

A MILANKOVIĆ–BACSÁK-CIKLUS ÉS A FÖLDTAN

Hágen András

tanár, Újvárosi Általános Iskola, Baja
hagen13@freemail.hu

„Nem hiszem, hogy kötelességem volna a tudatlanoknak a legalapvetőbb dolgokat megtanítani. Én sohasem kényszerítettem senkit sem, hogy fogadja el az elméletem...”

Milutin Milanković, 1950

Milutin Milanković viszonylag jómódú szerb család gyermekeként született 1879-ben Eszék közelében, a Duna partján lévő Dálya községben. A viszonylagos jómód miatt egyfajta kötelezettség volt a felsőfokú végzettség megszerzése, valamint a családi vállalkozás továbbvitele. Ez okból mezőgazdaságot tanult, de mégis a természettudományok vonzották. Szenvedélyének hódolva 1904-ben Bécsben mérnöki diplomát szerez.

Öt év múlva visszatér Belgrádba mint az ottani egyetem matematikaprofesszora. Fő perspektívája elsősorban a kutatás volt, ezért folyamatosan kereste a problémákat. 1911-ben egy barátját látta vendégül, akivel borozgattak, és akkor fogalmazódott meg benne a gondolat, hogy matematikai formába önti a klímaváltozás és a Naprendszer bolygóinak mozgása közötti kapcsolatot.

A professzor tanulmányozta a korábban írott tanulmányokat. Folyamatosan konzultált Ludwig Pilgrim német matematikussal, akinek 1904-ben megjelent egy munkája, amely számítási paramétereket tartalmazott



1. kép • Milutin Milanković (1879–1958)

a Föld tengelyferdeségéről és tengely körüli forgásáról. Pilgrim is próbált összefüggéseket találni az orbitális pályaelemek és a jégkorszakok között.

Egyetemi munkája mellett a gyakorló építészeti tevékenységét is folytatta a Monarchia területén. Itt érte az I. világháború kitörése, amikor a Monarchia hatóságai mint szerb állampolgárt feleségével együtt letartóztatták és elhurcolták. Internáltként hamarosan Budapestre került. A Magyar Földrajzi Társaság egykori elnökének (1891–1893, 1900–1914) és a Magyarhoni Földtani Társulat titkárának (1898–1920), id. Lóczy Lajosnak köszönhetően folytathatta a kutatómunkát.

Felkereste a Magyar Tudományos Akadémia könyvtárát és a matematikai osztály titkárát, aki segítette abban, hogy zavartalanul folytathassa 1912-ben megkezdett tudományos munkáját. Letartóztatása után néhány nappal szabadon bocsátották, így visszautazott Belgrádba. A háború alatt közzétette néhány ötletét a Mars és a Vénusz éghajlatáról.

1915 végére már nagyjából elkészült egy monográfia kéziratával. Arra számított, hogy a háború hamarosan véget ér, és publikálhatja a munkáját.

A Milanković-ciklus csillagászati okai

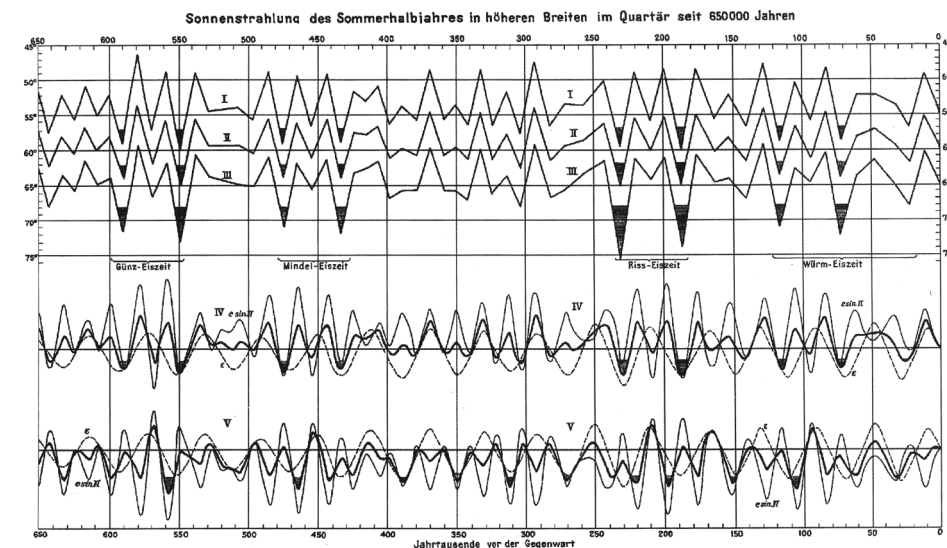
A háború három év múlva véget ért, és 1920-ban *Mathematische Theorie der durch Sonnenstrahlung ausgelösten Wärmephänomene* (Matematikai teória a napsugárzás által okozott termikus jelenségekre) címmel publikálta elméletét. Milanković anyanyelvi szinten

írt németül, a kézírata is német nyelvű volt, de a háború után, a létrejött Szerb Királyságban a közhangulat a Párizsban történő publikációt várta el.

Elméletében feltételezi, hogy:

- a csillagászati paraméterek változásai okozzák az eljegesedést;
- a paraméterek befolyásolják a napenergia mennyiségét a Földön, különösen nyáron az északi féltekén (az 55–65° északi szélességek között);
- a változásokat ki lehet számolni, és így ki lehet számítani a múltra vonatkozó éghajlatot.

Wladimir Köppen és Alfred Wegener (1924) híres német meteorológusok támogatták az új elméletet, és megjegyezték, hogy az Albrecht Penck és Eduard Brückner által posztulált négy eljegesedés nem véletlenül esik egybe a számított görbével (1. ábra).



1. ábra • A nyári direkt napsugárzás változásai az utóbbi 650 000 évben. A diagram vízszintes tengelyén az évek látszanak. A felső három görbe a jégár előrenyomulása szélességi fokok szerint, az alsó két görbesereg pedig a napsugárzás ingadozása (Köppen – Wegener, 1924).

A jégkorszakok csillagászati eredetét már az 1840-es években felismerték, és olyan híres és elismert tudósok fogalmazták meg alapjait, mint *Louis Agassiz* gleccserkutató, vagy *Joseph Adhemar* francia matematikus, ugyanakkor a híres magyar államférfi, Kossuth Lajos is próbálta alkalmazni (Hágen 2011a,b, 2012). Közel egy évszázaddal később Milutin Milanković geofizikus és építész matematikai formába öntötte ezt a hipotézist. Szerinte a csillagászati ritmusszabályozásnak három összetevője van:

Az első a Föld forgástengelyének hajlásszöge. A forgástengely iránya jelenleg $23,5^\circ$ -os szöget zár be a Föld keringési síkjára állított merőlegessel. Ez a szög 41 000 éves periódussal ingadozik a $21,5^\circ$ és $24,5^\circ$ szélességi fokok között. Minél nagyobb a hajlásszög, annál szélsőségesebbek az évszakok mindkét félgömbön: a nyarak melegebbek, a telek pedig hidegebbek.

A második összetevő a Föld pályájának alakja, amely százezer éves periódussal változik. Egyszer megnyúlik, és nagy excentricitású ellipszis alakját ölti, majd ismét szinte kör alakúvá válik. Ha nő az excentricitás, akkor nő a különbség a Nap és Föld legkisebb és legnagyobb távolsága között. Jelenleg a Föld akkor távolodik el legjobban a Naptól, amikor a déli félgömbön tél van, ennek következtében a déli félgömbön a tél valamivel hidegebb, a nyár viszont valamivel melegebb, mint az északi félgömbön.

A harmadik összetevő a precesszió, vagyis a földtengelynek a Nap és a Hold forgatónyomatékának hatására bekövetkező elmozdulása. A forgástengely 23 000 év alatt ír le egy teljes kört a csillagokhoz képest. A precesszió határozza meg, hogy egy adott félgömbön a nyár a földpálya napközeli vagy naptávoli pontjára esik-e, vagyis, hogy a Föld ég-

hajlatának a tengely ferdesége miatti évszakosságát erősíti vagy gyengíti-e a pálya excentricitásából adódó évszakosság. Ha az évszakosság e két meghatározója (a tengelyferdeség és pályaeccentricitás) az egyik félgömbön szinkronban van egymással, akkor az ellentétes félgömbön aszinkronban kell lennie. Tehát a két pólus térségére vetítve az eljegesedési ciklusok ellentétesek.

Milanković kiszámította, hogy e három tényező együttes hatására a nyári napsugárzás mennyisége az északi sarok közelében akár 20%-kal is változik. Ez pedig elegendő ok lehet az északi félteke szárazföldjének északi részét borító jégmező előrenyomulására, amikor hűvös nyarak és enyhe telek váltogatják egymást. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy Milanković nem volt kellően jártas az elméleti csillagászatban és az égi mechanikában, ezért a számításokat munkatársa, *Vojislav Misković* végezte (Major, 2006).

Bacsák György matematikai pontosítása

Milanković munkáiban csak a legutóbbi jégkorszak kilenc eljegesedési csúcsára koncentrált, amelyek teljes időtartama a hatszázezer évig tartó időszak hatodát sem tette ki, s a köztes interglaciálisokra nem fordított figyelmet. E hiányosságokat az 1870-ben Pozsonyban született *Bacsák György* pótolta (Bacsák, 1940). Ebben a munkában csillagászati alapon vizsgálja meg az eljegesedések közötti enyhe időt (interglaciális). E számításokat bekalkulálva megismételte Milanković és Misković számításait az elmúlt hatszázezer évre. A két tudós között 1938 és 1955 között élénk levelezés folyt. A Szerb Tudományos Akadémia Belgrádban Milanković hagyatékában huszonkilenc levelet őriz Bacsák Györgytől. Bacsák családja tizenhat levelet őriz Milankovićtól (Major, 2006).

A Milanković–Bacsák-elmélet a barlangok kialakulásának kronológiai datálását is jelentősen előbbre vitte. Bacsák Györgynek a Bécsben, 1961-ben megrendezett III. Nemzetközi Szeleológiai Kongresszuson e témakörben megtartott előadása nagy nemzetközi figyelmet keltett, és újabb megbecsülést szerzett nemcsak az idős tudósnak, de a magyar barlangtudománynak is.

Idejének jó részét a városoktól távol töltötte fonyódi villájában. Mindig korán kelt, későn feküdt, és tisztában volt azzal, hogy az elmélyült szellemi tevékenységnek elengedhetetlen kiegészítője az intenzív fizikai munka és a megfelelő sport. Ezt a frissítő kurzust naponta gyakorolta is. E szellem napjainkban is követendő példa (Gádos, 1970).

Bacsák Györgyre nagy tisztelettel emlékezik a Magyarhoni Földtani Társulat és a Magyar Földrajzi Társulat is. Tíz évvel később e két szervezet emléktáblát helyezett el a tudós fonyódi házában. A Magyar Tudományos Akadémia Földtudományi Osztálya 1997-ben emlékülést tartott tiszteletére.

Milanković nagyszerű munkáját Bacsák kiegészítése tette teljessé. Habár a munka nagy része Milutin Milankovićot dicséri, Bacsák György nélkül az elmélet teljesen feledésbe merült volna, ezért hivatkoznak Milanković–Bacsák-ciklusként az elmélet lényegére.

A Milanković–Bacsák-ciklus a földtanban

Magyarország egyik legszebb vára Sümegen található, ezt valószínűleg sokan ismerik, de arról már kevesebbet tudnak, hogy a település mogyorósdombi részén 140 millió éves, csaknem függőleges helyzetű mészkő bukkan a felszínre, amelynek tűzkőrétegeit már a történelmi őskorban bányászták.

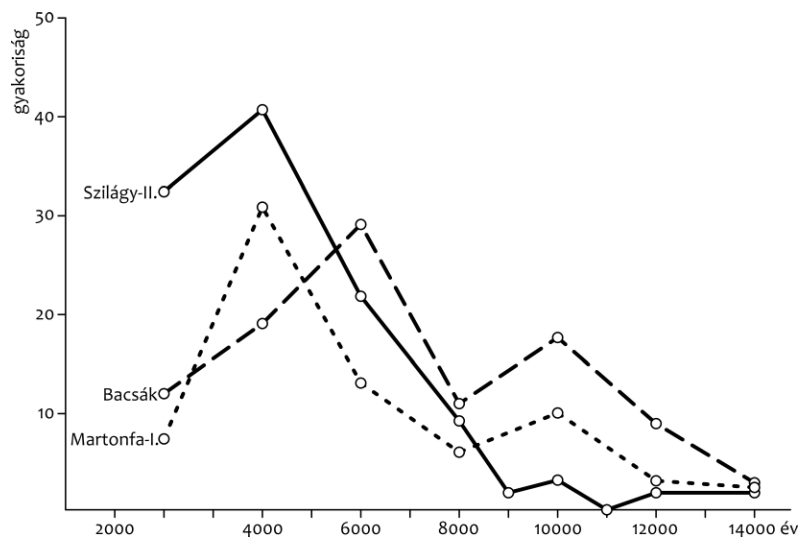
A mészkő képződése a jura kor legvégére és a kréta kor elejére, vagyis 140 millió évvel

ezelőttre tehető. Ebben a korban még tenger hullámzott a Bakony területén, és ebben a mély, sós vízben kovavázú sugárállatok és mészvázú algák, valamint planktonok éltek, amelyek elpusztulva a tenger mélyére süllyedtek és eltemetődtek, nyomás hatására közöttük tömörödtek, és létrejött a süemogyorósdombi tűzköves mészkő.

A rétegben mészkő- és tűzkőrétegek periodikus váltakozása nagyjából a mész- és kovavázú planktonszervezetek küzdelmét tükrözi. Haas János és társai (1994, 1998) számításokat végeztek, és a váltakozások hozzávetőlegesen 100 000–400 000 éves periodicitást mutattak, amely kapcsolatba hozható a Milanković–Bacsák-ciklussal. A Föld pályaelemeinek változása ugyanis a besugárzáson keresztül jelentősen befolyásolhatta a klímát, valamint a tengeráramlásokat, és ennek következtében olykor a mészvázú, máskor a kovavázú szervezetek kerülhettek kedvezőbb feltételek közé, és szaporodhattak el.

E felismerés azért is fontos, mert a jura legvégén mészvázú planktonok jelentek meg a Bakony területén hullámzó tengerben, kiszorítva ezzel az addig egyeduralgolóknak számító kovavázú sugárállatokat.

Szederkényi Tibor (1963) a Mecsek déli részén lévő miocén szarmata rétegekben üledékképződési időmeghatározást végzett. A hegység déli előterében Martonfa és Szilánpuszt környékén mélyített fúrások ideális szarmata rétegösszetét tártak fel. A rétegsor vastagsága 140 méter. A szarmata tenger csökkenő sótartalmú vízében (brakkvíz >35%) képződött üledék ritmusossága megegyezik – az égi mechanikai alapon kiszámított pliocén végi és pleisztocén időtartam – Milanković–Bacsák-féle ciklicitásával (2. ábra). A megfigyelés alapja a diatomás élőlények és a szárazföldről behordott anyag, valamint a



2. ábra • A szarmata rétegösletben mutatkozó lerakódási részdőtartamok összehasonlítása a Milanković–Bacsák égi mechanika alapon kiszámított pliocén-végi és pleisztocén éghajlati-típusainak időtartamával (Forrás: Szederkényi, 1963)

tengervízből kiváló karbonátok eloszlása volt.

Szederkényi Tibor vizsgálatával bebizonyosodott, hogy Milanković és Bacsák csillagászati módszerrel végzett negyedidőszaki időszámítását alkalmazni lehet a miocén közepe ritmusos földtani időszámítására is.

A két vizsgálatot figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a földtörténeti korokban (a kréta kortól amezozooikum, egészen a kainozooikum végéig) képződött üledékes rétegekben felfedezhetjük a ritmikusan változó kova- és mészvázú élőlények lenyomatát.

Összefoglalás

Milankovićot 1958-ban Belgrádban érte a halál. Végredelele szerint koporsóját 1966-ban átszállították Dályába, ahol ősei között, a családi sírban alussza örök álmát. A vérzivataros 20. században sikerült Milutin Milankovićnak matematikai módszerekkel kimutatnia az extraterresztrikus okokat az éghajlatváltozásban.

Sajnálatosan életükben nem mindenki fogadta el a Milanković–Bacsák-elméletet, csak 1976-tól kezdődően, amikor is az empirikus kutatásokkal (műszeres mérési sorok alapján, illetve paleoklimatológiai analógiák keresésével), valamint tengerfenéki fúrások rétegeinek oxigénizotóparány-vizsgálatával sikerült számításaikat igazolni (Mészáros 2011).

Milankovićot Szerbiában nagy tisztelet övezi. A szerb állam, hogy tiszteletét kifejezze, bélyeget szentelt neki; a 2000 dináros bankjegyén az ő arcképe látható.

Az Európai Geofizikai Társaság (EGU) 1993-ban létrehozta a Milutin Milanković-díjat azok számára, akik kimagasló eredményt érnek el éghajlatot befolyásoló hatások felfedezésében. A NASA „óriásai” között Milanković bekerült a legelső tizenöt közé. A csillagászok egy-egy krátert neveztek el róla a Holdon és a Marson. Az UNESCO 2009-ben Milanković születésének 130. évfordulója alkalmából neki szentelte az évet.

Ha a Föld jövőbeni éghajlatát akarjuk kiszámítani, akkor, ha nem is teljesen, de döntő mértékben dinamikailag kell értenünk a múlt éghajlatát (Major, 2006). Természetesen nem a teljes földtörténeti múlt éghajlatát, hanem az utóbbi néhány száz ezer évre vonatkozót. Azonban minél közelebb érünk napjaink éghajlatához, annál több tényező játszott, akár külön-külön is meghatározó szerepet, például a Milanković–Bacsák-ciklus, a Nap aktivitásának ciklusai, a hegységképződés vagy kontinensvándorlás, az óceáni cirkuláció változásai, a bioszféra hatásai, a légkör összetételének különböző eredetű változásai, az emberi tevékenység fokozódó hatása. A sort még sokáig lehetne folytatni.

A tanulmány zárásaként szerepeljen Bacsák György (1940) mondata: „Az elméleti számítások tehát olyan jól vágnak a természeti megfigyelés eredményeivel, hogy Milankovitch elméletében kételkedni nem lehet”. Bacsák állítása részben igaz, hisz a megfigyelések részben igazolják Milanković elméletét, ám a kutatók nem ismerik az éghajlatváltozás hatásmechanizmusát. Ne feledjük azonban, hogy Milutin Milanković száz évvel ezelőtt kezdte el mate-

IRODALOM

- Bacsák György (1940): Az interglaciális korszakok értelmezése I, II, III. *Időjárás*. 8–16., 62–69., 105–108.
- Gádos Miklós (1970): Dr. Bacsák György. *Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató*. 1970. 3. • <http://epa.oszk.hu/00400/00438/00026/>
- Haas János – Juhász Gy. – Sztanó O. (1998): Üledékképződési rendszerek és folyamatok. *Természet Világa*. 129/II különszám. 24–30.
- Haas János – Ó. Kovács L. – Tardi-Filáz E. (1994): Orbitally Forced Cyclical Changes in the Quantity of Calcareous and Siliceous Microfossils in an Upper Jurassic to Lower Cretaceous Pelagic Basin Succession, Bakony Mountains. *Sedimentology*. 41, 643–653. • DOI: 10.1111/j.1365-3091.1994.tb01415.x
- Hágen András (2011a): Kossuth Lajos és a klimatológia. *Élet és Tudomány*. 32, 1001–1004.



3. ábra • Szerbiai és montenegrói bélyeg Milutin Milanković tiszteletére (Forrás: Srbija i Crna Gora Pošta, 2004)

matikai formába önteni az éghajlatváltozás csillagászati okait.

Ezúton fejezem ki köszönetemet a Szerb és Montenegrói Postának, amiért engedélyezte a Milutin Milankovićot ábrázoló bélyegkép közlését, és Tot Natáliának a Szerb és Montenegrói Posta levelének tökéletes fordításáért.

Kulcsszavak: *Milanković–Bacsák-ciklus, extraterresztrikus okok, éghajlatváltozás, földtan*

- Hágen András (2011b): Kossuth Lajos éghajlati jövőképe. *Légkör*. 56, 2, 78–80 • <http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2012/02/Legkor1102.pdf>
- Hágen András (2012): Kossuth Lajos és a földtani korok. *Magyar Tudomány*. 6, 692–698. • <http://www.matud.iif.hu/2012/06/06.htm>
- Köppen, Wladimir Peter – Wegener, Alfred (1924): *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Borntraeger, Berlin
- Major György (2006): A Milanković–Bacsák-elmélet és az éghajlatváltozások. *Légkör*. 51, 20–23. • <http://owww.met.hu/legkor/legkor2006ok.pdf>
- Mészáros Ernő (2011): *A természettudományok rövid története. (Természtörténelem 3)*. MTA Történettudományi Intézet, Budapest
- Szederkényi Tibor (1963): Üledékképződési időtartamszámítás a délmecseki szarmata rétegekben. *Földtani Közöny*. XCIII, 54–62.