

*Faragó T., 1979: Az éghajlatmodellezés alapjai.
Az OMSZ Hivatalos Kiadványai, XLVIII, 151-161. o.
(ISBN 963 7701 25 7)*

AZ ÉGHAJLATMODELLEZÉS ALAPJAI*

SOOS MIHÁLY írja 1870-ben megjelent Éghajlattan című könyvében: „Ily erőszakos átalakulások kétségkívül az éghajlati viszonyok általános jellegét is megváltoztatták, mi mellett közvetlen adatok hiányában a föld gyomrába zárt őslények maradványainak földrajzi elterjedése nyújt nyilvános bizonyítékot. Általános értelemben történik-e napjainkban e téren is változás? azt a mienknél szerencsésebb utókor döntheti el.” A neves magyar meteorológus, RÓNA ZSIGMOND 66 év elteltével már válaszol az utókor nevében: „ha csak a történelmi időkre szorítkozunk, arról jelenleg a klimatológusok azt a fölfogást vallják, hogy az éghajlatban folytonos egyirányú változás nem mutatható ki.” E kérdésre azóta is sokan, sokféleképpen próbáltak választ adni.

Az évtizedünk első felében észlelt olyan rendkívüli éghajlati jelenségek, mint például a Sahel-övezetben éveken át dúló, a legsúlyosabb 1973-as évben mintegy 100000 áldozatot követelő szárazság ismét ráirányította a figyelmet az éghajlatkutatásra. A feltett kérdésre legutóbb a legilletékesebb és lehető legmagasabb fórumon fogalmazták meg korunk válaszát: a Meteorológiai Világszervezet Végrehajtó Bizottsága állást foglalt 1976-ban, XXVIII. ülésén az éghajlatváltozásról, elfogadva azt a felvetést, hogy jelenleg egy igen lassan kibontakozó globális méretű éghajlatváltozásnak vagyunk a tanúi. Elengedhetetlennek látszik azonban, hogy tökéletesítsük az éghajlatot meghatározó folyamatokra, fizikai összefüggésekre vonatkozó ismereteinket. E célt hivatott szolgálni a Globális Légkörkutató Program második feladatköréhez fűződő nemzetközi tevékenység, amely jelenleg a Meteorológiai Világszervezet Éghajlati Világprogramjaként egyre nagyobb mértéket ölt.

Az éghajlat és az éghajlatváltozások kutatásának legfőbb eszközeként napjainkban a klasszikus klimatológia mellett a klímamodellezés lép előtérbe. Az ilyen jellegű modellezés alapjait feltehetőleg BERGERON és KOCSIN vetette meg az 1930-as évek elején. A numerikus modellezés azonban csak a számítógépek megjelenésével válhatott valósággá. 1955-ben az USA-ban

** A Magyar Tudományos Akadémia székházában – az 1978. évi Meteorológiai Tudományos Napok keretében – elhangzott előadás szerkesztett változata, amely az előadások szövegét tartalmazó kötetben jelent meg. Jelen változat az eredeti publikáció kivonata (utólagos kiemelésekkel).*

klímadinamikai konferenciát tartottak, melyen a „számítógép atyja” NEUMANN JÁNOS is előadást tartott. E konferencián CHARNEY már összefoglalta azokat a kérdéseket, melyeket a rövidebb távú időjárás-prognosztikával szemben a nagy tér- és időbeli skálájú folyamatok tanulmányozása során meg kell oldani. [..] Az első általános cirkulációs, numerikus modellt is ekkor mutatta be PHILLIPS. **Ezzel kezdetét vette a modern éghajlatkutatás korszaka.**

A modellezés lényegének feltárása előtt tekintsük át az éghajlati rendszer főbb jellemzőit (1. ábra). A korábban kizárólagosan vizsgált alkotóelem, a légkör [..] legfontosabb tulajdonsága az éghajlati rendszer többi eleméhez képest rendkívül gyors, mintegy 1 hónapos karakterisztikus /igazodási/ idő. Ha figyelmünket csak e közeg hidro- és termodinamikájára korlátoznánk, akkor az éghajlati rendszer összes többi elemét külső vagy kényszertagként tárgyalnánk, lényegében azok minden változásától eltekintve. [..] A bioszféra és a krioszféra karakterisztikus spektruma sokkal tágabb: az évszakos változásoktól egészen többszáz, sőt többezer évig terjed. Mindkét alkotóelem fontos szerepet játszik a felszíni albedó meghatározásában; a bioszféra többek között jelentős hatással van a légköri CO₂-készletre, valamint az evapotranspiráció révén a hidrológiai ciklusra. Az óceánok legfontosabb sajátossága a nagy hőtároló képesség, melynek révén különösen az aktív felszíni rétegük jelentékenyen kiegészíti a légkör hőszállító tevékenységét, és hat annak hőhártására, esetenként több éves nagyságrendű relaxációs idővel. A tengermély karakterisztikus ideje még egy, esetleg két nagyságrenddel nagyobb. Legvégül említjük a földfelszín, mely jelentős az orográfia és az érdesség révén a légkör dinamikájában, a felszíni vizek révén a hidrológiai ciklusban, továbbá bizonyos légköri szennyezőanyagok, aeroszolok körforgalmában stb.

Ezek azok a rendszerelemek, melyeket egy általánosabb, éghajlatilag meghatározó – például 10-10³ éves – időskálájú modellezésre készülve változásában és kölcsönös hatásaiban kell szemlélnünk. Minél jobban szűkítenénk az időtartományt, annál több komponens /vagy csak azok egyes oldalai/ válnának egy olyan külső rendszer részeivé, melyet vagy teljességgel változatlanak tekintenénk, vagy változásait a rendszertől függetlenül íránk elő. [..] E két sokaság megkülönböztetésére CZELNAI a gyors, illetve a lassú rendszer fogalmának bevezetését ajánlja, utalva ezzel a karakterisztikus időkben mutatkozó nagyságrendi különbségekre. Okfejtésünkből kitűnik, hogy a gyors és lassú rendszer közötti határvonal relatív, a megfelelő modell alapjául szolgáló integrálási tartomány függvénye.

Az éghajlati rendszer mozgásának is fő rugója – ugyanúgy, mint az időjárási rendszer esetében – a Nap sugárzása. Ugyanakkor a rendszer önmozgása is jelentős tényező. A gerjesztő hatások bonyolult fizikai /és kémia/ mechanizmusokon keresztül érvényesülnek. Ezek során **különbféle „körfolyamatoknak” is tanúi lehetünk, melyek révén egyes jellemzők „önerősítése vagy gyengítése” állhat elő.** Az ilyen összefüggéseket illusztrálja a 2. ábra. [..] **E folyamatok**

önmagukban vett tanulmányozása azonban megtévesztő következtetésekre vezethet: folyamatos melegedési tendencia a növekvő CO₂-szennyezés miatt, vagy lehülési tendencia az ugyancsak az iparosodás következtében növekvő aeroszol felhalmozódás miatt. Világosan kell látni, hogy olyan összetett rendszerrel állunk szemben, ahol különböző tér- és időbeli skálájú folyamatok összefüggő sokasága alakítja ki az egyes jellemzők /állapotjelzők/ átlagos /éghajlati/ értékeit is. Éppen ezért lehetetlen az éghajlat konzisztens elemzése laboratóriumi vagy erősen szűrt /átlagolt/ numerikus modellekkel. Megoldásként tehát a minél finomabb felbontású modellekkel történő közelítés kínálkozik. [..]

Maguk a modellek a legegyszerűbb egydimenziós, un. balansz-modellektől az igen alaposan paraméterezett háromdimenziós cirkulációs modellekig terjednek. A modellek általánossági fokát a térbeli /dimenzióbeli/ és időbeli felbontás – egymással összefüggő – finomsága, valamint az un. paraméterezettség mélysége adja meg. Az éghajlatmodellezés alapját azonban egyértelműen az éghajlatilag fontos fizikai folyamatokkal kibővített, a numerikus időjárás-modellezés/előrejelzés céljaira már korábban kifejlesztett /explicit/ modellek adják. [..]

Az éghajlati modellezés további lényegi kérdése az óceánok dinamikájának figyelembevétele. Kiváltképpen az óceánok felsőbb, un. aktív rétege igen jelentős szerepet tölt be a momentum, hő és víz /gőz-/forgalomban. és ezért a legfejlettebb éghajlati modellek ma már legalábbis légkör-óceán modellek. Az éghajlati rendszer még további elemeinek /krioszféra, bioszféra/ bevonása egyelőre illuzórikus, illetve csak sokkal kevésbé explicit statisztikus-dinamikus modellek keretében képzelhető majd el.

Láthatóan a modellezés lényegében a különféle transzportfolyamatok együttesének matematikai közelítésére épül. A kölcsönhatások és a nagy tér- és időbeli léptékek ellenére az olyan legfejlettebb kutatóközpontok, mint például a Geophysical Fluid Dynamics Laboratory vagy a National Center for Atmospheric Research kifejlesztettek olyan éghajlati modelleket, melyek fontos jellemzőiket /évszakos változékonyság, sivatagos területek elhelyezkedése stb./ tekintve elég jól reprodukálják Földünk ténylegesen megfigyelt globális éghajlatát. Az általános szimulációs kísérleteken túlmenően a modelleket ma kiterjedten alkalmazzák olyan ún. érzékenységi vizsgálatokra, amikor a modelleknek /és ezáltal a reális éghajlatnak/ speciális kiindulási vagy perem- /külső/ feltételektől való függőségét vizsgálják. A modellek további alkalmazási területét képezik az előre-jelezhetőséggel kapcsolatos kutatások.

Mindezekből jól látható, hogy az éghajlat magasszintű numerikus modellezése csak egy nemzetközileg összehangolt gyakorlati és elmélet munka eredményeképpen fejlődhet. Ennek szükségszerűségét ismerte fel a Meteorológiai Világszervezet, amikor meghirdette Éghajlati Világprogramját. [..] Emellett

számos nemzetközi bizottság és munkacsoport is foglalkozott az éghajlatkutatással összefüggő főbb irányok kitűzésével (5. ábra). Hazai vonatkozásban a Meteorológiai Tudományos Bizottság által életre hívott ad hoc bizottság készített áttekintést a megfelelő tevékenység hazai múltjáról és jelenéről, mely hangsúlyozta: **számos jel mutat arra, hogy az éghajlat várható alakulásának – ingadozásának és esetleges változásainak – elemzése, amely az egész emberiség létét és jólétét érinti, a következő évtizedekben a nemzetközileg koordinált kutatások legelső vonalába fog kerülni. [..]**

Nem vagyunk tehát az az utókor, melyről SOOS MIHÁLY írt 100 évvel ezelőtt, de oly korban élünk, amikor már tekintélyes erőfeszítések történnek arra, hogy az éghajlat problémáját megértsük.

ÁBRÁK

(az előadásban, illetve a publikációban közreadott ábrák tartalma):

1. ábra: Az éghajlati rendszer és néhány karakterisztikus idő
2. ábra: Néhány feedback mechanizmus folyamatábrája
3. ábra: A számítógép-technika fejlődési trendje
4. ábra: Az általános dinamikai éghajlati modell egyenletei
5. ábra: Az éghajlati modellek fő típusai és alkalmazási területei

IRODALOM

- SOOS M.: Éghajlattan. Athenaeum. 1870.
- RÓNAI Zs.: Néhány megjegyzés hazánk éghajlata megváltozásának kérdéséhez. *Időjárás*. 40. 2. 1936.
- CZELNAI R.: Légköri folyamat-rendszerek modellezése. MTA X. Oszt. Közl. 10. 1-2. 1977.
- MANABE, S. – WETHERALD, R.T.: The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model. *J. Atmos. Sci.* 32. 1. 1975.
- BUDYKO, M. I.: Klimat goroda I problema izmenyenija globalnova klimata. *Meteorolog. i Hidrologija*. 1. 1973.
- SMAGORINSKY, J.: General circulation experiments with the primitive equations. *Mon. Wea. Rev.* 91. 3. 1963
- KASAHARA, A. – WASHINGTON, W. M.: General circulation experiments with a six layer NCAR model. *J. Atmos. Sci.* 28. 5. 1971.
- MANABE, S. et al.: Simulated climatology of a general circulation model with hydrological cycle. *M. Wea. Rev.* 98. 3. 1970.
- WMO: The physical basis of climate and climate modeling. *GARP P.S.* 16, 1975