

Braun Tibor

■ ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs központ

Robotok és automatizálási robotika a kémiában és a kémia körül

Előszó

Első megközelítésben figyelembe kell vennünk az „automata” (önműködő) és a „robot” szavak fogalmi rokonságát. Az automata a görög „spontán”-t, „önműködő”-t jelentő *automatosz* (αὐτοματος) szóból származik. A „robot” szót [1–3] a cseh Karel Čapek használta először 1921-ben megjelent *Rossum Universal Robots* (R.U.R.) című színdarabjában. A szó cseh, szlovák és lengyel nyelven szolgámként, oroszul munkát jelent. Állítólag Čapek eredetileg a cseh *labori* (dolgozók) szót akarta használni, de az nem igazán tetszett neki, így József bátyja javaslatára választotta a *robotot*. A továbbiakban itt mindig a robot fogalmát használjuk olyan értelmezésben, ahogyan az az automatizálást szolgálja, és ahogyan a következőkben definiáljuk.

Bevezetés

Definíciószerűen robotnak tekintünk egy kinematikai értelemben használt, különböző számú szabadságfokokkal rendelkező, általában elektromos vagy más energiaforrással működtetett szerkezetet (gépet), amely előzetes programozás alapján képes különböző feladatok végrehajtására. Ez történhet közvetlen emberi irányítással, de egy robot önállóan is végezheti a munkáját számítógépes felügyelet alatt [4,5]. Robotokat általában olyan munkákra, feladatokra vesznek igénybe, amelyek túl nehezek vagy túl veszélyesek az ember számára, vagy egyszerűen túl egyhangúak, de nagy pontossággal végrehajtandók, és amiket egy robot az embernél sokkal nagyobb biztonsággal és megbízhatósággal képes elvégezni.

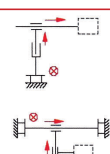
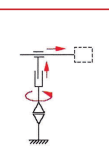
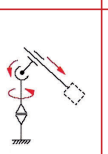
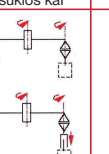
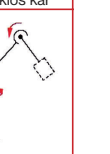
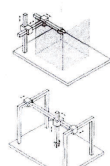
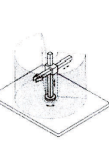
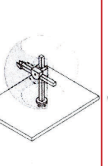
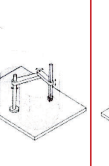
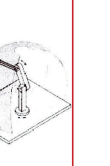
Robotikának nevezik a technológiának azt az ágát, amely robotok tervezésével, építésével, működtetésével, valamint ezek ellenőrzésére, érzékelési visszacsatolására és információfeldolgozására hivatott számítógépes rendszerekkel foglalkozik. Valószínűnek tartjuk, hogy a robot fogalma sokak képzetében a robotok humanoid (ember alakú), illetve antropomorf változatát veti fel, ezért már itt említjük, hogy e dolgozatban ezekre nem térünk ki. Ugyanez vonatkozik a robotika három alaptörvényére is (robot-ember kapcsolat).

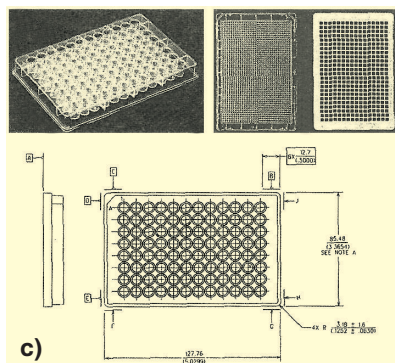
A robotokkal és a robotikával általában könyvtárnyi szakirodalom, vagy pontosabb adattal, több tízezer tételnyi internet cím anyag foglalkozik. Ezért a témát most kizárólag a kémiai vonatkozásokra, a kémiából eredő, illetve a kémiát és a kémiai kutatást érintő és szolgáló területekre szűkítettük.

Laboratóriumi robotok

Ebben a fejezetben kapcsolódunk egyik előző dolgozatunkhoz, amelyben az analitikai kémia miniatürizálását és az automatizálás legújabb eredményeit ismertettük, de robotok és robotika nélkül [6]. A mostani munka azonban kiterjed a kémia összes, illetve a kémiai kutatás lehetőleg minden olyan területére, amelyben laboratóriumi robotokat alkalmaznak, illetve alkalmazhatnak. Ilyenek elsősorban azok a kémiai műveletek, amelyekben naponta megismétlődő nagyszámú kémiai sorozatvizsgálatot és -mérést – nagy átbocsátóképeségű szűrést – végeznek, amelyet az angol nyelv HTS-ként (azaz *High Throughput Screening*-ként) tart számon, például a környezetvédelemben, a klinikai laboratóriumi mérések, a mezőgazdasági és élelmiszer-vizsgálatok, a kémiai és gyógyszerkémiai vizsgálatok és szintézisek során. Úgy gondolják, hogy az egyesült államokbeli *Unimation Inc.* által 1961-ben szabadalmaztatott [7], majd *Unimate* néven gyártott ipari robotok voltak az első ilyen szerkezetek. Az általuk kiváltott ipari forradalom nyomán a kompakt mikroprocesszorokkal vezérelt és 1981-ben az egyesült államokbeli *Zymark* cég által elsőnek gyártott laboratóriumi robotok az iparihoz hasonló forradalmat hoztak létre a laboratóriumi vizsgálatokban [8,9]. A robotizált laboratóriumi egységeket általában *deck*, *platform* vagy *konfiguráció* néven tartják számon. Ezek az egységek természetesen számos elemből, műszerből (műszerdarabból) állhatnak össze, de összetételük lényegében folyadékkezelő és -továbbító, keverő, tároló, centrifugáló, melegítő, optikai és/vagy elektrokémiai, inkubáló stb. műveleteket végezni képes műszerekre és legfőképpen

1. ábra. Robotkarok konfigurációs tipológiája [8] (kiegészítve)

	Kartézianus	Hengeres	Szférikus	Vízszintes csuklós kar	Függőleges csuklós kar
Mozgásirány					
3D mozgástér, távolság					



2. ábra. a) Folyadékkezelő mikrolapokkal működő karteziánus pipettázórobot [25]. b) 96 üreges mikrolap és pipetták [26]. c) 96, 384 és 1536 üreggel ellátott mikrolapok [19]. d) Mikrolaptornyokat mozgó segítőrobot [28]

robotkarokra vonatkozik. Ilyen karok konfigurációs tipológiáját az **1. ábra** mutatja be. Az ábra szemlélteti az elektromos energiával üzemeltethető mechanikus robotkarok mozgásirányát, távolsági hatáskörét és 3D mozgásterét. A robotkarok a főtengelyük konfigurációjában különböznek a legmarkánsabban. A rotációs és transzlációs csuklók közvetlen sorba rendezhetősége révén ezeket kinematikai láncnak is tekinthetjük. Ilyen értelemben öt robotkartípust, azaz karteziánus, hengeres, szférikus és úgynevezett artikulált, azaz vízszintes és függőleges csuklókaros robotokat különböztetünk meg attól függően, hogy milyenek a sebességi, ismétlődési, pontossági, mozgástéri és súlyhordozási feladat szabta követelmények.

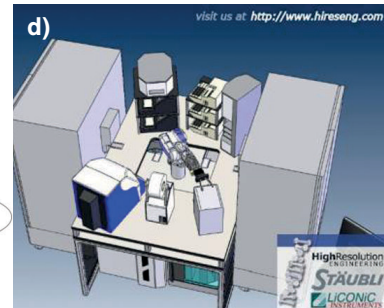
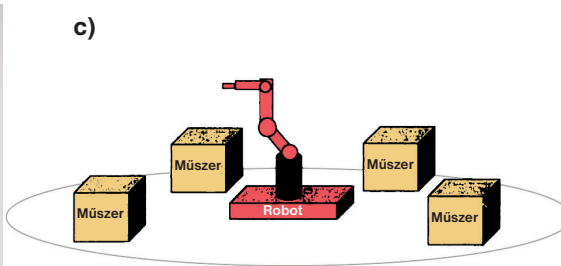
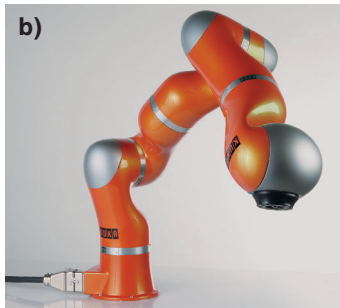
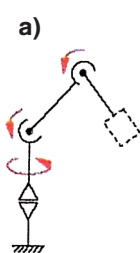
A karteziánus robotkarok három lineáris szabadságfokkal (X, Y, Z) rendelkeznek, de a karok forogni nem tudnak. Ezek megfelelő programozással alapvetően laboratóriumokban, folyadékkezelési, mintavételi, illetve pipettázási feladatokat látnak el longitudinális mozgástérben.

A hengeres robotkarokat négy szabadsági fokkal: alaphoz forgás, csuklóforgás, fel-le mozgás és oldalmozgás lehet használni.

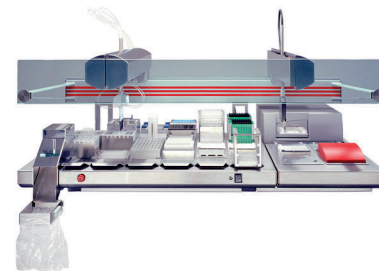
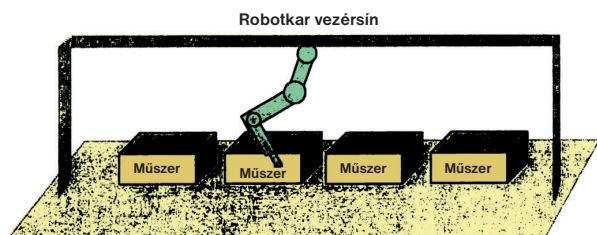
Az **1. ábrán** nem szereplő, úgynevezett együttes (joint) karos robotokat a legtöbb szabadsági fokú mozgási lehetőség jellemzi: váll, könyök, csukló, bólintó-forgó, lengőalapú. Megfelelő programozással bonyolult konfigurációk működtetése is megvalósítható, és erről alapos leírások is rendelkezésre állnak [9–12]. A részletek vázolására ezen a helyen nem nyílik lehetőség, de röviden szót kell ejteni a konfigurációkat vezérlő számítógépes szoftverekről és szoftvermodulokról, amelyek képesek koordinálni az **1. ábrán** bemutatott komplex robotkar-mozgásokat. Szoftvermodul alatt általában olyan újraalkalmazható és független szoftverkomponenseket értenek, amelyek a konfigurációk bizonyos funkcióinak ellátására alkalmasak. Egy modul összhangban dolgozhat más modulokkal és együttesen összetett feladatok megoldására is alkalmasak lehetnek [13–17].

A laboratóriumi robotizált műveletek egyik leggyakrabban igénybe vett változataként, mint említettük, a folyadékmozgatást, folyadékkezelést és -adagolást, illetve a pipettázást említhetnénk. Általános ismertetésként pipettázórobotot mutatunk be a **2.a ábrán** [18]. A folyadékkezelést, -mozgatást, -tárolást általában különböző méretű kémcsövekben és más laboratóriumi edényekben végzik, de itt feltétlenül, kiemelten és hangsúlyozottan említést kell tennünk egy világraszóló magyar találmányról, a laboratóriumi mikrolemezről, amivel jelen szerző egy másik dolgozatban már foglalkozott [19]. A *Takátsy Gyula* inframikrobiológus által az 1950-es években megalkotott és a hatvanas években feltalált, de nem megfelelően szabadalmaztatott *Mikrotitrátor* berendezés tartozékának számító mikrolemezek [20] azóta is világszerte a laboratóriumi folyadékkezelés egyszerű, hatékony, gazdaságos és célszerű eszközei – a modern mozgókaros laboratóriumi robotkonfigurációk csaknem mindegyikének nélkülözhetetlen velejárói, komponensei. Egészen röviden, a mikrolemez egy téglalap alakú öntött vagy préselt műanyag lap, amiben alapvetően nyolc sorban tizenkét (azaz összesen 96) henger alakú mélyedés van kialakítva, de 384 és 1536 mélyedéssel ellátott mikrolapokat is előállítottak (**2.b–c ábra**). A mikrolapok kémcsöveket helyettesítendő üregeiben a laboratóriumi folyadékkezelést [21–24], keverést, reagáltatást, melegítést, hűtést, optikai színmérést, de más analitikai értékelést, egyedi vagy sorozatmérést milliliternyi, illetve mikroliternyi folyadéktérfogatoknál és sorozatvizsgálatoknál is (array) egyaránt el lehet végezni.

A **2.d ábra** olyan laboratóriumi robotrészt mutat be, amely a robotegyüttesekben a mikrolapokat a sorozatvizsgálatok során műveletről műveletre (pl. adagolás, keverés, hőkezelés stb., végül mosás, tisztítás, szárítás) mozgatja. A laboratóriumi robotok valószínűleg egyik leggyakrabban alkalmazott változata az, amely vízszintes, illetve függőleges csuklós karral működik. A **3. ábra** ilyen példát mutat be. A négy szabadságfokkal rendelkező kart az ábra hengeres konfigurációkban ábrázolja. A **4.a–c ábra**



3. ábra. a) Csuklós robotkar sémája (l. 1. ábra). b) Csuklós robotkar [29]. c) Hengeres laboratóriumi robotkonfiguráció-séma [11]. d) Félhenger elrendezésű laboratóriumi robotkonfiguráció [30]



4. ábra. a) Csuklókaros karteziánus multifunkciós laboratóriumi robotkonfiguráció [11]. b) Biomek 3000 gyártmányú robotkar-vezérsín. c) Onyx (ALS Automated Lab Solutions) típusú, mikrolapokat alkalmazó laboratóriumi robotkonfiguráció [34]

egy *deck*et csuklós karú karteziánus mozgásirányú robotkonfigurációként mutat be.

Helyváltoztató robotok

Helyváltoztató robotnak nevezhetünk minden olyan robotberendezést, amely valamilyen formában és közegben egy adott pontról, valamilyen irányban, különböző távolságokra el tud mozogni, távolodni. A helyzetváltoztatás újabb mozgási szabadságfokot biztosít a robotoknak, ami változatosabb feladatokat, valamint hasonló vagy más szerkezetekkel való kölcsönhatásokat tesz lehetővé. A mozgáshoz három közeg jön számításba, amin vagy amiben a helyváltoztató robotok kifejthetik tevékenységüket: talaj, levegő és víz. Mindhárom közegre kifejlesztettek olyan robotokat, amelyek ezekben a közegekben távvezérelve vagy előre beprogramozott módon különböző feladatoknak eleget tudnak tenni. Ezeket a robotokat rájuk szerelt vagy beléjük épített kémiai érzékelőkkel, szenzorokkal látják el olyan helyeken, anyagokkal való mérésekre, amelyek megközelítése, kezelése az emberre kockázatot jelentenének. A kémiai szenzorok számos változata jöhet a fentiek szerint számításba [35] a spektroszkópiát, az elektrokémiát, a radioaktivitást stb. beleértve, de ezekkel itt külön nem foglalkozunk. Ezzel szemben említést kell tennünk a levegőben és vízben mérendő környezetszennyezők, illetve különböző forrásokból eredő szennyezések robotikai megközelítéséről. Földi terepek megközelítésére kerekre, illetve hernyótalpas robotokra szerelt szenzorokat vettek igénybe (5.a ábra) [36].

Vizes közegben hal formájú és úszó mozgásformát követő szenzorokkal ellátott robotokat, illetve a lassú mozgású vízi rákokra emlékeztető rákmobilitású berendezéseket alakítottak ki (5.b–c ábra) [37]. Hasonló módon és elképzelés alapján születtek különböző méretű és kialakítású repülő robotok, amelyeket kémiai szenzorokkal láttak el (5.d–e ábra). A legutóbbinál kü-

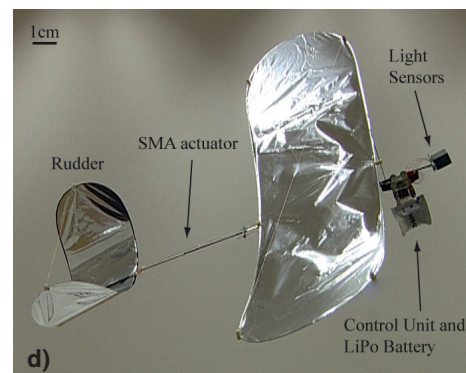
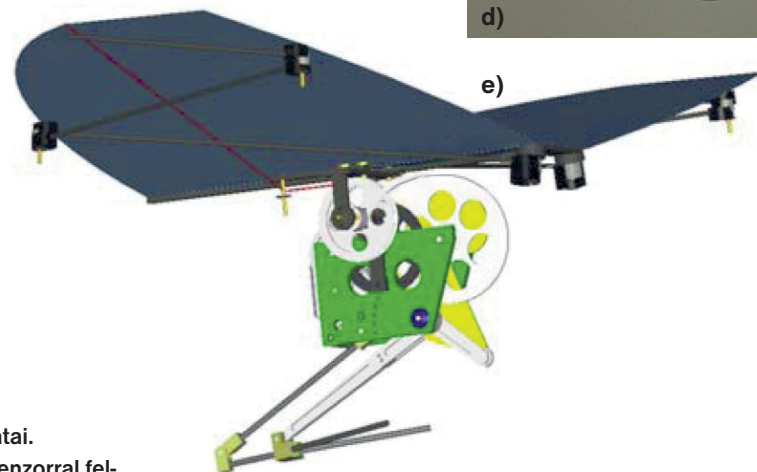
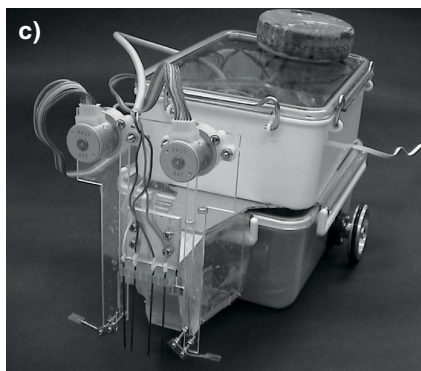
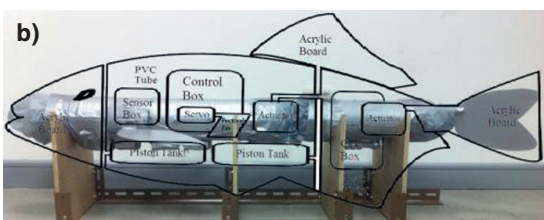
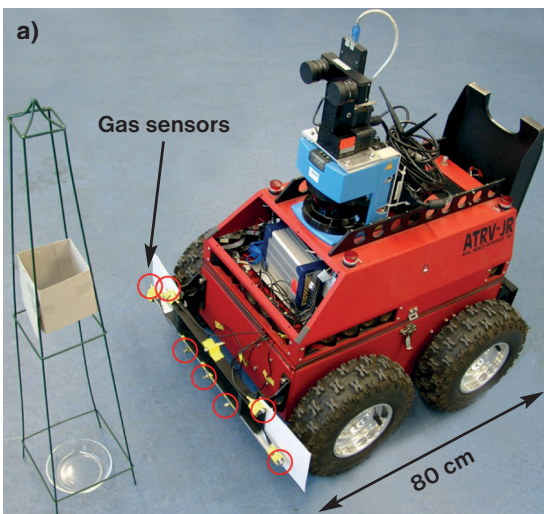
lön érdekesség, hogy – szintén állatvilági sugallatra – a repülő robot indítására a robotikus szöcskeugrást vették alapul a szenzorral ellátott apró légi jármű levegőbe emelkedéséhez.

A fent említett robotok által főleg vízben és/vagy levegőben eredményesen keresett, szennyező és más káros anyagokból kialakuló szennyező csóvák detektálására [38], illetve lokalizálására fluidmechanikai tényezőket is messzemenően tekintetbe kellett venni. Ez irányban megoldást ígér és ígért megfelelő guruló, úszó, repülő *robotrajok* bevetése. [37]

Pneumatikus működtetésű, lágy karú robotok

A fentebb leírt robotok elektromos működtetésű kemény robotkarokkal látták el feladatukat. Külön említést érdemelnek azok a szerkezetek, amelyek a biomimetikát vagy mimikrit [42] veszik igénybe a robotok mozgatásához. Biomimetikának tekintik a természet modelljeinek, elemeinek és rendszerének utánzását komplex emberi problémák megoldására. Ezeknek a modelleknek az eredete elsősorban az állatvilágban lelhető fel, például az állatok szárnyai, lábai és más mozgási tulajdonságai (például kúszás) lágy vagy merevített helyzetben. De tipikus karszerű aktuátornak tekinthetők az evolúció során kialakított izmok is. Jelenleg nincsenek még olyan szerkezetek, amelyek teljesen utánózni tudnák az izmok funkcióit és mozgatási teljesítményét.

Pneumatikusan működtetett lágy (rugalmas) robotok alkalmasnak mutatkoztak különböző geometriai formájú tárgyak markolására és mozgatására makro-, mikro- vagy nanoskálán [41]. Különböző rugalmasságú anyagokból (például polimerek) álló szerkezetek alkalmasak számos érintésre kényes vagy törekeny tárgy, például élelmiszerek (tojás, gyümölcsök) simulékony, lágy markolására. Említésre érdemes egy elasztomerek pneumatikus csatornáiból kialakított konstrukció használata aktuálásra (mozgatásra) gömbszerűen vagy hurkaszerűen felfújható formában.



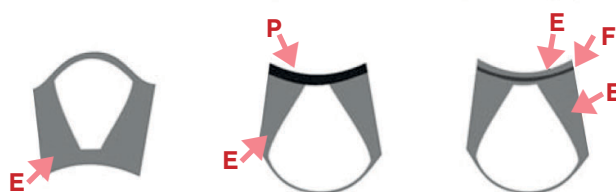
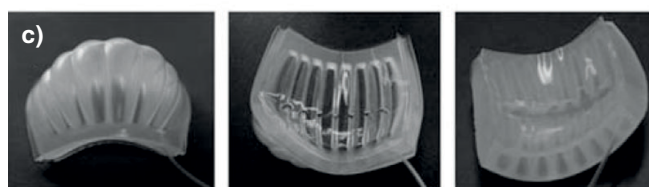
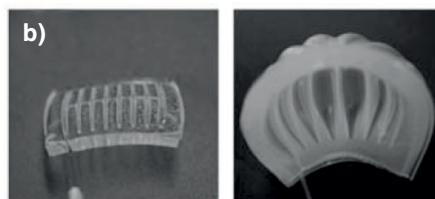
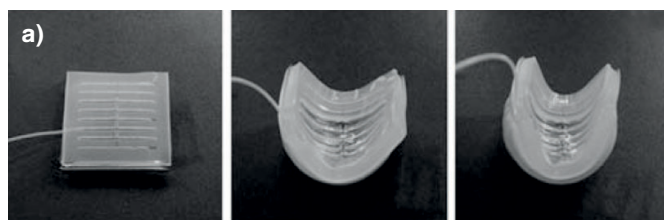
5. ábra. Helyváltoztató robotok különböző változatai.

a) Szenzorral felszerelt kerek robot [36]. b) Szenzorral felszerelt, vízben halszerűen úszó robot [39]. c) Szenzorral felszerelt, vízben rákszerűen mozgó robot [37]. d) Szenzorral felszerelt siklórepülő robot [40]. e) Szenzorral felszerelt, szöcskeugrással felszálló siklórepülő robot [40]

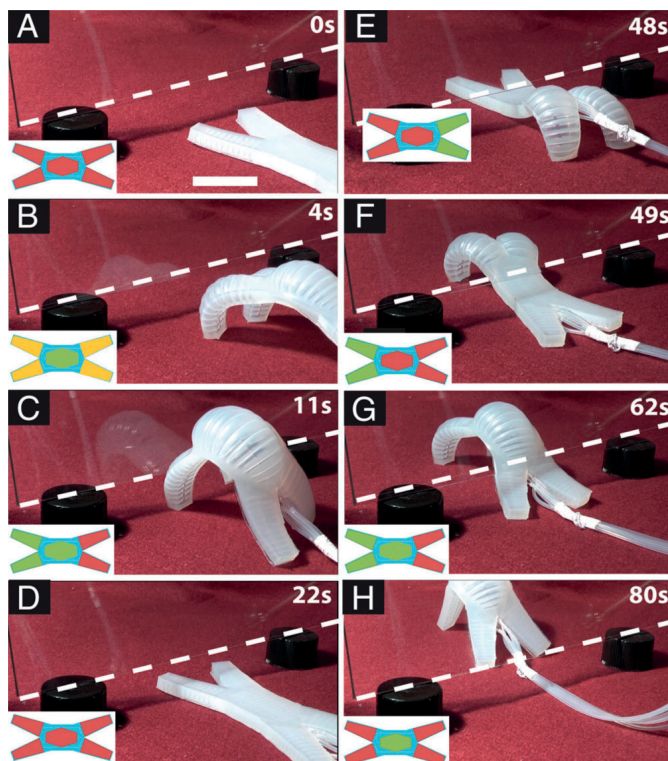
Az elastomer anyagok összetétele, valamint a csatornák formája meghatározhatja, sőt szabályozhatja a robotszerkezet választását az alkalmazott pneumatikai nyomásra. Bizonyos mozgási amplitúdó kialakíthatóságát, illetve skálázhatóságát az alkalmazott anyagok merevsége vagy rugalmassága határozza meg.

A 6. ábra két elastomerból, azaz sziloxánból (Corning) és polidimetil-sziloxánból (PDMS, Sylgard 184) megfelelő CAD (Computer Aided Design) szoftver alkalmazásával, illetve 3D nyomtatással kialakított pneumatikai robotikai mozgatóelemet mutat be. Megfelelő nyomás alá helyezve (14 kPa) a merevebb anyag derékszögűen kialakított szelvényei körülbelül 15 cm-es görbülést tudtak elérni. Lágyabb, rugalmasabb elastomerból kialakított hasonló idom körülbelül 1,5 cm görbülésre képes [41]. A fentebb ismertetett elastomerekből kialakított pneumatikus kúszó-mászó lágy robot hullámzó mozdulatokkal akadály alatt is át tud kúszni, ahogy a 7. ábrán látható. [42] A leírt elastomerekből megépíthető például egy pneumatikus csillag alakú robottenyér is törekeny tárgyak (például tojás) mozgására (markolására) (8. ábra).

Ugyancsak a biomimetikából [43], illetve hernyók, vagy más lágy testű állatok példájából kiindulva, amelyek mozgását a testüket körülölelő izomcsatornában áramló elasztófluidumok látják el, merült fel a speciális textilszálakkal borított elastomer csövek robotkarokként való alkalmazásának gondolata [44]. A két vagy három textilszállal körülvett elastomer csövek mozgását robotkarként a bennük áramló fluidumokkal (gáz vagy folyadék) lehet szabályozni (9. ábra). Mint az ábrán látható, egy ilyen robotkar különböző irányú mozgásokra képes, belülről



6. ábra. Pneumatikus lágy elastomer robotikus elem (kar) mozgása nyomás alatt [41]. E: Ecoflex (sziloxán); P: polidimetil-sziloxán (PDMS); F: poliészter szövet. a) rugalmas elastomer robotelem mozgása nyomás hatására; b) balra: PDMS-ből kialakított robotelem teljes nyomás alatt; jobbra: ugyanaz Ecoflexből (sziloxán); c) különböző rétegvastagságú elastomerekből kialakított csatornák nyomás alatt



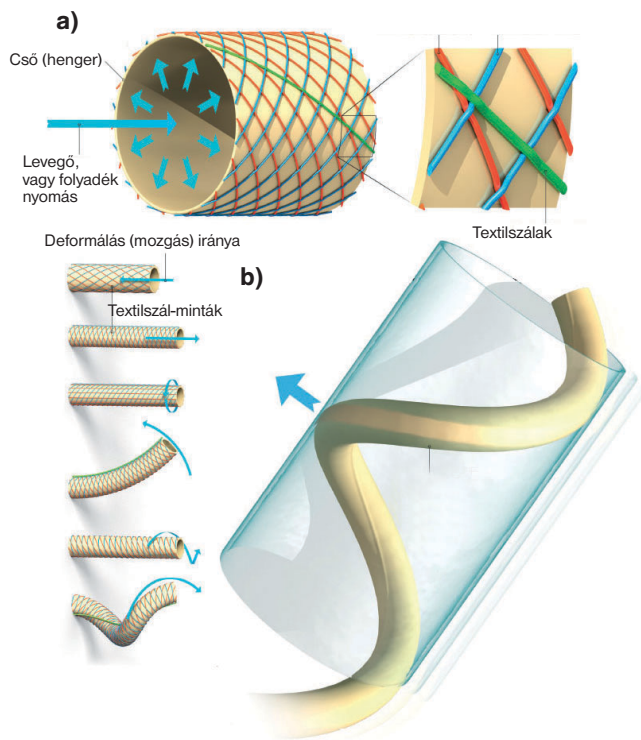
7. ábra. Elastomerből kialakított pneumatikus lágy robot átkúszása a fehér vonallal jelzett akadály alatt [42]

markolva például kis- és nagyméretű csővezetékek mozgatására, emelésére nyújt lehetőséget.

A pneumatikus mozgatású lágy robotszerkezetek „függetlenítése” érdekében újabban palackból származó sűrített gázok helyett már egybeépítésre alkalmas gázgenerátorból, például a hidrogén-peroxid elektrolízises bomlásából származó oxigént is igénybe vették [45].

Kémiai energiát mechanikai energiává alakító polimer gélszerkezetek robotikai reményei

Már a múlt század közepén ismertté váltak olyan vizsgálatok, amelyek során bizonyos polimer szerkezetek úgynevezett „kémiai izom”-szerűen kémiai környezetüktől függően voltak képesek méretváltozásra [47–50]. Egyetlen tipikus példaként említjük a po-

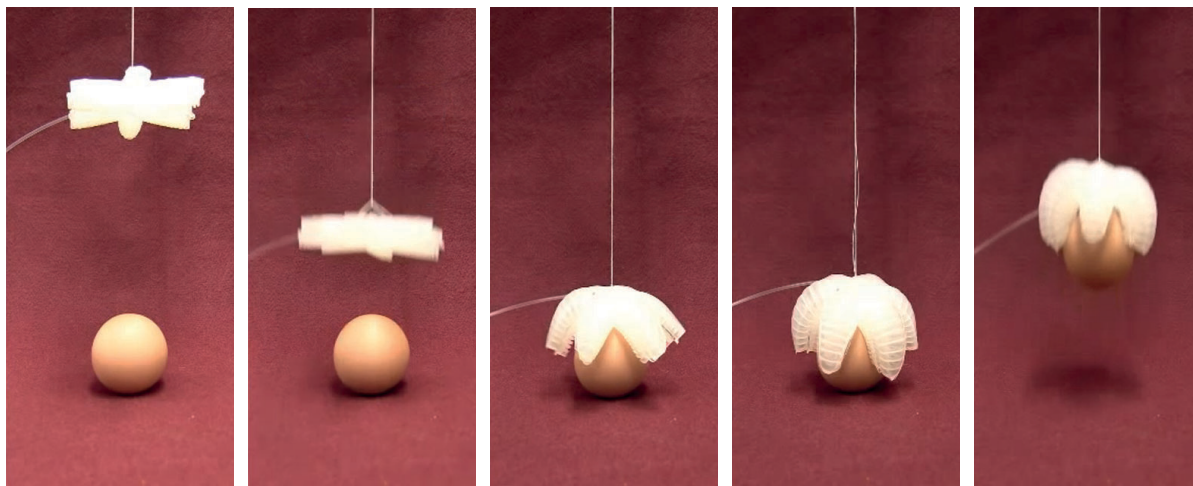


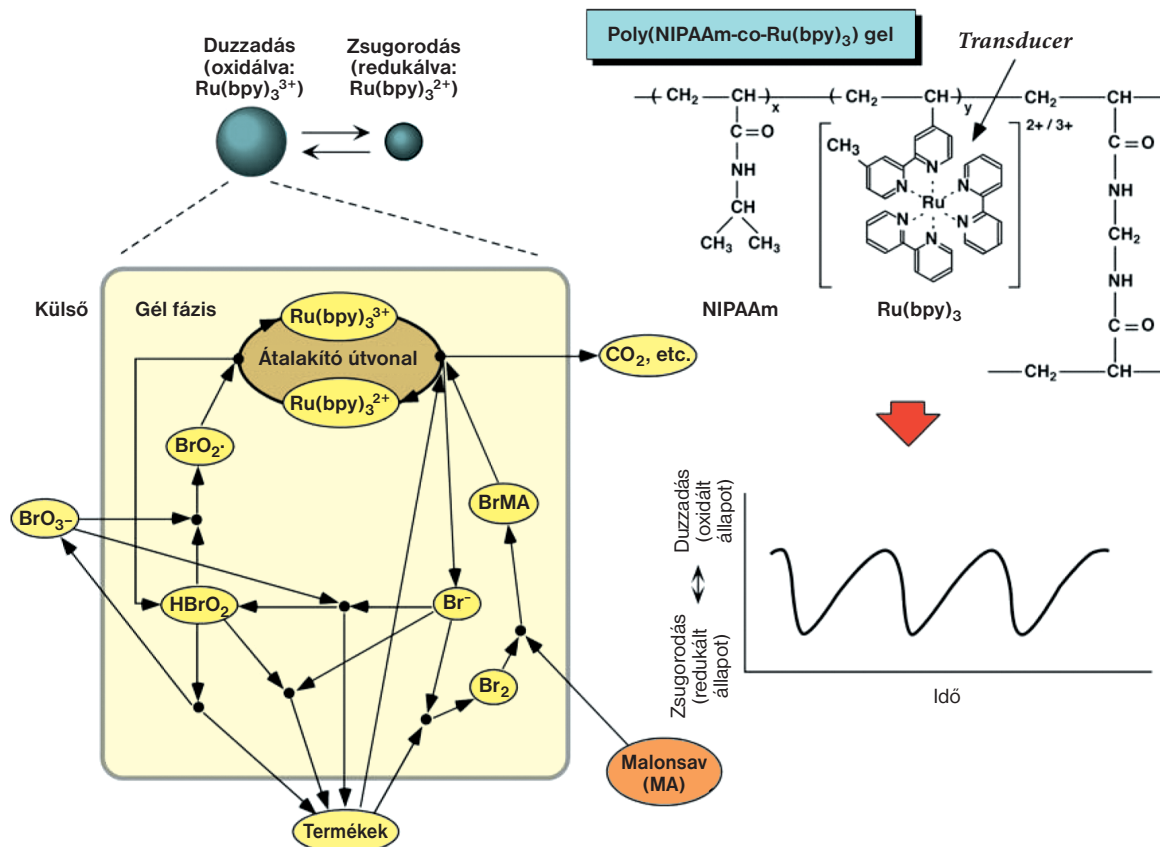
9. ábra. Fluidum- (gáz, folyadék) mozgatású cső alakú robotkrok [44]

linil-alkoholt (PVA) és a poliakrilsavat (PAS), amely ozmotikusan a polimer belsejében lévő ionkoncentrációtól függően duzzad, illetve zsugorodik. Ezt elsősorban a gyenge karboxilcsoportok ionizálása okozza. Amikor a körülvevő oldat savas, akkor a disszociáció foka alacsony, és a polimer zsugorodik. Lúgos oldatban a polimer duzzad. Ezt annak idején „pH-izomnak” is nevezték.

A különböző próbálkozások közül, jelen szerzőnek, a Belousov és Zsabyinszkij (BZ) által felfedezett oszcillációs reakció tűnik a legeredményesebbnek a polimer gélek mozgatására. Annál is inkább, mert a reakció FKN akronimmal (Field, Körös, Noyes) elhíresült kémiai mechanizmusának kidolgozásában a magyar Körös Endre is jelentős szerepet játszott [51]. A BZ-reakció általános folyamata egy szerves vegyület (szubsztrátum), például malon- vagy citromsav oxidálószerrel (bromiátió) való oxi-

8. ábra. Csillag alakú pneumatikus robottenyér például tojás gyengéd markolására [46]





10. ábra. A poli(NIPAAm-co-Ru(dpi)₃²⁺) gél BZ-reakcióhoz csatolt működési mechanizmusa [52]

dálása erős sav és fémkatalizátor jelenlétében. Amikor az oldatot homogén módon keverik, színe – például neoncsőhöz hasonlóan – periodikusan változik a katalizátor redoxváltozásainak hatására. Amikor az oldat stacioner állapotban vékony réteggént helyezkedik el, koncentrikus spirális hullámszerkezet alakul ki benne. Az oxidált állapotban állandó sebességgel terjedő hullámot kémiai hullámnak is nevezik.

A BZ-reakció kémiai oszcillációját kísérelték meg gélek mechanikai mozgásra változtatni, illetve felhasználni, külső, nem oszcillációs feltételek közötti autonóm dagadási-zsugorodási oszcilláció létrehozásával. A kopolimer gél NIPAAm-ból (N-izopropil-akrilamid) és ruténium-trisz-2, 2'-dipivindil-Ru-(dpi)₃²⁺-ből készült. A BZ-reakcióban katalizátorként ható Ru(dpi)₃²⁺ a NIPAAm-láncokhoz kötődik (10. ábra). A poli(NIPAAm-co-Ru(bpy)₃²⁺) gél a NIPAAm hőérzékenysége folytán bizonyos hőmérsékleten fázisátalakulást mutat. A Ru(dpi)₃²⁺ rész nemcsak a gél duzzadási fokának növekedését okozta, hanem a fázisátalakulás hőmérsékletét is növelte. A jelenséget a polimer láncok hidrofilitás-növekedésével magyarázzák, amit a Ru(dpi)₃²⁺ részben a Ru(II) Ru(III)-má alakulása okoz. Ennek megfelelően a gél ciklikus duzzadást-zsugorodást szenved, amikor a Ru(dpi)₃²⁺ rész állandó hőmérsékleten periodikusan oxidálódik és redukálódik.

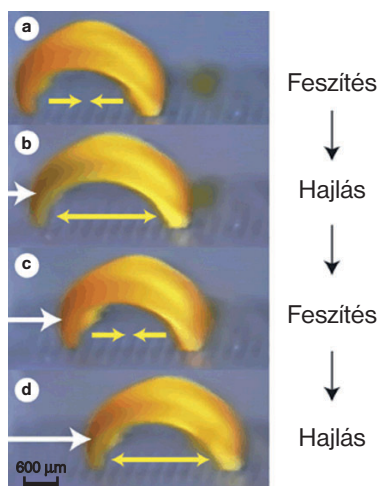
Amikor a gél a BZ-reakció összetevőit (malonsav, bromát, oxidálószer), de katalizátort nem tartalmazó oldatba merül, az összetevők behatolnak a polimer hálózataiba, és a katalizátor hozzáadásakor a BZ-reakció beindul a gélben. Ennek következtében a BZ-reakció által okozott periodikus redoxváltozások (oszcillációk) a gélben is periodikus duzzadási-zsugorodási változásokat okoznak [52, 53]. Az így kialakult gél-aktuátor hernyószerű mozgást tud végezni minden külső stimulus vagy energiaforrás nélkül. Az autonóm mozgást az oszcillációs reakció kémiai energiája hozza

létre a gél belsejében. Kapcsolási mechanizmus által vezérelve a gél például lépegetni is tud a folyamatos duzzadás-zsugorodás, illetve feszítés-hajlás következtében (11. ábra).

Utószó

Szót kell ejtenünk végül a nanorobotikáról [54], amely érinti a dolgozat témáját. Úgy véljük azonban, hogy ez a nanoméretnek miatt sem tartozna szervesen a fentiekben ismertetettekhez, másrészt bár a nanorobotika vitathatatlanul megjelenik a kémiában is, a nanorobotok működési területe inkább az emberi szervezet, és a nanorobotika főként a nanomedicinához tartozik.

11. ábra. BZ-reakció alapján lépegető kémiai aktuátor gél (robot) [55]





Legvégül fel kell vetnünk természetesen azt a kérdést is, hogy beszélhetünk-e egyáltalán „kémiai robotikáról”, vagy kémiai robotokról, mint a kémia többé-kevésbé külön szakterületéről. Válaszként valószínűleg az igen és a nem is egyaránt megadható. A „kémiai robotika” az aránylag közeli jövőben is jelentős fejlődésre számíthat. Nem feltétlenül a laboratóriumi robotok és robotika fejlesztései jelennek majd meg az ipari robotika területén, hanem inkább fordítva. A kémiában hasznosítható robotok gyorsasága, megbízhatósága és pontossága így minden bizonnyal növekedni fog. Jelentős fejlődés várható a szoftverek és szoftvermodulok terén is. Mint láthattuk, a pneumatika és a kémiai energia igénybevétele az elektromos energia pótlására, illetve helyettesítésére, robotkarok, robotelemek működtetésére is érdekes kezdeti eredményeket tud felmutatni, de feltétlenül megjegyzendő, hogy e területek még fejlődésük elején járnak. ●●●

IRODALOM

- [1] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [2] [http://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata_\(mec%C3%A1nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata_(mec%C3%A1nica))
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Automation>
- [4] E. L. Safford, Handbook of advanced robotics, Blue Ridge Summit, PA: Tab. Books, 1982.
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>
- [6] Braun Tibor, *Miniaturizálás és automatizálás az analitikai kémiában*, Magy. Kém. Lapja (2012) 67, 330.
- [7] G. C. Devol jr., U.S. Patent 2.988.237 (1961)
- [8] J. C. Boyd, Robotic laboratory automation, Science (2002) 295, 517.
- [9] R. A. Felder, J. C. Boyd, K. Margrey, W. Holmen, J. Savory, *Robotics in the medical laboratory*, Clin. Chem. (1990) 36, 1534.
- [10] G. D. Owens, R. J. Eckstein, T. P. Franz, *Laboratory robotics, past, present, and future*, Microchim. Acta (1986) II, 15.
- [11] J. C. Boyd, R. A. Felder, J. Savory, *Robotics and the changing face of the clinical laboratory*, Clin. Chem. (1996) 42, 1901.
- [12] T. Chapman, *Lab automation and robotics: Automation on the move*, Nature (2003) 421, 661.
- [13] *SINS integration software for laboratory automation*, Beckman Coulter, Fullerton, US, 1998.
- [14] C. Szyperksi, D. Grunz, S. Maurer, *Component software*, Addison-Wesley, New York, 2002.
- [15] T. Batterman, *Anwendung von Microsoft Softwarestandards in der Automatisierungstechnik*, Expert-Verlag, Renningen, 2002.
- [16] R. L. Deming, L. A. Young, *Laboratory computer networking*, Sci. Comput. Autom. (1989) 5, 21.
- [17] American Society for Testing and Materials. Specifications for transferring of information between clinical instruments and computer systems, E1394-91, ASTM, Philadelphia, 1988.
- [18] http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_handling_robot
- [19] Braun Tibor, *Egy itthon méltatlanul kezelt magyar találmány: A Takátsy-mikrotitrátor és laboratóriumi mikrolap világsikere*, Magyar Tudomány, megjelenés alatt.
- [20] Gy. Takátsy, *Die Verwendung des Mikrotitrator-Gerätes zu serologischen Untersuchungen* (1964) 10, 293.
- [21] <http://www.ddw-online.com/enabling-technologies/p92824-the-microplate-market-past-present-and-future-spring-09.html>
- [22] S. Decker, *Necessity is the mother of invention*, Labor-Fachzeitschrift (2004) 12, 1120.
- [23] J. N. Little, A. Proulx, J. Counelly, *Recent advances in robotic automation of microplate assays*, Lab. Inf. Manag. (1994) 26, 89.
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Microtiter_plate
- [25] http://en.wikipedia.org/wiki/Laboratory_robotics
- [26] <http://www.hgpauction.com/used-laboratory-equipment/>
- [27] http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Featured-Articles/Robots-for-Life-Laboratory-Medical-and-Life-Science-Applications/content_id/605
- [28] <http://msuweb.montclair.edu/~olsenk/robot.htm>
- [29] http://www.metal-supply.com/announcement/view/7193/kuka_roboter_is_presenting_a_new_robot_generation_at_automatica_2010#.U4RYmnj_tLA
- [30] <http://msuweb.montclair.edu/~olsenk/robot.htm>
- [31] Tömösközi Sándor, *Élelmiszeranalitika gyors és automatizált módszerei*, BME Vegyész-mérnöki és Glab, F. Ingman, *Chemical sensors, definition and classification*, Pure Appl. Chem. (1991) 63, 1247.
- [32] www.medicalexpo.com642x472,
- [33] Lab automation and proteomics, Nature Biotechnology (2004) 22, 119.
- [34] <http://www.als-jena.de/liquidhandling.html>
- [35] A. Hulanicki, S. Glab, F. Ingman, *Chemical sensors, definition and classification*, Pure Appl. Chem. (1991) 63, 1247.
- [36] A. J. Lilienthal, A. Loutfi, T. Duckett, *Airborne chemical sensing with mobile robots*, Sensors (2006) 6, 1616.
- [37] M. Ohashi, Y. Kagawa, T. Nakatsuka, H. Ishida, *Crayfish Robot That Generates Flow Field to Enhance Chemical Reception*, J. Sensor Technol. (2012) 2, 185.
- [38] D. F. Spean, D. R. Thayer, D. V. Zarzhinski, *Foundations of swarm robotic chemical plume tracing from a fluid dynamics perspective*, J. Intell. Com. Cyber. (2008) 2, 745.
- [39] <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/2013/1-teamcreatesr.jpg>
- [40] <http://lis2.epfl.ch/CompletedResearchProjects/SelfDeployingMicroglider/>
- [41] F. Ilevski, A. D. Mazzeo, R. F. Shepherd, Xin Chen, G. M. Whitesides, *Soft robotics for chemists*, Angew. Chem. Int. Ed. (2011) 50, 1890.
- [42] R. F. Shepherd, F. Ilevski, W. Choi, S. A. Morin, A. A. Stokes, A. D. Mazzeo, X. Chen, M. Wang, G. Whitesides, *Multigait soft robot*, PNAS, <http://www.pnas.org/content/early/2011/11/21/1116564108.full.pdf+html>
- [43] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics>
- [44] S. Kota, *Shape-shifting things to come*, Scientific American (2014) May, 46.
- [45] <http://groups.csail.mit.edu/drl/wiki/images/8/81/Onal-ISRR-2011.pdf>
- [46] <http://gmwgroup.harvard.edu/research/index.php?page=23>
- [47] W. Kuhn, B. Hargitay, A. Katchalsky, H. Eisenberg, *Reversible Dilation and Contraction by Changing the State of Ionization of High-Polymer Acid*, Nature 165, 514–516, <http://www.nature.com/nature/journal/v165/n4196/pdf/165514a0.pdf>
- [48] R. P. Hamlen, C. E. Kent, S. N. Shafer, *Electrolytically Activated Contractile Polymer*, Nature (1965) 206, 1141.
- [49] Z. Hu, X. Zhang, T. Li, *Synthesis and application of modulated polymer gels*, Science (1995) 269, 525.
- [50] A. Sidorenko, T. Krupetkin, A. Taylor, P. Fratzl, J. Aizenberg, *Reversible switching of hydrogel-actuated nanostructures into complex micropatterns*, Science (2007) 315, 487.
- [51] R. M. Noyes, R. Field, E. Körös, *Oscillations in chemical systems*, J. Am. Chem. Soc. (1972) 94 (4), 1394–1395.
- [52] R. Yoshida, *Design of self-oscillating gels and application to biomimetic actuators*, Sensors (2010) 10, 1810.
- [53] S. Mazda, Y. Hara, S. Nakamaru, *Chemical Robots in Biomimetics*, L. Pramatarova (Ed.) InTech Publ., Shanghai, 2011.
- [54] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanorobotics>
- [55] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.200700625/abstract>

Elárverezték Watson Nobel-díját

James Watson Nobel-díja 4,76 millió dollárért kelt el a Christie's árverésén New Yorkban december 4-én. A 23 karátos érmét James Watson 1962-ben Francis Crickkel és Maurice Wilkinsszel megosztva vehette át VI. Gustav Adolf svéd királytól. A 86 éves tudós feleségével és egyik fiával volt jelen az aukción. Watson esete egyedülálló abban, hogy még élő tudós árverezte el Nobel-díját.

Watson a Nature-nek adott nyilatkozatában azt mondta, hogy az árveréssel megtépzott hírnevét szeretné visszaállítani – egy 2007-ben tett szerencsétlen nyilatkozata szerint a fekete emberek intelligenciája kisebb, mint a fehér embereké.

Az aukción kapott pénz nagy részét tudományos jótékony-ságra szeretné fordítani, többek között a Chicagói Egyetem és Cold Spring Harbor-i Laboratórium részesülne belőle, ahol Nobel-díja után dolgozott és ahonnan 2007-es kijelentése után állásából felfüggesztették, majd a tudományos közvélemény ki-közöcsitette.

Csak az érdekesség kedvéért említjük meg, hogy Francis Crick Nobel-díja is gazdát cserélt már. Az ő díját tavaly posztumusz adták el 2,27 millió dollárért Jack Wangnak, egy kínai biotech társaság főnökének. (A Google híradásai nyomán)

KT