

2. „A dolgok természete, lényege: a szám” (Pitagorasz)<sup>1</sup>  
**A mérés folyamata, a mérőeszköz alapstruktúrája**

*A kvantitatív magyarázat egyúttal jóslási lehetőséget is ad.*

1.(a) A mérés gyakorlati, eszközt használó művelet: előállítja az  $x$  ismeretlen, mérendő mennyiség  $N$  **mérőszámát** (és megismételhető, mentes a szubjektivitástól). A metrika alapegyenlete:

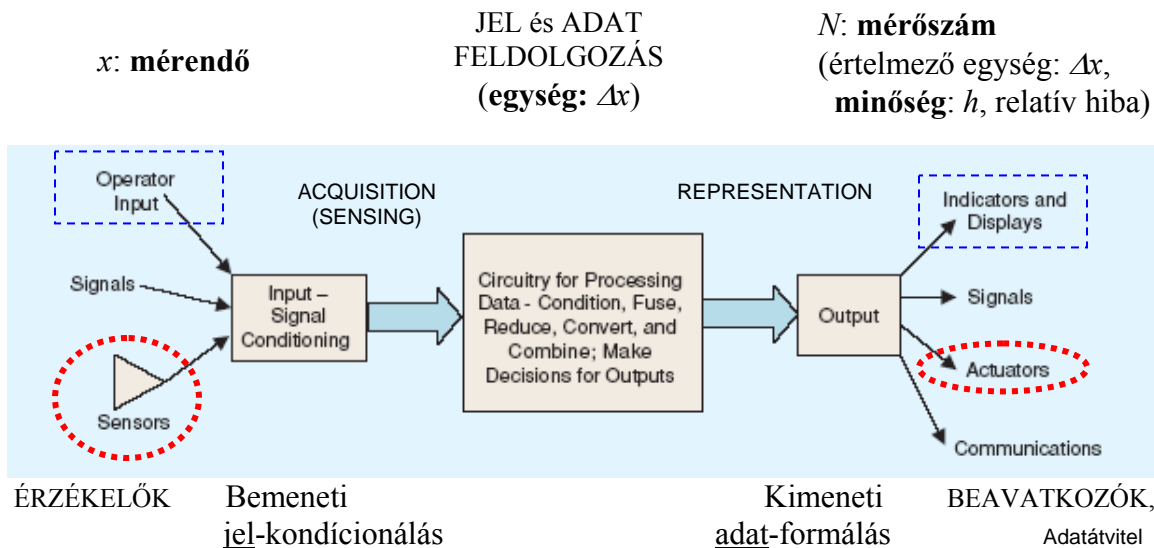
$$x(1+h) = m = N \cdot \Delta x \quad \longrightarrow \quad \frac{x}{\Delta x}(1+h) = N$$

ahol  $m$ : mért érték,  $\Delta x$ : **egység**,  $h$ : relatív hiba. Osztást kell megvalósítani, ennek módja:

- ember: skála, mutató leolvasás („analóg” műszerek esetén)
- gép: **A/D átalakító** („digitális” műszerek)

A mérés tehát „jel(Analóg:  $x$ )  $\rightarrow$  adat(Digitális:  $N$ )” leképzés, formálisan:  $(x, \Delta x) \rightarrow N$ . Ez az ún. digitalizálás egyik alpművelete, a kvantálás. (Rejtve a másik, a mintavétel is „benne van”, mert mindig véges idő kell  $N$  előállításához.)

A mérőeszköz általános struktúrája gyakran nem tünteti fel a  $\Delta x$  mértékegységet, pedig referencia nélkül nincs mérés! A mérő-érzékelő (szenzor) kulcselem a láncban.



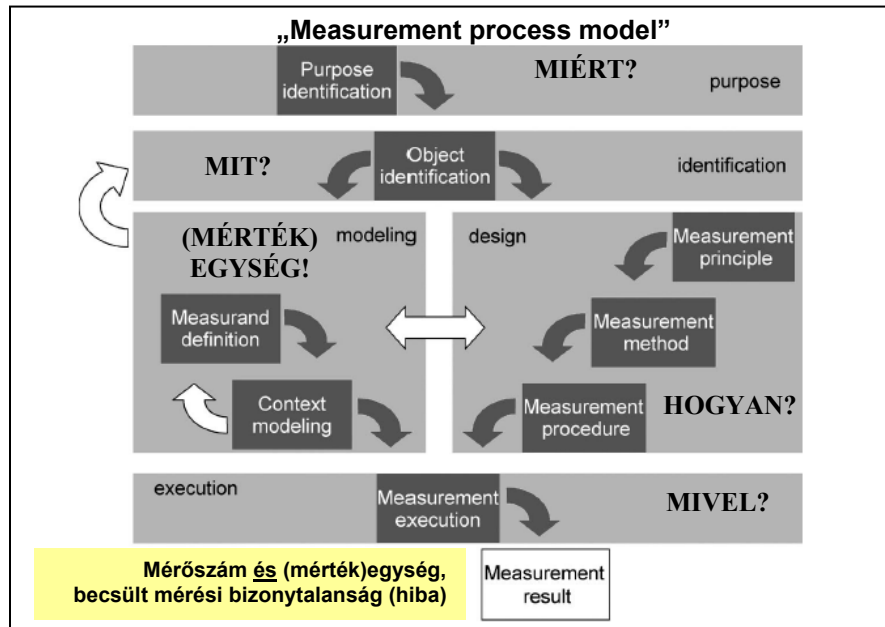
(b) Ha a mért értékre (pl. beavatkozáshoz) valóságos, **fizikai jel**ként van szükségünk, az  $m = N \cdot \Delta x$

(hibrid) szorzást kell megvalósítani. (Azért „hibrid”, mert a szorzat egyik tagja szám, a másik pedig fizikai egység, dimenziós mennyiség).

Ez az ún. rekonstrukció egyik alpművelete. Ennek eszköze a **D/A átalakító**, ami tehát az „adat(Digitális:  $N$ )  $\rightarrow$  jel(Analóg:  $m$ )” leképzést valósítja meg, formálisan:  $(N, \Delta x) \rightarrow m$ . A mérési tevékenységnek része ez a „fordított művelet” is, amit a vizsgáló-jel források (generátorok) testesítenek meg.

<sup>1</sup> Amit később Galilei így fogalmazott meg: “A természet könyve a matematika nyelvén íródott”. Vagyis nehéz úgy beszélni egy természettudományról, hogy elhagyjuk a matematikai nyelvet.

Any measurement is motivated by a specific purpose.  
**At first**, the object is identified, and the measurand is defined (e.g., volume and time), along with the measurement context (e.g., environmental factors). **Then**, a measurement principle that influences the measurement method is chosen. **Finally**, the application of the chosen measurement procedure produces the results.  
 (White arrows correspond to feedbacks, whose presence highlights the complexity of this knowledge-based process.)



IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT / FEB 2008

**Cél (purpose):** minden mérési folyamatot meghatározott igény motivál (a felvetett problémára a méréstől remél megoldást); a kezdet a szándék, a cél meghatározása

A mérés tárgya (object) → mérendő mennyiség

**Mérendő mennyiség<sup>2</sup> (measurand):** a mérés tárgyát képező konkrét mennyiség. Minden mérés megköveteli, hogy a mérendőt egyszer egyértelműen definiáljuk, és ezen felül valamilyen (mérték)egységet (unit of measurement) állapítsunk meg számára

**Befolyásoló mennyiség (influence quantity):** a mérendő mennyiségtől különböző olyan mennyiség, amely (kedvezőtlen) hatással van a mérési eredményre; ez a környezeti hatás modellezése (context modeling)

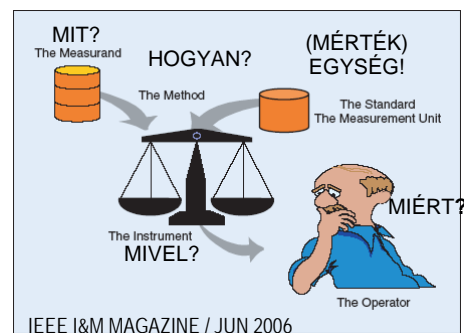
**Elv (principle):** a mérés tudományos alapja

**Módszer (method):** a mérés elvégzéséhez szükséges – a mérési elvre alapozott, fő vonalakban leírt – műveletek logikai sorrendje

**Eljárás (procedure):** egy adott mérés során – a mérési módszerek megfelelő módon – elvégzendő, részletesen leírt, konkrét műveletek összessége

**Végrehajtás (execution):** maga a közvetlen mérés annak megállapítását jelenti, hogy a mérendő mennyiség a mértékegységnek hányszorosa,<sup>3</sup> ez a mérőszám. Ezen kívül azt is meg kell adni, hogy a mért érték milyen bizonytalanságú, mennyire hihető

Megjegyzés: a fehér nyilak szemléltetik az alkotóelemek közötti visszacsatolást, ami jelzi, hogy a mérés – ez a tudás-bázisú folyamat – milyen összetett és iteratív művelet



<sup>2</sup> A mérés szakszókincsét nemzetközi értelmező szótár foglalja össze (**VIM**: international Vocabulary of basic and general terms In Metrology).

<sup>3</sup> Egyszerű formula a “Maxwell-tény” (ahogy Price nevezi): **”mért érték = mérőszám • egység”**. Ez a szorzat persze *formális*, abban az értelemben, hogy nem kell elvégezni: az egység *értelmezi* a mérőszámot. (Ha viszont ezt az értéket fizikai mennyiségként kell előállítani, pl. beavatkozó vagy vizsgáló jelként, akkor ehhez olyan eszköz [D/A átalakító] szükséges, ami ezt a szorzást *valóságosan* is elvégzi!)

2. A *kezelő szerv* teszi lehetővé az emberi beavatkozást, a mérőeszköz *bemenete* a hasznos információt – zajjal terhelve – tartalmazó megfigyelés (a mérő-érzékelő specifikus bemenete, mérésre közvetlenül alkalmas jel), *kimenete* pedig a keresett információt – minél tisztább állapotban – tartalmazó mérési eredmény (mérőszám /amit az egység értelmez/, beavatkozásra alkalmas jel, átvihető adat). A mérést megvalósító soros **műveleti lánc** jól elkülöníthető lépései (funkcionális feladatai):

- érzékelés – az első lépés (a szenzor),
- kondicionálás – a kritikus lépés,
- mérőszám generálás – a lényeges lépés (A/D átalakítás<sup>4</sup> /a mérés/),
- feldolgozás – a meghatározó lépés (DSP<sup>5</sup> /a numerikus-minta kezelés/),
- mért érték megjelenítés – a végső lépés.

3. A mérés megtervezése összetett folyamat, de a tényleges végrehajtás (vagy a rutinszerű alkalmazás) fázisában az alkotóelemekre – ahogyan azt a vázlat is szemlélteti – már nem gondolunk. Használjuk az eszközt, bízva abban, hogy „jól” működik (és érdektelen, hogy „mi van a dobozban”). Tudjuk persze, hogy a mérőeszközök és módszerek „nem vakon” készültek – elég csak egy pillantást vetni a **mérési folyamat** vázlatos modelljére, ezért ennek tanulmányozása („milyen megfontolások indokolják az alkalmazott fogásokat”) és megértése segíti az optimális eszközhasználatot.

4. A mérési eljárást realizáló mérőkészülék felépítésében – az egyszerű, hagyományos mérőműszertől eltérően – lényeges szerepet játszik az információ- (jel- és adat-) feldolgozás, de ez még nem kerül túlsúlyba, mint az összetett mérőrendszer esetén.<sup>6</sup>

A „műszer” egy meghatározott mennyiség mérését végzi, megvalósításánál az érzékelő és a mért érték megjelenítés kialakítása az alapprobléma. A „készülék” döntően **diszkrét** (mintavételezett és kvantált) **adatokkal operáló mérési eljárásokat** alkalmaz, így hangsúlyos a jel-kondicionálás és adatfeldolgozás (ami nyers adatok helyett a felhasználó igényei szerinti eredmény szolgáltat), és gyakran univerzális az eszköz: többféle eltérő mennyiség<sup>7</sup> mérésére is alkalmas. Különböző (rendszerint intelligens) mérőkészülékeknek meghatározott információs kapcsolatokkal rendszerbe szervezett együttese a „rendszer”, amelynél az adatáramlás és -feldolgozás megszervezése a fő feladat.

5. Legyen pl. a mérendő: egy periodikus jel **frekvenciája**. *Két mérési módszer* közül is választhatunk (a döntésnél fő szempont a kisebb hiba, azonos mérési idő mellett).

(a) a frekvencia = ismétlődési gyakoriság, a periódusok száma egységnyi idő alatt

Speciális (de fontos) jel a  $2\pi$  szerint periodikus **szinusz** hullámforma:  $\sin(\omega t)$ , ahol a szög (a fázis)  $\varphi = \omega t = 2\pi f t$ , és  $f$  a mérendő frekvencia. Jelölje  $N$  az előre rögzített  $t = \tau$  időtartam alatt fellépő egyirányú **nullátmenetek** (= periódusok) számát, így  $2\pi \cdot f \tau \approx 2\pi \cdot N$ , azaz  $f \cdot \tau \approx N \rightarrow f \approx N \cdot (1/\tau) = N \cdot \Delta f$ . (Pl.  $\tau = 0.1$  s esetén az **egység**  $\Delta f = (1/\tau) = 10$  Hz.)

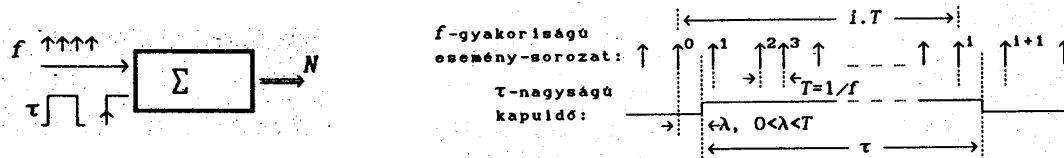
*Mérési módszer*: nullátmenet (= periódust azonosító esemény  $\rightarrow$  impulzus) **számlálás**, az egységet (és egyben a mérési időt is) meghatározó  $\tau$  kapuidővel; jelkondicionálás: csakis egyetlen számlálható impulzus ( $\uparrow$ ) előállítás nullátmenetnél; mérőszám: a számláló ( $\Sigma$ ) tartalma ( $N$ ), ami feldolgozás nélkül, **közvetlenül** mért értéként megjeleníthető.

<sup>4</sup> ADC: analog-to-digital converter. (Gyakorlati cél: már a szenzornál digitalizálni!).

<sup>5</sup> DSP: digital signal processor (speciális, a mérési adatok – felhasználói igény szerinti – kezelésére, a különféle jelfeldolgozó algoritmusok hatékony végrehajtására optimalizált processzor).

<sup>6</sup> A mérőeszközök fejlődéstörténetét tekintve is hasonló kategóriákhoz juthatunk, de nincs éles határvonal (különösen ma, amikor az adatfeldolgozó /mikroprocesszor/ „beköltözik” a készülékbe).

<sup>7</sup> Pl. DMM (digitális multiméter): egyen/váltakozó feszültség és áram, ellenállás, frekvencia, periódusidő.



A számlálásnál elkövetett hiba: az ábra alapján belátható,<sup>8</sup> hogy az  $f\tau + c = N$  metrikai egyenletben a hiba (count error) tartománya  $|c| < 1$ . Így a relatív hiba max. értéke:  $h_{\max} = 1/N$ , ez mérőszám (és így mérési idő) függő! Kisfrekvencián ezért pontatlan a módszer. (Pl.  $f = 50$  Hz,  $\tau = 1$  s  $\rightarrow h_{\max} = 2\%$ !) A megvalósítás viszont egyszerű.

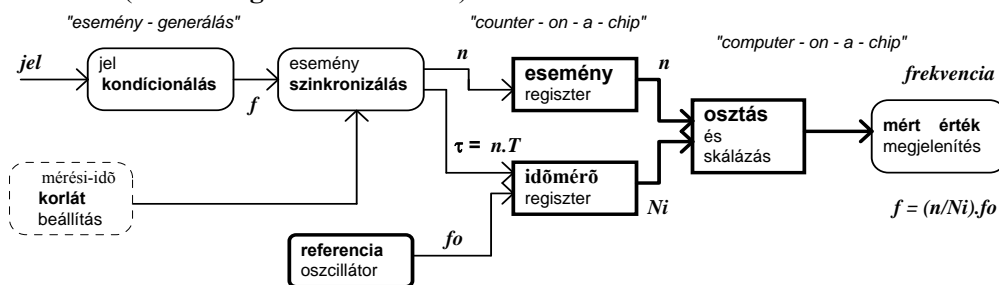
(b) a frekvencia = a T periódusidő reciprok értéke ( $f = 1/T$ )

A módszer, ami tipikus példa a „közvetett” mérésre, két lépésből áll: periódusidő mérés, majd ezután reciprok-számítás (és ez „örökli” a relatív mérési hibát).

**1:** A periódusidő mérés módja ugyancsak **számlálás**, de most – előre rögzített **n** periódusnak megfelelő –  $\tau = n \cdot T$  kapuidő alatt számlálunk ismert,  $f_0$  gyakoriságú referencia eseményeket. A mérés eredménye:  $N_i \approx f_0 \cdot nT \rightarrow T \approx N_i \cdot (1/nf_0) = N_i \cdot \Delta T$ .

1. *probléma:* előírt mérési-idő korlátnál „nem láthatjuk előre” **n** értékét.

Megoldás: külön regisztráljuk (számláljuk) a mérési-idő korláttal behatárolt, ismeretlen **n** periódus számot, miközben mérjük az ehhez tartozó (ismeretlen, **nT** nagyságú) időtartam  $N_i$  mérőszámát (ún. **két regiszteres** struktúra).



2. *probléma:* függetlenül az időkorláttól **n ≥ 1** (egész) szükséges.

Megoldás: egyszerűen az időkorlát kezdő pontját követő első eseménytől kezdve kell regisztrálni és mérni, egészen a záró időpontot követő eseményig (ún. **esemény szinkronizálás**). Így a lehetséges **n** ( $\geq 1$ , egész) szám automatikusan (!) igazodik a mérési-idő korlát beállításához, az eszköz tehát „okos” (smart), csak a mérési idő beállítását igényli.

**2:**  $f (= 1/T) \approx (n/N_i) \cdot 10^k \cdot (f_0/10^k) = (n/N_i) \cdot 10^k \cdot \Delta f_{REC} = N \cdot \Delta f_{REC}$ , ahol **k** az osztás szóhossza és  $\Delta f_{REC} = (f_0/10^k)$  a **mértékegység** (a hányados értéke mindig:  $n/N_i < 1$ ). Ha a display szóhossz: **d**, akkor – **v** számú vezető nullát elnyomva (!) – lehet  $k = v + d$ .

*Probléma:* valójában hány **k** számjegyre végezhetjük el az osztást? (Elvileg nincs korlát.)

Megoldás: a mérés relatív hibája  $(1/N_i)$  öröklődik, ezért a számított érték relatív felbontása  $(\Delta f_{REC} / f) \geq (1/N_i)$  legyen. Jó közelítéssel  $N_i \approx f_0 \tau$ , ahol  $\tau$  a mérési idő, így célszerűen

$$\Delta f_{REC} \geq \frac{(1/f_0)}{\tau} \cdot f = \frac{\text{"idő\_alap"}}{\text{"mérés\_idő"}} \cdot \text{"méréndő\_frekvencia"}$$

az egység értéke. (Pl.  $f_0 = 100$  MHz =  $10^8$  Hz esetén „8 digit/sec” lehet a felbontás!)

(c) Következtetés: egészen  $f_0$  frekvencia értékig a (b) *reciprok módszer* előnyösebb (miért?), az ár: összetett készülék felépítés. (Választhat-e (a) és (b) között egy automata?)

<sup>8</sup>  $N = i$  mérőszám megfigyelésnél, a számlálás kezdetén (start-aszinkronitás:  $\lambda$ ) és végén is (nem jelölt:  $\delta$ ) max.  $T$  értékű bizonytalanság léphet fel. Felírva az egyenlőséget, összevonva a hibtagokat kapjuk a végeredményt. (Köznapi szóhasználat: „a hiba:  $\pm 1$ ”, ami valójában **tartományt** jelent.)

<sup>9</sup> Mivel  $h \ll 1$ , ezért  $1/(1+h) \approx (1-h)$ .