

Műszaki tudomány és a változó világ

Somlyódy László

Műszaki tudomány a változó világban*

Az alábbiakban megkísérelünk keretet adni tematikus összeállításunkhoz, amelyben a tanulmányok a műszaki tudomány és a mérnöki szakma kihívásait kísérlik meg boncolgatni. Teszik ezt elsősorban a múltat elemezve és tudva, hogy előrelátásunk roppant korlátozott. A fejlődést a múltban szinte mindig a korábban ismeretlen tényezők, igények, változások és lehetőségek határozták meg. Ez a tulajdonság a jövőre is valószínűen érvényes marad. A „leckéket” ezért érdemes megjegyezni.

A műszaki tudományról és a mérnöki szakmáról

A mérnök tevékenységét megalapozó tudományt nevezzük műszaki (mérnöki) tudománynak. Jellegében sok eltérést mutat a „tisztá” tudományokhoz viszonyítva. Mondandónk szempontjából nem haszontalan definíciót ajánlani, még akkor sem, ha ez távról sem lesz teljes körű.

A műszaki tudományok feladata¹ egyrésről az alapvető természettudományok (fizika, kémia és biológia) és a matematika törvényei segítségével „a megismerés folyamatában” való részvétel, másrésről pedig azok alkalmazásával olyan korszerű eljárások, módszerek kidolgozása, amelyekkel az emberiség javát szolgáló eszközök, építmények, berendezések, gépek állíthatók elő és üzemeltethetők, valamint legkülönbözőbb jellegű, gyakran nagy tér-

* 2000. tavaszán, az akadémiai hét keretében az MTA Műszaki Tudományok Osztálya szakmai ülést tartott a jövő kihívásairól. Kiindulópontul az a tézis szolgált, hogy a mérnök tevékenységét a következő évtizedben a várható társadalmi igények és a ma rendelkezésre álló, legkorszerűbb természettudományos ismeretek határozzák meg. Ebbe a keretbe ültetve tekintették át az előadók a mérnöki szakma néhány nagy múltú és forradalmian fejlődő, új területét. A jelen számban az elhangzott előadásokból adunk válogatást. A teljes anyag az MTA gondozásában külön kötet formájában jelenik meg.

¹ Somlyódy L., Bokor J., Finta J., Gyulai J. és Nyíri A. (2000): A műszaki tudomány Magyarországon. A magyar tudomány és tudománypolitika az ezredfordulón, MTA (sajtó alatt)

ségekre vonatkozó fejlesztések végezhetőek el. Az alkalmazások során ma már számos fontos, integráló jellegű alapelv érvényesül. Ilyen például az alapanyagok és a természeti erőforrások „optimális” felhasználása, amely általános megfogalmazás többek között tartalmazza a gazdaságosságra, a zárt anyagciklusok megvalósítására, a környezet megővésére és a fenntartható fejlesztésre való törekvést (l. *Vajda és Istvánovics és mtsai tanulmányait*).

A tudós feladata tudni, a mérnöké pedig tenni. A mérnök cselekvő ember, akinek szigorú határidőre kell megoldania feladatát. Szemben a tudóssal, ritkán van abban a helyzetben, hogy állításait, számításait és terveit részletesen igazolja. Gyakran „jósolnia” kell (l. *Kollár* cikkét). 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 azokat a körülményeket, amelyek között az emberiség él. A mérnök és a mérnöki tudomány művelője tehát gyakran tudós és alkotó egy személyben. Az új számítástechnikára alapozott módszerek, az elektronika és az információtechnológia új hulláma (*Roska* tanulmánya) e téren számottevően alakítják a mérnöki tevékenységet. A szubjektum szerepe sosem lesz teljesen kiküszöbölhető, de több területen valószínűleg csökkenni fog. A folyamat jelentős oktatástechnikai kérdéseket vet fel: a leendő mérnök gyakran túlzott mértékben bízik a korszerű számítástechnikai és informatikai eszközökkel „pillanatok alatt” előállított eredményekben, anélkül, hogy – szemben a „logarléces” időkkel – felismerné az ellenőrzés fontosságát és elsajátítaná annak sajátos módszereit.

Az elmondottak tükrében erőteljesebben körülhatárolhatjuk témánkat. A műszaki tudomány alkalmazó jellegű és interdiszciplináris, hiszen számos alaptudományra támaszkodik. Ideális esetben a műszaki tudomány és a mérnök a társadalom mindenkori, változó igényeit elégíti ki (l. *Michelberger, Finta és Kollár* hozzájárulását), miközben alkalmazza a természettudományok legújabb eredményeit: kettős „szorításban” fejlődik vagy kellene fejlődnie. Ennek megfelelően a szakma – ha nem is válságok nélkül – folyamatos változásokon megy keresztül. Új szakágak jelennek meg, mint a környezet, az informatika, a menedzsment stb., amelyek sokféleképpen kapcsolódhatnak a meglévő kutatási és oktatási területekhez (és egymáshoz is).

A mérnöki szakma számos gonddal néz szembe. Ennek okai sokrétűek. Így említhetjük a társadalmi hatások felmérésének nehézségeit, a társadalmi igények nem megfelelő vagy késői felismerését, a szemlélet változásait (például a környezeti szempontok és elvek megjelenése, l. *Istvánovics és mtsai*, valamint *Vajda* tanulmányait), amelyeket a gyakran évszázados élettartamú létesítmények nem tudnak követni, a problémák összetettebbé válását, a több szempontú döntések „kinjait” és végül az intézményi rendszerek távolról sem kielégítő működését. Utóbbiak automatizmusaik (törvények, rendeletek, gazdasági eszközök, informális mechanizmusok, szabványok stb.) révén „dekomponálják” a mérnök számára a feladatokat részproblémákká, igen gyakran hibásan, oly módon, hogy az egyébként helyes rész megoldások integrálása nem az „egész” megoldásához vezet. A gyakorló

mérnök tevékenységét „külső” tényezők, igények és megrendelések alapvetően befolyásolják, ami fontos etikai kérdéseket vethet fel.

Fenti definíciónk tehát nem teljes: a műszaki tudománynak és a leendő mérnöknek nagymértékben kell támaszkodnia a társadalomtudományokra is (ezalatt nem csupán a közgazdaságtant értjük, l. *Kollár* okfejtését). A mérnöki szakma és tudomány rendkívül szerteágazó: az informatikától az építészetig terjed. Ennek megfelelően a részletes szakmai felosztás sem problémamentes. A mérnöki teljesítmény mérése roppant nehéz: a minőséget szigorúan szem előtt tartva annak a tudományos és az alkotói értékekre egyaránt ki kell terjednie. Előbbi a tudománymetria ismert módszereivel mérhető (idézetek száma, impakt faktor stb.), ha nem is egyértelműen. Utóbbi azonban ma szinte teljesen megoldatlan, ami azt a veszélyt rejti magában, hogy a szakmát az alkotó mérnöki gyakorlat rovására, a publikációk révén mérhető tudományos teljesítményt nyújtó szakemberekkel azonosítják. Bizonyos területeket – a „mérés” gondjai miatt – könnyen „diszkvalifikálhatunk”: ide tartozik például az építészet. Ezt Finta dolgozatának a többitől eltérő stílusa már önmagában is jelzi.

Egy példa: az öblítéses toalett

A műszaki tudomány és a mérnöki szakma néhány releváns változását olyan „alkotással” illusztráljuk, ami mindennapi életünk részét képezi. Ez az angol WC: az emberiség egyik legnagyobb innovációja. Történeti források szerint a vízöblítéses árnyékszéket Sir John Harrington találta föl, valójában már 1596-ban (régészeti feltárások és feljegyzések tanúsítják azonban, hogy a késői Rómában is működtek efféle berendezések). Alkalmazását azonban csak jóval később, a városi népességet rendszeresen megtizedelő járványok megfékezése váltotta ki. *Múlt századi bevezetésével* új korszak kezdődött az emberi higiéné területén. Súlyos problémát oldottunk meg, ugyanakkor újakat is kreáltunk. Lássuk, miket és milyen időrendi sorrendben.

Az öblítés eredményeként keletkező nagy mennyiségű szennyviz elvezetésére bonyolult csatornahálózatokat kellett kiépíteni. A drágaságon túli negatív következményeket csak *később ismertük fel*: a szervesanyag-terhelés a folyók oldott oxigén tartalmának (a lebontást végző baktériumok általi) elfogyasztásához és tömeges halpusztuláshoz vezetett (az első híres és hírhedt példa a Temze és az Ohio folyók voltak). A felismerés nem ment könnyen, de *megszületett az igény* a korszerű szennyvíztisztításra, pontosabban a szerves szén eltávolítására. A múlt század végén két eljárást fejlesztettek ki: a kémiai kicsapatást és az ún. eleveniszapos módszert, amelyben a lebontás biológiai úton történik. Az első telepek Angliában és máshol is kémiai elven működtek, de sok sikerhez nem vezettek: a megbízható üzemvitelt nem tudták biztosítani és a nagy vegyszerigénynek tudhatóan óriási mennyiségű, felhasználásra alkalmatlan iszap keletkezett. Átmenetileg „győzött” a biológiai szennyvíztisztítás.

Az ötvenes években a szakemberek a tavak eutrofizálódásával (tápanyagfeldúsulás és algásodás) és a vízhasználatokat veszélyeztető szimptomákkal kezdtek szembesülni. A vízzel foglalkozó tudósok és mérnökök csak ekkor jöttek rá – bár az eutrofizálódás fogalma és a tápanyag-limitáció Liebig-féle

elvé a biológusok már régen ismerték –, hogy a szén mellett a foszfort is el kellene távolítani a települési szennyvizékből. A technológia azonban nem állt rendelkezésre. A felmerült *új igény* kielégítése a kémiai kicsapatással volt megoldható. Létrejött az első kombinált biológiai-kémiai eljárás. Ezzel egy időben a skandináv országokban a kémiai kezelés terjedt el: a hajtóerő a szénezernyi tó eutrofizálódásának szabályozása volt, foszfor-eltávolítás révén.

A történetnek messze nincsen vége. A beltengerek eutrofizálódása és az ivóvíz-készletek gyakran magas nitráttartalma felvetette a nitrogén eltávolításának szükségességét. Erre a szennyvíztechnológusok, biológusok, vegyészek és mérnökök *nem is olyan régen* biológiai módszert fejlesztettek ki. Rájöttek arra, hogy jól szabályozott kémiai környezetben, amikor a „reaktorban” csak nitrát áll rendelkezésre, de oxigén nem (anoxikus körülmények), a baktériumok számára az előbbi szolgál terminális elektron akceptorként (azaz a nitrátról a „bacik leeszik” az oxigént – ha nincs friss kenyér, jó a száraz kifli is) és a nitrogén gáz formájában távozik (később feltárták azt is, hogy anaerob feltételek között a foszfor is eltávolítható biológiailag).

Ezzel el is jutottunk a *biotechnológia korához*. A mérnök feladatának esszenciája már nem az egyes műtárgyak megtervezése és kivitelezése, hanem a technológia részletes kidolgozása, a reaktorméretek megválasztása és az optimális üzemelés. Mindez az okos (gyakran célzott) baktériumok *mikrovilágának* ismeretében. Ehhez a tudósok és a mérnökök – az informatika mai lehetőségeire építve – bonyolult kinetikai modelleket fejlesztettek és az egyes tisztítási egységek (reaktorok) hidraulikájának leírásával együtt online vagy off-line szabályozási, illetve döntéstámogató rendszereket dolgoztak ki. Nemcsak kidolgoztak és kidolgoznak, hanem a szennyvíz egyre részletesebb frakcionálását lehetővé tevő *szenzorokkal* alkalmaznak is ilyeneket a gyakorlatban (a megállapítás Magyarországra sajnos még nem vonatkozik). A lehetséges megtakarítások óriásiak. A „mikrovilág” fontossága az *anyagtudománnyal* együtt a kémiai oldalon is megjelenik: célzott vegyszer-„kóktélok” állítanak elő a hatékonyság növelése, a vegyszer-dózis és az iszap mennyiségének csökkentése, továbbá utóbbi összetételének javítása érdekében.

Persze a biológiai és kémiai tisztítást pártoló, illetve ellenző „szekértáborok” (és lobbik) ma is találhatók (komoly beruházásokról van szó). Az egyik összehasonlítási platformot az *életciklus elemzések* jelentik, amelyek – a szubjektív elemek jelenléte ellenére – lényegesen több információt nyújthatnak, mint a költség-hatékonyságon alapulóak. A döntések természetesen sosem könnyűek és alapvető fontosságú az érintett mérnökök *etikus* viselkedése.

A mikro-szintről ugorjunk a *makro-szintre!* Szennyvizet azért tisztítunk, hogy a folyókat, tavakat és tengeröblök minőségét szabályozzuk, a magas költségek miatt figyelembe véve hol milyen mértékű beavatkozásra van szükség. Erre a célra összetett vízminőségi elemző és döntéstámogató módszereket használunk, amelyek ma már közel állnak ahhoz, hogy a valóságot híven követve, a szennyvíztisztítás modelljével „kommunikáljanak”. A hatások azonban – a vízmozgás által továbbítva – több száz vagy ezer kilométeres léptéken jelentkeznek: elkerülhetetlen a hidrodinamika és a transzport meglehetősen „kellemetlen” egyenletein alapuló két- és háromdimenziós

számítások végzése. A számítástechnika és informatika fejlődésével ma már például a Balaton szél keltette vízmozgását 50×50 méteres felbontásban is tudjuk számolni. Ausztráliában olyan úszó számítógép-szenzor rendszert (azaz mérőhajót) fejlesztettek ki, amelyik real time hasonlítja össze a számításokat és finomítja a modellt (elsősorban a turbulencia jellemzőit).

A jövő tanulságai

Befejezésül vissza az angol WC-hez. Áldás vagy átok? A válaszhoz a következőket érdemes mérlegelni. A háztartásokban zajló mindennapi tevékenységek a különféle, vízforgalomhoz is kötődő anyagok fel- és felhasználásával járnak. Átlagos esetben a részfolyamatok közül az emberi anyagcsere tekinthető a szennyvíz összetétele szempontjából meghatározónak. A táplálkozás döntően a szerves anyagok és a növényi tápanyagok, pl. a foszfor és a nitrogén kiegyensúlyozott fogyasztásán alapul. A szerves szén-dioxidként kilélegezzük. Az élelmiszerek többi alkotója vízben oldott: urea és dihidrogén-foszfát. Az ezekben található nutriensek nagyobb hányada az emberi anyagcsere-folyamatok egyik végtermékével, a vizelettel távozik a szervezetből.

Az emberi metabolizmus N és P emissziójában a vizelet játssza a legfontosabb szerepet: ez tartalmazza a napi kibocsátás 80–90, illetve 50–60%-át (a széklet az összes szerves szén és a mikrobák szempontjából meghatározó). Az öblítéses toaletten alapuló infrastruktúrában az átlagosan 1,5 l/fő vizeletet két nagyságrenddel felhígítjuk. Háztartási szinten nyitott anyagforgalmat hozunk létre, és a szennyvizet *drága* csatornarendszeren vezetjük a szennyvíztelepre (ahol még elméletileg sem lehetséges a ciklus zárása). Újabban már gyakran a nitrogént is eltávolítjuk, amelynek a marginális költsége a legmagasabb. Együttal (a foszfor mellett) igen hasznos tápanyagot pazarolunk el.

Ma is az angol WC által meghatározott városi vízi közműrendszert tartjuk a „legjobb” megoldásnak? Aligha. Kézenfekvő lenne a korszerű ipartól tanulni: a szennyvizek szétválasztása, tisztítás a keletkezés helyén, visszaforgatás és újrahasznosítás. Mindezt a háztartási szinten kell elkezdeni. Ígéretes kutatások új, hosszú távon fenntartható és gazdaságos megoldások keresése érdekében már találhatóak. Meglévő településeken azonban az alapvető problémát a jelen infrastruktúra nagy inerciája és hosszú élettartama okozza: annak idején tudatosan terveztük ilyennek.

Mik a tanulságok „kulcsszó” szinten? Változó társadalmi igények és szakmai szemlélet, késői felismerés és cselekvés, a tudomány követő jellege és rohamléptékű fejlődése, interdiszciplináris közelítések, a legfrissebb természettudományos ismeretek, szorosan összefüggő makro- és mikro-világ, rugalmas tervezés, a hagyományok megőrzése és feladása és ... ismeretlen jövő.