

Szemle

# Egy kémiai tévképzet nyomában

## Az egyensúlyi állandó bevezetésének lehetőségei és problémái

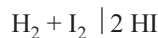
*A tanulási folyamat szükségszerű velejárójaként a tanulók tudása olyan ismeretekkel is bővül, amelyek nem felelnek meg az általánosan elfogadott tudományos nézeteknek. Ezeket nevezi a szakirodalom tévképzeteknek (1). A tévképzetek kialakulásának általában két fő okát szokták megkülönböztetni. Az egyik az, hogy a tanulók hétköznapi (általában még az iskolai oktatást megelőző időszakból származó) tapasztalatai és az azok általánosításából levont naiv következtetései sok esetben nem tükrözik a tudomány által elfogadott igazságot.*

A tévképzetek másik jelentős csoportja viszont az iskolai oktatás során alakul ki. Kimutatható, hogy ennek oka alapvetően az iskolai oktatás módszertani hiányosságaiban rejlik. Egy ilyen, az iskolában kialakult kémiai jellegű tévképzet a kémiai reakciók sebességét leíró egyenlet (röviden: sebességi egyenlet) és a reakcióegyenlet (sztöchiometriai egyenlet) kapcsolatának hibás értelmezése. A középiskolai tanulók, az egyetemi hallgatók és olykor a kémiatanárok is úgy vélik, hogy bármely reakció sebességi egyenletét fel lehet írni a reakcióegyenlet alapján. Először vizsgáljuk meg, hogy miért nem igaz ez az állítás, majd próbáljuk kideríteni, hogy milyen okok, módszertani hiányosságok vezethettek ezen tévképzet kialakulásához.\*

### A sebességi egyenlet és a sztöchiometriai egyenlet kapcsolata

A sebességi egyenlet a reakciósebesség koncentrációfüggését leíró formula. Egy elemi (azaz egy lépésben végbemenő) reakció sebességi egyenlete felírható az elemi reakció egyenlete alapján. Összetett (több elemi reakció együtteséből álló) reakciók esetén a sebességi egyenletet vagy kísérletileg kell meghatározni, vagy az elemi reakciók ismeretében azokból le lehet vezetni. Hasonló sztöchiometriai egyenlettel leírható reak-

ciók igen különböző számú elemi reakcióból állhatnak, ennek megfelelően a sebességi egyenletük is eltérő lehet. (2) Például a

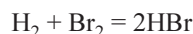


reakció esetén a sebességi egyenlet a reakcióegyenlet alapján is felírható, s ez megegyezik a tapasztalati sebességi egyenlettel:

$$v = k_1 [\text{H}_2][\text{I}_2] - k_1 [\text{HI}]^2$$

Sokáig úgy tudtuk, hogy ez a reakció egy lépésben végbemenő bimolekulás reakció, így a fenti sztöchiometriai egyenlet egyben az elemi reakció egyenlete is, ezért egyezik meg az „elméleti” és a tapasztalati sebességi egyenlet. Az utóbbi évek kutatásai azonban rámutattak, hogy a HI képződése elemeiből is többlépcsős mechanizmus szerint játszódik le. (3)

Hasonló sztöchiometriai egyenlettel írható le a HBr képződése is:

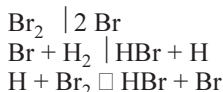


melynek kísérletileg meghatározott sebességi egyenlete igen bonyolult reakciómechanizmust sejtet:

$$v = \frac{k' [\text{H}_2] [\text{Br}_2]^{1/2}}{1 + \frac{[\text{HBr}]}{k'' [\text{Br}_2]}}$$

A részletes kinetikai vizsgálatok kimutatták, hogy ez a reakció egy láncreakció, amely a következő elemi lépésekre bontható:

\* A tanulmány az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA T-026281/1998.) és az MKM Felsőoktatási Programfinanszírozási Pályázata (PFP-2243/1998.) támogatásával készült.



Az ebből a mechanizusból levezethető sebességi egyenlet összhangban van a kísérletileg talált egyenlettel.

Ha a reakció sztöchiometriai egyenlete ezek szerint általában nincs szoros kapcsolatban a sebességi egyenlettel, akkor hogyan lehet a tömeghatás törvényét kinetikai alapon értelmezni? A kérdés megválaszolásához nézzük meg a következő egyszerű esetet! (4)

Legyen a vizsgált egyensúlyra vezető kémiai reakció sztöchiometriai egyenlete:



A tömeghatás törvénye alapján a megfelelő egyensúlyi állandó:

$$v = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}]^2[\text{B}]}$$

Vizsgáljuk meg, hogy két különböző reakciómechanizmust és sebességi egyenletet feltételezve, eljutunk-e ehhez az összefüggéshez!

1. Tételezzük fel, hogy a reakció egy lépéses mechanizmus szerint játszódik le, tehát a felírt sztöchiometriai egyenlet egyben egy elemi reakció egyenlete is. Ekkor az átalakulás sebessége

$$\begin{aligned} v_1 &= k_1[\text{A}]^2[\text{B}] \\ &\text{a visszaalakulás sebessége} \\ v_{-1} &= k_{-1}[\text{C}][\text{D}] \end{aligned}$$

alakban adható meg. Egyensúlyban  $v_1 = v_{-1}$ , tehát az egyensúlyi állandó a következő formában írható fel:

$$K = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}]^2[\text{B}]} = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

2. Tételezzük fel, hogy a reakció egy két lépéses mechanizmus szerint, a következő elemi lépéseken keresztül játszódik le:



Az előbbieknél megfelelően az első lépés egyensúlyi állandója:

$$K_1 = \frac{[\text{A}_2]}{[\text{A}]^2} = \frac{k_{-1}}{k_1}$$

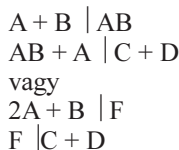
a második lépésé

$$K_2 = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}]^2[\text{B}]} = \frac{k_2}{k_{-2}}$$

alakban írható fel. A két részfolyamat egyensúlyi állandójának szorzata adja a bruttó reakció egyensúlyi állandóját:

$$K = K_1 K_2 = \frac{[\text{A}_2]}{[\text{A}]^2} \times \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}_2][\text{B}]} = \frac{k_{-1}}{k_1} \times \frac{k_2}{k_{-2}}$$

Látható tehát, hogy mindkét esetben, a reakciómechanizmustól függetlenül ugyanahhoz az egyensúlyi összefüggéshez jutottunk. Hasonló összefüggést lehet levezetni más többlépéses mechanizmus feltételezéséből is, például:



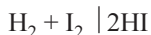
A dolog érdekessége, hogy *Guldberg* és *Waage* 1866-ban az egyensúlyra vezető kémiai reakciók tanulmányozása során megállapította, hogy azok sebessége függ a reagáló anyagok koncentrációjától (az ő szóhasználatukkal élve „aktív tömegétől”), és ezt az összefüggést a reakcióegyenlet együtthatói segítségével írták fel. (5)

### A tömeghatás törvénye és az egyensúlyi állandó tanításának leggyakoribb módszerei

Több tucat magyar és angol nyelvű kémia tankönyv elemzése azt mutatja, hogy ezeknek az alapvető kémiai fogalmaknak a bevezetésére négyféle módszert használnak.

1. Induktív kinetikai módszer:

Egy egyszerű, egy lépéses kémiai reakció (elemi reakció) kinetikai elemzése során jutunk el a tömeghatás törvényéhez. Ez a reakció a esetek többségében a



egyensúlyra vezető kémiai reakció. Ebben az esetben a sebességi egyenlet valóban felírható a reakcióegyenlet alapján, noha most már tudjuk, hogy ez a reakció sem

elemi reakció. (6) Az átalakulás sebességi egyenlete:

$$v_1 = k_1[\text{H}_2][\text{I}_2]$$

a visszaalakulás sebességi egyenlete pedig:

$$v_{-1} = k_{-1}[\text{HI}]^2$$

Egyensúlyban a két ellentétes irányú reakció sebessége megegyezik, tehát

$$k_1[\text{H}_2][\text{I}_2] = k_{-1}[\text{HI}]^2$$

innen azt kapjuk, hogy a termékek egyensúlyi koncentrációjának megfelelő hatványon vett szorzata osztva a kiindulási anyagok egyensúlyi koncentrációjának megfelelő hatványon vett szorzatával egy állandót ad, s ez az egyensúlyi állandó:

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

Ez az eljárás szakmailag korrekt, módszertanilag hibás, ugyanis a tanulók nem ismerik az elemi és az összetett reakció, valamint a reakciómechanizmus fogalmát, így azt gondolják, hogy ez a kezelésmód minden további nélkül alkalmazható más egyensúlyra vezető reakciókra is, tehát a sebességi egyenlet felírható a sztöchiometriai egyenlet alapján. Ezt az eljárást találjuk a magyar nyelvű bevezető kémiakönyvek többségében, és mindkét, jelenleg még széles körben használatos gimnáziumi tankönyvünkben. (7)

2. Deduktív kinetika módszer:

Egy általánosan felírt kémiai folyamatnak, például:



az előzőhöz hasonló kinetikai kezelése révén jutunk el a tömeghatás törvényéhez és az egyensúlyi állandóhoz. A (meg nem engedhető módon) felírt sebességi egyenletek:

$$v_1 = k_1[\text{A}]^a[\text{B}]^b$$

$$v_{-1} = k_{-1}[\text{C}]^c[\text{D}]^d$$

egyensúlyban:

$$k_1[\text{A}]^a[\text{B}]^b = k_{-1}[\text{C}]^c[\text{D}]^d$$

az egyensúlyi állandó:

$$K = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

Ez az eljárás mind szakmailag, mind módszertanilag hibás. Elterjedésében nagy szerepe lehetett annak, hogy egy régebbi egyetemi tankönyvünk (8) – amelyből kémiantanárok generációi tanultak – szintén így tárgyalja a tömeghatás törvényét. Sajnos, egy újabban kiadott középiskolai tankönyvben (9) is találkozhatunk ezzel a módszerrel.

3. Induktív nem-kinetikai módszer:

Egy valós egyensúlyi rendszerre vonatkozó kísérleti adatok elemzése révén jutunk el a tömeghatás törvényéhez és az egyensúlyi állandóhoz. Ez a valós rendszer általában a



gázegyensúly. (10) A különböző kiindulási koncentrációk esetén nyert egyensúlyi koncentrációk láthatóan nem jellemzik az adott hőmérsékleten kialakult egyensúlyt. Ugyancsak nem kapunk állandó értéket akkor, ha a termék egyensúlyi koncentrációját elosztjuk a kiindulási anyag egyensúlyi koncentrációjával. Amennyiben azonban a hányadost a

$$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

összefüggésnek megfelelően képezzük, a különböző kiindulási koncentrációk esetén is állandó értékeket kapunk. Az így számított érték tehát jellemzi a kialakult egyensúlyt:

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = 0,00465$$

Ezt a fajta tárgyalásmódot a magyar nyelvű könyvek közül csak egy egyetemi tankönyvben találtam, (11) pedig ez mind szakmailag, mind módszertanilag helyes megközelítése a tömeghatás törvényének.

4. Deduktív nem-kinetikai módszer:

Egy konkrét vagy egy általánosan felírt egyensúlyi reakcióra definíciószerűen megadjuk a tömeghatás törvényét és az egyensúlyi állandót. Például az



egyensúlyra vezető reakció egyensúlyi állapotát adott hőmérsékleten és nyomáson a

$$K = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

Kiindulási koncentrációk		Egyensúlyi koncentrációk		Az egyensúlyi koncentrációk aránya	
[NO <sub>2</sub> ]	[N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ]	[NO <sub>2</sub> ] <sub>e</sub>	[N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ] <sub>e</sub>	$\frac{[\text{NO}_2]_e}{[\text{N}_2\text{O}_4]_e}$	$\frac{[\text{NO}_2]_e^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]_e}$
0,0000	0,670	0,0558	0,669	0,0834	0,00465
0,0500	0,450	0,0457	0,452	0,101	0,00462
0,0300	0,500	0,0480	0,491	0,0978	0,00469
0,0400	0,600	0,0524	0,592	0,0885	0,00464
0,200	0,000	0,0204	0,0898	0,227	0,00463

hányadossal jellemezhetjük, s ez a reakció egyensúlyi állandója.

Ez az eljárás szakmailag korrekt, módszertanilag elfogadható, néhány magyar nyelvű tankönyvben (12) és példatárban (13) találkoztam vele.

### A tömeghatás törvénye és az egyensúlyi állandó tárgyalásának módszerei néhány angol, illetve magyar nyelvű kémiakönyvben

Az egyes kezelési módok eloszlását a vizsgált kémiakönyvekben a következő táblázatban foglaltam össze:

A táblázat adataiból megállapítható, hogy az angol nyelvű kémiakönyvekben elsősorban az induktív nem-kinetikai módszer, a magyar nyelvűekben a kinetikai módszerek (ezen belül a módszertanilag kifogásolható induktív és a szakmailag is helytelen deduktív kezelés csaknem azonos mértékben) dominálnak. A szakmailag és módszertanilag is leginkább helytálló induktív nem-kinetikai kezelésmód csak elvétve jelenik meg a magyar nyelvű kémiakönyvekben. Az adatok alapján valószínűsíthető, hogy a beve-

zetőben jelzett tanulói tévképzet alapvetően a kémiai egyensúly tanításának hazai módszeréből adódik, mégpedig abból, hogy a magyar nyelvű kémiakönyvek kétharmada a tömeghatás törvényét és az egyensúlyi állandót kinetikai alapon vezeti be. Továbbra is rejtély, hogy a magyar kémia tankönyvek szerzői miért rekedtek meg a kinetikai kezelésmódnál!

### Következtetések

A tanulóknak a reakcióegyenlet és a sebességi egyenlet viszonyával kapcsolatos tévképzete visszavezethető arra, hogy a magyar nyelvű kémiakönyvek többsége a tömeghatás törvényét és az egyensúlyi állandót kinetikai alapon vezeti be. Ideje lenne szakítani ezzel a hagyománnyal.

A témakör hatékony tanítására példaként szolgálhat az angol nyelvű kémiakönyvek-re jellemző induktív nem-kinetikai tárgyalásmód. Szemléletességük, játékosságuk és kevésbé elvont jellegük miatt pedig feltétlenül figyelmet érdemelnek a nálunk ma még alig használt hidrodinamikai (14) és statisztikus modellek (15).

	Kinetikai módszerek		Nem-kinetikai módszerek	
	Induktív	Deduktív	Induktív	Deduktív
Magyar nyelvű könyvek (N = 35)	66%		34%	
	37%	29%	6%	28%
Angol nyelvű könyvek (N = 22)	19%		81%	
	14%	5%	59%	22%

### Jegyzet

(1) KOROM E.: *Az iskolai tudás és a hétköznapi tapasztalat ellentmondásai: természettudományos tévképzetek. = Az iskolai tudás.* Szerkesztette: Csapó Benő. Osiris Kiadó, Bp. 1998, 139. old.

(2) ERDEY-GRÚZ T.–SCHAY G.: *Elméleti fizikai kémia II.* Negyedik kiadás. Tankönyvkiadó, Bp. 1964, 562. old.

(3) PILLING, M. J.–SEAKINS, P. W.: *Reakciókinetika.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 1997, 301. old.

(4) BRADY, J. E.–HUMISTON, G. E.: *General chemistry: principles and structure.* John Wiley, 1975, 319. old.

- (5) Uo.; BALÁZS L.: *A kémia története I.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp. 1996, 555. old.
- (6) PILLING, M. J.–SEAKINS, P. W.: *Reakciókinetika*. i. m.
- (7) BOKSAY Z.–TÖRÖK F.–PINTÉR I.–NÉ–BALÁZS L.–NÉ: *Kémia a gimnázium I. osztálya számára*. Tankönyvkiadó, Bp. 1982, 121. old.; HOBINKA I.: *Kémia a gimnázium I. osztálya számára*. Tankönyvkiadó, Bp. 1989, 117. old.
- (8) LENGYEL B.–PROSZT J.–SZARVAS P.: *Általános és szerves kémia*. Második kiadás. Tankönyvkiadó, Bp. 1959, 232. old.
- (9) BALÁZS L.–NÉ–KISS ZS.: *Általános kémia, környezeti kémia*. Calibra Kiadó, Bp. 21. old.
- (10) CHANG, R.: *Chemistry*. Második kiadás. Random House, New York 1984, 392. old.
- (11) GERGELY P.–ERDŐDI F.–VEREB GY.: *Általános és bioszerves kémia*. Semmelweis Kiadó, Bp. 1992, 137. old.
- (12) BERKES L.: *Kémia a négyosztályos gimnáziumok I. osztálya számára*. MOZAIK Oktatási Stúdió, Szeged 1995, 102. old.
- (13) VILLÁNYI A.: *Ötösöm lesz kémiából. Példatár*. Calibra Kiadó, Bp., é. n., 60. old.
- (14) CARMODY, W. R.: *Dynamic equilibrium. A simple quantitative demonstration*. Journal of Chemical Education, 1960. 6. sz., 312. old.; TÓTH Z.–GRÓNÁSNÉ ENDRÉSZ M.: *Elsőrendű folyamatok hidrodinamikai modelljei I. A kémia tanítása*, 1982. 5. sz., 136. old.; KÖNYA J.–NÉ–PFEIFFER Á.–VARGA E.: *Tanári kézikönyv a gimnázium I–II–III. osztálya kémiatanításához*. Tankönyvkiadó, Bp. 1987, 142. old.; TÓTH Z.: *A reakciósebesség és a kémiai egyensúly tanításának lehetőségei és buktatói = A XV. Kémiatanári Konferencia előadás összefoglalói*. Kaposvár 1992, 43. old.; TÓTH Z.: *A reakciósebesség és a kémiai egyensúly tanítása. Mérőkísérletek*. Iskolakultúra (Természettudomány), 1993. 20. sz., 53. old. (15) HARSCH, G.: *The efficiency of simulation games in science education: an empirical study*. International Journal of Science Education, 1987. 1. sz., 23. old.; Uő.: *Kinetics and mechanism – a games approach*. Journal of Chemical Education, 1984. 12. sz., 1039. old.; SCHULTZ, E.: *Dice-shaking as an analogy for radioactive decay and first-order kinetics*. Journal of Chemical Education, 1997. 5. sz., 505. old.; TÓTH Z.: *Egy tévképzet nyomában – az egyensúlyi állandó bevezetésének lehetőségei és problémái. = Módszerek és eljárások 10.* Szerkesztette: Tóth Z. KLTE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen 1998, 54. old.; Uő.: *Az egyensúlyi folyamatok tanításának lehetőségei és buktatói. = A XVIII. Kémiatanári Konferencia előadás összefoglalói*. Bp. 1998, 18. old.; *Possibilities and problems in teaching chemical equilibrium. = Book of Abstracts of 1st European Conference in Chemical Education*. Szerkesztette: RIEDEL M.–HOBINKA I. Bp. 1998, 189. old.

**Tóth Zoltán**