

A kohásztól a nanotudományokig

Interjú Kaptay Györggyel, aki 2022 májusában lett az MTA rendes tagja

From metallurgy to nanosciences

Interview with George Kaptay, who was elected a member of the Hungarian Academy of Sciences in May 2022



Prof. dr. Kaptay György kohómérnököt 2022 májusában választották a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagjává. Ennek a ritka eseménynek a megünneplésére szerkesztőnk interjút készített Kaptay professzorral. Az interjúban a következő témák kerültek szóba:

- i) Hogyan lehet a Magyar Tudományos Akadémia tagjává válni, mik a formai, szcientometriai feltételek és mikorra számíthatunk a következő kohómérnök tagságára?*
- ii) Melyek Kaptay professzor főbb tudományos eredményei, amelyek e magas elismeréshez vezettek?*

Prof. dr. George Kaptay, a metallurgical engineer by education was elected in May 2022 as an ordinary member of the Hungarian Academy of Sciences. To celebrate this rare event, our Editor made an interview with professor Kaptay. In the interview the following subjects are discussed:

- i) how to become a member of the Hungarian Academy of Sciences, what are the formal scientiometric conditions and when we can expect the next metallurgical engineer to become a member,*
- ii) what are the major scientific achievements of professor Kaptay that lead to this high recognition?*

BKL: Kohómérnökből kis hazánkban viszonylag ritkán lesz akadémikus. Miért van ez?

KGy: Ez valóban így van, de mielőtt azt hinnénk, hogy „nyomják Krahácsot”, gondoljunk bele a mennyiségi korlátokba. Az MTA-nak egy időben maximum 365 rendes vagy levelező (hazai) tagja lehet, kvázi minden napra jut egy akadémikus. Akadémikusválasztás 3 évente van, ekkor az időközben elhunytak helyére választanak új tagokat. Elsőre mindenki „levelező” tag lesz, majd ha 6 év után még mindig él, és mind a tudományos közéletben, mind a tudományos eredményeiben (publikációiban) tartja, vagy növeli az addigi szintet, akkor általában „rendes” taggá választják. Ez a maximum 365 tag összesen 11 tudományos osztály között oszlik meg, azaz nagy átlagban egy osztályra 30 tag jut. A Műszaki Tudományok Osztályán három szakcsoport működik, ezek egyike a „gépész-kohász” szakcsoport, akikre átlagban 10 tag jut. Azt, hogy ehhez képest sok vagy kevés az, hogy ketten vagyunk kohómérnök akadémikusok Roósz Andrással, nehéz megítélni. Egy lehetséges viszonyítási alap: a Miskolci Egyetemre a 2022 szeptemberében induló tanévre felvettünk összesen 101 gépészmérnök-hallgatót, 9 anyagmérnök-hallgatót és 3 kohómérnök-hallgatót

(www.felvi.hu), azaz összesen 12 potenciális „kohász”, akik tehát a felvett „gépész-kohász” alapanyag kb. 10%-át adják. Ebből a szempontból a jelenlegi 20%-os kohász arány az MTA tagok „gépész-kohász” tagjai között már szinte felülreprezentálnak tűnik.

BKL: Ez azt jelenti, hogy addig nem lesz új kohász akadémikusunk, amíg a jelenlegiek „ki nem halnak”?

KGy: Remélem, hogy nem ezt jelenti. Ráadásul, ha ez megtörténne, akkor már igen nehézkesé válna a következő kohász akadémikus sorsa, hiszen az ő megválasztásához három gépész akadémikusnak kéne egyszerre úgy gondolnia, hogy a kohászok nélkül már az MTA sem a régi. Én például szinte biztos, hogy nem lettem volna akadémikus, ha Roósz András kohász akadémikus először 2013-ban, majd 2016-ban nem jelöl levelező tagnak, sőt, ha nem beszél rá még két gépész akadémikust a jelölésemre, sőt, ha nem érvel mellettem minden választási fordulóban. Nekem is az a kötelességem (Roósz Andrással szövetségben), hogy minél előbb legyen egy harmadik kohász akadémikusunk is. Kettőnk megválasztása között azonban 7 (azaz hét) választási ciklus telt el, ami némi türelemre int bennünket.

BKL: Mit kell teljesítenie a következő kohász akadémikusnak ahhoz, hogy megválasszák?

KGy: Ez egy jó kérdés, de nem könnyen megválaszolható. Ugyan a tudományometriát a tudományos közéletben és az akadémián is nagyon különbözőképpen ítélik meg, de a gépész-kohász szakcsoport az új évezred kezdetétől azt egyre komolyabban veszi: kimutatható, hogy legalábbis a 2000. év óta az új levelező tagok egyre jobb nemzetközi publikációs és független, nemzetközi hivatkozási eredményekkel kerülnek megválasztásra [1]. A következő kohász akadémikusnak minden bizonnyal jobb tudományometriai paraméterekkel kell rendelkeznie gépész versenytársaihoz képest ahhoz, hogy őt a szavazásnál többségben lévő gépész akadémikusok gépészjelölt társuk elé rangsorolják. Ez azonban csak a beugró szint, ennél több kell. Ekkor jön a nehezen megfogható „habitus” kérdése, ami főleg a tudományos közéleti szerepvállalást és a „nyilvánvaló tudományos nagyságot” jelenti, azaz azt, hogy vajon a magyar gépész-kohász tudományos közösség látja-e az illetőben a jövő „nagy akadémikusát”, a jövő nemzedékének kutató példaképét?

BKL: Ön milyen, mennyiségileg is megfogalmazható eredményekkel lett 2016-ban levelező tag és 2022-ben rendes tag?

KGy: A levelező tagságra való jelölésem évétől (2015) számítva a mostani jelölés (2021) közötti időszakban tudományos cikkeim száma 184-ről 228-ra nőtt (+23,9%), az egy szerzőre jutó kumulatív impakt faktoraim 82,6-ról 150,3-ra nőttek (+82,0%), független hivatkozásaim száma 1 700-ról 3 600 fölé nőtt (+112%), innen számolt h-indexem pedig 20-ról 30-ra nőtt (+50%), azaz az elmúlt hat évben a mennyiségben (cikkek száma) túl a minőségben (egy cikkre jutó független hivatkozások száma) is továbbléptem. Tíz olyan eredményem van, amelyre legalább egy alkalommal a „Kaptay-x” jelzős szerkezettel hivatkoztak, ahol x = modell, equation, theory, method, statement, formalism, development, formula, school, ezen túl van egy „Bárczy–Kaptay-modell”-ként és egy „Budai–Benko–Kaptay y”-ként hivatkozott eredményünk is, ahol y = modell, equation, approach. Eddig összesen 14 kolléga nyert PhD-fokozatot tudományos vezetősemmel, egyikük már az egyetemi tanári rangot is elérte. Több mint 10 elfogadott szabadalmam van, ezek fele más országokra is ki van terjesztve, vagy eleve ott lett bejelentve. Arról sajnos nem tudok beszámolni, hogy valaha is szabadalmi jogdíjban részesültem volna, de reménykeltő, hogy egyik szabadalmunkat már ellopták. Fenti eredményesorból a rossz hír az, hogy a jövő kohász akadémikusainak ezeket az eredményeket minden bizonnyal túl kell majd teljesíteniük ahhoz, hogy az illető jobb legyen minden párhuzamos gépész akadémikusjelölnél. Nem tartom

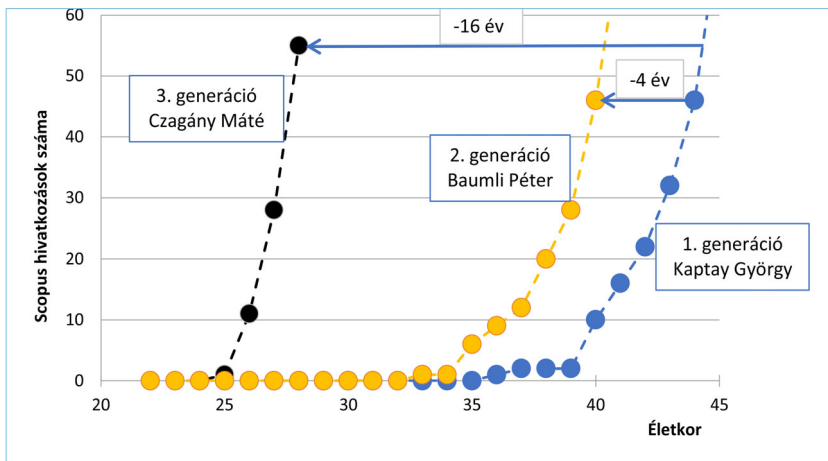
például valószínűnek, hogy a jövőben a független hivatkozásokból számolt 20-as h-index alatt kohász levelező tagot válasszon az MTA, és ez persze csak a belépő feltétel. Megjegyzem, hogy nemcsak nekem, hanem saját megválasztásakor Roósz akadémikusnak is sokkal jobbnak kellett lennie gépészjelölt társainál, és jobb is volt náluk. Egyébként ugyanis egyikünket sem választották volna meg, helyettünk – teljes joggal – egy nálunk jobb eredményekkel rendelkező gépész kolléga került volna megválasztásra. Más szóval az MTA-n „kohászkvóta” nincs, egyesével (bár egymást segítve) kell megküzdenünk az akadémikus helyekért.

BKL: Ha jól értjük, a fenti eredményeket az MTA kicsit belterjesen méregeti. Van-e a nemzetközi tudományos kiválóságnak nemzetközi (nem magyar) rangsora?

KGy: Se az impakt faktor, se a h-index nem magyar találmány, ezeket a mérőszámokat nemzetközileg is használják, mi csak átvettük azokat. Ebből a szempontból az MTA belső mérései is tekinthetők nemzetközinek. Létezik azonban egy egyéni kutatói kiválósági világsorrend is (lásd [2]), amiben Ioannidis és munkatársai a Scopus nemzetközi tudományos adatbázis alapján nevezik meg „a világ legjobb 100 000 kutatóját”, ami a világ legjobb 0,1–1%-át jelenti, amennyiben nagyságrendileg 10–100 millió kutató van világszerte. Ezen a listán az MTA Műszaki Tudományok Osztályának 30 tagja közül öt kolléga szerepel, közülük sorrendben én a 3. helyen állok. Ezen a világranglistán a helyezésem évről évre javul, a legutóbbi, 2021-es lista szerint a 62 880. helyen állok. Ha egyszer lesz majd magyar olyan 60 év alatti kohász, aki erre a százezres világrangsorra felkerül, akkor neki nagyon jó esélyei lesznek az akadémikussá válásra. Bár megjegyzem, hogy könnyebb elérni a fent jelzett 20-as h-indexet, mint erre a listára felkerülni.

BKL: Hogyan lehetséges az, hogy a kutatók a fenti tudományometriai eredményekben idővel egyre jobbak lesznek? Nem várható, hogy pl. az akadémikussághoz szükséges minimális h-index értéke idővel elérjen egy konstans értéket?

KGy: Elvileg ennek kéne történnie, de csak akkor, ha idővel nem változna minden – de mint tudjuk, minden állandó változásban van. Fokozatosan javul például minden mérhető sportágban a világcúcs is. Ehhez hasonlóan fokozatosan nő minden mérhető emberi teljesítmény is. A tudományban ennek ráadásul objektív okai is vannak: fokozatosan nő az egész világon (házánkban is) a kutatók száma, az ő kiszolgálásukra fokozatosan nő a folyóiratok száma, emiatt fokozatosan nő az évente megjelenő folyóiratcikkek száma, ráadásul folyamatosan nő az egy cikkben idézett cikkek száma is, emiatt dupla sebességgel nő a hivatkozások száma. Ebből pedig az következik, hogy gene-



1. ábra. A Scopus-hivatkozások növekedése az életkorral egy kutatócsoport három generációjában. Kaptay György: 27 évesen jött haza a Szovjetunióból, ahol orosz nyelven publikált és nem beszélt angolul. Ezt követően itthon elvitték katonának (angolul ott sem tanult meg), majd 38 éves koráig főleg üzletemberként működött, hogy családjával kitörjön a kollégiumi szobából (időközben legalább megtanult angolul). A publikáláshoz csak a dékáni kinevezését követően tért vissza, illetve látott neki. Tudományos vezetője Leningrádban még volt, de Miskolcon már nem; amit tudományosan elért, azt főleg önerőből érte el. Baumli Péter (Kaptay György első generációs tanítványa) sem egyenes utat járt be, hiszen mielőtt végérvényesen kutatónak állt, megjárta az ipart, és egy másoddiplomát is szerzett. Czagány Máté egyelőre egyenes úton jár, és reméljük, hogy ez így is marad: Ő 2022 májusában szerzett PhD-oklevelet (tudományos vezetői: Baumli Péter és Kaptay György)

rációról generációra nő az adott életkorban elérhető cikkek száma, hivatkozások száma és h-index érték is.

BKL: Ez azt jelenti, hogy vannak olyan fiatal magyar kohászok, akik az Ön eredményeit is túlteljesítik?

KGy: A jelenlegi eredményemet tudtommal még senki soha nem teljesítette túl, de az adott életkorban elért eredményemet sokat túlteljesítették, sőt, túlteljesítik ma is. A példáért nem is kell túl messze mennem, elég, ha csak saját tanítványaimat említem meg. Az 1. ábrán egyértelműen látszik a kutatói generációváltás – az új generáció olyan életkorban ér el Scopusban jegyzett nemzetközi tudományos hivatkozásokat, amikor tudományos vezetői Scopusban jegyzett folyóiratokban még nem is publikáltak (sőt, a Scopus még nem is létezett). Az 1. ábráról nem csak az látszik, hogy az első 50 Scopus hivatkozást Czagány Máté 16 évvel korábban érte el nálam, hanem az is, hogy 28 évesen a hivatkozásai nagyobb meredekséggel nőnek, mint az enyémeik 44 éves koromban. Visszatérve az akadémikussághoz: már most is több olyan fiatal (értsd: negyvenes éveit elején járó) gépész-kohász-anyagmérnök kutató van hazánkban, aki a fent említett 20-as h-indexet már túlteljesítette, és abban reménykedik, hogy idővel az akadémikus pályatársak majd már a habitusát is megfelelően erőteljesre értékelik ahhoz, hogy őket is akadémikussá válasszák. Az időbeli korlátok viszont azt sejtetik, hogy ezt a megtiszteltetést nem mindenki éri el azok közül, akik ezt megérdemelnék.

BKL: Milyen időkorlátokat támaszt az MTA az akadémikussá váláshoz?

KGy: Az MTA egyik célja az, hogy ne öregedjünk el teljesen, így az egyik ajánlás úgy szól, hogy 60 éves életkor felett már ne válasszunk levelező tagot (én 56 évesen lettem levelező tag), de persze kivétel az ilyen szabályok alól mindig van. A másik íratlan szabály az, hogy az első jelölésre nem kevesebb, mint 5 évvel az MTA doktori megszerzése után kerülhet sor (ez nálam 8 év volt). A harmadik íratlan szabály az, hogy első jelölésre nem szoktak szinte senkit megválasztani (engem másodsorra választottak levelező taggá). Ha a fenti három szabályt komolyan vesszük, akkor annak van esélye levelező taggá válni, aki legkésőbb $60 - 5 - 3 = 53$ éves korában szerzi meg az MTA doktoriját. A jó hír az, hogy az elmúlt években

két kohász kollégánk is éppen 53 évesen lett MTA doktor. A kevésbé jó hír az, hogy az elmúlt években több gépész kolléga szerzett MTA doktorit 35 és 40 életkora között.

BKL: Ezek után már szinte mindent tudunk arról, hogy a formális mutatók alapján kinek van esélye kohómérnök társaink közül akadémikussá válni. Térjünk most át a lényegre: kohómérnökként mit tart ön a legfontosabbnak egy kutatónál?

KGy: Egy barátom kedvenc mondása szerint „a sas nem kapkod legyek után”. Egy kutatónál ez azt jelenti, hogy a konkrét műszaki rész kérdéseket feszegető cikkein túl (kvázi pihenésképpen) mindig foglalkozzon globális kérdésekkel is. A műszaki tudományok véleményem szerint az egymásra épülő emberi tudásnak csak az ötödik szintjén helyezkednek el, felhasználva a nyelvtudomány (1. szint), a matematika (2. szint), a mennyiségek és mértékegységek rendszere (3. szint) és a természettudományok (4. szint) „minden” felhalmozott tudását. Én három nyelven (magyar, angol, orosz) tudom egyértelműen kifejezni gondolataimat, elsajátítottam a matematika alapjait és elolvastam „szinte mindent” a 3. ... 5. szinteken, de a 3. szinttől kezdve már a magam útját jártam. Minden elődömet tisztelem, de tekintély alapon nem voltam hajlandó semmit sem elfogadni, se az SI mértékegységrendszer (hibás) 7 alapegységét, se a nanotudományok (hibás) Kelvin egyenletét stb.

BKL: Ha jól tudjuk, az SI mértékegységrendszert az Ön születésének évében, 1960-ban, nemzetközi konszenzussal fogadták el. Hogyan tudta ebben a kérdésben is a „maga útját járni”?

KGy: Igen, az SI-t valóban 1960-ban fogadták el és emiatt én sokáig nem tudtam hozzászólni a témához se a bölcsődében, se az óvodában, de még az általános iskolába se, ahol szolgálai megtanultam majdnem mindent abból, amit ott tanítottak nekünk. Ezen azonban egy kutatónak idővel túl kell lépnie, hiszen csak így válhat kritikus, önálló gondolkodóvá, aki már senkinek nem hisz el semmit, de tisztelet minden elötte megszólalót. Az SI hat alapmennyisége közé pl. 1960-ban valami tragikus félreértés okán bekerült a fényerősség is, ami egy tipikus képzett mértékegység, hiszen azt fejezi ki, milyen teljesítményű, adott (az ember által érzékelt) hullámhosszúságú fény jut adott szög alatt a szemünkbe. Ráadásul az SI-t 1974-ben „továbbfejlesztették” (szerintem inkább tovább rontották), mivel oda a kémikusok beerőltették az anyagmennyiséget, mint 7. alapmennyiséget. Ez nyilván nem alapmennyiség, mivel 1 mol anyagban definíció szerint annyi atom van, amennyi a tetszőlegesen kiválasztott Avogadro-számmal egyenlő. Ez utóbbit úgy választották ki, hogy az innen következő atomtömegek g/mol mértékegységben megegyezzenek a XIX. századtól mért mértékegység nélküli relatív atomtömegek értékeivel. A relatív atomtömegek pedig azzal kezdődnek, hogy a legkönnyebb atom (a hidrogén) relatív atomtömegét önkényesen 1-nek választották, így ma az 1 g/mol körüli érték. Ezen az sem változtat sokat, hogy a kémikusok csavartak egyet a történeten és ma hivatalosan 1 mol annyi anyagot jelent, amennyi atom van 12 grammnyi C-12-es izotópban. Fentiek miatt véleményem szerint a természetben nem 7, hanem 5 alapmennyiség és a hozzájuk tartozó 5 alapmértékegység van. Véleményem szerint se a fényerősség, se az anyagmennyiség nem alapmennyiségek [3].

BKL: Ezt értjük, de miért fontos ez, hiszen ettől még van értelme fényerősségről és anyagmennyiségről beszélni?

KGy: Természetesen van értelme fényerősségről és anyagmennyiségről beszélni, csak nem kell úgy csinálni, mintha azok alapmennyiségek lennének. A különbségtétel akkor fontos, ha valaki (mint pl. én), meg akarja érteni, hogy hogyan működik a természet, sőt, modellezni akarja a természet működését. Ekkor már nem mindegy, hogy a természet énszerintem 5-dimenziós (idő + hossz + tömeg + hőmérséklet + elektromos töltés), vagy az SI szerint 7-dimenziós (idő + hossz + tömeg + hőmérséklet + elektromos áram + fényerősség + anyagmennyiség). Gondoljunk bele: a képzett mennyiségek általában az alapmennyiségek n . hatványon vett szorzatai, ahol n általában – 3 és

+ 3 közötti egész szám. Tehát a 7-dimenziós természetben $7^7 = 823\,543$ képzett mennyiség definiálható, míg az általam 5-dimenziósnak tekintett természetben csak $5^7 = 78\,125$. Az 5-dimenziós természet sokkal egyszerűbben képzelhető el és modellezhető, mint a 7-dimenziós. Arról nem is beszélve, hogy évente 100 millió gyereket tévesztünk meg az iskolákban a 7-dimenziós természetről szóló történettel. Ezt az „új” gondolatot persze én próbáltam publikálni az SI hivatalos lapjában, de „természetesen” elutasították a cikkemet azzal, hogy amit írok (a nem 7, hanem 5 alapmennyiség), az „nyilvánvaló és mindenki által közismert”, és ők (a büszke SI) nyilvánvaló és közismert dolgokat nem publikálnak. Ebbe a válaszbba én átmenetileg belenyugodtam, és azóta is várom, hogy az SI mikor korrigálja saját rendszerét. Egy évtized elteltével úgy tűnik, hogy soha. Ehelyett inkább azóta is folyamatosan (és cikkem elutasítása óta már azt is tudjuk, hogy tudatosan) megtevesztik az egész emberiséget a 7 ál-alapmennyiséggel. Persze csak addig, amíg ez a vélemény meg nem jelenik a *BKL*-ben és ők el nem szégyellik magukat.

BKL: Ebből a történetből úgy tűnik, mintha a tudományos előrelépéshez nem lenne elegendő, hogy valaki valamit felismer, ha a tömeg az eredeti utat követi.

KGy: Ez valóban így van. A tudományos igazság nem eldönthető nemzetközi szavazással, hiszen ha így lenne, akkor a katolikus egyház vezetésével még mindig azt hinnénk, hogy a Föld van a világegyetem közép-pontjában és minden más (pl. a Nap) a Föld körül kering, és hogy az égi szférákat a Jóisten csak a mi éjszakai szórakoztatásunkra találta ki. Ezen szerencsére már túlléptünk, de mint minden emberi hitnek, szokásnak és fél-tudásnak, az emberi tudománynak is hatalmas a tehetetlensége, hiszen „a kutya ugat, a karaván meg halad”. Valójában főleg nem a hivatkozások hajkurászása miatt, hanem azért kell arra törekedni, hogy gondolatainkat a világ legjobb tudományos folyóirataiban publikáljuk, hogy nagyobb eséllyel tudjuk megváltoztatni a világ tudományos felfogását a saját új eredményeinkkel. Egyes bölcsek szerint egy profétának először meg kell halnia ahhoz, hogy tanításait a tömegek követni kezdjék, de ez az egyik olyan dolog, ami miatt én biztosan nem fogok meghalni. Az élet szép ... még akkor is, ha a világon az idén is megtanítottak (hibásan) a szorgos tanítók újabb 100 millió fiatalat a természet 7 nem létező alapmennyiségére.

BKL: Ha jól tudom, kedvenc tudományterületén, a kémiai termodinamikában is sikerült már felborzolni a nemzetközi kedélyeket egyes meglátásaival.

KGy: Valóban. Alapképzétségem szerint ugyan alumíniumelektrolízis szakirányon végzett kohómérnök vagyok, de már a Leningrádi Műszaki Egyetemen kiderült számomra, hogy a nagy hőmérsékletű kohászati

technológiák megértéséhez a legbiztosabb kapaszkodó a kémiai termodinamika. Ezért próbáltam ezt minél mélyebben megérteni és minél gyakrabban használni is. A 2000-es évek elején olvastam egy cikket arról, hogy a termodinamikai alapon kiszámolt fázisdiagramok (ez az ún. Calphad-módszer) bizonyos esetekben elvileg is hibás eredményekre vezetnek nagyobb hőmérsékleteken [4]. Ennek nagyon megörültem, mert ez volt az első eset, hogy a kémiai termodinamikában valami hibásnak bizonyult, és egy kutató számára az ellentmondás drága kincs: az ugyanis olyan tudáshiányra utal, amelyet potenciálisan új tudással lehet kitölteni, és ezzel továbbfejleszteni a tudományt. Ezért foglalkoztam egy kicsit a kérdéssel, és rájöttem, hogy az ellentmondást egy túlegyszerűsített modellrészlet okozza [5]. Az természetes, hogy egy kutató elsöre minden paramétert konstansnak tekint, majd ha ez a hipotézis (nagyon) nem működik, akkor feltételez egy lineáris összefüggést, és csak ha az sem működik (nagyon), akkor kezd el gondolkodni azon, hogy ennek mi lehet az oka. A szilárd és folyékony oldatok termodinamikai leírásában van egy „kölsönhatási energia” nevű mennyiség, amely a komponensek közötti vonzó-taszító kölsönhatás erősségét írja le, és a Calphad-ban ennek hőmérsékletfüggését általában egy lineáris függvénnyel írják le. Én első körben kimutattam, hogy ez a lineáris függvény a fő oka a fent említett ellentmondásos eredményeknek [5].

BKL: Egy probléma okának felismerése nyilván az első lépés a probléma megoldásának útján. De hogyan lehet innen előrelépni?

KGY: Való igaz, amíg nem ismerjük fel a probléma okát, addig csak a sötétben tapogatózunk, rosszabb esetben vagdalkozunk. Amikor például nemrég a Kedvesem azt kérte tőlem, hogy szüntessem meg „azt a kattogást az ágy alatt”, először Putyin után szabadon arra gondoltam, hogy ha szétbombázom a hálószo-bát, azzal biztos megszűnik az az idegesítő kattogás is, de aztán zsigeri ösztönömön erőt vett kohómérnöki énem: részletekbe menő kutatómunkával azonosítottam a kattogó gyerekjátékot, majd egy könnyed mozdulattal megnyomtam rajta a „kikapcs” gombot és learattam a „hőstetemért” járó összes elismerést, mivel végre megszűnt „az a kattogás”. Visszatérve a tudományra, ha egy új függvényt keresünk a rosszul működő lineáris helyett, akkor az én első kérdésem az, hogy léteznek-e olyan peremfeltételek, amelyeknek a kölsönhatási energia hőmérsékletfüggése meg kell, hogy feleljen? Mert ha igen, akkor meg kell keresni azt a legegyszerűbb függvényt, amely ezeknek megfelel. $T = 0$ K-en ez a peremfeltétel egyszerű: a kölsönhatási energia véges értékkel kell, hogy bírjon. A lineáris függvény ennek a feltételnek megfelelt. A gond nyilván nem itt van, hiszen az ellentmondásos eredmények nagy hőmérsékleten jelentkeztek. Ezért

szükség volt egy másik peremfeltételre végtelen hőmérsékleten: nem azért, mintha szilárd és folyékony oldatok léteznének végtelen hőmérsékleten, hanem azért, mert ha létezik ilyen természettörvény, akkor az oldatok már közepes hőmérsékleten is kell, hogy „hallgassanak rá”. Ezt a peremfeltételt könnyű megtalálni akkor, ha tudatosan keressük, és ha tudjuk, hogy a fázisok a hőmérséklet növelésével tágulnak, ezért az atomok közötti távolság növekszik, és ha azt is tudjuk, hogy mindenfajta kölsönhatás (elektromos, mágneses, gravitációs, szexuális stb.) gyengül a kölsönhatásban részt vevő testek távolodásával. Határesetben (végtelen hőmérsékleten) tehát az oldat komponenseinek vonzását/taszítását leíró kölsönhatási energiának a nullához kell tartania. Más szóval, az alacsony és közepes hőmérsékleteken reális oldatként viselkedő oldatok a hőmérséklet növelésével az ideális oldat állapot felé tartanak.

BKL: Ez nagyon meggyőzően hangzik, de hogyan lehet ezt bizonyítani?

KGY: A szó szerinti bizonyítás nem lehetséges, mivel a végtelen hőmérséklet nem érhető el, ott mérések nem végezhetőek, ráadásul ott se szilárd, se folyékony oldat nem létezhet. Szerencsére azonban egyes fémek rendszerek kellően nagy hőmérséklet-intervallumban stabilak szilárd-folyékony állapotban ahhoz, hogy moláris többlet Gibbs-energiájuk és moláris oldáshőjük mérésén keresztül információt szerezzünk a hőmérséklet növelésével jellemző trendekről. Nagyszámú irodalmi forrás analízise után kiderült számomra, hogy szinte minden mért rendszerre igaz két empirikus szabály: egyrészt az oldatok moláris oldáshője és moláris többlet entrópiája különböző előjelű, másrészt az oldatok moláris oldáshője és moláris többlet-hőkapacitása azonos előjelű. Ez – ha nem is szó szerinti bizonyíték – arra utal, hogy a moláris oldáshő, a moláris többletentrópia és ezért a moláris többlet-Gibbs-energia is a nulla felé tart a hőmérséklet növelésével, ami a fenti hipotézis kísérleti megerősítése. Azokat a „szabályokat”, amelyek általánosan érvényesek a kémiai termodinamikában, de kísérleti bizonyításuk nem lehetséges, a „termodinamika főtörvényeinek” nevezzük. Emiatt én elkereszteltem a fenti szabályt („a reális oldatok a hőmérséklet növelésével az ideális oldatállapot felé tartanak”) a termodinamika 4. főtörvényének [6].

BKL: Mit szoltak mindehhez a pályatársak?

KGY: Való igaz, okoztam ezzel némi értetlenséget kortársaim körében 2010-ben egy Japánban rendezett Calphad-konferencián, ahol a 4. főtörvényt először ismerttettem. A kollégák ugyanis felhánytorgatták, hogy „hogyan jövök én ehhez” ahhoz képest, hogy Nernst 1906-ban jutott el a 3. főtörvényig, miszerint „a tökéletes és egykomponensű kristályok entrópiája

nulla”. Véleményem szerint azonban a fenti állítás vagy hibás, vagy főtörvény. És arról nem én tehetek, hogy 1906 és 2010 között azt nem ismerte fel a Tisztelt Jelenlévők közül senki. Ennek persze az lett a következménye, hogy a cikket 2 éven át 10 folyóiratból utasították el, míg végül a 11.-ben megjelent. Azóta az állítást a nemzetközi világirodalomban nem kritizálták, bár az is igaz, hogy a „4. főtörvény” elnevezést sem használják még elterjedten. Viszont több cikk jelent meg arról, miszerint ugyanez az állítás nemcsak a fémekre, hanem a különböző sókra is igaz [7, 8], tovább erősítve annak „főtörvény” jellegét. Ezen elvi előkészületek után már nem volt nehéz azt kimutatni, hogy a fent említett lineáris összefüggés ellentmond a 4. főtételnek. Sőt, publikáltam azt az exponenciális hőmérsékletfüggést is [5], amely mindkét peremfeltételnek és minden ismert mérésorozatnak megfelel, és nem vezet ellentmondáshoz a fázisdiagramok számításánál sem. Ez utóbbi cikkre 100 feletti független hivatkozásom van. Ezek többsége kínai vagy fejlődő országokból származik, negatív hivatkozás főleg német kutatóktól érkezett [9], de ők nyilvánvalóan és tudatosan félremagyarázták az állításaimat (az ezt feltáró 2017-es cikkemre [10] az elmúlt 5 évben nem érkezett cáfolat). Ezzel a dolog kvázi nyugvópont-ra került, leszámítva persze azt, hogy a világ vezető Calphad-kutatói többségükben még mindig a hibás lineáris függvényt használják („nehogy már a George függvényét használjuk” felkiáltással), erősen rontva ezzel saját publikációik hitelességét. Nekem meghalnom azonban ezért sem érdemes.

BKL: Ha jól tudjuk, nemcsak a térfogati fázisok, hanem a nanofázisok termodinamikáját is megreformálta, de ma még ez az állítása sem teljesen elfogadott.

KGy: A határfelületi jelenségekkel (= „a nedvesítés tudományával”) Miskolcra érkezésemkor kezdtem foglalkozni, Roosz András és Bárczy Pál professzorok biztatására, akik jól látták, hogy a mikrogravitációs térben zajló folyamatok megértéséhez szükség van erre a tudásra is [11]. Amikor az űranyagtudomány mellé presztízisében fokozatosan felzárkózott (sőt, be is előzött) a nanoanyag-tudomány, akkor örömmel ismertem fel azt, hogy az addigra általam már nemzetközi szinten művelt határfelületi tudományok [12] talán leginkább a nanoanyagok megértéséhez szükségesek – így lettem kohómérnökből nanoanyag-kutató. Nanoanyagnak definíció szerint azt nevezzük (helyesebben azt nevezem [13]), amelyik tartalmaz legalább egy nanofázist. Nanofázisnak pedig azokat a fázisokat nevezem, melyek legalább egyik dimenziója kisebb 100 nm-nél. A nanofázisok attól különlegesebbek, hogy a bennük lévő atomok szignifikáns hányada van a határfelületükön, ahol az összes tulajdonságuk különbözik a térfogati tulajdonságuktól, ezért a nanofázisok (és az azokat tartalmazó nanoanyagok) összes

tulajdonsága méretfüggő (szemben a makroanyagokkal, melyek minden tulajdonsága méretfüggetlen). Ahogy a makroanyagok tervezésének és a bennük zajló folyamatok értelmezésének egyik alappillére az egyensúlyi fázisdiagramok, úgy logikusan a nanoanyagok tervezését is illene a nano-fázisdiagramoktól kezdeni. Illene, ha lennének ilyenek, illetve, ha az irodalomban publikált fázisdiagramok korrektek lennének, de többségükben véleményem szerint nem azok [14]. A nano-fázisdiagramokon egyébként méretfüggő egyensúlyi vonalakat képzelünk el, melyek a nanofázis méretének csökkenésével egyre inkább eltérnek a normál fázisdiagramok egyensúlyi vonalaitól. Legalábbis így képzelem az egyszerű kutató. Én azonban azt is felismertem, hogy ha a tulajdonságok a nanotartományban méretfüggőek, akkor a nanotartományban a méret egy új állapotjelölő (kiegészítve a szokásos hőmérséklet – nyomás – átlagos összetétel állapotjelölőket) és emiatt a Gibbs-féle fázisszabályt is korrigálni kell a nanoanyagokra [15]. Ha azonban azt korrigáljuk, akkor minden, amit a normál fázisdiagramokról a klasszikus fázisszabály ismeretében eddig tudtunk, megváltozik. Tehát a nano-fázisdiagramok nemcsak egyszerű kiterjesztései a normál fázisdiagramoknak, hanem minőségileg kell, hogy különbözzenek azoktól. Közismert például, hogy egy egykomponensű fém egyensúlyi olvadási és kristályosodási hőmérsékletei megegyeznek, azaz különálló szolidusz és likvidusz vonalak csak két- és többkomponensű rendszerekben értelmezhetőek. Ezzel szemben Végh Ádám doktoranduszommal kimutattuk, hogy a nanoméretű egykomponensű fémeknek is van különálló szolidusza és likvidusza [16] és ez a korrigált fázisszabály miatt van így.

BKL: Hogyan kapcsolódik mindez a jól ismert Kelvin-egyenlethez?

KGy: Kelvin 1871-ben publikált egy cikket, amelyben azt állította a Laplace-egyenletre hivatkozva, hogy a nanofázisok egyensúlyi tulajdonságai azok nagy görbülete miatt különböznek a makrofázisok egyensúlyi tulajdonságaitól (lásd [17]). Ennek az elvnek a kiterjesztése egyébként az a „Gibbs–Thomson-egyenlet” is (ahol William Thomson = Sir Kelvin), amelyre a fémtanban hivatkozni szoktak, amikor a szemcsedurvulást magyarázzák. A Kelvin-egyenletet és annak kiterjesztéseit először a kémia, majd onnan a biológia és a kohászat (anyagtudomány) is átvette, és ezekben a tudományágakban a mai napig a Kelvin-egyenlet határozza meg a nanoegyensúlyokról szóló gondolkodást. Figyelmeztető jel lehetett volna (ha valaki olvasott volna fizikai folyóiratokat), hogy a fizikában a Kelvin-egyenletet senki nem használja, de a dolog ennyire nem egyszerű, mert a fizika az anyagmenyiséget sem használja, következésképpen a moláris Gibbs-energiát sem, így a nanofizika összehasonlítá-

sa a nanokémiával, vagy a nano-Calphad-dal bonyolultabb, mint azt elsőre gondolnánk. Véleményem szerint a Kelvin-egyenlet és annak összes következménye (pl. a Gibbs–Thomson-egyenlet is) hibás. Ehelyett én Gibbs termodinamikájának kiterjesztéseként bemutattam, hogy a nanofázisok egyensúlyi tulajdonságai valójában azok fajlagos felületétől (és nem azok görbületétől) függenek. Egy gömb esetében ugyan mind a görbület, mind a fajlagos felület fordítottan arányos (bár különböző koefficiensekkel) a gömb sugarával, de egy kocka esetében már nem ez a helyzet: a nanokockáknak ugyan nagy a fajlagos felülete, de zérus a görbülete. Innen származik a Kelvin-egyenlet tarthatatlanságát bemutató egyik legegyszerűbb gondolat kísérlet, amely a következő kérdésre keresi a választ: „vajon milyen alakúak az egyéb fázisoktól független és az erőterektől mentes közegben lévő egyensúlyi nanocseppek”? A logikus (és helyes) válasz: gömb. Igen ám, de Kelvin szerint a nagy görbületű nanogömbnek nagyobb a moláris Gibbs-energiája, mint a makrogömbnek, szemben a nanokockával, amelynek zérus görbülete miatt azonos a moláris Gibbs-energiája a makrokockáéval, azaz a nanokockának kisebb a moláris Gibbs-energiája az azonos térfogatú nanogömbhöz képest, tehát a Kelvin-egyenlet szerint egy csepp egyensúlyi alakja a nanokocka. Ha azonban az én elméletem szerint vizsgálódunk, akkor könnyű belátni, hogy egy nanokockának a sarkai miatt nagyobb a fajlagos felülete, mint a vele azonos térfogatú nanogömbnek, ezért a nanokockának pozitívabb lesz a moláris Gibbs-energiája is a nanogömbhöz képest, tehát a nanocseppek egyensúlyban nanogömb alakúak. A Kelvin-egyenletet lecserélő elméletemre érkező pozitív hivatkozások száma ugyan fokozatosan nő, és negatív hivatkozás erre még nem érkezett, de az én véleményem ma még erőteljes kisebbségben van azokhoz képest, akik még mindig Kelvin-hívők, talán azért, mert anno ők így tanulták az egyetemen, vagy talán még nem olvasták az erről szóló cikkeimet. Az idő talán itt is mindent meg fog oldani, de meghalni ezért sem érdemes.

BKL: Van-e legalább egy olyan elmélete, amelyet a világirodalomban már ma is széles körben elfogadnak?

KGy: Igen, több is van ilyen. A szilárd szemcsékkel stabilizált emulziók stabilitására vonatkozó elméletemre [18] 300 feletti, míg a szilárd szemcsékkel stabilizált habok stabilitására vonatkozó elméletemre [19] 200 feletti független hivatkozás érkezett (a két elmélet rokon egymással). A hivatkozó cikkeket olvasva lassan az az érzésem, hogy a szerzők már rég nem olvassák az eredeti cikkeimet, hanem egymás cikkeiből másolják a hivatkozásokat, de úgy tűnik, hogy ma már nem nagyon van olyan kolloidkémikus, aki ne az én elméletemmel értelmezné ezeket a je-

lenségeket. Ez az elméletem egyébként az optimális nedvesítés esetén fellépő határfelületi kapilláris erővel magyarázza a nagy fajlagos belső felülettel rendelkező gáz/nano-szilárd/folyadék, vagy folyadék/nano-szilárd/folyadék rendszerek stabilitását. Ehhez képest az a forradalmi elméletem, amelyben az elmúlt 220 évben felfedezett összes (8) határfelületi erőt egy közös elméletbe foglalom, általánosítom, és még a határfelületi erők nevezékτανát is megadom, mindössze néhány tucat független hivatkozást ért el [20–21] (magyar nyelven lásd: [22–26]). Tanulság: nem feltétlenül a legjobb és legáltalánosabb érvényű cikkeink a legsikeresebbek, mivel azok felhasználásához az olvasónak/kutatótársnak gondolkodnia is kell. Ennél azért lettek sikeresebbek a fenti cikkek, mert részletesen elmagyarázom bennük az egyik határfelületi erő működését egy konkrét feladat során, no meg azért, mert az adott kérdésre előttem nem volt értelmes válasz, és mert ez a válasz a világon sokakat érdekelt. Az persze más kérdés, hogy a szilárd szemcsékkel stabilizált „Pickering”-emulziók 1902-es felfedezése után miért kellett az én magyarázatomra 100+ évet várni, dacára annak, hogy a határfelületi kapilláris erő (azaz magyarázatom központi eleme) közel 200 éve ismert? Talán ugyanazért, amiért az átfogó elméleti cikkem sokkal kevesebb hivatkozást kapott: az emberek, sőt (lásd csodát) a kutatók is gondolkodásukban lusták, illetve többségükben alkalmazatlanok az elvont, de egyszerű gondolkodásra. Mindenestre aki az én óráimra jár, ez az, amit a leginkább elleshet tőlem (ez most a reklám helye: a Miskolci Egyetem kapui mindenki előtt nyitva állnak, avagy jobb később, mint soha).

BKL: Ugyan minden pofonegyszerű, amit professzor úr állít, mégis kezdünk zsibbadni. Levezetéképpen kérem, magyarázza el, hogy miért akarja lecserélni még a tudománytörténetben széles körben elfogadott h-indexet is?

KGy: Valóban, minden pofonegyszerű, ha valaki azt értelmesen elmagyarázza (Isten mentsen azoktól a professzor kollégáktól, akik nem tudnak mindent értelmesen elmagyarázni, reméljük, hogy ilyen nem is létezik). A tudománytörténet örökzöld kérdése az, hogy vajon X, vagy Y „nagyobb tudós”-e, vajon X-nek, vagy Y-nak kell-e professzori címet és milliárdos állami projekteket adni, arról nem is beszélve, hogy ki a világ legjobb 100 000 kutatója? A klasszikus válasz erre az, hogy el kell olvasni X-nek és Y-nak az összes írását, az ott fellelhető idézett cikkeikkel és az érkezett hivatkozásokkal együtt, és ha valaki ezt megteszi (és meg is érti, amit olvas), akkor a válasz egyértelmű lesz. Én nem akarok pesszimizistának tűnni, de egészen biztos vagyok abban, hogy nincs egyetlen élő ember sem (ideértve saját lelkes tanítványaimat is), akik elolvasták volna minden cikkemet, mindegyik előéleté-

vel és utóéletével együtt. És azt is tudom – bár sok tudományt olvasok – hogy én sem tettem meg ezt még senki életművével. A fenti recept tehát jól hangzik, de kivitelezhetetlen. Ezért lássuk be, szükségünk van egy „mankóra” az egyéni tudományos kiválóság megítélésében, egy olyan mérőszámra, amelyet számítógéppel 10–100 millió kutatóra is ki lehet számolni, majd az eredményül kapott mérőszámokat nagyság szerint sorba lehet rendezni: ezt az eljárást hívják tudomány-metriának.

BKL. Ha jól értem, a tudománymetria nem természet-tudomány és nem mérnöki tudomány, hanem humán tudomány, ezért vajon mennyire jól definiált a tudománymetriában az, hogy mit mérünk és azt mivel szorozzuk össze?

KGy. Igen, sajnos jól látja: az, hogy a tudománymetria mit mér, sajnos teljes mértékben esetleges, és így esetleges a mérés eredménye is. Ezért is gondoltam úgy, hogy ideje, hogy egy egyszerűen gondolkodó mérnök is hozzászóljon a témához. Kezdetben a kutatók azt gondolták, hogy az a legjobb kutató, aki a legtöbbet publikálja (bocs: a legtöbb mit? könyvet? cikket? oldalszámot? leütésszámot?). Aztán rájöttek, hogy talán az is fontos, hogy ezen írásoknak milyen a visszhangjuk a tudományos irodalomban, azaz mennyi hivatkozás érkezett a szerző műveire? Ez a két tábor (a legtöbbcikkhívők és a legtöbbhivatkozás-hívők) addig vitatkoztak egymással parttalanul a „melyik a fontosabb, a tyúk vagy a tojás?” problémán, amíg egy amerikai-mexikói fizikus (Hirsch) 2005-ben publikált egy komplex mérőszámot, a saját magáról elnevezett h-indexet, melynek definíciója: „egy egyén h-indexe azon cikkeinek maximális száma, melyek mindegyike legalább ugyanannyi hivatkozást kapott” [27]. Tehát az a tény, hogy nekem 2021-ben 30 volt a h-indexem azt jelenti, hogy volt 30 olyan cikkem, melyek mindegyikére legalább 30–30 hivatkozást kaptam, de senkit nem érdekel (Hirschet biztosan nem) az a közel 200 további cikkem, amelyre 30-nál kevesebb hivatkozást kaptam, és azok a hivatkozások sem, melyek a legjobb 30 cikkem többségére érkeztek a 30-as érték felett. Ez a h-index felkavarta az állóvizet, 17 év alatt az ezt ismertető cikk 12 000 feletti hivatkozást kapott, így ez lett Hirsch legsikeresebb cikke. Ennek fő oka, hogy mindenki úgy érezte (egy darabig), hogy végre itt a „végső” megoldás, megoldódott végre a „tyúk-tojás probléma”, ráadásul úgy, hogy a kakasról sem feledkezett meg senki.

BKL: Engem ezzel teljesen meggyőzött; ezek után miért kellett még ebbe is belekötnie?

KGy: Azóta sajnos kiderült a h-index néhány kellemetlen tulajdonsága. Az egyik ilyen, hogy Hirsch „megfeledkezett” a társszerzők hatásáról. Ennek következtében az is 1-nek tekint egy hivatkozást, aki

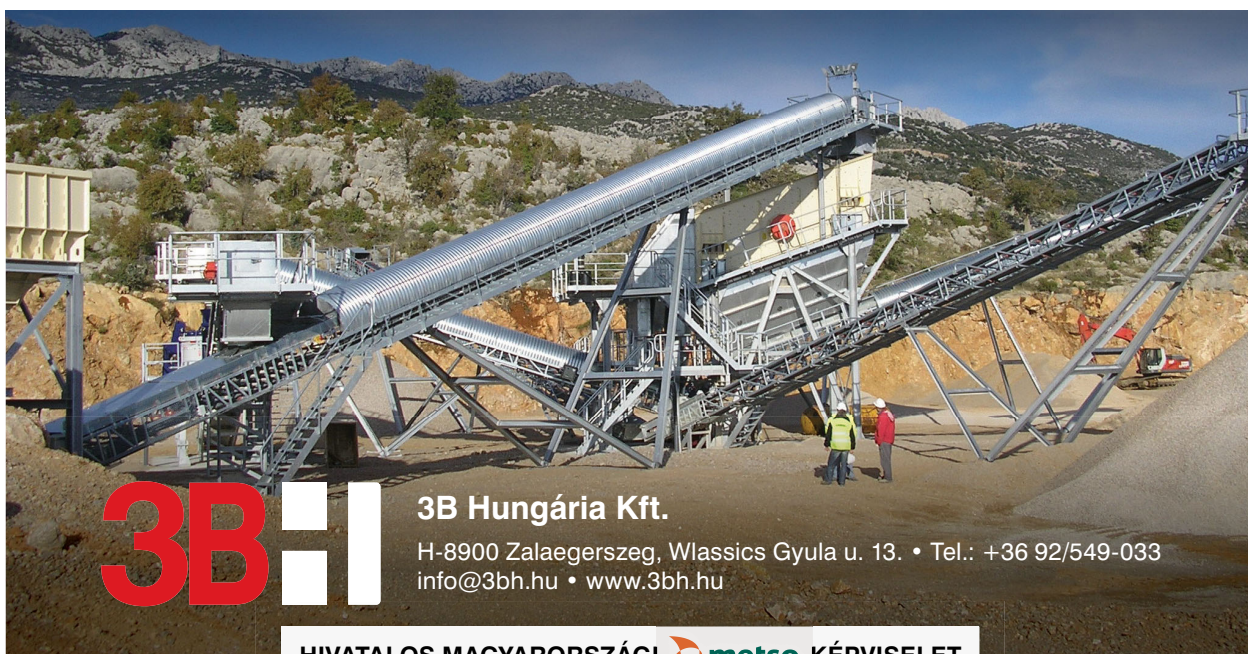
egyedül írta a cikkét, meg az is, aki sokezered magával. Így talán nem csoda, hogy a h-index alapján azok tűnnek a legkiválóbb kutatóknak, akik sok ezer cikket írtak sok ezer társszerzővel, bár az talán véletlen, hogy ez főleg a részecskefizikára jellemző, és véletlenül Hirsch is fizikus. Mi azonban nem a világ „legnagyobb kooperálóját”, hanem „legnagyobb tudósát” keressük. A másik gond az, hogy Hirsch „megfeledkezett” arról, hogy illene különbséget tenni az önhivatkozások és a független hivatkozások között. Független az a hivatkozás, amikor a hivatkozó és hivatkozott cikkek szerzői között nincs átfedés. Az ilyen típusú hivatkozás az, amelyről hihető, hogy azért született, mert a hivatkozott cikk valami fontosat ért el, és az nem csak a szerzők önreklámja. Az önhivatkozás persze nem bűn, de nem is érdem: ha valaki sokat publikál ugyanarról, idővel egyre több lesz az önhivatkozása, de ettől nem lesz feltétlenül „nagy tudós” is. Mi ugyanis nem a világ „legserényebb önhivatkozóját” keressük, hanem a „legnagyobb tudósát”. A harmadik probléma a Hirsch-indexszel az, hogy statisztikailag csak a hivatkozások negyedéből számolja a h-indexet, ráadásul a h-indexben figyelembe vett hivatkozások számának és az összhivatkozások számának a hányadosa egyénről egyénre erősen változik. A hivatkozások cikkenkénti eloszlása tehát erősen befolyásolja a h-index értékét, de ennek köze sincs a tudományos kiválósághoz. Mi ugyanis nem a világ „legszerencésebb hivatkozásmegoszlással” rendelkező, hanem a „legkiválóbb” tudósát keressük. Miután fent meghatároztuk a probléma gyökerét, már könnyű jobb indexet alkotni: osszunk el az egyén műveire érkezett minden független hivatkozást a hivatkozott mű szerzőinek számával, majd adjuk össze az így kapott törteket. A végeredmény alapján sorba állíthatjuk a kutatókat, és ezzel a módszerrel sokkal nagyobb valószínűséggel találjuk meg a világ „legkiválóbb tudósát”, mintha őt a h-index alapján keresnénk. Ha a fenti összegnek vesszük a négyzetgyökét, akkor ráadásul egy olyan „hh-indexet” (= „Hungarian h-index”-et) kapunk, amelynek értéke hasonlít a h-indexéhez [28]. Ha ezzel a hh-indexszel értékeljük a kutatókat, akkor nem csupa részecskefizikusból fog állni a lista eleje, hanem közel azonos valószínűséggel kerülnek oda bármely tudományág képviselői. Ezért talán nem csoda, hogy a hh-index nem a részecskefizikusok kedvence. De én várhatóan ezt is túl fogom élni (((-:

BKL: Köszönöm a válaszokat.

KGy: Köszönöm a jó kérdéseket és a Tisztelt Olvasók figyelmét.

IRODALOM

- [1] Sasvári P., Kaptay Gy. Anyagvizsgálók Lapja, 2019, II. szám, 28–36. o.
- [2] Kaptay Gy. Anyagvizsgálók Lapja, 2021, II. szám, 13–34. o.
- [3] Kaptay Gy. Magyar Tudomány, 2012, 7. szám, 856–860 o.
- [4] S.-L. Chen, S. Daniel, F. Zhang, Y. A. Chang, W. A. Oates, R. Schmid-Fetzer, J. Phase Equilibria 22 (2001) 373–378.
- [5] G. Kaptay. Calphad, 28 (2004) 115–124.
- [6] G. Kaptay. Metall Mater Trans A, 43A (2012) 531–543.
- [7] Y. S. Cohen, Y. Gabay, Y. Cohen. Electrochem Lett. 4 (2015) H1–H4.
- [8] A. A. Redkin, Y. P. Zaikov, I. V. Korzun, O. G. Reznitskikh, T. V. Yaroslavtseva, S.O. Kumkov. J. Phys. Chem. B 119 (2015) 509–512.
- [9] R. Schmid-Fetzer et al. Calphad 31 (2007) 38–52.
- [10] G. Kaptay. Calphad 56 (2017) 169–184.
- [11] A. Roósz, G. Kaptay, I. Máté, I. Teleszky, J. Sólyom, L. L. Regel, A. M. Turchaninov. Microgravity Sci. Technol. 4 (1991) 245–253.
- [12] G. Kaptay. Adv Colloid Interface Sci 256 (2018) 163–192.
- [13] G. Kaptay. J Mater Eng Performance, 27 (2018), 5023–5029.
- [14] G. Kaptay. J Mater Sci, 47 (2012) 8320–8335.
- [15] G. Kaptay. J Nanosci Nanotechnol 10 (2010) 8164–8170.
- [16] A. Vegh, G. Kaptay. Calphad 63 (2018) 37–50.
- [17] Kaptay Gy. Magyar Kémiai Folyóirat 124 (2018) 177–182.
- [18] G. Kaptay. Colloids Surfaces A, 282–283 (2006) 387–401.
- [19] G. Kaptay. Colloid Surfaces A, 230 (2004) 67–80.
- [20] G. Kaptay. J. Mater. Sci, 40 (2005) 2125–2131.
- [21] G. Kaptay. J Disp Sci Technol, 33 (2012) 130–140.
- [22] Kaptay Gy. BKL Kohászat, 2009, 142/3, 39–46 o. és 142/5, 43. o.
- [23] Kaptay Gy. BKL Kohászat, 2009, 142/6, 37–46 o.
- [24] Kaptay Gy. BKL Kohászat, 2010, 143/3, pp. 33–38 o.
- [25] Kaptay Gy. BKL Kohászat, 2010, 143/5, 45–54. o.
- [26] Kaptay Gy. BKL Kohászat, 2011, 144/5, 9–13 o.
- [27] J. E. Hirsch. Nat Acad Sci 202 (2005) 16569–16572.
- [28] G. Kaptay. Heliyon 6 (2020) e04415.



3B | **3B Hungária Kft.**
 H-8900 Zalaegerszeg, Wlassics Gyula u. 13. • Tel.: +36 92/549-033
 info@3bh.hu • www.3bh.hu

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI **metso** KÉPVISELET

