

Az egységes mértékegységrendszer kialakítása, fenntartása és továbbfejlesztése

Ádám József

DOI: 10.30921/GK.71.2019.3.1

Absztrakt: A tanulmány az egységes mértékegységrendszer kialakításával, fenntartásával és legutóbbi továbbfejlesztésével, valamint a hazai bevezetésével foglalkozik. Az egységes mértékrendszert „minden időkre – minden népnek” szándékával alkották meg. Kezdetül fogva törekedtek arra, hogy önkényes referencia helyett, nemzetközileg elfogadott „természeti állandók” alapul vételével hosszú időre stabilitást biztosítsanak a mértékegységek fogalmi meghatározásában. 1960-ban a mértékegységek nemzetközi rendszerében (SI) egyeztek meg és fogadták el az SI-t, amelyet ettől az időponttól kezdve számos alkalommal felülvizsgáltak. Az SI hét kiválasztott alapegységen (méter, kilogramm, másodperc, amper, kelvin, mól és kandela) és a hozzájuk kapcsolódó alapmennyiségen (hossz, tömeg, idő, elektromos áramerősség, abszolút hőmérséklet, anyagmennyiség és fényerősség) alapul. A legutóbb felülvizsgált SI valamennyi alapegységének meghatározása fizikai/műszaki állandóhoz kapcsolódik, amely a mértékegységek stabilitását és egyetemességét (univerzalitását) garantálja. A kilogramm az utolsó mértékegység, amelyet eddig a kilogrammetalon alapul vételével határoztak meg fogalmilag, azonban 2019. május 20-tól (a Metrológia Világnapjától) a fogalmi meghatározását (definiálását) már a Planck-féle állandó alapul vételével adják meg.

Abstract: The paper deals with the development, maintenance and latest improvement of the unified standardized units and their domestic introduction in Hungary. The unified metric system was envisioned to be „for all people for all time”. From its outset is sought to ensure long-term stability by defining the units in terms of an internationally agreed „constants of nature” instead of an arbitrary reference. In 1960 an International System of units (SI) was agreed and adopted and since that time it has been revised on a number of occasions. The SI is based on the seven base units (metre, kilogram, second, ampere, kelvin, mole and candele) and their corresponding base quantities (length, mass, time, electric current, thermodynamic temperature, amount of substance and luminous intensity). The definitions of all the units of the revised SI are linked to physical constants, which guarantee their stability and universality. The kilogram, the last unit to be defined from an artefact, will henceforth be linked to the Planck constant from May 20th, 2019 (World Metrology Day).

Kulcsszavak: alapegységek, kilogramm, másodperc, méter, méterrendszer, Méteregyezmény, Mértékegységek Nemzetközi Rendszere (SI)

Keywords: base units, kilogram, metre, metre system, Metre Convention, International System of Units (SI), second

1. Bevezetés

Közismert, hogy a geodézia területén alapvető szerepe van a mérésnek. Ehhez a geodéziában is mértékegységre és mérőeszközökre van szükség. Az idők folyamán sokféle mértékegységet használtak, de a gyakorlati célszerűség és szükségesség miatt egységes mértékegységrendszer kialakulásához vezetett.

A tudományok és a műszaki, társadalmi gyakorlat rohamos fejlődése és növekvő igénye a mérés területén, valamint a mértékegységek fogalmkörében is érezteti hatását. Egyre pontosabb mérésre, ennek következményeként az alapegységek szabatosabb meghatározására és a vonatkozó szakirodalom nemzetközi jellegére tekintettel, egységes jelölésekre van szükség.

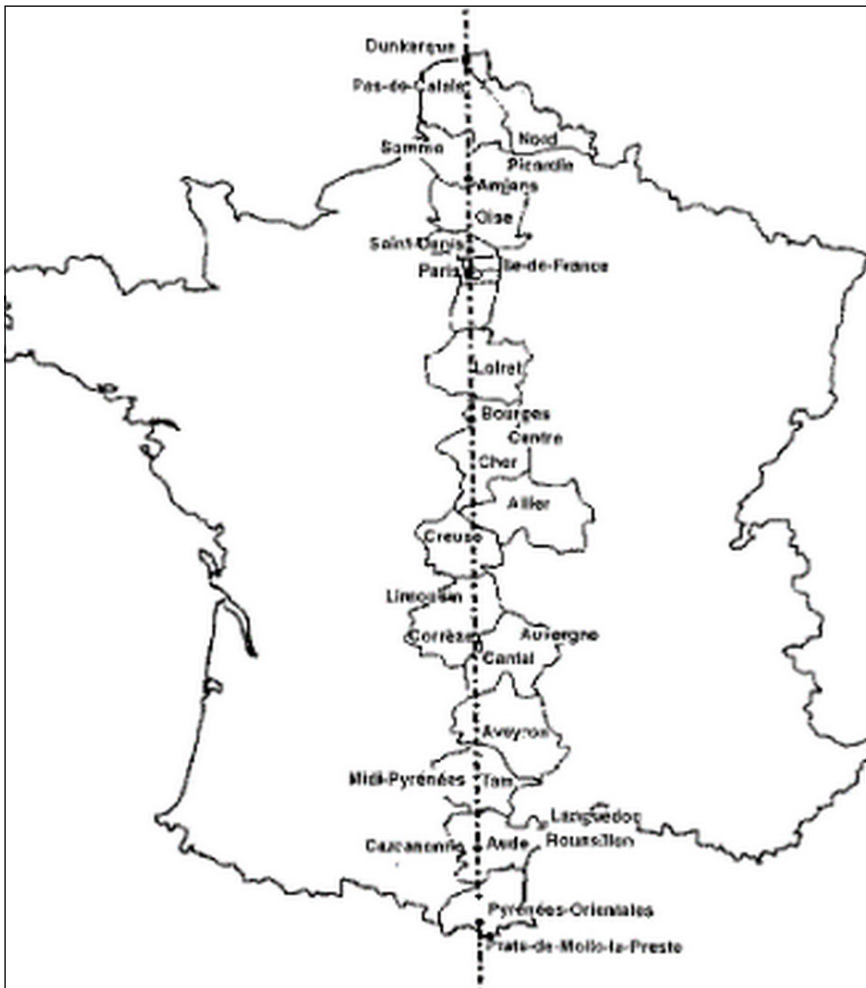
2. A méterrendszer bevezetése

2.1. A méterrendszer bevezetésének kezdete

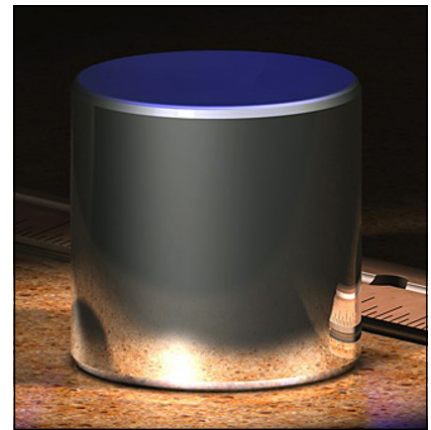
Az egységes mértékegységrendszer kidolgozásának kezdete a francia forradalom időszakára nyúlik vissza. A francia nemzetgyűlés az 1791. március 26-án kiadott dekrétumával létrehozta a mértékek és súlyok általános bizottságát (Commission Générale des Poids et Mesures), az ún. méterbizottságot. Ezt azzal a feladattal bízta meg, hogy a mértékegységek területén uralkodó nagyfokú különbözőségeket szüntesse meg, és alkosson egységes mértékrendszert. A bizottság tagjai (J. C. Borda, M. de Condorcet, J. L. Lagrange, P. S. Laplace és G. Monge) úgy határoztak, hogy az alapvető hosszegységet a természetből választják oly módon, hogy

az a Föld meridiánja negyed részének (meridiánkvadránsának) a tízmilliomod része legyen. Ehhez meg kellett határozni a Földünket képviselő ellipszoidi földalak méreteit a lehető legpontosabban.

Az ún. méterfokmérést (amelyre megbízást P. Méchain és J. B. J. Delambre kapott) a párizsi meridiánon mérték a belga határ közelében fekvő Dunkerque-től a spanyolországi Barcelona mellett fekvő Montjoux-ig (1. ábra) 1792-1798 között. A Delambre által 1799-ben (220 éve) közölt számítások szerint a Földet képviselő forgási ellipszoidalak meridiánjának az Északi-sark és az Egyenlítő közé eső ívhossza (meridiánkvadránsa) 5 130 740 toise lett (1 toise = 1,949036 m). Ennek tízmilliomod része 443,295 936 párizsi vonal, amelyet felfelé kerekítettek, és így 1 méter = 443,296 párizsi vonal



1. ábra. A párizsi meridián méterfokmérést érintő ivdarabja



2. ábra. A kilogrammetalon látképe

mértékegysége a köbdeciméter közvetítésével a méterhez, ezen keresztül pedig szintén a Földünk méreteihez kapcsolódik. Itt jegyezzük meg, hogy a kilogrammot 1889 óta platina-irídium ötvözetből készült 39,17 mm átmérőjű és magasságú henger tömegeként határozták meg (definiálták) 2019. május 20-ig (2. ábra).

2.2. Nagy Károly csillagász szerepe

Magyarországon Nagy Károly (1797–1868) csillagász, a bicskei csillagvizsgáló tulajdonosa, az MTA tagja (levelező tag: 1832 és rendes tag: 1836) volt az, aki az elsők között szorgalmazta a méterrendszer magyarországi bevezetését. Már 1839-ben rámutatott a középkori eredetű mértékrendszerünk nehézségére. Mivel francia kapcsolatai révén jól ismerte a mértékegységek tízes számrendszerű (decimális) rendszerét, és ennek hasznosságát is világosan látta, így Magyarországra Párizsból ő hozta az első (egy párizsi aranyműves által platinából készített) méter- és kilogrammetalon 1844-ben. Ezeket a bicskei gyűjteményéből a szabadságharc idején elhurcolták, később visszakerültek, és az MTA őrzetében és tulajdonában maradtak 1870-ig. 1870-ben az illetékes minisztérium kérésére az MTA – Nagy Károly eredeti szándékának megfelelően – ellenszolgáltatás nélkül átengedte az államnak. A szabadságharc viszontagságai után külföldre ment (Párizsba), s ott élt haláláig; a csillagvizsgálóját, műszereit és könyvtárát az államnak ajándékozta. Értékes gyűjteményeit egyetemnek, az MTA, az Erdélyi Múzeum és néhány iskola között osztották szét (Markó et al. 2003).

lett. A méterre ilyen módon kapott hosszúságot egy platinarúdon, annak homloklapjai között jelölték ki (két finom karcolással), s ez a hossz lett a **méter**. Ezt az etalont a párizsi levéltárban (Köztársasági Archívum) helyezték el, s ezért ezt az etalont „levéltári méter”-nek (Mètre des Archives) nevezik (Rédey 1966). Az új mértékegységet J. C. Borda nevezte el méternek a görög *metron* szó alapján (Regőczy 1959). A méterbizottság által elfogadott méter tekinthető a hosszúság első, tudományosan meghatározott alapegységének. [Megjegyezzük, hogy a méterfokmérés alapján Földünk ellipszoidi alakjának geometriai jellemzőire Delambre a következő adatokat kapta: a fél nagytengelyhossza $a = 6\,375\,738,7$ m és a geometriai lapultságra $f = 1/334,29$; (Biró et al. 2013)]

Fontos lépés volt még az, hogy a francia akadémia a méter többszöröseire és törtrészeire a tízes számrendszert vezette be.

A tömeg alaplémértékéül a francia nemzetgyűlés azt határozta el (1795), hogy legyen az egysége a méter század része által meghatározott méretű kocka térfogatában elhelyezhető víz mennyisége a fagyásponton. Ezt a mértéket (*gramm*) azonban nem lehetett kellő stabilitással előállítani a kereskedelem számára. Ezért az elsőként megfogalmazott egységnek az ezerszeresét határozták meg, amely a **kilogramm** lett. Egy kilogramm annyi víznek a tömege, mely egytized méter élhosszúságú kockába fér a víz fagyáspontján. Közben a francia fizikusok mérések alapján megállapították, hogy van a víznek egy még stabilabb pontja: $+4\text{ °C}$ (amelyet később pontosítottak: $+3,984\text{ °C}$), amelyen maximális a sűrűsége. Ennek alapján készült el platinából a „levéltári kilogramm” (Kilogramm des Archives) 1799-ben (220 éve). Ennek értelmében a kilogramm egy köbdeciméter víz tömege a legnagyobb sűrűségű állapotban $3,984\text{ °C}$ -on és normál légköri nyomáson. Ezáltal a tömeg

Emlékének megőrzése céljából, életének és munkásságának kutató-sára, ápolására 2007-ben megalakult a Nagy Károly Csillagászati Közhasznú Alapítvány.

2.3. Az egységes mértékek hazai bevezetése

Magyarországon szervezetszerűen először az 1850-ben alakult Pest-Budai Kereskedelmi és Iparkamara emelt szót a nyugaton már használatos tízes számrendszerű (decimális) mértékrendszer átvétele érdekében. Az első lépést alig több mint 150 évvel ezelőtt a földművelésügyi, ipari és kereskedelmi miniszter (Gorove István) tette meg, amikor 1867 júliusában felkérte a Magyar Tudományos Akadémiát (MTA), az Országos Magyar Gazdasági Egyesületet, valamennyi kereskedelmi és iparkamarát, valamint néhány kiválasztott szakértőt, hogy készítsenek javaslatot a méterrendszer bevezetése tárgyában.

Az MTA keretében az akkori III. Osztály vezetője (osztálytitkára), Szabó József akadémikus intézkedése alapján bizottságot hoztak létre, melynek tagjai (zárójelben a tudományterületük): Kruspér István (geodézia), Nendvich Károly (kémia), Szily Kálmán (fizika) és Schenzl Guido (geofizika) akadémikus voltak.

A bizottság azt javasolta, hogy *a*) a tízes számrendszerű (decimális) mértékrendszer legyen általános és kivétel nélküli, *b*) a mértékegységek nevei nem kell magyarra fordítani, maradjon azok neve méter és kilogramm, *c*) a szabványos alaplémérték a Nagy Károly-féle, platinából készült méter- és

kilogrammetalon legyen, továbbá a bizottság az alapegységeknek a tudományos életben akkor még alig használatos többszöröseit és törtrészeit feleslegesnek nyilvánította (Verő 1976).

A javaslatra felkért valamennyi testület és szakértő véleményének alapján az illetékes minisztérium elkezdte a tízes számrendszerű (decimális) mértékek bevezetését szolgáló törvény előkészítését és megfogalmazását, amelynek során főként az akadémiai bizottság javaslatára támaszkodtak. Közben a minisztérium azzal a kéréssel fordult az MTA felé (1869. december 29-én), hogy a Nagy Károly-féle két etalont az államnak engedje át, és jelölje ki azt a szakembert, aki a párizsi ősetalonnal (Mètre et Kilogramme des Archives) az összehasonlítást elvégzi. Az MTA az 1870. január 31-én hozott határozatában „a két etalont, az ajándékozó eredeti szándéka szerint, az államnak átengedi”, továbbá a megfelelő összehasonlítás elvégzésére Szily Kálmánt ajánlotta. A Műegyetem, hasonló felkérésre, Kruspér Istvánt javasolta.

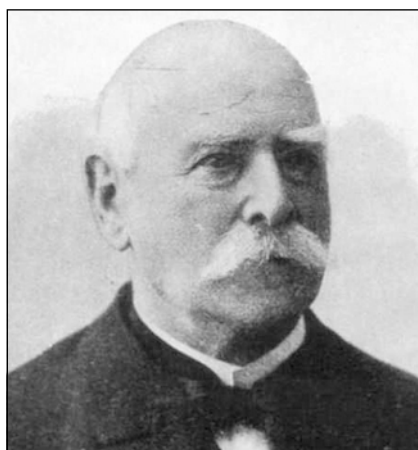
Megfelelő előkészületek után a minisztérium Kruspér István (3. ábra) és Szily Kálmán (4. ábra) akadémikus bízta meg, akik 1870 áprilisában francia szakértő bizottság közreműködésével Párizsban elvégezték a Nagy Károly-féle méter- és kilogrammetalonnak az összehasonlító méréseit a francia levéltárban őrzött ősetalonnal. Az összehasonlító mérések eredményének birtokában törvényjavaslat készült, amelyet (némi huzavona után) végül is 1874. április 20-án (145 éve) VIII. törvénycikk jelzéssel törvényerőre

emelték. Ettől az időponttól kezdve (a nemzetközi méteregyezmény aláírása előtt már egy évvel) Magyarországon a méter és a kilogramm az egyedül és kizárólagosan törvényes mértékegységek lettek.

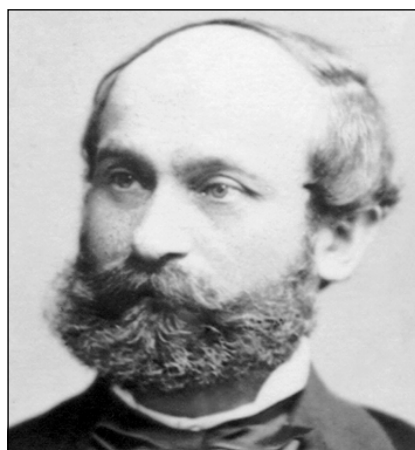
2.4. Nemzetközi méterértekezlet

A francia nemzetgyűlés által létrehozott méterbizottság Franciaországban egységesen rendezte a hosszúság egységét. Európa többi államaiban azonban ugyanakkor nagy eltérések mutatkoztak a hosszúság mértéke terén. A zavaró állapot megváltoztatása érdekében 1870-ben a francia kormány felkérte az érdekelt országokat, hogy a méterügyben jártas szakembereikkel képviseltek magukat a Párizsban tartandó nemzetközi tanácskozáson, amely 1874-ig többször összeült. A munkaértekezlet célja lényegében az volt, hogy a méter általános elfogadását ajánlja minden államnak, továbbá javaslatot kellett tennie egy nemzetközi szervezet létrehozására, mely a méterrendszer világméretű elterjesztését intézhetné. Magyarország küldöttei az MTA javaslatára és az illetékes minisztérium megbízása alapján végig Kruspér István és Szily Kálmán akadémikus voltak.

Kruspér István és Szily Kálmán 1870 augusztusának elején ismét Párizsban voltak, mivel a nemzetközi méterértekezlet első ülészaka augusztus 8-án kezdődött el. Az értekezlet feladata a méter és a kilogramm alapegységek pontos meghatározásának (definíciójának) végérvényesnek szánt megállapítása volt. Az értekezlet munkája azonban a francia–porosz háború kitörése miatt félbeszakadt, ezért a kitűzött feladatának csak a felét tudta megoldani, nevezetesen csak a méterrel foglalkoztak, és ennek ügyében hoztak határozatot. Mivel a XIX. század első két harmadában végzett fokmérések a 2. 1.-ben ismertetett „méterfokméréstől” eltérő eredményeket szolgáltatottak, ezért az értekezlet azt a határozatot hozta, hogy a méter maradjon egyenlő a „levéltári méter” (Mètre des Archives) hosszával, azaz a levéltári méter legyen a méter alapegységének egyetlen hiteles megtestesítője, és lényegében az is maradt 1889-ig, amikor az új nemzetközi méterprototípus kijelölésére sor kerülhetett (Verő 1976).



3. ábra. Kruspér István akadémikus arcképe



4. ábra. Szily Kálmán akadémikus arcképe

Az 1870 augusztusában félbeszakadt méterértekezlet 1872-ben folytatódott, amelyen már 29 ország képviseltette magát. Ezen foglalkoztak a kilogrammalapmérték pontos meghatározásával, az említett nemzetközi szervezet létrehozására vonatkozó javaslattal, és olyan tervet készítettek, amelynek végrehajtásával az érdekelt országok hiteles méter- és kilogrammetalonok birtokába juthatnának. Erre először 1874-ben tettek kísérletet, azonban a párizsi Conservatoire des Arts et Métiers műhelyében készített 27 db méterrúd és 40 db kilogrammetalon elkészítése sikertelenné vált. Mivel alapvető kíváncságot volt az, hogy a méter és a kilogramm valamilyen országban pontosan ugyanakkora legyen, ezért az újabb méter- és kilogrammetalonok elkészítésére 1882-ig kellett várni.

Itt jegyezzük meg azt, hogy Kruspér István az 1870. augusztusi méterértekezletről és a korábbi, kapcsolódó tudományos tevékenységéről az 1871. február 13-án tartott akadémiai székfoglaló előadásában számolt be (*Kruspér 1871*). A Nagy Károly-féle etalonok párizsi ellenőrzése és a méterértekezlet keretében kifejtett kiváló szakmai munkájának elismerésül szép, tengerkék, aranyozott sèvres-i porcelánváza őrzi nevét és a párizsi értekezlet emlékét, 1872-es évszámmal, amelyet családja a Magyar Nemzeti Múzeumnak ajándékozott.

A méterértekezlet kitartó tevékenysége odavezetett, hogy 1875. május 20-án a francia kormány meghívása és szervezése alapján 17 állam diplomáciai képviselője Párizsban aláírta a Méteregyezmény (Convention du Mètre) néven ismertté vált nemzetközi egyezményt, amelyet az Osztrák-Magyar Monarchia képviselőjében Apponyi Rudolf párizsi nagykövét írt alá. Mivel aláírása két ország csatlakozását jelentette az egyezményhez, így a 18. többségében európai ország azt a kötelezettséget vállalta, hogy a francia forradalom éveiben született tízes számrendszerű (decimális) mértékegységek rendszerét bevezeti. Magyarország az egyezményben vállalt kötelezettségeit az 1876. évi II. törvénycikként iktatta a törvényei közé.

2.5. A Nemzetközi méteregyezmény intézményei és működésük

A nemzetközi méteregyezmény (Convention du Mètre) a méterrendszer elterjesztésének intézésére három szerv életre hívását határozta el (a párizsi méterértekezlet ajánlása értelmében):

1. Általános Súly- és Mértékügyi Konferencia (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM), mely általában négyévente ülésezik. A CGPM résztvevői az országuk kormányát képviselik, és minden résztvevő országra kötelező határozatokat hoz;

2. Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Bizottság (Comité Internationale des Poids et Mesures, CIPM), amelynek jelenleg 18 különböző állampolgárságú tudós tagja van. Fontos feladata a CGPM határozatainak előkészítése.

3. Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (Bureau Internationale des Poids et Mesures, BIPM), amely a méterrendszerű országokkal állandó kapcsolatot tart, és közreműködik a nemzeti etalonoknak időnként esedékes összehasonlításában. A szervezet működésével kapcsolatos költségeket a résztvevő államok közösen viselik.

A francia kormány 1882-ben platina-irídium ötvözetből 30 méterrúdat és 40 kilogrammhengert készített, amelyek hitelesítését a CIPM végezte el. A CGPM első ülését 1889 őszére hívták össze Párizsba, melyen azon etalonok közül, amelyek legjobban megegyeztek a levéltári ősetalonokkal, egyet *nemzetközi méterprototípusnak* (nemzetközi méternek), egy másikat pedig *nemzetközi kilogramm-prototípusnak* (nemzetközi kilogrammnak) (5. ábra) minősített.

Azóta ez a két etalon testesítette meg a két alapmértéket, a tömeg mértékegységét még napjainkban is ez képviseli (illetve képviselte 2019. május 19-ig!). A francia nemzetgyűlés által 1799. december 10-én a méter és a kilogramm hiteles megtestesítésének nyilvánított, a francia levéltárban őrzött két alapmérték (Mètre et Kilogramme des Archives), a platinából készített párizsi ősetalonok 1799-1889 között, tehát 90 évig szolgáltak nemzetközi méter- és kilogrammetalonként. Komoly tudományos teljesítménynek tekinthető, hogy olyan



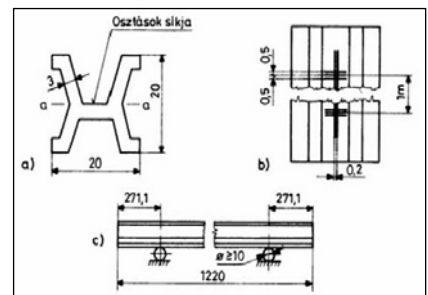
5. ábra. A nemzetközi kilogramm prototípusa három harang alakú üvegbúra alatt állandó hőmérsékleten és légnyomáson

etalonokat alkottak a francia forradalom idején, amelyeket 90 év elteltével is alapul vehettek. Emlékeztetünk arra, hogy Kruspér István és Szily Kálmán a Nagy Károly-féle etalonokat 1870 áprilisában, Párizsban ezekkel hasonlította össze.

A többi etalont (a 29 méterrúdat és a 39 kilogrammhengert) külön-külön gondosan összehasonlították a nemzetközi méterprototípussal és a nemzetközi kilogramm-prototípussal, megállapították az azoktól való eltéréseket, és azután 1889. szeptember 24-én sorsolással kiosztották azokat a méteregyezményt



6. ábra. Az USA-nak jutott, X alakú méteretalon részletének látképe



7. ábra. A nemzetközi méter etalonjának metszete és felülnézete

aláíró (és igénylő) országok között (6. és 7. ábra). Ekkor jutott hazánk birtokába a 14. sorszámú méter- és a 16. sorszámú kilogrammetalon (8. ábra). Az 1891. évi VI. törvénycikk pedig intézkedett arról, hogy a Nagy Kátholy-féle etalonok helyett az 1889-ben megszerzett méter- és kilogrammetalon tekintendő törvényes alpmértékeknek Magyarországon. (A Nagy Károly által vásárolt eredeti méteretalon az első világháború idején elveszett.)

A méteregyezményhez 1875 óta még 40 ország csatlakozott, így a tagországok száma jelenleg 58, ezen kívül 41 ország társult tagsággal rendelkezik. Így a méterrendszert a világ legtöbb állama már bevezette.

Az 1875-ben létesített nemzetközi méteregyezmény szervezetei eredeti hármastagozásban ma is fennállnak és működnek. A **Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (BIPM)** működésének helyszíne Párizs egyik elővárosában (Sèvres) létrehozott *Pavillon de Breteuil* (9. ábra).

Nemzetközi státuszú intézmény, és ezért területen kívüliséget élvez, a méteregyezmény tagállamai tartják fenn. (A BIPM éves költségvetése 2019-ben 11,980 millió euró (EUR), amelyhez Magyarország mint tagállam 56 306 euróval járul hozzá (Presskit 2018).) A BIPM feladata a mérések világméretű egységességének biztosítása. Felelős a fontosabb fizikai mennyiségek

etalonjainak létrehozásáért és fenntartásáért, a nemzeti és nemzetközi etalonok összehasonlításainak szervezéséért, a megfelelő mérés technikák és az e tevékenységében alkalmazott fizikai állandók meghatározásának koordinálásáért. Tevékenysége alapvetően mérésügyi laboratóriumi munkákra támaszkodik. Feladatai közé tartozik még az is, hogy az idő (egyezményes koordinált világidő, UTC) mérését nagy pontossággal fenntartsa, és a nemzetközi közönség számára rendelkezésre bocsássa. A „BIPM Time Department” jelenleg az IAG egyik nemzetközi szolgálata (Ádám 2006, Drewes-Ádám 2016). A BIPM jelmondata, melyet a nemzetközi etalonokra felvéstek: *À tous les temps, à tous les peuples* („minden időkre – minden népnek”). A jelvényében (10. ábra)



10. ábra. A Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (BIPM) logója (a BIPM hozzájárulásával)

található görög kifejezés magyarra fordítva: „használd a mértéket”.

A BIPM tevékenységét a **Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Bizottság (CIPM)** kizárólagos hatáskörrel felügyeli, melynek korábban 12, jelenleg 18 állandó tagja van. Üléseit évente tartja. Legutóbbiak közül a 105. ülést 2016. október 26–28. között, a 106. ülést 2017. október 16–20. között, a 107. ülést 2018. június 19–21. között, a soron következő legutóbbi, 108. ülést pedig 2019. március 20–21. között tartotta Párizsban. A CIPM munkájában korábban igen tekintélyes volt a magyar részvétel. Magyarországról a CIPM tagja volt *Kruspér István* 1879–1894 között 15 évig, *Bodola Lajos* 1894–1929 között 35 éven keresztül (11. ábra) és *Honti Péter* 1968–1981 között 13 éven át. Ezen túlmenően Bodola Lajos professzor 1923–1927 között a CIPM titkári (mai szóhasználatnál főtitkári), Honti Péter pedig 1976–1979 között alelnöki feladatokat látott el.

A CIPM az **Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet (CGPM)**, gyakran Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Konferencia néven említik) fennhatósága alatt tevékenykedik. A CGPM általában négyévenként tartja üléseit, amelynek résztvevői a méteregyezmény tagállamainak küldöttjei (12. ábra).

Feladata a nemzetközi mértékegységek fenntartása és a mérésügy



8. ábra. Magyarországnak jutott, 16. sorszámú kilogrammetalon



9. ábra. A Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (BIPM) székhelye Párizs Sèvres elővárosában (a BIPM hozzájárulásával)



11. ábra. A Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Bizottság (CIPM) 10. ülésén (Párizs, 1894. szeptember) részt vett tagok (12 fő) csoportképe. Jobbról a harmadik Bodola Lajos professzor (a BIPM hozzájárulásával)



12. ábra. A Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Konferencia (CGPM) 2. ülésén (Párizs, 1895. szeptember 4–14. között) részt vett delegátusok csoportképe. A hátsó, álló sorban balról a negyedik Bodola Lajos professzor (a BIPM hozzájárulásával)

nemzetközi feladatainak koordinálása. Jóváhagyja a fizikai alapállandók értékének meghatározását, és dönt a BIPM szervezetét és fejlesztését érintő kérdésekben, ellátja a hivatal munkájának felügyeletét. A CGPM 1889-ben tartott első konferenciájának feladata volt a méter- és

a kilogrammetalon ellenőrzött másolatának kiosztása a méteregyzmény tagországainak. 1960-ban pedig létrehozta a *mértékegységek nemzetközi rendszerét*, röviden az SI-t (Système International d'Unités), amelynek jelenleg is a továbbfejlesztésén dolgozik.

I. táblázat

SI alapegységek			
mértékegység neve	jele	mennyiség neve	mennyiség jele
méter	m	hossz	l (kis L)
kilogramm	kg	tömeg	m
másodperc	s	idő	t
amper	A	elektromos áramerősség	I (nagy i)
kelvin	K	abszolút hőmérséklet	T
mól	mol	anyagmennyiség	n
kandela	cd	fényerősség	Iv

A CGPM legutóbbi, 26. általános értekezletét 2018. november 13–16. között tartották, helyszíne pedig a híres Palais des Congrès de Versailles volt. (Az előző, 25. konferenciát 2014. november 18–20. között rendezték meg Párizsban.)

3. A mértékegységek nemzetközi rendszere

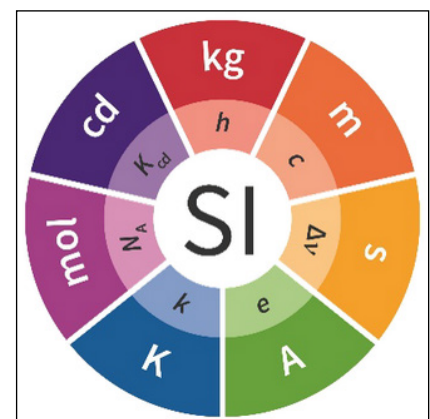
3.1. Az SI egységes mértékrendszer bevezetése

A jelenleg használt SI egységes mértékrendszert a 11. CGPM fogadta el 1960-ban, amely hét kiválasztott mértékegységen (I. táblázat), illetve a 10 hatványain alapul. A hét SI-alapegység mindegyike dimenziófüggetlen a többitől (13. ábra). A mértékegységek rendszerét az alapegységek, a kiegészítő egységek és a velük leírható származtatott egységek alkotják.

A geodézia területén három SI-alapegység alapvető fontosságú: a méter, a kilogramm és a másodperc. A jelenleg érvényes meghatározásuk a következő.

A méter a hosszúság mértékegysége, jele az m, nagyságát a fénynek vákuumban mért sebessége mint természeti állandó alapján állapították meg, amely pontosan 299 792 458, és mértékegysége a m/s. Ennek megfelelően *a méter a fény által a légüres térben (vákuumban) a másodperc 1/299 792 458-ad része alatt megtett út hossza*.

A *másodperc az alapállapotú cézium-133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek*



13. ábra. A hét SI alapegység jelének és az alapegység meghatározásához alapul szolgáló természeti állandó jelölésének kördiagramm-ábrázolása

II. táblázat

SI-előtagok (prefixumok)			
Előtag	Jele	Szorzó	
		hatvány-nyal	számnévvel
yotta-	Y	10 ²⁴	kvadrillió
zetta-	Z	10 ²¹	trilliárd
exa-	E	10 ¹⁸	trillió
peta-	P	10 ¹⁵	billiárd
tera-	T	10 ¹²	billió
giga-	G	10 ⁹	milliárd
mega-	M	10 ⁶	millió
kilo-	k	10 ³	ezer
hekto-	h	10 ²	száz
deka-	da (dk)	10 ¹	tíz
-	-	10 ⁰	egy
deci-	d	10 ⁻¹	tized
centi-	c	10 ⁻²	század
milli-	m	10 ⁻³	ezred
mikro-	μ	10 ⁻⁶	milliomod
nano-	n	10 ⁻⁹	milliárdod
piko-	p	10 ⁻¹²	billiomod
femto-	f	10 ⁻¹⁵	billiárdod
atto-	a	10 ⁻¹⁸	trilliomod
zepto-	z	10 ⁻²¹	trilliárdod
yokto-	y	10 ⁻²⁴	kvadrilliomod

megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama.

A **kilogramm** annak a platina-irídium hengernek a tömege, amelyet a BIPM nemzetközi tömeg-alapmérték gyanánt őriz Sèvres-ben 2019. május 19-ig.

A mértékegységek gyakran túl kicsinek vagy túl nagyoknak bizonyulnak, ezért ilyenkor célszerű a mértékegység neve elé illesztett előtét szó (ún. prefixum) segítségével a többszörösüket, illetve törtrészüket képezni. Ezért a mértékegységek többszörösét vagy tört részét összetett szóval jelöljük. A szóösszetételek előtagját (ún. prefixét), rövidítését és értelmét mutatja a II. táblázat.

A táblázatban foglaltakat a CGPM konferenciáin a tudomány és a mérésügy fejlődésének függvényében fokozatosan alakították ki. Ezek a könnyebb áttekinthetőség érdekében a nagyon nagy illetve a nagyon kicsi mennyiségek rövid leírására szolgálnak, amelyek a tíz hárommal osztható kitevőjű hatványainak rövidítésére használatosak.

III. táblázat

tervezett SI-előtagok (prefixumok)		
Előtag	Jele	Szorzó
yototta	Ya	10 ⁴⁸
zetotta	Za	10 ⁴⁵
exotta	Ea	10 ⁴²
petotta	Pa	10 ³⁹
terotta	Ta	10 ³⁶
gigotta	Ga	10 ³³
megotta	Ma	10 ³⁰
kilotta	Ka	10 ²⁷
milotto	mo	10 ²⁷
micotto	mo	10 ³⁰
nanotto	no	10 ³³
picotto	po	10 ³⁶
femotto	fo	10 ³⁹
attocto	ao	10 ⁴²
zeptotto	zo	10 ⁴⁵
yocotto	yo	10 ⁴⁸

Csak néhány olyan előtag van, amely nem hárommal osztható hatványkitevőjű. Megjegyezzük, hogy a mértékegységek többszöröseinek és törtrészeinek neve *van Swindentől* származik (Regőczy 1959). Az előbbieket görög, az utóbbiakat pedig latin előtagok segítségével alkotta meg. Jelenleg is ezt a gyakorlatot követik. Az SI keretében a mennyiségeknek csak tíz a +24. és a -24. hatványai szerint kifejezett nagyságrendjére vonatkozó elnevezés van érvényben, de már ismert a tíznek a +48. és a -48. közötti, hárommal osztható kitevőjű hatványainak elnevezése is (III. táblázat).

3.2. A mértékegységek nemzetközi rendszerének fenntartása és továbbfejlesztése

A mértékegység elvileg szabadon megválasztható, de célszerű oly módon,

hogy segítségükkel a mindennapi élet tapasztalatai minél egyszerűbben kifejezhetők legyenek. A mértékegységeket lehetőleg természeti állandókra vagy jól (elvileg bárki által) visszaállítható (ún. reprodukálható) jelenségekre kell alapítani, és a lehető legnagyobb körben egyezményesen elfogadtatni. A mértékegységet korábban etalon bevezetésével rögzítették. (Az *etalon* valamely fizikai mennyiség mértékegységét visszaállítható (reprodukálható) módon megtestesítő mérőeszköz.)

Fontos követelmény, hogy a mértékegység fogalmi meghatározása (definíciója) által biztosított pontosságnak el kell érnie, vagy legalábbis meg kell közelítenie az adott mennyiség mérésénél technikailag elérhető legnagyobb (szélső) pontosságot. További fontos szempont még az, hogy az egységet időtálló módon lehessen rögzíteni. A tudomány fejlődése szempontjából ez a kedvező, mivel ez könnyíti meg a tudományos eredmények átadását az utókornak (pl. a stádium nagysága nem rekonstruálható egyértelműen).

A CGPM 24. konferenciáján (Párizs, 2011. október 16–22.) jelentős döntéseket hoztak az SI nemzetközi mértékegységrendszer jövőjével kapcsolatban. A mértékegységeket általános fizikai állandókkal határozzák meg (definiálják). Rögzítették az I. táblázatban szereplő hét alapegységhez kapcsolódó általános természeti állandó értékét, amelyeket a CGPM 26. konferenciáján (Párizs, Versailles, 2018. november 13–16.) pontosítottak, és 2019. május 20-án (a Metrológia Világnapján) léptek érvénybe (IV. táblázat).

IV. táblázat

A hét SI-alapegységhez kapcsolódó általános természeti állandó értéke		
mértékegység neve	fizikai állandó neve	számértéke
méter	a fény sebessége	c = 299 792 458 m/s
kilogramm	Planck-állandó	h = 6,626 070 15 × 10 ⁻³⁴ Js
másodperc	a cézium-133 által kibocsátott fény frekvenciája	v = 9 192 631 770 Hz
amper	az elemi töltés nagysága	e = 1,602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ C
kelvin	Boltzman-állandó	k = 1,380 649 · 10 ⁻²³ J/K
mól	Avogadro állandó	N _A = 6,022 140 76 × 10 ²³ mol ⁻¹
kandela	a spektrális fényhasznosítás legnagyobb értéke	K _{cd} = 683 lm/W

A mérési eljárások pontosabbá válása és egyéb megfontolások miatt az SI néhány alapegységének meghatározása (definíciója) többször is változott, de a mértékegységek gyakorlatilag ugyanakkorák maradtak.

3.2.1. A méter különböző fogalmi meghatározásai

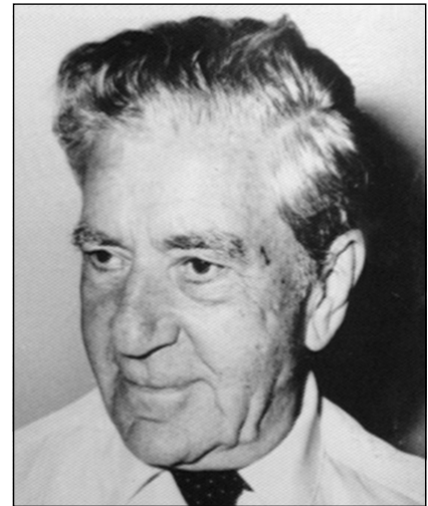
A hosszúság (távolság) az egyik legalapvetőbb fizikai mennyiség, amelynek szerepe a térbeli tájékozódásban meghatározó. Kezdetben a hosszúság alapegységei (mértékegységei) általában az emberi testrészekhez (hüvelyk, láb, könyök stb.), illetve az emberi test egyéb méreteihez (lépés, öl, arasz stb.) kapcsolódtak. Segítségükkel a mindennapi élet tapasztalatai hosszú ideig kifejezhetők voltak. Azonban a sokféle mértékegység használata egyre több nehézséget okozott, főleg a kereskedelemben (az egyes alapegységek közötti átváltás miatt), és lényegében nehéz az egységet időtálló módon rögzíteni. Ezért már Ch. Huygens (1629–1695) a XVII. században felvetette, hogy az alapegységeket ne az emberi test méreteiből, hanem természeti állandókból vezessék le. Ő azt javasolta, hogy a hosszúság egysége a másodperc inga hossza (kb. 0,995 m) legyen. Ez a meghatározás szóba is került a francia forradalom idején létesített méterbizottságban is, de elvetették (a másodperc inga hossza ugyanis függ a földfelszíni nehézségi télerősség [g] értékétől, amely viszont pontról pontra változik).

A hosszúság mértékegységére, a méterre a tudomány és a mérésügy fejlődésével eddig három fogalmi meghatározást adtak, amelyeket az V. táblázatban foglaltunk össze. Megadtuk az

egy meghatározások relatív hibáját is (Kruspér 1871, Szabó 2002).

Egyre több oldalról merült fel az igény, hogy a méter fogalmát a BIPM-ben őrzött platina-irídium rúdon kijelölt távolságnál maradandóbban, szabatosabban és bármikor előállítható módon határozzák meg. Már az 1880-as évek végétől kutatásokat végeztek arra vonatkozólag, hogy a méter hosszát egy bizonyos fény hullámhosszával segítségével fejezzék ki. Ehhez alapul vették azt a tényt, hogy a modern spektroszkópia lehetővé tette a fény hullámhosszáinak nagy pontosságú megmérését. Ezzel elhárították azt a veszélyt, hogy az ősméter (illetve a nemzetközi méter) esetleges megsemmisülése esetén a méter csak csökkent pontossággal állítható vissza. Így 1960-ban született meg a nemzetközi megegyezés a 11. CGPM keretében a méter alapegység V. táblázatban feltüntetett második fogalmi meghatározása vonatkozásában, amely szerint a méter a 86-os tömegszámú kriptonatom két meghatározott energiaszintje közötti átmenetnek ($2p_{10} - 5d_5$) megfelelő sugárzás légüres térbeli (vákuumbeli) hullámhosszáinak $1\,650\,763,73$ -szorososa („optikai méter”). Fontos körülmény még az, hogy az új meghatározás megadásának relatív hibája 10^{-6} -ról 5×10^{-9} értékre (a pontosság több mint két nagyságrenddel) nőtt.

Az időközben lefolyt vizsgálatok azt mutatták, hogy egyrészt a kripton sugárzásának stabilitása nem megfelelő, másrészt a modern optika és a lézerfizika területén az 1970-es években jelentős eredmények születtek. Ebben kiemelkedő szerepe volt Bay Zoltánnak (14. ábra) is, a magyar származású fizikusnak. Ő már 1965-ben



14. ábra. Bay Zoltán akadémikus arcképe

javasolta azt, hogy a távolságegységet, a métert alapozzák a pontosabban mérhető időegységre és a fénysebességre. Szakirodalmi kutatásokat végzett a fénysebesség állandóságára vonatkozóan. Kimutatták, hogy a fény terjedési sebessége ($299\,792\,458$ m/s) légüres térben állandó és független a fényforrástól, a fény erősségétől, frekvenciájától, irányától és a mérő személyétől. Ezért a távolság jellemzésére azt az időt használhatjuk, amennyi alatt a fény a távolságot befutja (Staar 2015).

Az elméleti és kísérleti érvek mind alátámasztják azt, hogy a légüres térbeli (vákuumbeli) fénysebesség a fizika egyik legfontosabb általános (univerzális) állandója. További fontos szempont, hogy a fénysebesség meghatározásának megbízhatósága legalább 10^{-15} -es határig megegyezik az időegység pontosságával. Ezért született meg 1983-ban a 17. CGPM keretében a méter jelenleg is érvényes (az V. táblázatban feltüntetett) harmadik meghatározása. E szerint a méter annak az útnak a hossza, melyet a fény légüres

V. táblázat

A méter különböző fogalmi meghatározásai (definíciói)				
S	elnevezés	érvényessége	fogalmi meghatározás	relatív pontossága
1	a Föld méretén és alakján alapuló méter a) „levéltári méter” vagy „ősméter” (platinából) b) „nemzetközi méter” (platina-irídium ötvözetből)	1799-1889 1889-1960	egy méter egyenlő a Föld meridián kvadrán-sának tízmilliomod részével	10^{-6}
2	az atomi sugárzás hullámhosszán alapuló méter („optikai méter”)	1960-1983	a méter a 86-os tömegszámú kripton atom $2p_{10}$ és $5d_5$ energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő, vákuumban terjedő sugárzás hullámhosszáinak $1\,650\,763,73$ -szorososa	5×10^{-9}
3	a fénysebességen alapuló méter („fényreszabott méter”)	1983 óta	a méter a fény által a vákuumban a másodperc $1/299\,792\,458$ -ad része alatt megtett út hossza	10^{-15}

térben 1/299 792 458 másodperc alatt tesz meg („fényre szabott méter”).

A meghatározás jelentősége az, hogy az idő mérésén alapul, amelynek mérési pontosságát céziumatom-órákkal 10^{-15} fölé lehet emelni. A meghatározás könnyen használható, és lényeges előnye, hogy a méter olyan pontos lesz, mint a másodperc. Ezt a meghatározást (definíciót) véglegesnek tekintik, a métert várhatóan nem kell többé újra meghatározni.

A fénysebesség állandóságának elve a metrológia és a geodézia számára azzal a nagyon fontos következménnyel jár, hogy a távolságmérésben az időmérési módszereket használhatjuk fel. Ezen az elven működik a globális navigációs műholdrendszerek (GNSS: GPS, Glonassz, Galileo, Beidou stb.), a műholdakra és a Holdra történő lézeres távolságmérés, a VLBI stb. (Ádám et al. 2004, Bíró et al. 2013).

Megjegyezzük, hogy a méter eredeti meghatározása tulajdonképpen ma is a párizsi meridián (délkör) hosszán alapszik. A fogalmi meghatározás (definíció) helyébe csak a mérési eljárások fejlődése miatt kerültek egyre pontosabb, új meghatározások (definíciók). Az ősméter és a nemzetközi méter, továbbá az őskilogramm múzeumi tárgyak lettek (a Louvre Múzeumban őrzik őket, és várhatóan még ez évben a nemzetközi kilogramm is odakerül melléjük). A magyar hivatalos (1889-ben kapott 14. sorszámú) méteretalon a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal (illetve mai jogutód szervezete, a Budapest Főváros Kormányhivatala (BFKH) Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztálya) tulajdonában van, és a Magyar Nemzeti Múzeum Állandó Történelmi Kiállításán látható (várhatóan ez év második felétől a 16. sorszámú kilogrammetalonnal együtt).

3.2.2. Az idő alapegységének meghatározásai

Az idő a hosszúság (távolság) mellett a fizikának másik alapvető mennyisége, mely a geodéziában is alapvető szerepet játszik. Mérésére önmagával azonos módon, tetszőlegesen sokszor lejátszódó események egymásutánja (ún. periódusos folyamat) használható. Az időfogalom kialakulásában is döntő szerepet játszó ilyen periódusos folyamat célszerűen a nappalok és éjszakák váltakozása. A csillagászat fejlődésével megjelentek a napnál rövidebb és hosszabb időegységek (így pl. a kb. 30 napos holdhónap is). A 360 napos év alapján külön számrendszerek (12-es és 60-as) alakultak ki, melyeket ma már csak az időmérésben használunk. A tudomány fejlődése magával hozta végül a rövid (perc, másodperc) időegységek kialakulását.

Az idő első, tudományosan meghatározott egysége a másodperc volt, amelyet 1820-ban egy francia tudóscsoport (Szabó 2002) javaslatára a közepes szoláris nap 1/86400-ad részeként határoztak meg. Ez a fogalmi meghatározás (definíció) 1960-ig volt érvényben (VI. táblázat), mivel a Föld tengely körüli forgásának részletes vizsgálata során kimutatták, hogy forgási sebessége a Föld belsejében és a felületén a különböző természeti jelenségek következtében létrejövő tömegátrendeződések miatt ingadozik, valamint kis mértékben folyamatosan lassul (mintegy $2,5 \times 10^{-4}$ s/év mértékben). A Földnek a Naphoz viszonyított tengelyforgása nem egyenletes.

A VI. táblázatban megadtuk az idő alapegysége, a másodperc meghatározásainak (megvalósításainak, realizációjuknak) relatív hibáját a külföldi szakirodalom alapján (Boucher-Willis 2017: 243. oldal).

A Föld Nap körüli keringési (efemerisz) idejét a külső természeti tényezők sokkal kevésbé befolyásolják. Ezért 1960-ban a 11. CGPM keretében a másodperc efemeriszidőhöz kötött meghatározását hagyták jóvá. Ennek értelmében a másodperc az 1900. január 1-jei 00 óra efemeriszidőhöz tartozó tropikus év 1/31 556 925,9747-ed része (VI. táblázat). Ez a fogalmi meghatározás rövid ideig, mindössze 7 évig volt érvényben.

A tudományos igények és ismeretek növekedése szükségessé tette a másodperc fogalmának az eddigiéknél nagyobb pontosságú és a csillagászati-földtudományi jelenségektől független meghatározását. Ugyanis a spektroszkópia és az atomfizika rohamos fejlődése az 1960-as években lehetővé tette a másodperc sokkal pontosabb és időtállóbb meghatározását. Ennek alapját az alkotja, hogy az atomok, molekulák meghatározott energiaszintjei közötti átmenetekhez tartozó sugárzások rezgésszáma a külső körülményektől és a kozmológiai idő múlásától is független. Az ún. atomórák ilyen karakterisztikus rezgéseknek a számlálásával működnek. Úgy döntöttek, hogy egy másodperc az az idő legyen, amely alatt a céziumóra egy meghatározott számú rezgést végez. Az előzőek alapján 1967-ben, a 13. CGPM keretében fogadták el a másodperc ma is érvényes, harmadik meghatározását (VI. táblázat), amely szerint a másodperc az alapállapotú cézium-133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama. Ezt a meghatározást úgy választották meg, hogy a másodperc és az efemeriszmásodperc hosszúsága azonos legyen.

A másodperc harmadik meghatározása a céziummal működő atomórát teszi elsődleges forrásnak az idő- és

VI. táblázat

A másodperc különböző fogalmi meghatározásai (definíciói)				
S	elnevezés	érvényessége	fogalmi meghatározás	relatív pontossága
1	a Föld forgásán alapuló másodperc	1820-1960	a másodperc a szoláris középnap 1/86400-ad része	2×10^8
2	a Föld Nap körüli keringési (efemerisz) idején alapuló másodperc	1960-1967	a másodperc az 1900. év január 1. 0 óra efemerisz időhöz tartozó tropikus év 1/31 556 925,9747-ed része	2×10^9
3	az atomi sugárzáson alapuló másodperc	1967 óta	a másodperc az alapállapotú cézium -133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama	$0,3 \times 10^{-15}$

frekvenciaméréseknél. További fontos körülmény, hogy a másik fizikai alappennyiség, a méter ma már a másodperc meghatározására támaszkodik.

Az időmérés területén nagyarányú tudományos-technikai fejlődés és fejlesztés tapasztalható. Az IUGG/IAG legutóbbi általános közgyűlésén (Prága, 2015. június 22. – július 2., *Ádám 2015*) a geodéziatudomány területén mutattak be figyelemre méltó fejlődési lehetőségeket olyan optikai atomórák alkalmazásával, amelyek relatív pontossága már 10^{-18} . Francia kutatók olyan ún. optikairács-órákat alkottak, amelyek 300 millió évente késnek egyetlen másodpercet. Olyan ún. ionórán is dolgoznak, amely néhány milliárd év alatt mutat egy másodperces késést.

Az idő egyre pontosabb mérésére a távközlés és az űrkutatás, különösen a műholdas helymeghatározás és navigáció (GNSS) területén mutatkozik egyre nagyobb igény, a megkívánt gyakorlati eredmények pontosságának fokozása érdekében. Ezért várható, hogy legközelebb a másodperc új fogalmi meghatározásával fognak foglalkozni, és a soron következő valamelyik CGPM-ülésein várható majd döntés ezzel kapcsolatban.

Megjegyezzük, hogy a másodperchez előtagok, ún. prefixumok csak a törtrészeinek kifejezésére használatosak: pl. $0,001\text{ s} = 10^{-3}\text{ s} = 1\text{ ms}$, $10^9\text{ s} = 1\text{ as}$ vagy pl. $10^{18} = 1\text{ as}$.

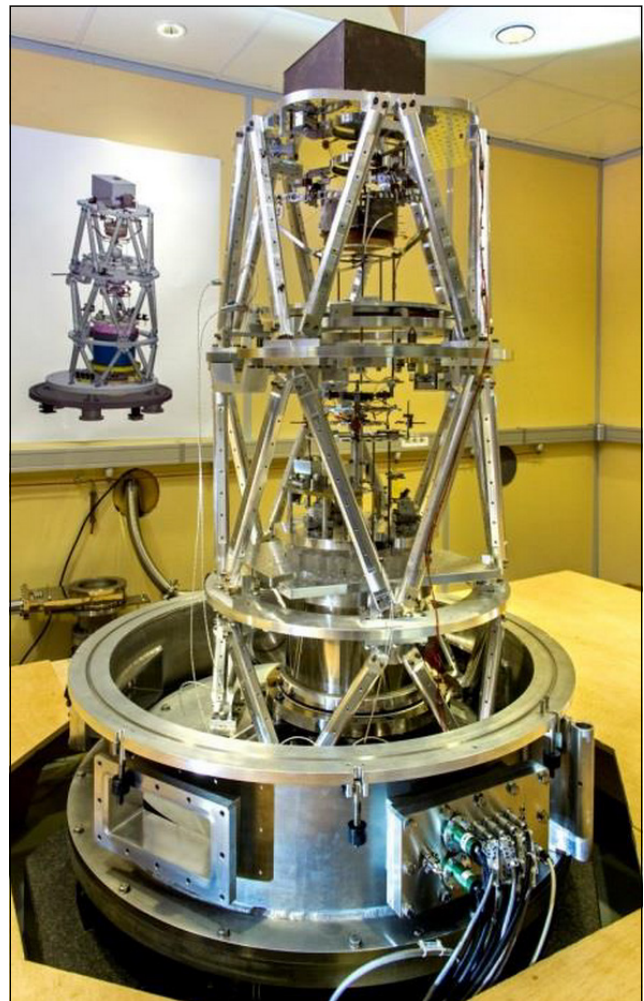
3.2.3. A kilogramm új meghatározása

A tömeg a fizika (mechanika) és a geodézia harmadik legfontosabb mennyisége. 2019. május 19-ig a kilogramm

volt az egyetlen olyan alapegység, amely még nem valamely alapvető fizikai állandón alapult. Mivel a kilogramm alapegységét is egy természetes állandóból kívánják származtatni a CGPM 24. konferenciájának értelmében. Ezért nemzetközi szinten négy módszer is versengett az utóbbi két évtizedben azért, hogy vonatkoztatási (referencia)mérésként szolgáljon a kilogramm számára. Ezek közül kettőnek: a Planck-állandón vagy az Avogadro-állandón alapuló meghatározásnak volt esélye. Az érintett kutatócsoportok (amerikai és német csoportok) 2017 júliusáig nyújthatták be előterjesztésüket, és a CGPM 26. konferenciája döntött a kérdésben 2018. november 16-án (*Press kit 2018*).

A döntés értelmében a tömeg alapegységének (kilogramm) új fogalmi meghatározása (definíciója) 2019. május 20-án (a Metrológia

Világnapján) lép érvénybe (VII. táblázat). Addig még az első fogalmi meghatározás (definíció) van érvényben, amely szerint a kilogramm akkora tömeg, amely megegyezik a BIPM páncéltérmeiben, állandó hőmérsékleten és páratartalom, három harang alakú üvegbúra alatt



15. ábra. A kilogramm-alapegység számára összehasonlító (referencia) mérésként szolgáló, ún. Kibble-mérleg látképe

VII. táblázat

A kilogramm különböző fogalmi meghatározásai (definíciói)				
S	elnevezés	érvényessége	fogalmi meghatározás	relatív pontossága
1	„levéltári kilogramm”	1799-1889	A kilogramm egy dm^3 víz tömege a legnagyobb sűrűségű állapotban $3,9840\text{ °C}$ -on és normál légköri nyomáson:	10^5
	„nemzetközi kilogramm”	1889-2019	a) a kilogramm annak a platinából készült testnek a tömege, melyet a francia levéltárban őriztek b) a kilogramm annak a platina-irídium ötvözetből készült $39,17\text{ mm}$ átmérőjű és magasságú hengernek a tömege, melyet a BIPM nemzetközi tömegalappmérték gyanánt őriz Sèvresben	
2	a Planck-féle állandón alapuló kilogramm	2019 óta	A kilogramm az a tömeg, amely pontosan $2 \times 10^{-7}\text{ m/s}^2$ gyorsulással mozog, ha akkora erő hatna rá, mint az elhanyagolható keresztmetszetű, egymástól 1 méter távolságban haladó végtelen hosszú párhuzamos vezetőpár egy méteres szakaszán, ha a vezetőkön keresztül pontosan $6,241\,509\,629\,152\,65 \times 10^{18}$ elemi töltés másodpercenkénti áram folyik.	1×10^8

tartott kilogrammetalon (2. és 5. ábra) tömegével.

Az új (a második) meghatározás a kvantumfizikában ismert Planck-féle állandón alapszik, amelynek jelenleg elfogadott számértékét a IV. táblázatban tüntettük fel. Az amerikai szabványügyi hivatal szakemberei hosszú évek kísérletei után látták elérkezettnek az időt arra, hogy a kilogrammot a Planck-állandó segítségével határozzák meg újra. A Planck-állandó jelentősége abban van, hogy kapcsolatot teremt a fotonok energiája és frekvenciája között, és az Einstein-féle híres energia-tömeg ekvivalencia-egyenlet alapján megfeleltethető a tömegnek. A definícióhoz nagyon pontosan megmérték a Planck-állandót (IV. táblázat), amelyhez egy speciális mérleget, az ún. Kibble-mérleget (15. ábra) (korábbi vizsgálatokban a Watt-mérleget) használták. Lényegében kétkarú mérlegről van szó, amelynek egyik karjára egy ismert súlyt helyeznek el, a másik karját pedig mérhető árammal működtetett elektromágnessel egyensúlyozzák ki. Ily módon a kutatók $3,6 \times 10^{-6}$ -os relatív pontossággal mérték meg a Planck-állandót.

Megjegyezzük, hogy ha az Avogadro-állandót vették volna alapul, akkor ezzel két alapegységet (tömeg és a mól) határoztak volna meg. Ezzel kapcsolatban a braunschweigi metrológiai intézetben a német kutatók egy 10 cm átmérőjű szilícium-28 gömböt készítettek. Az 1 kg tömegű szilíciumgömbben található atomok száma lett volna a kilogramm új fogalmi meghatározása (definíciója). Mivel az Avogadro-szám a természetes fizikai alapállandók közé tartozik, és értékét nagy pontossággal ismerjük, ezért ennek alapján pontosan meg tudják mondani, hány darab atom van egy kilogramm szilícium-28 gömbben.

A magyar hivatalos (1889-ben kapott 16. sorszámú) kilogrammetalon utoljára 2007-ben, illetve 2017-ben hitelesítették Párizsban.

4. Összefoglalás

AXVIII. század végén Franciaországban kezdődött el olyan tudományos alapú mértékegységrendszer kidolgozása,

melynek alapegységei (mértékegységei) a Föld egyes geometriai és fizikai (mechanikai) jellemzőihez kapcsolódtak. A folyamat lényegében 1790. április 17-én Charles Maurice de Talleyraud-Périgond-nak (Autun püspökének) a Francia Nemzetgyűlésben elhangzott előadásával vette kezdetét, amelyben ismertette tervét a 10-es számrendszert (decimális rendszert) használó és a természetben (a Földön) alapuló új mértékrendszer megalkotásáról. Franciaország vezető matematikusai, fizikusai, csillagásza, vegyészai és filozófusai (pl. Laplace, Legendre, Delambre, Mechani stb.) aktív közreműködésével a francia forradalom időszakában (kellős közepén) az 1790-es évek folyamán született meg a mértékrendszer.

A hosszúság (távolság) alapegységének ekkor választották a métert, amelyet a párizsi meridián az Északi-sark és az Egyenlítő közé eső ívhosszának (ún. meridiánkvadránsának) tízmilliomod részeként határoztak meg. Ehhez végezték a nevezetes méterfokmérést, amelyet 1792–1798 között hajtottak végre, és az eredményeket 1799-ben tették közzé (220 évvel ezelőtt).

Ezzel egyidejűleg a tömeg mértékegységének az 1 dm³, 4 °C-os desztillált víz tömegét választották, és ez az egység lett a kilogramm. Ezáltal a tömeg mértékegysége a köbdeciméter közvetítésével a méterhez, illetve ezen keresztül szintén a Föld méreteihez kapcsolódik.

Az idő mérése szintén a Földhöz, közelebről ennek mozgásához (forgásához és keringéséhez) kapcsolódott. Alapja a Nap egymás utáni két delelése között eltelt idő, az egy nap. A napot 24 egyenlő részre osztották, és az így kapott részeket nevezték óráknak. Ehhez hasonlóan az órákat 60 percre, a percek 60 másodpercre osztották, tehát 1 nap = 24 óra = 1440 perc = 86 400 másodperc. A fizikában az idő mértékegysége az így értelmezhető másodperc lett.

A mértékegységek megalkotóit végig az az elgondolás vezette, hogy a hosszúság és a tömeg, valamint a geodéziában ezek mellett alapvető fontosságú idő mértékegysége olyan legyen, amely a természet (a Földünk)

nyújtotta méretekből és jelenségekből bármikor visszaállítható. A mérési pontosság fokozatos növekedése oda vezetett, hogy az alapegységeket ma már természetes fizikai állandók alapul vételével határozzák meg (definiálják). A CGPM legutóbbi (26.) konferenciáján (Versailles, 2018) lényegében a hét alpmértékegységhez kapcsolódó természeti/technikai állandók értékét rögzítették, így mérési bizonytalanságuk nincs, és ezek segítségével valósítják meg az alpmértékegységeket, ellentétben a korábbi gyakorlattal, amelynek során elsőként létrehozták a mértékegységek etalonjait és azokkal mérték meg a természeti állandókat.

Magyarország már az 1800-as évek elején szakembereinek francia kapcsolatai alapján tájékozódott a témakörben és Nagy Károly csillagász (az MTA tagja) szorgalmazta az egységes 10-es számrendszerű (decimális) mértékegységrendszer mielőbbi hazai bevezetését. Az első méter- és kilogrammetalon saját költségén ő szerezte meg 1844-ben. A méterrendszer bevezetése tárgykörében az első hivatalos lépést **152 évvel ezelőtt**, 1867 júliusában tették meg.

Magyarország nemcsak a méteregyezmény (Convention du Mètre) első elfogadói között szerepel, hanem a Műegyetem két elismert professzorával, nevezetesen *Kruspér István* és *Szily Kálmán* akadémikusokkal annak előkészítésében is részt vett. Kruspér István az egyik fontos albizottság elnökeként működött, és tagja volt a CIPM akkor 12 tagból álló szervezetének 1879–1894 között. Őt követte Bodola Lajos műegyetemi professzor (szintén az MTA tagja) 1894–1929 között, aki a CIPM titkári (mai szóhasználattal élve a főtitkári) tisztségét is betöltötte.

A méter jelenlegi fogalmi meghatározását (definícióját) a CGPM 1983. évi 17. konferenciája fogadta el *Bay Zoltán* javaslatára, így ebben Bay Zoltán tevékenysége meghatározó. Már 1965-ben javasolta, hogy a métert a pontosabban mérhető időegységre és a fénysebességre alapozzák. Meggyőződése volt, hogy a fénysebességre alapított egyesített téridőrendszer lesz a jövő mérési

rendszere. A távolságot ugyanis órával lehet mérni (lényegében ez történik pl. a GNSS és a lézeres távolságmérés esetén), mert a tér és idő nem függetlenül léteznek. A fénysebesség meghatározó alapállandó, nem ismerünk semmi más mennyiséget a természetben, amelynek állandósága ekkora viszonylagos pontosságú (10^{-17}). A fénysebesség SI egységekben mért, 1983-ban elfogadott számértéke ($c = 299\,792\,458$ m/s) rögzített szám (nem változik akkor sem, ha a fény sebességét idővel pontosabban ismerhetjük!).

Végül megjegyezzük, hogy a nemzetközi mértékegységrendszer folyamatos felülvizsgálatát és változtatásait a globális kereskedelem és a műszaki/tudományos innovációk támogatása érdekében végzik, és hozzájárulnak a szükséges döntésekhez, határozatokhoz. Így a méteregegyezés keretében 1875-ben létrehozott szervezet működésére hármas tagozódásban (BIPM, CGPM és CIPM) továbbra is kiemelten szükség van.

Köszönetnyilvánítás

A szerző a tanulmányában foglaltakat különböző kiméretben a következő rendezvényeken mutatta be:

a) Biró Péter akadémikus 85. születésnapja alkalmából a Magyar Tudományos Akadémián (MTA) 2015. december 4-én szervezett ünnepi tudományos előadónál („A felsőgeodézia tárgykörébe tartozó szabványok és konvenciók”),

b) az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) XVIII. Földmérő Találkozó (Tusnádfürdő, 2017. május 18–21. között) szakmai programja keretében („Szabványok és konvenciók szerepe a geodéziában”),

c) az MTA Földtudományok Osztályának 2017. szeptember 17-i ülésén („Az egységes mértékrendszer kialakítása és hazai bevezetésének akadémiai vonatkozásai”),

d) a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Mérnöki Kamara által szervezett „Miskolci Mérnöki Nap” 2017. szeptember 22-i előadóján („Az egységes mértékegységrendszer kialakítása és hazai bevezetése”),

e) a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék és az MFTTT Geodéziai Szakosztálya közös szervezésében a Rédey István Geodéziai Szemináriumán 2017. november 2-án („Az egységes mértékegységrendszer kialakítása és hazai bevezetése”),

f) a Nógrád Megyei Mérnöki Kamara és az MFTTT megyei területi csoportja „XI. Tavaszai Mérnöknap, NÓGRÁD – 2019” elnevezésű rendezvényén 2019. április 9-én Salgótarjánban szervezett Földmérő Szakmai Napon („Az egységes mértékegységrendszer kialakítása, fenntartása és továbbfejlesztése”). Így az összeállítás szövege tartalmilag fokozatosan alakult ki.

Irodalom

- Ádám J. 2006. Az IAG globális geodéziai megfigyelőrendszere. *Geodézia és Kartográfia*, 58. évf. pp. 6–17.
- Ádám J. 2015. IUGG/IAG 26. általános közgyűlése. *Geodézia és Kartográfia*, 67. évf. pp. 4–9.
- Ádám J.–Bányai L.–Borza T.–Bucics Gy.–Kenyeres A.–Krauter A.–Takács B. 2004. Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Angermann, D. 2012. Standards and Conventions for Geodesy. In *The Geodesist's Handbook 2012*, szerk.: Drewes, H. – Hornik, H. – Ádám J. – Rózsa Sz., *Journal of Geodesy*, Vol. 86, pp. 961–964. DOI:10.1007/s00190-012-0584-1
- Angermann, D.–Gruber, T.–Gerstl, M.–Heinkelmann, R.–Hugentobler, U.–Sanchez, L.–Steigenberger, P. 2016. GGOS Bureau of Products and Standards Inventory of Standards and Conventions used for the Generation of IAG Products. In *The Geodesist's Handbook 2016*, szerk.: Drewes, H.–Kuglitsch, F.–Ádám J.–Rózsa Sz., *Journal of Geodesy*, Vol. 90, pp. 1095–1156. DOI:10.1007/s00190-016-0948-z
- Biró P.–Ádám J.–Völgyesi L.–Tóth Gy. 2013. A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata. HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft., Budapest.
- Boucher, C.–Willis, P. 2017. Les références de temps et d'espace (Time and Space references). Editions Hermann, Sciences et arts, 400 pages, ISBN 978-270-5684-18-1, Paris.
- Bucics Gy. 2016. A középkori magyar tempomok méretei és a királyi öl kapcsolata. *Geodézia és Kartográfia* 68. évf. 1–2. sz. pp. 7–12.
- Drewes, H. 2008. Standards and Conventions relevant for Geodesy. In *The Geodesist's Handbook 2008*, szerk.: Drewes, H. – Hornik, H. – Ádám J. – Rózsa Sz., *Journal of Geodesy*, Vol. 82, No. 11, pp. 833–835. DOI: 10.1007/s00190-012-0584-1
- Drewes, H.– Ádám J. 2016: The International Association of Geodesy-Historical Overview. In *The Geodesist's Handbook 2016*, szerk.: Drewes, H. – Kuglitsch, F. – Ádám J. – Rózsa Sz., *Journal of Geodesy*, Vol. 90, pp. 913–920. DOI 10.1007/s00190-016-0948-z
- Fejes I. – Nagy S. 2008. Mindennapi tér-időnk. *Magyar Tudomány*, 169. évf., 11. sz., pp. 1350–1358.
- Homoródi L. 1966. Felsőgeodézia. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Kruspér I. 1871. A párizsi méter-prototyp az 1870. augusztusi méterértekezleten. *Értekezések a math. és term. tud. köréből*, (http://real-eod.mtak.hu/1632/), Pest.
- Markó L. – Burucs K. – Balogh M. – Hay, D. 2003. A Magyar Tudományos Akadémia tagjai 1825–2002. MTA Társadalomkutató Központ – Tudománytár, I–III. kötet, Budapest.
- Milton, M. J. T. 2018. The redefinition of the base units of the SI: how we achieved it. (https://www.bipm.org/utis/common/pdf/talks/Milton-MJT-2018-APMP-Revised-SI.pdf)
- Oltay K. 1938. Zágonyi Bodola Lajos élete és művei. *Geodéziai Közöny*, XIV. évf., 1–4. szám, pp. 1–11.
- Oltay K. – Rédey I. 1962. Geodézia. Egyetemi tankönyv (harmadik, átdolgozott kiadás). Tankönyvkiadó, Budapest.
- Press kit 2018. 26th General Conference on Weights and Measures (CGPM; Versailles, 13–16 November, 2018) – Towards a historic revision of the International System of Units (SI) (https://www.bipm.org/en/cgpm-2018).
- Regőczy E. 1949. Toise, öl, méter. Az Állami Földmérés Közleményei, I. évf., 4. szám, pp. 123–126.
- Regőczy E. 1959. A mértékegységek. *Geodézia és Kartográfia*, 11. évf., pp. 126–128.
- Regőczy E. 1961. A levéltári métertől az optikai méterig. *Geodézia és Kartográfia*, 13. évf., 3. sz., pp. 165–170.
- Regőczy E. 1968. Kruspér István emlékezete. *Geodézia és Kartográfia*, 20. évf., 2. szám, pp. 81–86.
- Rédey I. 1966. A geodézia története. (ÉKME Mérnöki Karának egyetemi jegyzete.) Tankönyvkiadó, Budapest.
- Staar Gy. 2015. Fényreszabott méter – Beszélgetés Bay Zoltánnal. *Természet Világa*, 146. évf., 2015/II. különszáma, pp. 45–48.
- Szabó, G. 2002. A fizikai mennyiség fogalma; idő és hosszúság. (titan.physx.u-szeged.hu/~opthome/optics/oktatás/Fiz_inf_1/fiz_menny.pdf)
- Verő J. 1976. Akadémiánk és a méterrendszer bevezetése. *Magyar Tudomány*, 1976/2. (http://members.iif.hu/visontay/ponticulus/rovatok/limes/meter.html).
https://hu.wikipedia.org/wiki/Kilogramm
https://hu.wikipedia.org/wiki/Másodperc
https://hu.wikipedia.org/wiki/Méter
Wikipédia számos ismertetője.



Dr. Ádám József
egyetemi tanár
az MTA rendes tagja

BME Általános- és Felsőgeodézia
Tanszék
jadam@epito.bme.hu