

## Kísérlet a vegyészmérnöki tudomány axiomatikus tárgyalására I.

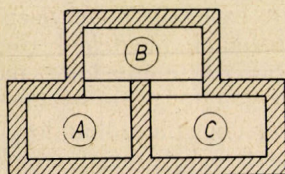
BENEDEK PÁL\*—LÁSZLÓ ANTAL\*\*

A vegyészmérnöki tudomány (chemical engineering science, génie chimique, Chemieingenieurwesen) tárgyat megfogalmazó munkák a vegyipari termelés és a tudományok fejlődésének általános menetéből indulnak ki és arra a kérdésre, hogy mi a vegyészmérnöki tudomány, történeti áttekintés alapján adnak választ.

A szerzők egy korábbi munkájukban [1] egy ilyen történeti áttekintés eredményeképpen arra jutottak, hogy a vegyészmérnöki tudomány egyidejűleg alkalmazott természettudomány és alkalmazott ökonomia. Ezúttal megkísérlik mindenemű történeti elemzés nélkül e megállapítás egzaktabb kifejtését adni, valami olyasféle gondolatmenettel, aminőt a termodinamika megalapozásában szokásos alkalmazni. A kínálózó analógia kifejtése menthetetlenül azzal jár, hogy ismert dolgokat is tárgyalni kell.

### A termodinamika nulladik főtétele

A nulladik főtétel a termodinamikában az empirikus hőmérséklet fogalmához vezet. Ezt a mennyiséget azért kell bevezetni, hogy fenomenologikusan értelmezni lehessen azt, amit fiziológias megfigyelés alapján melegnek vagy hidegnek mondunk. A függvényt úgy kell megfogalmazni, hogy független változói a mechanikából ismert  $p$  nyomás és  $V$  térfogat mennyiségek legyenek és, hogy azonosan „meleg” testekre a függvény azonos értéket vegyen fel.



1. ábra

A nulladik főtétel mármost az 1. ábra szerint kapcsolt rendszerekre vonatkozik. Legyen A és B között, valamint B és C között a fal diaterm (másodfajú), A és C között azonban adiabatikus (elsőfajú) és A legyen termikus egyensúlyban B-vel és

\* Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kémiai Technológia Tanszék.

\*\* Veszprémi Vegyipari Egyetem, Vegyipari Műveletek Tanszéke.

B termikus egyensúlyban C-vel, amit a következőképpen jelölünk:

$$A=B$$

$$B=C$$

E jelöléssel a nulladik főtétel a következő állítást tartalmazza:

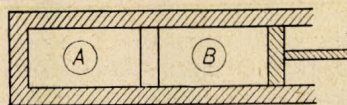
$$A=B$$

$$B=C$$

$$A=C$$

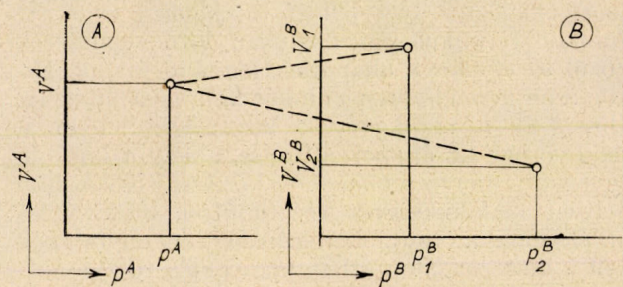
Ez a szillogizmus azt mondja, hogyha A rendszer termikus egyensúlyban van B rendszerrel és B rendszer termikus egyensúlyban van C rendszerrel, akkor az A és C rendszer között is termikus egyensúly van. Más szóval, ha az A és C közötti adiabatikus falat diatermre cserélnők ki, akkor ez nem hozna létre semmiféle változást; A és C termikus egyensúlyban van egymással a kapcsolat sorrendjére való tekintet nélkül.

Térjünk át most két diaterm kapcsolatban és termikus egyensúlyban levő rendszerre. Az egyik (B) rendszer állapotát adiabatikus elmozdítható



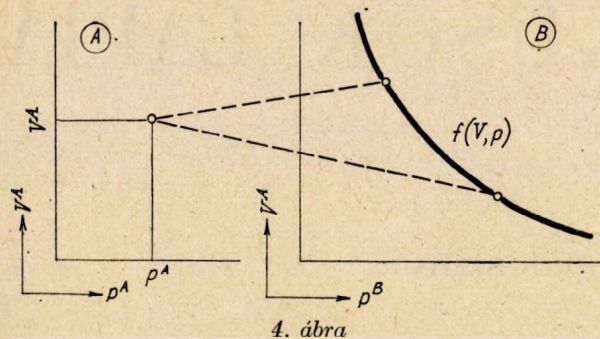
2. ábra

falal változtatni lehet (2. ábra). Tegyük fel, hogy a kiinduló egyensúlyi ( $p_1^B, V_1^B$ ) állapoton kívül létezik egy ( $p_2^B, V_2^B$ ) állapot is, amely ugyancsak termikus egyensúlyban van a változatlan ( $p^A, V^A$ ) állapotú A rendszerrel (3. ábra). Akkor a termo-



3. ábra





4. ábra

dinamika nulladik főtétele szerint

$$A=B_1$$

$$A=B_2$$

$$B_1=B_2$$

a B rendszer 1 és 2 állapota egymásközt is termikus egyensúlyban van. Ezt a gondolatmenetet általánosítva keressük ki már most a B rendszerben azokat  $(p^B, V^B)$  állapotokat, amelyek az A rendszer állapotában nem hoznak létre változást. Mivel ezek külön-külön egyensúlyban vannak A-val, ezért a nulladik főtétel szerint egymással is termikus egyensúlyban vannak (4. ábra). Létezik tehát a B rendszerre egy olyan

$$f=f(p, V)$$

függvény, amely mentén haladva a B rendszer végig termikus egyensúlyban marad a változatlan A rendszerrel. Ebből arra a következtetésre jutunk, hogy létezik egy olyan tulajdonsága a B rendszernek, amely a görbe mentén invariáns. Ugyanezt a tulajdonságot hasonló gondolatmenettel az A rendszerre is értelmezni lehet. Ezt a tulajdonságot az empirikus hőmérsékletnek nevezik. Az „empirikus” jelző csupán annyit jelent, hogy itt az empirikusan, pontosabban fiziológiailag is érzékelhető hőmérsékletéről van szó.

Miért beszélünk itt egyensúlyról? Azért, mert két eredetileg adiabatikusan elzárt rendszer között létrehozott diaterm kapcsolat egzsersmind spontán állapotváltozás megindulására vezet mindkét rendszerben. Ez a változás külső beavatkozás nélkül megy végbe és ér véget, a változást létrehozó ok, a változás hajtóerejének megszűnte miatt. Ennek a hajtóerőnek a hiánya eredményezi az egyensúlyt.

Van tehát valami olyan tulajdonsága is a rendszernek, amely diaterm falon keresztül tud hatolni egyidejű anyagtranszport, vagy mechanikai munka végzése nélkül, ha ezt az áthatolást a hajtóerő előidézi. Milyen jellegű tulajdonság lehet ez? Amikor termikus egyensúlyban levő rendszerek közül az egyiknek állapotát megváltoztatjuk, akkor ezen a rendszeren munkát kell végeznünk (2. ábra). Ez a munkavégzés hozzá létre ebben a rendszerben az állapotváltozást, amely a korábbi egyensúlyi helyzetet megbontja. Az új egyensúlyi helyzet kialakulásához vezető úton, tehát valamiféle munka, vagy energia jellegű mennyiségnek kell a diaterm falon áthatolnia. Ezt a tulajdonságot  $U$  belső energiának hívjuk és ez a dolog természete szerint extenzív mennyiség.

Jogos most azt a kérdést feltenni, hogy miért megy át az extenzív mennyiség az egyik rendszerből a másikba, vagyis mi a spontán állapotváltozás végső oka? Erről csak azt mondhatjuk, hogy az egyik rendszerben az extenzív mennyiségből relatíve sok van, a másikban pedig relatíve kevés. Az állapotváltozás során a relatív felesleg megy át egyik rendszerből a másikba és pótolja a relatív hiányt. Amikor ez megtörtént, egyensúly áll be, azt mondjuk, hogy a két rendszer azonos „meleg”, illetőleg azt, hogy a két rendszer empirikus hőmérséklete egyenlő:

$$T^A=T^B$$

ha az empirikus hőmérséklet jelölésére a  $T$  betűt használjuk. Ez egzsersmind a hőmérséklet mérésére szolgáló utasítás is. A hőmérsékleti skála kiválasztása konvenció kérdése.

Az A és B rendszer közötti fal lehet permeabilis is, amely lehetővé teszi a komponensek forgalmát. Itt megint az a helyzet, hogy extenzív mennyiség vándorol: a komponens tömege és a komponensek megint spontán változás eredményeként mennek át egyik rendszerből a másikba.

Megint csak azt mondhatjuk azért, mert a szóban forgó komponensből az egyik rendszerben sok van, a másikban relatíve kevés. Egyensúly esetén azt mondjuk, hogy  $j$ -edik komponens kémiai potenciálja megegyezik a két érintkező rendszerben:

$$\mu_j^A=\mu_j^B \quad j=1,2,\dots,k$$

ha a  $\mu$  betűt használjuk a kémiai potenciál jelölésére és  $k$  a komponensek száma. Ez az eredmény egyébként nem a nulladik főtételből következik, de szükséges volt emlékeztetni reá. Ha az A és B rendszer közötti falat úgy definiáljuk, hogy az impermeabilis az

$$eE+fF=gG+hH$$

reakció komponenseire, de permeabilis  $e$  komponensek alkotó elemeire, amelyek önmaguk sem A, sem B rendszerben nem egzsiztálhatnak, akkor a kémiai reakció fenomenologikus modelljéhez jutunk. Úgy értelmezve a dolgot, hogy A alrendszerben csak a reagáló komponensek, B alrendszerben csak a keletkező komponensek foglalnak helyet. Itt megint extenzív mennyiségek vándorolnak: az alkotóelemek megfelelő tömegei megint spontán változás eredményeként mennek át az egyik rendszerből a másikba és megint csak azt mondhatjuk azért, mert a szóban forgó alkotóelemből az egyik rendszerben relatíve sok van, a másikban pedig relatíve kevés. Az egyensúly feltétele az előbb felírt reakcióra:

$$e\mu_E+f\mu_F=g\mu_G+h\mu_H$$

vagy általánosságban:

$$\sum v_j\mu_j=0$$

Itt az a figyelemre méltó, hogy az összegek egyenlősége szerepel az egyensúly feltételében és hogy az összeadandók extenzív mennyiségek. Tehát az egyensúly feltételében nem intenzív mennyiségek szerepelnek, mint az előző két esetben.



Az eltérés onnan származik, hogy ezúttal az egyik és a másik alrendszerben is több, minőségileg különböző egyed foglal helyet. Márpedig összehasonlítani csak minőségileg azonos egyedeket lehet, vagy ha az egyedek minőségileg különböznek csak egyetlen közös tulajdonságuk szempontjából lehet összehasonlítást (mérést!) eszközölni.

### Az ökonómia értéktörvénye

Az előzőekben felhasznált modell alapvető ökonómiai fogalmak megfogalmazására is alkalmasnak tűnik.

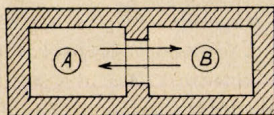
Legyen a „rendszer” ezúttal valamilyen gazdaság, amely különböző dolgokat, termékeket állít elő. Ha ez a gazdaság csakis olyasmit termel, amit maga fogyaszt el és nem fogyaszthat el semmit, amit ne ő termelne, akkor „elsőfajú” „át nem engedő” fallal van körülvéve. Az ökonómiában ezt zárt gazdaságnak nevezik. Egy ilyen gazdaságot jellemezni lehet azoknak a termékeknek minőségi leírásával és mennyiségi felsorolásával, amelyeket előállít. Miként termodinamikai modellünkben  $p$  intenzív és  $V$  extenzív változó volt és mindkettő már a mechanikából is ismert, mostani modellünkben is olyan intenzív (minőségi) és extenzív (mennyiségi) változókat kell választanunk, amelyek az ökonómiától függetlenül ismertek.

A mennyiségi változóval könnyen végezhetünk. Ez lehet térfogat, tömeg, darabszám, vagy a quantitasnak akármiféle más naturális mérőszáma. A minőséget — napjainkban legalábbis — a minőségi szabványok írják elő. A minőségi szabványok csak fizikai vagy kémiai tulajdonságokra vonatkozó előírásokat, alsó vagy felső korlátokat tartalmaznak vagyis olyan naturális tulajdonságokat, amelyek az ökonómiától függetlenül is ismertek. A minőséget egyszerűen akár egy szabvány számával adhatjuk meg. A minőség leírési módjának egyébként nincs elvi jelentősége, annak elismerése után, hogy az valamiképpen lehetséges. A minőséget tehát a használati értékkel azonos értelemben fogjuk fel.

Vizsgáljunk most egy másik gazdaságot, amely ugyancsak elsőfajú fallal van körülvéve, azonban az általa előállított termékek — minőségi szempontból — nem egyeznek meg az első gazdaságban előállítottakkal.

Kössük össze a két gazdaságot másodfajú fallal, ami lehetővé teszi a termékek cseréjét vagyis azt (5. ábra), hogy az első gazdaság átvehessen és elfogyasszon olyan termékeket is, amelyeket a másik gazdaság állított elő, bár ennek fejében le kell mondani saját maga által előállított és elfogyasztható termékekről.

Tegyük fel, hogy az A gazdaság az 5. ábrán jelölt minőségű és mennyiségű terméket akarja elcserélni és helyébe a B gazdaságtól az ábrán jelölt minőségű és mennyiségű terméket kapja.



5. ábra

Itt valamiféle „egyensúlyról” van szó, a szó szélesebb értelmezése szerint, mert a csere mindkét gazdaság részéről csak a meghatározott mennyiségi és minőségi feltételek között jön létre. Növeljük most a gazdaságok számát háromra és kapcsoljuk össze őket az 1. ábra sémája alapján. Az A és B gazdaság között létrejött csere eredményeképp a B gazdaság olyan mennyiségű és minőségű termékhez jutott, amellyel szabadon rendelkezik és a C gazdasággal elcserélheti egy olyan dologért, amelyet C termel, megint meghatározott mennyiségi és minőségi feltételek mellett.

Ilyen módon tehát áll a következő két reláció:

$$A=B$$

$$B=C$$

A tapasztalat kellőképpen alátámasztja a következő axiómát

$$A=B$$

$$B=C$$

$$A=C$$

Ez a szillogizmus azt mondja, hogyha A gazdaság a csere során egyensúlyba jutott B gazdasággal és B gazdaság egyensúlyba jutott C gazdasággal, akkor A és C gazdaság között is van egyensúly. Más szóval, ha A és C gazdaság között a közvetlen csere létrejönne, akkor ez ugyanolyan minőségű és mennyiségű termékekre vonatkozna, mint az imént B közbekapcsolásával.

Keressük ki mármost a B gazdaságban mindazokat a termékeket, minőség és mennyiség szerint, amelyekre az A gazdaság által felkínált minőségű és mennyiségű termék elcserélhető (lásd mutatis mutandis 4. ábrát).

Mivel ezek külön-külön egyensúlyban vannak A termékkel, az előbbi axióma: „a nulladik főtétel” szerint egymással is egyensúlyban vannak.

Létezik tehát a B gazdaság termékeire egy olyan

$$\Phi = \Phi \{(\text{minőség}), (\text{mennyiség})\}$$

függvény, amely mentén haladva a B gazdaság mindig is egyensúlyban van az A gazdasággal. Ebből arra a következtetésre jutunk, hogy létezik egy olyan tulajdonsága a B gazdaság termékeinek, amely a görbe mentén invariáns. Ugyanezt a tulajdonságot az A gazdaság termékeire is értelmezni lehet. Ezt a tulajdonságot az ökonómiában értékeknek nevezik.

Az A és B gazdaság között kicserélődő termékeknek tehát valamiféle olyan tulajdonsága is van, amely a termék fizikai tulajdonságaival együtt kicserélődik. Könnyű rájönni arra, hogy mi húzódik meg az érték mögött. Gondoljuk meg ugyanis, hogyha A gazdaság többet akar a B gazdaság termékei közül átvenni, akkor többet kell a saját termékeiből átadni. Több terméke viszont csak úgy lehet, saját termékeinek fogyasztását nem akarván csökkenteni, ha több, társadalmilag értelmezett munkát áldoz előállításukra. Ilyen formán az érték annak a munkaráfordításnak a mértéke, amely a szóban forgó minőségű és mennyiségű termék előállításához szükséges. Rögtön látni ebből, hogy az érték extenzív mennyiség.



Jogos most azt a kérdést újra feltenni, hogy miért megy át a termék az egyik rendszerből másikba és viszont, vagyis mi a csere spontán oka. Erről csak azt mondhatjuk, hogy az egyik gazdaságban valamilyen minőségű anyagból relatíve sok van, a másokban kevés.

A csere során a relatív felesleg megy át az egyik gazdaságból a másikba és pótolja a relatív hiányt és viszont. Ezzel az átmenettel nemcsak tömeg és minőség, hanem érték is forgalomba kerül és mivel a gazdaságok közötti csere termékhalmozok cseréje, talán helyesebb a következő forgalmazást adni az egyensúlyi vagy egyenértékű cserének:

$$\sum N_j p_j = 0 \quad j=1, 2, \dots, k$$

ahol  $N_j$  a  $j$ -edik minőségből forgalomba került, elcserélt mennyiség,  $p_j$  pedig a  $j$ -edik minőség egységértéke és  $k$  a cserében résztvevő termékek száma.

Itt az a figyelemre méltó, hogy összegek egyenlősége szerepel a csere feltételében és, hogy az összeadandók extenzív mennyiségek. Az összefüggés emlékeztet a kémiai egyensúly feltételére.

Ilyenformán ugyanazzal a gondolatmenettel, amely a termodinamika szférájában az empirikus hőmérséklet fogalmához vezetett — megváltoztatva a változtatandókat, — az ökonómiában az érték fogalmához jutottunk el.

A gondolatmenet és az axióma: a nulladik főtétel mindkét esetben ugyanazt a célt szolgálja: már zárt tudományos szférákból származó mennyiségeken túl olyan új empirikus mennyiséget vezessen be, amely az előzőeken túlmenő tudományos szférában jellemző és alapvető jelentőségű, s amely ebben a szférában fellelhető jelenségek leírásához nélkülözhetetlenül szükséges. A nulladik főtétel egyszersmind ennek az új mennyiségnek mérésére szolgáló utasítás is.

Itt az a kérdés merül fel, hogy milyen skálán mérjük az értéket. Mivel az előzőek szerint valamely termék értéke az előállításához felhasznált munkaerő mennyiségének mértéke, célszerű a társadalmi össztermék értéktömegét normálni. A normálásnak ez a módja azt jelenti, hogy változatlan összlétszámot és munkaidőt feltételezve egy zárt gazdaságban, a társadalmi össztermék értéktömege a társadalmi-történelmi szituációra invariáns, viszont az egyedi termékek egységértéke nem az. Ennek következtében az érték mérésére használt értékskala társadalmi-történelmi szituáció függvénye.

Mindenesetre a tárgyalt mérési utasítást és normálási konvenció alapuló értékskálát kell felhasználni mindenféle termék értékének mérésére is. Ilyenformán a munkaerő értéke azon termékhalmoz értékével egyenlő, amelyet a munkaerő saját maga reprodukálására adott társadalmi-történelmi szituációban elfogyaszt.

A mérési utasítás és a normálási konvenció egyidejű megtartása bizonyos nehézségeket jelent. Ha ugyanis az érintkező két gazdaságban a termelékenység átlagos nívója eléggé különbözik, akkor ugyanazon minőségre (használati értékre) más és más egységérték adódik. (Ilyenféle probléma a termodinamikában is létezik, ha egy test hőmér-

sékletét higanyos bothőmérővel, ellenálláshőmérővel, termoelemmel mérik más és más hőmérséklet adódik, ezért ott a tökéletes gázhőmérővel definiált hőmérsékleti skálára szokás a reális hőmérővel mért hőmérsékletet átszámítani). A termékcsere mégis létrejön a

$$\sum N_j q_j = 0 \quad j=1, 2, \dots, k$$

egyenlőség alapján, ahol most már  $q$  nem az értéket, hanem az árat jelenti. A  $q$  árvektorban a társadalmi preferenciák érvényesülnek.

### A termodinamika első főtétele

A nulladik főtétel konzekvenciája a termodinamika szférájában az a megállapítás, hogy egy homogén fázis állapotának leírásához nem elegendő a mechanikából ismert két állapothatározó:  $p$  és  $V$ , ezek mellé még egy harmadikat is fel kell venni, a  $T$  hőmérsékletet. Tulajdonképpen nem is az a lényeg, hogy ezt a hármat vegyük fel, csupán az, hogy három független állapothatározó határozza meg egyértelműen egy homogén test állapotát.

Ezért azt is lehetne mondani, hogy egy homogén test állapotát egyértelműen meghatározza  $U$  belső energiája,  $V$  térfogata és a benne foglalt kémiai anyag  $N$  tömege. Lett légyen tehát  $X$  a szóban forgó fázis tetszőleges tulajdonsága:

$$X = X(U, V, N)$$

Ha a homogén fázis több komponensű:

$$X = X(U, V, N_j) \quad j=1, 2, \dots, k$$

ahol a  $k$  a komponensek száma.

Ez a termodinamika első főtétele. Ebben a főtételben tulajdonképpen három megmaradási elv jut kifejezésre, amit úgy is fogalmazhatunk, hogy izolált rendszer energiája, térfogata és a benne foglalt komponensek tömege állandó. Az  $U$  energia, a  $V$  térfogat és az  $N$  tömeg konzervatív mennyiségek.

### Az ökonómia megmaradási tétele

Térjünk vissza az ökonómiai modellhez. Az izolált rendszer analógiájára, most zárt gazdaságot vizsgálunk.

Erre a zárt gazdaságra is érvényes egy megmaradási tétel, amelyet a következőképpen lehet megfogalmazni. Egy zárt gazdaságban nem lehet többet fogyasztani, mint amennyit előzőleg megtermeltek. Az előállított termékmennyiség felhasználásra kerül, mégpedig egy része a folyó termelés szükségleteire, másik része pedig a termelés bővítésének szükségleteire fordítódik.

Ezt a következőképpen írhatjuk mátrix írással, Neumann—Leontieff nyomán:

$$x = Ax + \pi Bx$$

ahol  $x$  = a teljes termelési szintek vektora,  
 $A$  = a folyó ráfordítások koefficiens mátrixa,  
 $B$  = a beruházások koefficiens mátrixa,  
 $\pi$  = skalár, az általános növekedési ráta.

Ezek szerint  $Ax$  az újratermelés ráfordításait,  $Bx$  pedig a termelés bővítésének szükségleteit jelenti. Az  $A$  és a  $B$  mátrix tartalmazza azokat a technikai adatokat, amelyek a folyó termelésre, illetve



a termelést bővítő beruházásokra jellemzőek. Az  $x$  vektor és az  $A$ ,  $B$  mátrixok elemeinek az előbbi egyenlőségben természetes mérőszáma van.

A zárt gazdaság Neumann—Leontieff modellje a zárt gazdaság fejlődésének leírására is alkalmas rövid periódusra. A rövid perióduson olyan időtartamot kell érteni, amelyben belül  $A$  és  $B$  technikai koefficiens mátrixok állandóak, vagyis a technikai fejlődés nem számottevő.

### A termodinamika második főtétele

A tapasztalat azt mutatja, hogy két (vagy több) homogén fázisból álló izolált termodinamikai rendszerben spotán változás indul meg, s az mindaddig tart, amíg a rendszer egyensúlyba nem kerül. Az ilyen spontán, más szóval irreverzibilis változások irányáról és egyensúly feltételeiről a termodinamika második főtétele szól.

A termodinamika második főtétele szerint minden homogén fázisra értelmezni lehet egy extenzív mennyiséget: az entrópiát, és az is a főtétel mondanivalói közé tartozik, hogy izolált rendszer entrópiája egyensúlyi helyzetben maximális. Két fázis esetén

$$S^A + S^B = S$$

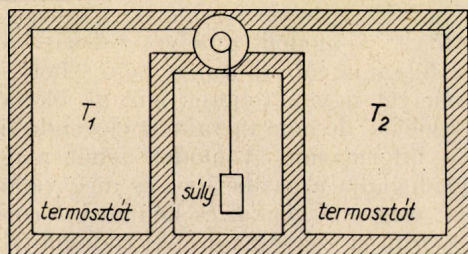
$$S_e^A + S_e^B = S_e$$

$$S_e \geq S$$

ahol az  $e$  index az egyensúlyú állapotra vonatkozik. A második főtétel tehát a megmaradási tételek mellett és azokkal egyidejűleg érvényes, de az entrópiára megmaradási elv nem érvényes, sőt ellenkezőleg a főtétel azt mondja, hogy az entrópia irreverzibilis folyamatban *termelődik*.

Izolált rendszerben végbemenő irreverzibilis folyamat során a rendszer  $U = U^A + U^B$  belső energiája állandó marad (ez az energiamegmaradási elvből következik). Mindamelllett energia megy át az egyik fázisból a másikba, vagyis az irreverzibilis folyamat lényege az, hogy a konzervatív mennyiségnek két fázis közötti eredeti megoszlása megváltozik. Az egyensúlynak az a lényege, hogy a konzervatív mennyiség megoszlási aránya két fázis között szigorúan meghatározott értéket vesz fel.

Ez komponens egyensúlyára Nernst óta közismert. Mindazonáltal a megoszlás általánosabban is értelmezhető.



6. ábra

E gondolat megvilágítására tekintsük a következő izolált rendszert (6. ábra), amelyben  $T_1$  hőmérsékletű termosztátból  $T_2$  hőmérsékletű termosztátba energia áramlik úgy, hogy a közbeiktatott termodinamikai gép, az áramló energia

egyrészt mechanikai munkává alakítja. Azt a klasszikus kérdést tesszük fel, hogy a  $T_1$  hőmérsékletű termosztátból távozó  $dU$  energia mekkora hányada alakítható át mechanikai energiává? Mindenesetre az izolált rendszerre érvényes az energiamegmaradási elv:

$$dU_1 + dU_2 - mgdh = 0$$

ahol  $m$  a  $h$  magasságra emelt test tömege.

A mechanikai munkára az entrópia nincsen értelmezve, és a második főtétel szerint izolált rendszer entrópiája nem csökken:

$$\frac{dU_1}{T_1} + \frac{dU_2}{T_2} \geq 0$$

Mivel az első egyenletből:

$$dU_2 = mgdh - dU_1$$

írhatjuk ezt a másodikba helyettesítve:

$$\frac{dU_1}{T_1} + \frac{mgdh}{T_2} - \frac{dU_1}{T_2} \geq 0$$

Átalakítás után:

$$dU_1 \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} + \frac{mgdh}{dU_1 T_2} \right] \geq 0$$

Mivel  $dU_1 < 0$  a szögletes zárójelben levő mennyiség negatív vagyis

$$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \geq \frac{mgdh}{dU_1 T_2}$$

végül kapjuk a termodinamikai gép hatásfokára az ismert összefüggést:

$$\eta = \frac{mgdh}{dU_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Vagyis arról van szó, hogy a magasabb hőmérsékletű termikus energia az irreverzibilis folyamat során „megoszlik” mechanikai munka és alacsonyabb hőmérsékletű termikus energia között. Az irreverzibilis folyamat lényege, hogy a konzervatív energia megoszlik az energia két létezési formája között. A megoszlási arányt kifejező termodinamikai hatásfok szigorúan meghatározott, abban az értelemben, hogy túllépni nem lehet, de meghatározott abban az értelemben is, hogy csakis a termosztátok hőmérsékletétől függ.

### Az ökonómia értéktöbblet törvénye

Most az a kérdés merül fel, hogy a termodinamika második főtételének van-e ökonómiai analógiája. Más szóval létezik-e olyan ökonómiai mennyiség, amelyre nem érvényes megmaradási tétel és amely — továbbra is fenntartva az izolált rendszer analógiájaként a zárt gazdasági modellt — spotán növekedik.

Erre a kérdésre könnyen lehet igenlő választ adni. Már említettük, hogy zárt gazdaságban előállított termékhalmozás részint a folyó termelés szükségleteinek fedezésére, részint pedig új beruházások szükségleteinek fedezésére fordítódik. Az új beruházások következtében pedig növekedik az előállított termékmennyiség. A termelés volumene tehát folyton növekedik. Éppen ezt írja le a zárt gazdaság idézett Neumann—Leontieff-féle dinamikus fejlődési modellje. Neumann igazolta, hogy



létezik a  $\pi$  skalárnak, vagyis a növekedési rátának egy adott  $A$  és  $B$  mátrix esetén érvényes maximuma. Ezt a zárt gazdaság elérheti és csak akkor érheti el, ha a termékhalmoz: az  $x$  vektor megoszlása a folyó termelés és az új beruházások között meghatározott. Ezt a megoszlási arányt és a növekedési ráta megfelelő értékét nevezik „optimális”-nak. Ezek szerint például nem érdemes az optimálisnál többet fordítani új beruházásokra, mert nem hoz létre gyorsabb növekedést, legfeljebb átmeneti fellendülést, amelyért később lassulással kell fizetni. Itt tehát pontosan arról van szó, ami a második főtétel lényege: a konzervatív mennyiség vagyis az előzetesen előállított termékhalmoz megoszlása két „fázis” között. A „megoszlási hányados”, illetőleg a „termodinamikai határfok” analógiája a Neumann—Leontieff-féle felírás módján az optimális növekedési ráta.

Azt az állítást, hogy a  $\pi$  skalárnak van maximuma, a Neumann—Leontieff-féle modelltől és Neumann bizonyítási eljárástól függetlenül optimalitási elvként lehet értelmezni.

A zárt gazdaságra felírt megmaradási tétel természetes mennyiségekre vonatkozik és ebben a formájában világosan áttekinthető. Minthogy ökonómiairól van szó, célszerű a fizikai mennyiségekről, par excellence ökonómiaira áttérni, vagyis az értéket (vagy az ezt helyettesítő árat) bevezetni.

A megmaradási egyenletben  $Ax$  jelenti a folyó termelés szükségleteit. Ezt azonosítani lehet a munkaerő reprodukálásához adott társadalmi-történelmi szituációban szükséges termékmennyiséggel. Ennek értéke tehát a társadalmi munkaerő (mint termék) összértékét méri. A  $\pi Bx$  termékhalmoz a többletmunkát méri, azonban a többletmunka értéke nincsen értelmezve (mint ahogy a termodinamikában a mechanikai energiához nincs entrópia rendelve). Minthogy azonban az érték mérésére adott utasítás nem ad lehetőséget arra, hogy megkülönböztethető legyen az a termék, ami a szükséges munkából származik, attól amelynek forrása a többletmunka volt, úgy tűnik, mintha a többletmunkának is volna értéke. Ezért szokás a munkaerő reprodukálásához szükséges termékmennyiségen felül előállított terméktöbbletnek értéket tulajdonítani és ezt értéktöbbletnek nevezni.

Az értéktöbblet az a mennyiség, amelyre ezek szerint nem érvényes megmaradási tétel és amely minden adott társadalmi-történelmi szituációban maximum felé tart, ugyanabban az értelemben, mint a növekedési ráta. Ez az optimalitási elv ekvivalens megfogalmazása az értéktöbblet segítségével.

Itt azt a fontos megfigyelést kell szóvá tenni, hogy a  $\pi$  skalár, vagyis a növekedési ráta zavarmentes zárt gazdaságban hosszú időn át konstans. Ez tapasztalati tény és éppen azért lényeges, mert hosszú időn át az  $A$  és  $B$  koefficiens mátrixok biztosan nem állandóak a technikai fejlődés, a termelékenység permanens növekedése miatt.

Éppen ez a megfigyelés ad magyarázatot arra, hogy milyen szerepe van az optimalitási elvnek a vegyész-mérnöki tudományban.

Tekintsünk-e végre egy olyan gazdaságot, amely két szektorból áll: az egyik szektor valamilyen  $i$

termék előállítását végzi, a másik a zárt gazdaság minden egyéb tevékenységét magában foglalja, többek között más ugyancsak  $i$  terméket előállító tevékenységeket is.

Ebben a gazdaságban — adott társadalmi-történelmi szituációban — létezik valamilyen  $q$  vektorral leírható árrendszer, amelynek  $i$ -ik eleme éppen a tárgyalt  $i$ -edik termék egységára:  $q_i$ . Viszont abban a szektorban, amely csakis az  $i$ -edik termék előállításával foglalkozik egyetlen termelő vonalon, a szóban forgó termék előállításához lokálisan felhasznált anyagi és munkaerő-ráfordítások szummája, vagyis az önköltség

$$q_i^l = \sum a_{ij}^l q_j + m_i$$

ahol  $a_{ij}^l$  a lokális technikai koefficiens a  $j$ -edik termékből,

$q_j$  a  $j$ -edik termék egységára,  
 $m_i$  a lokális munkaerő ára.

Az egységár és az önköltség különbsége a nyereség:

$$\Delta q = q_i - q_i^l$$

csakis az  $[a_{ij}]$  technikai koefficiens vektor elemeinek és  $m_i$  aktuális nagyságától függ. Így tehát a kulcskérdés az  $[a_{ij}^l]$  technikai koefficiens vektor elemeinek és  $m_i$  olyan megválasztása, azaz optimalizálása, amely mellett a lokális nyereség tömeg

$$x_i \Delta q_i \rightarrow \max$$

Egy nagyobb gazdaságban elhelyezkedő és  $i$ -edik terméket bizonyos technikai transzformációkkal, műveletekkel előállító szektor működésének vizsgálata az optimum szempontjából, egyidejűleg kell figyelembe vevő a transzformáción uralkodó természettudományi és ökonómiai törvényeket, valamint az ezekből adódó korlátokat és követelményeket.

### A műveleti egység fogalma

A vegyész-mérnöki tudománytól azt várjuk, hogy a vegyi anyagok termelési szférájában fellépő jelenségeket leírja. A modell, amelyet tetszés szerinti termelési folyamatról alkotunk, nem lehet a rendszer, amelyet csupán fizikai mennyiségekkel írunk le, mert nem tartalmaz ökonómiai információt. A modell tehát magában kell foglalja a rendszert és még valamivel többet is: ökonómiai információt.

Fordítva: a modell, amelyet tetszés szerinti termelési folyamatról alkotunk, nem lehet a gazdaság, amelyet ugyan teljesen leírunk ökonómiai mennyiségekkel, de nem tartalmaz elegendő fizikai és kémiai információt. A modell tehát magában kell, hogy foglalja a gazdaságot és még valamivel többet is: elegendő fizikai és kémiai információt.

Ezek szerint a vegyész-mérnöki tudományban a rendszert és a gazdaságot egyaránt tartalmazó modellel kell dolgozni. Az ilyen modellt műveleti egységnek nevezzük.

A rendszer az anyagi transzformációt képviseli a modellben, a rendszerben reáltevékenységek mennek végbe: fizikai és kémiai átalakulások. Azok a változók, amelyeket e transzformációk leírására



használunk, reális fizikai mennyiségek, amelyeket ebben az összefüggésben technológiai változóknak nevezünk.

A gazdaság a gazdálkodási tevékenységet képviseli a modellben. Ebben nem zajlik le reáltevékenység, csupán információkat kap és itt mennek végbe azok az informatív és döntési folyamatok, amelyek a transzformációs rendszer független technológiai változóinak optimális értékeit határozzák meg. Így tehát a modell szoros kapcsolatot teremt a — valóságban el nem váló — „rendszer” és „gazdaság” között.

A műveleti egység leírásához nincs szükség olyan fizikai, kémiai, vagy ökonómiai mennyiségre, amelyet a természettudományi és ökonómiai szférából nem ismerünk, tehát a vegyészmérnöki tudománynak nincsen nulladik főtétele.

A műveleti egység leírásakor figyelembe kell venni a megmaradási elveket (az ökonómiai megmaradási elvet is), újabb megmaradási elv azonban nem létezik. A műveleti egységben végmenő fizikai és kémiai átalakulások irányát és egyensúlyát a második főtétel egyértelműen leírja. Ez más szóval azt jelenti, hogy a termelési ráfordítások megválasztása egyértelműen meghatározza a kibocsátásokat, mindpedig ökonómiai szempontból. Így tehát a termelési ráfordítások megválasztása a termelési folyamatban résztvevő ember feladata. Olyan módon kell ezt a feladatát

megoldani, a ráfordításokat oly módon kell megosztani, hogy ez a megosztás a műveleti egységben mint gazdaságban optimális legyen, vagyis maximális gazdasági effektust hozzon létre.

A műveleti egység ökonómiai működése ezek szerint az optimalizálási elven kívül újabb elv bevezetését nem teszi szükségessé.

Ezek szerint a vegyészmérnöki tudománynak nincsenek önálló főtételei, axiómái, a vegyészmérnöki tudomány tehát alkalmazott tudomány. A vegyészmérnöki tudomány *valamivel több*, mint alkalmazott természettudomány, annyival tudniillik, hogy egyidejűleg alkalmazott ökonómia is.

#### IRODALOM

[1] Benedek P.—László A.: A vegyészmérnöki tudomány alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1964.

#### РЕЗИОМЕ

Авторы излагают мнение об одновременном учёте законов естественных и экономических наук в инженерно-химической науке. Они показывают, что существует аналогия нулевого, первого и второго началов термодинамики в экономике.

#### SUMMARY

The authors analyse the conception involved in Chemical Engineering Science considering the allowance the laws of science and economy together.

They demonstrate the existing analogy in economy to the zeroth, first and second laws of thermodynamics.

## LEGÚJABB az oszlopkromatográfia számára

### W 200 állandó aktivitású alumíniumoxid

Mással nem helyettesíthető szabványos alumíniumoxid.

Garantálva lúgos, semleges és savas változatra:

konstans hatékonyság indulásnál, leállításnál, bontásoknál.

W 200-alumíniumoxid minősége mindig változatlan. Ezért érdemes mindenfajta szétválasztással átállni W 200-ra.

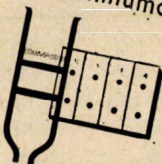
Első ízben sikerült W 200-alumínium-oxiddal megvalósítani az indulóaktivitás, a hatástalanítás és a belső felület egyformaságát mindhárom változatnál. Első ízben nem érheti Önt semmi meglepetés a kromatográfiai eljárásnál.

Az igazi meglepetést azonban az Ön számára is ennek az új terméknek alacsony ára jelenti majd.

Alumíniumoxid W 200 lúgos  
Alumíniumoxid W 200 semleges  
Alumíniumoxid W 200 savas

Magyarországi  
képviselő:  
Medimpex  
Postafiók 126  
Budapest 5

M. Woelm  
344. Eschwege  
Postafiók 840  
NSZK



Felkérésre információ

