

Szentgyörgyi Zsuzsa

## Technológiai és tudományos trendek

---

*A tudományos kutatások eredményeit hasznosító technika az ipari forradalom kibontakozása óta meghatározó jelentőségű az emberi társadalmak életében. A szerző azt vizsgálja, hogy a jövő század belátható (egy-másfél évtizedes) időtartományában melyek lesznek a meghatározó tudományos és belőlük fakadó technikai trendek, hogyan hatnak ezek a gazdasági rendszerekre, illetve a gazdaság milyen (vissza)hatással lehet a tudományra, milyen strukturális változások várhatók.*

---

### A technikai fejlődés szükséges és elégséges feltételei

A technikai fejlődést az új ismeretek, a tudományos kutatás által elért eredmények alapozzák meg. A kutatástól a megvalósításig és a profittermelő piacra vitelig húzódó időtartam az ipari forradalom kibontakozása óta egyre rövidül. A technika fejlődése és a tudományos eredmények abszorpciója serkentőleg hat vissza a kutatásokra, mivel a megvalósítások és az alkalmazások folyamatosan új elvi és gyakorlati problémákat vetnek fel, amelyek megoldása a tudományos kutatásra hárul. E folyamatos visszacsatolás hatásai igen élesen és plasztikusan jelennek meg napjainkban az informatikai rendszerekben és hálózatokban.

A kutatás a technikai fejlődés *szükséges feltétele*. Új ismeretek nélkül nem lehet új eszközöket, eljárásokat, szolgáltatásokat megteremteni. Ez azonban nem elegendő a technikai megvalósításhoz és a gazdaságos piacra vitelhez (amire számos kiváló, de a piaci hatások elhanyagolása miatt elvetélt kutatási eredmény példáját lehet felhozni).

A piacképes alkalmazások *elégséges feltétele* több komponensből tevődik össze. Mindenekelőtt említhetjük a társadalmi szükségleteket. Paradox módon a műszaki fejlődés egyik legjelentősebb serkentője a háború, illetve a háborús készülődés. Ez részint az ellenség által még nem ismert, vagy a meglévőnél jobb, hatékonyabb támadó és védő fegyverek, fegyverrendszerek létrehozásával

függ össze, részben azáltal is gyorsítja a kutatásokat—fejlesztéseket, hogy a ráfordítások gazdaságossága kevésbé számít, mint a békés gazdaságban. (A háborúk lendítették fel például a kohászatot, a fémmegmunkálást, a hajózást, az elektronikát, a telekommunikációt, a számítástechnikát, a repülést, a radar- és a lézertechnikát — hogy csak néhány jól ismert példát említsünk). A háborúk utáni állapotok ugyancsak a technikai fejlődés serkentői, mivel az újjáépítés, a rekonstrukciók nagy volumenű megrendeléseik részben biztosítják a gazdaságosságot, részben pedig új eljárások, megoldások felhasználását teszik lehetővé és egyúttal szükségessé is. Itt példa gyanánt csak a második világháború utáni nagy gazdasági fellendülésre utalunk, amikor az érintett országok egész infrastrukturális rendszere (utak, energetika, hírközlés) megújult, a lerombolt vagy megsérült iparok pedig jelentékenyen megváltozott szerkezetben épültek újjá.

## A technikai fejlődés ösztönző hatásai az ezredforduló után

Amennyiben nem következnek be szakadások (nagy térségre kiterjedő háborúk, hosszan tartó és széles körben ható természeti katasztrófák), akkor a technikai fejlődést lendítő szükségletek és igények ösztönző hatásai elsődlegesen a következők lesznek:

- a természet erőforrásaival való ésszerű gazdálkodás (anyag- és energia-takarékos eszközök, rendszerek; igen kis mértékű anyagfelhasználással operáló mikrotechnológiák; új energiaforrások alkalmazása);
- a természet és a környezet védelme (környezetkimélő technológiák; lebontható, illetve újrahasznosítható szerkezetek, berendezések; hulladék-hasznosítások; monitoring, mérő és beavatkozó rendszerek, hálózatok);
- a létszámában szinten tartott, vagy növekedésében korlátozott világnépesség étel-miszer-ellátása (a környezetet nem terhelő, növényi, bakteriális és állati kártevők ellen védekező és fertilizáló kemikáliák; biológiai-biotechnológiai eszközök és eljárások alkalmazása a növénytermesztésben és az állattenyésztésben);
- az előző feltételek szerint alakuló világnépesség egészségi állapotának őrzése, illetve javítása (az étel-miszerekből adódó toxikus hatások minimumra csökkentése; betegségek, járványok elleni új szerek, rendszerek, hálózatok; fejlett mérési és monitoring rendszerek; új egészségügyi berendezések, műszerek és eljárások; biotechnológiai alkalmazások);
- a kommunikáció fejlesztése (világ- és lokális hálózatok; emberközpontú kommunikációs eljárások és módszerek);
- az életminőséggel összefüggő igények (a telekommunikációs rendszerek tartalmi fejlesztése [content-engineering]; multimédia hozzáférések; a távoktatás, -munka, -bevásárlás, -kulturálódás, -pénzforgalom, -szórakozás eszközei és rendszerei);
- a közlekedés biztonsága (a földi és légi közlekedés biztonságának növelése; új, biztonságos konstrukciók és módszerek; a közlekedési eszközök által kibocsátott szennyezések és egyéb környezetterhelések [pl. zaj] csökkentése);

- a földi élet kiterjesztésének folytatása (űrkutatás, a bolygóközi kapcsolatok bővítése; az ezekhez szükséges anyagok, berendezések, műszerek, rendszerek, hálózatok létrehozása, illetve fejlesztése).

## Szerkezeti transzformációk

Amint már rámutattunk, az új eredményeket adó kutatásoktól azok megvalósításáig, illetve a piaci megjelenésig húzódó időintervallum egyre rövidül. Ez viszont azzal a feltételezéssel jár, hogy az előállítás és szolgáltatásokat megvalósító struktúrák is átalakulnak, illetve átalakulásra kényszerülnek. Ezek figyelembevételével és folyamatos követése a jövőképek és a belőlük deriválható fejlesztési forgatókönyvek fontos eleme kell legyen. Az alábbiakban a szerkezeti transzformációk három fontos összetevőjét vizsgáljuk vázlatosan:

— *a súlyponti ágazatok transzformációja.* A technológiai haladással a gazdaságok ágazati struktúrája jelentősen átalakul. A fejlett országokban a 20. század végére a szolgáltató szektor aránya a gazdaságban jelentősen megnőtt, a mezőgazdaság és az ipar rovására. Ez a klasszikus felosztás azonban látványosan, mivel egy sor tevékenység és funkció, amelyek korábban (például az ötvenes-hatvanas években) az iparban, illetve a mezőgazdaságban jelentek meg, most a szolgáltatási ágazatban jelentkeznek (pl. informatika, logisztikai műveletek, műszaki tervezés). Az ezredforduló utánra jelentősen emelkedik a viszonylag kevés *anyagfelhasználással* járó ágazatok részesedése a gazdaságban (pl. műszerek—mérési rendszerek, konzumális elektronikai szórakoztató eszközök, a humán szolgáltatások berendezései, eszközei, finomkémiai anyagok, informatikai eszközök). Ugyancsak megnőtt és a jövő évtizedekben még erőteljesen nőni fog a környezet védelmét szolgáló eszközök, rendszerek (szűrő, leválasztó berendezések, hulladékfeldolgozók) előállításának és a hozzájuk tartozó szolgáltatásoknak a volumene és részesedése a gazdaság egészében. A 20. század „*hagyományos*” ágazataiban azonban — bizonyos átalakításokkal, esetenként jelentősen módosulva — továbbra is fontos szerepet kapnak a gazdaságokban. Ezek közé elsősorban a következők sorolhatók:

- az anyagtechnológiák, ezeken belül a minőségi kohászat, energiatakarékos és környezetkímélő technológiákkal;
- a közlekedési eszközök és rendszerek, erősen megnövelt beépített biztonsággal;
- az energetikai termelő rendszerek és elosztó-szolgáltató hálózataik, nagy működési és környezeti biztonsággal, és esetleg új energiahordozók felhasználásával;
- a nehéziparban az energiatakarékos, környezetkímélő és új anyagokat előállító technológiák;
- a szerves vegyiparban a nagytisztaságú, minimális szennyezettséget tartalmazó, szabályozott („méretre szabott”) jellemzőkkel rendelkező anyagok és szerek;
- a mezőgazdaságban a takarékos felhasználású és teljesen lebomló szereket használó technológiák.

A jövőképek kialakításakor nem szabad viszont megfeledkeznünk arról, hogy miközben az „anyagmentes” iparok (informatika, mikrotechnológiák) aránya a gazdaság struktúrájában gyorsan növekszik, ugyanakkor nyilvánvalóan tovább-

ra is szükség lesz jelentős anyagfelhasználást igénylő berendezésekre és szerkezetekre — legyenek azok épületek, bútor, ruhanemű, mezőgazdasági vagy háztartási gép, közlekedési eszköz, a megmunkálások és az anyagtechnológiák gépei vagy éppenséggel számítógépek és tartozékaik. Erősen valószínűsíthető, hogy ezeknek a „hagyományos” eszközöknek a modernizálása, áttervezett változataik gyártása, a hozzájuk szükséges anyagok előállítása, a komponensek megmunkálása és az egységek összeszerelése gazdaságilag az egyik legkedvezőbb tevékenység lesz a következő században azokban az országokban, ahol ennek megvan a szakmai kultúrája, szakmai hagyományai és szakember háttere. A „hagyományosnak” tekinthető, valamint a viszonylag anyagigényes, „köznap” ágazatoknak ésszerű és főleg gazdaságilag versenyképes hasznosítása a gazdaságban igen jelentős tényező egy kicsiny, viszonylag szűk piaci mozgástérrel rendelkező, de értékes szakmakultúrákkal rendelkező országban, mint amilyen például Magyarország. Mindehhez viszont igen jelentékeny innovációra (azaz a megmunkáló eszközök, gépek, a teljes gyártórendszerek és a logisztikai szervezés tekintetében egyaránt alapvetően megújított technológiák és módszerek alkalmazására), valamint számottevő beruházásokra és tőkebevonásra van szükség;

— a rugalmasság térnyerése. A 20. század végének egyik jellemző sajátossága a tömegtermelésről az igényekhez rugalmasan illeszkedő, számítógépes segítséggel irányított termelésre való áttérés. A „számítógéppel segített” kifejezés alatt itt egyaránt értendő a műszaki tervezés (CAD), a termelés/gyártás, illetve azok irányítása (CNC és robot-rendszerek, CAE, CAM), a minőség ellenőrzése (CAQ), a vállalat teljes körű irányítása (CIM), az oktatás és betanítás (CAE&T) és még sorolható néhány „C”-vel vagy „CA”-val [a „Computer Aided” — számítógéppel segített — kifejezéssel kezdődő módszer és rendszer neve.\* A rugalmasság kétféleképpen is értendő.

*Egyfelől* ide sorolandó a fogyasztók, a megrendelők változó igényeihez rugalmasan alkalmazkodni képes, gyorsan és viszonylag kevés költséggel átalálható tervezési és gyártási technológiák alkalmazása, a moduláris elemekből felépíthető, de látszólag mégis többé-kevésbé egyedi termékek gyors piacra vitele. A fogyasztó igényeinek változásait a divat, a kor, az izlés szabja meg, és ezek egyaránt változhatnak térben (földrészenként, kisebb-nagyobb régióknként, országonként, sőt akár kisebb településegységeknél) és időben is, amikor egyik évről a másikra, vagy akár hónaponként is módosulhatnak a követelmények.

A rugalmasság *másik formája* a rendkívül pontosan megtervezett és kivitelezett munkaszervezésben, a logisztikai irányításban, a just-in-time eljárások alkalmazásában nyilvánul meg. Ez azt jelenti, hogy a termeléshez szükséges anyagok, féltermékek, komponensek, megmunkáló egységek, szállítóeszközök, tároló- és rakodóterületek, emberi erőforrások ott, ahol kell, gyakorlatilag azonnal és folyamatosan rendelkezésre állnak. A rugalmasságnak mindkét formája gazdaságilag igen lukratív előnyökkel jár. Hátránya, különösen a just-in-time megoldásnak, az igen komoly mértékű *sérülékenység*. Elég néhány porszem a simán gördülő mechanizmusban, és a tartalékok nélküli vagy igen csekély

\* A rugalmas technológiák, a számítógéppel segített módszerek alkalmazása témában igen kiváló összefoglaló munka *Kocsis Éva és Szabó Katalin: Technológiai korszakhatáron (Rugalmas technológiák — regionális hálózatok)* című, több korábbi kutatási tanulmányra alapozott könyve (megjelent az OMF B kiadásában, 1996.)

mértékű tartalékolásra tervezett rendszer megakad, könnyen leáll, szélsőséges esetben részeire hull vagy megsemmisül. Elég egy természeti katasztrófa (földrengés, árvíz) vagy akár egy nagyobb mérvű baleset ahhoz, hogy a rendszer aváriát jelezen. Megkerülő (by-pass) megoldásokkal természetesen csökkenthető a kockázat mértéke, azoknak viszont komoly mértékű járulékos költségigényeik lehetnek, amelyek már ronthatják a rugalmasságból adódó előnyöket. Megjegyzendő, hogy magának a rugalmasságnak a megtervezése és kivitelezése is erősen költségigényes, amelynek megvalósítása alapos költség—haszon számításokat igényel. A megrendelő igényeihez folyamatosan alkalmazkodni tudó rugalmas termelés, termelés-szervezés és piacravitel elsősorban a tőkeerős nagyvállalatoknál és viszonylag tömeges termékelőállítás esetén (pl. gépkocsi, számítógép, bútor, konfekcióáru, szórakoztató elektronikai eszközök) lehet reális az elkövetkező egy-másfél évtizedben;

— *a nem kvantifikálható tényezők szerepe.* Az előzőekben utaltunk a körültekintő költség—haszon számítások szükségességére. A modern gazdaságokban, a rendkívül komplex technológiai és társadalmi folyamatokban azonban ezek hatóköre és érvényessége korlátozott. Egyebek között éppen a folyamatos innováció igénye és a rugalmas technológiák alkalmazása veti fel olyan járulékos — nem, vagy csak körülményesen és nem teljes megbizhatósággal számszerűsíthető — tényezők hatásának számításbavételét, mint amilyen például a szakmakultúrák fejlettsége, a piaci környezet ismerete, a történelmi hagyományok, a lakosság egészségi állapota stb.

## Az ezredforduló körül várható legfontosabb technikai trendek

Az alább következő technikai irányok gazdasági térnyerése és társadalmi fontossága függhet a következő egy—másfél évtizedben bekövetkező természeti változásoktól, a világnépeség alakulásától, a környezet megővésének körülményeitől és kényszereitől, az esetleg bekövetkező lokális és térségi konfliktusok méreteitől és hatásaitól. E tényezőkön túl igen jelentős mértékben függhet alakulásuk, szerepük és arányuk a tudományos kutatások által felszínre hozott új eredményektől, azok megvalósíthatósági lehetőségeitől. Csak igen erős absztrahálással és leegyszerűsítésekkel lehet az irányzatok határait kijelölni, mivel a modern technológiák alapvető jellemzője a komplexitás, a nagymértékű interakció, egymásbahatolás, egymás fejlődésének befolyásolása. Már ma is nyilvánvaló például, hogy a mérés-technológiák, valamint az informatika rendszerei és módszerei minden tudományos és technikai szakterületen alapvető, nélkülözhetetlen eszközök, ugyanakkor e szakterületek sajátos követelményei, minőségi előírásai stb. visszahatnak az előzőek fejlődésére is.

Mindezek figyelembevételével az ezredforduló körüli, belátható (egy—másfél évtizedes) időszakban a világ gazdaság menetét, fejlődését várhatóan meghatározó legfontosabb technikai trendek a következők:

— *energetika.* Kulcsfontosságú az országok lakosságának életében, a termelésben, a társadalmak mindennapjaiban és fejlődésében. Az igények tekintetében a fejlett országokban már inkább a szinten tartás, mint a további mennyiségi fejlesztés a fő kérdés, viszont a fejletteknel éppen maga a szint, vagyis az egy főre jutó fogyasztás átlagosan egy, esetenként két nagyságrenddel nagyobb, mint a fejlődőnek nevezett, illetve az elmaradott, de az elkövetkező

egy-két évtizedben várhatóan fejlődni képes országokban (elsősorban Afrikában, Ázsia déli és délkeleti részein, valamint Latin-Amerikában). Az USA egymaga az üvegház-gázoknak csaknem a negyedét bocsátja ki a világban. Ez az arány csökkenhet a következő században, de nem elsősorban a kibocsátás csökkenése miatt, hanem relatíve, mivel megnövekszik a többi ország energiatermelése. Az üvegházhatásért felelős fosszilis energiahordozók aránya a világ teljes energiatermelésében kb. 85%-ot tesz ki. Az üvegházhatás szempontjából „tisztá” energiahordozók más vonatkozásokban jelentenek gondokat. A nukleáris energia valóban nem szennyezi a légkört (illetve csak minimális módon), viszont a különböző aktivitású hulladékok és nukleárisan szennyezett szerkezeti elemek, berendezések, készülékek, szerszámok, anyagok, ruhaneműk elhelyezése, illetve végleges tárolása állandó gondot és nem csekély társadalmi ellenállást, feszültségeket vált ki. Az utóbbi szempontok szerint is „tisztá” fúziós energia előállítására egyelőre nem biztató, a jelenlegi kísérletek tanúsága szerint pozitív energiamérleget az elkövetkező évtizedben a most ismert eljárásokkal nem lehet várni. Tehát a fúziós energiatermelés (ha egyáltalán megteremthető) iparszerű, tömeges alkalmazása legfeljebb a jövő század húszas, inkább a harmincas éveire tehető, hacsak előbb nem sikerül a jelenlegi plazma eljárásnál megfelelőbbet találni. Ez az a pont, ahol a tudományos kutatások eredményei teljesen váratlan áttöréseket idézhetnek elő.\* Természetesen a fúziós energia termelésének is lesznek nem kívánt, vagy egyenesen káros mellékhatásai, a környezetet szennyező és terhelő következményei, amelyekre akkor kell felkészülni, ha már legalább a laboratóriumi kísérletek biztatóak lesznek. Az egyéb energiaforrások, illetve energiatermelési módok legfeljebb kiegészítő jellegűek lehetnek, elsődlegesen lokális hasznosításra (a napsugárzás, a szél, a folyami víz, az árapály hasznosítása). Az olyan lehetőségek, mint az üzemanyag-cellás energiatermelés, amelyben a kémiai energiát közvetlenül alakítják villamos energiává, vagy a szén föld alatti cseppfolyósítása technikailag már évtizedek óta megoldottak, de egyelőre nem hasznosíthatók gazdaságtalanságuk miatt. Ha azonban a fosszilis energiahordozók jelentős mértékben kifogynak, az említettek gazdaságossága más megvilágításba és más szintre kerülhet. Meglehetősen primitív, lineáris vagy kvadratikusan extrapolációt használva, ez az állapot a következő század közepére valósulna meg. Valószínűbb azonban, hogy addigra más, áttörés jellegű módszerek kerülnek felszínre.

Az energetikában végső soron *két és fél nagy trendet* kell figyelembe venni az ezredforduló körüli gazdasági forgatókönyvek kialakításakor. Az *egyik trend* a jelenleg ismert és használatos energiatermelő eljárások fejlesztése, a működő rendszerek technikai tökéletesítése, illetve a fogyasztói berendezések gazdaságos, energiatakarékos kivitelezése (hatásfok-javítás, kisebb anyagfelhasználás, a környezeti szennyezések és terhelések minimalizálása). Ez azt involválja, hogy igen nagy volumenű felújítások, rekonstrukciók válnak szükségessé a már meglévő energiatermelő—elosztó—szolgáltató rendszerekben, hálózatokban, ami jelentős ipari megrendelésekkel jár együtt. A *másik gazdasági trend* a fejlődő és az ún. „újjonnan jött”, félig fejlett, de gazdaságilag gyorsan feljövő vagy már feljött országok (mint pl. a dél- és délkelet-ázsiai országok, Kína, egyes latin-amerikai országok, valamint Afrika északi sávja) infrastruktúrájának

\* L. George A. Olah cikkét összeállításunk élén. — A szerk.

teljes kiépítése, új erőművek, elosztó hálózatok, szolgáltató rendszerek kialakítása és üzemeltetése, ideértve a gyártáson és telepítésen kívül még az oktatást, betanítást is. Mindkét trend azt jelenti, hogy az energetikai berendezés- és készülékgyártó ipar, benne a létesítményépítés is igen fontos gazdasági ágazat lesz a következő század elején. A „fél” trend azért kapta ezt az elnevezést, mivel ebbe a tudományos kutatás új eredményeinek hasznosítását, esetleg meglepően új, ma még alig vagy nem ismert eredmények áttörését soroljuk, amelyekre gazdaságilag ténylegesen tervezni egyelőre nem lehet, viszont a kutatásokra (amelyek az esetleges hozadék ezrelékét vagy tized-ezrelékét teszik ki) érdemes ráfordításokat tervezni;

— *anyagtechnológia*. Már jelenleg, a kilencvenes években is az egyik meghatározó fontosságú technikai ágazat olyan új anyagok és technológiák fejlesztése és alkalmazása, melyek egy sor, többnyire egyszerre jelentkező követelménynek tesznek eleget. Ilyen követelmény: a környezetbarát, a környezetet nem szennyező, nem terhelő eljárások; a könnyen lebomló, újrahasznosítható, az élővilágot nem veszélyeztető szerkezeti anyagok; a maradványok nélkül lebomló kémiai szerek létrehozása. Az anyagkutatásoknak és -technológiáknak a jövő századra átnyúlóan fontos ágai: a mikro- és nanoszintű technológiákhoz szolgáló eljárások és berendezéseik fejlesztése és gyártása (pl. a mikroelektronikában, az automatizálásban, a robotikában, a humán medicinában atomi méretű szerkezetek és megmunkálásuk); a „mértre szabott”, megrendelésre tervezett anyagok és anyagstruktúrák létrehozása (az űrkutatásban, a szerves vegyiparban, különösen a gyógyászatban és az élelmiszer-gazdaságban); a nagy tisztaságú, magas minőségi követelményeknek megfelelő anyagok; a különleges célokra (magas hőmérséklet, nyomás, sugárzás stb.) szolgáló anyagok; valamint az új megmunkálási és szerkezetalkotási technológiák különleges anyagai (pl. ragasztók, keramikus anyagok). Ebbe a csoportba sorolhatók a kohászat megújulását szolgáló új, környezetkímélő, kis energiafelhasználású, új ötvözeteket előállító technológiák is. Itt két kiegészítő megjegyzést kell tenni. Az egyik, hogy az anyagtudománynak és -technikának a mérés-technológiával és az informatikával egyaránt rendkívül szoros, elvileg és gyakorlatilag is elválaszthatatlan az összefonódása. Az említett megoldásokhoz egyfelől igen nagy pontosságú, megbízhatóságú mérési, ellenőrzési, hitelesítési eszközök, rendszerek és eljárások kellene mind a kutatásban, mind a tervezésben és a gyártásban, másfelől az adatok, a mérések feldolgozásához, valamint a tervezés során a modellezésekhez és szimulációkhoz kifinomult számítástechnikára, igen fejlett szoftverekre van szükség. A másik megjegyzés az anyagtudomány hagyományos határainak elmosódására hívja fel a figyelmet. Az ezredforduló utánra várható a biológiai anyagok alkalmazása egyes, korábban kizárólag nem-élő anyagokat használó technológiákban és szerkezetekben (pl. számítógépekben, egyes medikális alkalmazásokban, mikro- és nanoszerkezetekben). Ez a vonulat, éppúgy, mint az energetikánál említett „fél” trend, még számos, ma nehezen vagy alig jósolható, meglepetésszerű innovációt, gyakorlati megvalósulást hozhat, valószínűleg nem előbb, mint a következő század második évtizedére;

— *biológiai technológiák*. A hagyományos biológiai eljárások további kiterjedt alkalmazása és fejlesztése várható (élelmiszer-feldolgozó ipar, gyógyszeripar stb.). A géntechnológián alapuló ágazatok volumenének és profithozó képességének rendkívül nagy meredekségű emelkedése már a 20. század nyolcvanas

éveitől megkezdődött. Ennek további, ugyancsak nagy léptékű fejlődése prognosztizálható. A biotechnológiai ipar esetében figyelembe kell venni azokat a különleges tényezőket, amelyek kiemelten jellemzik: igen nagy a tudásigénye, a kutatás-fejlesztés és a gyártás folyamatosan összefonódik benne, tehát nagyon nagy az ágazatban a magasan képzett munkaerő aránya; a mérés-technológia és a számítástechnika elválaszthatatlan része a biotechnológiának, és így jelentősen befolyásolja az előbbieket fejlődését is; a biotechnológia eredményei és alkalmazásai ma még be nem látható befolyással lehetnek a környezetre és a humán népesség egészségére, pozitív és negatív irányban egyaránt (pl. géntechnikailag manipulált növényi és állati élelmiszerek, valamint gyógyszerek rendszeres fogyasztása által); a biotechnikai iparban igen nagy a profitráta, és ez várhatóan megmarad a következő században is, viszont beruházási és folytonos kutatás-fejlesztési ráfordításai is igen nagyok, ezért csak tökeeros nagy vállalkozások tudnak a piaci versenyben talpon maradni ebben az ágazatban. A kisebb országok szellemi potenciáljukkal tudnak részt venni a jövő század egyik kulcsfontosságú gazdasági ágazatában, a biológiai—biotechnológiai iparokban;

— *mezőgazdasági és élelmiszeripari technológiák.* Amennyiben a Föld népessége a jövő században tovább növekszik, de legalábbis a jelenlegi szint közelében marad, az élelmiszer-termelés és -feldolgozás szó szerint életfontosságú ágazat lesz. A jelenlegi túltermelés látszólagos, a javak egyenlőtlen elosztásából következik. A fejlett országokban elsődlegesen a következő igények jellemzik továbbra is ezt az ágazatot: a termőtalaj megóvása, termőképességének fenntartása; a növényvédelemben használt szerek lebomlási képességnek fokozása, a nulla-szintek elérése; a toxikus kártevők (pl. mikroszkopikus gombák) hatásainak minimalizálása; az őshonos növényi és állati fajok (génrezervációs populációk) felkutatása és újbóli hasznosítása a jelenlegi fajok és fajták felfrissítése céljából; a génmanipulált fajok/fajták termelési és fogyasztási hatásainak kutatása és monitorizálása; a minőségvédelem mérő-, hitelesítő-, ellenőrző rendszereinek és hálózatainak kiépítése és fejlesztése, ezekhez műszerek, készülékek, szoftverek gyártása; csomagolási, tárolási eszközök és rendszerek fejlesztése és gyártása. A fejlődő országokban elsősorban a tömeges termelés, a megbízható szállítás és tárolás, valamint a betanítás és oktatás igényeinek kielégítése a cél. Ez utóbbiak nagy felvevő piacot jelentenek mind a termelési eszközök és rendszerek, mind a megtermelt és/vagy feldolgozott élelmiszerek tekintetében;

— *humán technológiák.* Az élet minőségének elvárt növekedésével és az emberi életkor kitolódásával (a fejlett országokban elsősorban) az ezekkel kapcsolatos igények kielégítését szolgáló iparágak további fejlődése várható a következő században. Ide sorolhatók a következők: a gyógyítás kémiai szereit (ellenőrzött minőségű, igen kevés mellékhatású, szelektív, de nagyhatású gyógyszerek); szervbarát protézisek; biológiai úton előállított mesterséges szervek (pl. klónozott szervek); állandó megfigyelést adó, esetleg a testbe beépített műszerek és készülékek (pl. nanomotorok, -műszerek, -gyógyszeradagolók). E technológiák mindegyike szoros kölcsönhatásban van az anyagtechnológiákkal (pl. „méréstre szabott” ötvözetek, nagy tisztaságú anyagok), a biotechnológiával, a mérés-technikával, a műszergyártással és az informatikával. A humán technológiák egy része olyan terület, amelyben az eszközök és eljárások fejlesztését

és gyártását kis és közepes méretű, de erősen innovatív, nagy tudásháttérrel rendelkező vállalkozások is magas profitrátaival végezhetik;

— *közlekedés*. A közlekedés eszközei tekintetében a következő igényeket kielégítő gyártmányok piaca fog bővülni: a környezetet kevésbé terhelő járművek, készülékek és részegységek (környezetkímélő, hosszú élettartamú akkumulátorok, elektromos meghajtású autók, lebontható, esetleg recikálható részegységek és teljes járművek); nagy biztonságot kínáló járművek (biztonságos szerkezeti anyagok, beépített intelligencia a járműben). A környezetkímélet és a biztonság követelményei egyébként ebben az esetben többnyire szimultán jelentkeznek ugyanabban a gyártmányban. A közlekedés fejlesztésének másik oldala az infrastruktúra bővítése, elsősorban a kevésbé fejlett vagy fejlődő országokban, térségekben (pl. Kelet-Európa, Észak-Afrika, Kína). Igen nagy megrendelésekkel bíztató ágazat, mivel az útépitésen kívül kiegészítő építéseket és felszereléseket is magában foglal (üzemanyag-szolgáltató helyek, motelek, vendéglők stb.);

— *mérés, megfigyelés, beavatkozás*. A műszerek és a mérés technológiák a modern termelés és felhasználás mindennapi eszközei és kísérői, különösen nélkülözhetetlen részei a környezet védelmének, a környezettel való helyes és ésszerű gazdálkodásnak, valamint a humán szolgáltatásoknak. Az egyik legígéretesebb ágazat a műszergyártás és az intelligens (számítástechnikával ellátott) mérőrendszerek előállítása, üzemeltetése és egyéb szolgáltatásainak (pl. betanítás, oktatás) elvégzése. A piacon már jelenleg is nagy a kereslet, és további bővülése prognosztizálható, mégpedig nemcsak a privátszférából jövő igényekkel, hanem állami megrendelésekkel is (pl. államilag felügyelt minőségellenőrzések, monitoring rendszerek). Erősen tudásintenzív, innovatív kis és közepes vállalkozások egyik legalkalmasabb területe;

— *úrkutatás*. Elsődlegesen mint más ágazatok „megrendelőjét” kell megemlíteni, amelynek igényei kiterjednek az új anyagokra, anyagtechnológiákra (fionomkohászat, új ötvözetek, keramikus, ragasztó anyagok stb.), a textiliparra (különleges ruházatok), a műszerfejlesztésre, az informatika és a telekommunikáció alkalmazására, illetve, fordított irányban: a telekommunikációs rendszerek—hálózatok kiszolgálására (pl. műsorsugárzó műholdak);

— *informatika, telekommunikáció*. Utoljára, de messzemenően nem utolsósorban, ez a 21. század egyik legfontosabb, a gazdaságot és a mindennapi életet egyaránt alapvetően meghatározó ágazatcsoportja, amelynek eszközei, eljárásai, szolgáltatásai minden más ágazatban megjelennek és azok nélkülözhetetlen részei. A felvezető eszközökön alapuló digitális, elektronikus számítógépek — tehát a ma korszerűnek mondott számítástechnika ősei — a hatvanas évek második felében jelentek meg (például az IBM 360-as családja). A DEC korszakváltó felfedezésével, minigépeivel a hatvanas évek végén jelentkezett, lehetővé téve, hogy kisebb szervezetek és vállalkozások is hozzájussanak viszonylag olcsón a számítástechnikához. Azóta mindössze három évtized telt el, és a számítástechnika, valamint az öt körülvevő és megalapozó ipar (anyagtechnológiák, eszköz- és berendezésgyártás, optoelektronika, hálózatépítés és főleg rendszertechnika és szoftvergyártás, valamint az alkalmazástechnika, oktatás, fejlesztés) utolérte és elhagyta a fejlett országokban, elsősorban az USA-ban a vezető ipari és szolgáltató ágazatok volumenét. Az informatika és a telekommunikáció a 20. század kilencvenes éveinek végétől új szakaszba lépett,

amelynek jellemzői: a számítástechnikai eszközök tömeges alkalmazása a mindennapi életben (PC-k, a berendezésekbe, például autóba, egészségügyi eszközökbe stb. beépített intelligens irányítás), számítástechnika az oktatásban, a műszaki tervezésben, a termelésben; a hálózatok (internet és intranetek) általános elterjedése és használata (jelenleg százmillió nagyságrendű az internet-használó, a számuk exponenciálisan nő és ez az exponenciális menet előreláthatólag csak a 21. század tizes éveinek végén megy át telítődési szakaszba); a multimédia eszközök, a virtuális világ alkalmazásának terjedése a szórakozásban, az iparban (tervezés, szimuláció), a honvédelemben, az oktatásban; a szupernagy-sebességű transzkontinentális és regionális optikai gerinchálózatok és leágazásaik kiépítése (új infrastruktúra-fejlesztések).

A már látható *trendek*: az internet kommercializálódása (a kötetlen kutató-egyetemi kapcsolatokat felváltják a profitra dolgozó szolgáltatások, szigorú szabályozásokkal); az intranetek (egy-egy nagyobb vállalkozáson, például bank-, biztosító, kereskedelmi hálózaton vagy termelő nagyvállalon belüli, nagy távolságokat átfogó, de csak a saját belső célokat és előírásokat követő hálózatok) gyors terjedése; folytatódik és bővül a készülégyártás terén a számítástechnikai és a számítástechnikához kapcsolódó szórakoztató eszközök három-négy évenkénti generációváltása, illetve új, modernizált berendezések kibocsátása; a szoftvergyártásban új generációk jelennek meg (új, vírusálló operációs rendszerek, bonyolult alkalmazási szoftverek például a virtuális valóság létrehozásához, a hatalmas adatbázisok kényelmes és megbízható kezeléséhez, a hálózati hozzáférések új módszerei és eljárásai stb.). Külön kell kiemelni két alapvetően fontos *irányzatot*: az *egyik* a hálózatok biztonsági problémáinak megoldása, a *másik* a hálózatok tartalommal való feltöltése. A *biztonság és megbízhatóság* igen nagy alapkutatási háttérrel igényel, a megvalósítása pedig nagyon nagy befektetéseket és további szellemi (és anyagi) ráfordításokat. A biztonság több-rétegű: fizikai, jogi, gazdasági, bűnözés-megelőző és -elhárító. A számítástechnikai (telekommunikációs, hálózati) biztonság és a megbízható működés eszközeinek és eljárásainak megvalósítása a következő évtized egyik legglukratívabb ipari és szolgáltatási ága lesz; egyes részfeladatainak, különösen a nagy szellemi potenciált igénylő kutatási és fejlesztési problémamegoldó feladatainak megoldásában a kis és közepes innovatív vállalkozásoknak jelentékeny lehetőségeik lehetnek. Ugyanakkor az átviteli infrastruktúra kiépítése, a hálózatok tervezése és üzemeltetése, a tömegtermelésben készülő (mind hardver, mind szoftver) eszközök és berendezések gyártása és piacra vitele továbbra is a nagy tőkeerejű óriásvállalatok terrénuma marad, mert a megjelenő új cégek rövidesen maguk is óriássá válnak (l. például a Microsoft-sztorit). A *tartalom*-feltöltés és a tartalmak szolgáltatása, kezelése a kilencvenes évek közepén kezdett ipari méretűvé válni. Várhatóan a századforduló idejére alakulnak ki a szakosított nagyvállalkozások e téren, igen nagy számú bedolgozó, speciális ismeretekkel rendelkező szatellit kisvállalat gyűrűjével.