

Hidvégi Máté

A Bauer-elv és a Gánti-princípium

Így hangzik egy régi kínai találos kérdés: „Olyan, mint egy kutya, mégsem kutya. Mi az? Döglött kutya.” Ezt a mondást apósomtól, Miklós Páltól hallottam. Egyetemi tanulmányaim utolsó éveiben nem egyszer megkérdezte tőlem, értem-e már az előbbi bölcsességet. Akkoriban Gánti Tibor belső tanítványi körébe tartoztam.¹ Gánti az elméleti biológia mint önálló tudomány megalkotásán dolgozott.² Ezt szerette volna megalapozni az általa feltalált, autokatalitikus aleggységekből álló kémiai rendszerrel (amit anyagmérleggel és új formalizmusú sztöchiometriával is kiegészített).³ E rendszer egy hipotetikus élőlénynek (élő sejt) a teljesség igényével fellelhető, ugyanakkor legegyszerűbb reprezentációja volt.⁴ Sztöchiometriai és nemegyensúlyi termodinamikai számítások és a chemoton kinetikai modelljének⁵ szimulációs vizsgálatai igazolták, hogy a rendszer önmaga által előállított fallal elhatárolódik a környezetétől, táplálkozik, anyagcserét folytat, stabil, alkalmazkodik a környezet változásához, önszabályozó, az egyensúlytól távol működik, növekszik, reprodukálja önmagát, ozmotikus vákuummechanizmussal osztódik, tartalmaz olyan templátmolekulát, amely az egész entitás működését és osztódását vezérli, és rendelkezik a mutáció és az evolúció képességével.⁶ A chemotonelmélet megjósolta (legalább részben) az enzimes katalízis biogeneízisét (RNS-alapú molekuláris evolúcióját), az összekapcsolódásokat (gének) és a genetikai kód eredetét. Az elmélet alapján lehetővé vált (a biológia történetében elsőként) egy, a kémiai evolúcióból önszerveződő módon létrejövő plauzibilis ősi sejt tisztán abiogén reakciókból álló (enzimfehérjék nélkül működő) részletes anyagcsere-hálózatának felrajzolása (valós vegyületekkel, anyagmérleggel és sztöchiometriával együtt). Utóbbi konkrét receptúrát kínált egy mesterséges biogeneízishez (előlény előállítása kémiai úton). A chemotonelmélet alapján Gánti megalkotott egy átfogó kémiai kibernetikát (lágú automaták) is, ami felhasználható többek között a nem emberi eredetű értelem és a nem földi technika kutatásában.⁷ Életében és hazájában Gántit a tudomány perifériájára (vagy azon is túl) akarták szorítani olyanok, akikről mára evidencia, hogy a lába nyomába sem értek. A chemotonelmélet hazai recepciójában általunk akkortájt megtapasztalt kisstílűség az idő múlásával egyre nyilvánvalóbb.⁸

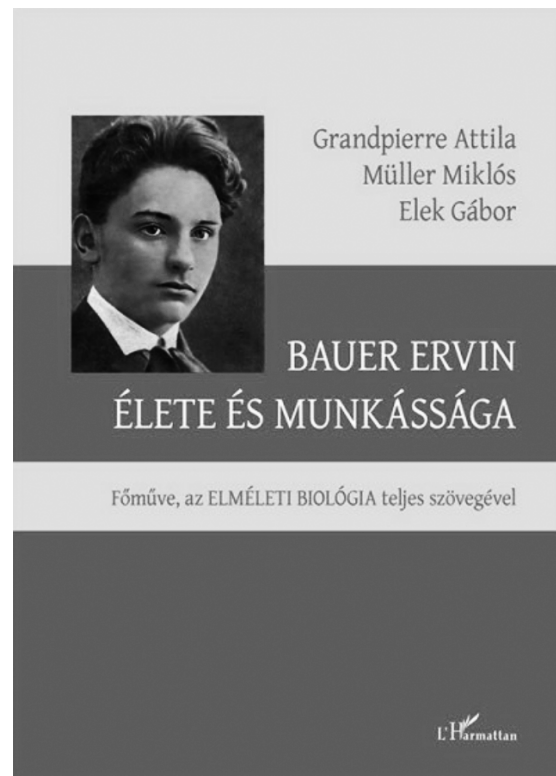
Bauer Ervin *Elméleti biológiáját*⁹ Gánti Tibor adta a kezembe azzal, hogy egymás utáni „infraüléseken” vitassuk meg. Gántinak Bauer nemcsak szakmai, hanem lelkiismereti kérdés is volt. Népszerű főműve, a magunk között csak *Princípiumnak* nevezett könyve¹⁰ megjelenésekor kritizálták, hogy alig használta Bauer eredményeit. Erre visszatérünk, ám előtte vizsgáljuk meg a koncepciót. Bauer az 1930-as években Moszkvában (és az utolsó éveiben Leningrádban) elvégzett kísérleteiben azt találta, hogy az anyagot, például egy sejtet felépítő fehérjéket munka tartja élő állapotban. A munkát hőként mérte. Megállapította, és fenomenologikus modellekben ki is fejtette, hogy az élő anyag nem élővé alakulásakor mérhető hőveszteség azzal az ún. strukturális munkával azonos, amely az élő anyag rendezett molekuláris struktúráját fenntartotta. A strukturális munkára mindaddig folyamatosan és megszakítás nélkül szükség volt, amíg a szóban forgó anyag, sejt stb. élő volt. A Bauer-elv értelmében az élő anyagnak termodinamikailag állandó, stabil nemegyensúlyi állapotban kell egzisztálnia, hogy a strukturális munkája forrásul szolgáló termodinamikai potenciált folyamatosan fentartsa, megújítsa. Bauernél az utóbbi feladatot egymással termodinamikailag kapcsolt (visszacsatolt) körölyamatok látták el. Bauer nem előzetes megfontolások révén jutott el az elméletéhez, hanem laboratóriumi kísérletekkel és mérésekkel. Tanulmányunk első mondataira reflektálva úgy is fogalmazhatunk, hogy Bauer Ervin a fent idézett találos kérdésbe foglalt kínai bölcsességre akart örökérvényű megfontolást adni. Ezért vizsgálta és mérte annyi éven át az élőből a nem élőbe való átmenet energetikáját.

Bauer kísérletes eredményei legalább három Nobel-díjas kutató elméletét is elővételezték anélkül, hogy tudtak volna egymásról: ők Bauerről, vagy Bauer róluk. Egyikük a moszkvai születésű orosz-zsidó Ilya Prigogine volt, aki Belgiumban és később Texasban dolgozott. Elméletének lényege, hogy a nemegyensúlyi, nyílt (termodinamikai) rendszerek önszerveződése energiadiSSIPációval jár, amely hőveszteség az egyensúlytól távoli rendezett struktúra létrejöttéhez szükséges munka. Állandósult (nemegyensúlyi) állapot felé haladó (értsd: fejlődő) élő rendszerek anyagcseréje olyan irányban fejlődik, hogy a rendszer energiadiSSIPációja (ent-

rópiaprodukciója) a lehető legkisebb legyen.¹¹ Az elmélet alkalmas pl. a téridőbeli inhomogenitásokat (pl. periodikusan színváltó koncentrációhullámokat) produkáló kémiai reakcióelegyek (pl. a Belousov-Zsabotjinszkij-reakció) viselkedésének tanulmányozására is. A másikuk Erwin Schrödinger, aki egy évtizeddel Bauer után felvetette, hogy a környezet entrópiánövekedésével szemben az élő szervezeteket negatív entrópia betáplálásával lehetne az egyensúlytól távoli állapotban minimális entrópia-produkcióra készíteni.¹² Azaz újra felfedezte a Bauer-féle strukturális munka elengedhetetlenségét. A harmadik Nobel-díjas, aki Bauer elméletét alkalmazta anélkül, hogy tudott volna róla, Szent-Györgyi Albert volt. Szerinte a fehérjék élettani értelemben akkor tekinthetők működésképesnek, ha elektromosan vezetőek. A fehérjék vezetőképessége fenntartásához elektronhiányos állapotra van szükség. Ezt az állapotot az élő szervezet a biológiai oxidáció energiájával tartja fent. Ez az elképzelés is a Bauer-elven alapszik.

Említettem, hogy Gánti számára Bauer elmélete nemcsak egy tudományos előzmény, hanem lelkiismereti kérdés is volt. Őt idézem: „[T]öbbször elgondoltam, hogy a benyomás, mintha Bauer Ervin megállapításaival ellentétben lennének állításaim. Valójában ugyanazt a jelenséget két különböző irányból próbáltuk értelmezni. Bauer Ervin [...] arra kérésre választ, hogy milyen eltérő tulajdonságokkal rendelkezik az élő rendszer egésze az élettelen folyamatokhoz és rendszerekhez képest. [...] Magam egészen más úton jártam: kerestem azokat a részfolyamatokat és rendszertörvényeket, amelyek alapján a részfolyamatok olyan funkcionális egységekbe szervezhetők, amelyek az életre jellemző kritériumokat már kielégítik. Amennyiben azt akarjuk vizsgálni, hogy a két elmélet között van-e ellentét, akkor azt kell megnéznünk, hogy [...] a chemoton [...] kielégíti-e a Bauer Ervin által felállított fenomenológikus törvényeket. S ha ezt megteesszük, pozitív választ kapunk: a két elmélet között nincs ellentét.”¹³

Bauer Ervinnél a termodinamikai fenomenológia játssza a főszerepet, Gántinál a sztöchiometria és a tömeghatás. A Gánti-princípium, egy évtizeddel alkotója halála után, láthatóan eljutott a kortársakhoz.¹⁴ Bauer Ervin emberi osztályrésze a megsemmisítés lett. Az NKVD a sztálini nagy terror idején, 1938 januárjában, koholt vádak alapján Leningrádban kivégezte.¹⁵ Az „élő fehérjét” értelmező elmélete, a Bauer-elv, alkotója emléke nélkül a modern kvantitatív biológia egyik tartóoszlopa lett. Mondhatnánk, világnézetéhez Bauer holta után is hű maradt: tudása feloldódott a világszellemben (ha lenne ilyen és hinnénk benne). Tény, hogy a Harvardon



megalakult egy elméleti biológiai kezdeményezés,¹⁶ amelynek tagjai „az élő anyag viselkedését” kívánják tanulmányozni. Nem írják, hogy Bauer Ervin elméleti biológiája, a Bauer-elv alapján kutatnak, mert vélhetően nem is hallottak róla. Nézem egyik közleményüket, aminek *From static structure to living protein* a címe,¹⁷ a sejtek energiatermelésében szerepet játszó fehérje vizsgálatáról szól, és szinte minden gondolatát áthatja Bauer szelleme.

A Bauer-elvről az utóbbi két évtizedben – Grandpierre Attila, Müller Miklós és Elek Gábor mostanában kiadott magyar nyelvű remek monográfiáján¹⁸ és előbbi szerzők tanulmányain kívül – a nemzetközi szakirodalomban mindössze néhány áttekintő cikk jelent meg.¹⁹ Az orosz/szovjet tudomány mai elfogadását tekintve több nem is várható, csend van körülötte. Mint alkotója pontosan nem is beazonosítható nyugvóhelyén, a megbarnult tűlevelekkel megszórt, fű és moha fedte szentpétervár-levasovói buckáknál, ahol Bauer Ervin mellett további negyvenötezren alusszák álmukat.

JEGYZETEK

- 1976-tól kezdve az 1980-as évek elejéig tartoztam Gánti Tibor szinte kivétel nélkül egyetemi hallgatókból kiválasztott legbensőbb tanítványai közé (a kivételek közt

- volt az akkor már egyetemi oktató Békés Ferenc), akiket tudományos megbeszélésre a lakásán is fogadott. Nem volt személyválogató. Rangok, címek nem számítottak. Önálló életünk indulásakor feleségével, Médával eljötték vendégségbe hozzánk, Eszterrel közös pesterzsébeti lakásunkba. Gánti főtitkársága idején és megbízásából – egyetemi hallgatóként – a Magyar Biológiai Társaság Általános és Elméleti Biológiai szakosztálya munkaközösségi titkára voltam. Ennek a chemotonelmélettel foglalkozó csoportnak Gánti az „infraindividuális munkaközösség” nevet adta, mert nem tartotta illendőnek, hogy a közösséget önmagáról vagy az elméletéről nevezze el. (Lásd pl. *A Jövő Mérnöke*, 1978. november 25., 3, és december 9., 2.) Az „infracsoportban” a munkához szükséges összes szakma képviselőjét megtalálhattuk: volt közöttünk vegyész-, biológia- vagy matematikaszakos egyetemista, és Slemmer László személyében filozófushallgató is. Fájón írom, mert rám is érvényes, hogy anyagi támogatottsága hiányában Gánti nem tudta megtartani tanítványait (Szathmáry Eörs: Gánti Tibor 1933–2009. *Magyar Tudomány*, 2009/7, 877–882.).
- ² Gánti Tibor: Az elméleti biológia. *Természet Világa*, 1973/7, 299–301. Gánti Tibor elméleti biológiát tanított a szegedi egyetemen (akkor JATE) és 1981–1999 között az ELTE-n, utóbbi helyen Vida Gábor, Simon Tibor és Juhász-Nagy Pál támogatásának köszönhetően. A vegyész-mérnök Gánti az ELTE-nek címzetes egyetemi tanára volt. Ha Gánti támogatóiról írok, az előbb három szellemi és erkölcsi „világítótorny” mellett megemlítek még négy nevet, olyanokét, akik ugyancsak szellemi és erkölcsi „világítótornyok” voltak, és Gántit őszintén támogatták: Hortobágyi Tibor (Gödöllő), Gyarmati István (akkoriban Gödöllőn dolgozott), Csaba György (Budapest) és Vekerdi László (Budapest). Jelen voltam, ezért tanúsíthatom, milyen nagy és tartós örömet okozott Gántinak, amikor egy alkalommal Juhász-Nagy Pál és Vekerdi László nagyszámú egyetemi-szakmai közönség előtt szóltak igen elismerőleg a chemotonelmületről.
- ³ Gánti ezt a kémiai szerkezetet nevezte chemotonnak. Lásd pl. Gánti Tibor: Molekuláris szuperrendszerek önszabályozása és önszerveződése. In: *A biológiai szabályozás*. Szerk. Csaba György. Budapest, Medicina Könyvkiadó, 1978, 37–73.
- ⁴ A chemoton teoretikus élőlény, és elvileg a legegyszerűbb, azaz hozzátenni komponenszt felesleges, kivenni lehetetlen.
- ⁵ Főként a tömeghatást reprezentáló differenciálegyenletekről van szó.
- ⁶ A chemoton felsorolt tulajdonságai és képességei meglétének bizonyítását Gánti Tibor és vezetésével a belső tanítványi kör, valamint Verhás József végezte Gyarmati István közreműködésével. Gyarmatit 20 év alatt 18 alkalommal jelölték kémiai Nobel-díjra (lásd Kálmán Alajos: Gyarmati István ravatalánál. *Természet Világa* 2003/1, 2.). 1977-ben Ilya Prigogine egyedül nyerte el a kémiai Nobel-díjat, annak ellenére, hogy a kortársak szerint Prigogine-t és Gyarmatit megosztva kellett volna díjazni. A chemotonelméletet Gánti magyarul és angolul elsősorban könyveiben publikálta (számos könyvet írt, szakkikket keveset).
- ⁷ Lásd pl. Gánti Tibor: Chemoton elmélet – 1982. *Természet Világa*, 1982/7, 302–306. Uő: *Chemotonelmélet I. A fluid automaták elméleti alapjai*. Budapest, OMIKK, 1984. Uő: *Chemotonelmélet II. Az élő rendszerek elmélete*. Budapest, OMIKK, 1989. Mindkét előbbi könyve – Mezey Pál és Szathmáry Eörs akadémikusok segítségével – angol nyelven is megjelent 2003-ban a Kluwer Academic/Plenum Publishers (New York) kiadásában. Szathmáry Eörs Gánti belső tanítványi körébe tartozott. A tudománytörténet (és e sorok írója is) Szathmáryt tekinti Gánti Tibor szellemi örökösének.
- ⁸ Egy példa a számos megemlíthetőből. Frissen diplomázott biológus-mérnökként elnyertem egy bostoni alapítvány ösztöndíját, hogy a prebiotikus chemoton anyagcsere-hálózatát bemutathassam Nyugat-Németországban egy nemzetközi evolúciós kongresszuson. Amikor rám került volna a sor, a magyar küldöttséget vezető neves professzor belekarolt a kongresszus mellett álló elnökébe, és magával húzta mondván, ne pazarolja a figyelmét erre az érdektelen dologra.
- ⁹ Bauer Ervin: *Elméleti biológia*. Ford. Müller Miklós. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1967.
- ¹⁰ Gánti Tibor: *Az élet princípiuma*. Budapest, Gondolat Kiadó, 1971. (Az első további öt kiadás követte.)
- ¹¹ Prigogine, I. – Wiame, J. M.: Biologie et thermodynamique des phénomènes irréversibles. *Experientia*, 1946/2, 451–453.
- ¹² Erwin Schrödinger: Mi az élet? In: Uő: *Válogatott tanulmányok*. Budapest, Gondolat Kiadó, 1985, 117–333.
- ¹³ Gánti Tibor: Válasz „Princípium-ügyben”. *Természet Világa*, 1972/3, 132.
- ¹⁴ Lásd pl. Hoenigsberg, H. F.: From Geochemistry and Biochemistry to Prebiotic Evolution... We Necessarily Enter into Gánti's Fluid Automata. *Genet Mol Rev*, 2007/6, 358–373.; Griesemer, J.: The Enduring Value of Gánti's Chemoton Model and Life Criteria: Heuristic Pursuit of Exact Theoretical Biology. *J Theor Biol*, 2015/381, 23–28.; Unsleber, J. P. – Grimm, S. A. – Reiher, M.: Chemoton 2.0: Autonomous Exploration of Chemical Reaction Networks. *J Chem Theory Comput*, 2022/18, 5393–5409.
- ¹⁵ Állítólag Bauer Ervint akkoriban Moszkvában élt testvérbátyja, Balázs Béla (Bauer Herbert) megtagadta, semmilyen eszmei rokonságot nem vállalt vele. Úgy tudni, azért nem, mert Bauer nem a Landler-, hanem a Kun-frakcióba tartozott. K. Nagy Magda: *Balázs Béla világa*. Budapest, Kossuth Könyvkiadó, 1973, 356.
- ¹⁶ <https://quantbio.harvard.edu>
- ¹⁷ *Biophysical Journal*, 2012/102, 2158.
- ¹⁸ *Bauer Ervin élete és munkássága*. Budapest, L'Harmattan Kiadó, 2022. 504 p.
- ¹⁹ Lásd pl. Brauckmann, S.: The Organism and the Open System. Ervin Bauer and Ludwig von Bertalanffy. *Ann NY Acad Sci*, 2000/901, 291–300.; Igamberdiev, A. U.: Hyper-restorative Non-equilibrium State as a Driving Force of Biological Morphogenesis. *Biosystems*, 2018/173, 104–113.