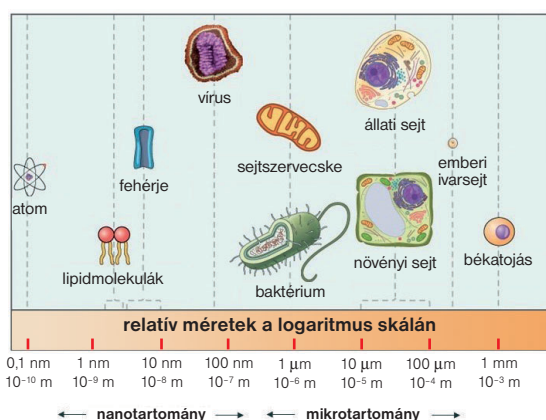


Kutasi Csaba

A nanokutatás textilipari alkalmazásai

A nanotechnológia az anyag manipulálásával foglalkozik (legáltalább egy dimenzióban 1–100 nanométeres tartományban, **1. ábra**). Ezen a méretskálán a kvantummechanikai hatások meghatározóak, így olyan kutatási kategóriáról van szó, amely magában foglalja az adott méretközű alatti emberi tevékenységet. A nanoeljárások lényege: olyan analitikai vagy megmunkáló eszközök használata, amelyek alkalmasak 100 nm pontos-ságú anyagelőállításra, mozgásdetektálásra, mérésre.

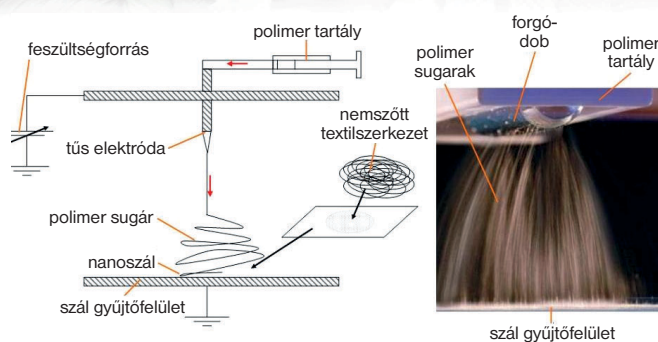


1. ábra. A nano- és mikrotartomány

Nanoszálak

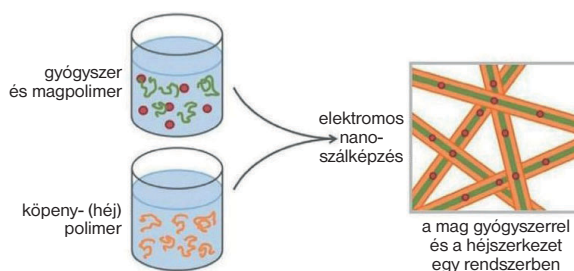
Az emberi hajszálnál kétszázszor vékonyabb nanoszálakat folyékony halmazállapotú polimerből állítják elő elektromos szálképzéssel: az egyik elektródát jelentő csöves tű végén képzett parányi csepp a kiinduló anyag. Az elektropray ionizációs módszerrel a folyadék rengeteg apró töltött cseppre bomlik, majd egy kapillárison átréselve magas feszültségű térbe kerül. A folyékony polimer a 30 kV-ot meghaladó feszültségű térben feltöltődik, és amikor az elektromos térerősség eléri a 100 V/cm körüli értéket, akkor legyőzi a felületi feszültséget, és a 0,1–1 mm átmérőjű tű nyílásán megindul a csepp áramlása. Az egyre közelebb kerülő elmentéses elektróda következtében a töltéssel rendelkező polimer részecskék alkotta folyadékáram felgyorsul, egyre vékonyodik. Egyúttal ostorozó mozgás is jön létre, tovább finomítva, hosszabbítva a készülő nanoszálakat. Ezek nagyon kicsi átmérőjű (< 500 nm) szálak, a nemszőtt jellegű szálrendszert nagy fajlagos felület, kis pórusméret és nagy porozitás jellemzi (**2. ábra**).

A gyógyszeriparban a kis molekulájú hatóanyagok mellett egyre jobban terjednek a nagymolekulás vegyületek is. A polimeralapú – pl. fehérje – gyógyszerek könnyebben bomlanak, mint a polimerek. Az érzékenységi miatt a hatóanyagot nanoszálba építik be, így az előállítás közben is megőrizhetők a fontos tulajdonságok. A használat során szabályozottan lebomlik a héj, így a



2. ábra. A nanoszál előállításának elve

hordozóból felszabadul a hatóanyag. Például a politejsav-koglikolsav (PLGA) kopolimer nanoszálak lebomlásával programozott hatóanyag-felszabadulás is megoldható (**3. ábra**).



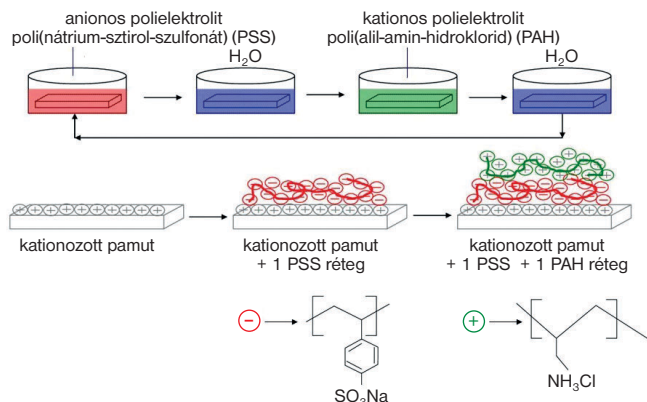
3. ábra. Nanoszálakba beépített gyógyszerhatóanyag

Önfelepítő nanoréteg a textilanyagon

A különböző textilanyagokra (pl. természetes vagy mesterséges szálalapú szövetek, kötött, ill. nemszőtt kelmék) felvitt funkcionális anyagok (pl. valamely védelmi képesség eléréséhez) több fajtája és eljárása (telítéssel, kenéssel) régebb óta ismert. Az önfelepítő nanoréteg(ek)ből kialakított „leheletnyi” rétegek esetén a polimer bevonatanyag molekulái 1 nm-nél vékonyabb felületet képeznek a textilanyagon. Az egymásra rakódó polimer nanorétegek felépülését befolyásolja többek között a láncmolekulák alakíthatósága (pl. mennyire hajlékonyak), a molekulatömeg és a töltésátviteli képesség.

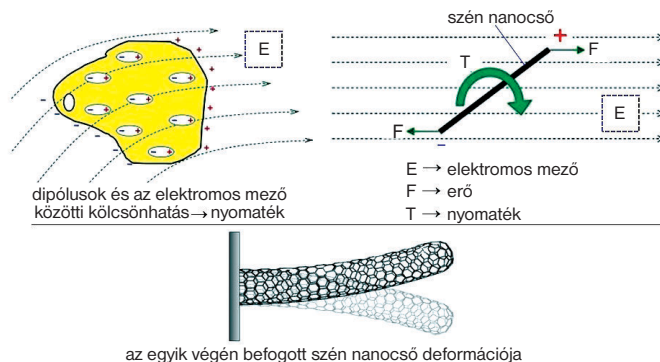
A rétegekialakítás előtt a bevonandó anyagot (pl. pamutszálat) töltéssel látják el (pl. a pamutot kationizálják, pozitívvá töltik), ezután az alapra, majd egymásra ellenkező töltésű ionokat tartalmazó, oldott polimereket hordanak fel nanotechnológiával (**4. ábra**).

A nanoszerkezetű anyagok kialakításában jelentős szerepük van az elektrosztatikus erőknek, amelyek iránya a nanotárgy alakjától függ. A nanoanyagokban a szén nanocsöveken megy



4. ábra. Önfelépítő nanoréteg kialakítása polielektrolitokkal

végbe az elektrosztatikus alakváltozás. A molekuláris dipólmomentum és az elektromos mező között létrejött kölcsönhatás indukált nyomatékot hoz létre. A konzolos nanocső az elektromos mező irányának megfelelően deformálódna, azonban az elektromosan indukált nyomaték és merevség kölcsönhatása lesz meghatározó. Az elektromanipuláció, a nanoelektromechanikus rendszerek előállítása területén ezek meghatározók (5. ábra).



5. ábra. Az elektrosztatikus erők hatása

Lehetséges olyan réteg kialakítása is, amely képes önmagát kijavítani, a hiányossá vált bevonatot pótolni.

Adott – főként mesterséges – szálak felületén levő saját molekulákból, azok célirányos nanotechnológiai rendezésével is létre lehet hozni speciális képességű réteget. Az így kialakuló, 10–30 nm vastagságú réteg a tömbanyag tulajdonságaitól eltérő képességekkel rendelkezik.

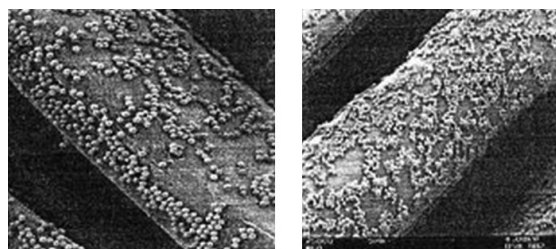
Nanotechnológiai anyagok szálakban, textílfelületeken

A különböző nanoméretű részecskék (pl. fém-oxidok, korom, agyag) alkalmazása korábban ismert volt, de nem nanoméretben. Ezek főként mesterséges szálakba (poliészter, poliamid, poliolefin) történő bevitelével megfelelő elektromos és hővezető képességet, antimikrobiális képességet, antisztatizálást, ill. szilárdságnövekedést, szívósságot lehet elérni.

A nanorészecskék kis méretükkel csökkenthetik a láncmolekulák mozgékonyaságát, ezzel magyarázható többek között a mechanikai tulajdonságok javulása. A szén nanocsövek szilárdsága 15-szöröse, tömegük csak egyharmada az acélénak, elektromos vezetőképeségük kiváló. Mint nagy szilárdságú vezetőképes szálak, felhasználhatók energiatároló, energiaátalakító berendezések előállítására. A szén nanocsövekkel adalékolt polivinil-alkohol szál

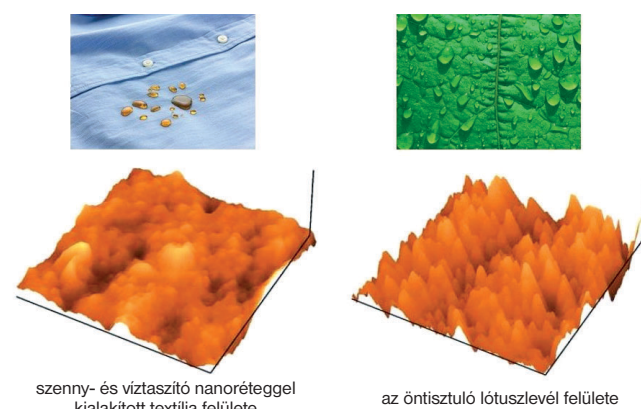
rendkívül merev, szívóssága húszszorosa a hasonló dimenziójú acélhuzalnak, ill. az egyes aromás poliamid szálakénak (védőmellények, biztonsági hevederek, a robbanásálló takarók készítésére alkalmasak).

Az agyag (montmorillonit) nanorészecskék vegyszerállóságot, elektromos szigetelőképeséget kölcsönöznek a szálaknak, nem engedik az UV-sugarak áteresztését (pl. a kompoziterősítő poliamid szálakban alkalmazzák UV-védelem miatt), égésgátló képességet biztosítanak. A nananoezüst antimikrobiális képességet alakít ki. A titán-dioxid–mangán-oxid nanorészecskékkel adalékolt szál önterilizáló hatású. Az egyébként szál formájában – zárt szerkezete és színezékmegkötésre alkalmas csoportok hiánya miatt – alig színezhető polipropilén az előzetesen beépített agyag nanorészecskék hatására megfelelő textilszínezékekkel (egyes savas, ill. diszperziós) színezhetővé válik. Adott nanorészecskék a szál felületére is felvihetők (6. ábra).



6. ábra. Fém-oxid-réteges felületű poliészter szál

A kelmékre pl. emulgálással a nanoméretű kikészítőanyagok egyenletesebben vihetők fel. Így szenny- és víztaszító, ill. antisztatizáló képesség, lángállóság, antimikrobiális tulajdonság, UV-védelem, továbbá gyűrődésfeloldódó és méretállandósító hatás is elérhető. Megfelelő nanoréteg felhordásával lélegzőképes bevonat szintén kialakítható. Öntisztuló képesség is elérhető a lótuszeffektust biztosító nano-felületmódosítással (a lótuszvirág leveleinek állandó tisztasága a felület parányi egyenlőtlenségeivel magyarázható: a nanoméretű „rücskösség” következtében a szennyeződések lazán tapadnak, a legördülő vízcsepp ezeket magával ragadva eltávolítja, 7. ábra).



7. ábra. Az öntisztuló képesség kapcsolata a felület egyenetlenségeivel (lent: alagútmikroszkópos felvételek)

Célirányos nanoanyagok használatakor vegyszerekkel és biológiai hatásokkal szembeni hatás is kialakítható. Érdekes, hogy nanokristályos piezokerámia-részecskék textíliára juttatásával a kelmét érő mechanikai hatások elektromos jellé alakíthatók, így a testen hordott ruházat közvetítésével például a szívritmus és a pulzus monitorozható.



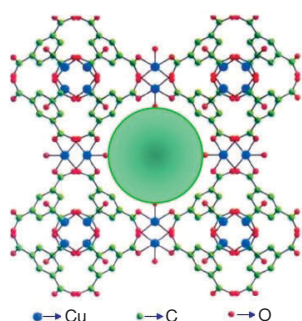
A nanotartományú grafén alkalmazása kapcsán kutatások folynak hővédő ruházatok anyagának fejlesztésére, a textil felületmódosításával lángállóság érhető el és hatékonyan védhető a kelme a hőbomlástól, továbbá a ruházat könnyebb lehet. Ennek során például az anyagot kémiai gőzfázisú rétegleválással viszik fel sárgaréz fóliára, majd a levett grafénréteg kerül a szálanyagra. A grafén-oxid-réteggel bevont pamutszövet nemcsak elektromos vezetőképes és nagyobb hőellenállású, hanem baktériumölő képességű is.

A nanoporozus fémorganikus vegyületek, főbb alkalmazási területek

A kristályos fémorganikus vázszerkezetek (MOF) egyik összetevője a fém, amely ion vagy klaszter fémion formájában van jelen. A másik rész általában merev, multifunkcionális szerves láncmolekulából áll (ezt linkernek is nevezik).

A szervetlen göbökből és az alkalmas szerves láncmolekulából kialakított nagy porozitású hibrdek felfedezésével különleges teljesítményjellemzőkkel rendelkező vegyületek nyerhetők. A zeolitcsoport ásványai molekulárisan kötött vizüket hevítés hatására elvesztik (dehidratáció), a képződő üregek molekulaszűrőként működnek.

A szintetikus fémorganikus vázszerkezetek egyik jellemző képviselője a $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ (BTC: benzol-1,3,5-trikarboxilát, **8. ábra**). Az oktaédres kristályos szerkezetű anyagban előforduló póru-



$\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$

BTC → benzol-1,3,5-trikarboxilát

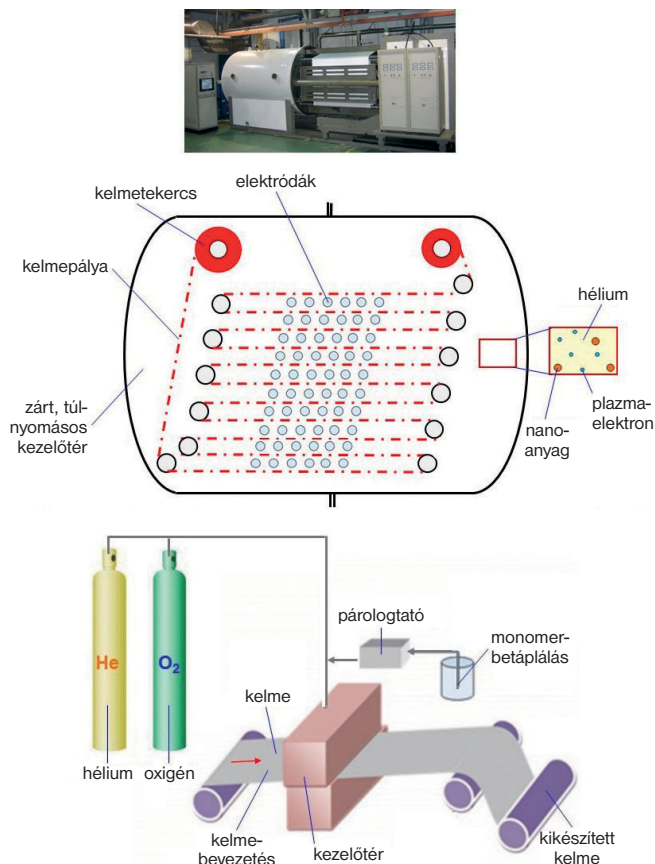
8. ábra. Egy fémorganikus vegyület látványos vázlata

sok 9,8 Å átmérővel rendelkeznek. Egyes MOF-anyagokból 1 gramm mintegy négy kockacukornyi térfogatot tesz ki, ezt kitevítve 5 ezer m^2 -nyi aktív felület nyerhető. Feltételezhető, hogy az egyes MOF-ok kemisorpcióra is képesek működésük adott fázisában. A nanostrukturált anyagok felhasználási területe széles körű. Főként a fejlett, nagy teljesítményű, szelektív adszorpciót biztosító gázszűrő rendszerekben kerül előtérbe a MOF alkalmazása. A textiliparban az optimális gázszűrést és komfortos viseletet – pl. légáteresztő – megvalósító védőöltözetekhez textilalapú nanoMOF funkcionális réteg szükséges. Így a komforthiányos, tömören záró védőruhák kiválthatók.

Plazmakezelések a textiltermékeken

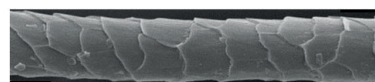
A látható világegyetem 99%-a plazmaállapotban van. A mesterséges úton előállított plazmához (töltéssel rendelkező légnemű rendszerhez) gázkisülés szükséges. A plazma elnevezés a „kocsonyaszerűen rezgő” állapotra utal, miután az ionoknál kétezerszer könnyebb plazmaelektronok az elektromos, ill. mágneses térben elsőként jönnek mozgásba. A plazmaállapotban pozitív és negatív töltésű részecskék, szabad funkció csoportok, semleges

atomok és molekulák egyaránt jelen vannak. A plazmateret optimális összetételű és minőségű kezelőgáz biztosítja (lehet oxigén, nitrogén, levegő, argon, argon+hélium, etán, hexafluor-etán+hidrogén, egyéb inert gáz). A textilipari kezelésekhez főleg az alacsony nyomású plazma bizonyult előnyösnek (az 50 °C alatti plazmakezelését vákuumban végzik). Biztató kísérletek folynak az atmoszférikus, folyamatos plazmakezelések megvalósítására (**9. ábra**).



9. ábra. Zárt rendszerű textilanyag-kezelő plazmaberendezés (fent). Az atmoszférikus plazmakezelő elvi felépítése (lent)

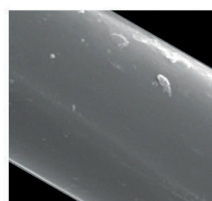
10. ábra. A plazmakezelés hatása a gyapjúsál felületére (fent). A plazmakezelés hatása a poliészterszál felületére (lent)



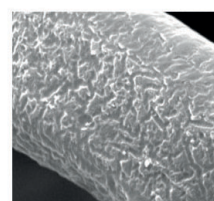
a gyapjúsál pikkelyes felülete, ez okozza a nemkívánatos nemezelődést



a gyapjúsál plazmakezelés után, a pikkelyek élei legömbölyítettek, nem kapcsolódnak össze a szomszédos szálak



kezelés előtti csillogó, műanyag hatású szálfelület



a szál felületének „hámozásával” kedvező hatások kialakulása



Az „atomi méretű” plazmatechnológiák többféleképpen használhatók a textiliparban. Ilyen például a szálanyag felszínének tisztítása a szerves szennyeződések, egyéb zavaró idegen anyagok eltávolításával. A gypjúsál pikkelyrétegének kémiai beavatkozás nélküli változtatásával (élek legömbölyítése, cirádák tompítása) csökkenthető a nemezelődés. A szintetikus szálak felszínének „hámozásával” – amelynek során apró kráterek alakulnak ki a szál egyébként sima palástján – megszüntethető a csillogóan fényes és műanyag jelleg, kedvezőbb fogás is elérhető (10. ábra).

A szálfelszínt meghatározott kémiai csoportokkal aktiválják, amelyek többek között fokozzák a nedvességfelvétel képességet (ez pl. pamutkelme színezéséhez előnyös), továbbá növelik a tapadóképességet, vagy elősegítik a biokompatibilitást az élő szervezetekkel tartós kapcsolatba kerülő textiltermékeknel. A plazmatér-

ben végzett kémiai jellegű szárfelületmódosítás, lehetővé teszi igen vékony filmréteg tartós felvitelét. Plazmapolimerizáció is megvalósítható a plazmán át gerjesztett gázszerű monomerek felhasználásával (pl. olaj- és szennytasztás, hidrofobizálás, lángolásgátlás, ill. égéscsökkentés elérése). Ilyen kezelés kész funkcionált terméken is elvégezhető, a funkcionális képesség kiterjed a kellékekre (varrócérna, cipzár zárszalag stb.) is.

IRODALOM

- [1] <https://nano-magazine.com/news/2018/9/5/how-will-nanotechnology-improve-textiles>
- [2] Textilipari Műszaki és Tudományos Egyesület: A Magyar Textil- és Ruhaipar Kutatás-fejlesztési és Innovációs Stratégiája, Nemzeti Technológiai Platform a textil és ruhaipar megújításáért. Budapest, 2009.
- [3] Kutasi Csaba: Nanorészecskék és technológiák a textiltermékgyártásban, a BKIK Kézműipari Tagozata által szervezett I. Nanofórumon elhangzott előadás, 2012. május 24.
- [4] Kutasi Csaba, Textil Forum, 2012. március.
- [5] Kutasi Csaba, Németh Andrea, Magyar Textiltechnika, 2011/4.

VISSZHANG

Olvasói vélemény A vegyipar átalakításának koncepciója témához

Ismét nagyon időszerű a téma felvetése, mert válságban újra értékelni kell az átalakítási lehetőségeket, a megváltozott helyzethez kellene igazítani, viszont Banai Endre [1] is megállapította, hogy az 1991-ben készült, a vegyestársadalom véleményén alapuló összeállítás sok megállapítása még ma is helytálló. Gondolatait záró sorában Banai megjegyzi: „De szükségesek lennének hathatósabb állami intézkedések és a vegyipari nagyvállalatok nagyobb aktivitása is.” A megjegyzésekkel teljes mértékben egyetértek, azokat hangsúlyozandó, a gondolatsort szeretném folytatni annál is inkább, mivel egy nagyvállalat K+F részlegének vezetője voltam évtizedekig [2].

A nagyvállalatok aktivitását a fejlesztések hosszú megtérülési ideje miatt az adózási, szabályzási környezet nagymértékben befolyásolja, azaz visszajutottunk a hathatós állami intézkedések igényéig, amelyről nincsenek jó tapasztalataink. Abban az időben, mikor az Ipari Minisztérium hivatalaiban a fejlesztés szükségességét ismerő szakemberek is voltak szép számmal, a MKL fórumát is felhasználva próbáltam lobbizni a több működő magyar gyárat és kutatóintézeti kapacitást igénylő, C1 kémiai bázis egyszerű megvalósítási lehetőségének ismertetésével [3]. Annak ellenére, hogy iparágunk alapanyag- és energiaigényes, a felvázolt megoldást – a földgáz olcsó szállíthatósága és a metanolbázisú terméksor (formaldehid, karbamid-formaldehid gyanta...) gyártása miatt számunkra is gazdaságos, a kémia zöldítésének lehetősége következtében társadalmi szempontból is figyelemre méltó, valamint a metanolgazdaság miatt [4] még ma is aktuális fejlesztési irányt – sem a minisztérium, sem az OMFB nem karolta fel. Tudni tudtak róla, mert az említett hivatalok kapcsolattartó személyeinek figyelmébe ajánlottam, utólag könnyű okosnak lenni, ma már tudom, hogy magasabb szinten kellett volna lobbizni (és ma pénz nélkül mit lehet tenni?). Pedig az elektromos autók terjedése miatt a hidrogén, metanolos üzemanyagcellák gazdaságos működtetése, a napcellák energiájából a hidrogén előállításának és tárolásának megoldása (a hidrogénipar) igényelné a vegyipar fejlesztését, katalizátoros kutatásokat stb. Azonban az innovatív szakemberek hiánya nemcsak az új lehetőségek kidolgozását, hanem a meglévő gyógyszer- és olajipari fejlesztéseket is akadályozhatja. Az utóbbi évtizedek tökéltetése az oktatási-kutatási területről a színvonal csökkenését eredményezte, amelyet

2013-ban közzétett írásom [2] utolsó bekezdéseiben is jeleztem. Sajnos az okulásra említett példák terjedelme túlnőtte a nem eléggé hangsúlyozott következtetéseket. Pedig azok egybecsenegnek a Banai Endre cikkében [1] összefoglalt megállapításokkal is. Amint említett példám is mutatta, hathatós állami intézkedésekre hiába vártunk/várunk, hiszen iparfejlesztési koncepció sincs, amelyben elhelyezhetnénk a vegyipari célokat. Néhány propagandabeszédben megemlítik az innovatív irányt, de a Banai által hivatkozott MAVESZ-felmérésekből is látszik ennek humán erőforrás-hiánya. Azaz az oktatástól kell kezdeni a koncepciót: annyit tehetünk, hogy összegyűjtjük, és a lehető legtöbb fórumon (a családtól az egyetemig) okulásra ismertetjük korábbi tapasztalatainkat [2], támogatjuk az oktatást, a tehetséges fiatalokat [1]. A szükséges marketing egy eleme: szakmánk virágkorának, zöld fejlődési lehetőségének bemutatása érdekes tényekkel alátámasztva. Például nemcsak a szabadalmak száma volt nagyságrendekkel magasabb, hanem a megvalósított találmányoké is. A színvonalra jellemző, hogy a fejlődő országok piacán nyugati technológiák ellenében nyertük el az üzletet (nem olcsón, hanem értékarányos árszinten), és üzemeket létesítettünk külföldi gépgyártók bevonásával. A „kelletnél több” (a szükséges minimumnál magasabb) szakemberlétszámunk lehetővé tette, hogy a know-how átadását referenciaüzemünkben és a külföldi helyszíni betanulást, üzemindítást egymást váltva (éjjel-nappal egyaránt) mérnökeink irányították – ez volt a siker záloga.

Az oktatás szükségességét, a kémia népszerűsítését (centrális, helyesebben, tudományágakat összekötő híd szerepét) nemcsak helyi események, hanem világhírű példák bemutatásával is szemléltetnünk kell [5] más médiákat is megcélózva.

Antal József

IRODALOM

- [1] Banai Endre: Gondolatok „A vegyipar átalakításának koncepciója”-hoz. MKL, 2020. december.
- [2] Antal József: Válságból kivezető út a kutatás-fejlesztés erősítése. MKL, 2013. június.
- [3] Antal József: Ammóniagyártás, in Csústechnológiák (szerk. Rácz László). MKL, 1996. május.
- [4] Molnár Árpád: Oláh György munkássága a Nobel-díj utáni években. MKE, 2017. 4. sz.
- [5] Molnár Árpád: Kémia: az „összekötő” tudomány. Beszélgetés Oláh Györggyel. MKL, 2017. május.