

**TUDOMÁNYPOLITIKA MAGYARORSZÁGON**  
**II. A DISZCIPLÍNÁK MŰVELÉSE**

**SOMLYÓDY LÁSZLÓ–BOKOR JÓZSEF**  
**–FINTA JÓZSEF–GYULAI JÓZSEF**  
**–NYÍRI ANDRÁS**

**MŰSZAKI**  
**TUDOMÁNYOK**

---



1825

# MAGYARORSZÁG AZ EZREDFORDULÓN



## TUDOMÁNYPOLITIKA MAGYARORSZÁGON I-II-III.

- I. Tudománypolitika válaszúton
- II. A diszciplínák művelése
- III. Magyarországi kutatóhelyek

Programvezető és szerkesztő  
Glatz Ferenc

Olvasószerkesztő  
Balogh Margit, Pótvó János

TUDOMÁNPOLITIKA MAGYARORSZÁGON  
II. A diszciplínák művelése

SOMLYÓDY LÁSZLÓ–BOKOR JÓZSEF–FINTA JÓZSEF–  
GYULAI JÓZSEF–NYÍRI ANDRÁS

# **Műszaki tudományok**

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
BUDAPEST • 2002

Szerkesztő  
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő  
Balogh Margit

ISBN 963 508 277 0 Ö

ISBN 963 508 350 5

ISSN 1587-2408

Kiadja  
a Magyar Tudományos Akadémia  
A kiadásért felel: Glatz Ferenc, az MTA elnöke  
Nyomdai előkészítés:  
az MTA Történettudományi Intézetének kiadványcsoportja  
Vezető: Kovács Éva  
Borító: Horváth Imre  
Tördelés: Turcsán Anita  
Nyomdai munkák: Áldási és Németh Nyomda Bt.  
Felelős vezető: Áldási Pálné  
Megjelent 2,88 (A/5) ív terjedelemben, 1500 példányban



## Bevezetés

A mérnök tevékenységét megalapozó tudományokat nevezzük műszaki (mérnöki) tudományoknak.\* Jellegében sok eltérést mutat a „tisza” tudományokhoz képest, ami megnehezíti a terület áttekintését és megítélését. Ezért nem hasznos talán valamiféle definíciót ajánlani, még akkor sem, ha ez távolról sem lesz teljes körű és pontos.

A műszaki tudományok feladata egyrészt az alapvető természet-tudományok (fizika, kémia és biológia) és a matematika törvényeinek megismerési folyamatában, másrészt és főként pedig azok alkalmazásával olyan korszerű eljárások, módszerek kidolgozása, amelyekkel az emberiség javát szolgáló eszközök, építmények, berendezések, gépek állíthatók elő és üzemeltethetők, valamint a legkülönbözőbb (gyakran nagy területekre vonatkozó) fejlesztések végezhetők el. Az alkalmazások során ma már számos, fontos integráló jellegű elv érvényesül. Ilyen például az alapanyagok és a természeti erőforrások „optimális” felhasználása, ami többek között tartalmazza a gazdaságosságra, a zárt anyagciklusok megvalósítására, a környezet megóvására és a fenntartható fejlődésre való törekvést.

A műszaki tudományok művelőinek feladata természetesen az utánpótlás képzése is. A műszaki tudományok főbb területeit a mérnöki szakma felosztása határozza meg (nem mindig egyértelműen). A hazai klasszikus szemlélet megkülönböztet gépész-, villamos-, vegyész-, építő-, építész-, közlekedés-, bányász- és kohómérnököt.

---

\* A beszámoló elkészítésében az MTA Műszaki Tudományok Osztályának számos tagja vett részt 1999 őszén. Az osztály bizottságainak véleményét kérdőív kiküldése, illetve az azokra adott válaszok révén mértük fel. Sok kiváló köztestületi tag – a vállalkozásról hallva – részleteiben is kifejtette álláspontját. Három kollégánkat – Gáspár Zsoltot, Kollár Lajost és Páczelt Istvánt – külön is felkértük, hogy szakterületükre vonatkozóan foglalják össze véleményüket. Mindannyiuk hozzájárulását ezúton is hálásan köszönjük.

Míg a tudós feladata tudni, a mérnöké tenni. A mérnök cselekvő ember, aki- nek szigorú határidőre kell megoldani feladatát. Szemben a tudóssal, ritkán van abban a helyzetben, hogy állításait, számításait és terveit részletesen igazolja. A mérnök sajátja tehát az intuíció, a készség a fontos, illetve elhanyagolható hatások és folyamatok felismerésére, a nagyságrendek érzékelésére és megbízható becslések készítésére. A tudományos ismeretekre és intuícióra támaszkodó sajátos mérnöki gondolkodásmód vezet a feltalálásokhoz és innovatív megoldásokhoz, amelyek alapvetően meghatározzák az emberek életkörülményeit. A mérnök és a mérnöki tudomány művelője tehát gyakran tudós és alkotó egy személyben. Az új, számítástechnikára alapozott módszerek e téren számottevően alakítják a mérnöki tevékenységet. A szubjektum szerepe sosem lesz teljesen kiküszöbölhető, de több területen valószínűleg csökkenni fog. A folyamat komoly oktatástechnikai kérdéseket vet fel: a leendő mérnök gyakran túlzott mértékben bízik a „pillanatok alatt” előállított eredményekben, anélkül, hogy – szemben a „logar léces” időkkal – felismerné az ellenőrzés fontosságát és elsajátítaná annak sajátos módszereit.

Az elmondottak tükrében néhány megállapítást tehetünk, amelyek segítenek kissé jobban körülhatárolni témánk főbb sajátosságait:

a) A műszaki tudomány alkalmazói jellegű és interdiszplináris, hiszen számos alaptudományra támaszkodik (utóbbi többek között tükrözi, hogy a vegyész-mérnöki szakma az MTA-n belül a Kémiai Tudományok Osztályához tartozik, ugyanakkor a környezetmérnöki terület egyelőre szinte teljesen gazdátlan).

b) Ideális esetben a műszaki tudomány és a mérnök a társadalom mindenkori, változó igényeit elégíti ki, miközben alkalmazza a természettudományok legújabb eredményeit (azaz kettős „szorításban” fejlődik vagy kellene fejlődnie). Ennek megfelelően a szakma – ha nem is válságok nélkül – folyamatos változásokon megy keresztül. Olyan új területek jelennek meg mint a környezet, az informatika, a menedzsment stb., amelyek sokféleképpen kapcsolódhatnak a meglévő kutatási és oktatási területekhez (és egymáshoz is). Jó és „divatos” esetek egyaránt találhatóak (előbbire példa a BME biológusmérnök-képzése).

c) A mérnöki szakma számos gonddal néz szembe. Ennek okai sokrétűek. Így említhetjük a társadalmi hatások felmérésének nehézségeit (például az informatika befolyása életünkre), a társadalmi igények nem megfelelő vagy késői felismerését, a szemlélet változásait (például a környezeti szempontok és elvek megjelenése), amelyet a gyakran évszázados élettartamú létesítmények nem tudnak követni, a problémák összetettebbé válását, a többszempontú döntések „kínjait”, és végül az intézményi rendszerek távolról sem kielégítő működését. Utóbbiak automatizmusaik (törvények, rendeletek, gazdasági eszközök, informális me-

chanizmusok, szabványok stb.) révén részproblémákká dekomponálják a mérnök számára a feladatokat, igen gyakran oly módon, hogy az egyébként helyes rész megoldások integrálása nem vezet az „egész” megoldásához. A gyakorló mérnök tevékenységét „külső” tényezők, igények és megrendelések alapvetően befolyásolják, ami fontos etikai kérdéseket vethet fel.

d) Fenti definíciónk tehát távolról sem teljes: a műszaki tudománynak és a leendő mérnöknek nagymértékben támaszkodnia kell a társadalomtudományokra is (ezalatt nem csupán a közgazdaságtant értjük, amely egyébként a II. világháború előtt a mérnökképzés szerves részét képezte).

e) A mérnöki szakma és tudomány rendkívül szerteágazó: az informatikától az építészetig terjed. Ennek megfelelően a részletes szakmai felosztás sem problémamentes. Ezt jól tükrözi, hogy az MTA Műszaki Tudományok Osztálya három, ún. tudományos szakcsoportból áll. Ezek a gépészeti és kohászati, az elektrotechnikai, valamint az építő-, építész- és közlekedésmérnöki szakcsoportok, amelyekhez 18 bizottság tartozik. Példaként említjük, hogy az „Építő-, építész- és közlekedésmérnöki szakcsoport” többek között magában foglalja a vízgazdálkodást is, amelynek építőmérnöki vonatkozásainál mára már sokkal fontosabbak a gazdálkodási, üzemeltetési, szennyezési és környezeti aspektusai. Összességében a bizottsági hálózat felülvizsgálata több mint indokolt, nemcsak a prioritások változása, hanem a gyakran megfigyelt, az igényekkel ellentétes szakterületi elkülönülés miatt is.

f) A mérnöki teljesítmény mérése roppant nehéz: a minőséget szigorúan szem előtt tartva annak egyaránt ki kell terjednie a tudományos és az alkotói értékekre. Előbbi a szcientometria ismert módszereivel mérhető (idézetség, impact factor stb.), ha nem is egyértelműen. Utóbbi azonban ma szinte teljesen megoldatlan, ami azt a veszélyt rejti magában, hogy a szakmát (az osztályt, a bizottságokat stb.) az alkotó mérnöki gyakorlat rovására, a publikációk révén mérhető tudományos teljesítményt nyújtó szakemberekkel azonosítják. Bizonyos területeket – a „mérés” gondoljai miatt – könnyen „diszkvalifikálhatunk”: idetartozik például az építészet, de első pillanatra meglepő módon az informatika is.

A jelen tanulmány célja, hogy a teljesség igénye nélkül áttekintést adjon a műszaki tudományok jelenlegi állásáról és főbb problémáiról Magyarországon. Mindezt annak érdekében, hogy azonosítsuk a főbb fejlesztési és kitörési lehetőségeket a rendszerváltás után tíz évvel, amikor már felcsillan az esélye az átgondoltabb tudomány- és oktatásszervezésnek.

Először a nemzetközi tendenciákat tekintjük át, majd ezek tükrében a hazai helyzetet mutatjuk be. Ezt követően kissé részletesebben a műszaki tudományok négy területével foglalkozunk: az építészettel, a mechanikával, az informatikával és az anyagtudománnyal. A szerkesztés során az építészetről szóló rész el-

térő stílusát és indulatait nem kívántuk kiegyenlíteni, ily módon is illusztrálva a mérnöki tudomány szerteágazó voltát és eltérő dilemmáit.

## Nemzetközi tendenciák

A műszaki tudományok tendenciái a fejlett világban az alábbi legfontosabb tényezőkkel jellemezhetők.

a) Az információs technológia térhódítása robbanásszerű a mindennapi élet, az ipar és a szolgáltatások számos területén. A mikroelektronikai eszközök előállításának termelési volumene ma már megelőzi az autóiipart, és a világ kutatási potenciáljának több mint 40%-a kapcsolható a mikroelektronikához. A mikroelektronikai technológia fejlődése biztosítja az élő és élettelen természettudományi területek szinte valamennyi új eszközét (roncsolásmentes diagnosztikai módszerek, génsébszeti mikromanipulátorok stb.). A műszaki tudományok minden területén exponenciálisan növekszik az informatikai eszközök alkalmazása a kutatásokban. Példaként a számítás-, mérés- és irányítástechnikát, a matematikai modellezést, a rendszerelemzés módszereit, a döntéstámogató rendszereket, a térinformatikát stb., és mindezek integrált alkalmazását említjük. Ezek révén a mérnöki tudomány túllépi a hagyományos, tapasztalatra épülő módszereit és egyre inkább közelít az egzakt tudományokhoz (egyes területeken a modellezés olyan tökéletes fokot ér el, hogy jelentős mértékben lecsökkenti a K+F-munka anyag- és energiaigényes kísérleti igényeit, de a „virtuális” kísérletezés és gyártás szinte beláthatatlan lehetőségeket nyit a szakma sok területén).

b) A stratégiai „csillagháború” hihetetlen anyagtudományi eredményekhez és anyagokhoz vezetett, amelyeket egyre elterjedtebben alkalmaznak nem csupán a mikroelektronikában és a preparatív szerves kémiában, de más alaptudományokban és a gépszerkezetekben is. A mikro- és optoelektronika, valamint a környezetvédelem, a közlekedés és energetika igényei jelentik a fő hajtóerőt.

c) A környezeti aggályok új elvek és módszerek alkalmazását tették szükségessé: megelőzés, fenntarthatóság, energia- és anyagtakarékosság, megújuló energiaforrások, újrafelhasználás, anyagok körforgásának zárása a termelésben és a környezetben, életciklus-elemzések stb. részben az előzőekben felsorolt technológiák hasznosításával.

d) Nagymértékben növekszik a kölcsönhatás a különböző tudományterületek között. Az interdiszciplináris módszerek uralkodóvá válnak.

e) A problémák megoldása és a kísérletezés szerepe módosul a számítástechnika és a matematikai modellezés előretörésével (lásd korábban is). Egyre elter-

jedtebbé válik a feladatok többdimenziós, nem permanens megoldása, nemritkán sztochasztikus elemekkel kombinálva.

f) A globalizáció következtében növekvő mértékben a multinacionális vállalatok uralják a piacot. A nagy tőkekoncentráció lehetővé teszi a költséges kutatás-fejlesztési programok megvalósítását és a piaci előny fokozását. Ezzel egyidejűleg csökken a kutatás decentralizációja és csökkennek a „magányos farkasok” esélyei (ez a tendencia ma már a „multiktól” függetlenül is érvényesül). A legfrissebb kutatási eredmények gyakran üzleti titoknak minősülnek; a cégek azonban egyre inkább belátják, hogy fejlesztéseik ún. „prekompetitív”, azaz még nem szigorúan titkos részét – a kölcsönös előnyök alapján – lehet a helyi egyetemekre, kutatóintézetekre telepíteni. Ennek megfordítása, hogy a „kompetitív” fázisnak egy-egy országba való telepítése nem lehet helyi „követelés” tárgya (a fejlesztések hazánkba „csábításában” például negatív szempontot jelent a délszláv helyzet vagy a szervezett bűnözés jelenléte is).

g) Ezzel egy időben új (gyakran haszonérdekeltségű) szervezési formák jelennek meg a kutatásban, a fejlesztésben, az innovációs lánc megvalósításában és a gyártásban, amelyben a korszerű minőségbiztosítás alapvető szerepet játszik.

Az EU 5. Kutatási, Technológiafejlesztési és Demonstrációs (KTF) Keretprogramja jól tükrözi a fenti kihívásokat és tendenciákat. A négy tematikus program<sup>1</sup> között találjuk a *Felhasználóbarát információs társadalom* és az *Energia, környezet és fenntartható fejlődés* címűeket, míg a végrehajtást elősegítő horizontális programok tartalmazzák az EU-ban folyó kutatások nemzetközi szerepének megerősítését, az innováció előmozdítását, a kis- és középvállalatok keretprogramban való részvételének ösztönzését, valamint a humán kutatási potenciál és tudásbázis fejlesztését.

A megfogalmazott kulcsakciók és prioritások közül alig van olyan, amelyik klasszikus mérnöki feladat lenne. Ezek szinte mindegyike valamilyen társadalmi célt tűz ki, jellege pedig alapvetően integráló és interdiszciplináris. A műszaki tudományokhoz legközelebbi, kiragadott példák: „a vidéki és más releváns területek integrált és fenntartható fejlesztése”, a „felhasználóbarát információs társadalom” program számos eleme (beleértve új nanométer-léptékű, kvantum-, fotonikai, bioelektronikai stb. technológiák fejlesztését is), „új és továbbfejlesztett ipari anyagok és az előállításukhoz szükséges anyagtechnológiák fejlesztése, optoelektronikai anyagok, bioanyagok, érzékelők stb.”, a „fenntartható vízgazdálkodás és vízminőség” (tisztítási technológiák, az újrafelhasználás módszerei, zárt vízkörök, integrált megközelítési módok, a vízkészletek védelme, megfigyelési és megelőzési módszerek, korai előrejelzés, műholdas technológiák a környezet megfigyelésére, a környezeti változás társadalmi-gazdasági vonatkozásai

stb.), „a holnap városa és kulturális örökség” és az „energia” (tisztá és megújuló energia, gazdaságosság, hatékonyság és fenntarthatóság stb.).

## A hazai helyzet

A nemzetközi tendenciákhoz hasonlóan a hazai helyzetet is néhány markáns, általános jellemvonással kíséreljük meg jellemezni.

a) Gyakori megállapítás, hogy a hazai műszaki tudomány lemaradva követi a nemzetközi trendet. Valójában ez csupán részizgazság. A rendszerváltás előtti kutatást nagyrészt a kényszerhelyzet befolyásolta. Az akkor elért eredmények gazdasági haszna ma már nem számottevő, azonban a „múlt” a kutatás szellemi potenciáljának nemzetközi szinten tartásával lehetővé tette a jövőbeli tevékenységet. A képhez hozzátartozik, hogy sok területen megszűnt vagy gyökeresen módosult az ipari háttér. Ily módon kutatásról gyakran már és/vagy még nem beszélhetünk.

b) A kutatói háttér alapvetően átalakult. Ezt a múltban néhány akadémiai és ipari kutatóintézet, gyári kutatórészleg és egyetemi tanszék biztosította. Mára a műszaki tudomány területén mindössze három akadémiai kutatóhely, az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI), az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet és (részben) az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet (MFA) található. Az ipari kutató-fejlesztő helyek (ÉMI, ÉTI, KÖTUKI, VÁTI, VEIKI, VIKI, VITUKI stb.) átalakultak vagy megszűntek, de kutatóbázisnak már aligha nevezhetők (a korszerűtlen struktúrák ugyan esetenként továbbélnek). A folyamat a legtöbb esetben spontán, anélkül, hogy átgondolták volna a jövő igényeit, a megmentendő értékeket (szakembereket, szaktudást és országos feladatok ellátását) és a piaci lehetőségeket. Sok esetben azonban ezen intézmények „krémje” képes volt a korábbi tudásával piacképes mérnöki irodákat és kisvállalatokat alapítani.

c) Az egyetemek szintén drasztikus változásokon mentek keresztül. A negatív jelek között említhető az oktatói-kutatói korfa egyre kedvezőtlenebbé válása (az ötven év alatti minősítettek aránya 30% alatti), az utánpótlás esetenkénti vészes hiánya, a pályaelhagyás, az agyelszívás (a kül- és belföldi egyaránt), a tömegképzés uralkodóvá válása és az elitképzés hiánya. A könyv- és folyóirat-állomány aktuális szinten tartásához nincs elég pénz. A műszerpark jórészt elavult, korszerűsítéséhez nincs meg a kellő finanszírozási háttér. Kivételt talán csak a számítástechnikai–informatikai eszközpark képez, de ennek a hatékonyságát éppen az előbbi hiányosságok veszélyeztetik. Részben ezzel is magyarázható, hogy a kutatók egy része az elméletigényes kutatási témák felé orientálódik. A kutatási hát-

teret ma egyebek hiányában az egyetemek és főiskolák jelentik, de ezek alulfinanszírozottsága egyben gátját is képezi a hazai tudományos kutatás fejlődésének. A mérleg másik serpenyőjében többek között a javuló nyelvtudás, a külföldi ösztöndíjak és nemzetközi programok nagy száma (TEMPUS és társai), részben a korszerű eszközök beszerzése (amelyek fenntartására azután gyakran nincsen forrás), továbbá a mérnöki hivatás reputációjának növekedése található.

d) A PhD-programok érdemi bevezetése nem egyszerű. A nyugat-európai tapasztalatok alapján, jól definiált körülmények között egy doktorandusz kutatási „pénzigénye” (nem az ösztöndíj) – szakterülettől függően – néhány százezer dollár. Ez az összeg természetesen automatikusan nem áll rendelkezésre, de a (neves) témavezető számára adottak a magától értetődő lehetőségek a támogatás megszerzésére. Itthon hasonló rendszertől egyelőre ugyancsak távol vagyunk. Sok területen még jó esetben is összemosódik a tanszéki szakértői munkák teljesítése és a kutatás (arról nem is beszélve, hogy megélhetési okok miatt az előbbieket elvállalásánál nem éppen a minőség a meghatározó). Finanszírozás hiányában túlzottan sok az elméleti jellegű, csak írásztalt és számítógépet igénylő téma és értekezés. Kicsiny az esélye annak, hogy a doktorandusz három-négy év alatt befejezze munkáját, és fordítva, nagy a valószínűsége, hogy már korábban „elcsábítják”. Általában nem alakult még ki az oktatás, a kutatás és a magas színvonalú mérnöki szakértés integrálódása (vagy másképpen a kutató-oktató-technológiai centrumok), ami sok kiváló nyugati (és korábbi hazai) iskola jellemzője.

e) A posztdoktorok relatív lemaradása tovább nő a fejlett európai országokban tevékenykedő, hasonló korú társaikhoz viszonyítva. A megállapítás érvényes anyagi értelemben, továbbá a kutatási feltételek, a munkakörülmények és a kihívások tekintetében egyaránt. A fiatal „marslakó”-jelöltek így válnak átlagos, gyakran frusztrált kutatókká vagy pályaelhagyókká (például bankszakembereké). Egyértelmű, hogy a tehetséges PhD- és posztdoktori generáció az, amelynek a jelenlegi kutatói-oktatói korfa mellett – az ország jövője érdekében – kiemelt motivációban kell részesülnie.

f) A kutatás-fejlesztés és az innováció katasztrófális helyzetben van. Miközben a kutatók és oktatók jelentős része megtanult (agyon)pályázni, a megfelelő pályázati rendszer (és annak intézményi feltétele) nem alakult ki: az a legtöbb esetben nem más, mint burkolt költségvetési támogatás. Megoldatlan a prioritások kijelölése, a finanszírozás és a társfinanszírozás. Ez szétaprózottsághoz és számonkérés hiányában felesleges pazarláshoz vezet szinte minden esetben (előbbi az OTKA-ra is jellemző<sup>2</sup>). Kizárja az átgondolt kutató- és alkotómunkát (egyes ki-mutatások szerint ma hazánkban több a kutatási témák száma, mint a kutatóké).

Az innováció szinte teljességgel gazda nélküli (az OMFB nem igazán az). Értékes kezdeményezésekre gyorsan reagáló állami kockázati tőkealap nincsen.

g) Az elmúlt évtizedben a legstabilabb finanszírozási forrást talán a nemzetközi projektek (TEMPUS, PHARE, COPERNICUS, COST, EUREKA stb.) jelentették. Ezek egyértelműen mutatják a nemzetközi kapcsolatok és megmértetés fontosságát. Ugyanakkor számos kedvezőtlen tapasztalat is rendelkezésre áll, ami a munkamegosztás aránytalan voltára és a pénzek donorországba történő „visszaterelésére” vonatkozik.

h) El kellene érni, hogy az oktatói és kutatói jövedelmek az egyén által a szabadpiacon elérhető jövedelem 50-70%-ára növekedjenek. Ekkor elvárható, hogy – mint minden fejlett országban – a kutatási pénzekből már nem szabad az oktatói, kutatói szféra jövedelmét növelni (ami feltételezi a K+F eredményeket hasznosító cégektől a szükséges többletjövedelem megszerzését).

i) Külön említést érdemel a technológiai transzfer kérdése. Számos területen az elmúlt egy-két évtized rohamos fejlődést eredményezett külföldön. Ilyen esetekben elsődleges cél az eredmények átvétele, ami azonban ritkán valósítható meg kutatói bázis és tényleges kísérletek nélkül. Aktuális példa a települési szennyvíztisztítás. A következő 10-15 évben több mint ezer szennyvíztelepet fognak építeni. Becslések szerint mintegy 100 milliárd forint beruházási és évi 5 milliárd forint üzemelési költség takarítható meg attól függően, hogy a feladatot rutin jelleggel vagy pedig a legkorszerűbb biológiai, kémiai és modellezési ismeretek alapján oldják meg. A kérdésnek itthon mégisincs gazdája: az „ingyen pénznek” tekintett magas állami támogatás szerepe túlzottan nagy.

j) Az elmúlt évtized során mintegy tizenöt milliárd dollárnyi működő tőke érkezett az országba. A betelepülő nagyvállalatok a legtöbb esetben a legkorszerűbb kutatási eredmények alapján építik fel termelési rendszerüket, azonban egyelőre, egy-két kivételtől eltekintve és stratégiai megfontolások miatt sokszor érthetően, a szükséges kutatásokat nem itt végeztetik (világszerte keresik a nálukénál olcsóbban, de megbízhatóan elvégezhető kutatások lehetőségeit; a külgazdasági szerveknek a szellemi kapacitásaink kihasználását jobban elő kellene mozdítaniuk). Pozitív jel, hogy a fejlesztéseik „prekompetitív” részének munkálataiba egyre gyakrabban bekapcsolják a magyar kutató- és oktatóbázist. A hazai tulajdonú ipar, és a kis- és közepes vállalatok főleg beszállítói, bér munka jellegű tevékenységet végeznek, és csak elvétve látnak el kisebb kutatási feladatokat. Általános forráshiánnyal küzdenek (néhány kivétel található ugyan – Recognita, Dunaferr Rt. stb).

k) A hazai kutatási és fejlesztési iskolák jelentős része számottevően meggyengült vagy teljességgel eltűnt. Mindezek ellenére rendelkezünk nemzetközileg is elismert eredményekkel. Kiragadott példaként említjük a géprendszerek



dinamikus üzemi terhelési folyamatainak számítógépes szimulációját, a mikrogravitációs körülmények közötti kristályosodás vizsgálatát, a hazai hulladékpapír mintegy 70%-os újrahasznosításának műszaki megoldásait, a sekély tavak tanulmányozását, a biomechanikai kutatásokat, az analogikai kutatásokkal és CNN-struktúrákkal kapcsolatos eredményeket, a mesterségesintelligencia-módszerek alkalmazását a gépészeti gyártórendszerek és egyéb termelési folyamatok irányítástechnikájában, az ionos anyagalakítás és anyagvizsgálati eljárások eredményeit, a virtuális prototípus-tervezés építészeti alkalmazásában elért nemzetközileg élenjáró eredményeket és azt, hogy az Ericsson Közép-Európában egyedülállóan Magyarországra telepítette kutatólaboratóriumát (ahol hazai szakemberek végzik a legkorszerűbb hálózati technológiákkal kapcsolatos tervezési, forgalommodellezési, szolgáltatásminőségi stb. kérdések kutatását). Hasonlóképp kiemelendő, hogy a Knorr-Bremse AG (támaszkodva a BME és a SZTAKI szellemi potenciáljára) Budapesten nyitotta meg kutató-fejlesztő központját, amelyben fékrendszerek mellett intelligens járműirányítási kutatásokkal is foglalkoznak.

l) Az egyetemi, intézeti kutatások között jelentős azoknak a száma, amelyek a felismert trendekből származnak – némileg függetlenül attól, hogy van-e ipari bázisa. Ezek tematikája a korábbi nemzetközi kapcsolataikból alakult és – esetleg ki nem mondott, de valódi – célja is e kapcsolatok ápolása. Ugyanakkor számos fontos problémát nem ismerünk fel és/vagy nem kutatunk (megfelelően). Az okok az elmondottakon túl a prioritások kijelölésének hiányával és számos ágazatban (környezet, energia, víz stb.) a tisztázatlan stratégiai (és kutatási) igényekkel magyarázható.

m) Az EU-integráció számos eltérő hatással jár majd. Először az 5. KTF Keretprogramot említjük mint azonnali lehetőséget, amely komoly kihívást jelent.<sup>3</sup> Másodsor, az EU-piacon csak a megfelelő menedzsmenettel és minőségbiztosítással rendelkező mérnöki irodák és cégek lesznek versenyképesek, és ez feltétlenül pozitív. Harmadsor, valószínűleg még jó ideig folytatódik a globalizálódó piacon az a tendencia, amely főként a tőke visszaáramoltatását célozza meg, és elsődlegesen nem a nagy tudású hazai szakemberekre kíván alapozni. Ezt a gondot azonban – ahogyan már említettük – a hazai kis- és középvállalatok fejlődésének támogatásával csökkenteni lehet.

## Építészet

Az építésztudomány számtalan szállal kötődik közeli és távolabbi társtudományaihoz; ekként kutatási területei is át- meg átfedődnek, határesetnek minősülnek, a feltett kérdésekre, problémákra többnyire csak közös válaszok adhatók.

Az *építés* általában, s ezen belül az *építészet* az emberi létezés minőségének egyik legmeghatározóbb szakmája; életünk teljes folyamatát keretező, azt befo-gadó, mozgásainkat koordináló beavatkozás. Noha az építészet elsősorúen szolgáló-szolgáltató jellegű – olyan követő „akció”, amely egy adott társadal-mi-gazdasági fejlettség által határozódik meg –, funkcionális és technikai, de esztétikai-stiláris értelemben is a számára megfogalmazott igények szerint ké-szíti el azt az épített környezetet, amelyben kénytelenek vagyunk élni. Ám mindennek ellenére, tevékenysége mégis „manipulatív” jellegű, s visszahat megfogalmazóira.

### *Általános helyzetkép*

A 20. század hatalmas tudományos felfedezései, a világháborúk sokkjai, a globá-lis motorizáció, az információs technikák teljes térnyerése és életforma-alakító hatása (a kommunikációs társadalmak kialakulása) következményeként ma az építészet jóval kevesebb figyelmet élvez, mint az emberiség múltjában bármik-or, a *jelen építésze* – legalábbis látszólagosan – nem elsősorú kifejezője saját korának. Pedig fentebb érintett megannyi hatása, életforma-alakító szerepe és „tehetsége”, maga az *épített környezet* egésze, annak jövője talán sohasem volt olyan fontos problémája az emberiségnek, mint most.

A globalizálódó világ globális „katasztrófájához” vezethet, ha az említett *térvi-lág* kérdőjeleit az emberiség (a tőke, a piac, a gazdaság) továbbra is pénzügyi, technikai és stiláris problémaként kezeli. Az a technikai fejlődés, amely száza-dunkat jellemzi, nem hagyta érintetlenül az építés-építészet területeit, de ilyen értelemben teljességgel át is alakította „*termékeit*”, s bizony nem mindenkor a szolgáló hasznosság igénye által vezetve.

A *fejlett világ* fogyasztói társadalmi, folyamatosan növekvő és változó minősé-gi igényeik okán, a fejlődő világ pedig gyors népességnövekedése, s ezen belül is elsősorúen szinte követhetetlen léptékű városiasodása miatt követelte ki azt a mennyiségi növekedést, amely az építés-produkcióiban jelentkezett. E minősé-gi-mennyiségi igényalakulás következménye lett egy rövidített időtávlatokban gondolkodó, ad hoc igényeket kielégítő építészet. Az egykori – évszázadokban gondolkodó – stabil és tartós építési „*produkciókat*” olyan építészet váltotta fel, amely technikai, anyagfelhasználási értelemben, de vizuális–esztétikai–stiláris vonatkozásaiban is a materiális és morális elavulás sohasem tapasztalt sebességé-re építi egész létezését (piaci nyereségét és valós vagy manipulált szolgáltató jel-legét).

E technikai fejlődés eredményeit hiba lenne csupán ebben a folyamatban vizsgálva, s ezekkel a negatívumokkal értékelni. A szerkezetépítés, a mechanika,

a mérnöki találmányok, az építésbe bevont új anyagok (acél, alumínium, izolációs materiák stb.), az üvegtechnikák óriási fejlődése, az építkezéseket kiszolgáló gépészeti és villamos rendszerek dimenzionális változásai következményeként a fedhető terek új minősége és volumene jelent meg a század utolsó harmadában, s a stílárís építészetek ún. egyrétegűsége („gyalogépítész”) helyett egy, a térben horizontális és vertikális értelemben is kiszabadult, sokrétegű, mesterséges eszközökkel, technikákkal (is) bejárható *produkciónok* születhettek. Egyelőre hatalmas kérdés, hogy ezek a természetes térből kimetszett, de annak dimenzióival vete-kedő mesterséges terek miként formálják, manipulálják a beléjük költöző élet-formákat és emberi mozgásokat.

A jelen, s a belátható jövő építészetének legsúlyosabb problémája az, hogy nem a *kor* társadalmi–szociális–életforma–munkaforma gondjaira adja meg válaszait, hanem az említett piac, gazdaság, tőke, divat által orientáltan alakul, s hoz létre olyan produktumokat, amelyek talán már ma sem felelnek meg a funkcionális (és humán) igényeknek, és amelyek – a korábban hivatkozott – gyors elavulásukkal kezelhetetlen-kiúttalan helyzetbe hozhatják már a következő század elejét.

A globalizálódó világ globális építésze esztétikai-stílárís értelemben produ-kálja legrajtakapathatóbb tévedéseit, hozza létre divatjait. A fejlett országok termékei etalon értékűvé válnak mindenhol; olyan követendő utat jelölnek ki, amely már a közepesen fejlett, különösen pedig a fejlődő és elmaradott országok és gazdaságok számára katasztrofálisan félrevezető. Miközben a kontinensek, népek, népcso-portok között hatalmas, múltból öröklött történelmi, filozófiai, kulturális és per-sze anyagi-gazdasági differenciák vannak, a pénz építészeti egyenruhái mindenhol azonos módon feszülnek rá az oly nagy mértékben más „testekre”.

Különösen zavaróvá válik ez a termékuralom, amikor a kommunikációs tár-sadalmak életformáinak gyors alakulását, fejlődését, netán torzulását sem viz-sgálják olyan *kutatások*, amelyek e „fejlett világban” térré, építészetté lesznek ké-pesek materializálódni. Az ugyanis, hogy a környezetvédelem, az ökológia, az energiafelhasználás (a fenntartható fejlődés jelszavával) már intenzív kutatások tárgya, elismerésre érdemes ugyan, de nem helyettesíti a szociológiai, társadalmi életforma-kutatások hiányát.

Nem tudjuk ugyanis, hogy néhány évtized múlva hogyan fogunk élni, mi-ként változnak az egyének és családok időfelosztásai, miként befolyásolja életün-ket a totális információáramlás, mit módosít életformáinkon a számítógép s an-nak várható fejlődése, miként alakítja ez az információs globalizálódás a kultú-rát, milyen módon formálódik az *egyén és a közösség* viszonya, s hogyan kezeli a fejletlen–fejlődő világ ezeket a kérdéseket. Kiragadott kérdőjelek ezek, ám építé-szetről beszélni, kutatásokat formálni a fenti kérdőjelek figyelembevétele nélkül nem lehetséges.

A kutatások egyik legfontosabb tárgya a hely szellemének, múltból öröklött, s jövőbe átmentendő karakterének vizsgálata lenne; identitáskeresés ezen említett múlttal, történelemmel, kultúrával, tájjal és környezettel, azokkal a gyökerekkel, amelyek jövőbeli térstruktúráink egyediségét képezhetik. Az öröklött múlt kérdése bonyolult, nem véletlen tehát, hogy érték kategóriái körül dül manapság a legtöbb vita építészeti-műtörténeszi berkekben. S persze nem csupán hazai prvilégiumunk ezt a problémát újra és újra körüljárni; az építészettörténet, a művészettörténet és a régészet kutatói és szakemberei nemzetközi szinten is vehemens összecsapásaik tárgyát látják ebben az oly sokszor újarajzolt kérdőjelben.

Ezen problémakörrel szoros kapcsolatban van a *múlt és a jelen* (s persze a *jövő*) építészeti kontaktusa, a múltból öröklött települések, utcák, terek, épületegyüttesek és egyedi építmények *testvéríthetősége* a jelen produkcióival. Nem véletlen, hogy az emberiség eddig megélt valamennyi stíluskorszaka jogot formált önkifejezésére, s ezen jogában nem hagyta magát csorbíttatni. A „román” és a „gótika” természetes összeolvadásai, a reneszánsz és a barokk betelepődései az őt megelőző korok épületeibe, az eklektika múltidéző és múltformáló (átformáló) beavatkozásai, s a modern (Bauhaus) szinte drasztikus bontásai, futurisztikus jövőképei után nem csoda és nem is baj a jelen túlzott konzervatizmusa ezen a téren (noha ez utóbbi éppen nálunk megfontolt átértékelésre vár).

A múlt öröksége kapcsán kulcskérdés az adott *hely* szelleméből következő *lépték*, illetve e lépték megőrzésének gondja. A globalizáció talán épp ezt a léptéket támadja leginkább (lásd a Frankfurt-effektust), s az amerikanizálódó Európa súlyos tévedései lettek, s lehetnek még ezen európai lépték drasztikus megváltoztatásai. Ez messze nem építészeti ügy, ez társadalmi-közösségi kérdés, az életformánk folyamatosságának kérdése, nemzeti, közösségi és egyéni identitás-tudatunk formálója. S mégis, ezt a témát sem lehet „panelszerű” leegyszerűsítésekkel kezelni, olyan általános tiltásokkal, amelyek tudományos és esztétikai elemzéseket nélkülözően a *hivatalok* „gyávaságából”, jövőbelátásuk, képzelőerejük hiányából származnak.

### *Hazai helyzetkép*

Egy olyan országban, mint a miénk, amely történelmi tévedései és veszteségei révén a saját múltjában felépített építészetéből mára vajmi keveset kezelhet tulajdonaként, különösen aláhúzott az az értékprobléma, hogy minden megmenendő-megtartandó, ami réginek minősül, avagy behelyettesíthető a „régit” meghaladó új értékkel. E témának eleve igen nagy a veszélye, hiszen az értékítéletek néha igencsak szubjektívek, illetve kor- és divatfüggőek is lehetnek. Nagy kérdése lesz közeljövőknek az eklektika (a historizmus) „kezelése”. Ez a stílus

már születése pillanatában magában hordozta az akkori telek- és építési spekulációk megannyi baját, technikai-anyaghasználati hibáját, s jelenünkre vált évszázadosnál öregebbé, teljes rehabilitációra és rekonstrukcióra szorulóvá. Budapest és legnagyobb vidéki városaink karakterét formálja ez a kor és ez a stílus, olyan hatalmas épületvolumennel, amely lassan kezelhetetlenné válik. Jövő technikai, de használati és stílári kutatások és számítások talán legfontosabb tárgya is lesz építészetünk, építőiparunk ezen épület- és térmatérájának sorsa.

Amikor az építészet produkcióinak minősége kérdőjelessé válik, általában nem az építészet (és építések) képességeivel van probléma, hanem magával az igényfelvetéssel. Képletszerű példája ennek az igazságnak az a néhány hazai évtized, amely az 1950-es évektől kezdődően az 1980-as évekig is eltartott. A tömeges lakásépítést, a lakótelep-építést, de a közintézmény- és középületépítés legnagyobb részét is tendenciózus politikai akarat vezérelte, amely az épületekbe kerülő életformákkal, a települések működőképességével, az épített környezet szociológiai–biológiai–ökológiai problémáival mit sem törődve állította fel mennyiségcentrikus törvényeit, építéstechnológiai jellegű primátusait (példa erre a paneles lakásépítés mint szériaafalanszter).

Az 1980-as évek végével bekövetkező társadalmi–politikai–gazdasági változások sem formálták sokkal tisztábbá az építészettel szemben támasztott igényeket. A társadalom jelen- és jövőképe még „deformált” és etalonok nélküli. A problémák óriásiak abban is, hogy milyen állapotba kerültek – általában – a települések, s hogy a végig nem gondolt privatizáció hatására milyen kilátástalan helyzetben van például a nagyvárosok 100-120 éves, eklektikus korú lakásállománya. Ennél is nagyobb gondot vet fel a panelházak és -lakások jövője. A súlyos technikai problémák között említjük az 1960–1970-es évek épületeinek szigetelési és állékonysági kérdéseit, továbbá azt a dilemmát, hogy az épületek kötött szerkezeténél fogva az átalakítás és a bővítés lehetőségei szinte teljességgel hiányoznak.

Ami az elmúlt néhány évben fejlődésnek indult, az az irodaépítés, a kereskedelmi központok (plazák) építése, az ipari parkok beruházásai és egy-két reprezentatív középület. A magyar építőipar – részben külföldi cégek által felvásárolt állapotában – már képes szinte „korszerű” európai szinten építeni. Ez azért nem kis eredmény, mivel ezt az építőipart az 1950–1980-as évek szériaépítészete majdnem teljesen tönkretette. A magyar építészet meglehetősen rövid idő alatt szintén versenyképes állapotba emelkedett. Ha építőanyag-iparunk nem is, de ezen anyagok választéka már ugyancsak világszínvonalú. Szinte mindent meg lehetne itthon csinálni, amire a fejlett világ képes, ha volna erre megrendelői igény és persze gazdasági háttér.

Aligha kerülhető meg az a kérdés, hogy vannak-e olyan magyar építész személyiségek (és iskolák), akik eladható „árúk” lehetnének akár egy egyesült Európában is? Építészetünk sokszínű: az iskolák kialakulása már az 1960-as évek végén elindult. E tendenciák leginkább deklaratív s nemzetközi szinten is legismertebb képviselője az ún. organikus iskola (amelyet elsősorban Makovecz Imre és köre jellemez). Ez az építészet „taktikusan magyarosította” magát, s ma már úgy szerepel itthon és külföldön mint a regionális magyar építészeti karakter egyetlen irányzata. Házaik természetes anyagbázisa (kő, fa, téglá stb.), formáik természetelvű unikalitása sok hívet toboroz, ám a kor legfejlettebb technikájának elutasítása meglehetősen behatárolja terjeszkedésüket (bázisuk, főként vidéken, ma is hatalmas). Lehetséges, hogy idővel elfordulnak a „solar”- és bioépítészeti irányába, kihasználva azt az ellenérzést, amely a high-tech hűvösségével szemben megnyilvánul. Ehhez az iskolához viszonylag közel áll az a pécsi iskola, amely megkésett posztmodernnek is nevezhető.

Az e századi magyar építészetben majdnem mindenkor jelen volt az észak-európai architektúra regionalizmusának csodálata. E tiszta és józan „hang” ma is követőkre talál, s ez a karakter (amely például az angol és holland architektúra jellemzője is) egy purista irányba viszi el a fiatalabb építészek jelentős részét. Ez a purizmus, amely még deklaráltabban jelentkezik a mediterrán építészetben, ugyancsak sok hazai követőre lelt, mint ahogyan saját követő tábora van annak a high-tech irányzatnak, amely a világ mai építészetének legismertebb produktumait hozza létre. Bár a magyar high-tech sok szép egyedi példával (például a Finta-iskola épületeivel) jelezte már létezését és életképességét, nálunk épp finansziális alapjait nélkülözi. Tény az is, hogy a stílus technikai–szellemi–konstrukciós igényét szerkezettervező és épületgépész mérnökeink nem mindig érzékelik. E tárgyban a mérnökképzésnek számos tennivalója van még.

Noha a fentiekből (és a nem említett példákból) egy sokszínű, világszínvonalú, érdekes építészet képe vázolódhatott fel, a valóság az, hogy a produkciók zöme provinciális, esztétikai értelemben sokszor anakronisztikus és zavaros igényeket elégít ki. E tárgyban nagy felelőssége van annak a kornak, amely a rajzoktatást, a vizuális nevelést, a művészettörténet és környezetkultúra oktatását „minimalizálta”. A károkozás a jelen hibás építkezéseivel, a múltból öröklött épületállomány lepusztulásával, a települések elgazdátlanosodásával folyamatosan fennáll.

A kutató szakembergárda, amely jelen építészetünkkel foglalkozik, jobbára stíláriis-esztétikai értelemben teszi ezt, a művészettörténetre–építésztörténetre koncentrál, s nem arra a társadalmi, gazdasági környezetre, amely ezt az építészetet létrehozta. Kutatni pedig – ahogyan arra már utaltunk – elsősorban azt

kellene, hogy a globalizáció hatásmechanizmusát is figyelembe véve, milyen gazdasági–társadalmi–szociális jövő vár ránk, s hogy ez a jövő milyen épített környezetbe helyezhető el a legmegfelelőbbben.

E kutatásnak ma semminemű intézményi háttere nincs. Az építészet mint tudomány nem elfogadott kategória az Akadémián, de a kultúrpolitikában sem. Az épített környezet igénye megannyi tudomány- és szakterületen „ápol”, s nem áll össze egységgé; olyanná, amely értelmesen fogalmazná meg a hozzá tartozó elvárások összességét.

Az egymással kapcsolatot alig tartó egyetemek ma még nem alkalmasok egy ilyen koncentrált és gyakorlatias kutatás befogadására. Olyan intézmény pedig, amely képes lenne ezt a témát ápolni, nincsen. A „fenntartható fejlődés” az építészet, de az épített környezet egésze alakulásában is ma még igencsak piacorientáltak látszik. Nálunk ma e környezet alakításának fontossága, az építészet életminőség-formáló hatása nem a közfigyelem tárgya. Ekként e szakma mind a kultúra, mind pedig a tudományok területére csak igen parciálisan engedtetett be. Ebben a közegben nem tehet mást, mint hogy követő jellegűvé váljon, külföldi etalonok után kutasson önnön fejlődése érdekében, s ezáltal ki is szolgáljon a gazdaság, a stílár divatok, a kül- és belföldi tőke „ad hoc” mozgásai által vezérelve.

### Mechanika: a gépész- és az építőmérnök tudománya

A *mechanika* a fizikának az az ága, amely a különböző halmazállapotú anyagi testek mozgástörvényeivel foglalkozik. A klasszikus mechanikában alakultak ki olyan, a fizika más területeire is alkalmazott alapfogalmak, mint például a tömeg, az erő, az energia. A mechanika mozgástörvényei kísérleteken alapulnak, a tapasztalatok absztrakciói (azoknak mérésekkel ellenőrizhetőeknek kell lenniük), amiket a matematika nyelvén fogalmaznak meg. Ily módon lehetőség van modellek alkotására, elméleti vizsgálatokra és célirányos kísérletek végzésére, továbbá a jelenségek hatásaira vonatkozó következtetések levonására.

A *műszaki mechanikán belül a merev testek mechanikája* szolgál alapul épületek, utak, vasutak, vízépítési műtárgyak, gépszerkezetek, járművek, mechanizmusok, technológiai eszközök alkotására. A *folyadékok mechanikájának* főbb alkalmazási területei: a földi, vízi, légi közlekedési eszközök, az energiaellátás gépei (például a turbinák), az ún. munkagépek (szivattyúk, kompresszorok, ventilátorok), a vízellátó- és csatornahálózatok stb. tervezése, a nyílt felszínű áramlások számítása folyókban, csatornáknban és tavakban.

## *Hol tart a világ?*

Az elméleti vizsgálatok fizikai és matematikai modellek alkotásával történnek. E modellekkel a numerikus matematika és a számítástechnika rohamosan fejlődő eszközeivel végezhető el a mozgási folyamatok, a feszültségi állapotok, a deformációk szimulálása. A nagy kapacitású és műveletsebességű számítógépek korábban elképzelhetetlenek tartott feladatok megoldását teszik lehetővé, lerövidítik a kutatási eredmények gyakorlati bevezetéséhez szükséges időt és egy-egy feladat megoldását.

A gépészeti modellt általában két fő oldaláról vizsgálják: a funkcionális oldalhoz kapcsolódóan dinamikai és kinematikai analízist végeznek, míg az erőtani vizsgálatok célja a feszültségállapot meghatározása. A funkcionális vizsgálat az üzemeltetési paraméterek elemzésével egészül ki: a kopás, a zaj, a súrlódási veszteségek stb. gépszervezetani vizsgálata ad irányt a konstrukció és a megfelelő technológia kialakítására. A feszültségállapot ismeretében – az anyagtudomány eredményei figyelembevételével – lehet dönteni a konstrukció élettartamáról, a tönkremenetel várható idejéről. A modell helytállóságát az elvégzett kísérletek és az üzemeltetési tapasztalatok igazolhatják.

A szerkezeti anyag a gépészet jelentős területén rugalmas anyagmodellel és geometriailag lineárisan írható le: így például a szerszámgépek, szállítóberendezések, járművek, hő- és áramlástechnikai gépek, a törésmechanika egyes kérdéseinél. Geometriailag nemlineáris feladatokat jelentenek például a hajlékony elemek, gumikompozitok, héjak és az érintkezési problémák stabilitási kérdései.

Rugalmas-képlékeny test modelljét használják a teherbírás számításánál. Geometriailag nemlineáris leírással a gépgyártási, alakítástechnológiai feladatok, például forgácsolás, képlékenyalakítás (hengerlés, hegesztés, folytatás, kovácsolás, mélyhúzás, zömítés) és a törések elemzése végezhető el. A nem-lineáris feladatok között nagy fontosságú a különféle szálakkal erősített gumiipari termékek, csövek vizsgálata.

Az építőmérnökök szintén matematikai modelleket dolgoznak ki a szerkezetek elemzésére. Nagy és fontos szerkezetek – például nagy fesztávú csarnokok – építését teszik lehetővé, és új, a korábbiakénál gazdaságosabb megoldásokat nyerne. Az új építőanyagok – például kompozitok, a szálerősítésű beton, különböző nagy szilárdságú ötvözött acélok megjelenése – az építészetben új anyagmodellek felállítását kívánják meg (törésmechanika, lokalizáció, károsodás és szemcsés anyagok). A vasbetonépítményekkel kapcsolatban az egyik legfontosabb, gazdaságilag kiemelkedő jelentőségű téma az időállóság vizsgálata.

A mechanikai mozgások, a képlékenyalakítás, az érintkező felületek érdekessége elkerülhetetlenné teszi különféle súrlódási törvények figyelembevételét. Emiatt a hő-



átadási problémákkal is foglalkozni kell. A kohászat, az égési folyamatok a belső égésű motorokban és a tüzelőberendezésekben, a hőcserélők számos hőáramlási feladat forrásai, ezért a termodinamika elválaszthatatlanul kapcsolódik a mechanikához. A hőtan ma még a fizikusokat és a műszaki tudományt is érintő megoldatlan problémája a nem egyensúlyi termodinamika. Az áramlástanban is mindmáig megoldatlan feladat a turbulencia kielégítő leírása.

Figyelemre méltó tény, hogy míg az 1950-es években a lineáris feszültségi analízisben a mérés 95%-os arányt tett ki, az 1970-es években ez az arány 50%-ra csökkent és a mostani évtizedben már csupán 1%-ot tesz ki a számítógépes szimuláció mellett. Az aerodinamikában is hasonló a tendencia. A vízi mérnöki gyakorlatban mára a fizikai modellek (kisminták) szinte teljes mértékben visszaszorultak, és a matematikai modelleket használják fel módszeres „kísérletek” elvégzésére (például a korszerű számítástechnika révén a gyakorlat számára „felfedezett” Lagrange-i írásmód segítségével).

A kísérleti vizsgálatok a modellek kalibrálása és igazolása érdekében természetesen nem nélkülözhetők. A modern mérési eszközök és módszerek zöme optikai elven alapszik, mind a szilárd testek mechanikájánál, mind a folyadékok mechanikája területén. Ez azonban nem teszi mindig és mindenben szükségtelessé a korábban már jól bevált eszközöket, amelyekkel közvetlenül a fizikai mennyiségek mérhetők. Összességében a mérés technika fejlődése lassúbb a kívánatosnál, és a költségek továbbra is igen magasak. Különösen érvényes a megállapítás folyókra és tavakra: a helyszíni körülmények között a természeti tényezők által befolyásolt sztochasztikus és dinamikus változók megfigyelése jelenti a legtöbb esetben a megoldás szűk keresztmetszetét (a távérzékelés fejlődése ellenére).

A műszaki tudományokban a kutatás témáit és célját a megválaszolatlan kérdések és a külső körülményekből adódó, megoldandó feladatok jelölik ki.

### *A kapcsolt fizikai mezőkre vonatkozó feladatok*

Az érintkező testek mikrogeometriája, a súrlódás anizotrópiája, a súrlódás okozta hőfejlődés, a kopás nyomon követése a hőtani és a mechanikai mezőkre vonatkozó nagyszámú, nemlineárisan kapcsolt differenciálegyenlet-rendszer megoldását teszi szükségessé. A feladatok másik osztálya az adaptív (ön szabályozó) szerkezetekkel, mechatronikai építőelemekkel kapcsolatos. A komplex mechanikai rendszereknél természetes követelmény a kedvezőtlen környezeti hatások kiküszöbölése.

A következő csoport az elhasználódás, a tönkremenetel: a repedés kialakulásának és terjedésének előrejelzése. Ehhez kísérletekkel megalapozott kritériumok

felállítása szükséges. A folyadékmechanika alapvető problémája a turbulens áramlásban fellépő látszólagos sűrűlátsási tenzor és az alapáramlás közti általános összefüggés ismeretének hiánya, aminek következménye az áramlási veszteségek meghatározásának bizonytalansága. Ennek következtében számos turbulenciahipotézissel élnek, amelyek azonban csak az esetek szűk körére vonatkoznak, s így a kísérleti vizsgálatokat nem lehet elkerülni. Az égési folyamatok matematikai modellekkel való leírása szintén csak igen korlátozott pontosságú, s így elkerülhetetlenek a költséges empirikus vizsgálatok.

A megújuló energiaforrások (a víz-, a nap-, a geotermikus energia, a biomassza) gazdaságos kiaknázását célzó kutatások világszerte előtérbe kerültek. Ennek oka nemcsak az évmilliók során keletkezett fosszilis energiaforrások várható kimerülése, hanem a környezeti károk elkerülése. Másik ok a nukleáris energiával szembeni – sokszor eltúlzott – aggodalom és általában az energiafejlesztési alternatívák nem kellő átgondoltsága.

A környezetvédelemben a levegő- és tengeráramlások, a légtérbe és a vizekbe jutó szennyezőanyagok terjedése, az emissziók csökkentése, a szennyvizek tisztítása ugyancsak napjaink lényeges kutatási területei. Ezeknek a mechanika csupán egyik pillére: a legtöbb esetben elkerülhetetlen a különböző jellegű kémiai és biológiai átalakulások és kölcsönhatások figyelembevétele, beleértve a mérésüket is. Valamely, a környezetével reakcióba nem lépő, konzervatív anyag elkeveredése („sorsa”) a hidrodinamika és a transzport egyenletei révén írható le. Ezzel szemben valós szennyezőkre (például szén-, nitrogén-, foszfor- és kénvegyületek, toxikus anyagok stb.) a reakciókinetikai tagokat is tartalmazó kiegészített, nemlineáris transzportegyenlet vonatkozik, amelyet minden jellemzőre (állapotváltozóra) fel kell írni, azaz vektoregyenletet kell kezelni.

A leíró differenciál- és integrálegyenletek megoldásának problémái felvetik a numerikus matematika alkalmazásával és fejlesztésével kapcsolatos kutatási feladatokat. Ezek fő típusai: a véges differenciák, a véges elemek és a peremelemek módszerei. Ezen eljárások fejlesztési irányjai: új, hatékony elemtípusok kidolgozása, az elemháló adaptív szabályozása, újragenerálása, új variációs módszerek megalapozása stb., valamint az algebrai egyenletrendszerek megoldásának gyorsítása, különféle iterációs technikák és – többprocesszoros számításoknál – parallel technikák kidolgozása.

A környezeti modellezés területén óhatatlanul szükséges kombinálni a mechanika „hard” és a kémia, biológia, ökológia „soft” elemeit. A reakciókinetikai almodellek alternatív hipotézisek tesztelését, a modellstruktúra identifikációját, a paraméterek becslését és a modell validációját igénylik, gyakran számos bizonytalanság mellett. Ez utóbbi célokra elkerülhetetlen az identifikáció módszereinek, továbbá az érzékenységi és a bizonytalansági elemzéseknek az alkalmazá-

sa. Végezetül, ha ez a lépés sikeres, a nyert modellt általában valamilyen döntési keretbe illesztve alkalmazzuk, amely tág terét nyitja a különböző egy- és többkritériumú optimalizálási módszereknek és döntéstámogató rendszereknek.

### *Kutatás és fejlesztés Magyarországon*

Magyarországon ma nincsen a mechanikának kutatóintézete. A külföldi gyakorlathoz hasonlóan a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) és a Miskolci Egyetem (ME) néhány tanszékén (és a rokon műszaki főiskolákon) kisebb csoportok végeznek kutatómunkát. Korábban a termékeik miatt érdekelt intézmények kutatórészlegeinél is folytak kutatások és fejlesztések. Megtermékenyítően hatottak például magas színvonalú iskoláikkal Pattantyús Á. Géza és Gruber József a vízgépek és az áramlástan, Borbély Samu az alkalmazott matematika területén, továbbá Trenka Ernő a Ganz-Mávag vízgéptervezésének vezetője.

A szivattyúk és vízturbinák járókerekeiben végbemenő áramlási folyamatok elméleti vizsgálatain alapuló tervezési eljárások – a kor követelményeit megelőzve – a gépek hatásfokának számottevő növelését eredményezték. A kétdimenziós áramlástani modellek alkalmazásával tervezett szivattyúk, vízturbinák, hidrodinamikusan nyomatékváltók energetikai paraméterei elérték a nemzetközi színvonalat.

A szilárdtestek mechanikájának kutatása terén a Miskolci Egyetemen elismert iskolája van a végelemek módszere fejlesztésének és az ipar számára szolgáló gyakorlati alkalmazásának az előbbieken már felsorolt kutatási területeken. A mechanikai modellek számítási pontosságának növelésére több eljárást is kidolgoztak.

A ME-n a turbulencia új megközelítése, a kétfázisú (szilárd–cseppfolyós) közeg vezetékes hőátadásával, a turbógépekben végbemenő energiaátalakulással, a numerikus termo- és hidrodinamika témaköreivel kapcsolatos kutatások folynak. A BME-n a vízgépek és csővezetékhalózatok tranziens jelenségeivel, numerikus áramlástannal, ventilátor terében lévő sebességtér mérésével, járművek és épületek körüli áramlásokkal, a belső égésű motorok károsanyag-kibocsátásának csökkentésével foglalkoznak.

A BME Műszaki Mechanika Tanszéke a nemlineáris dinamika területén ért el kiváló eredményeket az ún. mikrokaotikus mozgások matematikai leírása és vizsgálata révén. A nemzetközi, hazai, és ipari projektek keretében művelt alkalmazási területek között a holtidőt tartalmazó mechanikai lengő rendszerek szerepelnek, továbbá a robotok, szerszámgépek, járműkerekek és ember–gép rendszerek. A kontinuummechanikához tartoznak a lehetséges anyagtörvényekre vonatkozó kutatások, az egykristályok rugalmas–képlékeny anyagmodelljeinek

egységes rendszerbe foglalása és a lokalizáció vizsgálata a bifurkáció elmélet módszereivel.

A BME-n, a Tartószerkezetek Mechanikája Tanszéken új számítógépes algoritmusokat dolgoztak ki a szerkezetek viselkedésének pontosabb követésére és optimális tervezésre. Lehetővé vált a klasszikus rugalmas, képlékeny, viszkoelasztikus anyagmodellek mellett poligonális és fűrészfogszerű anyag-egyenletek figyelembevétele, nagyméretű tartók statikus és dinamikus terhek hatására bekövetkező nagy elmozdulásainak követése és kis szabadságfokú szerkezeteknél a globális egyensúlyi utak meghatározása.

Nemzetközi együttműködésben folyik a kutatás a vékony falú acélszerkezetek viselkedési problémáinak modellezésével, az automatizált gyártás és a szerkezeti viselkedés kölcsönhatásának vizsgálatával kapcsolatban. A stabilitási kutatások eredményei bekerülnek az összefoglaló nemzetközi kiadványokba, befolyásolják az új európai szabványokat. Jelentősek az interdiszciplináris témák is. Több mérnök foglalkozik biomechanikai kutatásokkal (a SOTE munkatársaival együtt), vagy a mérnöki feladatok megoldására kidolgozott módszerek segítségével, biológiai, kristálytani ismeretek felhasználásával kutatnak geometriai, topológiai problémákat.

A szuperbeton kutatásakor vizsgálták azokat a technológiai feltételeket, melyekkel a magasabb szilárdság mellett a beton fagy- és sóálló, vízzárás és korrózióvédelem céljára is alkalmas. Kimutatták az e betonokból álló szerkezetek időállóságának és mechanikájának legfontosabb jellemzőit. A közlekedés szakterületén az EU, illetve az OECD témáival összhangban folynak kutatások a közlekedéspítési és üzemeltetési témákban. Hazai fejlesztés eredménye az a komplex számítógépes döntéselőkészítő modell, amely lehetőséget biztosít nagyméretű, összetett finanszírozású, közlekedési infrastruktúrafejlesztések megvalósíthatóságának elemzésére.

A vízi mérnöki szakma (a BME-hez és néhány más intézethez kötődő) nemzetközileg elismert területei: a sekély tavak vízminőség-szabályozása és limnológiája, a szél keltette üledékfelkeveredés modellezése, a Balaton sokoldalú vizsgálata, a szervesanyag-lebontás folyamatainak modellezése folyókban, az áramlás, az elkeveredés és a vízminőség számítása felszíni vizekben, az éghajlatváltozás hatásainak elemzése és döntéstámogató rendszerek fejlesztése (ezen területek szinte mindegyikéhez kapcsolódik nemzetközi együttműködés), továbbá néhány sajátos hazai probléma gyakorlati kezelése (árvíz, belvíz, aszály stb.). Ugyanakkor számos, az ország földrajzi és vízrajzi helyzetéből is adódó nagytér-ségi, stratégiai kérdést alig vizsgálnak.

## Informatika, elektronika, automatizálás és távközlés

Az informatika több tudományterületet érintő általánosító fogalom. Az angol-szász szóhasználatot tekintve az információtechnológia (IT) elnevezést is használják, amit a továbbiakban a számítástechnika, távközléstechnika, elektronika diszciplínáinak, valamint a mérés- és irányítástechnika, elektrotechnika és a hozzájuk tartozó matematikai módszerek kapcsolódó területei együttesének tekintünk. Ez kihangsúlyozza az IT multidiszciplináris jellegét, de rámutat arra is, hogy az IT a műszaki tudomány eszközeivel és módszereivel vizsgálható terület.

A terület gazdasági jelentősége felbecsülhetetlen, hiszen ez szolgáltatja az alapokat minden más tudomány és technológia modern elvek szerinti műveléséhez. Szerepe a globalizációban is óriási, mert az információáramlás jelentős részét képes az energiaigényes közlekedésről leválasztani (pl. az internet). Civilizációs szerepe hasonlóan nagy. Az utánpótlás nevelésében az informatikai képzés alapvető, a gondolkodást meghatározó folyamat – legyen az a tudomány, a technológia vagy az üzleti szféra bármely ága.

Az informatikán és elektronikán belül a továbbiakban a mérnöki tevékenységet négy nagyobb csoportban tekintjük át, ezek a mikroelektronika és integrált áramkörök, számítástudomány, az automatizálás és méréstechnika, valamint a távközlés.

### *Hol tart a világ?*

*A mikroelektronika és az integrált áramkörök* az egyik olyan bázis amelyre az informatika lehetőségei épülnek. Az anyagtudomány „funkcionális” anyagainak kutatása és a kapcsolódó technológiák fejlődése eredményezte az integrált áramkör (IC) gyártásának és technológiájának meredek fejlődését. Utóbbi mögött óriási kutatási ráfordítás áll. Az egységnyi felületen elhelyezett tranzisztorok számának növelése és a rétegvastagság 0,1–0,2 mikronra való lecsökkentése együtt járt a gyártó üzemek beruházási költségeinek megötszörözésével, amiből következik, hogy csak az iparilag legfejlettebb és legtőkeerősebb országok lesznek képesek a gyártást fenntartani. A tervezés és a rendszerintegrálási folyamatokban való részvétel decentralizált marad, így mások számára is fennáll a lehetőség a részvétellel. A megállapítás valószínűleg érvényes az újabban megjelenő integrált mikrorendszerek alkalmazására is (amelyek az elektronikus áramkörök mellett optikai, mechanikai és kémiai alrendszereket is integrálnak).

A továbbfejlődés irányait tekintve a nanoelektronika, a molekuláris információfeldolgozás új elveinek megjelenése jelent új kihívásokat az új architektúrák

és tervezési módszerek keresésében. Ebben van részvételi lehetősége a hazai kutatói állománynak is a mintadarabok, prototípusok előállításáig. Az itt szerzett tudás alapot adhat egy-egy „kiugrásra”.

A *számítástudomány* jelenti az informatika korszakának meghatározó fő, de nem kizárólagos áramlatát. Az előrehaladást a processzorteljesítmények és a memória-áramkörök fejlődésével is jellemzik. Az átlagos számítástechnikai felhasználók számára is jól érzékelhető a processzorteljesítmények folyamatos növekedése, lásd az Intel és AMD legújabb 450–500 MHz és 533–600 MHz órajelű processzorait. A fejlődés hajtóereje a beszédfeldolgozás (HDTV), a valós idejű videofelismerés és -feldolgozás, amelyekhez a szükséges  $10^6$  MIPS (megautasítás/másodperc) körüli teljesítmény csak új architektúrákkal biztosítható (ami a processzor „chip”-en belül memória és logika elhelyezésével oldható meg).

A PC további terjedése mellett életben maradtak a szuperszámítógépek is. A Cray számítógépek sebessége 100 gigaflops felett van, ezeket például az éghajlatváltozási, meteorológiai és hidrodinamikai problémák megoldásában, továbbá nukleáris folyamatok virtuális jellegű szimulálásához használják.

Az adattárolókat tekintve a nagy adatsűrűségű (például  $755 \text{ Mb/cm}^2$ ) mágneses hordozók, valamint az optikai diszkek alkalmazása a jellemző. A jelenlegi trendek közül kiemelendő a közös memóriát használó rendszerek ún. klaszterbe kapcsolása. Ezekkel elérhető, hogy egy adott feladat megoldásán nagyszámú processzor dolgozzon párhuzamosan, elérve a teraflops műveleti sebességet.

Az operációs rendszerek fejlődését tekintve, a Microsoft továbbfejlesztette az NT 5.0-t, amelyet Windows 2000-re nevezett át. Emellett megmaradtak a Unix alapú rendszerek, újabban pedig a Linux terjedt el hihetetlenül gyorsan. Ez utóbbinak feltehetően az egyik oka az, hogy igen alkalmas hálózati operációs rendszernek, míg az előzőeket elsősorban „desktop” alkalmazásokra fejlesztették ki.

Az *automatizálás és mérés-technika* területén a számítás- és hálózatechnikai eszközök fejlődése mutatja az utat. A nagy és bonyolult rendszerek irányításában a nemzetközi helyzetképet nézve megjelentek az új, elosztott architektúrájú számítógépes rendszerek, amelyekben a korábbi PLC típusú elemeken kívül sok-processzoros számítógépeket és hálózati kommunikációs eszközöket találunk.

Megújult a kutatás a hibatűrő és biztonsági irányítórendszerek területén, ahol az egyes elemek meghibásodása esetén is működőképesnek kell maradnia a rendszernek, illetve meghibásodás esetén automatikus átkonfigurálódást kell biztosítani. Megjelent a funkciók rendszeres tesztelésének, valamint az automatikus hibadetektálásnak és diagnosztikának az igénye.

Az ipari hálózatok új irányában alkalmazzák a PC-technológiában ismert Ethernet-alapú rendszereket is, amelyekben redundáns kommunikációs kap-

csolatokat építenek ki. Ez azért meglepő, mert az Ethernet-„filozófia” alapján garantált „real-time” válaszidő elvileg nem biztosítható. A gyakorlati alkalmazásokban azonban a beszámolók szerint az ütközések a hálózat gyorsasága és a speciális csatlakozók alkalmazása miatt mégsem következnek be.

További érdekesség, hogy a JAVA nyelvet (talán a hozzá kifejlesztett processzor vagy a platformfüggetlen virtuális JAVA-konceptió megjelenése miatt) a „real-time” rendszerek egyik nyelvi fejlesztőkörnyezetének tekintik.

A méréstechnikában és a hozzá kapcsolódó jelfeldolgozásban egyre jelentősebb a kis méretű, nagy integráltságú jelfeldolgozó egységek, valamint az ún. virtuális műszerezés, amely tulajdonképp a mérőműszerek speciális megjelenítése a képernyőn. A fenn említett területekre komoly hatással lesz a mikroszenzorok és intelligens feldolgozó környezeteik megjelenése. A szenzorok fúziója új elméleti és módszertani kérdéseket is felvet.

A távközlés fejlődésének jellemzésében az egyik legmarkánsabb jelenség a számítástudománnyal, különösen a hálózati technológiával, az automatizálással és az elektronikával való „konvergencia”, ahogy ezt az IT trendjeinek elemzői hívják. Példa erre az adathálózatok és a számítástechnikai eszközök integrálása a kommunikációs hálózatokkal (mint például a telefonhálózatok – Computer Telephony Integration). A celluláris távközlési technológiában az új kihívásokat az ún. harmadik generációs telefónia fogalmazza meg, ahol a hangkommunikáción túlmenően biztosítani kívánják a viszonylag nagysebességű adat-, video- és multimédia-forgalmat is. Ez a generáció gyakorlatilag tetszőleges időben és helyen megvalósítja a személyes kommunikációt.

### *Kutatás és fejlesztés Magyarországon*

A mikroelektronika és az integrált áramkörök, illetve a hasonló termékek technológiáinak területén hazánkban csak kísérleti (de gyártásra nem igazán alkalmas) kapacitás található. Az egyetlen kísérleti előállítósor a KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetben (MFA) működik, ahol a szenzorika, a méréstechnika jelenti a fő irányt. A hazai K+F egyes funkcionális eszközök, például a szenzorok és beavatkozók terén fontos „résekbe” tudott behatolni (emellett hazai elektronikai ipart is képes segíteni a lehetőségek feltárásában).

Az MTA KFKI MFA mellett sikeres kutatóhely a BME Fizikai Intézete, a JATE akadémiai kutatócsoportja és a BME Elektronikai Technológia Tanszéke (oktatás és kutatás folyik még a Kandó Kálmán és a Széchenyi István Főiskolákon is). A technológia megvalósításának nehézségei miatt a hazai kutatás és oktatás zöme a tervezés irányába mozdult el. Erre példa a BME Elektronikus Eszközök Tanszéke, ahol az integrált áramkörök termikus tulajdonságait vizsgálják.

Ha azonban azt vizsgáljuk, hogy ma a hazai elektronikai ipar (Elektronika 77, Veszta-T, Semilab stb.) milyen irányokat művel sikeresen és milyen szaktudású szakembereknek ad munkát, akkor a technológiai oktatás elhanyagolása vétkes hibának minősül.

A *számítástudomány* területén hazánkban jelen vannak a nagy multinacionális társaságok képviselői (akik rendszertervezést, implementálást, termékkövetést és rendszergazda-szolgáltatásokat is vállalnak), továbbá sok sikeres, saját terméket előállító nagy- és kisvállalkozás is működik.

Kutatással több akadémiai intézetben is foglalkoznak, amelyek közül a bázis-intézet az MTA SZTAKI. A SZTAKI az akadémiai hálózati szolgáltatásokat is biztosítja (a NIIF keretében). Nagy nemzetközi visszhangot kiváltott eredmény, hogy a SZTAKI egyik laboratóriumában dolgozták ki egy új analogikai celluláris számítógép (CNN) teljes számítástechnikai infrastruktúráját. Sok alapvetően új algoritmus épül erre az új számítási paradigmára. Jelentős eredményeket mutatott fel a SZTAKI webszoportja is, amely nemzetközi konzorciumban foglalkozik webfejlesztésekkel. Digitális könyvtári szolgáltatások kialakításában is értek el figyelemre méltó eredményeket.

A hazai internet-fejlesztéseknek a nem üzleti szférát szolgáló eszközeit a kormányzat a SZTAKI-hoz telepítette, ezzel az intézet kiemelt fejlődési lehetőségeket is kapott. Ez is hozzájárulhatott ahhoz, hogy sikeresen és egyedülként „élte túl” a hasonló profilú intézmények közül a gazdasági változásokat. A terület további fontos fejlesztések tárgya lesz, amelyek valamennyi tudományág hazai előremenetelére kihatnak. Mára a koncentráltan elhelyezkedő hazai kutatóhelyek (egyetemek, kutatóközpontok stb.) jelentős fejlesztőkapacitást építettek ki. A kialakult helyzet gondokat okoz, mert csak jelentős bérfelesztés vállalása árán lehet az ott dolgozó szakembereket megtartani.

A hazai tudományegyetemek (ELTE, JATE, KLTE) és a műszaki egyetemek közül a BME, ME és a VE több tanszéke foglalkozik a számítástechnika és információs technológia kutatásával, valamint az ezekhez kapcsolódó matematikai kutatásokkal. A hírközléstechnikát tekintve kiemelkedő a BME Villamos és Műszaki Informatika Kar szerepe és (oktatási és kutatási) kapcsolatai a hazánkban jelenlévő nagy távközlési cégekkel. Egyre növekvő, sőt az egyetemekre nézve kihívást jelentő szerepet kapnak az üzemmérnökök a hazai főiskolák piacképes „termékeiként”.

A magyar kutatók az *automatizálás és mérés technika* területén megjelenő új irányokhoz sokrétű nemzetközi együttműködésekkel kapcsolódnak. A hazai kutatóhelyek közül kiemelhetünk három akadémiai kutatóintézetet (SZTAKI, MFA és az AEKI), továbbá a már említett három műszaki egyetem hat tanszékét. Az



MTA SZTAKI-ban a jelentős alapkutatói tevékenység mellett „real-time” rendszerek architektúráival, tervezésével és programozásával, valamint jelfeldolgozással és hibadiagnosztikával is foglalkoznak. Jelentős alkalmazási eredmények születtek a Paksi Atomerőmű Rt. részére a Siemens által szállított új, számítógépes védelmi rendszerek tervezési verifikációja területén, továbbá a Knorr-Bremse AG Kutató-Fejlesztő Központjával együtt az intelligens járműirányítási rendszerek kidolgozásában. Az MFA rendszereit elsősorban az orvosi elektronikában használják. Az AEKI évtizedek óta sikeres a VVR-rendszerű atomerőművek mérési és automatizálási kérdéseinek kutatásában.

Az egyetemi tanszékek kutatói és oktatási munkája felöleli a robotikától kezdve a közlekedési folyamatok és járművek intelligens irányításáig tartó alkalmazásokat és célkutatásokat. A kutatás és a képzés hazai színvonala magas, ami a nemzetközi tudományos életben való szerepléssel és az együttműködési szerződések, közös projektek nagy számával mérhető.

A negyedik, egyre fontosabb ág a *távközlés*, amelyre hasonló megállapítások vonatkoznak, mint a mikroelektronika egészére. Ezen túl a nem kicsiny hazai piacra, valamint a szomszéd piacokra való betörésük is hozzájárult ahhoz, hogy a fiatal villamosmérnökök szellemi potenciálja jelentős mértékben erre a területre koncentrálódik. A nagy távközlési cégek (Ericsson, Nokia) is felismerték ezt a lehetőséget, és jelentős fejlesztési bázisokat hoznak létre. Az embargó megszűntével azonnal hatottak az üzleti szempontok: a Matáv számottevő fejlesztésekbe kezdhetett, és gyorsan megalakultak a mobiltelefon-társaságok. A Matáv a viszonylag jól sikerült privatizáció példája, bár törvényileg biztosított monopolhelyzete máig ható gondokat okoz a szolgáltatások áraiban.

A távközlés területén három egyetem (BME, VE és ME) villamos és informatikai fakultásai, három multinacionális cég (Ericsson, Nokia és újabban a Bosch) kutatóintézetei, valamint néhány vállalkozás fejt ki jelentős aktivitást. Foglalkoznak a korszerű távközlési és hálózati technológiákkal, az ezekben alkalmazott speciális protokollok problémáival, továbbá az internet jövőbeni szerepével, a forgalommodellezés és teljesítőképesség vizsgálatával, a nagy távközlő és informatikai hálózatok tervezési kérdéseivel és az ezeken nyújtható integrált szolgáltatások (a hang, a kép és a multimédia egyidejű átvitele) mód-szereivel. A mobil távközlő rendszerekhez kapcsolódva a kódolási és hozzáférési problémák vizsgálatában végzett kutatások figyelemre méltóak.

A fenti területeken az igazán igényes hazai kutatói feladatok és alkalmazások köre (néhány jó példától eltekintve) meglehetősen szűk. Az alkalmazók vagy ké-szen veszik rendszereiket, vagy meglehetősen keveset tudnak új kutatásba/fejlesztésbe beruházni. A kutatóhelyekre jellemző, hogy azok tudták lépéshátrányukat csökkenteni, illetve élvonalbeli kutatásokat végezni, amelyek be tudtak

kapcsolódni a nemzetközi kutatási együttműködésekbe, és közvetlen kapcsolatokat tudtak kiépíteni a vezető külföldi műhelyekkel. Az együttműködés „cserealapja” elsősorban kutatóink kiváló elméleti felkészültsége és innovatív képessége, holott a tartós itthoni tevékenység igényli a hazai kutatási infrastruktúra meglétét is.

## Anyagtudomány

Az anyagtudományt általában „keresztirányú” (horizontális) tudománynak nevezik: minden civilizációs tevékenység anyagokra épül. A civilizáció kezdetei is azonosíthatók az anyagok felhasználásával és az anyagismerettel. Az anyagtudomány szakmapolitikai hátránya mára abból fakad, hogy a világ elvárja: funkcionális eszközeiben megfelelő anyagok, szerkezetek legyenek. A funkciót értékeli, az azt lehetővé tevő anyagot, szerkezeteket azonban szinte észre sem veszi.

Sok országban, köztük hazánkban is, az „anyagtudományt” a kohászat körüli tudománnyal azonosították. Az elterjedten használt „materials science and engineering” nemcsak sokkalta szélesebb kategória, de eleve modern, a fizika és kémia eredményeire építő tudományként arat sikereket. Célja, hogy elszakadjon a mesterfogásokra épülő klasszikus koncepciótól, és áttérjen a mai számítógépi módszerekkel már kezelhető modellezés, az első elvek alapján való megértés és megvalósítás módszerére. Az Európai Unió pályázataiban a „generic technologies” fedi le (sokszor: el) a fenti fogalmat, természetesen szélesebb kontextusban.

Az anyagtudomány interdiszciplináris voltát az is szemlélteti, hogy az MTA-n belül három tudományos osztály (fizikai, kémiai, műszaki) vallja sajátjának. Az első, elméleti ismeretek a fizikából indultak ki. Emiatt a szilárdtestfizikának és optikának nincs éles határa az anyagtudomány felé. A jelenségorientált kutatások során felfedezett törvényeket az anyagtudomány mint a mikrovilágban működő anyagalakító „szerszámok”-at használja. Például a diffúzió jelensége abban az értelemben érdekli az anyagtudóst, hogy azzal előre megtervezett adalékolást végezzen. A kémia is saját leszármazottjának tartja az anyagtudományt: a fizikai elvek sorra váltak először kémiává és onnan tovább anyagtudományos szerszámokká. Napjainkban a fizika és a kémia már a biológiában okoz paradigmaváltást, és ily módon alakul ki a bioanyagok csúcstechnológiája. Az évezredes, féltve őrzött titkok tudománya ilyen értelemben oldódik „szép” múlttá. A műszaki tudományban az alkalmazások válnak kihívássá és bizonyítékká a spirálisan emelkedő kutatási logika igazolására.

Két alapvető anyagcsaládról kell beszélnünk: a *szerkezeti anyagokról*, valamint a *funkcionális anyagokról*. A *szerkezeti* kategóriában a legváltozatosabb feladatokhoz illeszkedően főleg a mechanikai, a szilárdságtani tulajdonságok a dominánsak. Ehhez társulnak természetes követelményként az élettartamot meghatározó kopás- és/vagy korrózióállóság, biokompatibilitás, de lehet igény például a hőállóság, a sugárzásokra való érzéketlenség is.

A *funkcionális* anyagok kategóriájában az anyagoknak főleg az elektromos, optikai, mágneses viselkedése, a külső hatásra adott ilyen válasza a meghatározó, amely felhasználható valamilyen feladat végrehajtására (bár ezeknél is vannak „szerkezeti”-nek minősülő elemek – például az integrált áramkörök szilícium alaplemezének elég szilárdnak kell lennie ahhoz, hogy a gyártási folyamatban ne törjön). A funkció lehet az anyag egyetlen belső tulajdonsága (a „smart”-ként emlegetett, például alakra emlékező anyagok), de lehet technológiai műveletek sorával kialakított számítástechnikai, híradástechnikai vagy optikai alkalmazás, illetve lehet mágneses, gravitációs érzékelés. Minden fizikai, kémiai és biológiai elv lehet a funkcionális anyagot célirányosan működtető anyag, szerkezet, rendszer alapja. Ebből levezethetően az „érzékelés” és/vagy a „beavatkozás” képessége különbözteti meg elsősorban a funkcionális anyagokat a szerkezeti anyagoktól.

### *Hol tart a világ?*

Ha táblázatszerűen képzeljük el a fő „iparágakat”, miként a K+F-szféra, az informatika, a gépipar, a közlekedés, az energetika, a vegyipar, az agráripar, az egészségügyi ipar ágazatait és mellé képzeljük az anyagcsaládokat: a félvezetőket, optikai anyagokat, a fémeket, kerámiákat, nanoszerkezetű anyagokat, „intelligens” funkcionális vegyületeket, komplex funkcionális anyagszerkezeteket, beláthatjuk, hogy minden metszéspontban izgalmas, új fejlesztéseket igényel az ipar.

A funkcionális anyagokon (elsősorban félvezetőkön) alapuló számítástudomány, amely mára a programokba, programcsomagokba már-már az emberéhez közeledő intelligenciát építette be, képes a teljes anyagtudomány átalakítására. Olyan kapacitást hozott létre, amellyel a korábbi idők kényszerből megszokott közelítő számításai szinte egzaktul is elvégezhetők. Példaként az integrált áramköri technológiák szimulációját említjük, ahol vagy tízféle művelet (oxidáció, ionimplantáció, fotolitográfia, kémiai és fizikai rétegleválasztás stb.) sok száz lépéses, eltérő sorrendje és a hő, nyomás stb. alapján számítható, hogy a készülő tranzisztor mekkora feszültséget igényel és milyen sebességgel működik. Ezzel a tudással az anyagtudomány is teljesen új korszakába lépett. A végtermék tulajdonságainak szimuláció segítségével történő előzetes „jóslási” képessége adja a

„csúcstechnológia” lényegét. A mikroelektronikai technológiákban ez a szimulációs tudás olyan tökéletesen valósul meg, hogy az emberi tapasztalat tényezőjét nagymértékben kikapcsolja – ami által a reprodukálhatóság ugrásszerűen megjavult.

Az emberiség elemi érdeke, hogy ez a tudás valamennyi iparágban elterjedjen, különösképpen a nagy energiafogyasztásúakban, hogy az energia- és anyagfelhasználás csökkenjen. Ezek a kihívások új szemléletet hoztak az anyagtudományba, és kikövetelhetik a teljes újrahaznosítást, mint optimalizációs elvet, elősegítve egy hulladékmentes és fenntartható világ megvalósítását.

### *A hazai helyzet*

A rendszerváltás előtti évtizedekben az anyagtudomány egyes ágaiban aktív, de az embargó miatt kényszerpályán mozgó kutató-fejlesztő munka folyt: a fő cél a hozzá nem férhető anyagok kiváltása volt. A mai helyzet tehát öröklötten torzult. Ez nemcsak „a vas és acél országa” szélsőségeket, de például az alumíniumbányászat, -kohászat stb. belső indíttatású felfuttatását is jelentette. Ezzel együtt – más területekhez hasonlóan – sok eredmény született, kiváló szakmai iskolák jöttek létre, amelyek ma is az alapját képezik a K+F-tevékenységnek.

A *szerkezeti anyagok* kutatása terén a legismertebb iskolák az egyetemeken vannak: a BME több karán, a Miskolci és a Veszprémi Egyetemen, valamint az ELTE, illetve a Kossuth Lajos Tudományegyetem természettudományi karain és a Bánki Donát Műszaki Főiskolán.

Tematikájuk a fémek, kompozitok, polimerek vizsgálatától a mérés technika kutatásáig, valamint technológiai szimulációkig széles skálán mozog. Az MTA MFA-ban folyik kerámiakutatás, valamint a wolframkutatás szinten tartása. Ugyanott jelentős kutatási erők foglalkoznak – a hazai orvosi, illetve szakipari cégekkel együttműködve – orvosi implantátumok előállításával, azok biokompatibilitásának kutatásával. Az MTA Központi Kémiai Kutatóintézetében (KKK) a korróziós kutatások magas színvonalúak. Szerkezetkutatások terén az MTA KFKI MFA is kiváló.

A *funkcionális anyagok* kutatásában a BME Fizikai–Kémiai Tanszéke a „smart” anyagokkal, a BME Elektronikai Technológiák Tanszéke a „befejezés” oldali elektronikai technológiai kutatásokkal, az optoelektronika egyes ágaival pedig a BME TTK Atomfizika Tanszéke foglalkozik sikerrel. Az Elektronikus Eszközök Tanszék áramkörök tervezése, azok termikus modellezése felé fordult (a megtervezett eszközöket külföldön gyártatja le). A JATE Optoelektronikai Tanszékén, illetve a csatlakozó MTA kutatócsoportban a lézeres mikromegmunkálás módozatainak kutatása említendő.

Az MTA KFKI MFA-ban a félvezető eszközök kutatása sikeres. Az intézet üzemelteti a régió egyetlen minősített tisztaságú, félvezetőkutatásokra berendezett laboratóriumát a szenzorkutatások, azok mintadarabjainak előállítására és kis sorozatú reprodukciók céljaira. Több évtizedes tapasztalatuk van az ionsugáras anyagmódosítások, az ionimplantáció terén. A KFKI két intézetének témái is megemlíthetők a műszaki tudományok terén, ahol fizikai, jelenségorientált indíttatású stratégiával foglalkoznak a fémekkel, folyadékkristályokkal, illetve a szilárdtestfizikának azzal határos területeivel. Az MTA KFKI AEKI – a reaktorbiztonsági kutatások mellett – jelentős erővel foglalkozik reaktoranyagokkal, elsősorban a sugárzás hatására bekövetkező tulajdonságváltozások vizsgálatával. Az MTA KKK-ban jelentősek a vizes korrózió terén elért eredményeik. A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány keretei között megalakult anyagtudományi intézetek iparközei stratégiájukkal közelítőleg önfenntartóak. Kiforrottak és sikeresek itt a lézeres anyagmegmunkálásra és a különféle szerkezeti anyagok reciklizálására vonatkozó kutatások.

A szerkezeti anyagok terén a Dunaferri és a hasonló, szerveződő ipari intézetek jelentenek fontos orientáló centrumokat. Ezek köré csoportosulnak az egyetemek, valamint a Bay Zoltán Alapítvány ilyen irányú kutatásai. A fő célnak itt az utánpótlás nevelése látszik. Az MTA KFKI AEKI reaktoranyag-kutatásai, vagy az MTA KFKI MFA orvosi alkalmazású kutatásai is fenntarthatók. Hasonló igaz az MTA KKK korróziós kutatásaira. A funkcionális anyagok kutatása zömmel összeolvad az informatikai kutatásokkal. Az MTA KFKI MFA szenzorikai kutatásai, lézerfejlesztései – alátámasztva a szerkezetkutatásokkal – a nemzetközileg is magasra értékelt alkalmazott kutatás élvonalát alkotják a jövőben is. Ugyanez mondható el a BME Atomfizika Tanszék CD-memóriakutatásaira.

## Zárszó

A hazai mérnöki tudományok az ezredfordulón válságos állapotban vannak, aminek okai ismertek: a II. világháború utáni kényszerpályás fejlődés, a rendszerváltást követő gazdasági megszorítások hatásai, a rövid távú szemlélet érvényesülése, a kutatás-fejlesztésre fordított összegek alacsony volta stb. Az alulf finanszírozottság következménye a kutatási infrastruktúra fokozatos lemaradása, az átgondolt programok hiánya, a kísérleti lehetőségek beszűkülése, a tudományos iskolák eltűnése, a többoldalú „agyelszívás”, a kutatói utánpótlás elöregedése és így tovább.

A globalizáció korában a jelenlegi, gazdasági fejlődésünktől messze elmaradó kutatásfinanszírozás helyrehozhatatlan leszakadáshoz vezet. A sikeres

EU-csatlakozás elképzelhetetlen a kutatás-fejlesztés felzárkózása nélkül, hiszen az a gazdaságot alapvetően befolyásoló szellemi erőforrás. A kutatás átfogó, „csúszó” felértékelése az EU-országok átlagához mintegy tíz éven belül elkerülhetetlen feladat. A hangsúly a tervezhetőségen van, amelynek betartása a társadalom és a mindenkori kormányzat alapvető érdeke.

Az EU-integrációra építő, kiszámítható finanszírozás az előrelépés legfontosabb előfeltétele. Ennek azonban együtt kell járnia a tág értelemben vett intézményi konszolidációval (beleértve az egyetemeket és a különböző jellegű kutató- és fejlesztőhelyeket), a többforrású, piacorientált finanszírozás hatékony módozatainak kialakításával, a különböző alapok és pályázati rendszerek összehangolásával, a korszerű menedzsmentszemlélet és bérrendszer bevezetésével (amelyek mindegyike figyelembe veszi a kutatás, a fejlesztés és az innováció különböző formáit), a pénzt nem feltétlenül igénylő motivációs formák megtalálásával, továbbá a fiatal tehetségek és a posztdoktori réteg kiválóságainak megőrzésével és támogatásával.

A „mindent kutatni” szemlélettel szemben az előrelépés alapvető előfeltétele a prioritások kijelölése. Ez utóbbi a műszaki tudományok területén – annak kutatói, alkotói, fejlesztői, innovációs, alkalmazói és interdiszciplináris jellege miatt – különösen nehéz. Fontos az a felismerés, hogy a jövő műszaki tudományát a társadalmi igények és a természettudományok által nyújtott legfrissebb ismeretek fogják alapvetően meghatározni. Nagy szükség lesz az erős elméleti alapokon nyugvó, széles látókörre, rugalmasságra és kreativitásra nevelő oktatásra. Hasonlóan nagy szükség lesz a cselekvésorientált, interdiszciplináris kutatásokra. Kiragadott példaként említjük az anyag- és energiatakarékos eljárásokat, az energiagazdálkodás számos kérdését (különös tekintettel a takarékosagra, a megújuló erőforrásokra, a biztonságtechnikára és a piacosítás dilemmáira), a vízgazdálkodás és vízminőség-szabályozás nagyléptékű feladatait, a következő 10–15 év óriási infrastruktúra-fejlesztéseinek (úthálózat, vízellátás, szennyvíz- és hulladékgazdálkodás) multidiszciplináris meg-alapozását, a környezetmérnöki kutatásokat, sok területen a legkorszerűbb eredmények átvételét és bevezetését biztosító iskolák megteremtését, az informatikai tevékenységhez kapcsolódó elvi, módszertani kutatásokat, a hatékony alkalmazáshoz szükséges fejlesztéseket és a „szenzorika” területét.

A hazai műszaki szellemi potenciál még mindig erős. Kiaknázása a gazdasági és kulturális előrehaladásunk egyik alapja. Hasznosítására ad is reális esélyt a hazai és a globális gazdasági helyzet, ha az párosul a specifikus körülményeknek megfelelő, határozott kutatás-fejlesztési koncepció kidolgozásával és annak átgondolt megvalósításával.

Jegyzetek

- 1 OMFB (1999): *Tájékoztató az Európai Unió 5. Kutatási, Technológiafejlesztési és Demonstrációs Keret-programjáról (1998–2002)*, OMIKK, Budapest.
- 2 A BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszéke eredményekben és publikációkban gazdag tízéves OTKA-tevékenységét értékelte, amely kutatásuk döntő részét képezi. A roppant tanulságos clemzés szerint 1991 és 2000 között az évi, pályázonkénti támogatás reálértéken mintegy ötödére csökkent (4-5 kutató/pályázat). A névérték szinte változatlan, 1,5 millió Ft/pályázat/év, ijesztően alacsony (valamely kis-közepes méretű ipari megbízás ötöde-tizede; a következők közismertek). Az évi bérjellegű kifizetés személyenként nem haladja meg az egy-két tízezer forintot (talán elégséges a villamosbérletre). Állóeszközök tekintetében – amennyiben számítástechnikai berendezésekről van szó – az OTKA-támogatás ugyanakkor biztosítja az alapszintet. Az OTKA nagy értéke az utazási lehetőségek megteremtése és a nemzetközi együttműködések elősegítése. Az átgondolt finanszírozás esélyeit sejteti, hogy a fenti szerény, de többé-kevésbé kiszámítható támogatás is közel húsz tudományos fokozathoz vezetett, a PhD-től az MTA-tagságig.
- 3 Az első pályázat tapasztalatai azt mutatják, hogy a hazai tudományosság – minden alapvető gondja ellenére – még volt olyan állapotban, hogy az eddig elnyert pályázati összeg nagyobb volt, mint a (még redukált) befizetés (ez nem jelent teljesen pozitív képet, mert az illeszkedő hazai támogatás – „matching fund” – nélkül „Patyomkin-faluvá” válhatunk).





# STRATÉGIAI KUTATÁSOK A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIAI MŰHELYFÜZETEK

## II. A DISZCIPLÍNÁK MŰVELÉSE

Matematika (*Császár Ákos*)

Orvostudomány (*Vizi E. Szilveszter*)

Biológia (*Friedrich Péter*)

Fizika (*Horváth Zalán–Nagy Károly–Tompai Kálmán*)

Kémia (*Görög Sándor*)

Gazdaságtudományok (*Szentes Tamás–Zalai Ernő*)

Nyelvtudomány (*Kiefer Ferenc*)

Állam- és jogtudomány, politológia (*Kulcsár Kálmán*)

Művészetek (*Poszler György*)

Történettudomány (*Glatz Ferenc*)

Filozófia (*Vajda Mihály*)

Agrártudomány (*Dohy János–Heszky László–Tomcsányi Pál*)

Szociológia és demográfia (*Cseh–Szombathy László*)

Földtudomány (*Pantó György–Ádám József–Mészáros Ernő*)

Műszaki tudományok (*Somlyódy László–Bokor József–*

*Finta József–Gyulai József–Nyíri András*)

Informatika (*Vámos Tibor*)

1996 májusában az MTA javaslatára átfogó tudománypolitikai reform kidolgozása indult meg Magyarországon. A Tudománypolitikai Kollégium május 22-én állást foglalt egy hosszú távú terv és egy cselekvési program kidolgozásáról. A Tudománypolitikai Kollégiumnak az Akadémia elnöke az érintett tárcákkal egyeztetve november 13-án előterjesztette a rövid távú cselekvési programot, amely többek között tartalmazta a magyarországi állami fenntartású kutatóbázis áttekintését és konszolidálását (többek között az akadémiai és a tárcák kezelésében lévő kutatóintézetek áttekintését és későbbi időpontban diszciplínaként, a tanszéki kutatóbázis átvilágítását). Tartalmazta a program a finanszírozási rendszer felülvizsgálatát, s ennek részeként a költségvetési ráfordítás hanyatlásának megállítását. Emellett szólt a program a fiatal kutatók helyzetének megvizsgálásáról, a kutatói és egyetemi bérrendszer reformjáról, tudomány és társadalom viszonyának felülvizsgálatáról és általában a magyar tudomány és kutatásszervezet nemzetközi beágyazottságának elősegítéséről.

1996 decemberében állást foglalt az országgyűlés a tudomány kiemelt költségvetési támogatásáról, és megbízta a Magyar Tudományos Akadémiát azzal, hogy tízéves távlatban, folyamatos munkával vizsgálja felül a magyarországi tudomány helyzetét, és fogalmazzon meg javaslatokat a tennivalókra.

Az MTA közgyűlése 1997 decemberében állást foglalt három tudománypolitikai program megindítása érdekében:

1. Készüljön el egy helyzetértékelés és annak vitája.
2. Kerüljön sor a Magyarországon művelt tudományágak helyzetértékeléseire (diszciplínaviták).
3. Készüljön el a magyarországi kutatóbázis katasztere.

1998 tavaszára elkészült a helyzetértékelés és a piacgazdaság viszonyai között mozgó tudománypolitika alapelveinek tisztázó vitairata. (*Tudománypolitika az ezredforduló Magyarorszáján*. Budapest, 1998.) És megindultak a tudománypolitika kérdéseiről a viták (ezek eredményeként 2002-ben jelenik meg a *Tudománypolitika és kutatásszervezet Magyarországon* című kötet). 2000-ben pedig elkészült a magyarországi kutatóbázis katasztere (*Magyarországi kutatóhelyek*. Budapest, 2001).

1999-ben és 2000-ben lefolytatták a diszciplínavitákat. E viták eredményeként készültek el az elmúlt esztendőben az egyes diszciplínákat értékelő tanulmányok, amelyeket a jelen füzet sorozatban adunk közre.