

Termodinamika a társadalomtudományokban

„Az életben semmitől sem kell félni, hiszen minden megismerhető.” Mondotta Maria Skłodowska-Curie (1867-1934). Az állítás a modern tudományok egyik legelismertebb kutatójától ered. Maria Skłodowska-Curietől, lengyel származású francia fizikus és kémikustól, a radioaktivitás úttörő kutatójától. A Párizsi Egyetem első női professzorától, ki elsőnek kapott kétszer Nobel-díjat, a fizika, illetve a kémia területein végzett munkájáért. 1903-ban Henri Becquerellel és férjével, Pierre Curie-vel megosztva kapta meg a fizikai Nobel-díjat, majd 1911-ben (egyedülként) a kémiai Nobel-díjat. Maria lánya, Irène Joliot-Curie, és veje, Frédéric Joliot-Curie, 1935-ben együtt nyerték el a kémiai Nobel-díjat a mesterségesen előállított új radioaktív elemek felfedezéséért.

„Az ember, akárcsak a természet dolgai, a természettörvényeknek van alávetve.” Arthur Schopenhauer (1788-1860, német filozófus)

„És megismeritek az igazságot, és az igazság szabadokká tesz titeket.” (Biblia, János Evangéliuma 8,32)

A természettudományok alkalmazása a társadalmi tudományokban és fordítva nem új keletű dolog. Magyar nyelven például pont 100 évvel ezelőtt jelent meg Méray-Horváth Károly "Társadalomtudomány mint természettudomány" című könyve, melyben a szerző 261 oldalon tárgyalja a különböző összefüggéseket a két tudományágazat között [1]. Ma már a társadalomtudományokkal foglalkozó tudósok is, közgazdászok, szociológusok, etc. gyakran empirikus módszereket használnak kutatásaikban. Az empirikus módszerek eredményei pedig alkalmasak nem csak minőségi, hanem mennyiségi értékelésekre is, ami a természettudományi kutatásokban a dolgok lényegét jelenti. Az ember valamint az emberi társadalom nem független a természettől. Ugyanakkor mégis vitatható, hogy vajon a természet törvényei milyen mértékben alkalmazhatók a társadalomra, és fordítva. Ettől még nehezebb felelni arra a kérdésre, hogy vannak e olyan természettudományi törvények melyek egyetemesen felöllelhetnék a társadalom és a természet egészét. Ha pedig

* Dr. Kiss Ernő, nyugalmazott egyetemi tanár, Újvidéki Egyetem, Technológiai Kar, Újvidék

** Dr. Kiss E. Ferenc, tudományos munkatárs, Újvidéki Egyetem, Technológiai Kar, Újvidék

ilyen dolgok kerülnének a vita tárgyává akkor magától érthetően felmerül a filozófiai és vallástani kérdés, hogy rendelkezik-e az ember szabad akarattal (*liberum arbitrium*), vagy leegyszerűsítve, hogy vajon a világ indeterminisztikus vagy determinisztikus. Mivel a dolgozat célja sem filozófiai, sem vallástani jellegű, hanem olyan célirányultságú, amelyben rá kellene mutatni arra, hogy hogyan lehet a legegzaktabb természettudományt, a termodinamikát, alkalmazni a társadalomtudományok egyes ágaiban, ezért ez a kérdés legalábbis a bevezetőben absztrahálva lesz. A termodinamikai törvényeknek egyetemes érvényük van. A későbbiekben bemutatott példák viszont csak a társadalomtudományok egyes részeire korlátozódnak. A felsorolt példák helyességét, jelentőségét és korszerűségét pedig a felhasznált irodalom kellene, hogy bizonyítsa. Kétségtelen, hogy egyes társadalmi és természeti jelenségek között nem csak formai, hanem tartalmi hasonlatosságok és összefüggések is vannak, vagy ezek az összefüggések lehetségesek.

A termodinamika főtételeinek rövid áttekintése

A termodinamika Nulladik főtétele

A termodinamika Nulladik főtétele a termodinamikai rendszer egyensúlyáról beszél, és több posztulátumot foglal magában. Ebben a munkában csak két posztulátumot hangsúlyozunk ki: *i*) bármely magára hagyott termodinamikai rendszer egy idő után egyensúlyi állapotba kerül, amelyből önmagától nem mozdulhat ki; *ii*) ha egy termodinamikai rendszer egyensúlyban van a másikkal, a másik pedig a harmadikkal akkor a harmadik termodinamikai rendszer is egyensúlyban van az elsővel.

A termodinamika Első főtétele

(James Prescott Joule & Julius Robert von Mayer, 1841-1848)

A termodinamika *Első főtétele* az energiamegmaradás elvén alapszik. A környezettől elszigetelt rendszerben, bármilyen folyamatok is mennek végbe a rendszeren belül, az energiák összege állandó. Ha a rendszer nem elszigetelt (nem zárt), akkor a rendszer energiája pontosan annyival nő, amennyivel a környezeté csökken, és ez fordítva is érvényes. Véges változások esetében $\Sigma \Delta U = 0$, illetve az infinitezimális kis változások esetében a $\int dU = 0$ képlet használatos. A termodinamika *Első főtétele*t a $\Delta U = Q \pm W$ képlet közelebbről határozza meg. A rendszer belső energiájának (ΔU) megváltozása egyenlő a rendszerrel közölt hő

(Q) és a rendszeren végzett munka (W) összegével. A rendszeren végzett munka pozitív, a rendszerrel végzett munka pedig negatív előjelű (egyezményes/konvencionális előjel). A termodinamika *Első főtételének* értelmében nem lehetséges olyan periódikusan működő gép, ún. elsőfajú perpetuum mobile (örökmozgó), mely hőfelvétel nélkül képes lenne munkát végezni.

A termodinamika *Első főtétele* nem szól semmit a termodinamikai folyamatok lejátszódásának irányáról.

A termodinamika Második főtétele
(Nicolas Léonard Sadi Carnot, 1824)

A *Második főtétel* a spontán folyamatok irányát szabja meg. Több megfogalmazása van. Clausius-féle megfogalmazás (Rudolf Clausius, 1850): A természetben nincs, és egyetlen géppel, az ún. Clausius-géppel sem hozható létre olyan folyamat, amelyben a hő önként, külső munkavégzés nélkül hidegebb testről melegebbre menne át. Kelvin-Planck-féle megfogalmazás (William Thomson Kelvin, 1851; Max Planck, 1903): A természetben nincs, és egyetlen géppel, az ún. Kelvin-géppel sem, hozható létre olyan folyamat, amelynek során egy test hőt veszít és ez a hő egyéb változások nélkül teljes egészében, 100%-os hatásfokkal munkává alakulna át. A Kelvin-gépet másodfajú perpetuum-mobilenek nevezzük, tehát az állítás szerint nem létezik másodfajú perpetuum-mobile.

A termodinamika *Második alaptörvénye* az entrópia segítségével a következőképpen fogalmazható meg: a spontán folyamatok esetében a magára hagyott rendszerek entrópiája csak növekedhet: $dS \geq \delta Q/T$ illetve $dS \geq 0$ vagy $\Delta S \geq 0$, és az egyensúlyi állapotban eléri maximális értékét. Mivel az entrópia a rendezetlenség fokának a mércéje akkor világos, hogy az entrópia statisztikai mennyiség. A statisztikai valószínűség, Ω szerint a rendezetlen állapot beállítására mindig nagyobb esély van, mint a rendezett állapot keletkezésére. Ugyanis egy mikro-állapot megvalósulási lehetőségeinek száma arányos azok valószínűségeivel. Ez az elv az entrópia növekedését úgy magyarázza, mint átmenetet a nagyon valószínűtlen nem-egyensúlyi állapotokból az összehasonlíthatatlanul valószínűbb egyensúlyi állapotba. Innen következik, hogy a természetben spontánszerűen mindig olyan folyamatok játszódnak le melyek a rendezetlenség megnövekedéséhez vezetnek. Ugyanis az egyensúlyi állapotban az entrópia eléri maximális értékét. Boltzmann (Ludwig Boltzmann) szerint

az entrópiát matematikailag le lehet képezni a statisztikai valószínűség függvényében $S = f[(\omega)]$. Ha két termodinamikai rendszer entrópiája S_1 és S_2 , statisztikai valószínűségük pedig ω_1 és ω_2 , akkor a két termodinamikai rendszer kombinációjának esetében az újonnan kapott termodinamikai rendszer entrópiája, S egyenlő lesz a két említett termodinamikai rendszer entrópiájának összegével, a keletkezett termodinamikai rendszer valószínűsége pedig egyenlő lesz a két termodinamikai rendszer valószínűségének szorzatával [$S = S_1 + S_2 = f(\omega_1 \cdot \omega_2) = f(\omega_1) + f(\omega_2)$]. A fentiek egy logaritmikus függvényre utalnak. Ennek alapján írta fel Boltzmann jól ismert entrópia képletét: $S = k_B \ln \Omega$. Az egyenletben a k_B a Boltzmann állandót jelenti (munka melyet egyetlen egy gázmolekula végez el tágulás esetén a hő hatására, $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23}$ J/K), az Ω pedig azt a valószínűséget jelenti melyekben a gázmolekulák a rendezett állapotban volnának az adott körülmények között. Az entrópia tehát az egyes lehetséges mikroállapotok, P_i gyakoriságának logaritmikus mércéje: $S = -k_B \cdot \sum P_i \ln P_i$.

A *Második főtétel* fogalmazza meg a termodinamikai folyamat irányát, ellenben nem mond semmit arról, hogy a hőmennyiség melyik része alakítható át hasznos munkává. Egyszerűen mondva nem szól semmit a rendszer szabadenergiájáról. Ezért szükséges volt a termodinamika *Harmadik főtételének* megfogalmazása is.

A termodinamika Harmadik főtétele
(Walther Nernst, 1906)

Két olyan állapot entrópiájának a különbsége, amelyek kvázistatikusan átalakíthatók egymásba, $T \rightarrow 0$ -nál, nullához közelít, azaz:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0 \text{ illetve } S_{0,K} = 0$$

Másképpen szólva az abszolút nullánál a rendezetlenség foka nullához közelít.

A termodinamika Negyedik főtétele
(H.T. Odum, 1984)

A termodinamika *Nulladik* és az első három főtétele a zárt termodinamikai rendszerekre érvényesek. A zárt termodinamikai rendszerekben csak energiacsere játszódhat le. A termodinamika *Negyedik főtétele* a nyitott termodinamikai rendszerekre vonatkozik. A nyitott termodinamikai rendszerekben az energiacsere mellett, anyagcsere is leját-

szódhat. Több tudós nevét kell megemlíteni, akik hozzájárultak a termodinamika *Negyedik főtételének* megfogalmazásához. A klasszikus termodinamika egyik legnagyobb alakjára Boltzmannra, Charles Darwin "A fajok eredete" ("On the Origin of Species", 1859.) című munkája nagy benyomást keltett. Az életért való küzdelmet Boltzmann megpróbálta megmagyarázni valamiféle "rendelkezésre álló energiával" (1886.), hasonlóan mint a kémiai termodinamikában ismeretes Gibbs-féle szabad energia (1873.). Ezekből a megfontolásokból Zoran Rant (1956.) megfogalmazta az exergia (exergy, ex-ergon vagyis a "munkából") fogalmát. Az exergia azt a munkát jelenti, amit el kell végezni, hogy a rendszer az adott helyzetből az egyensúlyi helyzetbe kerüljön izotermikus körülményekben. Az egyensúlyi állapotban az exergia nullával egyenlő akár csak a Gibbs-féle szabadenergia. Boltzmann neve után Lotka nevét kell kiemelni (Alfred James Lotka, 1922.) ki szintén a biológia és az evolúció törvényeit próbálta megmagyarázni termodinamikai alapokon. Lotka szerint azok az élőlények, melyek átélnek a kihívásokat és fejlődnek, az energiát könnyebben veszik fel és jobban használják ki mint a konkurens fajok. Vagyis azok az élőlények melyeknél az anyag- és az energiacsere gyorsabb, elindulnak a fejlődés felé. Lotka elméletét az élőlények több osztályára is alkalmazta, és a tapasztaltak alapján megfogalmazta a „maximális hatékonyság elvét”, ami a szakirodalomban mint „Maximum Power Principle” ismeretes.

A rendszer rendeződésének gyorsasága és tökéletesedése az anyag- és energiacsere sebességének a függvénye (Maximum Power Principle). Az Odum fivérek szerint (Howard Thomas Odum és Eugene Pleasants Odum, Crafoord Prize, 1987.) az egyik energiafajta átalakulása valamilyen másik energia fajtába különböző sebességgel játszódhat le. Ha például az egyik energiatípus gyorsan hővé alakul át, akkor az az energia nem építhető be a rendszerbe, mert az szétszóródik a rendszer környezetére, és nem fog hozzájárulni a rendszer tökéletesítéséhez. Az Odum fivérek szerint a változásoknak/transzformációknak bizonyos optimuma van. Ez a gondolat tökéletesítette és közelebről meghatározta Lotka "Maximum Power Principle"-ét. Az Odum fivérek elve mint "Maximum Em-Power Principle" ismeretes.

Odum szerint minden rendszer törekszik, hogy maximalizálja az energiát, ami beépülhet a rendszerbe, és ezt *emergianak* nevezte el („Every System tends to maximize the Flow of Processed Emergy“). Az emergia két szóból kovacsolódott össze (Embodied és Energy), magyarul talán nevezhető lenne "megtettesült emergianak". Az emergia meg

van határozva az energia minőségének és mennyiségének szorzatával. Az energia minősége alatt az energia átalakíthatóságát, az energia mennyisége alatt pedig az exergiát kell érteni, vagyis azt az energia mennyiséget, amely a rendszert az adott helyzetből az egyensúlyi állapotba eljuttatja izotermikus körülmények közepette.

$$\begin{aligned} \text{Emergy} &= \text{Energy transformity} \cdot \text{Exergy} \\ \text{Emergy} &= \text{Energy Quality} \cdot \text{Energy Quantity} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Megtettesült energia} &= \text{Energia átalakíthatósága} \cdot \text{Exergia} \\ \text{Megtettesült energia} &= \text{Energia minőség} \cdot \text{Energia mennyiség} \end{aligned}$$

Az energia minőség mérhető tulajdonság. Két ugyanaz a hőmennyiség közül az a minőségesebb, amelyik magasabb hőmérsékleten van. Ugyanaz a fényenergia mennyiség esetében az a fényenergia mennyiség a minőségesebb, amelyiknek magasabb a frekvenciája. Elvben talán úgy lehetne megfogalmazni, hogy az az energia a minőségesebb, amely gyorsabban átvihető.

A fenti fejezet bemutatása Giannantoni [2] és egy régebben megjelent munkánkra támaszkodott [3]. Giannantoni a termodinamika *Negyedik főtétele*t matematikai képlettel is kifejezte [2], melynek levezetését a szerző a [4] sorrendű irodalom jegyzetben mutatta be.

Termodinamika az informatikában

Az *informatika* önálló tudományág, amely az információk rögzítésével, kezelésével, rendszerezésével, továbbításával foglalkozik. Az informatika az információtudomány, a matematika és az elektronika elegye [5].

Az entrópia nem csak a termodinamika, hanem az informatika fontos fogalma is. A hőtanban egy zárt termodinamikai rendszer a különböző állapotait meghatározott valószínűséggel veszi fel. A lehetséges állapotok összességét jellemzi az állapothalmaz: $S = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ ami az állapotok termodinamikai valószínűségével van megadva: $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots\}$. A rendszer entrópiája az x_i állapotban pedig $S_i = -k \ln \omega_i$. A kommunikációs kapcsolatban a hírforrás mint sztochasztikus (véletlenszerű) kibernetikai rendszer működik. A hírforrás állapotait véletlenszerűen veszi fel, s az eseményekről tudósító híreket véletlensze-

rúen közli. A forrás hírkészlete $H = \{h_1, h_2, h_3, \dots\}$, és a rendszer állapothalmaza között természetes az egy-egy értelmű megfeleltetés, ezért a hírkészlet és az állapot-valószínűségek $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$ között a függőség fennáll. A forrás egy hírének az entrópiája: $\eta(h_i) = -p_i \log_2 p_i$. A rendszer entrópiája ezek összegezésével kapható meg: $H(S) = -\sum p_i \log_2 p_i$. A rendszer entrópiája a következő értékeket veheti fel: $0 \leq H(S) \leq \log_2 n$, ahol n a lehetséges hírek darabszámát jelenti. Az entrópia akkor a legkisebb (0), ha a hírforrás biztosan mindig ugyanazt a hírt sugározza: ekkor a p_i valószínűségek egyike 1 (amelyiket sugározza), a többié 0, és így az összeg is nulla, mivel azok a tagok 0-val egyenlők, amelyekben $p_i = 0$ (az egyik tényező), az egyetlen maradék tagban (ahol $p_i = 1$) pedig a $\log_2 p_i$ tényező nulla. Ekkor a bizonytalanság nulla, vagyis teljesen biztos, hogy az adott hír meg fog érkezni. Az entrópia akkor a legnagyobb ($\log_2 n$), ha az összes hír valószínűsége egyenlő ($p_i = \log_2 1/n$). Ekkor a bizonytalanság a legnagyobb, hiszen bármelyik hír ugyanakkora valószínűséggel érkezhethet be. A fizikai entrópia formulájához való hasonlóság nyomán a $H(S) = -\sum p_i \log_2 p_i$ függvényt Shannon-féle entrópiafüggvénynek nevezik. [6]. Ugyanis a termodinamikai (Boltzmann entrópia) és az informatikai (Shannon entrópia) entrópia között a különbség csak a logaritmus alapon jelentkezik, ugyanis az első függvényben „e” alapú (természetes alapú, e, irracionális szám), a második függvényben pedig „2” alapú logaritmust használnak (mint mindenütt a informatikában).

Termodinamika a közgazdaságtanban

A *közgazdaságtan* (ökonómia) olyan társadalomtudomány, amely a gazdasági rendszerrel, vagyis a javak megtermelésével, elosztásával, értékelésével és fogyasztásával foglalkozik. A közgazdaságtan két legfontosabb ága a gazdaság szereplőinek (emberek, háztartások, vállalatok) döntéseit vizsgáló mikro ökonómia és az országok gazdaságának kérdéseivel foglalkozó makro ökonómia. A közgazdászok gyakran megkülönböztetik a pozitív közgazdaságtant, amely a gazdasági jelenségek értékelés nélküli magyarázatával és leírásával foglalkozik, és a normatív közgazdaságtant, amely értékítéletet alkot és a jövőre vonatkozó döntéseket alapozza meg [7].

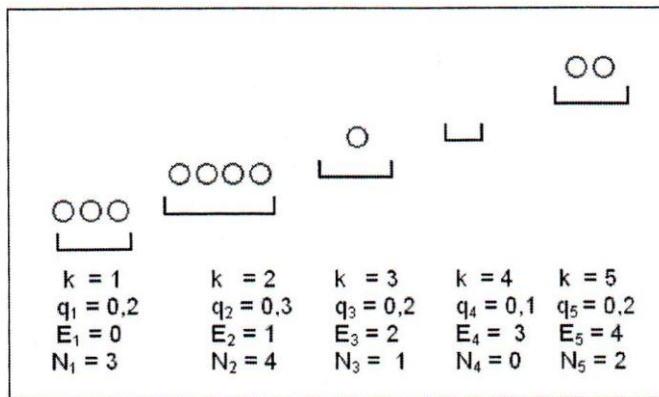
A *termodinamika Első főtétele* szerint az anyag és az energia mennyisége zárt rendszerekben nem változik. Ebből pedig világosan következik, hogy az emberi aktivitáshoz (mezőgazdaság, ipar, kereskedelem, etc.) szükséges javak (termőföld, ércek, etc.), valamint az ener-

giaforrások (szén, kőolaj, földgáz, etc.) mennyisége korlátozott. Az entrópia szigorú törvényének értelmében "*perpetuum mobile*" a gazdaságban sem lehetséges. A termodinamika *Első főtétele*, a megmaradási elv szerint, minden termelésnövekedés két hatásban nyilvánul meg: *i*) energiát és anyagot követel a környezettől és *ii*) növeli a környezet hulladék asszimiláció kapacitásának terhelését. A reciklálás csak enyhíti, de nem oldja meg sem a nyersanyagok szűkösségének, sem a hulladékok okozta környezetszennyezésnek a problémáját.

Georgescu (Nicholas Georgescu-Roegen) szerint a gazdaságban a termodinamika *Második főtétele* tökéletesen működik. A gazdaságban valójában az történik, hogy az alacsony entrópiájú alapanyagokból magas entrópiájú termékeket gyártanak [8,9] és ez az elértéktelenedéshez vezet. A technológiai haladás nagy áttörései a hozzáférhető energia más-más forrásának fölhasználásához kötődik, és ez mindig az ásványi anyagok fölhasználásának újabb és újabb kiterjedését idézi elő. Egy ipari eljárás csak akkor életerős, ha képes megőrizni azt az anyagi struktúrát, amely erőforrással és befogadóval ellátja. Még a legéletképesebb technológiai eljárások sem, melyek megújuló anyagokra és energiaforrásokra alapoznak, se tudják magukat a végtelenségig fenntartani. Az olyan technológiák melyek nem megújuló anyagokra és erőforrásokra alapoznak, elfogyasztják a nem helyettesíthető nyersanyagot, valamint a fosszilis energiát, vagy a természet befogadóképességét meghaladó szennyeződést bocsátanak ki. Az életképes technológia megőrzi az alaptípusú tényezőket, az emberi munkaerőt, a technikai tőkét és a termőföldet. A technológia életképesége azt jelenti, hogy megőrzi a társadalom és az ökológia integritását, ami szavatolja a gazdasági rendszer hosszú távú fenntarthatóságát [9]. A termodinamika *Második főtétele* közgazdasági értelemben az anyagi tartalékok elértéktelenedését jelenti, valamint a környezet degradációját. Például a kis entrópiájú kőolajból az elégetés folyamán nagy entrópiájú szén-dioxid és vízgőz keletkezik.

A termodinamika képleteivel és főtételeivel a közgazdasági fogalmak leképezhetőek. A közgazdaságban a hőmérsékletet mint tényezőt felválthatja egy piaci index, vagy a lakosonkénti bruttó nemzeti össztermék (GNP/fő). A termodinamika *Első főtételének* megfelelője a közgazdaságban a következő képlettel írható le: $Q = \Delta E - W$. Ez az egyenlet megfelel a tőke termelési mérlegének. Az egyenletben a (Q) az érték-többletet jelenti, ami megnöveli a tőkét (ΔE), amiért munkát (W) kell befektetni. A termodinamika *Második főtétele* (Boltzmann entrópia függvénye) a közgazdaságban alkalmas a termelési függvény (funkció)

ábrázolására: $S(N_k) = \ln \Omega(N_k)$ illetve alkalmazott formájában $N_k/N = q_k \exp(-E_k/T)$. A képletben szereplő nagyságokról Mimkes nyújt magyarázatot, lásd 1. ábra [10].



1. ábra

$N = 10$ egyforma esélyű vásárló szeretne gépkocsit venni. A vásárlás idejében $k = 5$ különböző gépkocsi van a piacon. A gépkocsi modellek iránti érdeklődés (a kocsi attraktivitása) $q_k = 1$ (a különböző modellek attraktivitása pedig: q_1, q_2, \dots, q_5). A vásárlási korlátot, E_k a gépkocsi ára szabja meg. A fenti képlet segítségével kiszámítható volt, hogy az egyes gépkocsi modellek, hány vásárlóra, N_k lelhetnek.

A képletben az $1/T$ az integrációs tényezőt jelenti. A fenti esetben ez a nagyság arányos a gépkocsik árával. Ebben az esetben is valószínűségi számításról van szó. A fenti képletet logaritmálással hasonlították tenni a Boltzmann féle termodinamikai entrópia képlettel: $E_k = T \ln N/N_k + \ln q_k/T = T \ln N/N_k + C$. Az ilyen formában felírt képlet alkalmas volna felbecsülni az adott gépkocsi árát, ha a többi piaci tényezők nagysága ismeretes.

Hazai vonatkozásban fontos megemlíteni, hogy Kosta Stojanović már 1910-ben tett kísérletet, hogy egyes társadalmi és gazdasági jelenségeket a termodinamika *Második főtételével* magyarázza meg, ami jóval megelőzte korának gondolkodási módját [11].

Termodinamika a pszichológiában

A pszichológia az emberi gondolkodással és viselkedéssel foglalkozó tudomány. Több elméleti és alkalmazott irányzata van. A pszichológia nem kizárólagosan az emberek lelki jóllétével foglalkozó gyógyító tudomány, hanem az emberekre jellemző mindennemű folyamatok

megértésére törekvő diszciplína is. A pszichológia aktív kutatói szerepet vállalnak olyan kevésbé közismert területeken is, mint például a humanoid észlelés (látás, hallás, tapintás stb.) tanulmányozása, a tanulás és emlékezet törvényszerűségeinek feltárása, a nyelvelsajátítás folyamatának leírása, a matematikai gondolkodás megértése stb. [12]. Weber (Ernst Heinrich Weber) észrevette, hogy az érzet erőssége arányosan növekszik a nekik megfelelő ingerek nagyságával. Minél erősebb ingerről van szó, annál nagyobb mértékben kell azt megváltoztatni, hogy a változás észrevehető legyen. Fechner (Gustav Theodor Fechner) szerint az érzet és a megfelelő ingerek (nyomás, hang, fény, illat, íz) erőssége arányosan növekszik a nekik megfelelő ingerek logaritmusával. Innen felírható a következő differenciálegyenlet: $d\dot{E} = k \, dI/I$. Az egyenletben a $d\dot{E}$ az érzet erősségének, a dI pedig az inger erősségének differenciálisan kicsiny különbségét jelenti, míg az I az inger nagysága a szemlélés pillanatában. A differenciálegyenlet megoldása: $\dot{E} = k \ln I/I_0$, (I_0 inger amit még észlelni lehet, ingerségi küszöb) [13]. Tehát a Boltzmann entrópia és a Weber-Fechner féle pszichofizikai alaptörvény $\dot{E} = k \ln I/I_0$ között teljes hasonlatosság áll fenn. Megjegyzendő, hogy a Weber-Fechner egyenletben a k , constans értékének változó értéke van, mégpedig az ingerek fajtájának függvényében (nyomás, hang, fény, illat, íz). Peggy La Cerra szerint „a pszichológia Első törvénye a termodinamika Második törvénye” [14]. Hasonlóképpen, John Tooby és munkatársai azt állítják, hogy „a termodinamika Második törvénye a pszichológia Első törvénye” [15].

Termodinamika a szociológiában

A szociológia a társadalmi élet összetevői, az egyének, csoportok, szervezetek, intézmények (család, iskola, egyház, állam, stb.) életének, működésének törvényszerűségeit, szabályait és folyamatait vizsgáló elméleti és gyakorlati tudomány [16]. Az entrópia fogalmának bevezetése a szociológiában új keletű, Kenneth Bailey nevéhez fűződik, és a felhasznált irodalom adatai szerint az 1990-es évekre vezethető vissza [17]. A társadalmat mint nyílt termodinamikai rendszert szemléli ami közelít az egyensúlyi állapothoz [18]. Azóta megfogalmazták a különböző termodinamikai nagyságoknak megfelelő társadalmi fogalmakat [19], 2005-ben pedig megjelent egy specializált folyóirat is, *Journal of Human Thermodynamics* néven. A termodinamika mint egzakt tudomány megköveteli a mennyiségi adatokkal való számítást. Például a kémiában a mennyiség egysége a mol. A szénatom C-12-es izotópjának moláris

tömege 12,0000 g, ebben a tömegben a szénatomok száma egyenlő $6,022 \cdot 10^{23}$ (az Avogadro szám). A fizikában, kémiában ezt az egységet használják alapmennyiségnek a különböző számításokban. Tehát egy mólban van $6,022 \cdot 10^{23}$ atom, molekula, ion vagy bármilyen más alapvető részecskéje a szubsztanciának (anyagának/matériának). Ha az elemek atomokból állnak, a vegyületek molekulákból akkor a társadalom alaprészecskéje az „egy ember”. Az egy mol mennyiségnek megfelelőjét, vagyis az egységnyi társadalmi mennyiséget Babics 60 főre ajánlotta, a következő megfontolások alapján. Ha egy mol egység száma 6,022, amit meg kell szorozni a tízes alapú számrendszer 23-dik hatványával (10^{23} -szer), akkor alkalmas volna a társadalom egységet szintén 6,022 – nek elfogadni, mivel analógiát képez a természettudományokban megjelenő számmal, de itt a 23-dik hatvány helyett az első hatványkitevőt javasolja (10^1 -szer, ami 10-zel egyenlő). A szorzat 60,22-vel lesz egyenlő. Természetesen az egységnyi társadalomban csak „egész” emberek lehetnek, ezért ezt a számot 60 főre kerekítette ki [20]. A mennyiség, tömeg, távolság, hőmérséklet, idő, valamint a legfontosabb termodinamikai függőségek (termodinamikai képletek) átképezve a társadalomra szintén megtalálhatók a [19], illetve a [20] idézetekben.

A fentiekben említve volt, hogy a társadalom nyílt termodinamikai rendszernek tekinthető. Klasszikus termodinamikai értelemben ez alatt azt kell érteni, hogy két nyitott termodinamikai rendszer között nem csak az energia áramlatoknak van szabad mozgási útja, hanem az anyagi áramlatoknak is (tömeg átvitel). Ilyen megfontolások vannak a szociál termodinamikában is. Elképzelhető, hogy a tudományág további fejlődésével az Odum fivérek által megfogalmazott *Negyedik főtételnek* majd jelentős szerepe lesz a társadalmi tudományokban (noha most is már gyakran alkalmazzák a környezetvédelemben). A szerzők meglátása szerint ez azzal indokolható, hogy az Odum fivérek által megfogalmazott nagyság az energia, vagyis a testbe beépülhető energia meg van határozva nem csak az energia mennyiségével, hanem az energia minőségével is.

Végül a következő táblázat összegezi a termodinamika *Második főtételét* a természettudományokban és a társadalomtudományokban, mint sztochasztikus (véletlenszerű) rendszerekben (*1. táblázat*). A képletek a termodinamika *Második főtételét* jelenítik meg a tudományok különböző területén, a felső sorban általános alakban, az alsó sorban pedig a gyakorlatban gyakran használt formában.

Természettudományok	Társadalomtudományok		
Fizika, Kémia	Informatika	Közgazdaság	Pszichológia
Boltzmann termodinamikai entrópia	Shannon entrópia	Georgescu-Roegen termelési függvénye	Weber-Fechner féle pszichofizikai alaptörvény
$S = k_B \ln \Omega.$	$S_i = -k \ln \omega_i$	$S(N_k) = \ln \Omega(N_k)$	$\dot{E} = k \ln I$
$S = -k_B \cdot \sum P_i \ln P_i.$	$H(S) = -\sum p_i \log_2 p_i$	$N_k/N = q_k \exp(-E_k/T)$	$\dot{E} = k \ln I/I_0$

1. táblázat

A termodinamika Második főtétele a természettudományokban és a társadalomtudományokban, mint sztochasztikus rendszerekben
Nehézségek és dilemmák

A dolgozat utolsó fejezetében szükségszerű rámutatni a nehézségekre melyek komoly dilemmákat gerjeszhetnek (nem csak a szkeptikusokban), a természettudományok alkalmazhatóságára a társadalomtudományokban. A természettudományokkal foglalkozó kutató objektíven megfigyelheti, megmérheti (tömeg, mennyiség, hosszúság, felület, köbtartalom, nyomás, hőmérséklet, sűrűség, etc.) és leírhatja a jelenségeket, mi után majd megfogalmazza a törvényszerűségeket, illetve törvényeket, hiszen a kutató a dolgok semleges szemlélője. Nem így van ez a társadalomtudományokban, mert ezekben a kutatásokban maga a kutató nem egy "közönséges" külső szemlélő, mert jómaga is tagja annak a társadalomnak amit éppen tanulmányoz. Ennek következtében féltő, hogy már maga a kutató is bevisz az adatokba valamiféle tudat alatti szubjektivitást. Az igazi probléma a szerzők véleménye szerint nem is a „mintavételben” van. A társadalomtudományok törvényszerűségeinek felismerése és annak összetettsége sokkal mélyebb eredetű mint az emberi természet sokszínűsége. Noha már a sokszínűség is a tanulmányozott problémák helyes megismerését ugyancsak megnehezíti. A dolgok lényegére talán úgy a legegyszerűbb rámutatni, ha ebben a fejezetben felidézzük egyes elismert tudósok, filozófusok, szociológusok és vallások elképzeléseit az emberről és annak természetéről. Az első megközelítésben tisztázni kellene, hogy vajon van-e az embernek szabad akarata, hiszen ez nem csak bölcsészettörténelmi vagy vallástani kérdés, hanem az ilyenféle tanulmányok eredményeinek fő meghatározója.

Arisztotelész szerint az ember saját maga határozza el, hogy er-

kölcsös vagy erkölcstelen életet fog élni (*Arisztotelész, i.e. 384-322*). Tehát az akaratunk szabad. Az emberi akarat szabad, innen ered a világban levő rossz is: az embernek szabadságában áll, hogy ne a jót cselekedje. (*Hippói Szent Ágoston, 354-430*). Az akarat önmeghatározása az maga a szabadság, *autodeterminizmus* (*Immanuel Kant, 1724-1804, német filozófus*). A szabad akarat maga a szabadság (*Burrhus Frederik Skinner, szociológus, pszichológus, a behaviorizmus egyik megteremtője, 1904-1990*). Feltehető a kérdés: „Ha nincs szabadság, akkor szabad akarat sem létezik?”. De ne komplikáljuk. Szögezzük le, hogy az előbbi vélemények indeterminista szellemiségre vallanak. Azonban erről a kérdésről más véleményű emberek is vannak. A világ előre megteremtett összhang (*harmonia praestabilita*) szerint működik; a világban lévő történések egy előre eldöntött rend szerint következnek be, csak az ember nem érzékeli saját jelenében és ezért egyfajta látszatszabadságot élvez (*Gottfried Wilhelm Freiherr (báró) von Leibniz, 1646-1716, német filozófus, matematikus, jog- és vallástudós*) [21].

Lássuk hogyan vélekednek erről a kérdésről a nagy világvallások. Keresztény vallások: Az Isten szabad akaratot adott az embernek, az ember döntése által beléphetett a bűn világba (katolicizmus) [21, 22]. Az embernek szükségszerűen rendelkeznie kell szabad akarral, és a döntéshozatal szabadsága alapvető tulajdonsága kell, hogy legyen (unitarizmus) [21]. Az ortodox keresztények szintén elfogadják azt a tanítást, miszerint az ember rendelkezik a szabad akarat kinyilvánításának lehetőségével [23]. A keresztény protestáns vallások nyíltan determinisztikusak. Hisszük hogy Isten mindent előre tud, és előre elrendel, és hogy semmi sem történik az ő akarata nélkül; ebből pedig logikusan következik, hogy sem embernek, sem angyalnak, sem semmilyen más teremtménynek nincsen szabad akarata (*Lutheranizmus, Martin Luther, 1483-1546, német szerzetes, teológia professzor, vallás-reformátor*). Az eleve elrendelés alatt Istennek azt az örök elhatározását értjük, amellyel önmagában eldönti, hogy mi legyen egy ember örök sorsa (*Kálvinizmus, Jean Calvin, 1509-1564, francia teológus, vallás-reformátor*) [21].

A judeizmus szerint Isten szabadnak teremtette az embert, aki szabadon választhat a jó és a rossz között. A mohamedánok szent könyvében, a Koránban, az áll, hogy az embernek fel kell ismerni a tetteiért járó felelőséget, de bele kell, hogy törődjön Isten akaratába. A buddhista tanítás szerint az ember halála után újra születik és előző életének jó vagy rossz tettei alapján (karma) determinálják, hogy milyen alakban, vagy kasztban születünk meg újra. Az újraszületés csak akkor ér véget

mikor az emberi lélekben lévő nem-tudás és a rossz megsemmisül (elmerülés a nirvánába) [21].

Spinoza (*Baruch de Spinoza 1632-1677, holland, zsidó származású filozófus*) és Marx (*Karl Heinrich Marx, 1818-1883, német filozófus, közgazdász, szociológus, forradalmár*) a szabad akarat kérdését csupán ideológiai kérdésnek tekintették [21].

A probléma megoldása akkor sem lesz könnyebb, ha az örök emberi értékek oldaláról történik meg a megközelítés: emberi méltóság, igazság, szabadság, szeretet/szerelem, család, anyaság, gyermek, barátság, hűség, tisztesség, őszinteség és lehetne tovább sorolni. A természettudományok alkalmazása a társadalomtudományokban még nehezebb és összetettebb volna nem csak azért, mert ezek minőségi és nem mennyiségi jellemzők, hanem főleg azért, mert ezekről a fogalmakról az embereknek különböző véleménye van. Teljesen elképzelhető, hogy a felsorolt értékeket a legtöbb ember elfogadja mint társadalmi érték, de a rangsorolás esetében minden bizonnyal a felsorolt értékek nagyon is különböző sorrendben lennének kimutatva. Mi több, ezekre a kérdésekre nem csak nemmel és nem csak igennel lehet felelni. Mindenekelőtt ezeknek a fogalmaknak a legtöbbjét árnyalni is lehet. Innen pedig arra lehet következtetni, hogy a minőségi jellemzők a mennyiségi nagyságok kiszámítását úgyszólván ellehetetlenítik. Különböző embereknek különböző értékrendje van, amiről a megkérdezettek már számtalanszor tettek tanúbizonyságot. Az anonim kérdőív esetében a jelenség kétségtelenül a szabad akarat megnyilvánulására vall, még akkor is, ha a megkérdezett üresen adja vissza a kapott kérdőívet. Az emberek szabad akarata pedig nagyon összetetté teszi az efféle tanulmányokat még akkor is, ha leegyszerűsített természettudományi eljárásokat használunk. Ha pedig a természettudományokat egyetemesen lehetne alkalmazni a társadalomtudományokra akkor féltő, hogy az ember szabad akarata egy nem is létező fogalom, mert az azt jelentené hogy az ember szabad akarata be van „skatulyázva” valamiféle természeti törvénybe.

Záró következtetés helyett

Az igazság keresése valószínű, hogy egyidős az emberi értelemmel. A bonyolult társadalmi viszonyok könnyebb megértésének érdekében az emberek hajlamosak a felmerült kérdések leegyszerűsítésére és ezért a természettudományok törvényeit megkísérlik alkalmazni a társadalmi kutatásokban is. Kétségtelen, hogy ezek a kutatások jó megközele-

téseket adhatnak a társadalmi tudományok kérdéseire is, de csak feltételesen. Ha az emberek szabad akarattal rendelkeznek (*liberum arbitrium*) akkor a termodinamika törvényei csak irányadatok lehetnek (mint statisztikai törvényszerűség), mivel nem lehetséges az emberi akaratot bekezelesni a fent bemutatott törvények kereteibe kizárólagosan. Ha pedig a természet általános törvényei egyformán és fenntartásmentesen érvényesek a társadalmi tudományokban is akkor pedig az emberek szabadakaratáról való elképzelések kétségbe vonhatók.

Felhasznált irodalom:

1. Méray-Horváth K. „Társadalomtudomány mint természettudomány”, Szociológiai könyvtár, Az Athenaeum irodalmi és nyomdai R.-T. kiadása, Budapest, 1912.
2. Giannantoni C. Thermodynamics of Quality and Society, in Ortega, E. & Ulgiati, S. (editors): Proceedings of IV Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies" pp. 139-157. Unicamp, Campinas, SP, Brazil, 2004.
3. Kiss E.E., Kiss F.E, Hány főtétele van a termodinamikának ? A Magyar Tudomány Napja a Délvidéken, 2010, oldal 413-432, (szerkesztő Szalma József), Vajdasági Magyar Tudományos Társaság, Újvidék, 2011.
4. Giannantoni C. The Problem of the Initial Conditions and Their Physical Meaning in Linear Differential Equations of Fractional Order, Applied Mathematics and Computation, Applied Mathematics and Computation, 141, 1 (2003) 87-102.
5. <http://hu.wiktionary.org/wiki/informatika>
6. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Entr%C3%B3pia>
7. <http://hu.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6zgazdas%C3%A1gtan>
8. N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1971.
9. Gy. Pataki: Biofizikai közgazdaságtan és entrópia - Bevezetés Nicholas Georgescu-Roegen közgazdasági munkásságába, KOVÁSZ, VI, 1-4, 33-39, 2002.
10. Mimkes J., A Thermodynamic Formulation of Economics. Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives. Bikas K. Chakrabarti, Anirban Chakraborti, Arnab Chatterjee (Eds.), Weinheim. (http://bilder.buecher.de/zusatz/20/20852/20852236_lese_1.pdf)
11. R. Pešić, Ekonomsko delo Koste Stojanovića, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet, Beograd, 1988.
12. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Pszichol%C3%B3gia>
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Weber%E2%80%93Fechner_law

14. La Cerra P., The First Law of Psychology is the Second Law of Thermodynamics: The Energetic Evolutionary Model of the Mind and the Generation of Human Psychological Phenomena, *Human Nature Review*, 3, 440-447 (2003).

15. Tooby J., Cosmides L., Barrett H. C., The Second Law of Thermodynamics is the First Law of Psychology: Evolutionary Developmental Psychology and the Theory of Tandem, Coordinated Inheritances: Comment on Lickliter and Honeycutt (2003), *Psychological Bulletin*, 129, 6, 858–865 (2003).

16. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Szociol%C3%B3gia>

17. <http://www.eoht.info/page/Sociological+thermodynamics>

18. Bailey, K.D. Social Entropy Theory: An Application of Nonequilibrium Thermodynamics in Human Ecology. *Advances in Human Ecology* 1993, 2, 133-161.

19. Stepanic J. jr., Stefancic H., Zebec M. S. and Perackovic K., Approach to a Quantitative Description of Social Systems Based on Thermodynamic Formalism, *Entropy*, 2, 98–105, (2000).

20. Babics L., The Mechanics and Thermodynamics of Mass Societas, *Journal of Human Thermodynamics*, 6, 39-46 (2010).

21. http://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=Szabad_akarat&oldid=10568093

22. Lelotte F. Tražimo smisao. Kako kršćanstvo rješava problem života. (a könyv eredeti címe "La solution du problème de la vie. Synthèse du christianisme."), IMPRIMATUR, Nadbiskupski Duhovni Stol Zagreb i Nadbiskupski Ordinarijat Zadar, 1966.

23. <http://pravoslavlje.spc.rs/broj/950/tekst/protojerej-vasilije-i-popov-ректор-воронжеског-духовног-семинара-кандидат-богосл/print/lat>

Összefoglaló
Termodinamika a társadalomtudományokban

A dolgozat rövid áttekintést nyújt a termodinamika alkalmazhatóságáról a társadalmi tudományokban. Az írás a Boltzmann-féle statisztikai entrópia megjelenési formáira korlátozódik az informatika (Shannon entrópia), a közgazdaság (Georgesku-Roegen entrópia törvénye) és a pszichológia (analógia a Boltzmann entrópia és Weber-Fechner pszichofizikai törvény közt) területén. A természettudományokban megjelenő képletek mennyiségi nagyságok összefüggőségét írják le, a társadalmi tudományok törvényei pedig minőségi nagyságokat kötnek össze, ez pedig jelentősen megnehezíti a természettudományok alkalmazhatóságát a társadalmi tudományokban.

Kulcsszavak: termodinamika, informatika, közgazdaság, pszichológia.

Summary
Thermodynamics in social sciences

The paper gives a brief overview of the application of thermodynamics in the social sciences. The discussion is limited on the possibility of applying the fundamental assumption of statistical thermodynamics (Boltzmann entropy) in the field of communication theory (Shannon entropy), economic activities (Georgescu-Roegen entropy law) and psychology (the formal analogy between Boltzmann entropy and Weber-Fechner psychophysical law). Natural science laws are defined by formulas linking different quantities, contrary the social sciences usually talk about qualities, which makes its interpretation difficult with the formulas of the general laws of natural sciences.

Keywords: thermodynamics, communication, economy, psychology.

Извод
Термодинамика у друштвеним наукама

У раду је дат кратак преглед примене термодинамике у друштвеним наукама. Приказ се ограничава на могућност примене Болцманове статистичке ентропије у информатици (Шенонова ентропија), економији (Георгеску-Регенов закон ентропије) и психологији (формална аналогија између Болцманове ентропије и Вебер-Фехнеровог психофизичког закона). Закони у природним наукама повезују квантитативне величине, док закони друштвених наука обично су описног карактера јер повезују квалитативне величине, што знатно отежава описивање појава, које се одигравају у друштву, законима природе.

Кључне речи: термодинамика, информатика, економија, психологија