

# A termodinamika paradigmaváltásai és paradigmái

---

*Martinás Katalin*

ran tisztelettel vegyes irigységgel tekintenek a természettudományokra, hiszen egyértelmű, világos törvények, mérhető mennyiségek, kísérletileg verifikálható állítások és egyenes fejlődés jellemző rájuk. Mindez azonban csak a kívülálló számára van így. A termodinamika jelene és múltja alapot adhat az irigységnek, ha csak a *textbook*-történeteket olvassuk, vagy csak egy termodinamika könyvet olvasunk el. A valóságban a mérhetőség és a kísérletezés igaz, de a jelenlegi helyzetet inkompatibilis iskolák jellemzik. A múlt pedig például szolgálhat a nehéz, problematikus fejlődésre.

A termikus jelenségek közismertek, de komplexek. A hétköznapi fogalmak azonban alapfogalomként nem megfelelőek a tudományos elmélet számára. Minden mérésnél, vizsgálatnál egyszerre több hatás is jelentkezik. Ha egy test melegedését vizsgáljuk, akkor a hőmérsékletváltozás függ a

hővezetéstől, a sugárzástól és az anyagi jellemzőktől. Meg kellett találni, hogy mi a lényeges, és mi a lényegtelen. Még több munkát igényelt a mért mennyiségek kapcsolatainak, az állapotegyenleteknek a fölismerése. Gondoljunk a Boyle–Mariotte-törvényre, amely azt mondja ki, hogy a nyomás és a térfogat szorzata állandó hőmérsékleten konstans. Ehhez föl kellett ismerni, hogy két gáz mikor azonos. Az ismeretek fejlődése során sok „hibás”, közelítő elméletet állítottak fel, amíg a 19. században kialakulhattak a kulcsfogalmak. Az interptációs viták azóta is folynak.

A termodinamika paradigmaváltásai csendben, folyamatosan zajlanak napjainkban is. A kuhni koncepció nélkül érthetetlenek és értelmezhetetlenek a rivális iskolák és egymással való harcaik. A termodinamika egyrészt a fizika leghétköznapibb része. Már kisgyermekként megtanuljuk, és e szerint élünk. Az örökmozgók készítőit nem tekintik normálisnak, de az is probléma, ha elfelejttem begyújtani a gázt, és közben várom, hogy felforrjon a víz. Ugyanakkor a fenti tapasztalatokat összefoglaló I. és II. főtételről, az energiamegmaradásról és az entrópiánövekedésről már kevesen vallják azt, hogy értik. Az entrópia szó ismertsége és érthetlensége mögött még egy ok van. A történelmi inkompenzurabilitás mellett a modern termodinamika önmagával is inkompenzurabilis. A termodinamikusok elkülönült csoportokban dolgoznak, más és más diszciplináris mátrixot használva. A kívülállókat ezért inkoherens információk érik. Annak ellenére, hogy sokan a termodinamikát már lassan száz éve lezárt tudománynak tekintik, körülbelül annyiféle termodinamika felépítéssel találkozunk, ahány termodinamika-könyvet a kezünkbe veszünk. A termodinamika az alkalmazásaiban él, és a különböző megalapozásokat a tervezett fölhasználási terület otíválja. Mindegyik jó, annak ellenére, hogy a különböző iskolák néha elkeseredett har-

cot folytatnak egymással. A viták oka természetesen nem a személyes kvalitások különbözősége, hanem a termodinamika más és más értelmezése. A termodinamikán belül is van romboló hatása az inkommenzurabilitásnak, de még rosszabb a helyzet az alkalmazásoknál. A termodinamikuskok általában egy-egy iskolához tartják magukat, így legfeljebb nem veszik észre a másik iskola eredményeit, és fölöslegesen ismételt kutatások zajlanak. Az alkalmazókat viszont fölváltva érik a különböző iskolák értelmezései, és így teljes káosz alakulhat ki. A fenntartható fejlődés problémájánál el kéne dönteni, hogy a termodinamika főtételei, az energiamegmaradás és az entrópiánövekedés elve lényeges vagy lényegtelen, illetve mi is a termodinamika üzenete. A különböző paradigmák üzenete egymást kölcsönösen kizáró jellegű.

Fényes Imrétől tanultam a termodinamikát (Fényes 1980: 186, 247), aki a modern irreverzibilis szemléletmódot követte, amelyet ma Prigogine neve fémjelez. Ebben a diszciplináris mátrixban a termodinamika az irreverzibilis rendszerek elmélete, amely a nem egyensúlyi folyamatokat tárgyalja, és központi eleme a rend kialakulása, a szerveződés. Amíg a paradigma fogalmával nem találkoztam, nem értettem, miért kínlódnak mások annyit például az egyensúlyi állapot fogalmával, miért mondják, hogy a termodinamika nem tudja leírni a folyamatokat, és végül nem értettem, vajon miért nem értenek engem. Ha a diszciplináris mátrixokat nézzük, akkor láthatóvá válik, hogy napjainkban is él még a termostatika paradigma, amelynek központi kategóriája az egyensúlyi állapot, és a folyamatot csak mint elérhetetlen, önellentmondó kategóriát értelmezi (kvázisztatikus folyamat). A harmadik paradigma a kontinuum termodinamika, amely megengedi a folyamatok tárgyalását, sőt, ez a központi kategóriája, de az alkalmazási területet leszűkíti a fizikai rendszerekre.

Az irreverzibilis folyamatok megközelítés alapján a körülöttünk lévő világ rendezőelve a különbségek eltűnése. Nemcsak a hőmérsékletnél tapasztaljuk, hiszen a meleg levegő fölszáll, a füst eloszlik, elkeveredik. Az eltűnő különbségek elve egyirányúságot, megfordíthatatlanságot jelent. Egy magára hagyott rendszerben mindig csökken a hőmérsékletkülönbség, a folyamat megfordítottja nem mehet végbe: soha nem nőhet magától a hőmérsékletkülönbség. Az eltűnő különbségek irreverzibilitást jelentenek. A valóságos, ember léptékű folyamatok mind irreverzibilisek. Csak a gondolkísérletek lehetnek reverzibilisek. Az irreverzibilitás nem egyszerűen a pusztulás törvénye. Olyan, mint Siva, a hindu isten: mind a pusztulásért, mind a teremtésért felelős. Nem igaz az, hogy struktúra a II. főtételnek ellentmondóan keletkezik. Éppen ellenkezőleg, ez a törvény felelős az élet létezéséért és a rendezett struktúrákért az Univerzumban. A hajtóerő, a folyamatok irányát megszabó természet-törvény az entrópia növekedése. Mindaddig lesznek változások, amíg az entrópia kisebb, mint a maximális érték. Az entrópiatörvény dialektikus. Jó, mert biztosítja a változások, és így a fejlődés lehetőségét. Rossz, mert minden megtörtént esemény egyben a további változások lehetőségének csökkenése. Miatta lettünk, miatta vagyunk, és miatta tűnünk el. Az entrópiatörvény József Attila szavaival:

„Csak ami nincs, annak van bokra, csak ami lesz, az a virág, ami van, széthull darabokra. ...” (*Eszmélet*)

Mindegyik paradigma más és más termodinamika-történetet eredményez. Egy korábbi dolgozatunkban (még Kuhn nélkül) a termodinamikai fogalmak kifejlődését mutattuk be. Nem volt egészen érthető, miért kapunk más történetet, mint a *textbook*-történet. Akkor a diszciplináris mátrixok különbözőségét még úgy fogalmaztuk meg, hogy a fő különbség abban állt, hogy nem azokat a maradandó hatásokat kerestük, amellyel valamely régebbi tudomány hozzájárult mai fölényes tudásunkhoz, hanem megkíséreltük a termodinamikát történeti hűséggel, a maga korában bemutatni (Martinás és Ropolyi 1992). A különbség valódi oka az, hogy összefoglalásunk a modern irreverzibilis termodinamika paradigmájából nézve rekonstruálta a termodinamika történetét és a változásokat. Ez okozza azt a nagyon

fontos eltérést is, hogy Arisztotelész fizikája nem egy hibás, éretlen, belső ellentmondásokkal terhelt mechanika, hanem egy konzisztens antik irreverzibilis elmélet.

A termostatika paradigmája a 19. században alakult ki. Ez a paradigmaváltás erősebben módosította a lexikont, mint a többi forradalom. A modern termodinamika fogalmai, az energia, az entrópia, a szabadenergia stb. e forradalom eredményei, de a már korábban meglévő fogalmak is jelentős változáson mentek keresztül, így a hő, a hőmérséklet és a munka. Ennek következtében a paradigma előtti kutatások inkompenzálhatatlanná váltak a modern termodinamikával. A kutatások tévova botladozások, ahol csak sajnálni lehet a szegény, korlátolt kutatókat, akik nem láttak a szemüktől. A hőanyagelmélet szükségtelen zsákutcának tűnik, amely ellentmond a józan észnek. A termodinamika-történet ilyen típusú rekonstrukciójára C. Truesdell ad ragyogó példát *A termodinamika tragikomikus története* című könyvében (Truesdell 1980). Ez a szemléletmód magyarázza, miért van az, hogy a termodinamika talán a fizika egyetlen olyan ága, amely a *textbook* fizikatörténeteiben nem úgy kezdődik, hogy „már a régi görögök...” A termostatikát 19. századi tudománynak kell tekinteni, annak ellenére, hogy a természeti folyamatok irreverzibilitása, az emberek mindennapi tapasztalatai által nap mint nap megerősítve, mindig is a mindennapi gondolkodás fontos elemét képezte. A folyamatok irreverzibilitása megmutatkozik a mindennapi megfigyelések legkülönbözőbb szféráiban, de talán legnyilvánvalóbban a termikus tapasztalatok sokaságában (sütés, főzés, időjárási jelenségek stb.). Hogyan lehetséges, hogy ezekből csak meglehetősen sokára – a 19. században – alakult ki a fenomenologikus termodinamika? Hallgató koromban az volt a válaszom erre a kérdésre, hogy a fizikusok nem mentek a konyhába – a nők nem mehettek a fizikába.

A termostatika az irreverzibilitás romboló hatását hangsúlyozza – „...ami van, széthull darabokra...”. Klasszikus példa erre Belouszov esete, aki megtalálta az első oszcilláló kémiai reakciót. Cikkének közlését a szakmai folyóirat visszautasította, mivel a II. főtétel alapján lehetetlen, hogy egy oldat periodikusan változtassa a színét.<sup>1</sup> Az eredmény mégis bekerült a tudományos közéletbe, és kialakult a modern irreverzibilis termodinamika, amely már sikeresen tárgyalja a struktúrák kialakulását.

A kontinuum termodinamika (CT) már előzményének tekinti a fogalmak kialakulását is, így a termodinamika-történet Galileivel, az első hőmérővel kezdődik. Az alkalmazásokban azonban csak a fizikai rendszerekre szorítkozik, és az irreverzibilitás szervező oldala nem fontos.

A modern irreverzibilis termodinamika (IT) előzményének kell tekinteni azokat az elméleteket, amelyekben az irreverzibilitás fontos szerepet játszott. Az irreverzibilitás mindennapi tapasztalat, ezért megjelenése nem tekinthető kritériumnak a termodinamikai jellegű elmélethez. A mítoszok, eredetmondák mind a rend, a struktúra megjelenését magyarázzák valahogy. A struktúra hiány a természetes állapot. Az irreverzibilitás szervező ereje, a „spontán struktúráképződés” lehetősége viszont a modern irreverzibilis termodinamika központi fogalma. Ez egy paradigmaváltás. A történet rekonstrukciójához az irreverzibilitás struktúrakeltő hatása már egyértelmű kritériumot ad.

Az IT alapján rekonstrukciónk az alábbi főosztást javasolja a termodinamika-történetre:

1. Arisztotelész irreverzibilis fejlődéselmélete a tárgyaláshoz szükséges fogalmak nélkül (Martinás és Ropolyi 1987, 1988, 1989; Martinás 1990: 8, 1991: 285). Kérdéses, hogy paradigmának tekinthető-e, mivel nem élte túl Aquinói Szent Tamás fordítását. Nem tudunk olyan tudós közösséget mondani, amely ezt használta volna.

2. Preparadigmatikus állapot – 17–18. század. A mechanikai-reverzibilis világkép az uralkodó. Kumulatív fejlődés (a hőmérsékletfogalom) és a kalorikus hőelmélet kialakulása, 18. század második fele.

---

1 Noszticzius Zoltán személyes közlése.

3. Termostatika (1860) – az irreverzibilitás matematikai megfogalmazása, kísérlet a mechanikai világgépbe illesztésére.

4. Kontinuum termodinamika (1930).

5. Modern irreverzibilis termodinamika (1960).

A jelenlegi termodinamikai közéletet a több paradigma együttélése jellemzi. Ennek káros hatására egy példát mutatunk be, a fenntartható fejlődés termodinamikai oldalára adott válaszokat.

A termodinamika II. főtétele – az entrópia növekedése – korlátot állít az ember számára is. Minden tevékenység növeli az entrópiát! Például, amikor takarítunk, az lesz a gyerekszoba rendjének az ára, hogy növeljük a világegyetemet, illetve a szűkebb környezetünk entrópiáját. Ezzel is közeledünk a maximális entrópiájú állapothoz. Ha a gyerekszobát kitakarítjuk, akkor gyermekünk tiszta szobában, de egy nagyobb entrópiájú világban fog élni. Csökkenne ezzel az esélye annak, hogy ő is takaríthassa majd gyermeke szobáját? Ez eldöntendő kérdés minden termodinamikával és környezetvédelemmel foglalkozó mama számára. Ha az entrópiánövekedés csökkenti az életesélyeket, akkor abba kell hagyni, de legalábbis minimalizálni kell a takarítást!

Amikor a takarítás helyett a termelésre gondolunk, akkor már minden ember számára fontos az a kérdés, hogyan és mit csinálhatunk, ha a saját, jövőbeli életlehetőségeinket, illetve a jövő generáció életlehetőségeit nem akarjuk rontani. Az ipari tevékenység irreverzibilis változásokat okoz. A nyilvánvaló környezetszennyezés mellett (mögött?) ott van az entrópiánövekedés ténye. A veszélyes hulladékok ellen szükségtelen érvelni termodinamikailag is. Nosztalgiával emlékszünk vissza a régi kirándulásokra, amikor még a csobogó patak vizét ihattuk. A veszélyes hulladék elsősorban technológiai és gazdaságossági kérdés. Termodinamikai kérdés viszont a visszafordíthatatlan entrópiánövekedés. Kérdés, hogy a jelenlegi termelés entrópiikus hatása mennyire csökkenti a jövő generáció lehetőségeit? Tehát etikus dolog-e takarítani a globális problémák, a környezeti krízis és a korlátozott erőforrások korában?

A termostatika alapján minden takarítás és termelés növeli az Univerzum entrópiáját, így csökkenti a jövőbeli lehetőségeket, a jövő generáció esélyeit. Az igazán etikus a zéró termelés volna, amint azt Georgescu-Roegen (Georgescu-Roegen 1971) és követői állítják. Ez az álláspont annyira negatív, hogy nem jelenthet iránymutatást.

A nem egyensúlyi termodinamika alapján tudjuk, hogy az entrópia szigorú növekedése csak izolált rendszerekre érvényes, és azt is tudjuk, hogy a Föld nyílt rendszer. A földi folyamatokat a Nap energiája hajtja. A Föld állandósult állapotához folyamatos entrópiatermelés szükséges. Ha mi nem használjuk föl ezt a kapacitást, akkor más teszi meg. Annyi entrópiát kell termelni, amennyit csak tudunk. A jelenlegi *mainstream* közgazdaságtan véleménye foglalható össze így, és ennek még erősebb indoklást ad az a tény, hogy a teljes földi entrópiatermelésből kevesebb mint egy ezelék az emberi eredetű.

A modern irreverzibilis termodinamika már azt is figyelembe tudja venni, hogy nem csak az entrópiatermelési lehetőség, hanem annak formája is számít. Az entrópiatermelési lehetőség egy szűkös erőforrás, amellyel gazdálkodni kell.<sup>2</sup> A termodinamikai paraméterek, amelyek az entrópiatermelési lehetőség fölhasználását mérik, fontos jellemzői a természet fel-, illetve kihasználásának, és kívánatos lenne, ha az ezeket figyelembe vevő árrendszer nem azt pazarolná, amivel takarékoskodnia kellene (a természeti kincseket), és nem azzal takarékoskodna, amiből fölösleg van (munkaerő).

A fenntartható fejlődés irodalmában a fenti vélemények keverednek. Kuhn alapján érthető a helyzet: a különböző diszciplináris mátrixok különbözőképpen írják le a valóságot.

---

2 A takarítás és a II. főtétel kapcsolatát Lukács Béla is vizsgálta (Lukács 1994).

## HIVATKOZOTT IRODALOM

- Fényes Imre (1980): *A fizika eredete*. Budapest: Kossuth.
- Georgescu-Roegen, N. (1971): *Entropy Law in Economic Processes*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Lukács Béla (1994): Környezetgazdálkodásról fizikus szemmel. In *A környezeti folyamatok termodinamikája*. Budapest: Természet- és Környezetvédő Tanárok Egyesülete.
- Martinás, K. (1990): *Aristotelian Thermodynamics*. Abstract of the Conference on History of Thermodynamics. Veszprém, 1990. július.
- Martinás, K. (1991): Aristotelian Thermodynamics. In *Thermodynamics: History and Debates*. K. Martinás, L. Ropolyi és P. Szegedi szerk. Singapore: World Scientific Publ. Co.
- Martinás, K. és Ropolyi, L. (1987): *Analogies: Aristotelian and Modern Physics*. International Studies in Philosophy of Science. Oxford, 1987.
- Martinás Katalin és Ropolyi László (1988): Arisztotelészi termodinamika. In *Fizikai Szemle*.
- Martinás, K. és Ropolyi, L. (1989): *The State of an Aristotelian Thermodynamics*. XVIIIth International Congress on History of Science. ICHS, Hamburg, Q1/3, 1989.
- Martinás Katalin és Ropolyi László (1992): A termodinamika korai története. In *Fizikai Szemle*.
- Truesdell, C. A. (1980): *The Tragicomical History of Thermodynamics 1822–1854*. New York–Heidelberg–Berlin: Springer Verlag.