

A LÉGKÖR ÉS ÓCEÁN GLOBÁLIS MEGFIGYELŐRENDSZEREI

Czelnai Rudolf

az MTA rendes tagja
cz32r@t-online.hu

Előzmények

Globális földmegfigyelésen – pongyola módon – többféle dolgot lehet érteni. Ezért előrebocsátom, hogy az alábbiakban azt nevezem így, amikor olyan, az egész Földre kiterjedő megfigyelőhálózat jön létre, mely hálózatnak az állomásai részben az együttműködő államok felségterületén belül, másik részben felségterületen kívül működnek, azonos technikai előírások alapján. Ilyen rendszer létrehozására az ismert legrégebb javaslat a 19. században merült fel, és *Christoph Hendrik Diederik Buys Ballot* (1817–1890) nevéhez kapcsolódik¹ (1. ábra). Buys Ballot 1872-ben vetette fel, hogy létre kellene hozni egy megfelelő nemzetközi mechanizmust, amely kereteket adhat meteorológiai állomások létrehozására és fenntartására *az egyes államok felségterületein kívül eső térségekben* is (Daniel, 1973). E gondolattal messze megelőzte korát.

Az első lépés már 1873-ban megtörtént, amikor Bécsben létrejött a nevezetes *International Meteorological Organization* (IMO). E szervezet első elnöke – nem véletlenül – éppen Buys Ballot lett. Azért esett rá a választás,

¹ C. H. D. Buys Ballot az 1854-ben létesült Holland Királyi Meteorológiai Intézet első igazgatója volt.

mert az európai meteorológiai szolgálatok vezetői, akik a szervezetet létrehozták, a nemzetközi megfigyelőhálózat kialakítását tekintették a legfontosabb feladatnak. Ez a felfogás, a prioritásokat illetően, változatlanul máig fennmaradt. A megvalósításhoz szükséges politikai és műszaki feltételek beérésére azonban hosszú ideig kellett még várni.

Amikor a nagymúltú IMO, 1950. március 23-án, az ENSZ-szervezetek családján belül *Meteorológiai Világszervezetté* (WMO)



Christoph Hendrik Diederik Buys Ballot
(1817–1890)

alakult át, a szervezet céljaiban nem történt lényeges változás. A lehetőségek azonban lényegesen kedvezőbbekké váltak. Alig pár évvel később, 1957. október 4-én pályára került az első Szputnyik. Az erről szóló hír felröppenésekor a Meteorológiai Világszervezet Végrehajtó Bizottsága éppen ülésezett. Késedelem nélkül vita indult arról, hogy ez mit jelenthet a meteorológiai megfigyelések jövője szempontjából.

Az ülés jegyzőkönyvének tanulsága szerint a jelenlévők azonnal felismerték az úrból történő megfigyelések jelentőségét. Rögtön döntöttek is arról, hogy a Végrehajtó Bizottság 1958. áprilisi ülésének napirendjén már szerepeljen a műholdak meteorológiai célú felhasználásának kérdése. A tárgyalás kimenetele az lett, hogy alapítottak egy szakértő testületet,² és ez a testület már 1961-ben le is tett az asztalra egy részletes intézkedési tervet.

Ezzel körülbelül egy időben már folytak a politikai tárgyalások, hogy nemzetközi megegyezés szülessen a világűr békés felhasználásának alapelveit illetően. Az eredmény az lett, hogy az ENSZ Közgyűlése 1961. december 20-án meghozta 1721 (XVI) számú határozatát, mely megteremtette a jogi alapokat. E határozat C fejezete tartalmazott egy ajánlást, melyben felkérték a Meteorológiai Világszervezetet, hogy a megszülető űrtechnológia fényében kezdjen lépéseket a légköri tudományok átfogó fejlesztésére, egyebek közt az éghajlatot alakító fizikai folyamatok jobb megismerése céljából. Ez a határozat vezetett oda, hogy létrejött a *Meteorológiai Világszolgálat* (W³), illetőleg annak globális megfigyelőrendszere (GOS⁴).

² WMO/EC Panel of Experts on Satellites

³ World Weather Watch

⁴ Global Observing System (of the World Weather Watch)

Ez a GOS volt az első globális földmegfigyelő rendszer, melyet számos további követte. A klímaváltozás ügyével kapcsolatos adatigények vezettek a Global Atmosphere Watch (GAW), az Integrated Global Atmospheric Chemistry Observation System (IGACO), a Global Climate Observing System (GCOS), a World Hydrological Cycle Observing System (WHYCOS), a Global Ocean Observing System (GOOS) és a Global Terrestrial Observing System (GTOS) megteremtésére. Ez a lista távolról sem teljes.

Amint más földtudományi szakterületeken is kezdtek megszületni a különféle speciális globális megfigyelőrendszerek, egyes kutatók máris azon kezdtek gondolkodni, hogy mindezeket a tudományterületeket és megfigyelőrendszereiket integrálni kellene. Ez vezetett oda, hogy 1983 novemberében az US National Aeronautics and Space Administration (NASA) tudományos tanácsa létrehozott egy bizottságot, mely az Earth System Sciences Committee nevet kapta, s áttekintette a Földre mint „interaktív komponensek rendszerére” vonatkozó kutatások körét, és 1988 januárjában letett az asztalra egy jelentést, melyben javasolta, hogy a meglévő rendszerek összevonásával létre kell hozni egy új, multidiszciplináris tudományos vállalkozást.

Ez, úgy tűnik, nem aratott átütő sikert. Az érintett speciális szakterületek nem akarták „közösbe adni” a megfigyelőrendszereket, melyeket nagy fáradtsággal és szakmai odaadással létrehoztak. Az is hátráltatta a nagy átfogó terveket, hogy hosszú ideig voltaképpen nem is álltak rendelkezésre a globális integrált földmegfigyelés összes szükséges alaprendszerei. A leglényegesebb az volt, hogy a világóceán megfigyelésének globális rendszere még meg sem született. Ez ugyanis az összes többihez képest sokkal nehezebb feladat volt.

Az 1970-es évektől kezdve az oceanográfiai műholdak már értékes adatokat szolgáltatnak az óceán felszínének állapotáról és a felszínen végbemenő folyamatokról. Azonban a mélyebb óceáni rétegekben lezajló folyamatok megfigyelése egészen az 1990-es évek végéig megoldatlan maradt. A fronttörést végül is az ún. autonóm szondák⁵ kifejlesztése hozta meg. Ezek a szondák tették lehetővé az új generációs oceanográfiai műholdak rendszerével együtt a *Global Ocean Observing System* (GOOS) megszületését az ezredforduló táján.

Az 1980-as évek második felében már világszerte több nagy tudományos műhelyben mindennapos téma volt a multidiszciplináris, globális földmegfigyelés ügye. Johannesburgban, 2002-ben, a *World Summit on Sustainable Development* (WSSD) résztvevői már egyetértőleg hangsúlyozták egy integrált globális földmegfigyelő rendszer létrehozásának fontosságát. A *G8 csoport államfőinek csúcserkezte* (Evian, 2003) visszatért erre, és kinyilvánította a javaslat megvalósítására irányuló politikai akaratot. Nagyon hamar ezt követően, 2003 júliusában, Washingtonban már megtartották az *Earth Observation Summit* (EOS-1) első ülését, melyen felvázolták egy elképzelt globális földmegfigyelő rendszer körvonalait. Az *Earth Observation Summit* (EOS-2) második ülésén (Tokió, 2004) már részletes terv állt rendelkezésre az

⁵ Vízbe helyezés után ezek a szondák automatikusan lemerülnek az előírt mélységbe (pl. 2000 m-re), majd együtt sodródnak az adott vízréteg áramlásaival 10–14 napon át. Ezután felemelkednek a felszínre, és közben mérik a víz hőmérsékletét és sótartalmát. A felszínen minimális ideig tartózkodnak, hogy továbbítsák adataikat a legközelebbi műholdnak, ezután újból lesüllyednek. A műholdak meghatározzák a szondák pozícióit, amiből meghatározható az áramlási mező. Egyidejűleg összesen mindig három ezer szonda üzemel.

érdemi vitákhoz. Végül, az *Earth Observation Summit* (EOS-3) harmadik ülésén Brüsszelben, 2005. február 16-án közel hatvan ország kormányának és negyven nemzetközi szervezetnek a képviselői jóváhagyták a GEOSS néven ismert *Globális földmegfigyelő rendszerek rendszerének*⁶ tízéves megvalósítási tervét. Ezzel a földtudományok történetében új korszak vette kezdetét.

Mi a GEOSS jelentősége a klíma ügye szempontjából?

Miért van szükségünk egy mindent átfogó globális földmegfigyelő rendszerre? E kérdésre a probléma természete adja meg a választ. Az éghajlatot egy komplex, nemlineáris rendszer működése határozza meg, mely rendszer elemei különféle tér- és időbeli skálákon dinamikusan kapcsolódnak egymáshoz. Az említett rendszer a légkört, a világóceánt, a szárazföldi felszínt, a krioszférát és a bioszférát foglalja magában.

Az 1990-es évek kezdete óta az éghajlati tanulmányok, részben a Grönlandon és a kelet-antarktisz C-kupolában végzett mélységi jégmagfúrások révén, még komplexebbé váltak. A jégminták alapján kapott 740 ezer évre visszamenő klímarekonstrukciók új kérdéseket vetettek fel a *természetes klímaváltozásokkal* kapcsolatban.

A klímaváltozások társadalmi és gazdasági hatásaira vonatkozó vizsgálatokkal, továbbá a lehetséges válasz-stratégiák felmérésével további tudományterületek vonultak be a téma multidiszciplináris vizsgálataiba. Különböző diszciplínákhoz tartozó adatok egyre nagyobb tömegével kellett megbirkózni. A hozzáférés ezekhez a különböző természetű adatokhoz gyakran nagyon eltérő eljárásokat

⁶ Global Earth Observation System of Systems.

tett szükségessé. Gyakran kellett eltérő adatpolitikákkal szembenézni, és ez sokféle nehézséget okozott. Nyilvánvaló volt, hogy eljött az ideje egy mélyreható változtatásnak. Egyszerű, globális megegyezésen alapuló interoperabilitási specifikációkra, adatpolitikára és standard eljárásokra volt szükség.

A fő probléma abból eredt, hogy a megfigyelő és adatasszimilációs rendszerek költségesek, és hosszú (gyakorlatilag korlátlan) időtartamra kell a működésüket garantálni. A szokásos projektfinanszírozási politika keretein belül ez nem lehetséges. Ezért ezeknek a rendszereknek a fenntartása világszerte bizonytalanra vált.

A probléma megoldását a világ a Globális földmegfigyelő rendszerek rendszerének létrehozásában véli megtalálni. Ez a projekt ugyanis egész sor olyan döntést foglal magában, melyeket már régen meg kellett volna hozni. Mindezekhez a GEOSS most megfelelőnek látszó kereteket biztosít.

Érdemes kitérni arra, hogy miért beszélünk „rendszerek rendszeréről”. Ez ugyanis kulcskérdés.⁷ Az egész GEOSS-konceptió lényege éppen ebben van. Kiindulási pontunk szükségképpen csak annak tudomásul vétele lehet, hogy máris egész sor globális megfigyelőrendszer létezik és működik. Ezeket szakmailag kompetens nemzeti és nemzetközi intézmények, illetve szervezetek működtetik. Esztelen dolog lenne felforgatni a jól működő rendszereket. Ugyanakkor biztosítani kell azok interoperabilitását. Ebből következik, hogy a GEOSS a meglévő rendszerekre épül, s minden elem működtetését tovább-

ra is azok végzik, akik azokat létrehozták. A GEOSS terv azt célozza, hogy tíz év leforgása alatt megvalósuljon az összetevő rendszerek informatikai szempontból való összekapcsolása, ugyanakkor gondoskodjanak az összetevő rendszerek mindegyikének a fejlesztéséről, hogy azok kielégítsenek bizonyos általános érvényű mintavételi, pontossági és megbízhatósági követelményeket.

Milyen hatást gyakorolhat a GEOSS rendszer létrejötte a klímaváltozással kapcsolatos kutatások jövőjére?

Bárki észrevehette, hogy az újságok híreiben egyre gyakrabban olvasunk szélsőséges időjárásról, éghajlati anomáliákról. Olyan idők kapujában vagyunk, amikor az éghajlat kérése egyre gyakrabban szerepel majd a politikai döntéshozó testületek napirendjén is. A pusztá tény, hogy a G8 csoport államfői a 2003. évi csúcstalálkozón időt szántak a globális földmegfigyelés ügyének megbeszélésére, ugyanezt tanúsítja. A GEOSS megteremtésével a klímatudomány és a klímapolitika is új kor küszöbére érkezett. A klímaváltozással kutatása újabb ösztönzést kap, és a klímapolitika is új erőt meríthet a rendelkezésre álló információ bővülése folytán.

Az 1950-es évek közepe óta a klímakutatás két fő iránya a globális *klímamodell*ezés és a *klímamonitorozás* volt. E két terület párhuzamosan haladt előre. De a megfigyelési programok fejlődése egy kicsit mindig a modellezés előtt járt (a frontáttörés, mely az El Niño déli oszcilláció kutatása terén az 1997. évi rekordanomália kapcsán bekövetkezett, ezt jól példázta.)

Azt is látjuk, hogy amint a megfigyelési programok területén ugrás történik előre (amilyen például a GEOSS program), ez rögtön maga után vonja annak szükségességét,

⁷ A „rendszerek rendszere” kifejezés szinte provokálja a viccelődést, elsősorban olyan nemzeti és nemzetközi hivatalok vezetői részéről, akik valamilyen okból arra számítottak, hogy ezt a hatalmas komplexumot majd a saját bürokratikus apparátusuk alá gyűrhetik, és most csalódottak.

hogyan az erők összpontosításával hasonló nagy ugrás történjen az *integrált adatasszimiláció* terén. És amint ez megtörténik, megkezdődik a nagy kutatólaboratóriumok összevonása még nagyobb központokba. Az így létrejövő „szuperlaboratóriumok” rögtön át akarnak lépni egy újabb dimenzióba a számítástechnikai felszereltség tekintetében is.

Amit az előbb körvonalaztam, ez már kezd is valósággá válni. Legalábbis Amerikában már látjuk, hogy a folyamat megindult. A NOAA⁸, a NASA⁹ és a DoD¹⁰ létrehozott

⁸ NOAA = National Oceanic and Atmospheric Administration

⁹ NASA = National Aeronautics and Space Administration

¹⁰ DoD = Department of Defence

¹¹ Petaflop sebességű és petabyte memóriakapacitású számítógépek

egy közös műholdas adatasszimilációs központot (JCSDA). Már arról is hallottunk, hogy hat NOAA laboratóriumot összevonva létrehozták az Earth System Research Laboratory nevű hatalmas központot. És máris született egy tanulmány egy Petascale¹¹ Collaboratory for Geosciences létrehozására.

Az Európai Közösség sem akar lemaradni. A GEOSS tervhez való EU-hozzájárulás fő komponensévé a Global Monitoring for Environment and Security (GMES) projekt válik, mely a klímamonitorozás terén az EU fő eszközeül szolgál majd ahhoz, hogy a G8 csoport 2005. évi ajánlásának megfelelően az Unió méltóképpen vehesse ki a részét a közös nemzetközi erőfeszítésekből.

Kulcsszavak: *klímaváltozás, meteorológia, oceanográfia*

IRODALOM

- Commission of the European Communities (2005): *Global Monitoring for Environment and Security (GMES). From Concept to Reality*. Brussels
- Daniel, Howard (1973): *One Hundred Years of International Co-operation in Meteorology (1873 – 1973)*. WMO – No. 345, Geneva
- Davies, Sir Arthur (ed.) (1990): *Forty Years of Progress and Achievement – A Historical Review of WMO.* – WMO – No. 721, Geneva
- GCOS (1991): *The Global Climate Observing System. A proposal*. UK Met Office
- GEO (2005): *GEOSS 10-Year Implementation Plan, Reference Document*. GEO 1000R, February 2005, ESA Publication Division, The Netherlands
- Hart, David M. – Victor, David G. (1993): Scientific Elites and the Making of US Policy for Climate Change Research, 1957–74. *Social Studies of Science*. 23, 643–680.
- IOC – UNESCO (1990): *Towards a Global Ocean Observing System*. Paris
- NASA (1988): *Earth System Science. A Closer View. Report of the ESSC*. NASA Advisory Council, Washington, DC.
- ONR – NSF (2002): *An Information Technology Infrastructure Plan to Advance Ocean Sciences*. Office of Naval Research, and the National Science Foundation. Geosciences Professional Services, Inc.
- UCAR/JOSS (2005): *Establishing a Petascale Collaboratory for the Geosciences*. Ad Hoc Committee and Technical Working Group Report to the Geosciences Community.
- WMO (2004): *World Hydrological Cycle Observing System (WHYCOS)*. IGAD-HYCOS Project Document, WHCOS No. 1