

Zrínyi Miklós

Intelligens anyagok*

Az évszázad utolsó tíz éve jelentős változást eredményezett az anyagtudományban. Az egyre bővülő felhasználói igények paradigmaváltást kényszerítettek ki. Az új gondolkodásmód kulcsszavává a környezethez való alkalmazkodóképesség vált. Az anyagok passzív változatlanóságára irányuló törekvéseket felváltotta az anyag és környezete dinamikus együttélését vizsgáló szemléletmód. Megjelent egy új fogalom: az intelligens anyag.

Talán meglepi az olvasót e hatásvadásznak tűnő cím. Az intelligencia szó egyik jelentése, amely felbátorított e terminológia használatára: alkalmazkodóképesség új helyzetekhez (Akadémiai Kislexikon). Ebben az értelemben beszélhetünk anyagok és anyagi rendszerek intelligenciájáról. Az elnevezés az anyagtudomány egy olyan új területére utal, amely az anyag és közvetlen környezete — az élő rendszerek homeosztázisához¹ hasonló — aktív kapcsolatát igyekszik feltárni és kiaknázni. Elsődleges célja olyan szintetikus anyagok tervezése, előállítás és tulajdonságainak vizsgálata, amelyek a felhasználó számára előnyösen képesek reagálni a környezetükből származó fizikai és/vagy kémiai hatásokra.

Különösen izgalmas terület a lágy intelligens anyagok fejlesztése. Ezek ugyanis jelentős orvosi, orvos-biológiai, gyógyszerészeti, valamint robottechnikai alkalmazásokat tesznek lehetővé.

Az anyagtudomány: egy kitörési lehetőség

Korunkat az eddigieknél jóval pragmatikusabb viszony jellemzi a tudományokhoz. A kémiai alap kutatásokra szánt támogatási összeg az utóbbi években jelentősen csökkent. Még a vegyipar is — amely nagymértékben függ az innovációtól — drasz-

* E dolgozatban izelítőt kapunk az intelligens anyagok néhány típusáról és felhasználási területéről. A lágy és nedves anyagok fantasztikus tulajdonságairól a szerzőnek e számunk másik tanulmányában kaphat képet az olvasó. — A szerk.

¹ Homeosztázis: az élő szervezetnek az a képessége, hogy a változó külső (és belső) környezethez alkalmazkodva önszabályozással egyensúlyt állapotot képes fenntartani. (Akadémiai Kislexikon)

tikusan csökkentette az alapkutatások finanszírozására szánt erőforrásait. A kémikusok társadalmi megítélése romlott, ami szoros kapcsolatban áll a tudománypolitika számunkra kedvezőtlen változásaival. Ezzel összefügg a társadalom egy jelentős részének a tudománnyal és a technikával szemben tanúsított kiábrándultsága és bizalmatlansága. Ugyanakkor szemtanúi lehetünk az irracionális metatudományok káros térhódításának. E hatások megnehezítik, hogy a tudományok és a technika kihívásaira megfelelő módon reagáljunk. Kutatóintézeink és egyetemi tanszékeink struktúrája, valamint a jelenlegi tudománypolitika nem teszi lehetővé a gyors és hatékony reagálást. A kémikus társadalom számára sem marad más, mint a sorvadás, vagy új területek meghódítása. Az anyagtudomány az egyik terület, ahol a vegyész és a vegyész-mérnök tudását eredményesen kamatoztathatja.

Dolgozatomban egy új, rendkívüli távlatokat ígéro tudományág bemutatására teszek kísérletet, amely nem nélkülözi, sőt igényli az alapkutatással foglalkozó kollégák nagyfokú gondolkodásbeli szabadságát, ugyanakkor nagyon konkrét felhasználói igények kielégítésére irányul. Mindezek mellett céljai közérthetőek, eredményeit egy nagyobb közösség is könnyen megismerheti, jelentőségét megítélheti.

Fogalmak

Az intelligens (intelligent, smart, responsive, adaptive) anyag fogalma viszonylag új [1.2]. A tudományos szakirodalomban először az 1980-as évek végén jelent meg. Az anyagtudomány e fiatal hajtásának töretlen a fejlődése. Ma már saját szakfolyóiratokkal (*Journal of Intelligent Material and Structures* és *Smart Materials and Structures*) rendelkezik, és évente rendeznek nemzetközi konferenciát az ipart messze megelőző ezen tudományterület művelői.

Az anyagtudomány teremti meg a kapcsolatot a természettudományok, közülük is főként a kémia és a fizika törvényei, valamint az anyagok alkalmazhatóságának technikai, technológiai követelményei között. Az intelligens anyagok megjelenése az anyagtudományban megmutatkozó hihetetlenül nagy fejlődés következménye.

Az anyagtudomány fejlődése szorosan kötődik az adott korban fellelhető anyagokhoz. A kő-, bronz- és vaskort a XX. században követte a szintetikus anyagok kora. A kémia és a társtudományok szédítő fejlődése, a kémiai szerkezet és a tulajdonságok közötti kapcsolat felismerése ma már lehetővé teszi adott célra tudatosan tervezett anyagok (engineered materials) előállítását. Speciális fémek, kerámiák, műanyagok, valamint ezeknek kombinációi képezik modern szerkezeti anyagainkat. Ezek alapvető feladata a használó számára minél előnyösebb mechanikai (főként szilárdságtani) és termikus tulajdonságok biztosítása. Az egyedi monolit anyagok tulajdonságait még jelentősen javíthatjuk társított vagy kompozit anyagok alkalmazásával. A modern anyagtudományban a szerkezeti anyagokat első generációs szintetikus anyagoknak nevezhetjük. Ezek egyik jellemzője, hogy környezetünkkel passzív módon érintkeznek, az általános felfogás szerint annál jobbak, minél hosszabb a változatlan formájú és működésű élettartamuk.

A szerkezeti anyagok választékának bővítése és az újfajta használói igények megjelenése elindította a funkcionális anyagok kutatását. E második generációs anyagok kifejlesztésénél már nem a legelőnyösebb mechanikai tulajdonságok elérése a fő cél, hanem a különböző anyagokat jellemző individuális, főként fizikai tulajdonságok összekapcsolása egyetlen anyagi rendszeren belül. E törekvés egyik mozgatója a technikai eszközeinknél jóval tökéletesebb biológiai objektumok működésének, hatásfokának és a környezetet kímélő tulajdonságainak megközelítése. Az új gondolkodásmód kulcsszavává a *környezethez való alkalmazkodóképesség* vált. Az anyagok passzív változatlanóságára irányuló törekvéseket felváltotta az anyag és környezete dinamikus együttélését vizsgáló szemléletmód. A környezeti hatások ész-

lelésének két módja van. Az egyik esetben maga az anyag rendelkezik ezzel a képességgel, a másik esetben pedig az érzékelést olyan szenzorok látják el, amelyekből származó információ az anyag tulajdonságainak azonnali változását idézi elő. Ez utóbbi esetben az új minőség nem egyetlen anyagnak, hanem egy technikai elrendezésnek tulajdonítható. Ebben a tanulmányban nem térek ki az ilyen, ún. intelligens szerkezetek ismertetésére. Ez sokkal inkább a gépész- és elektromérnökök hatáskörébe tartozik. A továbbiakban csak az intelligens anyagokkal foglalkozom.

Az új típusú anyagok egyik előfutára az 1967-ben, az USA-ban kifejlesztett fototrop üveg. Ennek látható fényvel történő besugárzásakor a fényáteresztő képessége — visszafordítható módon — lényegesen csökken. Ez az üveg kiválóan alkalmas olyan szemüvegek gyártására, amelyeknek a fényáteresztő képessége a napsugárzás erősségétől függ. A fototrop üvegnél két lényegesen különböző jelenség — egy kémiai egyensúly és a fényáteresztő képesség — összekapcsolása eredményez minőségileg új tulajdonságot.

Számos elem önmagában is mutat funkcionális tulajdonságot. Például a szelénnek az egyébként kis vezetőképessége erős megvilágítás hatására ezerszeresére növekszik. A fényhatás megszűnése után a vezetőképesség visszaáll az eredeti értékére. A szilícium a fényerősség változását feszültséggé alakítja át. Ezek az elemek az optikai és elektromos tulajdonságok között teremtenek kapcsolatot.

Az elektromos tér hatására bekövetkező rugalmas alak- vagy térfogatváltozást elektrostrikióknak² nevezzük. Ennek egy speciális esete a piezoelektromos jelenség, amely során bizonyos anyagok (pl. kvarc) deformációja elektromos potenciálkülönbséget eredményez, vagy az anyag elektromos tér hatására deformálódik.

Beszélhetünk multifunkcionális anyagokról is, amelyek nem kettő, hanem annál több jellemző tulajdonságot kapcsolnak össze. Ilyen például az Pb-Mg-Nb ötvözet, amely termo-elektrostriktív, vagy a Tb-Fe-Dy ötvözet, amely termo-magnetostriktív³ tulajdonságokat mutat. Ezeknél az anyagoknál az elektromos (vagy mágneses), a termikus és a mechanikai sajátosságok kapcsolódnak össze.

A különböző tulajdonságok egy anyagon belüli összekapcsolásának elvileg nincs akadálya. Ennek ellenére a funkcionális anyagok száma nem túl nagy. Intelligens anyagoknak azokat a multifunkcionális anyagokat nevezzük, amelyek közvetlen környezetük fizikai, vagy kémiai állapotának egy vagy több jellemzőjét érzékelik, e jeleket feldolgozzák, majd pedig ezekre, állapotuk jelentős megváltoztatásával, gyors és egyértelmű választ adnak.

Az érzékelő funkció leggyakrabban a szóban forgó anyag és környezete közötti egyensúly következtében valósulhat meg. Ez az egyensúly lehet kémiai, mechanikai vagy termodinamikai. A környezeti paraméterek változása szükségszerűen az egyensúlyi állapot megváltozását idézi elő. Az újonnan kialakuló egyensúlyi állapotban pedig az anyag más tulajdonságokkal rendelkezik. Fontos szempont még a változást előidéző hatás (a továbbiakban inger) és az erre történő reakció (válasz) kapcsolata. Intelligens anyagokra olyan nem-lineáris inger—válasz kapcsolat a jellemző, amelynél a környezeti hatás kis változására igen nagyfokú tulajdonságbeli változás következik be, azaz a válasz mértéke nem arányos, hanem jóval nagyobb az inger nagyságánál. További ismérv a megfordíthatóság, azaz a változást kiváltó hatás megszűnte után az eredeti állapotnak kell visszaállni. A gyors reakcióidő alkalmazástechnikai követelmény.

² Elektrostrikió: elektromos térbe helyezett egyes dielektrikumoknak a térerősség nagyságától függő rugalmas méretváltozása

³ Magnetostrikió: mágneses térbe helyezett egyes anyagoknak a térerősség nagyságától függő rugalmas méretváltozása

Kemény és lágy anyagok

Anyagainkat feldolgozhatóságuk alapján kemény és lágy anyagokra oszthatjuk. A kemény anyagok, mint például a fémek, kerámiák és polimerek széles határok között ellenállnak a nyomásnak, nyírásnak és más mechanikai hatásoknak. A lágy anyagokat mechanikai hatásokkal szemben kis tehetetlenség jellemzi, aminek következtében ezek az anyagok folyékonyak vagy képlékenyek. A lágy kondenzált anyagok közé sorolhatjuk a folyadékokat, a rugalmas műanyagokat, biológiai anyagaink nagy többségét, valamint a szilárd és a folyadék halmazállapot között elhelyezkedő nagy folyadéktartalmú géleket. Ha összehasonlítjuk a mindennapi életben használt szerkezeti anyagainkat a kétségkívül sokkal tökéletesebb biológiai anyagokkal, akkor megállapíthatjuk, hogy igen nagy különbség van közöttük. Ipari anyagaink többnyire kemények, merevek és szárazak, a biológiai anyagok nagy többsége pedig lágy, rugalmas és nedves. Önként adódik a kérdés, hogy mi az oka ennek a szakadéknak, és miért ne lehetne a lágy anyagokat a modern technikában szélesebb körben alkalmazni.

Intelligens kemény anyagok

Az intelligens anyagok egy jelentős hányadát alkotják azok a szilárd anyagok, amelyeknek mérete vagy alakja elektro-, illetve magnetostrikcióval változik meg. Bizonyos ötvözetek, főként a ritka fémek (Te, Dy, Sa) ötvözetei, mint pl. a Terfenol vagy a Samfenol mágneses tér hatására megváltoztatják méretüket. A próbatest hossza a tér irányában mérve megnő, arra merőlegesen pedig csökken. Ez a méretváltozás igen kicsi, így ezekből az anyagokból nagypontosságú pozicionáló eszközök készíthetők. Említettük, hogy az elektrostrikció különleges esete a piezoelektromosság. Az utóbbi időben több piezoelektromos kerámiát (Pb-Zr-Ti) és piezoelektromos polimert fejlesztettek ki.

Az *alakmemóriával rendelkező anyagok* az intelligens anyagok nagy, önálló csoportját alkotják. Ide tartoznak az emlékező fémek és műanyagok. A legismertebb alakmemóriával rendelkező fém egy nikkeltitán ötvözet, a Nitinol. Amennyiben az emlékező fém formáját egy kritikus hőmérséklet felett hozzuk létre, akkor a fém erre az alakra a kritikus hőmérséklet alatt bekövetkező maradandó alakváltozás után is emlékszik. Ha alacsony hőmérsékleten valamilyen mechanikai hatás miatt a fémtárgy alakja megváltozik, akkor ez a kritikusnál magasabb hőmérsékletre hevítve visszanyeri az eredetileg kialakított formáját. Felmelegítés nélkül megállapíthatatlan, hogy a fém memóriája milyen eredeti formát őriz.

E szokatlan tulajdonság az alak és a termikus kölcsönhatás szoros kapcsolatának köszönhető. Speciális polimerekkel is lehet alakot tárolni. Az emlékező anyagok megjelenése új lehetőségekkel gyarapíthatja az anyagtudományt. Megteremtheti a születés—működés—pusztulás hármas egységében történő gondolkodásmódot. Bár ez a hármasság az élő rendszerek jellegzetessége, a modern technikában is egyre nagyobb szerepet kap. Gondoljunk például arra, hogy a világűrben használt nagy kiterjedésű eszközeink célba juttatása milyen nehéz és költséges feladat. Megfelelő memóriával rendelkező anyagok kifejlesztésével megvalósíthatóvá válhat, hogy az egyik állapotban az anyag nagyon kompakt, a másikban pedig a feladat ellátásához szükséges nagy kiterjedésű szerkezetnek felel meg. Az, hogy az anyag melyik állapotban van — a kompaktban vagy a kiterjedtben —, a környezeti hatásoktól függ. Az állapotváltozással, amit előidézhetünk például a hőmérséklet megváltoztatásával, előhívhatjuk a „memóriában” tárolt alakzatot. A feladat elvégzése után a műtárgy eltávolítása ismét a „csomagolással” kezdődhet.

Az emlékező anyagokat (különösen az emlékező műanyagokat) az orvosi gyakorlatban is eredményesen használhatják. Például elzáródott *erek újbóli megnyitásakor* alkalmaznak emlékező polimereket. A megfelelő összetétellel a kritikus hőmérsékletet éppen az emberi test hőmérsékletére állítják be, majd a műanyagot melegen spirál alakúra hajtják össze. Ezt követően a polimer rugót lehűtik, aztán egyenesre nyújtják. Behúzzák az érbe, majd a testmeleg hatására az egyenes szál ismét spirállá ugrik össze, amely megakadályozza, hogy az esetleges vérrögöket a véráram magával ragadja.

Intelligens lágy anyagok

Intelligens folyadékok

Az utóbbi időben igen nagyfokú érdeklődés mutatkozik, az ún. komplex folyadékok iránt [3.4]. Ezek olyan folyadék halmazállapotú anyagok, amelyek *homogén eloszlású nano- vagy mikrométeres részecskéket* tartalmaznak. A kolloid mérettartományba eső részecskék speciális elektromos vagy mágneses tulajdonságokkal rendelkeznek és azt a látszatot keltik, mintha a folyadék mutatna elektromos vagy mágneses tulajdonságokat.

Az intelligens folyadékok két nagy csoportját alkotják a *mágneses és az elektro-reológiai* folyadékok. A mágneses folyadék ferro- vagy ferrimágneses⁴ anyagok nanorészecskéit tartalmazza homogén eloszlásban. Mivel a részecskék mérete jóval kisebb a mágneses domének méreténél, ezért minden egyes részecske egyetlen elemi mágnesnek tekinthető. Ennek következtében nem érvényesülhet a szomszédos domének ellentétes irányának kedvezőtlen hatása a mágnesezettségre. Így a rendkívül kis méretű részecskék mágneses szempontból a makroszkopikus anyag telítési mágnesezettségéhez hasonlíthatók. Ennél erősebb mágnezt pedig nem lehet készíteni. A maximális mágneses momentummal rendelkező részecskék folyadékokban mozoghatnak. Ha nincs külső irányító hatás, akkor ezek mágneses momentuma azonos valószínűséggel mutat a tér minden irányába. Ennek az a következménye, hogy a folyadék nem mutat makroszkopikusan érzékelhető mágnesezettséget. Ha a folyadék kívülről keltett mágneses térbe kerül, akkor minden egyes mágneses momentum igyekszik a tér irányával párhuzamosan elhelyezkedni. Ennek következtében a mágneses nanorészecskék olyan kicsiny mágnesrudaknak tekinthetők, amelyek azonos állásban vannak, azaz egy kiszemelt részecske északi pólusához a tengelyirányban legközelebb álló másik részecske déli pólusa található meg.

Mivel a részecskék nincsenek helyhez kötve, ezért a mágneses vonzó erők miatt elmozdulnak. Megkezdődik a részecskék összetapadása, amely egymással párhuzamosan elhelyezkedő, a mágneses tér irányába mutató túszerű aggregátumok képződését eredményezi. A mágneses tér megszüntetése után az aggregátumok szétesnek és újra a homogén eloszlású mágneses folyadékot kapjuk vissza. A külső mágneses térrel előidézett aggregáció makroszkopikus megnyilvánulása a viszkozitás növekedésében és a folyadék megszilárdulásában mutatkozik meg. A viszkozitás növekedése, illetve a szilárdságot jellemző ún. folyáshatár értéke a mágneses tér nagyságától függ. A mágneses térrel előidézett folyadék—szilárd „állapotváltozás” vagy ennek fordítottja igen gyorsan megy végbe. A mágneses tér ki- és bekapcsolásával pillanatszerűen változtathatjuk meg a folyadék viszkózus vagy mechanikai állapotát. A mágneses folyadékok kiváló *kenő-, illetve tömítő anyagok* lehetnek mozgó mágneses alkatrészek között. Ez a folyadék ugyanis indukált mágnesessége miatt nem folyik ki még az alkatrészek között lévő szélesebb résekből sem. Egy másik perspektivikus

⁴ A ferrimágnesesség olyan anyagok mágneses sajátsága, amelyek kristályaiban a különböző atomok mágneses momentuma páronként ellentétes irányú. A ferromágnesesség kristályos állapotú fémek és ötvözetek azon tulajdonsága, hogy állandó makroszkopikus mágneses momentumuk van és mágneses hiszterézist mutatnak.

alkalmazási lehetőség olyan új típusú *erőátviteli rendszerek* kifejlesztése, amelyek nem tartalmazzák a sűrűdésen alapuló hagyományos tárcsás erőátvitelt.

Az ún. elektro-reológiai folyadékok az indukált elektromos polarizáció alapján működnek. Ezek olyan, főként nem-vizes folyadékok, amelyek egyenletesen elosztott mikro- vagy nanorészecskéket tartalmaznak. Ezek a részecskék elektromos térben polarizálódnak és az indukált dipólusok következtében — a mágneses folyadékokhoz hasonló — láncszerű aggregátumokat hoznak létre. A részecskék elektromos térrel előidézett aggregációjának a makroszkopikus megnyilvánulása a folyadék viszkozitásának növekedése, valamint a folyáshatár megjelenése. Az elektro-reológiai folyadékok konzisztenciája elektromos térrel igen széles határok között változtatható: *a kis viszkozítású folyadéktól a szilárd anyagok tulajdonságait mutató gél állapotig. Az elektromos és mágneses tulajdonságok kombinálhatók is.* Ha például a mágneses folyadék részecskéit olyan vékonyréteggel vonjuk be, amely az elektromos tér hatására polarizálódik, akkor a folyadék sajátságok egyaránt befolyásolhatók mind mágneses, mind pedig elektromos térrel.

A mágneses vagy elektro-reológiai folyadékok a jövőben kiszoríthatják a hagyományos kuplungokat és más erőátviteli rendszereket.

Intelligens polimergélek

A gélek olyan rendszerek, amelyek átmenetet képeznek a szilárd és a folyadék halmazállapot között [5]. Alaktartók és könnyen deformálhatók, ugyanakkor nagy folyadéktartalmuk miatt fizikai tulajdonságaik az oldatokéhoz hasonlóak. Polimergélek alaktartása a gélben szerteágazó polimer váznak köszönhető. A jelentős mennyiségű folyadék megakadályozza a laza térhálós szerkezet összeomlását, ez utóbbi pedig útját állja a folyadék spontán „kifolyásának”. A polimergelekre jellemző, hogy környezetükkel egyensúlyban lehetnek. Az egyensúlyi térfogat a folyadékmolekulák duzzasztó (ozmotikus) hatásának, valamint a polimer molekulákban e deformáció ellen ébredő visszahúzó erő hatásának a következménye. Egyensúlyban e két hatás éppen kompenzálja egymást. A környezeti paraméterek (hőmérséklet, elegy összetétel, pH stb.) változására a gél térfogatának változtatásával válaszol. E térfogatváltozás lehet folytonos vagy az első rendű fázisátalakulásokhoz hasonló ugrás-szerű változás, melyet gél kollapszusnak nevezünk [6]. Több géltre jellemző, hogy *a térfogatuk a hőmérséklet igen kis megváltoztatására jelentős mértékben változik. Ez a változás a gél szerkezetétől függő kritikus hőmérsékleten játszódik le.* A hőmérséklet változtatásával előidézhető tehát egy olyan folyamat, amelynek során a gél térfogata jelentős mértékben változik. E térfogatváltozás alkalmas *mechanikai munkavégzésre*, valamint különleges alakváltozások és mozgások megvalósítására. A gél-kollapszust a hőmérsékleten kívül több más hatással is kiválthatjuk. *Előidézhető a pH, az elegyösszetétel megváltoztatásával, bizonyos ionokkal, valamint fény és elektromos tér alkalmazásával.* E tulajdonságaik miatt a polimergélek különleges helyet foglalnak el az intelligens anyagok között. Nincs ugyanis még egy olyan anyagi rendszer, amely ily sokféle környezeti hatásra reagálna. A gél kollapszus, vagy ennek ellentéte, a nagymérvű duzzadás, az említett *környezeti paraméterek kritikus pont körüli kis-mérvű változtatásával* érhető el. Így nemcsak a gél térfogata, hanem az összes ettől függő tulajdonsága is hirtelen megváltozik: jelentős mértékben módosulnak az optikai, mechanikai és transzport tulajdonságok.

A térfogatváltozás akkor is bekövetkezik, ha a gélt terhelésnek vetjük alá, azaz a duzzadó gél felszínére súlyt helyezünk, vagy az összehúzódó (szinerizáló) géllal tömeget mozdítunk el. Mindkét esetben a gél munkát végez, mégpedig úgy, hogy a környezete energiáját alakítja át mechanikai munkává. Ha a környezeti hatás kémiai természetű, akkor az energia hasznosításának az izomra jellemző módja valósul meg. Ez a különleges tulajdonság már a negyvenes évek végétől inspirálta a kutatókat mesterséges izmok és új típusú gépek kifejlesztésére [7]. A tudományos

vizsgálatok alapján egyértelművé vált, hogy reális cél a polimergélek *műzomként* történő alkalmazása.

Az intelligens lágú anyagok megjelenése a technikai fejlődés új útját nyitotta meg. Ennek köszönhető, hogy ma a polimerkutatásnak egyik leggyorsabban fejlődő ága az intelligens polimergélek területe. Ennek bizonyítására elegendő csupán azt a tényt megemlíteni, hogy az *Advances in Polymer Science* című rangos nemzetközi szakfolyóirat a közelmúltban két teljes számát szentelte e gélek bemutatásának [8,9]. A lágú robottechnika, a biológiai rendszerekhez hasonló, azokat utánzó energiaátalakító rendszerek, mikroszerkezetek, szelektív szorbensek, szenzorok és a szabályozott hatóanyag-adagoló rendszerek fejlesztése képezi a kutatások fő irányát.

Magyarországon a BME Vegyészmérnöki Karának Fizikai Kémia Tanszékén alakult meg az ország első *„Intelligens Anyagok Laboratóriuma”*. Ennek létrehozásában meghatározó szerepe volt egy-egy sikeres FKFP és OTKA pályázatnak.

IRODALOM:

- 1 M.V. Gandhi, B.S. Thompson: *Smart Materials and Structures*, Chapman & Hall (1992)
- 2 *Proceedings of Third Conference of Intelligent Materials*, Lyon, France (1996)
- 3 L. Garrido (ed): *Complex Fluids*, Springer Verlag (1993)
- 4 J. H. Fendler, I. Dékány: *Nanoparticles in Solids and Solutions*, Kluwer Academic Press (1997)
- 5 De Rossi, Kawana K., Osada Y, Yamauchi A.: *Polymer Gels, Fundamentals and Biomedical Applications*, Plenum Press, New York—London (1991)
- 6 T. Tanaka: (1982) *Science* 218, 467
- 7 Y. Osada: *Advances in Polymer Science*, 82, 1 (1987)
- 8 K. Dusek (ed.): *Advances in Polymer Science*, 109, (1993)
- 9 K. Dusek (ed.): *Advances in Polymer Science*, 110, (1993)

** A műzomról és a szabályozott gyógyszerhatóanyag-leadásról a szerző részletesen szól e számban megjelent másik tanulmányában. — A szerk.