

# E8 laboratóriumi mérés – Fizikai Tanszék

## Germánium-dióda nyitóirányú karakterisztikájának felvétele

### 1. A mérés célja, elve

A diódák olyan eszközök, amelyeknek a viselkedése nagyban függ attól, hogy a feszültséget milyen polaritással kapcsoljuk rájuk. Anyaguk különféle félvezetőkből lehet, a jelen mérésben Germánium (Ge), amelyből két, különbözőképpen működő réteget helyezünk egymásra. A mérési leírásban ennél mélyebben a működés alapelveibe betekinteni nem tudunk, azonban ezen eszközök viselkedéséről mindenképpen szót kell ejtenünk.

A dióda, ha megfelelő polaritással kötjük rá a feszültséget, egészen kis feszültség hatására is nagy áramerősséget enged át. Az ilyen bekötést nevezzük „nyitóirány”-nak. Ebben a szakaszban a karakterisztika egy „lapos” függvény, hiszen kis feszültség-változás hatására is nagy áramok folynak át a diódán (vagyis ilyen irányban nagyon kicsi az ellenállása). Ezen felül fontos még megemlíteni, hogy a nyitóirányú karakterisztika nem lineáris, vagyis nem igaz az Ohm-törvény.

Egy adott áramerősség felett azonban a dióda túlmelegszik, és tönkremegy. Ennek elkerülése végett alkalmazhatunk védőellenállást, vagy akár erőteljes hűtést is. Az előbbi megoldás csak a kétpólusra kapcsolható feszültség értékét engedi nagyobbnak, mint önmagában a diódáét, a hűtés azonban a diódán áthaladó maximális áramerősséget is növeli. A mérés során, mivel célunk pusztán a dióda alapvető viselkedésének bemutatása, védőellenállás segítségét fogjuk igénybe venni.

Ellentétes polaritással bekötve a dióda egészen magas feszültségig sem enged át számottevő áramot, egészen addig, amíg el nem érünk egy küszöbfeszültséget. E fölött hirtelen megnő az átfolyó áram erőssége, és a keletkező hő hatására a dióda tönkremegy. Ezt az irányt hívjuk záróiránynak.

A diódát a megfelelő küszöbértékek között tartva olyan eszközt kapunk, amely adott polaritású feszültség hatására nagy áramot enged át (nyitóirány), ellenkező polaritású esetén pedig nagyon kicsit (záróirány). Emiatt ezek az eszközök folyamatosan váltakozó polaritású feszültségek esetén (váltófeszültség, négyszögjel, stb.) egyenirányításra alkalmasak: csak az egyik polaritást „engedik át”.

A mérés célja ezen működési sajátosságok bemutatása, amely a védőellenállás és a germánium-dióda feszültség-áram karakterisztikájának felvételével és értékelésével történik.

### 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.

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

#### 2.1. Az Ohm törvény integrális alakja

A tapasztalat szerint egy homogén vezetőben folyó áram  $I$  erőssége arányos a vezető két sarka közötti  $U$  feszültséggel. Az arányossági tényezőt ellenállásnak nevezzük,  $R$ -rel jelöljük, mértékegysége az Ohm ( $\Omega$ ):

$$R = \frac{U}{I}$$

Az Ohm-törvény fontossága – bár hatóköre erősen korlátozott – számunkra elsősorban az, hogy a karakterisztikák mérésekor a referenciaként alkalmazott konduktív ellenállásokra nagy pontossággal igaz. Így azoknak az áramköri elemeknek a pontos működését, amelyekre a fenti arányosság nem igaz – esetünkben a diódára – szemléletesebben és pontosabban tudjuk megvizsgálni.

## 2.2. Az áramköri elemekre kapcsolható maximális feszültség és áramerősség

Az egyes áramköri elemek mindegyike tönkremegy, ha túlságosan nagy feszültséget vagy áramot kapcsolunk rá. A pontos határértékek meghatározása a mérés előkészítésének egyik legfontosabb feladata. Amellett, hogy a mérőműszerek méréshatárának beállításakor ezek az információk elengedhetetlenek, balesetvédelmi szempontból is fontos tudni, hogy a vizsgált áramköri elemek mekkora feszültséggel és áramerősséggel terhelhetők.

Azonban nem minden elemnek vannak ezek az információk megadva. Gyakori, hogy az ellenállás, illetve a maximális teljesítmény van megadva, de ezek bármelyikét helyettesítheti a maximális feszültség, ritkábban a maximális áramerősség mértéke.

Ezek a mennyiségek azonban könnyedén kiszámolhatóak egymásból, figyelembe véve, hogy a stacionárius áram teljesítménye

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Ez alapján a maximális feszültség, a maximális ellenállás, és a maximális teljesítmény az alábbi összefüggéseken keresztül számolhatóak ki egymásból:

$$P_{\max} = U_{\max} I_{\max} = I_{\max}^2 R = \frac{U_{\max}^2}{R}$$

## 2.3. Áram- és feszültségmérés

A mérések során különböző áramkörök összeállítására lesz szükség. Gyakran kell majd áramerősséget és/vagy feszültséget mérni, sőt, a karakterisztikák mérésének éppen ez a legfontosabb módszere.

Az áramkörökben szereplő feszültség- és áramforrások valóságos forrásnak tekinthetők, technikai adataikban azonban már figyelembe van véve azok belső ellenállása. Azonban az előfordulhat, hogy a mérőberendezés aktuális állapota, vagy bizonyos környezeti tényezők miatt mégsem pontosan azonosak az eszköz leírásában szereplő üzemi adatok a valósággal. Ezért lesz fontos a feszültségek és áramerősségek együttes mérése.

Egy adott áramköri elem első feszültség méréséhez a feszültségmérőt párhuzamosan kell kapcsoljunk, a rajta átfolyó áramerősség mérésekor az áramerősség-mérő eszközt sorosan kell kapcsolnunk a vizsgált áramköri elemmel.

Mi azonban a két mennyiséget egyidejűleg szeretnénk mérni. Erre kétféle megoldást választhatunk:



**1. ábra** Az áramerősség és a feszültség együttes mérésére alkalmas áramköri kapcsolások.

Bal oldalon a szövegben szereplő 1. eset, jobb oldalon a 2.

Mindkét esetben a mérés pontatlansággal terhelt. Amikor a feszültséget úgy mérjük, hogy a feszültségmérőt az ampermérővel is párhuzamosan kötjük be (1. eset), akkor a mért feszültség értékben az ampermérőn eső feszültség is szerepelni fog. Ha pedig az áramerősség-mérőt kötjük sorosan az áramköri elemet és a feszültségmérőt párhuzamos kötésben tartalmazó körrel (2. eset), akkor pedig az áramköri elem és a feszültségmérő összesen átfolyó áramerősséget mérjük.

Ezek azonban nagyon kicsi hatások. A feszültségmérő óriási ellenállása miatt csak nagyon kevés áram folyik át rajta, az ampermérő pedig nagyon kicsi a feszültségesés, mivel egészen kicsi az ellenállása. A mérések során használt áramkörök összeállításánál mi az első változatot követjük, mivel az a megbízhatóbb, vagyis az áramköri elemmel sorosan kapcsolt ampermérővel is párhuzamosan kötjük a feszültségmérő eszközt.

## 2.4. A feszültség- és áramerősség-mérő eszközök méréshatára

A mérés során olyan feszültségmérő eszközt használunk, amely méréshatára változtatható. A megfelelő méréshatár beállítása a mérés elvégzésének fontos része.

A méréshatár optimális beállításához először szükség van a vizsgált áramköri elemre kapcsolható maximális feszültség és áramerősség értékekre. Ezekhez képest a méréshatárt lehet a maximális érték közvetlenül alá vagy fölé választani (esetleg a két módszert kombinálni). Ezen alfejezet végén ezek a lehetőségek részletesen kitérőre kerülnek.

De először tekintsük át, hogy adott méréshatár beállítása esetén hogyan működik a mért értékek leolvasása, és azok alapján a valóságos értékek kiszámítása.



1. kép Feszültségmérő eszköz



2. kép Adott méréshatárra beállított feszültségmérő

Az 1. képen egy feszültségmérő eszköz látható. Jól látható az eszköz pozitív és negatív pólusa, illetve a felső szekcióban a méréshatár beállítására szolgáló lyukak. A méréshatár (vagyis a végkitéréshez tartozó feszültségérték) beállítása (lásd a 2. képen) egy tűske segítségével történik.

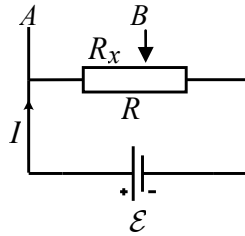
A beállított méréshatár a maximálisan mérhető feszültséget jelenti. A 2. képen szereplő példában ez 7,5V. Ez annyit jelent, hogy a mérőberendezés végkitérése (vagyis a 150-es osztáspont) 7,5V feszültségnek felel meg. Vagyis egy skálaosztás  $7,5V/150=0,05V$ -nak felel meg. A példában beállított 90-es osztás tehát  $90*0,05V$ -nak, vagyis 4,5V-nak felel meg a valóságban.

Általánosságban tehát az alábbi összefüggés szerint számolhatóak ki a valóságosan mért adatok:  
$$U_{\text{valós}} = U_{\text{osztás}} * U_{\text{max}} / 150.$$

Az áramerősség-mérő esetében hasonló elvek érvényesülnek a méréshatár beállításakor.

## 2.5. Feszültségosztó (potenciométeres) kapcsolás

A méréshez viszont nem csak a két mennyiség együttes mérésére lesz szükségünk, a feszültséget folytonosan változtatnunk kell, hogy megmérhessük, hogy különböző feszültség értékekhez milyen átfolyó áramerősségek tartoznak. Vagyis egy fix feszültségű forrás segítségével változtatható feszültséget kell előállítanunk. Ezt a feladatot valósíthatjuk meg feszültségosztó kapcsolás segítségével, amelynek lényege egy olyan áramköri elem, amelynek változtathatjuk az ellenállását:



**2. ábra** Potenciométeres kapcsolás

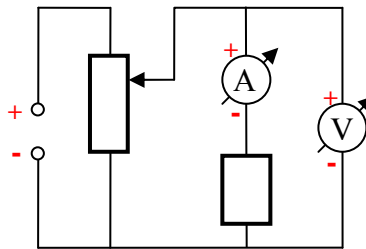
A főkörben folyó áramerősség természetesen  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$ , így az  $R_x$  ellenálláson eső feszültség:

$$U_{AB} = R_x I = \mathcal{E} \frac{R_x}{R}$$

A terheletlen potenciométer két kapcsán (A és B ponttal jelzett) megjelenő feszültség lineáris függvénye az  $R_x$  ellenállásnak, és  $0 \leq U_{AB} \leq \mathcal{E}$ . Így állíthatunk elő manuálisan változtatható feszültséget akkor is, ha a forrásunk állandó feszültséget biztosít számunkra.

### 2.6. karakterisztika méréséhez a mérési összeállítás

A fentiek alapján az áramköri elemek karakterisztikájának mérése során az alábbi áramköri kapcsolást alkalmazzuk:



**3. ábra** A feszültség és áramerősség együttes mérésére alkalmas áramköri kapcsolás

Ennek a kapcsolásnak köszönhetően tudjuk a vizsgálandó áramköri elemek karakterisztikáját mérni, vagyis minden feszültség értékhez meg tudjuk határozni, hogy mekkora az átfolyó áram erőssége, és viszont. Az áramkörben a feszültséget az áramerősség-mérő folyamatos ellenőrzésével állíthatjuk be úgy, hogy az meghatározott lépésközzel változzon, majd ez után kerül sor az átfolyó áramerősséghez tartozó feszültségérték leolvasására.

A fenti kapcsolási rajz a mérés előtt számonkérhető!

### 3. A mérés módszere

A mérés elsődleges célja a germánium dióda nyitóirányú működésének vizsgálata a feszültség-áram karakterisztika felvételével. Mivel a diódán már egészen kis feszültség hatására is nagy áram folyik, féltő, hogy a nem megfelelően finom beállítások miatt a dióda tönkremegy a keletkező hő miatt. Ezért a dióda karakterisztikáját egy védőellenállás (ez egyszerű, az Ohm-törvénynek megfelelően működő, úgynevezett konduktív ellenállás) soros kötésű beiktatásával oldjuk meg. Így a kétpólusra adott feszültség nagy része a védőellenálláson esik, ami a diódán eső feszültség finomabb szabályozását teszi lehetővé.

Ahhoz, hogy a germánium-dióda karakterisztikáját fel tudjuk rajzolni, szükségünk lesz a konduktív ellenállás saját karakterisztikájára is. Az ellenállás és a dióda közös karakterisztikájából ennek segítségével tudjuk meghatározni a diódára jellemző mérési pontokat.

A mérés első részében a konduktív ellenállás karakterisztikája kerül felvételre, vagyis egyenletesen választott áramerősség értékekhez mérjük a feszültség értékét. Ez adja az  $U_R(I)$  függvény pontjait. A második részben ugyanezekhez az áramerősség értékekhez mérjük az ellenállással sorosan kapcsolt germánium-dióda feszültségét, ami az  $U_{összes}(I)$  függvény pontjait adja majd.

A fenti függvények ismeretében (mivel soros kapcsolás esetén a feszültségértékek összeadódnak) a dióda karakterisztikájának egyes pontjai már meghatározhatóak, minden adott  $I$  áramerősség-értékhez kiszámolva az

$$U_{dióda}(I) = U_{összes}(I) - U_R(I)$$

feszültségértéket.

A karakterisztika együttes feszültség és áramerősség-mérés során valósul meg, amelyben a feszültség változtatása feszültségosztó beiktatásával történik.

A mérés része továbbá megtekinteni a dióda záróirányú működését (részletesebben lásd az 5.3. alfejezetben).

#### 4. Előkészítő számítások

A konduktív ellenálláson közölt technikai adatok alapján ki kell számolni az elemre kapcsolható maximális áramerősséget és feszültséget.

A számítások és az eredmények szerepeljenek a jegyzőkönyvben!

Bár a számolások elvégzése kötelező, és azoknak a jegyzőkönyvben szerepelnie kell, a méréshatárokat nem ennek megfelelően állítjuk be. Ennek oka az, hogy a méréshatárt a dióda működésének határértékei határozzák meg, és a mérés jellegéből fakadóan a konduktív ellenállás karakterisztikáját sincs értelme ennél szélesebb határok között megmérni.

Továbbá, az analóg mérőműszerek a mérési tartomány felső kétharmada körül mérnek pontosan, így egyébként is a számolt értékek alá érdemes választani a mérőeszközök méréshatárát. Ezért az alábbiakna megfelelően kell beállítani a mérési határokat.

Azonban ez a számolás alapja egy fontos ellenőrzésnek is. Ugyanis hiába adottak a dióda tulajdonságai, ha a vele sorba kapcsolt védőellenállás nem bír akkora terhelést, ugyanúgy tönkremegy. A kiszámolt maximális feszültség és áramerősség értékek mentén ellenőrizni kell, hogy az alábbi méréshatár-beállítás megfelel-e a védőellenállásnak is.

A mérés során a feszültségmérőt 3V-ra, az áramerősség-mérőt 0,3A-re kell beállítani.

#### 5. A mérés folyamata

A mérés során a konduktív ellenállás és a sorosan kapcsolt ellenállás+dióda közös karakterisztikájának a felvétele a feladat. Ehhez az alábbi folyamatot először az ellenállás esetében kell elvégezni, majd a tápegység lekapcsolása és az új áramkör összeállítása után a tápegység újbóli bekapcsolásával következik a folyamat végigvitele az ellenállás és az azzal sorba kötött germánium-dióda esetében is.

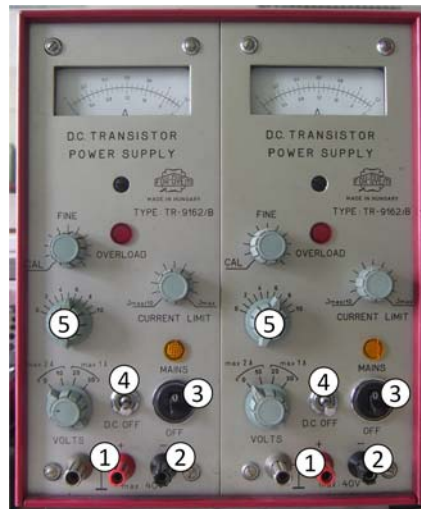
##### 5.1. A kapcsolás összeállítása

A mérés elvégzéséhez a 3. ábrán látható kapcsolást kell összeállítani. Az első esetben a mérendő áramköri elem a konduktív ellenállás, a második esetben az ellenállás és a germánium-dióda sorosan kapcsolva. Fontos figyelni a képeken mutatott polaritást is!



**3. kép** A karakterisztikák méréséhez így kell bekötni a kétpólust.  
Bal oldali kép – ellenállás, jobb oldali – dióda és ellenállás.

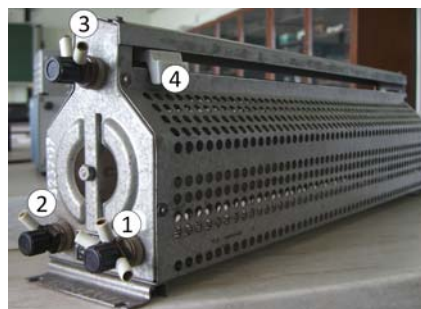
Az alkalmazott tápegység egy iker-tápegység, amelynek mindkét oldala autonóm módon működik. Az egyes mérőhelyeken csak az egyik vagy másik felét kell használni:



**4. kép** A mérés során alkalmazott tápegység előlapja

- 1 – A tápegység kimenetének pozitív pólusa
- 2 – A tápegység kimenetének negatív pólusa
- 3 – Központi kapcsoló
- 4 – Az egyenfeszültség áramkörre adásának kapcsolója
- 5 – A leadott feszültség beállítására használt kapcsoló (a mérés során erre nincs szükség)

A feszültségosztó kapcsolás összeállításához tolóellenállást használunk. Ennek az áramkörbe kapcsolásához a következőket kell figyelembe venni:



**5. kép** A mérés során használt potenciométerek

- 1 – A feszültségosztónak ezt a pólusát kötjük a tápegység és az áramkör negatív pólusához
- 2 – A feszültségosztónak ezt a pólusát kötjük a tápegység pozitív pólusához
- 3 – Ez a pont a változtatható ellenálláshoz tartozik, ezt kötjük az áramkör pozitív pólusára
- 4 – Ezzel a csúszkával lehet az ellenállás nagyságát, vagyis a feszültség értékét szabályozni

Érdemes az összeállítást a potenciométeres kapcsolással indítani, azt követheti a potenciométer kimenete - mérendő kétpólus – áramerősség-mérő soros kör, és a feszültségmérőt a mérendő kétpólus bemenete és az áramerősség-mérő kimenete közé bekötni.

A feszültség- és áramerősség-mérő berendezések méréshatárait a 4. fejezet instrukciói alapján kell beállítani.

A bekapcsolás előtt ellenőrizni kell, hogy a potenciométer nulla feszültség leadására van-e beállítva!

Szigorúan tilos az áramkörbe a diódát a védőellenállás nélkül bekötni!

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

A központi feszültség bekapcsolása után a tápegység központi kapcsolójának (5. kép 3. pont) képhasználatával, illetve az egyenfeszültséget az áramkörre adó kapcsoló (5. kép 4. pont) felkattintásával kezdődhet a mérés.

## **5.2. A karakterisztikák felvétele**

Az egyes karakterisztikák felvétele során a feszültséget a potenciométer segítségével úgy kell változtatni, hogy az állandó, jól leolvasható áramerősség-értékeket eredményezzen. Ezekhez az áramerősségekhez kell leolvasni a feszültég értékét. A feszültséget zérus értékről növeljük legalább 14 lépésben úgy, hogy se a feszültségmérő, se az áramerősség-mérő ne érje el a végkitérést.

Az első pont maga az origó, vagyis 0A áramerősséghez 0V feszültség tartozik.

A konduktív ellenállás karakterisztikája pontjainak mérése után a feszültségosztó csúszkáját mindenképpen állítsuk vissza alaphelyzetbe, és a tápegységet kapcsoljuk ki! Csak ez után szabad a sorba kapcsolt dióda kapcsolását elkészíteni, majd a tápegység bekapcsolásával a második mérési szakaszt elkezdni.

Mivel a mérés során a feszültségmérőn 3V, az áramerősség-mérőn 0,3A van beállítva méréshatárként, fontos figyelembe venni, hogy a valóságosan mért érték függ az eszköz skálabeosztásától, amit éppen ezek a beállított méréshatárok határoznak meg. Ezért érdemes az eredményeket egy táblázatba beírni. Ennek kinyomtatható változata a mellékletben megtalálható.

A táblázatban az egyes mérési pontoknál a leolvasott skálaosztásokat, és a mérőeszközök méréshatárait kell csak beírni, a tényleges feszültség és áramerősség értékek kiszámítását később is el lehet végezni, bár hasznos azonnal kiszámolni őket, és az eredményeket beírni a táblázat 3.-ik és 6.-ik oszlopába.

A jegyzőkönyvbe a mért eredményeket ezen táblázat formájában kérjük beadni!

## **5.3. Záróirány**

A karakterisztikák felvétele után a mérési feladat része a dióda záróirányú működésének ellenőrzése. Ehhez a diódát a 3. kép jobb oldali képén bemutatottal ellenkező polaritással kell bekapcsolni az áramkörbe.

Ezek után láthatóvá válik, hogy a feszültség növelésével sem folyik számottevő áram a körben, vagyis ilyen polaritással bekötve, a dióda nem enged át áramot. Vigyázni kell azonban, túl magas feszültség rákapcsolása esetén a dióda tönkremehet (lásd az általános leírásban).

## **5.4. A mérés után**

A mérési feladatok elvégzése után a potmétert vissza kell állítani alaphelyzetbe, majd a tápegységet ki kell kapcsolni. Ezek után lehet szétszedni az összeállított áramkört, az egyes áramköri elemeket rendezetten elhelyezve.

## 6. Kiértékelés, számolások, tapasztalatok

A kiértékelés első lépése a konduktív ellenállás karakterisztikájának ábrázolása olyan koordináta-rendszerben, amelynek vízszintes tengelyén az áramerősség szerepel, a függőleges tengelyen pedig a feszültség. Fontos, hogy a feszültség és áramerősség értékek is a valós értékek legyenek, vagyis alkalmazni kell a 2.4. alfejezetben leírt átváltásokat, amelyeket a mérőeszközökön beállított mérés-határ határoz meg.

A germánium-dióda és a vele sorba kötött ellenállás közös karakterisztikáját ugyanabban a koordináta-rendszerben kell ábrázolni.

Az  $U_{dióda}(I) = U_{összes}(I) - U_R(I)$  feszültségértékek kiszámolásával felrajzolható a germánium-dióda nyitóirányú karakterisztikája. Ennek pontjait is ugyanabban a koordináta-rendszerben kell ábrázolni, mint a fenti két esetet, így egy ábrán jól láthatóak lesznek a mérési eredmények és a számolt karakterisztika pontjai is.

## 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 méréshatárokhoz tartozó számolásokat a jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell.
- A mért eredményeket a bemutatott táblázat formájában kell beilleszteni.
- A három karakterisztikát (konduktív ellenállás, sorosan kapcsolt germánium-dióda, és a számolt értékekből a nyitóirányú dióda-karakterisztika) ugyanazon ábrán, ugyanabban a koordináta-rendszerben felrajzolva kérjük leadni.



|          | Mért U | Méréshatár:<br>Max. skálaosztás | Valós U | Mért I | Méréshatár:<br>Max. skálaosztás | Valós I |
|----------|--------|---------------------------------|---------|--------|---------------------------------|---------|
| 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 |        |                                 |         |        |                                 |         |
| 15. pont |        |                                 |         |        |                                 |         |

|          | Mért U | Méréshatár:<br>Max. skálaosztás | Valós U | Mért I | Méréshatár:<br>Max. skálaosztás | Valós I |
|----------|--------|---------------------------------|---------|--------|---------------------------------|---------|
| 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 |        |                                 |         |        |                                 |         |
| 15. pont |        |                                 |         |        |                                 |         |