



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
VILÁGGAZDASÁGI KUTATÓINTÉZET

Műhelytanulmányok

67. szám

2005. május

Szalavetz Andrea

A NANOTECHNOLÓGIA ÉS A JELENLEGI JÖVŐIPARÁGAK



1014 Budapest, Orszagház u. 30.
Tel.: 224-6760 • Fax: 224-6761 • E-mail: vki@vki.hu

ÖSSZEFOGLALÓ

A fejlett országok technológia-előretekintő programjai rendszeresen azonosítják azokat a kulcsfontosságú technológiai területeket, amelyek kiemelt gazdaság- és technológiapolitikai figyelmet érdemelnek. Elsősorban nem a „jövőiparágak”-kal foglalkoznak, hiszen az iparágközpontú megközelítés jelentős kockázatokat rejt magában. Az iparágközpontú politika kockázata abban áll, hogy napjainkban épp a technológiai fejlődés következményeként az „iparág” fogalma és határai jóval képlékenyebbek, mint korábban voltak. A technológia fejlődése radikálisan megváltoztathatja az egyes iparági életciklusokat. A technológia mint elemzési alapegység természetesen nem iktatja ki az iparági megközelítést csupán kiegészíti azt.

Ez a tanulmány a technológiai és az iparági megközelítést együtt kezeli. A tanulmány első része a technológia alkalmazási területeiből, a technológiafejlesztési szükségletekből kiindulva, bemutatja a közeljövő új ipari forradalmát előidéző technológiafejlesztési irányt, a nanotechnológia irányzatait, illetve azokat az iparágakat, amelyek nanotechnológiát felhasználva dobnak piacra innovatív termékeket.

A nanotechnológia gazdasági hatásainak elemzése különösen időszerű, hiszen az üzleti és a technológiai sajtót fi-

gyelemmel kíséző olvasók napjainkban az információtechnológiai forradalom korai éveire hasonló várakozások és vállalkozásalapítási láz tanúi lehetnek. A technológia *take-off* fázisban van, és várhatóan ez lesz a következő általános célú és nagyfokú technológiai komplementaritást mutató technológia, ami az információtechnológiai forradalmat követően újabb látványos, technológiavezérelt növekedést indíthat meg.

A tanulmány második része a fejlett világ néhány országának nanotechnológiával kapcsolatos technológiapolitikáját, illetve az új technológia iparstratégiai vonatkozásait veszi nagyító alá, továbbá elemzi a magyarországi technológiapolitikai és iparstratégiai tanulságokat. Magyarország lassanként az egyetlen olyan relatíve fejlett ország lesz, ahol még nem készült kormányzati szintű nanotechnológiai stratégia, és ahol még nincs kidolgozva a közeljövő új ipari forradalmát előidéző technológiával kapcsolatos technológiapolitika. A műhelytanulmány célkitűzése, hogy egyrészt felhívja a figyelmet erre a hiányosságra, azzal, hogy bemutatja más országok erőfeszítéseit, stratégiai hozzáállását és ráfordításait, másrészt elemezze ennek a technológiai forradalomnak a magyar versenyképesség alakulására gyakorolt várható hatását.

BEVEZETŐ

A fejlett országok technológia-előrettekintő programjai rendszeresen azonosítják azokat a kulcsfontosságú technológiai területeket, amelyek kiemelt gazdaság- és technológiapolitikai figyelmet érdemelnek.

Figyeljük meg a magyarországitól eltérő stratégiai hozzáállást! Elsősorban nem a „jövőiparágak”-kal foglalkoznak, mert az iparágközpontú megközelítés jelentős kockázatokat rejt magában: a fejlesztési politika könnyen beleeshet abba a hibába, hogy nem a megfelelő iparágra fókuszál. Akár az is előfordulhat, hogy maga a támogatott iparág „tűnik el” a döntéshozók szeme elől. Az iparágközpontú politika kockázata ugyanis abban áll, hogy napjainkban, épp a technológiai fejlődés következményeként, az „iparág” fogalma és határai jóval képlékenyebbek, mint korábban voltak. Ehelyütt csupán két alapvető technológiai fejlődési tendenciát említek, amelyek a feldolgozóipar fejlődését befolyásolják, és az egyes iparági életciklusokat radikálisan megváltoztathatják.

Az első a feldolgozóipar terciarizálódása, a termelés és a szolgáltatások összefonódása.¹ A hozzáadott érték és a profit döntő hányada alapvetően nem a feldolgozóipari tevékenységre vezethető vissza, hanem a termeléssel összefonódó

és a termékekhez kapcsolódó szolgáltatásokra. A termelés és a szolgáltatások összefonódása nem csupán az *árképzés* (a hardvert olcsón, akár a költségeket sem fedező áron dobják piacra, hiszen a kapcsolódó szolgáltatások adják a profitot) és a *reklámok* (nem magát a terméket reklámozzák, hanem a funkciót, amelyet betölt – még olyan, korábban alapvetően termékközpontú tárgyak esetében is, mint a gépkocsi) szintjén figyelhető meg. Hatással van a *vállalati stratégiára* (nem feltétlenül a márkakialakítás és -tudatosítás lesz a „nyerő” stratégia, inkább a termékkel járó szolgáltatások tekintetében igyekeznek a vállalatok megkülönböztetni magukat egymástól) és az *innovációpoliti-kára* is (nem feltétlenül új termék kifejlesztése az innovációk fő célja, hanem a meglévő tudás új alkalmazása,² a létező tudáselemek közötti új összefüggések fellelése³).

² Tipikus példa a SOC (*system on chip*) - technológia, amely a mikroprocesszorok széles körű alkalmazását teszi lehetővé, és ezáltal hagyományos iparágak hagyományos termékeinek versenyképességét javítja, piaci keresletét erősíti. Az „intelligens” hotelszobakulctól kezdve az intelligens ruhadarabokig a tárgyak széles körébe építenek be mikroprocesszorokat. Ennek következtében már nem a „számítógép” mint önálló termék és technológia a fejlesztés tárgya, hanem az alkalmazás körének bővítése. (Az Európai Unió fejlesztési politikájában hangsúlyos szerepet kapott a SOC-technológia mint olyan terület, ahol az EU lemaradása az USA-val szemben jelentősnek mondható.) (FISTERA 2004)

³ A módosuló kutatási prioritások következtében a kutatószervezés új formái jelentek meg: az innovatív nagyvállalatok által fenntartott nagy létszámú kutatólaboratóriumok mellett ma már mind gyakoribb az ennél rugalmasabb megoldást kínáló, költségkímélő, projektalapú hálózati együttműködési rendszer. Nagyvállalatok, mint az Intel vagy a Cisco, kiszervezik az innovációt, együttműködési megállapodásokat kötnek újonnan létrejött, kutatóintézetekből kivált kisvállalkozásokkal, kutató laboratóriumokkal, ösztöndíjakat hirdetnek, kínálnak meghatározott témákra stb.

¹ Szalavetz (2002)

A másik alapvető tendencia a különböző ágazatok összeolvadása. A korábbiaktól eltérően, napjainkban gyakran keletkeznek új iparágak, illetve meghatározott funkciójú termékek termelését és piaci részesedését hirtelen új iparágak vehetik át, radikálisan átalakítva a korábbi iparág életciklusát.

A jövőiparágak feltérképezése mellett így célszerű a jövő technológiáit is elemeznünk, az emelkedő iparágak termékeinek számbavételét pedig célszerű a funkciók, szükségletek elemzésével kiegészítenünk. Nem szabad elfeledkeznünk ugyanakkor arról, hogy nem csupán a létező szükségletek, a létező piaci igények indukálhatnak innovációkat, de gyakran az innovációk kreatív kommercializációja teremt korábban nem létezett piaci szükségleteket.

A technológia mint elemzési alapegység természetesen nem iktatja ki az iparági megközelítést csupán kiegészíti azt. A technológiai konvergencia felgyorsulásának korában ugyanis, ha a technológiát választjuk elemzési és támogatási alapegységül, ez hasonló kockázatokat rejt, mint ha kizárólag az iparág lenne az elemzési alapegység. Nem csupán iparágak szűnnek meg, és olvadnak össze más iparágakkal, de gyakran előfordul, hogy fejlődési pályájuk egy pontján meghatározott technológiák más technológiákkal olvadnak össze, önálló pályájuk megszűnik.

Napjaink leginkább és legnagyobb várakozással elemzett technológiai konvergenciafolyamata az ún. NBIC,

a *nano-bio-info-cogno* technológiák (nanotechnológia, biotechnológia, információtechnológia és a kognitív tudomány [a gondolkodási és tanulási mechanizmust segítő intelligens rendszerek technológiája]) összeolvadása, pontosabban az abból keletkező új technológiai területek.

A technológiai kiindulópont melletti érv, hogy napjainkban, amikor az egyes iparágak egyre több technológiát integrálnak, az iparstratégia számára a folyamatok mélyebb megértését és a támogatási prioritások pontosabb meghatározását teszi lehetővé, ha iparági helyett technológiai kiindulópontból fogalmazza meg a lehetséges kitörési pontokat, választja ki a támogatandó területeket. Az iparági kiindulópont mellett szól ugyanakkor az érem másik oldala, az új technológiák „multidiszciplinaritása”, ami ebben az esetben azt jelenti, hogy egy-egy technológiát számos iparágban alkalmaznak.

Vegyük példaként napjaink egyik kulcsfontosságú technológiáját, a nanotechnológiát. Előrejelzések szerint, a nanotechnológia az alábbi iparágakban hozhat radikális változásokat: úrkutatás, vegyipar és gyógyszeripar, iroda- és számítógépgyártás, elektronika, hadiipari termékek gyártása, egészségügy, energiatermelés és -tárolás, híradástechnikai termékek gyártása, műszeripar, környezetvédelmi ipar, élelmiszeripar stb. A nanotechnológia segítségével új anyagok hozhatók létre, ami az alábbi iparágak termékeire gyakorol hatást: textilipar, építőanyagipar, fémalapanyagok gyártása és megmunkálása, papíripar, műanyagipar, járműipar. A nanotechnológia ilyen sok területen történő alkalmazhatósága – gyakorlatilag ugyanúgy mindenütt jelenlévő technológia lesz, mint az informá-

ciótechnológia – a nanotechnológia definíciójából ered, hiszen minden meghatározott méretközöb alatti tartományban (az 1 és 100 nanométer [10^{-9} méter] közötti tartományban) folyó kutatást és technológiai fejlesztést nanotechnológiának tekintenek. A nanotechnológia kifejezés így félrevezető lehet, mert számos szövegkörnyezetben nem konkrét, létező technológiát takar, hanem az ebben a mérettartományban folytatott alapkutatásra utal, vagyis épp a K+F két komponensének, a kutatásnak és a fejlesztésnek, illetve a K+F eredményeként létrehozott technológiának az összesítéséből adódik. A nanotechnológia ugyanakkor valóban *technológiának* tekinthető. Mint „technológia” azt jelenti, hogy atomonként raknak össze, hoznak létre új termékeket. (Feynman 1959; Drexler 1986) Ilyen értelemben a *nanotechnológia az innováció új módszereit feltáró technológiának tekinthető.*

Ez a tanulmány a technológiai és az iparági megközelítést együtt kezeli. A tanulmány első része a technológia alkalmazási területeiből, a technológiafejlesztési szükségletekből kiindulva mutatja be a közeljövő új ipari forradalmát előidéző technológiafejlesztési irányt, a nanotechnológia térhódítását, illetve azokat az iparágakat, amelyek nanotechnológiát felhasználva dobnak piacra innovatív termékeket.

Egy rövid kitérő erejéig idézzük fel, hogy a technológiai fejlődés egyik legfontosabb, leginkább alkalmazkodást és gazdaságpolitikai figyelmet igénylő esete a schumpeteri értelemben vett „romboló”, vagyis a korábbi technológiai irányvonalat, iparági életciklusokat radikálisan átalakító technológiák megjelenése. Ami az

új technológia által érintett vállalatokat, iparágakat illeti, ne feledkezzünk meg arról, hogy a piacról való kiszorulással, termékeik elavulásával fenyegetett vállalatok egy része ugyancsak csúcstechnológiát testesít meg, vagyis a jövő technológiája által érintett és fenyegetett számos iparágat ma még jövőiparágak tekintenek!

Világítsuk meg egy példa erejéig, hogy milyen mértékű rombolás és átalakulás várható, milyen típusú esetekre tér ki a tanulmány első része! A nanotechnológiának a számítástechnikába történő behatolása következtében már a közeljövőben sor kerül ultravékony mágneses RAM sorozatgyártására. Ez egyrészt olyan drámai információátviteli kapacitásbővülést és feldolgozási sebességnövekedést eredményez, hogy a számítógépeknek a jövőben már nem lesz szükségük merevlemezre, másrészt a memóriának már nem lesz szüksége folyamatos feszültségre az információ megtartásához. Ha belegondolunk, hogy a világ merevlemezpiacát 2003-ban körülbelül 40 milliárd dollárosra becsülték (Científica 2003), akkor képet kapunk arról, hogy milyen radikális átrendeződések várhatók a jelenlegi ún. jövőiparágak körében!

A tanulmány második része a fejlett világ néhány országának nanotechnológiával kapcsolatos technológiapolitikáját, illetve az új technológia iparstratégiai vonatkozásait veszi nagyító alá, továbbá elemzi a magyarországi technológiapolitikai és iparstratégiai tanulságokat.

1) ÚJ TECHNOLÓGIÁK ÉS EMELKEDŐ IPARÁGAK

Ebben a fejezetben nagytó alá veszünk néhány olyan társadalmi, gazdasági folyamatot, problémát, amelyeket új technológiákkal, technológiafejlesztéssel kívánnak megoldani.

A jelenlegi fejlesztések egy része a köz- és magánpénzből finanszírozott K+F-programok stádiumában tart. Az egyik technológiapolitikai kérdés ezek esetében, hogy vajon várható-e valamilyen technológiai eredmény és gazdasági haszon ezekből a programokból, milyen hosszú távon érdemes ezekre áldozni. A másik, akadémiai és politikai elemzés számára relevánsabb kérdés az, hogy a nemzeti innovációs rendszer vajon alkalmas-e arra, hogy az adott technológia fejlődését és gazdasági haszonra konvertálását előmozdítsa. Nem véletlen, hogy a „feltárt komparatív előnyök” kifejezés mintájára, ma már elterjedt a „feltárt intézményi előny” fogalma is, és számos tanulmány elemzi, hogy egy-egy új technológia sikeréhez milyen intézményi reformok szükségesek.⁴

⁴ Erre példa a biotechnológia fejlesztése kapcsán kialakított német intézményi reformok története. Németországban és Japánban elemezték a biotechnológia területén fennálló nyilvánvaló amerikai előnyök összetevőit, és arra jutottak, hogy a technológia gazdaságilag releváns fejlődéséhez intézményi változásokra (az amerikai intézményrendszerhez való közelítésre) van szükség. Az intézményi reformokat részletesen elemzi *Lehrer–Asakawa* 2004 és *Casper* 2000.

A fejlesztések másik részében már megszülettek az eredmények és a fő gazdaság- és technológiapolitikai kérdés ezek elterjesztése, kommercializációja. Közösségi problémákra megoldást kínáló technológiák esetében (például napenergia-, szélenergia-hasznosítás) az ösztönzési és az intézményrendszer működésének tanulmányozása ad választ arra a kérdésre, hogy mi magyarázza egyes programok sikerét, a technológia elterjedését és széles körű alkalmazását egyes országokban, és mi az oka a kudarcnak másutt.⁵

A vállalati forrásokból finanszírozott fejlesztések eredményeként létrehozott innovációk esetében a kommercializáció a túlélés, a piacon maradás kérdése. Üzleti magazinok és az üzleti gazdaságtan tudományos folyóiratai számos tanulságos esettanulmányt közölnek arról, hogy miként vezettek be sikerrel innovatív, csúcstechnológiát megtestesítő termékeket a piacra. Ugyanakkor a vállalati gazdaságtan számos tudományos publikációja hangsúlyozza, hogy a sikeres kommercializáció általában nem csupán egyéni vállalati kreativitás eredménye: az egyedi sikerekhez, pontosabban az egyedi sikerek tömegessé válásához nélkülözhetetlen az intézményi előfeltételek megléte. Intézményi előfeltételek alatt nem csupán olyan segítő háttérintézményeket értenek, mint a koc-

⁵ Lásd *Jacobsson–Lauber* (2006) tanulmányát arról, hogy a megújuló energiaforrásokból nyerhető elektromos energiagenerálás technológiája miként terjedhetett el olyan gyors ütemben Németországban és *Foxon és szerzőtársai* (2005) tanulmányát arról, hogy miért vallott ugyanebben relatív kudarcot Nagy-Britannia.

kázati tőkefinanszírozás. Alapvetően annak a piacnak a fejlett működésére van szükség, amit összefoglalóan az „ötletek piacának” (*market for ideas*) nevez az intézményi és az innovációs gazdaságtan (Teece 1986; Gans–Stern 2003).

A teoretikus (kutatási), a fejlesztési és a piaci bevezetési fázist követi a termelés gyors felfutásának időszaka. Ez a szakasz is két részre osztható, a képlékeny, még továbbra is gyorsan fejlődő új és új termékeket produkáló, illetve a standardizálódási szakaszra. Mivel tanulmányunk a technológiapolitika és az iparpolitika közötti összefüggésekre helyezi a hangsúlyt, az iparági életciklusnak az elejét, de nem a legelejét választottuk vizsgálatunk tárgyául; azt a szakaszt választottuk, amikor a K+F-laboratóriumok eredményei már megszülettek, és a cél az iparszerű termelés technológiájának megoldása és a K+F-eredmények piacának feltérképezése, vagy ahol már beszélhetünk is ipari termelésről. Piacszerkezeti megközelítéssel megfogalmazva, a technológiai ciklusnak azt a szakaszát vizsgáljuk, ahol kialakulóban van az elemezhető piaci struktúra, vagy éppen ellenkezőleg, ahol a korábbi piaci struktúra radikális átalakulás előtt áll. Mivel új, további fejlődés előtt álló és sok esetben új alkalmazási területeken is hasznosított technológiákról van szó, relatíve képlékenyek az iparági határok, változik, fejlődik az alkalmazott technológia, és jelentős, vagyis a feldolgozóipari átlagot meghaladó mértékű az innovációs *output*.

1.1. Új technológiát igénylő társadalmi-gazdasági problémák

Kiindulópontunk tehát az, hogy melyek a jövőbeni technológiafejlesztések alkalmazási területei. Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül felsorolásszerűen áttekintünk néhány olyan társadalmi-gazdasági problémakört, amelyek a fejlett országok technológiai előrettekintő programjaiban rendszeresen szerepelnek mint új technológiai megoldásokat igénylő *technológiai alkalmazási területek*, amelyek esetében célszerű a kutatásra-fejlesztésre áldozni. Ezek közé tartoznak (nem fontossági sorrendben) az alábbiak:

- * a korszerű és környezetbarát technológiák kialakítása energiahordozók előállítására, tárolására, elosztására;
- * a biztonság fokozása, a természeti és társadalmi kockázatok (pl. terrorista támadások, szervezett bűnözés) csökkentése;
- * a kommunikáció és az adatátvitel fejlesztése;
- * az elöregedő társadalom egészségügyi és foglalkoztatási problémáinak megoldása.

Tekintsünk most át – ugyancsak a teljesség igénye nélkül –, hogy a nano-info-biotechnológia mely területeitől, fejlesztési irányaitól várják, remélik, hogy a fenti problémák egy-egy szegmensére megoldást kínáljanak:

- * a sáv szélesség (vagyis a kommunikációs csatorna továbbító képességének) növelése, a vezeték nélküli hozzáférési technológiák fejlesztése;
- * a felhasználóazonosítási és az egyéb azonosítási technológiák fejlesztése;⁶
- * az adatfeldolgozási sebesség és az adattárolási kapacitás fejlesztése;
- * az olyan új anyagok létrehozása, amelyek nem csupán fogyasztási cikkekbe beépítve járulnak hozzá az életminőség javításához, de az energiagenerálást is olcsóbbá, hatékonyabbá és környezetbaráttá teszik;
- * az egészségügyi diagnózis és kezelés új eljárásainak, technológiájának és termékeinek kifejlesztése.

1.2. A nanotechnológia és az új ipari forradalom

Az üzleti és a technológiai sajtót figyelemmel kísérő olvasók napjainkban az információtechnológiai forradalom korai éveikhez hasonló várakozások és vállalkozás-alapítási láz tanúi lehetnek. A *take-off* fázisban lévő nanotechnológia a következő általános célú és nagyfokú technológiai komplementaritást (Szalavetz 2004) mutató technológia, ami újabb lát-

ványos, technológiavezérelt növekedést indíthat el.

A nanotechnológia sokszálú fejlődési irányait igen nehéz túlzott leegyszerűsítések nélkül, általános állítások segítségével összefoglalóan jellemezni. Ebben az alfejezetben arra teszünk kísérletet, hogy további kutatások számára néhány módszertani megállapítást tegyünk arról, hogy miként csoportosíthatjuk az iparstratégiai elemzések során vizsgált vállalkozásokat.

Az egyik lehetséges csoportosítás a szereplőket az új technológiát felhasználó innovációkkal versenybe lépő kis- és középvállalkozásokra, illetve a piaci pozíciójuk erodálásának, termékeik kiszorulásának veszélyével szembenező már működő vállalkozásokra osztja fel. Az utóbbi csoportba, a nanotechnológia multidiszciplinaritásából következően, bármilyen iparágba tartozó cégek kerülhetnek.

Ami az információtechnológiai ipart illeti, a kívülről támadó innovatív KKV-k *versus* a defenzív stratégiát folytató bennlévők csoportosítása nem felel meg a valóságnak. A jelentős piaci pozícióval rendelkező veszélyeztetett nagyvállalatok, jellemző módon, nem várják tétlenül kiszorításukat, hanem maguk is nagy erővel vesznek részt a kutatásban. Az információtechnológiában a piac domináns vállalatai a változás hordozói. Ők rendelkeznek elegendő (fizikai és humán) tőkével ahhoz, hogy saját kutatási eredményeikre alapozva maguk vezényeljék le a technológiaváltást, megőrizve, sőt tovább

⁶ Az azonosítási technikák fejlesztése mind az információtechnológia területén, mind a mikroérzékelésben fontos kutatási prioritás; gondoljunk például az ún. biochipek alkalmazására a veszélyes kémiai és biológiai reakciótermékek azonosításában.

javítva piaci pozícióikat. Amikor az információtechnológiai hardvergyártók kénytelenek voltak szembenézni a szilíciumalapú áramkörök fizikai korlátaival, a legnagyobb elektronikai cégek (Hewlett Packard, IBM, Bell, Intel, NEC, Motorola, Siemens, General Electric stb.) mind felállítottak nanotechnológiai kutatólaboratóriumokat, s egyetemi és magánkutatóintézetekkel kezdtek együttműködni.

Nemrég még úgy tűnt, hogy a Moore-törvény, mely szerint a mikroprocesszorok teljesítménye és a tranzisztorok száma minden 18 hónapban megduplázódik, nem érvényesülhet örökké, nem lehet végtelenül növelni az egy szilícium lapkán elhelyezett tranzisztorok számát, és a végtelenségig csökkenteni a tranzisztorok méretét. Ma még nem lehet tudni, hogy a nanotechnológia a szilícium helyett más alapra helyezi-e a számítástechnikát, kiszorítva ezzel a jelenlegi nagy gyártókat. Ez utóbbi esetben az első számú forgatókönyv valósul meg (kívülről támadó innovatív KKV-k veszélyeztetik, kiszorítják a bennlévőket).

Az információtechnológiai transznacionális vállalatok kutatásai mindenesetre a szilíciumalapú technológia és a nanotechnológia ötvözésére irányulnak. A nagyvállalatok megpróbálják elérni, hogy a szilíciumalapú technológia fejlesztésébe ölt dollármilliárdok ne bizonyuljanak kidobott pénznek, vagyis a második számú forgatókönyv valósuljon meg (miszerint a tőkeerős, a piacon már bennlévő nagyvállalatok vezénylik le a változást). Az Intel szabadon hozzáférhető konferenciaanya-

gainak tanúsága szerint (David 2004; Gargini 2004) a szilíciumalapú technológia és a nanotechnológia „párosítására” irányuló kutatásaik eredményeinek köszönhetően a Moore-törvény még hosszú ideig érvényes marad. Jelenleg e második forgatókönyv alapján alakul a piaci struktúra az információtechnológiában: a nagyvállalatok köré szerveződő, velük stratégiai szövetségben álló kis- és középvállalatokból és kutatóintézetekből hálózatok jöttek létre.

Egy másik csoportosítás a nanotechnológiai vívmányok jellege alapján sorolja kategóriákba a gazdasági, piaci és gazdaságpolitikai elemzés tárgyait (a technológiákat, iparágakat, piaci szereplőket). Az egyik kategóriába tartoznak azok a nanotechnológiai megoldások (szenzorok, bevonatok, kompozitok, membránok stb.), amelyek létező iparágakhoz kapcsolódnak, ezen iparágak termékeinek hozzáadott értékét növelik, meghosszabbítva ezzel termékciklusukat.

Ide tartoznak például az üvegfelületek bevonására használt öntisztító filmrétegek; a nanotechnológiai megoldásokkal modernizált élelmiszeripari csomagolóanyagok, amelyek lehetővé teszik, hogy a becsomagolt élelmiszer hosszabb ideig maradjon friss; a nanotechnológia segítségével a vegyi fegyverekkel szemben ellenállóvá tett ultrakönnyű katonai felszerelés; a hatóanyagokat nanorészecskék segítségével a felhasználási területre pontosabban juttató kozmetikumok; a víz- és föltlepergető textíliák; a nanokompozitokkal megerősített nehézgépjármű-gumiabroncsok és egyéb járműalkatrészek; a speciális bevonattal ellátott napszemüvegek. (Baker–

Adam 2005; Bíró 2003; Montague 2004)

A másik csoportba soroljuk a schumpeteri értelemben vett romboló technológiai megoldásokat (*disrupters*), amelyek létező termékeket és/vagy technológiai megoldásokat szorítanak ki a piacról.

Néhány példa: A bevezetőben írtuk, hogy a nanotechnológia alkalmazása a félvezetőkben a merevlemezgyártás forradalmát jelenti. Az óriási szakítószilárdságú, minden korábbinál jobb elektromos vezetési tulajdonságokkal rendelkező szén nanocsövek új alapokra helyezik az elektromos vezetés korábbi technológiáját. Az extrasík és kis feszültségű képernyők gyártása kiszorítja a hagyományos és a modern (a jelenlegi *high-tech*) megoldásokat. A nanotechnológia alkalmazásával létrehozott gyógyászati és diagnosztikai eszközök és elvek kiváltják ennek a jelenlegi *high-tech* ágazatnak számos termékét. A nanotechnológia forradalmasítja mind a világítás-technikát, kiszorítva a hagyományos és a modern (a jelenlegi *high-tech*) izzólámpákat egyaránt, mind az elemek és akkumulátorok gyártását, kiszorítva a jelenlegi megoldásokat.

A harmadik csoportba kerülnek azok a nanotechnológiai megoldások, amelyekre építve új, korábban nem létező iparágak jelennek meg, és alakítják át a feldolgozóipar (és a szolgáltatások) szerkezeti összetételét. Az új iparágak várható megjelenésének első jelei a diagnosztikában és a gyógyászatban, továbbá az energiatermelés és -tárolás, valamint a környezetvédelem és a környezeti ártalmak semlegesítése területén látszanak.

2) A JÖVŐIPARÁGAK FEJLŐDÉSÉT TÁMOGATÓ TECHNOLÓGIA- ÉS IPARPOLITIKA – MAGYAR- ORSZÁGI TANULSÁGOKKAL

A nanotechnológiát övező tőzsdei és technológia-előrettekintési várakozásokat nem csupán a vállalatalapítási láz keltette fel, és nem is a kutatások első kommercializált vagy még csak nem is kommercializált eredményei, hanem a fejlett országok kormányainak és gazdaságpolitikai döntéshozóinak gyors reagálása, jelesül, hogy egyértelműen kiálltak a technológia további fejlesztése mellett, és jelentős központi költségvetési forrásokkal támogatták azt. A 2004-es költségvetési évben az amerikai költségvetési törvény melléklete szerint 961 millió dollárt szántak nanotechnológiai kutatásokra és alkalmazásokra. A Bush elnök által 2003 végén aláírt „A 21. századi nanotechnológiai kutatási és fejlesztési törvény” 2005 és 2008 között összesen 3,7 milliárd dollárt szán erre a területre. Ezzel szemben Japánban 875 millió dollárt áldoztak nanotechnológiai kutatásokra 2004-ben (Plunkett 2004).

Az Egyesült Államokban már a kilencvenes évek közepén olyan sokféle szövetségi szervezet támogatott nanotechnológiai kutatásokat, hogy munkájuk és céljaik koordinálásának szükségessége már 1996-ban felmerült. Az első, az 1999-es Nanotechnológiai kutatási irányok címet

viselő összefoglaló már számos gazdaság-, oktatás-, tudomány- és technológiapolitikai ajánlást fogalmaz meg: a nanotechnológiai kutatások támogatásáról, felsőoktatásba való felvételéről, speciális ösztöndíjtémák kiírásáról, ipari-egyetemi és kormányzati-ipari-egyetemi kapcsolatok ösztönzéséről, információs rendszerek és adatbázisok felállításáról, szimpóziumok szponzorálásáról stb. Listázza a nanorészecskék speciális kémiai, fizikai, mechanikai, elektromos, optikai, mágneses tulajdonságaiból fakadó kihívásokat és a már feltérképezett alkalmazási területeket, az elért tudományos és ipari eredményeket, megfogalmazza a következő 10-15 évben elérendő célokat és e célok elérését leginkább akadályozó technikai és intézményi tényezőket. (Nanotechnology Research Directions 1999)

Az 1999-es, 262 oldalas összefoglaló már módszertanilag is figyelemreméltó. Egyik oldalról szintézisét adja a már rendelkezésre álló tudományos ismereteknek (fejezetenként jelentős tudományos hivatkozási apparátussal), és konkrét felsorolást ad az elért és a folyamatban lévő ipari alkalmazásokról. Felsorolja a közeljövőben várható áttöréseket és a születendő termékeket, a középtávú kutatási irányokat, és részletezi a nanotechnológiai vívmányok elérésének és kihasználásának intézményi akadályait. Másfelől, pontosan leírja, hogy milyen volumenű kutatási támogatás szükséges egy-egy projekthez (alkalmazási területenként), miként kerülnek be a szövetségi költségvetésbe a támogatási prioritásokhoz rendelt keretösszegek,

milyen létező támogatási programokhoz kapcsolódhatnak, milyen új programkiírásokra van szükség, milyen szövetségi minisztériumok és egyéb szervezetek költségvetését érintik a nanotechnológiai kutatások, és miként működjön a tárcaközi egyeztetés.

Az első Nemzeti nanotechnológiai kezdeményezés (NNI) címet viselő kormányprogram a Clinton-kormány 2001-es költségvetési tervében szerepelt.⁷ Az akadémiai intézetek, az ipar és a kormányzati szervezetek képviselőinek bevonásával készült összefoglalót megelőzően intenzív tájékoztatási és lobbytevékenység folyt a döntéshozók figyelmének felkeltése érdekében. Mire az összefoglaló elkészült, és a vonatkozó költségvetési javaslatok vitára kerültek, a döntéshozók nagy része már meg volt nyerve a nanotechnológia ügyének. Emellett tanulmányok készültek a nanotechnológia társadalmi hatásairól, továbbá kommunikációs anyagok, amelyek segítségével a közvéleményt tájékoztatták az új technológiai irányzatokról és azok várható hatásairól. Időközben növekvő számú kormányzati szervet állítottak fel, amelyek mind a nanotechnológia meghatározott aspektusaival foglalkoztak, illetve egy, a kormányzati szervezet munkáját koordináló szervezetet. 2003 decemberében Bush elnök aláírta a 21. század

⁷ Azóta is, a nemzeti nanotechnológiai kezdeményezések rendre az adott év költségvetési törvényének mellékletét képezik, lásd például: National Nanotechnology Initiative. Research and Development Supporting the Next Industrial Revolution. Supplement to the President's FY 2004 Budget <http://www.nano.gov/html/res/fy04-pdf/fy04-main.html>

nanotech-nológiai fejlesztéséről rendelkező törvényt, amelyben immár kodifikálták, hogy a nanotechnológia a 21. század legnagyobb kihívását jelentő tudományág és technológiai irányzat. Kimondták, hogy ösztönözni kell a nanotechnológiával kapcsolatos kutatásokat, fejleszteni a kockázati tőkefinanszírozást és az oktatást. (Roco 2004)

A 2004-es nemzeti nanotechnológiai kezdeményezés egyrészt széles körű (interdiszciplináris) alapkutatót irányoz elő (és rendel ehhez forrásokat) a nanoanyagok jellemvonásainak és a nanorendszerek működési sajátosságainak jobb megértése érdekében. Másrészt kijelöl (szintén megfelelő forrásokat hozzárendelve) kilenc olyan stratégiai célkitűzést,⁸ amelyek esetében a tudományos kutatások eredményeinek mielőbbi alkalmazását kell támogatni. Egy további keretösszezből kiválósági-központok létrehozását támogatják, vagyis intézmények hálózati együttműködéseit, kutatási és oktatási programjait (társ)finanszírozzák. A negyedik keretösszezből nanotechnológiai intézmények eszközvásárlásait támogatják. Végül az ötödik keretösszezből a nanotechnológia társadalmi hatásainak kutatását, kommunikációs és oktatási célkitűzéseket támogatnak.

⁸ Nanotechnológiával új anyagok előállítása, nanomérettartományban folytatódó gyártási tevékenység, vegyi, biológiai, radioaktív, robbanó stb. anyagok érzékelése nanoszenzorokkal, nanoelektronika és fotonika, nanotechnológia egészségügyi alkalmazásai, nanotechnológiai alkalmazások az energiagenerálásban és -tárolásban, nanotechnológiai műszerek és kutatási módszerek fejlesztése, nanotechnológiai alkalmazások a környezetvédelemben.

Roco tanulmánya a 2001–2003-as NNI-programok eredményeit sorolja fel. Megállapításai szerint 2003-ban már negyvenezer kutató vett részt nanotechnológiai kutatásokban, és hétezer oktatót képeztek a Nemzeti Kutatási Alap finanszírozásával, az összes műszaki és természettudományi felsőoktatási intézményben nanotechnológiai kurzusokat indítottak, számos ipari-egyetemi és egyetemközi együttműködési hálózat jött létre, és ami a legfontosabb, az iparvállalatok nanotechnológiai K+F-beruházásai is felfutottak, és 2003 végére elérték a szövetségi keretösszegek volumenét. A K+F-ráfordítások hatékonyságát mutatja, hogy bár az amerikai magán és állami nanotechnológiai K+F-ráfordítások csak mintegy 25 százalékát tették ki a világ összes nanotechnológiai K+F-kiadásának, a nanotechnológiai vonatkozású szabadalmi bejegyzések tekintetében az USA a világ összes szabadalmi bejegyzésének 75 százalékát mondhatta magáénak 2002-ben, és az újonnan indult nanotechnológiai vállalkozások területén is hasonló volt az arány. (Roco 2004) Roco becslése szerint az első NNI megjelenése óta már 40 országban készült az amerikaihoz hasonló kormányzati szintű nanotechnológiai stratégia.

A fejlett országok körében az Egyesült Államok gyakorlata és eredményei jelentik az automatikusan adódó összehasonlítási alapot: vizsgálják a szövetségi K+F-ráfordítások mértékét és különbségeit, összehasonlítják a kutatók, a kutatóintézetek és a kiválósági-központok, a szaba-

dalmi bejegyzések és az újonnan alakult nanotechnológiai vállalkozások számát,⁹ ez utóbbiak szektorális megoszlását, eredményeit, a kockázati tőkefinanszírozás fejlettségét stb. (Ikezawa 2004; Rieke–Bachman 2004)

A nanotechnológiai programok megjelenése tehát egyik oldalról az USA demonstrációs hatására vezethető vissza: ha egy ország nyilvánvalóan fontosnak tart egy technológiai területet, és jelentős anyagi forrásokat szán a fejlesztésükre, versenytársai követik példáját. (A demonstrációs hatás és az „aki kimarad, lemarad *feeling*” nem csupán Japán vagy Németország vagy az Európai Unió szintjén¹⁰ érhető tetten, de egyértelmű jelei mutatkoznak Oroszországban¹¹ és a fejlett délkelet-ázsiai országokban¹² is.

A Roco-tanulmány (2004) által említett negyven ország közé ugyanakkor nem csupán a legfejlettebb országok, illetve a gyors felzárkózók tartoznak. Számos kevésbé fejlett országban is felis-

⁹ 2005 elején 600 nanotechnológiai vállalkozás működött az Egyesült Államokban; ezek 57,6%-a már piacra dobott termék(ek)kel is rendelkezett. (PCAST 2005)

¹⁰ Towards a European Strategy for Nanotechnology. Communication from the Commission. 12/05/2004

ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/nano_com_en.pdf Az elkészült anyagot, amely európai szintű kiválósági, központok létrehozásának szükségességét és a nanotechnológiai kutatásokra, alkalmazásokra és oktatásra fordítandó keretösszegek növelését mondta ki, konferenciák és műhelymegbeszélések sorozata értékelte, elemezte. A következtetéseket és a véleményeket listázza a <http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/communication.htm> honlap.

¹¹ *Andrievski* (2003); *Roco* (1999)

¹² Lásd az Asia–Pacific Nanotech Weekly <http://www.nanoworld.jp/apnw/> beszámolót.

merték a nanotechnológiából adódó lehetőségeket, és fejlettségükhöz képest jelentős közpénzzel támogatják a nanotechnológiai kutatásokat, konferenciákat, a nemzetközi kutatási együttműködést, valamint az ipar és az egyetemek kapcsolatát.¹³

A magyarországi tudomány- és technológiapolitika, gazdaságpolitika és iparstratégia ezzel szemben minimális figyelmet fordít a jövő ipari forradalmát meghatározó technológiára. Magyarországon nem dolgoztak ki nemzeti nanotechnológiai programot, és tudomásom szerint ez nincs is még folyamatban. Ahhoz, hogy a nanotechnológiával foglalkozó hazai kutatók ne csupán véletlenszerűen kapcsolódhassanak be EU-szintű vagy egyéb¹⁴ kutatási együttműködésekbe, hanem a meglévő humán erőforrásaik mértékének megfelelően vehessenek részt nemzetközi kutatási projekteken, és ahhoz, hogy a kutatási eredmények gyakorlati alkalmazása ipari-egyetemi (ipari-kutatóintézeti) kapcsolatok révén meginduljon, stratégiai szemléletre és hazai forrásokra van szükség.

Amint a fejlett országok példájából látható, a „nanotechnológiai ipart” jelentős központi forrásokkal „teremtették meg”, mert a kockázati tőkefinanszírozás, még a legfejlettebb intézményrendszerrel rendelkező országokban is, csak

¹³ Eklatáns példa Románia: <http://www.mct.ro/web/2/fp6/3/Nanotechnology-Romania.htm>

¹⁴ 2005 elején például közös orosz–magyar nanotechnológiai kutatási-oktatási központot hoztak létre Miskolcon.

némi késéssel reagált az egyértelmű gazdaságpolitikai támogatás első konkrét jeleire.

A tudomány- és technológiapolitikai támogatás tankönyvi indokai között a versenyképesség-erősítés és a piaci kudarc tényezőit sorolják fel: a nanotechnológia kiváló példa mindkettőre. Alaputatást, technológiafejlesztést és ipari-egyetemi kapcsolatok kialakítását, illetve a kutatási eredmények alkalmazását a nanotechnológia területén nem lehet pusztán a piacra bízni. A fejlett országok sem tették!

Ami a versenyképességi szempontokat illeti, ha finanszírozásuk megoldható lenne, a nemzetközi kutatási és ipari együttműködésbe bekapcsolódó nanotechnológiai gyártók kiemelkedő árbevétel-emelkedésre számíthatnak, mert a nanotechnológiai termékek iránti piaci kereslet rendkívül gyorsan emelkedik.¹⁵ A másik oldalról, a versenyképességük erodálásával küszködő hagyományos iparágaink nanotechnológiai alkalmazások révén erősíthetnék piaci pozícióikat. A technológia *take-off* stádiumából következően, a kutatóink nemzetközi versenyképességének erősítésére szánt társfinanszírozási forrásoknak egyértelmű multiplikátor hatása lenne (a kapcsolatteremtés további együttműködésre ad lehetőséget, a kutatóintézetekből jelentős növekedési potenciállal rendelkező új vállalkozások válhatnak ki, csakúgy mint az ipari-

egyetemi kapcsolatok támogatott programjaiból). A hazai kutatások támogatása a nanotechnológiából fakadó veszélyek elhárításának (de legalábbis megértésének) képessége szempontjából is kulcsfontosságú.¹⁶

Befejezésül idézzük fel az innovációs gazdaságtan technológiaabszorpcióval kapcsolatos alaptételét, miszerint az abszorpciós képességre meghatározó befolyást gyakorolnak a technológiát fogadó cég (ország) saját kutatási-fejlesztési erőfeszítései (Cohen–Levinthal 1990)]. A hazai K+F-bázis fejlesztése, a nanotechnológiai kutatások finanszírozása mindenfajta későbbi transzferabszorpció, és egyáltalán a nanotechnológiai vívmányok megértése érdekében elengedhetetlen.

A technológiai ciklus jelenlegi stádiumában ugyanakkor nem várhatjuk, hogy külföldi működőtőke-befektetések hozzanak létre hazai nanotechnológiai (és nanotechnológiát alkalmazó) ipart, hogy külföldi befektetések révén kapcsolódjunk be a fejlett országok nanotechnológiát alkalmazó szereplőinek termelési hálózataiba. A működőtőke-befektetők technológiatranszferei ugyanis a fogadó országok

¹⁵ Erről tanúskodnak az első vállalati esettanulmányok (például Ikezawa 2004) és a nanoanyagokkal foglalkozó cégek honlapjai: http://directory.google.com/Top/Business/Industrial_Goods_and_Services/Materials/Nanomaterials/

¹⁶ A veszélyek egy része a nanorészecskék különleges mobilitásából fakad: akadálytalanul bejutnak például az emberi szervezetbe, és méretükből kifolyólag a szervezet idegentest-felismerő és védekező mechanizmusai nagyrészt hatástalanok. A levegőben lebegő nanorészecskék, más részecskékkel ellentétben, nagyon hosszú ideig nem hullanak le a földre. A vízben áthatolnak a jelenlegi szűrőkön, és ezzel akár ivóvizünket is veszélyeztethetik. A talajba került nanorészecskék behatolhatnak a növények gyökérzetébe, és bekerülnek ilyen módon a táplálékláncba. A nanorészecskék felület/súly-aránya kiemelkedően nagy, emiatt könnyen válhatnak szennyeződések hordozóivá. (Montague 2004)

cégeinek meglévő technológiai és abszorpciósi képességeire építenek.¹⁷

Mivel a hazai kockázati tőkefinanszírozás jóval fejletlenebb az európai átlagnál,¹⁸ minden jel arra utal, hogy állami forrásokra, és stratégiai gondolkodásra van szükség. Ideje felzárkóznunk – legalábbis a nanotechnológiai vízióalkotás és programkidolgozás területén. Tanuljunk ugyanakkor az amerikai példából: ahhoz, hogy az egyes nanotechnológiai programelemekhez ne csupán reprezentatív, hanem az áttörést lehetővé tevő küszöbértéket meghaladó finanszírozás társuljon, a jelenleginél jóval intenzívebb kommunikációra, a döntéshozók szervezett tájékoztatására van szükség.

* * * * *

REFERENCIÁK

Andrievski, R. A. (2003): Modern Nanoparticle Research in Russia. *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 5, No. 5-6.

¹⁷ Dunning és Wymbs (1999) tanulmánya ironikusan rá is mutat arra az összefüggésre, hogy minél erősebb helyi technológiai képességeket fejlesztenek ki egy-egy országban, annál jobban hasznosítják a külföldi működőtőke-befektetők a saját cégspecifikus (tulajdonspecifikus) előnyeiket.

¹⁸ A hazai kockázati tőkepiac fejlődését számos tanulmány elemzi. Az érdeklődő olvasót a <http://www2.hvca.hu/hungarian/4a.php3> oldalon található reprezentatív lista segíti, amely egyúttal full text hozzáférést biztosít a tanulmányokhoz.

Baker, S. – Adam, A. (2005): The Business of Nanotech. *Business Week*, 14/02/2005.

Bíró, L. P. (2003): Nanovilág: A szén nanocsőtől a kék lepkeszárnyig. *Fizikai Szemle*, No. 11.

Casper, S. (2000): Institutional Adaptiveness, Technology Policy and the Diffusion of New Business Models: the Case of German Biotechnology. *Organization Studies*, Vol. 21, No. 5.

Cientifica (2003): *Nanotechnology Opportunity Report. 2nd Edition Executive Summary*.

<http://www.cientifica.com/html/docs/Exec%20Summary.pdf>

Cohen, W. M. – Levinthal, D. A. (1990): Absorptive Capacity: a New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 1.

David, K. (2004): *Silicon Nanotechnology at Intel*. Intel Nanotechnology Virtual Open House Conference. October 22, 2004.

<http://www.intel.com/research/silicon/nanotechnology.htm>

Drexler, E.K. (1986): *Engines of Creation*. Doubleday: Anchor Books.

Dunning, J. H. – Wymbs, C. (1999): The Geographical Sourcing of Technology-based Assets by Multinational Enterprises. = Archibugi, D. – Howells, J. – Michie, J.: *Innovation Policy in a Global Economy*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Feynman, R. (1959): *There Is Plenty of Room at the Bottom*. Caltech, www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html
- FISTERA (2004): *Key Factors Driving the Future Information Society in the European Research Area*. IPTS Institute for Prospective Technological Studies, European Commission Joint Research Centre.
- Foxon, T.J – Gross, R. – Chase, A. – Howes, J. – Arnall, A. – Anderson, D. (2005): UK Innovation Systems for New and Renewable Energy Technologies: Drivers, Barriers and Systems Failures. *Energy Policy*, Vol. 33, No. 16.
- Gans, J. S. – Stern, S. (2003): The Product Market and the Market for "Ideas": Commercialization Strategies for Technology Entrepreneurs. *Research Policy*, Vol. 32, No. 2.
- Gargini, P. (2004): *Intel Nanotechnology Overview*. Intel Nanotechnology Virtual Open House Conference. October 22, 2004. <http://www.intel.com/research/silicon/nanotechnology.htm>
- Ikezawa, N. (2004): *The Role of Venture Businesses in Supporting the Commercialization of Nanotechnology*. NRI Papers (Nomura Research Institute) No. 74. <http://www.nri.co.jp/english/opinion/papers/2004/pdf/np200474.pdf>
- Jacobsson, S. – Lauber, V. (2006): The Politics and Policy of Energy System Transformation — Explaining the German Diffusion of Renewable Energy Technology. *Energy Policy*, Vol. 34, (megjelenés alatt).
- Lehrer, M. – Asakawa, K. (2004): Rethinking the Public Sector: Idiosyncrasies of Biotechnology Commercialization as Motors of National R&D Reform in Germany and Japan. *Research Policy*, Vol. 33, No. 6-7.
- Montague, P. (2004): Welcome to NanoWorld. *Multinational Monitor*, Vol. 25, No. 9.
- Nanotechnology Research Directions (1999): http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Research.Directions/IWGN_rd.pdf
- PCAST (2005): President's Council of Advisors on Science and Technology: *The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel*. http://www.nano.gov/FINAL_PCAST_NANO_REPORT.pdf
- Plunkett, J.W. (2004): Major Trends Affecting Nanotechnology and MEMS Industry. *Plunkett's Nanotechnology & MEMS Industry Almanac*. Plunkett Research Ltd. Houston, Texas.

- Rieke, V. – Bachman, G. (2004): *Nanotechnology Conquers Markets*. German Innovation Initiative for Nanotechnology. BMBF, Bonn.
- Nanotechnology Initiative after Three Years. (2001–2003) *Journal of Nanoparticles Research*, Vol. 6, No.1.
- Roco, M.C. (1999): *Funding of Nanotechnology in Russia*. http://www.wtec.org/loyola/nano/Russia/O1_03.htm
- Szalavetz, A. (2004): Technológiai fejlődés, szakosodás, komplementaritás, szerkezetátalakulás. *Közgazdasági Szemle*, Vol. 51, No. 4.
- Szalavetz, A. (2002): „Új gazdaság”-jelenségek – A feldolgozóipar terciarizálódása. *Külgazdaság*, No. 12.
- Teece, D. J. (1986): Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing, and Public Policy. *Research Policy*, Vol. 15, No. 6.