

1. A látszat olykor csal

Emberi érzékelés kontra műszeres mérés

Először csodálkozunk, majd kérdezzük, később kutatunk.

1. Az ember sajátja, hogy a környezet változásai által keltett ingereket megérzi, felfogja, rendszerezi és megfelelően válaszol rájuk.

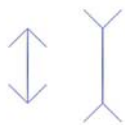
A valóság megismerésének kezdete az érzékelés (érzet), ennek tudati tükröződése az észlelés. Az érzékelt „jelekből” (az ingerekből) a tudat kiszűri a lényegteleneket és csak a (meghatározott szempontok szerinti) lényeget észleli.

Hagyományosan öt érzékszerről beszélünk: látás, hallás, ízézés, szaglás, tapintás. (A „hatodik” érzék valamiféle „megézés” [parapszichológiai jelenség]). Valójában persze több érzékünk van, érzékeljük pl. a fájdalmat, hideget, meleget, testünk helyzetét, az izmok állapotát. Ezeknél nem fejlődött ki elkülönült érzékszerv: a bőrben, izmokban, stb. található idegvégződések szolgálnak felvevőként (ún. test-érzékelés). Az érzékszervek a tárgyak egyes elszigetelt tulajdonságait fogják fel.

Az érzékelési tapasztalat (érzéki „mérés”) a befogadással, a receptornak nevezett idegsejt ingerlésével kezdődik. Az érzékszervek (szenzorok) szelektívek, érzékenységük véges (ún. ingerküszöb), és egy idő után „eltompulnak” az állandóan ható ingerre. Ha az ideg-ingerület létrejött, az egyes érzetek felfogása és értelmezése az agykéregben történik. Ha az ingerület tudatosul, létrejön a felfogás (percepció), amely az ingereknek az egyéni tapasztalatokon alapuló összesítése és értelmezése:

(jel →) érzéklet → (szűrés →) észlelet → képzet → fogalom

Az érzékelés elválaszthatatlan a gondolkodástól. Jóformán csak azt vagyunk képesek



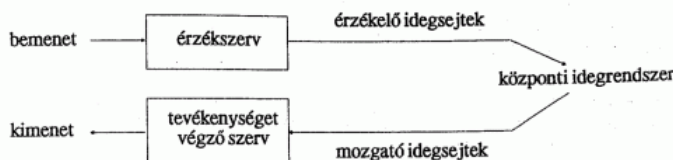
észlelni a környezetünkben, amire van kialakult sémánk. A séma (≈ minta, információk összeszerveződése) kialakulásának pillanata gyakran a hirtelen megértés öröme, az ún. „aha érzés”. A „beugratós” ábránál például az optikai csalódás (félreértett vizuális inger) azért jön létre, mert a látvány egymásnak ellentmondó jeleket tartalmaz, és ilyenkor az „erősebb” jel hatása dominál, még ha tudatunk jelzi is ezt az ellent-

mondást. (Müller-Lyer-illúzió: a függőlegesek hossza *egyenlő*, mégis a baloldali tűnik rövidebbnek, a nyilak helyzete miatt.)

A mai kor trendje (az információ- és rendszerelmélet) szerint: a környezetről nyerhető érzet = *információ*, az élőlény =

információ-feldolgozó rendszer, melynek jellegzetessége az önszervező képesség és a minta-felismerésre való alkalmasság (ez utóbbi tanulással tökéletesedik).

Ha az érzékelés nem megfelelő, vagy a tapasztalat nem elegendő az inger megértésére, a válasz sem lesz tökéletes.



2. Az embert az is jellemzi, hogy érzékszervei mellett eszközeit is felhasználja a különféle információforrások „érzékelésére” (mérésére). A mérőeszközökkel, képletesen szólva, az ember meghosszabbítja érzékszerveit; másrészt átlépi a közvetlen megfigyelés korlátját, amely abból adódik, hogy csak a biológiailag jelentős ingerek felvételéhez szükséges érzékszervei alakultak ki.

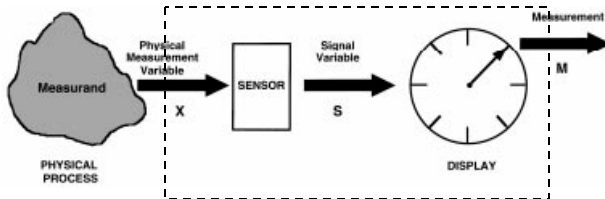
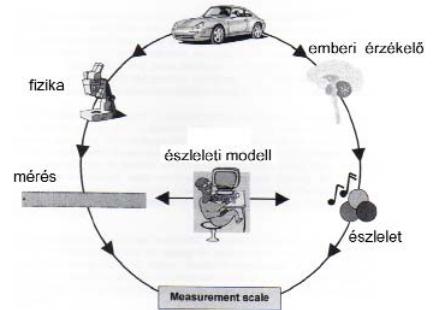
„Szemem, fülem lemond szolgálatáról,
Ha a távolnak kémlen titkait.”
[Madách: Az ember tragédiája, III. szín]

Mivel a közvetlen érzékelésen alapuló ismeret csak kevés tulajdonság (minőség, kvalitás) értelmezéséhez szolgáltat alapot, a mérés a kapocs a jelenségek *valós* világa és a tudás *virtuális* világa között.

A **mérés** az a gyakorlati, eszközt használó művelet (tervszerűen végrehajtott információszerzés), amely egy tulajdonság nagyságához (a mennyiséghez, a kvantitáshoz) *numerikus* adatot (mért értéket) rendel. A számszerű jellemzés megakadályozza az egymáshoz „bármilyen közel” álló minőségek összetévesztését.

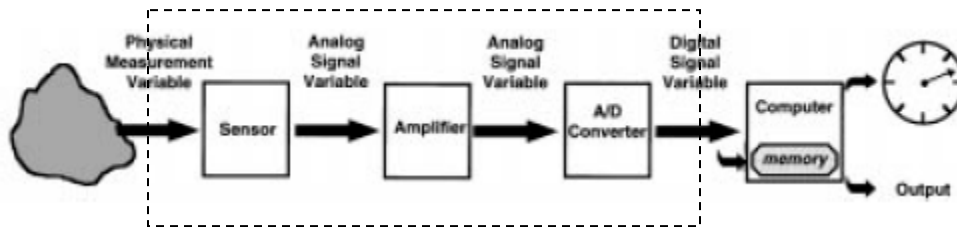
A mérés legyen objektív: csakis a mérendő mennyiségről adjon információt (és azt lehetőleg ne befolyásolja más környezeti hatás), és másoknak is *ugyanazt* jelentse a mérési eredmény.

Ezzel szembeállítható a szubjektív emberi **érzékelés**, amely nemcsak az érzékelt dologról közöl információt, hanem saját észleleti állapotáról is, és más személy ugyanazt egészen eltérően érzékelheti.



Azért szögezzük le: hogyan az érzékelésnél a **szenzor** (az első lépés!) szerepe alapvető, ugyanígy van a mérésnél is! De a szelektív és pontos technikai mérő-érzékelő¹

csakis a mérendőről ad(hat) megbízható információt. Ha a szenzor jele kicsi, akkor azt fel kell erősíteni, és a mai korszerű műszerek a mérőszámot emberi közreműködés (skála-leolvasás) nélkül, automatikusan állítják elő (az ún. A/D² átalakító segítségével).



Az emberiség fejlődése és a technikatörténet – benne a megfigyelés, majd a mérési tevékenység – egymástól elválaszthatatlan. Legfontosabb érzékszerveinkhez a fizika egy-egy ága kapcsolható: látás → fénytán (optika), hallás → hangtan (akusztika), tapintás és mozgásérzékelés → erők és mozgások tana (dinamika, kinematika), hőérzés → hőtan (termodinamika). Ezekhez jön még az elektromosság és a mágnesesség, amelyekhez az

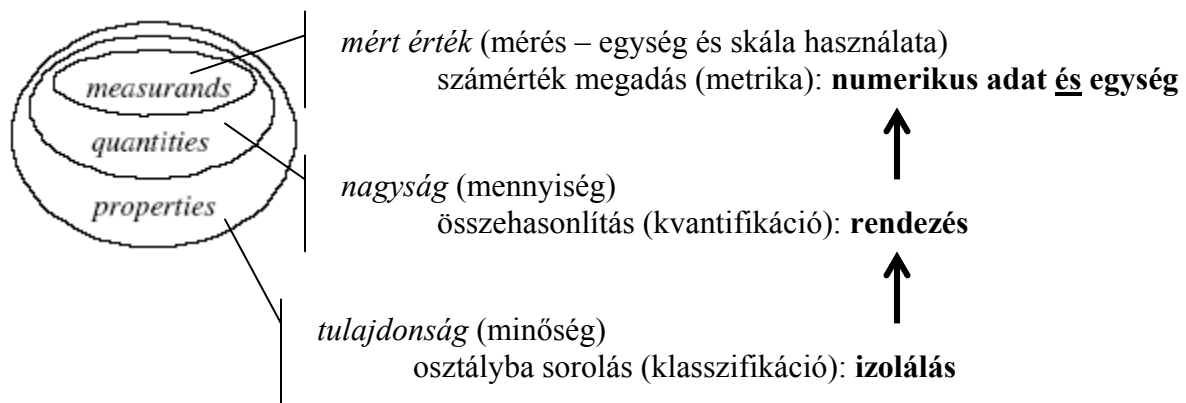
¹ “Szenzor” elnevezés alatt olyan (mérő)átalakítót értünk, amely a mérendő paraméterrel arányos **villamos jelet** produkál (mert a villamos jelek további alakítása, számítógépes feldolgozása minden más eljárásnál kedvezőbb). Van olyan nézet, hogy „a méréstechnika = a szenzorok (mérő-átalakítók) technikája” (mert a többi lépés már az információs technológiai eszközök dolga). A másik véglet: az „érzékelők és műszerek” szétválasztása (persze „villamos jelet mérő” műszerről van szó).

A „mérés” a mérőszám előállítását jelenti, ezért a szenzor és minden, ami ehhez kell (pl. a szenzor-jel kondicionálása, átalakítása, feldolgozása, és emberi megfigyelésnél a mért érték megjelenítése), a mérés része! Ezután a szemlélettől függ vagy praktikus megfontolás motiválja, hogy mit tekintünk még a mérő-eszköz szerves részének.

² **A** = analóg (**jel**: értékben és időben folytonos), **D** = digitális (**adat**: értékben és időben diszkrét)

embernek nincs érzékszerve.³ (Szagló és ízlelő érzékeink viszont kémiai hatásokra reagálnak.) Érzékszerveink sok tekintetben tökéletlenek és a kvantitatív (mennyiségi) kapcsolatok érzékelésére többnyire alkalmatlanok. A fejlődés egyre távolabb vitte az *objektív* fizikát az eredetétől,⁴ az ember *szubjektív* érzéki benyomásaitól. (A fizika többi fejezete: az atom- és kvantumfizika, a relativitáselmélet sem a köznapi tevékenységből, nem a praktikus-empirikus ismeretekből nőtt ki.) A természettudományok – és így a fizika – egy-egy ága speciális mérés-technikai kultúrát is kialakított.

3. A mérés alapja a *kvantifikáció* (jól definiált minőségek mennyiségi összehasonlítása), és a „hagyma-modell” azt is jól szemlélteti, hogy a (mai ismereteink szerint) *mérhető* mennyiségek köre a legszűkebb. Egy tulajdonság akkor válik kvantifikálttá, majd mérhetővé is, ha mibenlétére, kiváltó okára vagy az általa kiváltott hatásra magyarázatot találunk, ezeket elemezni tudjuk.⁵ (Ebben a láncban előrelépés akkor történik, ha a meglévő ismeretek alapján lehetséges, a gyakorlatban pedig szükséges.)



Egy mennyiség számszerű jellemzéséhez (a méréshez)

- a rendezettség (kisebb, nagyobb vonatkozás, ill. egyenlőség értelmezése) és
- a metrika (egység, nullapont, skála)

megléte⁶ kell. Az egység és skála választása *önkényes*. A nullapont lehet „természettől adott” (mint pl. a tömeg vagy az abszolút hőmérséklet esetén), vagy „megállapodás szerinti” (mint pl. az időpont /dátum/ vagy a hőmérséklet °C skálája esetén).

A rendezés (a kisebb-nagyobb viszony meghatározásával, *egység nélkül*) ún. sorrendi skálán tájékoztat a nagyság értékeiről. Klasszikus példa a „Rockwell /Mohs, stb./ skála” (anyagkeménység), de ilyen az „osztályzat” (oktatás), a „Richter-skála” (földrengés-erősség), a „Beaufort-skála” (szélerősség⁷), „oktánszám” (üzemanyag), „UV-index” (sugárzás-erősség)...

³ Csak közvetett hatás érezhető: pl. az áram hatása a testen, vagy kémiai reakció a nyelven (ha zseblámpa-elem pólusai közé tesszük); vagy az indukciót kísérő hatások megfigyelésével szerezhettünk tudomást a gerjesztett mágneses térről.

⁴ Érdeklődőknek *ajánlott* olvasmány – Fényes Imre: A fizika eredete (Az egzakt fogalmi gondolkodás kialakulása. Történeti-logikai-ismeretelméleti elemzés), Kossuth Könyvkiadó, 1980.

⁵ Ma, amikor nemcsak természeti, hanem társadalmi (gazdasági, kulturális), emberi (pszichológiai) jelenségeket és folyamatokat is kiterjedten „mérünk” (mint pl. fogyasztói elégedettség, intelligencia), vagy amikor olyan mérési módszereket keresünk, amelyek az emberi érzékeléssel vagy észleletekkel *korreláló* eredményeket tudnak szolgáltatni (*soft measurement*), az elszietett és nem kielégítő kvantifikáció félreérthető eredményekre vezethet.

⁶ ún. Carnap-feltételek

⁷ A szélerősség (nyomás, sebesség) mérhető műszerrel is, tehát a kvantifikáción túl ismert a metrika. De „emberi fogyasztásra” az egyszerű sorrendi (vagy rang-) skála megszokottabb (lehet).

Mérésnél az adott Δx **egységű** és nullponttal rendelkező (egyenletes) skálán leolvasott N **számérték** az $m = N \cdot \Delta x$ (szimbolikus) szorzat⁸ formájában definiálja az m mért értéket, ez tehát **arány skála** (\rightarrow a mérőszám arányt jelöl: $N = m / \Delta x$).

Speciálisan, ha a zéruspont megegyezés szerint jelölhető ki, akkor ez **intervallum skála**, azaz $m = N \cdot \Delta x + c$, ahol c konstans. Itt *nem* beszélhetünk pl. kétszeres értékről (mint a hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$ skálán leolvasott adatai vagy az időszámítás adatai esetében).

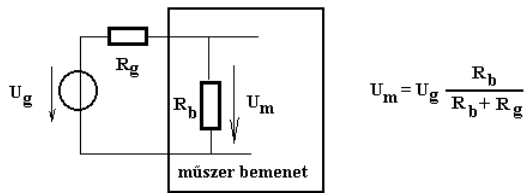
A skálától függ, hogy a mért adatokkal milyen további logikai, matematikai (statisztikai) műveleteket végezhetünk.

5. A mérőeszköz (mint az érzékelés is) specifikus: döntő szerephez csupán egyetlen alapvető fogalom jut, és természeti tárgyként csak a legritkább esetben található (az óra, a hőmérő nem az égből hullott, mint Attila kardja). Még a legegyszerűbb eszköz, a mérőőse (a könyök) sem triviálisan adott, nincs mellékelve hozzá mérési utasítás.

A mennyiség fogalma és a műszer egymásba fonódó megismerési folyamat eredményei, az eszköz megalkotásánál (és használatánál) nem nélkülözhető a kreativitás: nemcsak technológia, „művészet” is.

6. A mérés mindig kölcsönhatás, enélkül a mérőeszköz nem szerezhet tudomást a mérendőről. A mérőeszköznek a mérendőt befolyásoló (terhelő) hatását elfogadható szinten kell tartani.

(a) Elemi példa: $R_g (= 20 \Omega)$ belső ellenállású U_g forrásfeszültség mérésénél, ha a mérőnek



$$U_m = U_g \frac{R_b}{R_b + R_g}$$

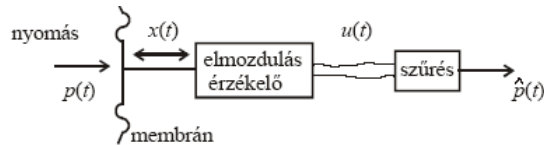
$R_b (= 1 \text{ M}\Omega)$ a terhelő ellenállása, akkor – az ismert feszültség-osztás képlet alapján – a mérendő U_m feszültségnek eleve $h \approx (R_g/R_b)$ relatív hibája⁹ van.

Következtetés: legyen a feszültség-mérő műszer *nagy* bemenő ellenállású, hogy ne terhelje a mérendőt!

(b) Minden észlelés szükségképpen energiaátvitellel jár. Még ha kis mennyiségben is, de energiára van szükségünk, hogy érzékszerveink (szemünk, fülünk, ...) ingerhez jussanak. Ezért a nagyon finom, nagyon kis dolgok észlelése/mérése alapvető korlátokba ütközik.

7. Az érzékelő tartalmazhat jel(tulajdonság /minőség/)-átalakítást is, pl. nyomás: $p(t) \rightarrow$ elmozdulás: $x(t) \rightarrow$ villamos jel: $u(t)$,

vagyis a mérésben több jelátalakító is szerepelhet, hogy a végső célt, a villamos jellé alakítást elérjük (annak kitüntetett szerepe miatt).



A szűrés „tisztítja” a mérendőt: segíti a nemkívánatos (zaj) jelek eltávolítását mérés előtt. Ez a funkció (mint sok más feldolgozás is) a villamos jelek tartományában realizálható hatékonyan.

⁸ A **trükk**: N decimális szám, ha Δx a mértékegység tíz egész számú hatványa, akkor tizedespont-jelölés és egység-rövidítés **közvetlenül** adja az eredményt, pl. $N = 1234$ és $\Delta f = 10 \text{ Hz}$, a mért érték: „12.34 kHz”.

⁹ Mert $\frac{R_b}{R_b + R_g} = \frac{1}{1 + (R_g / R_b)} \approx \left(1 - \frac{R_g}{R_b}\right)$ mivel $(R_g / R_b) \ll 1$, és így $1/(1 + y) \approx (1 - y)$.

Felhasználva a számértékeket: $h \approx 20 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-3} \% = 0.002 \%.$

Megjegyzés: ha ismerjük ilyen mérésnél az aktuális ellenállás értékeket, akkor számítással korrigálhatjuk a mérési eredményt: $U_g = U_m(1 + R_g/R_b)$.

Gyakran ezt nem tesszük meg, mert U_m tényleges mérésének hibája ennél általában nagyobb.