

A KÉMIAI TUDOMÁNY FŐBB KUTATÁSI ÉS ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

Murányi Zoltán

Idén tavasszal, a Magyar Vegyipari Szövetség (MaVeSz) szakmai utánpótlás-konferenciáján az első felszólaló nyitóbeszédében a következőt mondta:

Ha hirtelen eltűnne a világból a vegyipar összes vívmánya, egy üres szobában üldögnének aminek még falai sincsenek.

Ezzel meg is válaszoltuk a címben felvetett egyik kérdést. A kémia az élet minden területén jelen van. De persze érdemes néhány kitüntetett fontosságú területet kiemelni és röviden bemutatni. Természetesen a válogatás önkényes, de igyekszik a legátfogóbb képet adni a kémia legfontosabb kutatási területeiről és eredményeinek mindennapi hasznosulásáról.

A kémia szerepe a gyógyszerfejlesztésben

A kémia alapvető szerepet játszik a gyógyszerfejlesztés minden aspektusában, a molekulák azonosításától és tervezésétől a hatóanyagok előállításáig és a klinikai vizsgálatokig. A kémiai elvek és technikák alkalmazásával a tudósok új gyógyszereket hozhatnak létre a betegségek megelőzésére, diagnosztizálására és kezelésére.

A gyógyszerkutatás-fejlesztés lépései

- 1. Molekuláris azonosítás és tervezés:** A hatékony gyógyítás első és legfontosabb eleme a szervezetben lejátszódó (szintén kémiai!) folyamatok megismerése, megértése. A kémikusok először azonosítják a célmolekulákat, amelyeket a gyógyszernek gátolnia vagy aktiválnia kell a kívánt hatás elérése érdekében. Ez magában foglalja a betegség biológiai folyamatainak megértését és olyan molekulák keresését, amelyek kölcsönhatásba lépnek ezekkel a célmolekulákkal. Ezen molekulák keresése hosszú és összetett folyamat, melynek első lépése a természetben is előforduló ún. bioaktív hatóanyagok vizsgálata. Ezek „tapasztalaton alapuló” alkalmazása a népi gyógyászatban olykor közismert, máskor teljesen elfeledett. Amennyiben a tapasztalat tudományosan is igazolható hatáson alapszik, a hatóanyag adott, már csak az a kérdés, hogy a növényből történő kivonás és tisztítás, esetleges továbbalakítás

a hatékonyabb megoldás, vagy a már ismert molekula szintetikus előállítás. Ha az előbbi módszer nem vezet célra, akkor meg kell tervezni a megfelelő tulajdonságokkal rendelkező molekulát. Erre ma már hatalmas adatbázisok és szimulációs programok állnak a tudósok rendelkezésére és persze a mesterséges intelligencia is bevonásra került.

- 2. Hatóanyag-előállítás:** Miután azonosítottak egy ígéretes molekulát, meg kell vizsgálni, hogy a molekula kinyerhető-e valamely növényből, vagy mindenképpen szintetizálni szükséges. Utóbbi esetben megtervezik és kipróbálják a különféle szintézisutakat és kiválasztják a legjobb megoldást. Ennek több fontos szempontja van, gazdaságosság, hatékonyság, a zöld kémia elveinek való megfelelés, maximális biztonság. Fontos azt megérteni, hogy a „természetes egészségesebb” mítosza nem állja meg a helyét! Egy molekula hatása csak a szerkezetétől függ, de teljesen mindegy, hogy egy növény, vagy egy kémikus szintetizálta. Ez nem azt jelenti, hogy nem a természetes forrásokat preferáljuk, ha azok is rendelkezésre állnak! Például a csipkebogyó is kiváló C-vitamin forrás, de ha nem megfelelően kezelt, tiszta alapanyaggal dolgozunk még több bajt is okozhatunk a szennyezések miatt (gépjárművek által felvert, illetve kibocsájtott por, növényvédőszer, szervesmaradványok, penészgombák által termelt mérgezőanyagok, stb.) Ha kész a hatóanyag, meg kell tervezni a bejuttatás optimális módját, milyen formában lesz leghatékonyabb a felszívódás, hogyan védhető meg a hatóanyag az átalakulásoktól, mi erősíti a hatást.
- 3. A klinikai vizsgálatok** fázisában, ahová a gyógyszerjelölt molekulák közül csak minden tízezeredik (!) jut el, orvosok ellenőrzik a gyógyszer alkalmasságát (hatékonyság, mellékhatások stb.). Ha minden stimmel, újra a vegyészeké a főszerep:
- 4. Ipari előállítás:** Meg kell oldani a kidolgozott szintézis-eljárást, melynek során a néhány milligrammos mennyiségekkel kipróbált lépéseket ipari méretben megvalósíthatóvá kell tenni, figyelve a gazdaságosságra, a minimális környezetterhelésre és nem utolsósorban az előállított anyag tisztaságára. A folyamatok követése, a közti és végtermékek azonosítása, tisztaságuk ellenőrzése az analitikusok munkája. Ezt a munkát a legmodernebb műszerek segítik, az analitikusok feladata a legalkalmasabb vizsgálati módszer kiválasztása, az adekvát mintavétel, mintakezelés kidolgozása, ezek alapján a gyártási folyamat és a végtermék megfelelőségének ellenőrzése.

A modern kutatások legfontosabb irányai a gyógyszerjelölt molekulák folyamatos előállítása és tesztelése mellett a különböző diagnosztikai eljárások során alkalmazható kontrasztanyagok (pl. radioaktív elemek speciális komplexe) előállítása, valamint az ún.

„személyre szabott medicina” mely során minden páciens számára a leghatékonyabb gyógyszer, illetve dózis meghatározása és célzottan a hatás pontos helyére juttatása a cél.

Egy ilyen lehetőség például a célzott szonda fotoakusztikus tumor-képzéshoz. Az alapjelenség, hogy lézérimpulzus hatására a hatóanyag jelenlétében a szövetben ultrahang keletkezik, melynek segítségével az adott területről „kép” hozható létre. A hatóanyag – a rákos sejtekben jellemző – oxigénhiányos körülmények között specifikusan kötődik egy szintén rákos sejtekben jellemző fehérjéhez, így alakul ki a fotoakusztikusan aktív egység, azaz a kép csak a tumorról fog létrejönni.

A kémiai alap kutatás célja az ilyen jelenségek felismerése és legszélesebb körű jellemzése, az alkalmazott kutatás feladata ezen ismeretek segítségével a lehetséges alkalmazások kidolgozása. Ehhez a széleskörű és naprakész ismeretek mellett számos fontos kompetencia szükséges, ahogy Nobel-díjas tudósunk Szent-Györgyi Albert fogalmazott: „Felfedezni valamit annyit tesz, mint látni, amit mindenki lát, és közben arra gondolni, amire még senki.”

A kémia szerepe az élelmiszer-ellátásban

„A táplálékom legyen az orvosságod és az orvosságod a táplálékom.” Hippokratész híres mondása teremt kapcsolatot előző és jelen témánk között. A minőségi táplálkozás az egészséges élet legfontosabb elemei közé tartozik. Az ENSZ fenntartható fejlődési céljai közül a második: „Meggzűntetni az éhezést, elérni az élelmezésbiztonságot, javítani a táplálkozást és előmozdítani a fenntartható mezőgazdaságot” Ebben a kémiának hatalmas szerepe van, még ha ez sokaknak nem is elfogadható.

- 1. Élelmiszer-alapanyagok előállítása:** A Föld lakossága létszámában már régen meghaladta a Föld – hagyományos mezőgazdasági technológia használata esetén érvényes – eltartóképességét. Mindenképpen szükséges az intenzív mezőgazdasági termelés (növénytermesztés és állattenyésztés) folytatása, sőt fejlesztése. Ehhez műtrágyákra, növényvédőszerre, az állattenyésztés higiéniját biztosító tisztító és fertőtlenítő szerekre van szükség. Egy érdekes számítás szerint, ha nem találtak volna fel az ammónia-szintézist, akkor a Föld eltartóképessége kb. a fele lenne a mainak. Természetesen ezen nagy volumenű vegyipari technológiákkal szemben is elvárás, hogy minél zöldebbek és minél fenntarthatóbbak legyenek. Ennek egyik lehetséges módja a biomaszából alapú szintézisek kidolgozása és megvalósítása. A közelmúlt egyik kutatásában például köles alapú módszert dolgoztak ki ammónia előállítására, melynek karbonlábnyoma negyede a napjainkban alkalmazott eljárásénak.

2. Élelmiszer-biztonság: Élelmiszerlánc a termőföldtől a fogyasztó asztaláig. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) Tudományos Tanácsa a következő legfontosabb területeken folytat tanácsadást:

- takarmányban használt adalékanyagok, termékek és anyagok;
- állategészségügy és állatjólét;
- biológiai veszélyek;
- az élelmiszerláncba bekerülő szennyező anyagok;
- diétás termékek, táplálkozás és allergiák;
- élelmiszer-adalékanyagok és élelmiszerekhez adott tápanyagforrások;
- élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő anyagok, enzimek, aromaanyagok és technológiai segédanyagok;
- géntechnológiával módosított szervezetek;
- növényegészségügy;
- növényvédelmi termékek és szermaradványaik.

E tekintetben a kémia legjelentősebb hozzáadott értéke az analitika. Az analitikai kémia feladata az élelmiszer alapanyagok és az élelmiszerek vizsgálata:

- **Beltartalmi értékek:** egy élelmiszer (alapanyag) tartalmaz táplálkozási szempontból fontos anyagokat (ezeket a szaknyelv nutrienseknek nevezi). Makronutriensek a zsírok, szénhidrátok, fehérjék, mikronutriensek a nyomelemek, vitaminok, antioxidánsok stb. Ezek ismerete nélkülözhetetlen, hiszen ezek határozzák meg az illető élelmiszer táplálkozási értékét, melynek ismeretében lehetséges az étrend tervezése.
- **Szennyezők:** a mezőgazdasági termelés és az élelmiszer előállítás, tárolás során az élelmiszerbe kerülő káros hatású anyagok összefoglaló neve. (növényvédő szerek, szermaradványok, mérgeanyagok, nehézfémek, műanyag adalékanyagok stb.) Ezek mennyiségének folyamatos monitorozása az egészséges és biztonságos táplálkozás elengedhetetlen feltétele.

3. Élelmiszer-technológia

A kémia és az élelmiszer-technológia számos további ponton kapcsolódik egymáshoz, ide tartozik:

- Gyártástechnológia fejlesztése, a kémiai folyamatok jobb megismerésével, a termékminőség ellenőrzésére kidolgozott objektív módszerekkel.
- Új csomagolóanyagok kifejlesztése, melyek feladata az élelmiszerek minőségének megőrzése, szennyezésektől való védelme. Közismert, hogy a rengeteg műanyag csomagolóanyag hatalmas környezetterhelést eredményez, ezért alapvető igény a kibocsátás csökkentése, valamint a természetben gyorsan lebomló és a bomlástermékekkel a környezetet nem terhelő új anyagok kidolgozása.

Ilyen például a politejsav, ami néhány hét alatt elbomlik és a keletkező tejsav a környezet számára „barátságos” anyag. Kifejlesztettek olyan ún. bioszenzort, ami színváltozással jelzi az élelmiszer romlása során keletkező valamely vegyület jelenlétét. Ezt a csomagolásban elhelyezve a vevő tájékoztatást kap a termék frissességéről.

- A kémiai kutatás célja továbbá az élelmiszerek minőségének javítása és a fogyasztók számára vonzóbbá tétele. Ebbe beletartozik az élelmiszer-adalékanyagok használata az íz, a szín, a textúra és az eltarthatóság javítására, valamint a tápanyagok dúsítása a vitaminok és ásványi anyagok hozzáadásával. A kémiai kutatások új élelmiszer-adalékanyagokat és ízesítőszeret fejlesztenek ki, amelyek javítják az élelmiszerek ízét, állagát és eltarthatóságát anélkül, hogy káros hatással lennének az egészségre. A mondat második fele nagyon fontos: divatos közhiedelem, hogy az „E-adalékanyagok” káros hatásúak! Ezek az anyagok igazoltan nem jelentenek az egészséges fogyasztó számára kockázatot. (Allergiás fogyasztónál válhatnak ki reakciót!) Mennyiségük az élelmiszer egy adagjában szigorúan korlátozott, ami a fogyasztás biztonságát növeli. Ezen adalékok mindegyike a fogyasztói igények kiszolgálásának érdekében kerül az élelmiszerekbe.
- Funkcionális élelmiszerek (smart food) fejlesztése, melynek célja igazoltan egészségvédő hatással bíró, hagyományos ízű és állagú élelmiszerek kifejlesztése. A smart food-ok számos funkcionális összetevőt tartalmazhatnak, mint például vitaminokat, ásványi anyagokat, antioxidánsokat, probiotikumokat és omegaszárműveket. Ezek az összetevők számos egészségügyi előnnyel járhatnak, mint például a szív- és érrendszeri betegségek, a rák és a cukorbetegség kockázatának csökkentése, az immunrendszer erősítése és a kognitív funkciók javítása. A legismertebb funkcionális élelmiszer a jódozott só. A kémia fontos szerepet játszik a funkcionális összetevők kutatásában és fejlesztésében. A kémikusok azonosítják és izolálják ezeket az összetevőket a természetes forrásokból, majd – szükség esetén – módosítják őket a kívánt tulajdonságok javítása érdekében. A kémiai kutatások új funkcionális összetevőket is kifejlesztenek, amelyeknek jobb a biohasznosíthatósága és a hatékonysága.

A vegyipar „újratervezése” – a zöld kémia

A vegyipar fontosságát már említettük, de be kell vallani, hogy a környezetszennyezés egyik jelentős forrásaként tartjuk számon. A modern kémiai kutatások egyik legfontosabb iránya ennek a környezetterhelésnek a csökkentése. A zöld kémia céljait összefoglaló 12 alapelvet Anastas és Warner foglalták össze “Zöld kémia: elmélet és gyakorlat” című könyvükben (Anastas, Warner, 1998). Ezek:

- Jobb megelőzni a hulladék keletkezését, mint keletkezése után kezelni.
- Szintézisek tervezésénél törekedni kell a kiindulási anyagok maximális felhasználására (nagyobb atomhatékonyságra).
- Lehetőség szerint már a szintézisek tervezésénél olyan reakciókat célszerű választani, melyekben az alkalmazott és a keletkező anyagok nem mérgező hatásúak és a természetes környezetre nem ártalmasak.
- A kémiai termékek tervezésénél törekedni kell arra, hogy a termékekkel szembeni elvárások teljesítése mellett mérgező hatásuk minél kisebb mértékű legyen.
- A segédanyagok használatát minimalizálni kell, s amennyiben szükségesek, ezek „zöldek” legyenek.
- Az energiafelhasználás csökkentésére kell törekedni.
- Megújuló nyersanyagokból válasszunk vegyipari alapanyagokat.
- A felesleges származékkészítést kerülni kell.
- Reagens helyett szelektív katalizátorok alkalmazását kell előtérbe helyezni.
- A kémiai termékeket úgy kell megtervezni, hogy használatuk végeztével ne maradjanak a környezetben, és bomlásuk környezetre ártalmatlan termékek képződéséhez vezessen.
- Új és érzékeny analitikai módszereket kell használni a vegyipari folyamatok in situ ellenőrzésére, hogy a veszélyes anyagok keletkezését idejében észleljük.
- A vegyipari folyamatokban olyan anyagokat kell használni, amelyek csökkentik a vegyipari balesetek valószínűségét.

Szinte minden reakcióban használnak olyan segédanyagokat, amelyek elősegítetik a kémiai reakció lejátszódását vagy a termékek elválasztását, de nem lesznek részei a termékeknek. Ilyenek például az oldószerek, amelyeknek lehetnek emberre és környezetre ártalmas tulajdonságaik. Gyakran használt oldószerek a klórozott szénhidrogének (diklór-metán, kloroform, tetraklór-etilén, szén-tetraklorid), aromás vegyületek, amelyek többsége rákkeltő. Probléma az is, hogy egy új, látszólag egészségre és környezetre ártalmatlan segédanyag esetleges negatív tulajdonsága csak hosszabb idő múlva jelentkezik. Így történt ez a tisztítószerként, hűtőfolyadékként és aeroszolok hajtógázaként nagy mennyiségben használt freonok esetében is, amelyek toxicitása általában kicsi, nem gyúlékonyak és nem robbanékonyak. Jóval elterjedésük után derült ki ózonbontó hatásuk. Az oldószerekkel kapcsolatos egy másik probléma, hogy a reakció végén el kell választani a terméktől. Ez történhet desztillációval vagy kristályosítással, melyek energiaigényes műveletek. Az elválasztást követően az oldószert általában vagy meg kell semmisíteni, vagy tovább kell tisztítani, hogy újra felhasználható legyen. Ezért a legjobb megoldás, ha nem használunk oldószert, vagy olyan oldószert alkalmazunk, amely könnyen elválasztható a terméktől. Ezek lehetnek szuperkritikus oldószerek, víz, fluoros oldószerek és ionos folyadékok. Az ionos folyadékok olyan ionpárokból álló

vegyületek, melyek szobahőmérsékleten folyékonyak. Magas forráspontjuk lehetővé teszi az alacsony forráspontú, velük elegyedő kiindulási anyagok és termékek desztillációval történő elválasztását.

A fenntartható civilizáció fontos technológiai kihívása a lokális és globális környezetszennyezés csökkentése és a kimerülő szén-alapú alapanyagok (kőolaj, földgáz, kőszén) kiváltása az energiatermelésben és a vegyiparban. A zöld kémia ezen célok eléréséhez ad irányelveket és segít a hosszútávon alkalmazható (azaz fenntartható) molekulák és eljárások tervezésében. A zöld kémia néhány napjainkban fontos kihívása (Anastas, Kirchoff, szerint):

- A víz hatékony bontása látható fénnel.
- Olyan oldószer-rendszerek tervezése, amelyek a hő- és az anyagátadás mellett katalizátorként is működnek, és lehetővé teszik a termékek könnyű elválasztását
- Molekuláris építőköcska-rendszer tervezése atomhatékony és környezetbarát szintézisekhez.
- Olyan adalékmentes műanyagok kifejlesztése, amelyek használat utáni természetes bomlása környezetre ártalmatlan anyagok képződéséhez vezet.
- Újra felhasználható anyagok tervezése.
- Nem-éghető és nem-anyagintezív energiaforrások alkalmazása.
- Szén-dioxid alapú kémiai termékek kifejlesztése.
- Olyan új felületek és anyagok kifejlesztése, amelyek sokáig használhatók, és nem kívánnak felületi védőanyagokat és/vagy felületi tisztítást.

A jövő anyagai

Az anyagtudomány a kémia egyik legdinamikusabban fejlődő területe, mellyel szembeni legfontosabb elvárások a különleges tulajdonságú anyagok fejlesztése és a zöld és fenntartható gyártástechnológia. Több toplista található napjaink legígéretesebb új anyagairól, ezekből szemezgetünk:

1. **Grafén** a rétegrácsos szerkezetű grafit egyetlen rétegét jelenti, mely síkban minden szénatom három másikkal hoz létre kovalenskötetést (így hatszögös szerkezet jön létre), a negyedik elektron pedig delokalizálódik. A grafén különleges tulajdonságai:
 - A valaha felfedezett legerősebb anyag, a szilárdsága 200-szorosa az acélnak. Ez a tulajdonsága ideális kompozit anyagok, építőanyagok és repülőgépek alkatrészeinek fejlesztéséhez.
 - Rugalmas, akár 20%-kal is nyújtható anélkül, hogy eltörne. Ez a tulajdonsága ideális hajlékony elektronikai eszközök és érzékelők fejlesztéséhez.
 - Kiváló elektromos vezetőképességgel rendelkezik, jobb, mint a réz. Ez a tulajdonsága ideális akkumulátorok, napelemek és tranzisztorok fejlesztéséhez.

- A fény 97%-át átereszt. Ez a tulajdonsága ideális érintőképernyők, napenergia-gyűjtők és optikai érzékelők fejlesztéséhez.
- Sűrűsége kisebb a vízénél. Ez a tulajdonsága ideális repülőgépek, elektronikai eszközök és sportfelszerelések fejlesztéséhez.

Fenti tulajdonságai alapján kiváló kompozit anyagok alkotójaként, amelyek könnyebbek, erősebbek és tartósabbak, mint a hagyományos anyagok. Ez a technológia forradalmasíthatja az építőipart, a repülőgépipart és az autópárt. A grafén biokompatibilis, ami azt jelenti, hogy nem okoz immunválaszt a szervezetben. Ez a tulajdonsága ideális például implantátumok fejlesztéséhez.

2. Aerogél: „Olyan gél, amelyben mikropórusos, szilárd anyag a diszpergáló közeg, a szétszlatott anyag pedig gáz.” (IUPAC)

- A valaha felfedezett legkönnyebb szilárd anyagok közé tartoznak, sűrűségük akár $0,003 \text{ g/cm}^3$ is lehet.
- Kiváló hőszigetelő anyagok. E két tulajdonságuk alapján ideálisak repülőgépek és űrhajók hőszigeteléséhez.
- Rendkívül nagy felületük van, ami akár $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ is lehet. Ez a tulajdonság ideális katalizátorok, gázzűrők és érzékelők fejlesztéséhez.
- Meglepően szilárdak, ellenállnak a nyomásnak és a hajlításnak. Ez a tulajdonság ideális kompozit anyagok, építőanyagok és csomagolóanyagok fejlesztéséhez.
- Áttetszők, fényvisszaverők vagy fényelnyelők lehetnek, a szilárd váz összetételétől függően. Ez a tulajdonság ideális optikai lencsék, tükrök és szűrők fejlesztéséhez.
- Szintén biokompatibilisek, kiváló implantátumok, illetve gyógyszeradagoló anyagok.

3. Fémüvegek (amorf ötvözetek): A fémüvegek olyan fémötvözetek, amelyeket gyors lehűtéssel állítanak elő, így megakadályozzák a kristályosodást és amorf szerkezetet hoznak létre. Ez a sajátos szerkezet számos egyedi tulajdonsággal ruházza fel őket, amelyek megkülönböztetik őket a hagyományos kristályos fémektől.

- Az amorf alkatrészek anyagainak tulajdonságai a tér minden irányában azonosak (izotrópák). Ez számos előnnyel jár az additív gyártás során, mivel az építőtér fogat optimálisan kihasználható, és az alkatrész tájolása is kedvezően megoldható.
- Az amorf fémek nagyon kemények, így kevésbé kopnak, amiben a kerámiákhoz hasonlítanak. Ez a tulajdonság különösen fontos az erős igénybevételnek kitett alkatrészek esetében, például a szerszám- és formakészítésben vagy az életmódhoz kapcsolódó termékek területén, mint például a kiváló minőségű óráknál.

- Az amorf fémek magas folyáshatárral és közel 2%-os rugalmas nyúlással rendelkeznek. Ez számos előnyt jelent az implantátumok, érzékelők vagy szilárdtest-csuklók gyártása során, mivel a rugózás jelentősen javul.
- A 3D nyomtatással előállított amorf alkatrészek biológiailag kompatibilisek, ezért kifejezetten jól használhatók számos orvostechonikai alkalmazásban. Az amorf implantátumok a tulajdonságaik alapján egyénileg hozzáigazíthatók a beteg testfelépítéséhez.

4. Intelligens anyagok: Az intelligens anyagok olyan anyagok, amelyek képesek érzékelni a környezetük változásait, és ennek megfelelően reagálni vagy alkalmazkodni. Ezt a képességet különböző fizikai és kémiai tulajdonságaik kombinációja adja nekik, amelyek lehetővé teszik számukra, hogy ingereket fogadjanak, feldolgozzanak és válaszokat generáljanak. Egyes intelligens anyagok képesek tanulni a tapasztalataikból és alkalmazkodni a változó környezethez. Ez lehetővé teszi számukra, hogy idővel javítsák teljesítményüket és hatékonyabban reagáljanak a kihívásokra. Az intelligens anyagok lehetséges felhasználási területei:

- Öngyógyító szerkezetek: felhasználhatók olyan szerkezetek kifejlesztésére, amelyek képesek maguktól megjavítani a sérüléseket. Ez forradalmasíthatja az építőipart és a járműipart.
- Viselhető elektronika: felhasználhatók viselhető elektronikai eszközök, például okosruhák kifejlesztésére, amelyek képesek érzékelni a viselő testének és környezetének változásait.
- Orvosi implantátumok: felhasználhatók olyan orvosi implantátumok kifejlesztésére, amelyek képesek alkalmazkodni a test igényeihez, javítva a betegek gyógyulási idejét és komfortérzetét.
- Építőipar: felhasználhatók olyan épületek kifejlesztésére, amelyek képesek alkalmazkodni a környezeti feltételekhez, javítva az energiahatékonyságot és a lakók komfortérzetét.
- Önirányító gépek: felhasználhatók önirányító gépek és robotok kifejlesztésére, amelyek képesek érzékelni a környezetüket és önállóan döntéseket hozni.

A kutatás és az eredmények mindennapi életben való megjelenése egyre gyorsuló folyamat, melynek célja egyéni szinten az emberek jobb, komfortosabb, egészségesebb élete, társadalmi szinten a fenntartható gazdaság megvalósítása, amiben a kémiának nélkülözhetetlen a szerepe.