváltunk mV-os mérésre (a pontosabb eredmények érdekében), a mérőműszer kapcsolójának (3. kép 3. pont) elfordításával.
 - e. Tovább pontosítjuk a híd kiegyenlítését úgy, hogy a mérőeszköz 0mV-ot mutasson.
 - f. Leolvassuk és rögzítjük az R ellenállás értékét.
 - g. Kiszámoljuk R_0 értékét.

4.4. Az ellenállás-értékek mérése adott lehajlásoknál

1. A 4.2. pontnak megfelelően beállítjuk az előzőnél 0,5 mm-el nagyobbra (visszafelé mérve kisebbre) a lehajlás értékét.
2. Feljegyezzük f aktuális értékét.
3. Az alábbi pontokat követve megmérjük és leolvassuk az adott lehajláshoz tartozó ellenállás értékét majd kiszámoljuk R_x -et.
 - a. R változtatásával kiegyenlítjük a hidat, vagyis úgy állítjuk be, hogy a mérőeszköz 0 mV-t mutasson.
 - b. Leolvassuk és rögzítjük az R ellenállás értékét.
 - c. Kiszámoljuk R_x értékét.

Fontos: minden mérési pont esetén ellenőrizzük le, hogy az elmozdulás-mérő tűskéje a neki kiképzett vajatban van-e. Ez különösen fontos nagy elmozdulás értékek esetén.

A fenti lépéseket ismételjük 0,5 mm-es elmozdulásonként addig, amíg legalább 14 mérési pontot kapunk.

A mérés teljes folyamatát kétféleképpen lehet elvégezni, a két változat között a gyakorlatvezető dönt!

1. változat

Ebben az esetben a felső és az alsó bélyeget külön-külön oda-vissza végig kell mérni, vagyis a maximális kitérés elérése után visszafelé haladva 0,5 mm-enként újra meg kell mérni az ellenállás-értékeket.

Ekkor a jegyzőkönyvbe a két mért érték mellett az átlaguknak is szerepelni kell, és a kiértékelést az átlagolt eredményekkel kell végezni.

2. változat

Ebben az esetben mindkét bélyeget csak az egyik irányban (növekvő vagy csökkenő f) kell megmérni.

4.5. A mérés után

A mérési feladatok elvégzése után ellenőrizni kell, hogy a mérőeszköz V nagyságrendű mérésre van-e visszaállítva, illetve a hídról lekapcsoltuk a mérőműszert (vagyis a „G” jelzésű gomb fel van engedve). Ezután a tápegységet és a mérőeszközt ki kell kapcsolni. Csak ezek elvégzése után lehet szétszedni az összeállított áramkört, az egyes áramköri elemeket rendezetten elhelyezve.

6. Kiértékelés, számolások, tapasztalatok

A kiértékelés első szakaszában segít az alábbi táblázat-minta. Ennek segítségével a mért és feljegyzett f , R_0 és R_x értékekből, illetve a megadott v és l segítségével meghatározhatók az ε fajlagos megnyúlás és a relatív ellenállás-változás.

A kiértékelés második szakaszában a kapott eredményeket kell ábrázolni koordináta-rendszerben. A felső és az alsó bélyeg ábráját ugyanarra a koordináta-rendszerre kell felvenni, így két különböző görbét kapunk. A koordináta-rendszer vízszintes tengelyén az ε fajlagos megnyúlás szerepel, és az ezekhez tartozó relatív ellenállás-változás értékeket kell a függőleges tengely mentén felvenni.

A koordináta-rendszeren látszódnak a mért pontok értékei!

Az átláthatóság kedvéért javasoljuk, hogy a koordináta-rendszerben szereplő értékeket szorozzuk meg 10^4 -el, és úgy ábrázoljuk az eredményeket.

7. A jegyzőkönyv elkészítésének specifikumai

A jegyzőkönyvnek az általános szabályokon túl az alábbiaknak kell megfelelni:

- A kapcsolási rajzot az elméleti anyag alapján kell beilleszteni.
- A jegyzőkönyvnek a mérés általános leírásánál tartalmaznia kell az a és b ellenállás-értékeket, illetve v és l nagyságát (lásd mérés-leírás)
- A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a mintatáblázat minden oszlopának eredményeit.
- A mért eredményeket a bemutatott táblázat formájában kell beilleszteni.
- Amennyiben az oktató kérésére a mérést mindkét bélyeg esetén f növelésével és csökkentésével egyaránt el kell végezni, akkor a jegyzőkönyvnek az egyes mérési pontok egyik, illetve másik R_x értéket is tartalmaznia kell, az alábbi táblázatba az átlagolt eredmények kerüljenek.
- A két függvényt (alsó és felső bélyeg) ugyanazon az ábrán, ugyanabban a koordináta-rendszerben felrajzolva kérjük leadni.

	f (mm)	R (Ω)	$R_x = R \cdot \frac{a}{b}$	$\Delta R_x = R_x - R_0$	relatív ellenállás-változás $\frac{\Delta R_x}{R_0} = \frac{R_x - R_0}{R_0}$	fajlagos megnyúlás $\varepsilon = \frac{v}{l^2} \cdot f$
nyújtat -lan	0		$R_0 =$			0
1. pont						
2. pont						
3. pont						
4. pont						
5. pont						
6. pont						
7. pont						
8. pont						
9. pont						
10. pont						
11. pont						
12. pont						
13. pont						
14. pont						

	f (mm)	R (Ω)	$R_x = R \cdot \frac{a}{b}$	$\Delta R_x = R_x - R_0$	relatív ellenállás-változás $\frac{\Delta R_x}{R_0} = \frac{R_x - R_0}{R_0}$	fajlagos megnyúlás $\varepsilon = \frac{v}{l^2} \cdot f$
nyújtat -lan	0		$R_0 =$			0
1. pont						
2. pont						
3. pont						
4. pont						
5. pont						
6. pont						
7. pont						
8. pont						
9. pont						
10. pont						
11. pont						
12. pont						
13. pont						
14. pont						