

Braun Tibor

# Égbeszökő grafénkutatás

A tudományos kutatás fontosságára, jelentőségére, illetve a tudomány fejlődésére a múltban nem ritkán használtak szuperlatívuszokat. Talán a jelen címben szereplő „égbeszökő” jelző sem annyira kifejező, mint az erre használt angol „sky-rocketing”. Mindez ebben az írásban az alig tíz éve felfedezett grafénra, illetve grafénkutatásra is vonatkozik és tudományos világszenzációként kezelhető, illetve kezelendő.

Jelen szerző a közelmúltban többször tolmácsolta azt az izgalmat, amit a szénnanoszerkezetek kutatása a grafénig vezető úton az utóbbi évtizedekben világszerte előidézett [1–3].

A fókuszpontban a grafén áll, aminek a felfedezői a Nobel-díjtól kezdődően (2010) minden elképzelhető díjat megkaptak és aminek fejlődési és átfogó alkalmazási lehetőségeit maguk a felfedezők többször, legutóbb 2012 októberében is vázolták [4]. De mások sem voltak szűkszavúak e téren [5–8].

A fentiek után a lelkesedés fokozása, illetőleg fokozhatósága nehezen lett volna elképzelhető. Ennek ellenére megtörtént és újfent az angol nyelvből kell elővegyünk

egy jelzőt, amire magyarul nem találunk megfelelőt. A „big thinking”-re gondolunk, és amit e mögött megjeleníteni látunk, a „big money”-ra. Ez utóbbit már magyarul is „nagy pénz”-ként tudunk kifejezni, és az **1. ábrán** a nanotechnológiai kutatás anyagi támogatásának példáján már látható [9].

A felfedezések jelentőségének, illetve szakterületük időbeni jellemzésére eddig általában az elismert folyóiratokban publikált közlemények számát használták indikátorként. Kiegészítésként az alapkutatási eredmények műszaki-technológiai alkalmazására a szabadalmak időbeni változását tekintettük mérvadónak. Ezt tettük mi is [1–3].

A tudományos kutatásban a pénzt, illetve az anyagi ráfordítást, támogatást általában nem nyilvános, ellenőrizhető volta miatt csak szórmentén, vagy nagyon óvatosan használták indikátornak, és a tudományos és más sajtóban leginkább úgy került szóba, hogy a kutatók keveselltek azt a támogatást, amit országuk, intézményük stb. kutatásaikra rendelkezésükre bocsát.

2013. január 28-án robbant a bomba. *Neelie Kroes*, az Európai Bizottság holland elnökhelyettese nyilvánossá tette minden

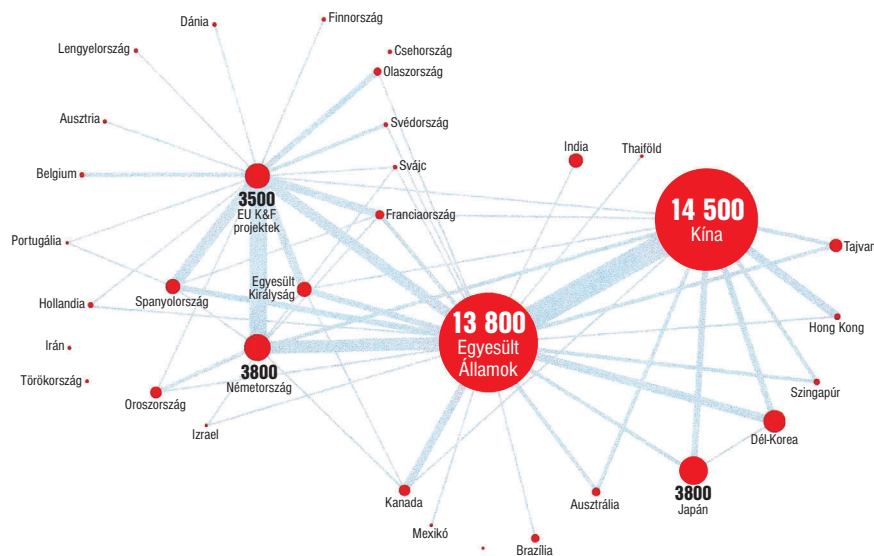
idők legnagyobb európai kutatási támogatásának tekinthető összegét, azaz egyenként 1,3 milliárd eurót két kiemelt kutatási projektre.

Az átfogó nemzetközi pályázatot [10] az EU „*Future and Emerging Technologies Flagship Initiatives (FET)*” néven hozta létre, és a szűrések után fennmaradt hat „zászlóshajó” közül emelte ki az említett megatámogatásra a *grafénkutatást* és az *emberi agy kutatását*. Talán érdemes itt megemlíteni azt a négy, szintén kiemelt, de lemaradt projektet, amely valószínűleg érthetően ellenérzéseket is kiváltott, főleg a tematikailag érdekelt körökben. Ezek a következők voltak: a társadalom modellezésére szolgáló, FutrICT elnevezésű kutatás; egy számítógépes „virtuális beteg” program terápiák tesztelésére; egy új generációs felhasználóbarát házi robot; valamint egy „védő-őrző angyal” chip személyek és környezetek felügyeletére és figyelmeztetésére. Az agykutatási kiemelt projekttel itt nem foglalkozunk.

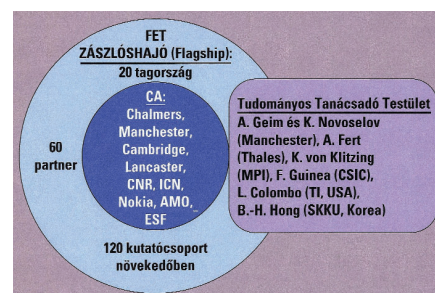
Az örömdák mellett azért szóvá kell tenni azt is, hogy a két kiemelt projekt támogatási összegének a kifizetésére vonatkozó, bizonyos mértékű kételkedés még nem teljesen oszlott el [10].

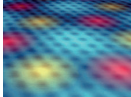
A grafénkutatási projektet több mint száz kutatócsoport részvételével a göteborgi Chalmers Műszaki Egyetemen dolgozó *Jari Kinaret* vezeti [11]. Tervezett összetételét, tudományos tanácsadó testületét a **2. ábra** mutatja. Működése kezdetkor a projekt kutatási konzorciummá alakult.

**1. ábra.** A nanotechnológiai kutatások határokat átszelő keresztfinanszírozása a folyóiratcikkek alapján számolva [10]. A vörös körök mérete az összes támogatott folyóiratcikk számával arányos. A kék vonalak arányosak az országokból közösen támogatott folyóiratcikkek számával



**2. ábra.** A FET grafénkonzorcium összetétele [11]





| Ország | Vállalkozás                              | Székhely              | Egyetemi hovatartozás<br>illetve együttműködés | Website-oldalak<br>száma |
|--------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| USA    | First Nano                               | Long Island, NY       | –                                              | 139                      |
|        | Vorbeck                                  | Jessup, MD            | Princeton University                           | 48                       |
|        | Cheap Tubes                              | Vermont               | –                                              | 39                       |
|        | Nanotek Instruments                      | Dayton, OH            | Wright State University                        | 32                       |
|        | NanoIntegrís                             | Skokie, IL            | Northwestern University                        | 31                       |
|        | Angstrom Materials (a Nanotek spin-off)  | Dayton, OH            | Wright State University                        | 30                       |
|        | XG Sciences                              | Lansing, MI           | Michigan State University                      | 15                       |
|        | Graphene Laboratories                    | Reading, MA           | Columbia University                            | 14                       |
|        | Vulvox                                   | Long Island, NY       | –                                              | 13                       |
|        | Graphene Works                           | Atlanta, GA           | Georgia Institute of Technology                | 10                       |
|        | Xolve (formerly Graphene Solutions)      | Platteville, WI       | University of Wisconsin                        | 7                        |
|        | Graphene Energy                          | Austin, TX            | University of Texas                            | 5                        |
| UK     | Graphene Research                        | Manchester            | University of Manchester                       | 69                       |
|        | Graphene Industries                      | Manchester            | University of Manchester                       | 7                        |
|        | Durham Graphene Science                  | Durham                | Durham University                              | 8                        |
| Kína   | Nano Technology Company                  | Nanjing, Jiangsu      | Nanjing University                             | 104                      |
|        | XP Nano Material Company                 | Xiamen, Fujian        | –                                              | 71                       |
|        | Sinocarbon Technology Materials          | Taiyuan, Shanxi       | Chinese Academy of Sciences                    | 59                       |
|        | Xiamen Knano Graphene Technology Company | Xiamen, Fujian        | Huaqiao University                             | 53                       |
|        | Nano-Brother Laboratory                  | Haerbin, Heilongjiang | Harbin Institute of Technology                 | 29                       |

1. táblázat. A grafénkutatás értékesítésére alakult kis- és közepes vállalkozások az Egyesült Államokban, Nagy-Britanniában és Kínában [12]

A FET-projekt víziója szerint:

- A grafén szászlóshajó (FET) projekt törekvése olyan széles körű, fókuszált, interdiszplináris európai kutatási közösség létrehozása, amely a grafén egyedülálló tulajdonságaira alapozott radikális technológiai elmozdulást kíván az információs és kommunikációs technológiában.
- A grafénban megvan az a potenciális erő, amely rövid és hosszú távon is mély hatással lehet az információs és kommunikációs technológiára (ICT). A grafén integrálása a szilíciumalapú elektronikával, és a szilíciumot helyettesítve bizonyos alkalmazásokban, nemcsak jelentős teljesítményjavulást tesz lehetővé, hanem még inkább elősegíti az új ICT-alkalmazásokat más területeken is.
- A grafénkutatás példázza azt az átfogó nanotechnológiát, amiben a alap-kutatási felfedezések gyorsan eljuttathatók az ipari alkalmazásokig és gyártási termékekig.

A grafénprojekt részleteit a kísérleti fázisban alakítják ki, és legalább a következő alterületeket veszik sorra: nagy sebességű elektronika (nagy teljesítményű alkalmazások), átlátszó és flexibilis elektronika (fogyasztói elektronika), fotonika és plazmonika, spintronika, grafénalapú mechanikai alkatrészek és rendszerek, grafénalapú könnyű kompozitok, graféntermelés és -funkcionalizálás.

Az EU-bizottság döntése annyira új és

oly mértékben meglepte még a projekt nyerteseit is, hogy egyelőre nem tudják biztosan, hogyan lehet a legmegfelelőbben belevágni egy ilyen országnyi méretű és támogatású megprojektbe. Mint tudjuk, a kutatók – amióta világ a világ – anyagilag kielégíthetetlenek, így Kinaret társait bizonyos mértékben lehangolta, hogy az első 30 hónap során az alprojektek mind-egyike „csak” 54 millió euróra számíthat.

Talán érdemes itt még rövid említést tenni arról, hogy az itt leírt megprojektet megelőzően Geim és Novoselov 2004-ben tett grafénfelfedezésétől kezdődően milyen erőfeszítések folytak világszerte a felfedezés gyakorlati, technológiai alkalmazásaira vonatkozóan. Egy nagyon érdekes kutatás során, a grafén website-oldalak számítógépes szövegbányászatával (text mining) azt a következtetést vonták le, hogy a forgalmazható ipari grafénterméket előállító nagyipar felé a grafénkutatást alkalmazó kis- és közepes vállalkozásokon keresztül vezet az út. Az 1. táblázat a grafénkutatás értékesítésére alakult kis- és közepes vállalkozásokat mutatja be az Egyesült Államokban, Nagy-Britanniában és Kínában [12].

Az első ipari forradalom Angliában kezdődött a 18. század végén, a textilipar gépésztésével. A második ipari forradalom a 20. század elején kezdődött, amikor Henry Ford megalkotta és alkalmazta a futószerű gyártást és ajtót nyitott a tömeggyártásnak. A két első ipari forradalom gazdagabbá és urbánusabbá tette az embe-

reket. Jelenleg kialakulóban van egy harmadik ipari forradalom. Az ipari gyártás digitálissá válik. Számos figyelemre méltó technológia konvergál: okosabb szoftverek, új alapanyagok, ügyesebb robotok, új gyártási folyamatok, valamint számos, a világhálóra alapuló szolgáltatás. A múltbeli gyárak az egyedi termékek milliárd darabos uniformizált előállítására épültek. Az irány jelenleg az egyéni igények korlátlan kielégítése felé mutat. De annak a költsége pillanatnyilag túl nagy, hogy egy változatos termékből a felhasználó vágyainak megfelelően sokkal kisebb darabszámot állítsanak elő.

A jövő ipara az egyedi, olcsó gyártás meg-alapozásával, amilyen például a háromdimenziós nyomtatás, utat nyithat a harmadik ipari forradalomnak, aminek talán a grafén lehet az egyik allappillére. ●●●

## IRODALOM

- [1] Braun Tibor, Magy. Kém. Lapja (2012) 67, 84.
- [2] Braun Tibor, Magy. Kém. Lapja (2012) 67, 374.
- [3] Braun Tibor, Magy. Kém. Lapja (2009) 64, 371.
- [4] K. S. Novoselov, V. I. Falko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab, K. Kim, Nature (2012) 490, 192.
- [5] K. A. Jenkins, Am. Scientist (2012) 100, 388.
- [6] <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/01/130113144923.htm>
- [7] R. van Norden, Nature (2011) 469, 14.
- [8] J. Parnell, <http://www.rtcc.org/hat-can-graphene-do-for-climate-change/>
- [9] P. Shapira, J. Wang, Nature (2010) 468, 627.
- [10] K. Kupferschmidt, Science (2013) 339, 497.
- [11] J. Kinaret, [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/graphene-presentations/4-5-kinaret-22032011\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/graphene-presentations/4-5-kinaret-22032011_en.pdf)
- [12] S. J. Arora, J. Youtie, Ph. Shapira, L. Gao, T. T. Ma, Scientometrics (2013) megjelenés alatt