

PETER MATHIAS

## Ki szabadította meg láncaitól Prométheuszt? (Természettudomány és technikai változások 1600 és 1800 között\*)

### I.

A gazdaságtörténész — szemben a tudománytörténésszel — nem önmagukért érdeklődik a természettudományok iránt, hanem saját utilitarisztikus céljait követi. Eközben kérdéseket tesz fel: milyen volt a kapcsolata valamely meghatározott időszak természettudományának a technológiával? Mennyire hatott a tudomány változása a technológiai változások folyamatára? Milyen mértékben járt együtt az ipari forradalom a tudományos haladással? Ha a középkortól a jelenkorig húzódó széles távot szemléljük, ezeknek a kapcsolatoknak igen érdekes változásait látjuk. Ennek a fejlődésnek kezdeti stádiuma általánosítva így írható le: felfedezések és tapasztalatok keletkeztek empirikus módon, a vas-, a textilipar, a serfőzés, a kelmefestés terén ipari eljárási módok alakultak ki és terjedtek el az illető anyagok jellegének és reakcióik módjának alapvető tudományos ismerete nélkül. A vaskohászatnál létrejövő vegyi folyamatok a XIX. század közepe tájáig nem voltak ismertek. Az erjedés kémiáját Pasteur alapozta meg. Lehetett ugyan némely szempontból szoros kapcsolat tudomány és technológia között, mégis egészen más volt a helyzet, mint ma. A mi világunkban az ipari fejlődés erősebben és közvetlenebbül függ a tudományos-technikai terület fejlődésétől. Ezt a kapcsolatot tudomány és ipar növekvő intézményes összefonódottsága támogatja.

A XVII. és XVIII. századi döntő periódusra vonatkozóan, amelynek folyamán rendkívüli előrehaladás történt a természettudományok területén csakúgy, mint a technológiában, gazdaság- és tudománytörténészek különböző módon válaszoltak a kétoldali kapcsolatokat érintő kérdésre. Hadd szerepeljen itt néhány. Sir Eric Ashby a következő eredményre jut: „Voltak férfiak, akik — mint mondani szokás volt — »tudományt műveltek« és kutatásokat folytattak. De munkájuk a művelődés ügyé számára kevésbé gyümölcsözőnek, a technológiai fejlesztések számára pedig úgyszólván jelentőség nélkül valónak számított. Gyakorlatilag nem folyt eszmecsere a tudomány művelői és mérnökök között, akik ipari eljárási módokat terveztek a gyakorlat számára.”<sup>1</sup> Hasonló eredményre jutott A. E. Hall: „... kevés okunk van azt hinni, hogy a korai szakaszokban tanultság vagy képzettség és a technológiai változások között kapcsolat állott fenn; sokkal inkább az valószínű, hogy praktikusán néhány száz évvel ezelőtti időig a civilizáció minden technikája képzetlen és névtelen emberek

\* Először megjelent „Who unbound Prometheus? Science and technical change 1600—1800” címmel a Yorkshire Bulletin of Economic and Social Research 21, 1. számában (1969 május).

<sup>1</sup> E. Ashby: Technology and the academics, London/New York. 1958, 50—51.

műve volt.”<sup>2</sup> D. Landes egészen 1850-ig terjedőn képviseli ezt a felfogást.<sup>3</sup> Emellett fontos látni azt, hogy Sir Eric Ashbey főként az 1760-tól 1860-ig terjedő évszázad, Hall pedig az 1660-tól 1760-ig terjedő idő fejleszteseiről szól.

Azonban számos kutató világosan és érthetően az ellenkezőjét állítja. „A tudományos gondolkodás folyamata Angliában” — írja Ashton — „egyike volt az ipari forradalom legfontosabb forrásainak ... A mérnökök, kohótulajdonosok, ipari vegyészek és szerszámkészítők neve jelzi a Royal Society tagsági jegyzékében, milyen szoros volt a kapcsolat abban az időben tudomány és gyakorlat között.”<sup>4</sup> Rostow, aki a nyugateurópai gazdasági változások teljes tartományát szemléli, a középkor utáni Európa két lényeges ismertetőjelének nevezi „a Nyugat-Európán kívüli területek felfedezését és újrafelfedezését, és a modern természettudományos megismerés és reagálásmód kezdetben lassú, majd gyorsabb fejlődését”.<sup>5</sup> A két lényeges, a gazdasági gyarapodást ösztönző kibontakozás, melyeket Rostow nem korlátoz sem meghatározott időszakra, sem pedig meghatározott területre, a következő: „a hajlandóság az alapvető tudományok fejlesztésére, és a készség a természettudományoknak gazdasági célok érdekében való alkalmazására”.<sup>6</sup> E. Robinson és A. E. Musson nemrégiben megkísérelték Angliára vonatkozóan azt bizonyítani, mennyire kiterjedtek voltak a kapcsolatok az innovációk és természettudományok, a kutatók és vállalkozók között.<sup>7</sup> A két szerző úgy véli, hogy ez az együttműködés segítette Angliát „megszerezni a Kontinensen azt a tudományos vezetést, amely aztán megalapozta ipari fölényét”<sup>8</sup> s a Lunar Societyt — amelyről ma nagy terjedelmű dokumentumok állnak rendelkezésre —, „az ipari forradalom modellje vagy élcsapata”-ként jelölték, mivel „az iparosítás kritikus fejlődési fokozatainak a tudományos kutatás erős áramlatai szolgálnak alapul”.<sup>9</sup>

Felsorolhatnánk mindkét oldal részéről még több ilyen általános megállapítást. Ha a történészek szisztematikusan és a részletekre vonatkozóan növekvő pontossággal folytatják majd a vegyipar különböző ágazataiban és eljárási módozataiban bekövetkezett fejlődés feltárását más ipari ágazatokban is, vagyis követik A. és A. N. Clow útmutató művét a kémiai forradalomról (1952); ha többet tárnak fel a különböző helyi társulásokról, amelyek a XVIII. században a birminghami Lunar Society irányelvei alapján az egész ország területén kialakultak, akkor a mérleg a pozitív oldal felé hajlik majd, és világosabbá válik a szoros kapcsolat a tudományos és technikai haladás között. Nyomatékosabban: „... a találmányok anyja a természettudomány, apja a tőke”.<sup>10</sup>

<sup>2</sup> A. R. Hall: The historical relations of science and technology (székfoglaló), 1963; J. D. Bernal; Science in history, London. 1954, 345—346, 352, 354—355, 365—366, 370 hasonló véleményen van.

<sup>3</sup> D. Landes: Cambridge Economic History of Europe, VI. kötet, T. 1, Cambridge. 1965. 550—551.

<sup>4</sup> T. S. Ashton; The industrial revolution, Oxford. 1948. 15—16.

<sup>5</sup> W. W. Rostow: The stages of economic growth, Cambridge. 1960, 31.

<sup>6</sup> W. W. Rostow: The process of economic growth. New York. 1952, 23.

<sup>7</sup> A. E. Musson és E. Robinson: Science and industry in the late 18th century, Economic History Review, XIII, 1960, 222—244.

<sup>8</sup> E. Robinson: The Lunar Society and the improvement of scientific instruments II, ANNALS of Science XIII, 1957.

<sup>9</sup> R. E. Schofield: The Lunar Society of Birmingham, Oxford. 1963. 410, 437. Az érvelés a 436—440. oldalakon kerül összefoglalásra. Lásd még a University of Birmingham Historical Journal, XI. 1. sz. 1967 különkiadását, amelyet a Lunar Societynek szenteltek, kiváltképp E. Robinson, M. J. Wise és R. E. Schofield cikkeit; E. Robinson: The Lunar Society. Its membership and organization. Transactions of the Newcomen Society XXXV, 1962—1963.

<sup>10</sup> T. H. Marshall: James Watt, 1925. 84.

Ezek mellett a feltételek mellett szükséges a kérdés további vitája. Előjáróban hadd fűzzünk ehhez néhány megjegyzést. A tudományos ismeretek komplexusa és a technikai innovációk közötti egyszerű, egyenes vonalú ok-okozat-összefüggés feltevése nélkül egyetlen ok vagy egyetlen változó segítségével nem lehet elemezni az olyan sokrétű történeti fejlődést, mint amilyen a renaissance-é, a francia forradalomé, a római birodalom hanyatlásáé vagy az ipari forradalomé. Végeredményben lehetetlen e történeti fejlődések okozati összetevőinek a kvantifikációja, látván a bizonyítékok rideg természetét, s a benne foglalt közvetlen vagy közvetett kölcsönösségi kapcsolatok finomságát. Ezért nem lesz lehetséges semmilyen racionálisan kielégítő bizonyíték arranézve, hogy valamely válasz abszolút „korrekt”, a tudományos ellenőrizhetőség értelmében. A történelem sajnos nagyon pontatlan tudomány, mint azt gazdaságtudománnyal foglalkozó kutatók — a természettudományt művelőktől teljességgel eltekintve — csalódottan kénytelenek megállapítani. Emellett ezen a területen a végső következtetéseket erősen befolyásolják módszertani problémák és a meghatározás kérdései. Az ilyen általános témákról folytatott viták elhalnak a szemantikus véleménykülönbségek tömege és a szisztematikusabb kutatást szólító kiáltás mögött. Mit foglalunk bele az „innováció” fogalmába, és hogyan határoljuk körül e fogalmat? A XVII. és XVIII. század e tudósainak a ténykedései — szigorúan véve — „tudományosak” voltak-e? Valóságos tudományról volt-e szó, amelyet később valamiféle sajátos, objektív norma szerint, Bacon vagy a mechanisztikus tradíció értelmezésében ragadtak meg? Vagy szédelgésről, tévedésről, irracionalitásról volt-e szó, s benne a mágia, az alkimia vagy az okkultizmus valamiféle tradíciója talált követésre? Hová sorolható be például Jethro Tull, aki a mezőgazdasági „tudományos” technikát illetően fátorgó buzgón, de azt tettezte fel, hogy a levegő a leglényegesebb trágyázó szer, és hogy ennek következtében a talaj termőképessége egyenest és kizárólag a szántás és a talajlazítás gyakoriságától függ. Érdekes kérdéseket vet fel az, hogy tudományos szélhámosság, ál-tudomány, rosszul értelmezett tudomány és amatőr-tudomány a XVII. és XVIII. században főként a vegyészeti területén lépett fel (ott, ahol a tudomány és az ipar közötti közvetlen kapcsolat feltehetően a leglazább volt). Vajon a történész, aki *ex post facto* és a járulékos tudás előnye (egyetlen hivatásbeli előnye) alapján ítélkezik, ezeket a gyakorlati embereket szándékaik és motivációik alapján ítélje-e meg? Vagy pedig eredményeik alapján mérje fel őket — bármilyen hamisak lehetnek is a hipotéziseik?

E bevezető megjegyzések után ebben a munkában először a pozitív esetet vegyük szemügyre, a tudomány és a technika meglevő kapcsolatát — majd szükség lesz néhány fenntartásra.

A kulcskérdés, melyre válaszolni kell, nem az, hogy a természettudomány és az ipar kapcsolatára nézve milyen példák találhatók a jelzett korban. Sokkal inkább azt kell kifejteni, mennyire voltak fontosak, más hajtóerőkkel összehasonlítva, a tudományos ismeretek az ipari haladás számára. Az innovációk gyarapodásának motorjaként lehet-e őket tekinteni, vagy pedig előfeltételüként? Röviden szólva, mennyire voltak kiterjedtek, fontosak, közvetlenek ezek a kapcsolatok.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Ezeknek az összefüggéseknek a problematikájához a XVII. században, figyelembe véve a vallás befolyását, vedd össze C. Hill: *The intellectual origins of the English revolution*, Oxford, 1965; C. Hill, H. F. Kearney és T. K. Rabb: *a Past and Present-ben*, XXVIII. köt. 81; XXIX. köt. 88; XXXI. köt. 104. és 111; XXXII. köt. 110. Ez a vita, amelyet itt nem kívánunk rész-

## II.

Ha a gazdaságtörténet eredmények helyett (amelyeket nehezebb felismerni) intenciókat, törekvéseket és fáradozásokat vesz szemügyre, akkor a kapcsolatok valóban igen erősnek látszanak. A XVII. század óta sok kutató, gyáros, publicista és állami hivatalnok állapította meg, hogy a tudomány és az ipar összekapcsolása fontos és buzdításra érdemes. A restauráció idejének legtöbb „hivatásos” kutatója számára a technikai eljárások javítása az anyag világához tartozott, a tudomány egy technológiai utópia szolgálatában alárendelt dolog volt, s ezért nem is becsülték sokra. Ennek ellenére sokan dolgoztak mindkét vonalon, például Robert Boyle, a tiszta tudományén, és annak a gyakorlatban való alkalmazásán. Elismerték, hogy a tudomány *egyik* feladata lehet, hogy segítsen, ahol ez lehetséges. Boyle értekezése, *Usefulness of natural philosophy* (1664), szisztematikusan áttekintést adott a módszerekről, amelyek akkor az iparban alkalmazást nyertek, a lehetőségekről, amelyek útján a természettudományok ezeket az eljárásokat megjavították, és továbbra is javítani akarták. „Ezeket a mechanikus eljárásokat”, írja, „valójában, a legtágabb értelemben, mint a természet történetének részét kell felfogni.”<sup>12</sup> „Sok valóságos haszon adódik, amely matematikai vagy filozófiai vizsgálódásokból meríthető”, írta J. Wilkins 1648-ban. „Ez főként azokra a férfiakra vonatkozik, akik vagyonukat olyan költséges kalandokra fordítják, mint bányatalepek, szénbányák kiaknázása, és hasonlók . . . és azokra az egyszerű kézművesekre is, akik a munkamódszer jó ismeretével bírnak.”<sup>13</sup> Boyle maga különösen a bányászati és kohászati, továbbá a mezőgazdasági eljárások kutatásával foglalkozott. Mások a serfőzés tudományának szentelték magukat. Hogy szándékát, ha ugyan nem eredményeit is, jelezze, John Richardson könyvének címét: *Philosophical principles of the „art” of brewing* így változtatta meg: *Philosophical principles of the „science” of brewing*.<sup>14</sup> Az első változatot London legnagyobb serfőzői nagy érdeklődéssel fogadták. R. Shannonnak inkább a gyakorlatra utaló címet viselő könyve: *Practical treatise on brewing*, elsősorban védőbeszéd volt amellett, hogy serfőzők és pálinkafőzők hasznot kellene hogy merítsenek a kapcsolatokból „a szellem embereivel, akik mint a legfontosabb alapelvek ismerői, a témát inkább metodikailag szemlélik”. „A kémia”, vélte Shannon, „éppenúgy alapja a kézműiparnak és a gyáriiparnak, mint ahogyan a matematika alapvető elve a mechanikának.”<sup>15</sup> Ők a hagyományos nézetet képviselték, amely csak azután került revideálásra, amikor Pasteur és mások a XIX. század végén valóban tudományos felfedezéseket tettek, amelyek az iparon belüli technológia számára nagy jelentőséggel bírtak.

Hogy a XIX. századi tendenciákat láttassuk, hadd idézzünk itt példaképpen — sokak közül — két jelentős viktoriánust. Charles Babbage, az *On the economy of machinery and manufactures* (1835) szerzője, így következtetett: „. . . lehetetlenség fel nem ismerni, hogy az ország kézműipari és gyáriipari

letezni, visszanyul R. K. Merton egy tézisére, *Science, society and technology in 17th century England*, az *Osiris*-ban, IV. köt. (1938), amely viszont Max Weber sokkal régebbi vizsgálódásaira támaszkodik, a protestantizmus és kapitalizmus közötti kapcsolatokról.

<sup>12</sup> Vö.: A. R. Hall: *Ballistics in the seventeenth century*. Cambridge. 1952. 3; továbbá G. N. Clark: *Science and social welfare in the age of Newton*, Oxford. 1937. 14.

<sup>13</sup> J. Wilkins: *Mathematical, magick*, London. 1648. VI.

<sup>14</sup> J. Richardson: *Philosophical principles of the art of brewing*, 1788; *Philosophical principles of the science of brewing*, 3. kiad. 1805.

<sup>15</sup> R. Shannon: *Practical treatise on brewing*, 1804, 48—49.

ágazatai szorosan összekapcsolódnak az egzakt tudományok fejlődésével. A további ésszerűsítésekhez vezető út csak akkor lehet sikeres, ha ez a kapcsolat még szorosabbá válik.”<sup>16</sup> Az 1851. évi világkiállítás egyik szervezője, a reveláló és profetikus szavai miatt híres skót Lyon Playfair így írt: „A nyersanyag, mely korábban fő előnyünk volt a többi nemzetekkel szemben, a szállítási lehetőségek javulása következtében az árban fokozatosan kiegyenlítődik és mindenki számára hozzáférhetővé válik. Az ipart a jövőben nem a helyi előnyök, hanem az intellektusok versenye kell hogy előmozdítsa.”<sup>17</sup> Az ilyen kapcsolat léte megállapítható volt és az maradt mindmáig.

Ilyen intenciók mellett konkrét tettek is voltak. Az állam azon igyekezett, hogy a tudomány művelőit utilitarisztikus célokra állítsa be. Erre nézve példák hosszú listáját lehetne összeállítani: ballisztika, hajózás (a kartográfia tökéletesítése, tudományos műszerek, asztronómia, matematikai táblázatok, az időelemzés pontossága alkották ennek háttérét). Sok gyógyászati kísérletet támogatott az admirális, amely azzal a problémával került szembe, hogy a hosszú időn át külföldön működő flották bevetési képességét fenntartsa, a skorbut és egyéb betegségek dacára. Mind a standardizálást a termelésben, a hajógyárakban, a cserélhető részek gyártásánál, mind a pontos mérési módszerek fejlesztését erősen támogatták. Különös figyelemben részesült az az ipari és tudományos tevékenység, amely hasznossá válhatott háború idején. Egészen általánossá lett a XVII. században, hogy nemzeti rivalizálások jelentősebbé váltak, mivel számos technikailag élenjáró iparágban találmányokra ösztönöztek: az export-iparokban, a cukorfinomítóknál, a pálinkakészítésben, üvegfúvásban, a selyemiparban, a dohányiparban, könyvnyomtatásban, papírgyártásban stb.<sup>18</sup>

Amint Franciaországban az 1666-ban alapított Académie, akként testesítette meg Angliában az 1662 óta fennálló Royal Society ezt az államérdeket az utilitarisztikus kutatás terén, ámbár gyakorlatilag semmiféle közpénzekkel nem rendelkezett. Ezt a célt az első alapszabály világosan megfogalmazta. Az alapszabály bevezetőjének tervezete így szólt: „A Royal Society feladata kísérletek által jobbá tenni a természet jelenségeiről, minden hasznos kézműipar, gyáripar, a mechanikai eljárási módokat, gépek és találmányok terén való tudást. . . ”<sup>19</sup> Világosabban nem lehetett volna kifejezni a célokat. Első krónikása, Thomas Sprat, hangsúlyozta annak szükségességét, hogy a kutatók munkája a technológiára koncentráltsáék, vagyis „a városok hasznára, ne pedig iskolák elkülönülésére”<sup>20</sup> szolgáljon. Pepys arra serkentette a tagokat, „alapvetően olyan kísérletek és megfigyelések felé forduljanak, amelyek nagy és közvetlen haszonnal járhatnak”, s a Társaság jegyzőkönyveinek átvizsgálását rendelte el, a hajózás megjavításának módszereit keresve. A király, akit „tervezet készítő” roha-

<sup>16</sup> C. Babbage: On the economy of machinery and manufactures, 4. kiad. London. 1835. 379. 453. §.

<sup>17</sup> L. Playfair: Lectures on the results of the great exhibition of 1851. 1852. Ehhez a beszámolóhoz 1864-ben különböző királyi bizottságok csatlakoznak; vö. a Taunton commission report-ot a technikai és tudományos képzésről. Mark Patteson ugyanezt a követelményt állította fel a Suggestions for academical reformban, 1868.

<sup>18</sup> G. N. Clark: Science and social welfare in the age of Newton. 1937, 51. és következők.

<sup>19</sup> Lásd még M. Ornstein: The role of scientific societies in the 17th century, 1928. 108—109. A francia Académie des Sciences utilitarisztikus céljai részleteit illetően vö. az 5. fejezetet.

<sup>20</sup> T. Sprat: History of the Royal Society, 1667. Lásd még J. G. Crowther: The social relations of science, London. 1967. 274—287; C. R. Weld: A history of the Royal Society, London. 1848. I. 146. és folyt., IV. 5. rész.

moztak meg valamely iparág megmentését vagy a franciák megsemmisítését szolgáló titkos fegyverekkel, az ilyen javaslatokat a Royal Societyhez utalta ellenőrzésre. A tagság ezért különböző bizottságokba tömörült. Erre az általános érdeklődésre példa a XVII. századi *Philosophical transactions*. Praktikus alkalmazás lehetőségével bíró kísérleteknek és tudósításoknak ugyanannyi, ha ugyan nem több teret biztosítottak, mint bármely más problémának. Bizonyára ez az innovációk táptalaja. A Royal Society korai szakaszában azután a szikra átpattant a fővárosból a vidékre, ahol olyan társulások, mint a Lunar Society Birminghamben, és sok más kevésbé ismert egyesülés, műkedvelő kutatókat gyártulajdonosokkal hoztak össze.<sup>21</sup> Az olyan ismeretlen városok is, mint Spalding és Peterborough, büszkélkedtek ilyen csoportokkal.

Gondoljunk azokra a technikai újításokra, amelyek tudományos fejtegetések és a tudomány és ipar embereinek társadalmi érintkezése folytán keletkeztek, vagy így látszottak keletkezni. Mindenekelőtt a gőzerőre, de a felnövekvő vegyészeti iparra is, a maga klóros fehéritési eljárásával, kénsavgyártásával, szódakészítésével és szénfelhasználásával. Ezeket a kapcsolatokat James Watt, Dr. John Roebuck, Josiah Wedgewood, Lord Dundonald testesítik meg. Feltétlenül figyelemre méltó az amatőrtudomány iránti érdeklődés és a természettudomány és ipar kapcsolódására való törekvés. E tekintetben Anglia feltehetően egyedülálló Európában. Eric Robinson és A. E. Musson kutatásaik során felfedték, milyen erős volt ez az érdeklődés. Azt mondhatjuk, hogy kifejezett szubkultúrát képeztek.

Mindemellett a XVIII. század végéig a matematika nagyobb szerepet játszott, mint a természettudományok. A navigáció módszerei és a tengerhajózás terén való ésszerűsítések (amelyeket nemcsak a haditengerészet támogatott), a földmérési módszerek a tulajdonjog szempontjából, a könyvvitel az üzleti élet számára, az érc-elemzés módszere, a műszaki rajz és a szemüveggészítés, mind példa az olyan ismeretekre, amelyek a matematikai tudást hasznosították. A quäkerek és a nonkonformisták új nevelési módszereket célzó terveiben a modern tudományoknak elsőbbségük volt. Ebben is nagyobb jelentőséget tulajdonítottak a matematikának, mint a természettudományoknak.<sup>22</sup> Ezt az igazságot húzzák alá egy híres férfiú megfigyelései, aki új matematikai ismereteket praktikus célokra alkalmazott: „Képesek vagyunk kikeresni valamely hajó állomáshelyét a tengeren, legfeljebb egy-másfél fok eltéréssel; sőt, az eltérés általában fél foknál kisebb”, írta James Cook kapitány. „Jelentékeny a navigáció kifinomulása a tabellák által, amelyeket a jelenkor csillagászai a Board of Longitude irányításával közzétettek . . . Ezek a tabellák a számításokat hihetetlen módon megrövidítették és egyszerűsítették; nem lehet őket minden tengerésztsztnak eléggé a figyelmébe ajánlani . . . Nagy az érdemük a matematikai műszerek készítőinek is, a pontos és ésszerű matematikai műszerek. Mert a jó műszerek nélkül a tabellák kevésbé lennének hasznosak.”<sup>23</sup> Az ilyen matematikai szakismeretek szükségessége egy kereskedelmet űző, tengeren

<sup>21</sup> D. Mckie: *Scientific societies to the end of the 18th century*, A. Feguson (kiadó) *Natural philosophy through the 18th century*-ban, 1848; E. Robinson: *The Derby Philosophical Society*, *ANNALS of Science*-ben, IX. köt. (1953); R. E. Schofield: *The Lunar Society of Birmingham*, Oxford. 1963. 29 hasonló társaságot sorol fel.

<sup>22</sup> S. Pollard: *The genesis of modern management*, London. 1965. 4. fejr. J. D. Bernal: *Science in history*. London. 1954. 346.

<sup>23</sup> *Journals of Cpt. James Cook (1768—1779)* kiad. A. Grenfell Price, New York, Heritage Press (é. n.), 112, 113 (1773. január 14-re vonatkozóan).

hajózó nemzet számára elegendő volt ahhoz, hogy ezt a tudományt a XVIII. század angol iskoláiban alaposan oktassa. A példák szaporítása helyett — ami nem lenne nehéz —, a következőkben csak néhány bekövetkezett problémával kívánunk foglalkozni.

### III.

Az első nehézség ugyan összeurópai megfigyelés számára nem bír nagy jelentőséggel, de fontos kérdéseket vet fel, ha egy országon belül kapcsolatba hozzuk a természettudományokat az innovációkkal. Ha azonban az Európán belüli természettudományos megismeréseket és azok jelentőségét a technika számára (vagyis a technológia elterjedtségének általános színvonalára, nem pedig optimális, gyakorlatilag lelt módszerek egyes példái számára), összehasonlítjuk más országokkal — például Kínával —, a komplikáció alapvetővé válik. Amiről szó van, az az a tény, hogy legtöbbször az egyes nemzeteknek az ipari növekedés és az innovációk terén való teljesítményeinek különbségeit vizsgáljuk akkor, amikor meg akarjuk magyarázni, miért járt ezen az úton a brit gazdaság jóval minden más ország előtt, s bírt relatíve nagy előnnyel új módszerek bevezetésében és új iparágak fejlesztésében az 1750 és 1850 közötti időkben. Ez különösen a technológia általános nívójára, a fejlődő iparok (textilipar, fémek termelése és megdolgozása, szerszámgyártás, gépipar, energiatermelés, vegyészeti ipar, valamint kerámia- és üvepipar) produktívására és össztermelésére vonatkozik.

A tudományos ismeretek ellenben nem összpontosultak Nagybritanniában egyenletesen. Ez különösen a vegyészetre érvényes, ahol feltehetően a legszorosabb volt a kapcsolat a tudományos ismeretek és ipari újítás között. A tudományos megismerések fejlődése európai jelenség volt. Franciaországban sokkal nagyobb mérvű volt a tudományok állami támogatása az Académie des Sciences-ön túl, a katonaság és az ipar révén. Példa erre a Sèvres-i állami porcellángyár kutatási osztálya, amelynek keretében mázakat, zománcokat, színeket kutattak. Akadémiák jöttek létre a tartományok fontos városaiban is.<sup>24</sup> Réaumur *Description des arts et métiers* című, 1761. évi műve jobban kimunkált rendszert jelez, mint az akkoriban Nagybritanniában ismertek bármelyike. Egészében, a technológia területén francia kutatók több szisztematikus munkát végeztek, mint az angolok. Olyan országok, amelyek még iparosítást nem (de nyilván szorongató katonai szükségességet) ismertek, hasonló akadémiákat alapítottak. Amellett az állam támogatta a praktikus tudományokat, különösen azokat, amelyek katonai sikerek, továbbá sok magánérdek szempontjából hasznosak voltak. Példa erre Svédország, Oroszország, Poroszország és Olaszország. Egy ír királyi akadémia is virágzott. Ezek a befektetések és fáradozások meghaladhatták az angliaiakat, akár abszolút értelemben (mint Franciaország esetében), akár pedig relatíve (egy ország gazdaságához mérten), anélkül hogy az eredmények az ipari gyarapodás számára nagyobb mértékű ösztönzést jelentettek volna.

Franciaország mérlege tudományos haladás és találmányok vonalán a XVIII. században figyelemre méltó volt.<sup>25</sup> Bertholet elsőként ismertette meg a

<sup>24</sup> F. A. Yates: *The French academies of the 16th century*. London, 1947; H. Brown: *Scientific organisations in 17th century France* 1934.

<sup>25</sup> Illusztrációként lásd. S. T. McCloy: *French inventions of the 18th century*, 1952 és *Government assistance in 18th century France*, Cambridge, 1946.

világgal a klórral való fehérités lehetőségeit, azzal a klórral, amelyet tisztán gáz formájában, első ízben 1774-ben Scheele svéd kémikus izolált. Ezt intenzív erőfeszítések követték Franciaországban a klórgyártás fejlesztése érdekében. Miután Leblanc sóból és kénsavból szódát készített, hasonló fellendülés következett be. Franciaországban igen gondos munkát végeztek festékanyagok készítése terén (lakkokkal, emailokkal és sokféle egyéb módszerrel és anyaggal). Az 1780-tól 1850-ig terjedő években mégis feltűnő különbség állapítható meg Franciaország és Nagybritannia között az iparnak az új vegyészeti ismereteken nyugvó növekedési rátáit tekintve. Az építészetben a konstrukciók szerkezetét, teherbírását és mechanikáját illető jóformán teljes elméleti munka franciáktól származott. Amennyire a gazdasági fejlődést érintette, úgy látszik ez nemigen volt összefüggésben a fejlődés gyorsaságával, sem az e téren való innovációkkal. Ugyanez volt érvényes az energiatermelésre is. A feltárás és a felhasználás folyamata jellemző módon nem a találmányok fejlődésével párhuzamban folyt le.

A kérdés folytatása még érdekesebb lenne, azonban e helyütt nem követjük. Kínában a tudományos mechanika terén elért magas szintű tudás még kevésbé befolyásolta ez óriási terület ipari technikájának vagy ipari növekedésének általános szintjét. Tudósok, hivatalnokok és elszigetelt csoportok kicsi zárt körére korlátozódott, amely a nemesség és az uralkodó pártfogását élvezte, elszigeteltbben mint például Pétervárott. Ezért nehezen állítható, hogy új tudományos ismeretek és alkalmazott természettudományok folyamata döntő jelentőségű változó. Az ilyen fejlődés lehet előfeltétele a haladásnak, de nem feltétlenül indítja el a tudománynak a gazdaságban történő felhasználását.

Másodszor, az ismeret és cselekvés közötti időbeni különbség kétségesse teszi az egyszerű, közvetlen függő viszony létét. A gazdaságtörténezt jobban érdekli az innováció, és annak elterjedése, mint a találmányok önmagukért. Kutatja a találmányok beindítását a termelési folyamatban, s vele minden költségét és problémáját annak az átalakulásnak, ahogyan nem kereskedelmi; akadémikus környezetben kifejlesztett laboratóriumi eljárások ipari termelési eljárásokká lesznek, melyeknek a rentabilitás a létfeltételük. Nem is az új ipari eljárások egyes példái érdeklik elsősorban, sokkal inkább az innováció elterjedése, egészen addig, ameddig kezd mutatkozni egy olyan iparág általános termelési szintjén, költségein és produktivitásán, ahol az újítás alkalmazása már elég nagy ahhoz, hogy az ipar teljesítményét jelentékenyen befolyásolja. Meglepő időbeli eltolódások is adódtak, amelyek közül néhányat itt meg kell említeni. A menetvágást szolgáló esztergapadot, a precíziós eszközök készítésének alapját, amely lehetővé tette a teljesítőképes gépipart, már Leonardo da Vinci kidolgozta jegyzetfüzeteiben. Ezt a gépet a XVIII. század közepén Franciaországban újból ábrázolták a *Description des arts et métiers* órákészítő szerszámról szóló fejezetében, s ettől függetlenül Maudslay is megkonstruálta. Csak ennek innovációja tette a gépi szerszámok készítésének alapjává. Sir T. Lombe selyemcérnázógépét, amelyet első ízben angol gyárban alkalmaztak 1709-ben, már 1607 óta ismerték és használták Olaszországban. Ezt a gépet ábrázoló műves metszet már látható volt egy könyvben, amely 1620 óta állt a Bodleian Library állványain, a nyilvánosság számára hozzáférhetően.<sup>26</sup> Ugyanez érvényes a hajtóművekre, és a fogaskerekek, hídszerkezetek, szivattyúk, szállítócsigák, archimedeszi csavarok, folyamduzzasztók, a tömegprodukciónak szolgáló tükészítő gépek

<sup>26</sup> G. N. Clark: i. h.



és egy sereg más dolog tervrajzára (amelyek mind megtalálhatók Leonardo művében).<sup>27</sup> Másik példa a gőzerő. A zsilip (Docktor/pound lock) már a XV. századi németalföldi hajógyárakban ismert volt, mint a szárazdokk alapvető technikája, s a XVI. században Anglia átvette. A technikailag ezeket alig meghaladó álló víző csatornarendszereket csak a XVIII. században építették.<sup>28</sup> Nagy időkülönbségek megfordítva is vannak, a technikai tapasztalat által meghatározott ésszerűsítések és az őket magyarázó tudományos érdeklődés jelentkezése között.<sup>29</sup>

Az időköznek ezzel a problémájával meghatározott jelenségek kapcsolódnak össze; például egyidejű találmányok (amelyek spontán és egymástól függetlenül különböző helyeken, jóformán azonos időpontban jöttek létre), elfelejtett eljárások újra-feltalálása vagy alternatív-találmányok, amelyek időben majdnem egybeesnek, de más-más módszereket alkalmaznak a cél elérése érdekében. Mindez arra utal, hogy találmányok csak akkor alakulnak át innovációkká és új eljárások elterjedtségévé, ha a gazdasági lehetőségek adottak. Az időbeli egymást követés meghatározó tényezőit hosszú távon általában nem-technikai körülmények határozzák meg. Ezek a tényezők különböző gazdasági kritériumok lehetnek: a piac bővülése, amely indítékot ad a termelés növekedésének, és egyúttal új módszereknek is; tőke szerzésének kedvezőbb lehetőségei; egy tényező költségének változása<sup>30</sup> (ha például a munkaerő viszonylagosan megdrágul vagy kevésbé irányíthatóvá válik, vagyis érdemesnek tűnik a munkaköltségeket csökkenteni). Fellendülési körülmények, amelyek a kínálat szűk keresztmetszetét teremtik meg, nagyobb nyereségeket tesznek lehetővé és expanzióra csábítanak, vállalkozási kedvet teremthetnek. Egy dinamikus egymást követés esetében, vagyis egy népgazdasági folyamat lefutásakor, amelyben azonban még futnak bizonyos innovációk, előfordulhat, hogy egy depresszió a költségcsökkentésre irányuló nyomás miatt ugyancsak létrehozhat további innovációkat. Maga az innovációs folyamat különböző módon egyensúlytalanságot teremt; a kiiktatására irányuló kényszer megteremti további változtatások szükségét, ezek aztán önmagukat erősítik. Ezek valójában technikai jellegűek lehetnek, de ismét új szükségleteket teremtenek. A kauzális viszonyok az ipari kereslettől új tudás felhasználása felé tartanak. Az időpontot inkább az ipar üteme szabja meg, mintsem kívülről az új tudomány bekapcsolása. De vannak más faktorok is, a szociálisak, politikaiak és a jogiak, amelyek befolyással vannak a kockázatra. Végül pedig, a „vállalkozás szelleme” hatalmasabbnak bizonyulhat, mint ezeknek a többi kritériumoknak az összessége.

A motivációknak ez a módja valószínűleg érzékelteti az ebben az időszakban érvényesülő kritériumokat. Véleményem szerint ezek határozzák meg, hogy a természettudományos ismereteknek mely részei kerülnek elfogadásra, fejlesztésre és alkalmazásra, s melyek maradnak felhasználatlanok; meghatározzák, mely találmányok maradnak parlagon, s melyeket kapnak fel gyorsan,

<sup>27</sup> I. B. Hart: *The World of Leonardo da Vinci*, London, 1961.

<sup>28</sup> A felmérés módszerei a késői XVI században bizonyosan eléggé fejlettek voltak, hogy a csatornaépítést megkönnyítsék. A New—River-terv kivitelezése, melyen át Hertfordshire-ből Észak-Londonba kellett volna vizet áthozni, a csatorna komplikált haladási irányának meghatározásánál és az ehhez megkívánt számításoknál magasfokú tudásról tanúskodik.

<sup>29</sup> A. R. Hall, M. Clagett: *Critical problems in the history of Science*-ban, 1959. 16—17.  
<sup>30</sup> „... minden árváltozás, ami egyrészt költségemelkedéseket, másrészt nyereszkesedési lehetőségeket teremt, kettősen ösztönöz találmányokra.” (A. Plant az *Economic*-ban (1934), 38., idézi Clark id. h.)

esetleg a feltaláló ország határain túl. Így magyarázható a vegyi fehéritő eljárás gyors bevezetése az angol pamutiparban, Franciaországgal ellentétben. Az anyagok termelésének erőteljes bővülése folytán abszolút szükségessé vált a Franciaországnál gyorsabb fehéritő eljárás. A természettudományokkal foglalkozó történészek egy ideje nagy jelentőséget tulajdonítanak annak a hatásnak, amelyet az empirikusan kidolgozott eljárásmodok és a mechanikus iparágak kézműves-technológiája gyakorolt a tudomány fejlődésére a XVI. és XVII. században.<sup>31</sup>

Ez azonban nem dönti meg a „pozitív” egyenlet magvát. Az „alkalmazott tudomány”, amely a XVII. század óta kétségtelenül a könyvnyomtatásban találta meg a tudás terjesztésének alkalmas eszközét, „alaptőke”-ként az ismeretek hatalmas készletét, úgyszólván a szaktudás könyvtárát kell hogy megalkossa, ahová a vállalkozók, a nemzeti határokon túl, fordulhatnak, ha új technológiákat akarnak bevezetni — miközben az időpontot bizonyára alaposan befolyásolták az ipar intern tényezői és impulzusai. Enélkül a „készlet” nélkül, amelyet a természettudományos ismeretek fejlődése produkált, a fejlődés hatóköre — így hangzik az érvelés — korlátozott lett volna.

Ez a megállapítás újabb kérdéshez visz át: Milyen mértékben tudták az iparból kiinduló hajtóerők megteremteni az innovációk és egyéb folyamatok számára a feltételeket, amelyek lehetővé tették az egyenletesen gyarapodó haladást? Milyen fokig keletkezett az ipar tapasztalati köréből az innovációk áradata, ahelyett hogy a tudományok révén kívülről került volna be, amelyeket saját hajtóerőik összessége bírt fejlődésre? Ez megint ahhoz a kérdéshez vezet el: mennyiben adta maga az ipari kereslet, a fogyasztók szükségleteivel együtt az ösztönzést ebben az időszakban a tudás bővítéséhez, vagyis milyen visszahatások ill. ösztönzések adódtak.

Ha a természettudományok hozzájárulásainak hatékonyságát eredményeik szerint, *ex post facto* ítéljük meg, ahelyett hogy igyekezetüket vennénk alapul, akkor jelentőségük erősen kisebbedik. Például a nagyszámú mezőgazdasági kísérletek közül, amelyeket a Royal Society korai időszakában elvégzett, csak igen kevésnek volt valamelyes közvetlen hatása a mezőgazdaság termőképességének a fokozására. Ami a vegyészetet illeti, csak a XVIII. század végén mutatkoznak közvetlen kapcsolatok a tudományos haladás és az ipari terjeszkedés között. A kémia terén való haladást közvetlenül a burzsoázia kereskedelmi és ipari növekedésének kezdete között tehát fáziseltolódás lépett fel. A mechanikában a XVII. században elért nagy előrelépések — amelyek azt a leginkább fejlett tudományok egyikévé tették —, a ballisztika magas szintű elméleti rendszerét hozták létre. Az eredményeken mérve mégis úgy tűnik, hogy az elmélet egészen a Krimháborúig nem hatott észrevehetően a fémgyártás vagy fém-megmunkálás, a lövedék öntése vagy a kilövés innovációs folyamataira.<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Például *P. Rossi*: Francis Bacon, London. 1968, 9; *E. J. Dijksterhuis*: The mechanisation of the world picture, Oxford. 1961. 243—244; *A. R. Hall*: From Galileo to Newton, 1630—1720, London. 1963. 329—343; *A. R. Hall*: The scientific revolution, London. 2. kiad. 1962. 221, 225, 236; *J. D. Bernal*: Science in History. London. 1954, 345—346, 371. Nem tudom magamévá tenni a doktrinér marxizmus álláspontját, amely szerint a természettudományos ismeretekben való haladást közvetlenül a burzsoázia kereskedelmi és ipari érdekei határozták meg. *Lásd B. Hessen*: Science at the cross-roads és a vita, amely összefoglalva G. Basallanál (Kiad.), The rise of modern science . . . , 1968, található.

<sup>32</sup> *A. R. Hall*: Ballistics in the seventeenth century, Cambridge. 1952. A „tudomány” majdhogynem teljesen elvont maradt. Egy löveg öntése és furata egyedi volt, csakúgy mint minden egyes lövedék és minden löportöltet. Ezáltal az ágyúkészítés módszerei szorosan a tapasztalathoz igazodottak maradtak.

Az empirikus szükségszerűségek és megismerések, mint a változtatások ösztönzői, a termelés közvetlen területén véleményem szerint sokkal fontosabban voltak, mint azt általában elismerik. Erre a faktorra vezethető vissza nemcsak a produktivitás fejlődésének igen nagy része, még hozzá azokban az iparágakban, amelyek a természettudományok befolyását leginkább érezhették, de ez a faktor határozta meg döntően az új technikai eljárások időpontját és elterjedésük sebességét is. A XIX. század második feléig — ha inkább az eredmények szerint ítélünk, szándékok és igyekezetek helyett —, a haladás nagy területei maradtak viszonylag érintetlenek a tudományos megismerésektől: mezőgazdaság, csatornaépítés, gépgyártás, anyagok készítésének mechanizálása (szemben a fehéritéssel és a festéssel), a vas- és acélgyártás. Az 1851. évi foglalkozás-felmérésből kitűnik, hogy a munkásságnak csak nagyon kis százalékát foglalkoztatták olyan szakmák, amelyekben tudomány és gyakorlat kötései — felületesen szemlélve — szorosak voltak, mint például a kémiai iparban.

#### IV.

A gőzerő annyira fontos, hogy megkülönböztetett figyelmet érdemel. Gyakran nyert megállapítást, hogy ez esetben a tudomány részéről az iparnak adott legfőbb ajándékról van szó, hogy ez a találmány a Royal Society világából, a nemesek laboratóriumaiából, és a tudományt művelők és jómódú mecénásai közötti nemzetközi versenyből született meg a XVII. század folyamán. A maga idején James Watt megerősítette a szoros kötést a természettudományos ismeret és annak gazdasági alkalmazása között, amikor egy sor kísérletet vitt végbe, a gőz tulajdonságait és a fémek vezető-képességét illetően. Ezek a kísérletek adják az alapot Watt találmányához, a szeparált kondenzátorhoz, s a voltaképpeni gőzerő hasznosításához (megkülönböztetendő az „atmoszférikus” energiától). Ez az, amit a tudomány és gyakorlat szövetségének klasszikus példajaként lehet megjelölni. De még ha ezzel a megállapítással egyet is értünk, akkor is figyelembe kell venni azokat a tényezőket, amelyek meghatározták a gőz hajtóerejének növekvő teljesítőképességét és az újítás fejlődésének egyes állomásait. Thomas Newcomen és Savary nem álltak olyan közvetlenül ebben a kultivált tudományos tradícióban, s a természettudomány történései a gőzerőről való olyan elméleti-tudományos alapismeretekről fedeztek fel bizonyítékokat, egyre korábbi korszakokban, amelyek nem jutottak el gyakorlati kísérletekig.<sup>33</sup> Thomas Newcomennek nem voltak kapcsolatai kora vezető tudósaival, s hirtelen vált ismertté egy sikeres kereskedelmi találmány révén.<sup>34</sup> Az egzakt fémmegmunkálás és fémfeldolgozástól függött a találmány effektív gazdasági használhatósága. Megállapítható, hogy az ilyen problémák minden másnál inkább szabtak határt az effektivitásnak. Newcomen mint kovács került szembe velük, számára a Royal Society világa idegen volt. Watt találmánya is a hatékonyság növelésének új lehetőségeit nyitotta meg; ennek realizálása azonban beleütközött a fémmegmunkálás mindenkor elérhető precizitásának határába; abba a

<sup>33</sup> A. R. Hall odáig megy, hogy megállapítja: „A gőzgép létrehozásához nem volt szükség tudományos forradalomra. Amit Newcomen megcsinált, Alexandriai Hero is megcsinálhatta volna 17 évszázaddal ezelőtt. Ő jóformán minden lényeges alaptételt ismert; vö. From Galileo to Newton. 1630—1720. London. 1963. 333.

<sup>34</sup> D. S. L. Cardwell: Steampower in the eighteenth century, London. 1963. 18.

lehetőségbe, hogy egy dugattyú teljes hosszában egy hengerbe illeszthető-e vagy gőzálló szelepek és tömitések készíthetők-e. Ekkor kerültek sorra John Wilkinson és Matthew Boulton gyakorlati tapasztalatai; növekvő minőségi követelmények és a szaporodó standardizálás világának az exponensei, akikről azonban még mindig távol volt a módszeres tudományos gondolkodás.

A magasnyomású kazán terén végzett úttörő munka legnagyobb része, amely James Watt örökségként került megvalósításra; a gőznek vontatóerőként való alkalmazása, s szerszámgépek és hajók meghajtására; mindez csak úgy mint a Watt-féle gép folyamatos tökéletesítése maga is túlnyomórészt ismeretlen bányamérnökök vagy olyan kiváló mechanikusok tapasztalati világából származott, amilyen Murdock volt. Néhány ezek közül a szakemberek közül az ország legjobb precíziós üzemeiben, például Maudslay-nél nyertek kiképzést. Mégis teljes hiányában voltak a tudományos alapoknak, s így meg sem kísérelték, hogy munkájuk során elméleti ismereteket alkalmazzanak. De nagyon nagy jelentőségű volt a folytonos innovációk növekvő tömege, amely lépésről-lépésre alakult a fejtési fronton vagy az esztergapadok mellett. Megint csak a gőzgép teljesítménynövekedését<sup>35</sup> lehet példaként felhozni: Newcomen első gépe körülbelül 4,5-ös menetsebességgel<sup>36</sup> bírt, ami Smeaton tökéletesítése által 1770-ig 12,5-re emelkedett. Watt első gépe a leválasztott kondenzátorral körülbelül 22-t ért el, s folyamatos tökéletesítésekkel végül 1792-ig 30 fölé jutottak. Egy Watt-típusú gép, amely 1811-ben Cornwallban működött, s amelyre vonatkozóan igen jó anyag áll rendelkezésre, 22,3 menetsebességgel bírt. Folytonos fokozatos tökéletesítések eredményeként 1842/43-ban legmagasabb teljesítményként 100-at mértek. A folyamatos tökéletesítések által 1811-től 1850-ig a gépek átlagos teljesítményhányada Cornwallban megnégyszereződött.

## V.

A természettudományok intézményes fejlődése ugyancsak problémákat teremtett, mivel a természettudományok fejlődési menete nem mindig felel meg az innovációk sorrendjének és az ipar fejlődésének. A Royal Society és a Lunar Society megalapítását idézik állandóan mint a tudomány és ipar között kifejlődő kapcsolat bizonyítékát. De figyelembe kell venni a tényállást, hogy 1670 után a Royal Society elfordult az alkalmazott természettudományokra irányított utilitarisztikus orientációtól, hogy a XVIII. század második felében s részben a XIX. században jelentősége csökkent, s hogy a megfelelő francia akadémiaival összehasonlítva, nagyon gyenge pontjai voltak. 1790 után a Lunar Society is hanyatlani kezdett. Még az is lehetséges, hogy több generáció felgyülemlett tudományos eredményei, mégha messzemenően intézményesítettek voltak is, nem bírtak nagyobb befolyással. Más területek mellett érvényes ez a gyógyításra, mint a gyakorlat által erősen orientált tudományra, amely a halandóságjelzők, vagy betegség-kimutatások nemzeti demográfiai trendjét, ismereteink szerint

<sup>35</sup> D. B. Barton: The cornish beam engine. Truro. 1965, 28, 32, 58. Ezek a számok kérdésesek, mégis hitelük az idő múlásával nyilván inkább erősödik mintsem csökken. Egyéb faktorok ugyanúgy befolyásolják ezeket a teljesítmény-méréseket, mint a gépek voltaképpeni technikai potenciálját.

<sup>36</sup> Ez megadja, hogy egy véka (36,39 l.) szén, mint a gőzkazán alatti tüzelő anyag, hány millió fontnyi vizet (à 453,59 g) emelt egy lábnyi (30,48 cm) magasba.

csak a XIX. század második felében volt képes statisztikailag jelentős módon befolyásolni — talán eltekintve a himlő elleni oltások programjaitól, s mindez olyan területen, amelynek élénk érdeklődés, jelentékeny pénz-áramlás, jelentős tudományos eredmények, és nagyobb tudományosan képzett személyzet állt rendelkezésére, mint a többi területnek együttvéve.<sup>37</sup>

A tudományos dolgozók száma ugyancsak jelentős. A Royal Societyben alig akadt maroknyi szakmailag jól képzett orvos, vegyész és „tudományos” munkatárs (szemben a specifikus hivatásbeli elfoglaltsággal nem bíró „gentleman”-ek jóval nagyobb számával). A XVIII. század korai szakaszában a Royal Society-be nem választottak be átlagosan tíznél több személyt. A College of Physicians (orvosok testülete) 1700 előtt öt vagy hat főt választottak, s még egynehányat azok közül, akik külföldi egyetemek tudományos fokozatával bírtak. 1760 után ezek a számok növekedtek, de még így is nagyon csekélyek maradtak. Ez „a tudomány professzionalizálása” mutatójaként fogható fel, amennyiben ez a modern kifejezés a XVIII. századra egyáltalán alkalmazható. Ezen kívül természetesen lényegesen nagyobb számban adódtak amatőrök és gyakorlati emberek, például optikusok és szeszpárlók, akik a tudományt kereskedelmi célból gyakorolták. Hall ehhez hozzáfűzi: „... az elvont tudomány valamely kérdésfeltevésének befolyása emberi szellemre rendkívül ritka volt: talán százezer közül egynél ha fellelhető. A technológia történetét nézve azonban egészen más a helyzet. Olyan emberek aránya, akik igen jól tudtak kezelni kézimalmokat, ekéket, textilkészítő eszközöket és lószerszámokat — mindig — igen nagy volt nyugaton, kerek száz évvel azelőttig. Bár ezek közül az emberek közül csak igen kevesen változtattak, akár csak csekély mértékben, valaha is valamilyen eljárás. De a törekvés a változtatásra gyakorlatilag határtalan volt. Az innovációk potenciálja csak akkor korlátozott, amikor először vezetnek be viszonylag ismeretlen gépeket vagy módszereket.”<sup>38</sup>

Ha eltekintünk az amatőrök és a népszerű tudománnyal foglalatosskodók csoportjaitól, Angliában ebben a periódusban a Royal Society-n kívül sem az egyetemeken, sem azokon kívül alig haladt előre a hivatásossá lett tudomány eszközeinek elterjesztése. A természettudományok nem váltak a nevelési rendszer szilárd részévé, sem a hagyományosan intézményes hierarchián belül, sem a különleges szervezetekben. Egyetlen kivételt képeztek a mechanikus-intézetek, de ezek a haladni vágyó, művelt kézművest képezték ki, nem a kutató vegyészt. A legnagyobb kontraszt alakult ki az angliai gyakorlat és a francia és német intézmények, az École Polytechnique és a Technische Hochschule között. A School of Mines és a Royal College of Chemistry Londonban volt az a két intézmény, amelyet ebből az általánosításból ki kell emelni. Azonban mindkettő nagyon kicsi maradt. Emellett földrajzilag, társadalmilag és technikailag túlságosan elszigeteltek voltak ahhoz, hogy valami jelentős hatást gyakorolhattak volna a bányászatra vagy az iparra Nagybritanniában a XIX. század első felében.

## VI.

Összefoglalva meg kell mondani: Egy és ugyanaz a nyugateurópai társadalom volt az, amelynek különböző területein a XV. századtól a XIX. századig egyfelől a természettudományok, másfelől a technikai nagy előrelépések végbe-

<sup>37</sup> Ezt a végkövetkeztetést talán modifikálni kell azoknak a kutatásoknak a fényénél, amelyeket rövid ideje folytat New Yorkban E. Sigsworth.

<sup>38</sup> A. R. Hall: The historical relations of science and technology, 1963.

mentek. Bizonyára nem lehet ezt *csak* véletlennek tekinteni, ámbár Kína példáján látható, hogy magas fejlettségű tudományos és technikai ismeret jóformán eredménytelen maradhat az ipari technika általános színvonalának emelése szempontjából. Aligha tarthatók fenn az olyan szimplifikáló elképzelések, amelyek direkt és egyetlen pályán mozgó kauzalitást, vagyis tudomány és ipar között közvetlen és egyértelmű kapcsolatot tételeznek fel. Inkább az fogadható el, hogy a technikai változás sok más meghatározó tényezője az iparosítás első századában együttvéve sokkal nagyobb jelentőséggel bírt, s hogy tudományos megismerések a gyártás szűkebb területén sokkal kisebb stratégiai szerepet játszottak a gazdasági eredmények meghatározásánál, mint azt némely újabb vizsgálódás megállapítja. Hosszabb távot tekintve megállapítható, hogy a szisztematikusan alkalmazott természettudományok fő ösztönzése az innovációra egyre bővülő gazdasági ágazatokban, csak 1850 után következett be, olyan szituációban, amely sok más szempontból különösen előnyös volt. Hogy itt volt a valódi fordulópont a természettudományok és az ipar közötti kapcsolatokban, az világosan megmutatkozott Anglia negatív példáján, ahol technikai újítások éppen azokon a területeken maradtak ki, amelyeken különösen szorossá vált az összefüggés tudomány és ipar között.

Azonban sok múlik azon is, hogy az innovációk közvetlen befolyását nézzük-e, vagy pedig az egész társadalmat és annak szellemi klímáját, amelyben csírázott az ipari haladás. G. N. Clark már régebben arra a következtetésre jutott, hogy „tudomány és technika kapcsolatát nem szabad úgy elképzelnünk, mint ezeknek az elemeknek a társadalomban való lépésenkénti általános, kölcsönös közeledését, hanem mint kontaktusok kialakulását, előbb egyes elszigetelt pontokon, azután több ponton, s végül csaknem mindenütt.”<sup>39</sup> A XVIII. század végéig, vagyis jóval azután, hogy bizonyos mértékben szisztematikus, halmozódó változások következtek be, amelyek jóval felülmúlták a középkori technikai változásokat, — a kölcsönös behatolás egészen kicsi — ha részben talán stratégiailag fontos — területekre korlátozódott.

A *stratégiai* jelentősége egészen más problémát rejt magában. Bár az erre a kapcsolatra visszavezethető egész technikai változás százalékaránya nem volt nagy. Az innovációkat nagyobb mértékben tarthatta vissza kisebb akadály az újítási potenciál stratégiai pontján. De lehetetlen kimutatni egy ilyen akadály potenciális, kvantitatív jelentőségét azzal, hogy megadjuk egy, kitérésre lehetőségek vagy kerülő utak nélküli általános zárlat következményeit. Azt is el kell ismerni, hogy tudományos reagálásformák sokkal elterjedtebbek voltak, mint a tudományos felismerések. Ezek a reagálásformák bizonyosan erősödtek. Általuk hívtak ki hagyományos szaktekintélyeket, rögzítettek fejlődési irányokat megfigyelés, próbálkozás, kísérletezés és átvétel útján; sőt, aktívan támogatták az olyan tudományos műszerek fejlesztését, mint a hőmérő és a vízmérő, ami a gyakorlati embereknek lehetővé tette, hogy a tapasztalatot törvényszerűségekkel pótolják. A pontosabb mérésekre irányuló igyekezet és az ezek keresztülvitelét szolgáló eszközök kutatása bizonyára jellemezte ezeket a kapcsolatokat, akkor is, ha nem az volt a cél, hogy kiküszöböljenek olyan empirikus reagálásmódokat, amelyeknek a kémiai alapjai ismeretlenek voltak, hanem csak annyi, hogy ezek közül az eljárások közül a legjobbakat standardizálják. Így gyakran alkalmaztak tudományos berendezéseket és módszereket arra, hogy rögzítsenek a tapasztalatból származó módszereket, nem pedig, hogy kérdésessé

<sup>39</sup> G. N. Clark, i. m. 22.

tegyék őket. Ebből a szempontból a kísérleti természettudományban keletkezőben levő Bacon-tradíció, a szisztematikus kísérletezésre alapozott kutatás tradíciója (ahogyan ez volt a helyzet a késő XVIII. századi vegyészeten) szorosabb kapcsolatban volt az innovációs folyamattal, mint a XVII. század kozmológiájának, mechanikájának vagy fizikájának a fejlődése. Ezeknek a kapcsolatoknak az útján a természettudományok egészen a XIX. századig valószínűleg ugyanannyit tanultak a technikától, mint ez a természettudományoktól: A kutatókat nagyon foglalkoztatta az, hogy kérdésekre, amelyek ipari eljárásokból adódtak, válaszokat keressenek. „A technológiai haladás magában foglalta a szellemi haladás eszméjét, ugyanúgy, ahogyan a véletlen adta felfedezések magukban foglalták a szisztematikus felfedezések lehetőségét.”<sup>40</sup>

Levonhatjuk a következtetést, hogy mind a természettudományok, mind a technológia olyan társadalomról adnak tanúbizonyságot, amely növekvő mértékben kíváncsi volt, kérdéseket tett fel; amely mozgásban volt, „tettrekész” volt, előretörésekre vállalkozott, mindig készen a kísérletezésre és az újitásra. Ez volt — véleményem szerint — a centrális jelentőségük azoknak, akik a természettudományokat és technikát népszerűsítették, az enciklopédiáknak, az olyan intézményeknek, mint a Society of Arts (1754-ben alapítva), a Royal Institution (1796-ból), a Lunar Society, és a különböző helyi filozófiai és természettudományi társaságok; az új művelődési mozgalmaknak, az érdekes kapcsolatoknak radikális nonkonformista természettudományi csoportok és üzletemberek között a XVIII. században, vagy a puritánok és a Royal Society alapítói között a XVII. században. Valamennyien a bővülés irányába hatnak. Ők, azok, akik befolyásolják a motivációkat, az értékeket, általános beállítottságok problémák megoldásának módját. Inkább ebben van jelentőségük, mint a tudománynak a gyakorlatba történő direkt átvitelében. Ebben az értelemben természetesen banális a végkövetkeztetés, hogy a haladást a természettudományok és a technikai változások terén mint a nyugateurópai társadalom karakterisztikáját kellene tekintetbe venni, s hogy az egyik területen való előbbre jutás nemcsak következménye volt egy másik terület fejlődésének.

<sup>40</sup> A. R. Hall: *The scientific revolution*. London, 1962, 369.