

UTC idő-léptetés 2006. január 1-én

A Párizsi Obszervatóriumban működő Nemzetközi Földforgási- és Referenciarendszer Szolgálat (IERS) Földi Forgás Szolgálatának 2005. július 4. keltezésű, az idő mérésében és „elosztásában” érintett hatóságok részére C 30-as számú körlevélként megküldött tájékoztatója szerint 2005. decemberének végén egy pozitív szökőmásodperc kerül bevezetésre. Az UTC másodpercelek sorrendje a következő lesz:

2005. december 31. 23 h 59 min 59 s

2005. december 31. 23 h 59 min 60 s

2006. január 1. 00 h 00 min 00 s.

A Koordinált Világidő (UTC) és a Nemzetközi Atomidő (TAI) skálák közti különbség:

1999. január 1, 00 h-tól 2006. január 1. 0 h UTC közt: UTC - TAI = -32 s,

2006. január 1. 00 h UTC-től további értesítésig: UTC - TAI = -33 s.

Szökőmásodperc az UT1-TAI különbség alakulásától függően december vagy a június hónap utolsó napjának 24. órájában iktatható be. Az úgynevezett C körlevél hathavonként kerül kipostázásra, vagy az UTC-ben történő léptetés bejelentésére, vagy annak megerősítésére, hogy a következő lehetséges időpontban nem lesz időléptetés.

Néhány szó az időskálákról, az időléptetés kapcsán

Gyarmati Béla, okl. villamosmérnök

Az időmérés fontossága közismert például a tengeri és a légi navigálásban és hatványozottan jelentkezik mind a civil, mind a katonai rakétatechnikában, az űrtechnikában, valamint a csillagászatban, de legalább olyan fontos az időtől elválaszthatatlan frekvencia mérési pontossága, a rádiócsillagászatból a mobil telefóniáig. Mára már nálunk is elterjedtek a rádió-távvezérelt számkijelzős órák és egyre kevésbé számít státusz-szimbólumnak a GPS-vevők magáncélú alkalmazása. Ugyanakkor a hétköznapi felhasználóknak rendszerint nem sok fogalma van arról, mi a különbség mondjuk a greenwichi idő és a GPS-idő, vagy az UTC és a TAI, vagy ezek bármely párosítása között. Azt sem szokták elsősre megérteni, hogyan lehet másodpercekkel „variálni”, miközben a másodperc milliomod része ezred részének megfelelő pontosságról hallanak. Megnehezíti a tisztázást az, hogy az „időmérés” szóval kétféle dolgot szokás jelölni:

1. két esemény közti időtartam: ez tulajdonképpen fizikai fogalom, az SI-vel koherens mennyiségrendszer egyik alapegysége. Az időtartam SI-egysége a másodperc. Ezt az „idő”-t mérjük a stopperórákkal és a hozzájuk hasonló időintervallum-mérőkkel. Az egyes időintervallumok egymástól önmagukban függetlenek: a két esemény közti időbeli távolság nem függ attól, milyen nap van, vagy hogy volt-e a kettő között óraállítás.
2. eseményeknek a naptári időskálán való elhelyezkedése: ennek alapvető egysége valójában a Nap két egymást követő delelése közti (az előző pont értelmében megmérhető hosszúságú!) időtartam, illetve az ilyenekből felépített, egyezményes skála: „naptár”. A naptári alapegység 86 400-ad része is másodperc, amit didaktikai okokból egy pillanatra naptári másodpercnak nevezek. Ez az idő a naptári időszámításhoz tartozik és önkényességét jól mutatja akár a különféle

helyi idők szabványosítása a zónaidőkkel és a dátumvonallal, akár a téli-nyári időszámítás közti átállás. Amikor a pontos időt leolvassuk, akkor ezt az időt az órákkal valójában nem is mérjük, csupán a definíció szerinti (két delelés közti) időtartamon belül interpolálunk. A nap törtrészeként értelmezhető naptári másodperc a delelési időpontok egymás közti távolságának ingadozása miatt, sajnos, közel sem lehet olyan stabil, mint az SI-másodperc, ezért helyette az „SI-másodperc”-et használják. (Nem nehéz a nagy pontossággal előállított másodpercek leszámllása alapján minden 60.-nál a perckijelzést, minden 3600.-nál az órakijelzést és minden 86 400.-nál a dátumot léptetni.) A csillagászati okokból egyenetlenül múló naptári időnek a nagyon állandó SI-másodperccel való mérése azonban elkerülhetetlenül szükségessé tesz bizonyos összehangoló intézkedéseket.

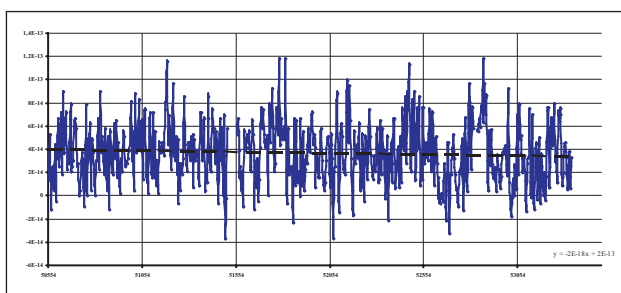
Az atomóráként vagy céziumóráként is emlegetett nagy stabilitású oszcillátorok frekvenciaállandósága kiváló lehetőséget biztosít korábban elképzelhetetlen pontosságú időmérési és időskála-megvalósítási célokra. 1967 óta az időkülönbség SI egységének definíciója is a cézium-etalonokon alapul: 1 s az alapállapotú (0 K) 133Cs céziumatom két hiperfinom energiaszintje közti átmenethez tartozó sugárzás 9 192 631 770 rezgésének időtartama.

A cézium-órák múlt század közepén történt megalkotása óta számtalan, hasonló elven működő, különböző gyártmányú „atomóra” került alkalmazásra, úgy ipari, mind mérésügyi, illetve tudományos területen. (A GPS navigációs rendszer minden egyes műholdján is ilyen atomórák működése biztosítja az események időbeli összerendezettségét.) Az egyes atomórák az illető laboratórium számára atomi időskálát biztosítanak, mégpedig annyit, ahány céziumetallonnal rendelkeznek. Ezek az időskálák



1. ábra: Az OMH „etalon órája“ (nagystabilitású céziumstabilizált frekvencia etalon) Érdemes megemlíteni, hogy idén volt a céziumstabilizált frekvenciaetalon feltalálásának 50 éves évfordulója...

kismértékben ingadoznak és eltérnek egymástól is és más laboratóriumok hasonló óráitól is, tehát a rájuk alapozott órák kissé „összevissza“ járnak. Az ingadozás ugyan elképesztően kicsiny: jellemzően néhányszor 10^{-13} , de az egyes etalonok által megvalósított időskálák egyes célok-

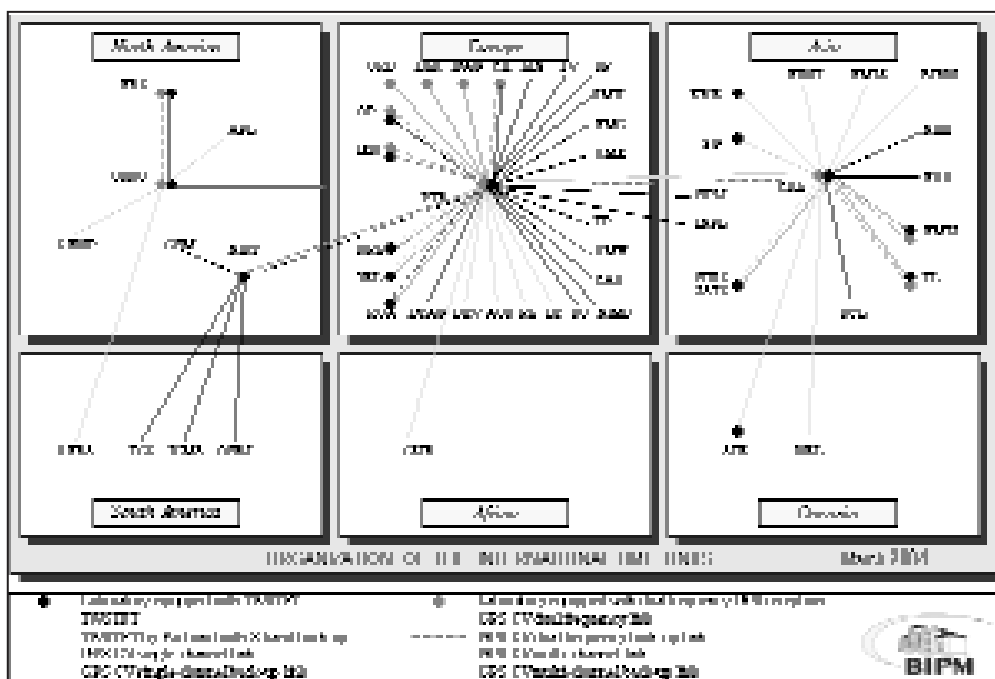


2. ábra: Az OMH „etalon órájának“ eltérése az UTC-től. Az ismert nagyságú eltérést nem egyenlítik ki az óra pontosításával, mert az megszakítaná a korrekció előtti és utáni adatok egységességét. (A vízszintes tengely az MJD, lásd 96. oldali összefoglalónkat is)

ra még így sem lennének elég pontosak – mint a mester-séges holdak pályameghatározása, nagy pontosságú légi, tengeri és szárazföldi navigáció, térképészet, a kontinens-vándorlás kimérése (földrengés-előrejelzés!), relativisztikus hatások bizonyítása stb.

Az egymástól távol működtetett órák együttfutás-ellenőrzése érdekes és bonyolult szakmai feladat. A fizikai utaztatás már régóta nem járható út (az órák járása is megsínylené), ezért az órák összehasonlítását eleinte rádió és TV-jelekkel, nagyjából másfél évtizede pedig a GPS-ben üzemeltetett műholdakon keresztül, a GPS infrastruktúrájának felhasználásával, közvetett módon oldják meg.

Az atomórák ingadozásai és rendszeres bizonytalanságai hatásának csökkentésére az atomi időskálákat fenntartó („atomórákat működtető“) laboratóriumok időadatait a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (BIPM) megátlagolja (kiértékeli), létrehozva ezzel a Nemzetközi Atomidő-skálát (TAI). Definíciója szerint a TAI 1958. január 1-én 0 h-kor egybeesett a nulladik földrajzi hosszúsági fokon érvényes csillagászati időskála („greenwichi idő“) éjfélével és időegysége az SI-másodperc (a tengerszinten, mivel az idő – a relativitáselmélet által megjósoltan és mára kísérletileg bebizonyítva – a magasságtól függően másként múlik...). A mintegy 250 céziumóra adatainak megfelelő és a résztvevők által egyeztetett számítási módszerrel történő súlyozásával elérhető, hogy a nagy ingadozású órák adatai kisebb súllyal szerepeljenek az átlagolásban, mint a nagy stabilitásúakéi. Magyarországon az OMH tartja fenn az UTC(OMH) időskálát, 0,1 ns felbontással és mintegy 20 ns összbizonytalansággal (egy „kereskedelmi“ cézium atomóra segítségével). A GPS műholdakon lévő órák 1 PPS (másodpercenként egyimpulzusos) jelének transzferként való használata segítségével napon-ta mintegy 25 összehasonlítás történik és természetesen a

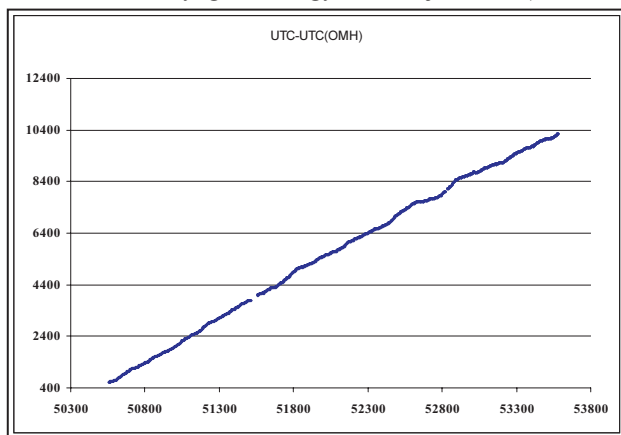


3. ábra: A nemzetközi idő/frekvenciaetalon-összehasonlítás hálózata (2004-es állapot, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal honlapjának képe)

TAI meghatározásban is figyelembe veszik az OMH adatait. (Egy, a nemzetközi együttműködéssel elért csúcspontosságnak megfelelően járó óra több, mint egymillió év alatt mutatna 1 s eltérést...) A TAI-t saját adataik közreadásával fenntartó intézmények mintegy szétosztják a pontos időt, amennyiben saját, a fentiek szerint pontosított idő- illetve frekvenciamérő eszközeiket a hozzájuk fordulók számára hozzáférhetővé teszik (például ügyfelek eszközeinek kalibrálása, vagy hitelesítése révén).

A TAI rendkívül egyenletes időskála, segítségével a Föld legkülönbözőbb részein történő események egyidejűsége jól kezelhető, a csillagászati eseményekhez képest azonban (a Föld forgásának ingadozása miatt) ingadozóan, de tendenciózusan növekvő mértékben eltér. (Ma egy átlagos nap kb. 30 nanomásodperccel hosszabb, mint ötven éve!)

A Föld forgására alapozott (tehát nem atomi, hanem csillagászati alapú), és a Föld pólusingadozását figyelembe vevő helyesbítéssel finomított Egyetemes Időskála (UT1) a csillagászati jelenségekkel definíciójánál fogva eléggé jól együtt fut, de metrológiai célokra nem elég egyenletes: az ingadozásai 10^{-8} nagyságrendűek (mert a Föld forgása nem elég egyenletes). A TAI által megtestesített (egyenletes) időskálához képest már közel fél perccel eltért a csillagászati időskála, ami nem csak a tudományos kutatásban és a csúcstechnika alkalmazásában, hanem a mindennapi életben is zavaró lenne. (Meg kell jegyezni, hogy a Föld a nagyrészt ismeretlen eredetű ingadozások mellett el nem hanyagolható mértékben tendenciózusan lassul is, aminek hatása ugyan kiküszöbölhető lenne a másodpercdeliníció időszakonkénti újradefiniálásával is, ez azonban a már elért bizonytalansági szinten nem lenne elhanyagolható, így ez nem járható út)



4. ábra: Az UTC-UTC_(OMH) időkülönbség alakulása. A vízszintes tengelyen MJD (lásd 96. oldali összefoglalónkat is), a függőlegesen az eltérés ns-ban

Annak érdekében, hogy Föld forgásának a Nemzetközi Atomidő-skálához képest kimutatható ingadozása ki le-

gyen egyenlítőre, a 15. Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet (CGPM) 1975-ben bevezette a Összehangolt Világidő-skálát (UTC) ami azóta de facto a greenwichi időskála helyébe lépett. Az UTC az egész Földön egységes: mindenhol ugyanakkor van éjféli, így egy-egy csillagászati eseményt különböző (más-más helyi, illetve zóna-idejű) helyeken azonos időpontban, az időskálán „azonos helyen“ észlelik, tehát az UTC-ben nincs zónaidő.

Az UTC időskáláját a TAI időskálából igen egyszerűen származtatják: a TAI időértékeket időszakonként 1-1 úgynevezett szökőmásodperccel helyesbítik (eddig mindig pozitív irányban). A szökőmásodperces helyesbítések biztosítják, hogy a csillagászati UT1 és az UTC-ben megvalósított polgári időskála ne térjen el egymástól 0,9 s-nál jobban. A beiktatás gyakorisága a Föld forgásának rendszerelensége miatt maga is ingadozik: 1972 óta 23 alkalommal került sor szökőmásodperc beiktatására, legutóbb 1999. január 1-én.

1. táblázat: Az UTC szökőmásodpercei 1972 óta

év	01. 01.	07. 01.	év	01. 01.	07. 01.
1972	+1 s	+1 s	1990	+1 s	-
1973	+1 s	-	1991	+1 s	-
1974	+1 s	-	1992	-	+1 s
1975	+1 s	-	1993	-	+1 s
1976	+1 s	-	1994	-	+1 s
1977	+1 s	-	1995	-	-
1978	+1 s	-	1996	+1 s	-
1979	+1 s	-	1997	-	+1 s
1980	+1 s	-	1988	nem volt	
1981	-	+1 s	1999	+1 s	-
1982	-	+1 s	2000	nem volt	
1983	-	+1 s	2001	nem volt	
1984	nem volt		2002	nem volt	
1985	-	+1 s	2003	nem volt	
1986	nem volt		2004	nem volt	
1987	nem volt		2005	nem volt	
1988	+1 s	-	2006	+1 s	-

A legközelebbi szökőmásodperc beiktatásának időpontját még nem lehet megjósolni, mert a Föld forgásegyenlenségének okai még nem eléggé tisztázottak, így a szükséges helyesbítéseket csak folyamatos csillagászati megfigyelések alapján lehet elvégezni (ez a korábbi Nemzetközi Órahivatal helyébe lépett IERS-nek – a Nemzetközi Földforgási Szolgálatnak – a feladata).

Érdemes megemlíteni még a GPS-időskálát is. Ezt a skálát az UTC-hez hasonlóan „indították“ 1980. január 6-án és a „GPS eseményeket“ ezen az időskálán tartják számon. A GPS-időskála indítása óta eltelt másodperc-szökötéseket nem hajtják végre, így a GPS-időskála jelenleg 13 másodperccel siet az UTC-hez képest. (A szökőmásodperc beiktatása miatt jövőre ez a sietés 14 másodpercre nő.) Mivel a GPS-UTC időkülönbség mindig ismert és a GPS-vevők által figyelembe vehető, ezért az óra-üzem-módban használt korszerű GPS-vevők (a kapott kódolt

1 A decimális napban az éjfélt 0 jelöli, a delelést pedig 0,5. Példaként a 09 h 27 min 11 s időpont decimális napban kifejezve: 0,393877, míg a 17 h 30 min 00 s decimális napi egyenértéke: 0,729167. A decimális napot hat tizedessel használják.

adatok feldolgozása révén) ezt az eltérést önműködően számításba veszik.

A szökőmásodpercek kezelését a korszerű rádió-távvezérelt órák és az interneten keresztül szinkronizált számítógépek rendszerint szintén önműködően kezelik, (mivel a kapott UTC-jelekhez a szükséges helyesbítő utasításokat is megkapják), használjuknak tehát nincs átalítgatási tennivalója. Az időmérést végzők legtöbbször nem fogja észrevenni ezt a szökőmásodpercet sem, de megnyugodhat mindenki: az egyenletesen múló atomidő és az ingadozó csillagászati időskála összhangját úgy sikerült fenntartani, hogy az atomidő hihetetlen pontosságát nem kellett feláldozni.

A szakemberek persze most sem elégedettek: az európai együttműködésben készülő *Galileo-program* keretében a GPS-nél nagyobb pontosságú, megbízhatóbb (és kinyilatkoztatottan civil felhasználási célú) műholdas helymeghatározási rendszer kiépítése folyik. A rendszer a GPS-hez hasonló elveken alapul, azzal együtt fog tudni működni, de annál több műholdat fog tartalmazni, rajtuk több atomórával. (Teljes kiépítése még majd egy évtized...)

A Galileo-rendszerben zajló eseményeket az úgynevezett GST-időskálán fogják nyilvántartani (Galileo System Time = Galileo rendszeridő-skála). Az új rendszer természetesen az idő és frekvenciamérések metrológiája számára is új lehetőségeket (és feladatokat) jelent majd...

Mi az MJD?

Az időskálákról szóló cikkünkben az UTC_{OMH} időfüggését szemléltető diagramok tengelyein MJD szerepel. Mivel nem közismert dátumozási rendszerről van szó, röviden ismertetjük az MJD fogalmát és szerepét.

A különféle naptárrendszerekben kifejezett dátumok nehezen vethetők össze (ez régebben különösen a történelemtudományokban jelentett gondot) és az időtartamok is nehezen számíthatók. A csillagászatnak is szüksége volt egy olyan „naptárra” (valójában időskálára), amelyen az egyes csillagászati események egyértelműen elhelyezhetők. Az igények kielégítésére Joseph Scaliger (1540-1609) francia csillagász dolgozta ki 1583-ban – a Gergely-féle naptárreform kapcsán – azt a „naptárat” (azaz időskálát), amelyben minden nap egy sorszámval, az illető nap úgynevezett Julián-dátumával (JD) van jelölve. A skála kezdő napja, különféle megfontolásokból időszámításunk előtt 4713. január 1. délben kezdődött. A szokatlan kezdésnek az az oka hogy a csillagászati szemlélet számára egy nap – eredetileg mérés-technikai megfontolásból! – valamely égi objektum két delelése közti időtartammal van meghatározva. (Tehát „csillagászati-lag” a naptárat nem éjféltől, hanem délben kellene lapozni, ami persze a hétköznapi életben nem célszerű.)

A JD minden nap egygel nő, 2005 szeptember 13. Julián-dátuma 2453626. A Julián-dátum azért volt fontos, mert a folytonosságát nem szakította meg a naptárváltás. A JD alkalmas a napon belüli események időbeliségének ábrázolására is, amennyiben kiegészítik az időpont decimális napban való kifejezésével. Abszolút linearitása miatt a Julián-dátum igen alkalmas időpontok közti tá-

volság (az eltelt idő!) megállapítására, amihez csak a két dátum különbségét kell képezni.

A Julián dátumnak azonban két hátránya is van: a napok délben váltanak, nem éjféltől, mint a rendes civil naptárban és a dátumjelölő szám egyre hosszabb. (A JD sokszámjegysége gondot okozott a XX. sz. első felének számítógépei számára is!) 1958-ban kiküszöbölték a JD mindkét említett hátrányát a módosított Julián-dátum (MJD) bevezetésével. A módosítás igen egyszerűen történt: a Julián dátumból levontak 2400000,5 napot (ezzel 1858. november 17.-én éjféle lett a módosított Julián dátum kezdő időpontja):

$$MJD = JD - 2400000,5$$

Például, a 2005. IX. 13-i (gregorián) dátum MJD megfelelője: 53626, ami könnyebben kezelhető. Az MJD megtartotta a JD összes előnyét és kiküszöbölte legfőbb hátrányait. Az MJD-ben közölt adatok zónaidőtől mentesen az egész Földön egységesek, ezért különösen célszerű a használatuk az egész Földön („globálisan”) lezajló események naplózására: csillagászat, mesterséges holdak, GPS és nem utolsósorban a nemzetközi időösszehasonlítások szakterületén.

A hétköznapi „normális” (gregorián) naptár és az MJD közti átszámítás nem túl bonyolult (többféle is létezik), de az egyenértékű meghatározására internetes szolgáltatók is léteznek.