

Oláh György munkássága a Nobel-díj utáni években

MOLNÁR Árpád*

Szegedi Tudományegyetem: Szerves Kémiai Tanszék, Dóm tér 8, 6720 Szeged, Magyarország

1. Bevezetés

Oláh professzor mindkét önéletrajzi könyvében szerepel egy fejezet a következő címmel: „A Nobel-díjat követő évek”.¹ Az újabb kiadás vonatkozó fejezetének bevezetőjében a következőket írja: „Én...szilárdan elhatároztam, hogy a díj nem fog jelentős befolyást gyakorolni az életemre, és különösen nem kutatómunkámra. Most, két évtizeddel később, visszatekintve ezekre a Nobel-díj utáni esztendőkre úgy érzem, hogy nagyrészt elértem célkitűzésemet. Ezek az évek kutatásomban nagyon eredményes és több más módon is hasznos évek voltak. ...nemcsak, hogy folytatni tudtam kutatásaimat, hanem új, nagy gyakorlati jelentőségű területekre tudtam kiterjeszteni.” Jelen közleményben munkásságának utolsó két évtizedéből szeretnék felvillantani néhány olyan momentumot, amelyekkel jelentősen árnyalhatjuk a róla és tevékenységéről kialakult képet. Ezek mellett néhány olyan, nem közvetlenül a fenti időszakra vonatkozó információról is említést teszek, amelyek megmutatják munkásságának tágabb összefüggéseit és inspiráló hatását, és így számot tarthatnak az olvasók érdeklődésére.

2. A könyvek

Újra csak az önéletrajzokhoz fordulok egy idézetért: „...az évek során azt a gyakorlatot követtem, hogy amikor úgy éreztem, hogy kutatásaim egy meghatározott területen lényegében elérték céljukat és elérkezett az ideje, hogy a hangsúlyt máshova helyezzem, erről a területről írtam (vagy sajtó alá rendeztem) egy könyvet vagy egy átfogó ismertetést.”

Ezt a gyakorlatot megtartotta a Nobel-díjat követő években is. Ennek eredményként született az *Onium Ions* című munka 1998-ban,² amelyben az összes fontos (N, O, S, Te, P, As, halogén) óniumion, valamint ónium dikationok szintézisét, tulajdonságait és alkalmazását tárgyalták. A munkatársaival együtt szerkesztett *Carbocation Chemistry* (2004) gyakorlati fontosságú információkat ad a karbokationok szintézisére, képződésük mechanizmusára és spektroszkópiai vizsgálatukra vonatkozóan.³ A *Superacids* című alapmű (1985) újabb, jelentősen bővült terjedelmű, mintegy 25 év gazdag eredményeit tárgyaló új kiadása megváltozott címmel (*Superacid Chemistry*) 2009-ben jelent meg.⁴ Egy talán kevésbé ismert terület, a hiperszénkémia és a rokon bórvegyületek területén született első monográfiát követően (*Hypercarbon Chemistry*, 1987) az újabb eredményekről is készült új kiadás 2011-ben.⁵ Az Oláh professzor által kidolgozott szuperelektrofil koncepcióról és ennek

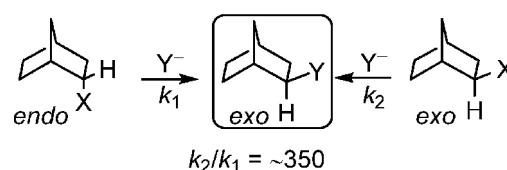
kémiájáról is napvilágot látott egy összefoglaló munka.⁶ Az 1995-ben publikált *Hydrocarbon Chemistry*-t követte a 2. kiadás 2003-ban⁷ és még szerencsém volt együtt dolgozni vele az elmúlt két évben az újabb, bővített kiadáson, amelynek ez év őszére várható megjelenését, sajnos, már nem érthette meg.⁸

Külön kell említenem a később tárgyalandó metanol-gazdaság koncepciót. A vonatkozó könyv már két kiadást ért meg,⁹ de megjelent magyar (2007), japán (2010), kínai (2010), svéd (2007) és orosz (2007) nyelven is.

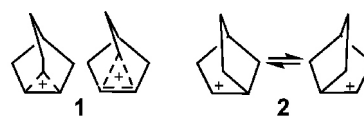
3. A „nem klasszikus ion”-vita és lezárása

Az 1960-as évektől kezdve hosszú időn át folyt a „nem klasszikus ion”-vita néven ismert polémia a 2-norbornil-kation (biciklo[2.2.1]heptil kation, $C_7H_{11}^+$) szerkezetéről. Ez a vita még jóval a Nobel-díj elnyerése előtt történt, tehát szorosán véve nem tartozik a közlemény címében jelzett időszakhoz. Ugyanakkor egy közelmúltbeli fontos, a vitát véglegesen eldöntő eredmény szükségessé teszi e témakör rövid tárgyalását is.

A vita lényegében Winstein és Trifan kezdeti megfigyeléseitől indult. 1949 és 1952 között tanulmányozták a 2-norbornil-brozilátok szolvólízisét és azt találták, hogy az *endo*-izomer kizárólag *exo* konfigurációjú terméket adott. Ezzel szemben az *exo* izomer *exo* szubsztituált terméké alakult és ez utóbbi reakció 350-szer gyorsabban ment végbe (1. ábra).



1. Ábra. Izomer 2-norbornil-származékok szolvólízise.



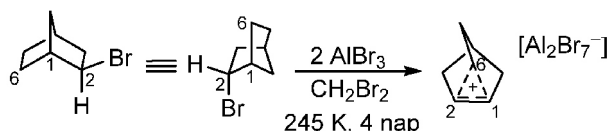
2. Ábra. A 2-norbornil-kation. 1: nem klasszikus, σ -delokalizált ion (két ábrázolási lehetőség); 2: klasszikus, ekvibráló ionok.

Magyarázatul egy σ -delokalizált, áthidalt, szimmetrikus hídstruktúrájú, két-elektronos-három-centrumú (2e-3c) norbornil-kation köztiterméket tételeztek fel, amely az *exo*-prekursor esetén anchimerikus részvétel révén segíti a folyamatot¹⁰ (2. ábra, 1).

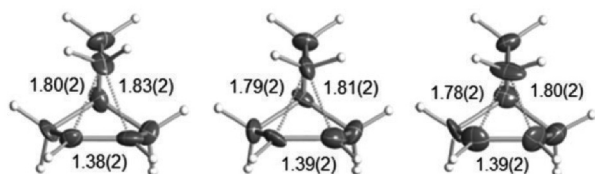
* e-mail: amolnar@chem.u-szeged.hu

H.C. Brown, aki 1979-ban kapott Nobel-díjat a hidrobórlás területén elért eredményeiért, ezzel szemben más álláspontot képviselt. Szerinte nem szükséges feltételezni a nem klasszikus ion részvételét, mert az izomerek átalakulásában megfigyelt jelentős különbségek jól értelmezhetők az *endo*-izomer ionizációjának gátlásával, vagyis szterikus tényezőkkel.¹¹ Ezek szerint nem az *exo*-vegyület reagál gyorsabban, hanem az *endo*-izomer reakciója lassabb, vagyis az ion szerkezetét szabályos (klasszikus) háromvegyértékű ionok gyors egyensúlya fejezi ki [2. ábra, 2; ezt „ablaktörő” („windshield wiper”) átrendeződésnek nevezte]. A Brown–Winstein vita az utóbbi váratlanul korai halálával Brown–Oláh, sokszor személyeskedésbe is hajló polémiává alakult. A vita tényleges lezárására az 1983. évi American Chemical Society szimpóziumon került sor. Oláh a műszeres eljárásokkal nyert kísérleti bizonyítékokat [¹H és ¹³C NMR, szilárd fázisú ¹³C NMR (5 K), ESCA] annyira meggyőzőnek tartotta,¹² hogy előadását így fejezte be: „Ezt a tárgykört illetően nincs szándékomban semmilyen további kutatást folytatni. Már nincs miről vitatkozni...” Ezt követően többé már valóban nem foglalkozott a 2-norbornil-kationnal.

2013-ban egy közleményben Krossing, Meyer, Schleyer és munkatársaik leírták a norbornil-kation egy alumínium-bromid sójának a szintézisét (3. ábra).¹³ Három kristallitot sikerült izolálniuk és elkészítették ezek XRD-felvételét 40 K-en. A 4. ábrán bemutatott topológiák szerint a C₆–C₁ és C₆–C₂ kötések gyakorlatilag azonos hosszúságúak és a rövidebb C₂–C₁ kötés világosan jelzi ennek részleges kettős kötés jellegét. Ezek az adatok egyértelműen alátámasztják az ion szimmetrikus szerkezetét, vagyis a 2-norbornil-kation valóban nem-klasszikus ion.



3. Ábra. A 2-norbornil-kation alumínium-bromid sójának szintézise.

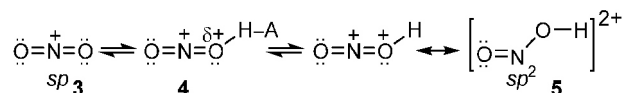


4. Ábra. A 2-norbornil-kation kristálytanilag független három kristályminta elektron-sűrűségi maximumainak topológiája (a számadatok Å-ben értendőek). Copyright: The American Association for the Advancement of Science, 2017.

4. Szuperelektrofilek és az „Oláh-enzim”

Oláh a szupersavas karbokationos és óniomos rendszerekkel folytatott korábbi kutatásain alapulva kidolgozta a szuperelektrofil koncepciót.⁶ A téma jelentőségének

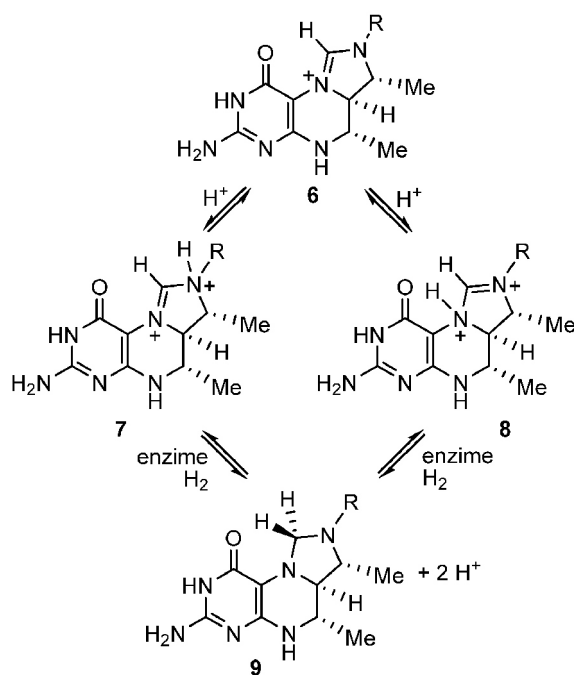
bemutatására jó példaként szolgálhat a nitrónium-kation (5. ábra, 3). A lineáris szerkezetű kation nem rendelkezik üres molekulapályával és ennek következtében gyenge elektrofil. Emiatt olyan gyenge nukleofilokkal, mint a metán vagy dezaktivált arének (*meta*-dinitrobenzol, pentafluorbenzol), nem képes reagálni. Ezzel szemben a reakcióelegy savasságának növelésével a képződő protoszolvatált ion (4) és a hajlított szerkezetű szuperelektrofil protonitrónium dikation (5) rehibridizált *sp*² nitrogénjével már reakcióképes.



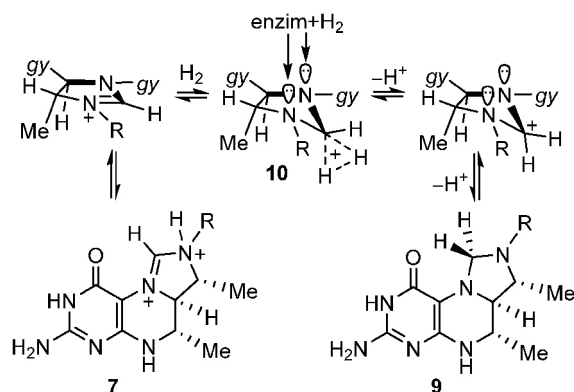
5. Ábra. A nitrónium-kation protonálása.

E témakörrel kapcsolatban érdemes megemlíteni az úgynevezett „Oláh-enzim” kérdését is.

1995-ben Berkessel és Thauer javasolt egy érdekes mechanizmus-értelmezést a *Hmd* enzim hatásának értelmezésére szuperelektrofil aktiválást feltételezve [*Hmd*: hidrogénképző metilén-tetrahidrometanopterin dehidrogenáz enzim].¹⁴ Eszerint az enzim aktív helyén lévő 6 karbokation protonálódik akár az *N*⁵ akár az *N*¹⁰ nitrogéneken a 7 és 8 karbodikationokat képezve (6. ábra). A dikationképződés konformációváltozással jár együtt (7. ábra). Az így kialakult torzult öttagú gyűrűben a két nitrogénatom nemközös elektronpályája antiperiplanáris elrendezésbe kerül. Mindezek lehetőséget adnak arra, hogy az enzim a 10 pentakoordinált átmeneti állapotban keresztül katalizálja a hidrid-átvitelt a hidrogénmolekulából a 7 és 8 dikationra, létrehozva a 9 redukált terméket.¹⁵



6. Ábra. Szuperelektrofil aktiválás.

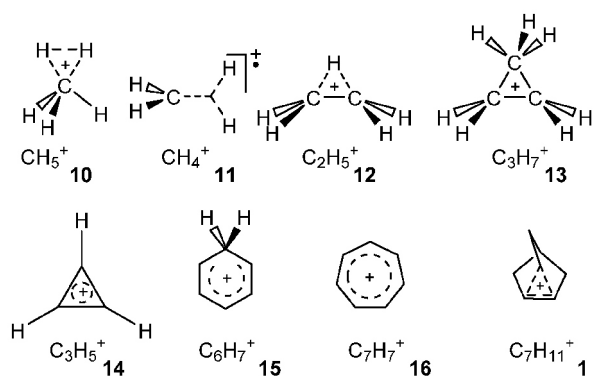


7. Ábra. A szuperelektrofil aktiválás értelmezése az N^{10} -protonált 7 dikation példáján (gy: a gyűrűrendszer többi része).

5. „Égi jelek”

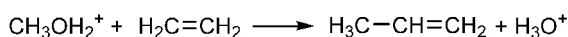
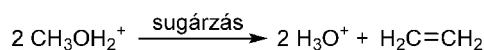
Az elmúlt években meglepő, jelentősen új információkhoz jutottunk a Titán, a Szaturnusz egyik holdjának atmoszférájáról. A NASA 1997-ben bocsátotta fel a Cassini–Huygens űrszondaparózt. A komoly teljesítményű, moder műszerekkel felszerelt Huygens leszállóegység [az Európai Űrügynökség (ESA) fejlesztése] 2004-ben jutott el a hold felszínére. A Cassini plazmaspektrométere és ionsemleges spektrométere valamint a Huygens műszerei (Doppler-eltolódást mérő eszköz, gázkromatográf, tömegspektrométer) segítségével a Titán felső atmoszférájában (900–1300 km) mintegy 200 bonyolult szerkezetű alifás és aromás szénhidrogént, karbokationokat, karbanionokat ($<C_{18}$), és oxigén- és nitrogéntartalmú vegyületeket sikerült azonosítani. A mérési eredményeket Ali, Puzzarini és munkatársai elemezték és értelmezték.¹⁶ Az azonosított vegyületek között nagy számban találtak Oláh munkájához kötődő karbokationokat (8. ábra) és ezek képződését a nem-klasszikus karbokation-kémia alapján tartják értelmezhetőnek. Ennek kulcsvegyülete a CH_5^+ metónium-ion (protonált metán, **10**). További érdekesebb képviselők a metán gyök-kation (**11**), az eténium-ion (protonált etén, **12**) és a sarkon-protonált ciklopropóniumion (**13**). A gyűrűs kationok közül említhetjük a legegyszerűbb Hückeloid aromás 2π rendszert (Breslow ciklopropenil-kationja, **14**), a benzéniumion (protonált benzol, **15**) és a 6π aromás tropiliumion (**16**). Végül, de nem utolsó sorban, megtalálták az 2-norbornil-kationt is (**1**). Oláh, nem kis meglepetéssel, ezt így kommentálta: „...és még a norbornil-kationt is azonosították, amely a CH_5^+ kation mellett kulcsszerepet játszott a klasszikus-nem klasszikus ion vitában és a karbóniumion kémiában.”

A fentiekben említett asztrofizikai módszerekkel a csillagközi űrben kozmikus méretű metán és metanol felhőket is megfigyeltek és ez a két molekula lehet a valószerű kiindulási anyaga a fenti szerves molekuláknak és ionoknak. Ilyen megfigyelést első alkalommal 1995-ben tettek, amikor a Tejútrendszerben találtak egy gigantikus, kozmikus méretű metanol felhőt (Sagittarius B2 felho), amelyben a számítások szerint 10^{25} tonna metanol található nagyon alacsony sűrűséggel (3000 atom/cm^3). Ugyanakkor azonban ez a szokásos molekuláris felhőkhöz képest mintegy 20–40-szer nagyobb sűrűséget jelent.



8. Ábra. Néhány, a Titán atmoszférájában talált és azonosított karbokation.

Mivel a metanol jelentősen reaktívabb, mint a metán, ezért Oláh és munkatársai egy új, szénhidrogének képződéséhez vezető lehetőséget vázoltak fel. A földi analógiáknak megfelelően, a földön kívüli (extraterresztriális) eredetű metanol átalakulása olefinekké a 9. ábra két reakcióútjának megfelelően értelmezhető.¹⁷



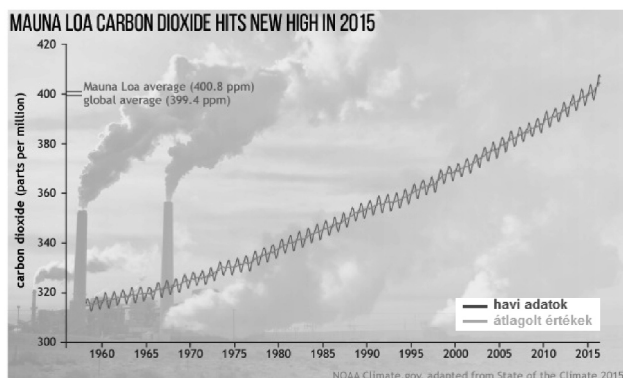
9. Ábra. A földön kívüli eredetű metanol átalakulása olefinekké.

6. A metanolgazdaság⁹

Az Oláh professzort az utolsó két évtizedben legtöbbet és folyamatosan foglalkoztató téma a csökkenő fosszilis szénkészletek illetve az antropogén (az emberi tevékenységből eredo) szénkibocsátás és ehhez kapcsolódóan az ezek lehetséges megoldásaként kidolgozott metanolgazdaságra vonatkozó koncepció foglalkoztatta. Az elképzelés kidolgozásában szorosan együttműködött Surya Prakash-sal, egykori doktoranduszával (utódja, a Loker Intézet jelenlegi igazgatója).

A fosszilis tüzelőanyagok (szén, földgáz, kőolaj) az ipari forradalommal elkezdődött nagymértékű és folyamatosan növekvő felhasználása eredményeként ezek kitermelhető mennyisége – az újabb, de egyre ritkábban felfedezett és nehezebben kitermelhető készletek ellenére – csökken. Úgy becsülhető, hogy a földgáz- és kőolajtartalmékok várhatóan csak a század végéig elegendőek, még akkor is, ha figyelembe vesszük az új feltárásokat, korszerűbb technológiákat, takarékosabb felhasználást és a nem hagyományos forrásokat, mint a nehézkőolaj, olajpala, szurokföld, metánhidrátok, széntelepek metánja stb.

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával együtt járó jelentős és ugyancsak egyre növekvő szén-dioxid-kibocsátás ugyanakkor komoly környezeti tényező, amely jelentős mértékben járul hozzá a globális klímaváltozáshoz. A 10. ábrán az elmúlt hat évtizedre vonatkozó adatok alapján látható a CO_2 -kibocsátás folyamatos növekedése. A széndioxid légköri koncentrációja 2016-ban meghaladta a 400 ppm-et.¹⁸ Vessük ezt össze az ipari forradalom előtti 270 ppm-mel!



10. Ábra. A Mauna Loa (Hawaii) csillagvizsgálónál 1955 óta mért légköri CO₂-koncentrációk.

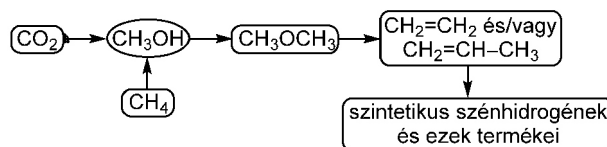
Ezeknek a problémáknak a kezelésére született a metanolgazdaság koncepció. A szerzők könyvükben⁹ alapos összefoglalást és értékelést adnak a lehetséges megújuló energiaforrásokról (víz-, szél-, nap-, biomassza-, árapály-energia és geotermikus energia), ezek előnyeiről, hátrányairól és korlátairól. Az atomenergiával kapcsolatban természetesen elemzik a biztonságot, a nukleáris hulladékok tárolásának kérdését és az egyéb kapcsolatos lehetőségeket (tenyésztő reaktorok, nukleáris fűzés), illetve az uránál sokkal nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló tórium fűtőanyagok felhasználási lehetőségeit. Következtetésük, hogy a (biztonságossá tett) atomenergia szükséges a jövőben is.

Részletesen, külön fejezetben foglalkoznak a hidrogéngazdasággal, mint a metanolgazdaság lehetséges alternatívájával. A hidrogén tárolásának és szállításának jelentős korlátai vannak, ugyanis rendkívül illékony, potenciálisan robbanásveszélyes és emiatt kezelése különleges technológiákat igényel. Ez egyrészt gazdasági szempontból komoly gátló tényező, ugyanakkor a hidrogén önmagában sok alkalmazási területen nem tudja megoldani a szénhidrogének iránti igényeket.

Ezzel szemben a metanol kényelmesen használható, folyadék halmazállapotú és előállítható a még meglévő hatalmas földgázkészletek közvetlen oxidatív átalakításával. Valójában, ha felhagynánk a földgáz energiatermelés céljából történő elégetésével, akkor készleteink sokkal hosszabb időszakig tartanának. Metanol ugyanakkor a fosszilis tüzelőanyagokat elégető hőerőművek szén-dioxidban gazdag füstgázainak, vagy végső soron a levegőből befogható CO₂ hidrogenatív konverziójával is előállítható. A szén-dioxid tulajdonképpen a metanol és a belőle előállítható termékek kimeríthetetlen forrása lehet. A szükséges hidrogént a víz elektrolízisével nyerhetjük, az energiát a biztonságossá tett atomenergia és megújuló energiaforrások szolgáltathatják. Így az illékony és veszélyes hidrogéngázt a kényelmesen és biztonságosan tárolható és szállítható folyékony metanollá alakíthatjuk.

Összefoglalva tehát, a metanol megújítható szénforrás, tüzelőanyag és energiátároló. Emellett alapvető kemikáliák kiindulási anyaga is. Gondoljunk csak arra, hogy a petrokémiai ipar már ma is működtet olyan, metanollal kiinduló eljárásokat, amelyekkel egyszerű alpmolekulákat

(etilén, propilén) gyártanak. Ilyen például a metanollal olefin (MTO) technológia, amely az etilén szintézisének meghatározó eljárása és propilén előállítására is használják. Hasonló a metanollal aromások (MTA) módszer is. Az így gyártott vegyületekből aztán egyéb származtatott termékek készíthetők (11. ábra).

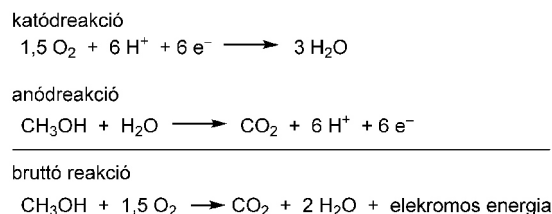


11. Ábra. Földgáz (CH₄) és CO₂, a metanol és termékei szintézisének alapanyagai.

A metanol (oktánszám >100) önmagában is kitűnő tüzelőanyag és felhasználható a belső égésű motorokban és az indításegítővel ellátott dízelmotorokban is. A közlekedésben és szállítmányozásban történő alkalmazás szempontjából fontos tényező, hogy elosztására a már meglévő infrastruktúra alkalmas.

Meg kell említenünk az üzemanyagcellákat is. Az üzemanyagcellában a kémiai energia közvetlen alakul át elektromos energiává. Hatékonysága (40%) nagyobb, mint a belsőégésű motoroké (20%), de elméletileg ez 97%-ig emelhető.

A Loker Intézet és a NASA Sugárhajtás-Laboratóriumának (Caltech-Jet Propulsion Laboratory, California, Pasadena) együttműködésében kidolgoztak egy közvetlen metanol alapú üzemanyagcellát. Ebben metanolt vagy ennek származékait alakítják energiává. A készülékben a metanol a levegő oxigénjével reagál egy megfelelő katalizátorral (ebben az esetben ez egy Pt–Ru kétfémes katalizátor) és elektromosságot termel, miközben CO₂ és H₂O képződik. A lejátszódó folyamatokat a 12. ábra mutatja. Az üzemanyagcellák hatékonyak, tiszták és biztonságosak és laptopokban, mobiltelefonokban már alkalmazást is nyertek, sőt a Yamaha és Nissan cég üzemanyagcellával hajtott motorkerékpárt és gépkocsit is gyártott.



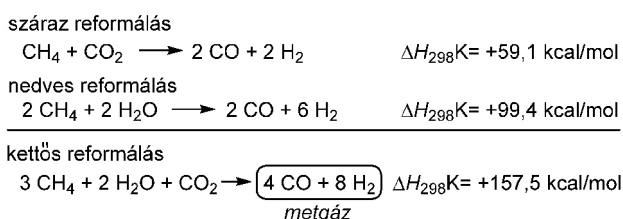
12. Ábra. A metanol alapú üzemanyagcella kémiai folyamatai.

Fontos rámutatni arra is, hogy a folyamat megfordítható. A regeneratív üzemanyagcellában a szén-dioxid és a víz metanollá és oxigénezett származékává alakítható, vagyis anélkül, hogy előbb elektrolízissel hidrogént állítanánk elő.

A metanol jelentőségét mutatja, hogy a világtermelés 2016-ban kb. 95 millió tonna volt. Ennek jelentős részét tovább alakították hasznos termékekké (formaldehid, ecetsav, dimetil-éter, MTBE), de mintegy 11%-át

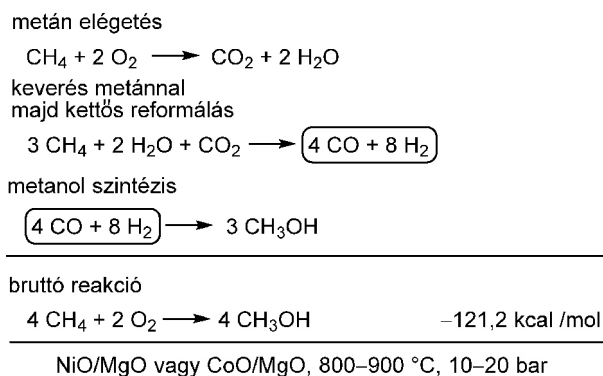
benzinadalékként használták. Kína 2016-ben a világtermelés 54%-át fogyasztotta el és óriási mértékű fejlesztésekre fogott. 140 milliárd dollár befektetésével 100, egyenként 2 millió tonna éves kapacitású metanol üzem építenek. Amikor és amennyiben a terv megvalósul, akkor Kína a világ teljes metanol szükségletét képes lesz kielégíteni.

Oláh és munkatárai kidolgoztak egy kombinált, önfenntartó, oxidatív kettős reformálásnak nevezett eljárást a metanol szintézisére.¹⁹ Ennek indítéka az volt, hogy a földgáz vízgőzzel végzett nedves vagy száraz (CO₂) reformálása, illetve oxidációja 3:1 arányú H₂+CO elegyet ad, miközben a metanol szintéziséhez 2:1 arányú elegyre (*metgáz*) van szükség. Ez elérhető a két eljárás kombinációjával, a kettős reformálással (13. ábra).



13. Ábra. Kettős reformálás.

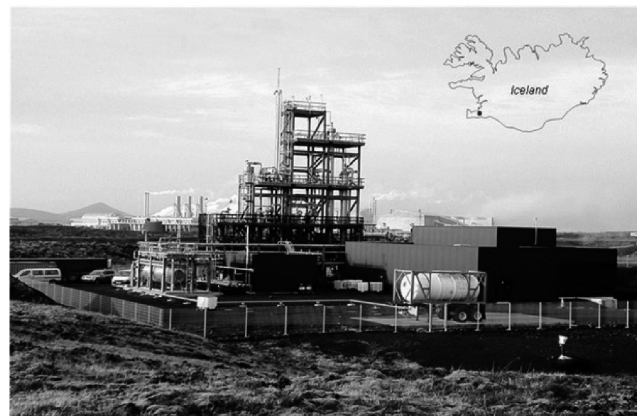
A kettős reformálás azonban erősen endoterm folyamat. Ezt kiküszöbölendő, az oxidatív kettős reformálás során a felhasznált metán negyedét elégetik és ezzel fedezik a teljes folyamat energiaszükségletét. A kettős reformálással kombinált eljárás (önfenntartó, oxidatív kettős reformálás) ugyancsak a metanol szintéziséhez megfelelő 2:1 arányú H₂+CO elegyet adja (14. ábra).



14. Ábra. Önfenntartó, oxidatív kettős reformálás.

Ezek a technológiák addig működhetnek, amíg még a metán rendelkezésünkre áll. Ezt követően a metanol a szén-dioxid közvetlen hidrogénezésével készülhet. Ezzel kapcsolatban érdemes megemlíteni egy, az Izlandon 2012 óta működő üzem (15. ábra). Ennek termelése – a nagy kapacitású metanol üzemekhez képest – ugyan jelentéktelen (évi mintegy 5000 tonna), azonban nyilvánvalóan jövőbe mutató vállalkozás. Az üzem Izland viszonylag olcsó geotermikus energiáját és az ezzel kapcsolatban felszínre jutó szén-dioxidot használja.

A metanolgazdaság elképzelés lényege tehát a szén-dioxid befogása és kémiai úton történő visszaforgatása (CCR – carbon capture and recycling) szén-semleges módon, vagyis anélkül, hogy tovább növelnénk a légkör szén-dioxid tartalmát. A kulcsszereplő a metanol, mint megújuló szénforrás, hiszen a szén-dioxid hidrogénezésével készíthető, felhasználható üzemanyagként és továbbalakítható hasznos termékekké. Az ezek elégetése és felhasználása során képződő szén-dioxid aztán újra a metanolszintézis alapanyaga lesz.



15. Ábra. A „George Olah” szén-dioxid–megújuló metanol üzem (Carbon Recycling International).

Izrael állam körmánya 2011-ben megalapított egy évente odaítélendő, 1 millió dolláros díjat az alternatív motorhajtóanyagok fejlesztése területén jelentős eredményeket elért kutatóknak („The Eric and Sheila Samson Israel Prime Minister’s Prize for innovation of alternative fuels for transportation”). A metanolgazdaság koncepció jelentőségét mutatja, hogy a díjat 2014-ben Oláh György és G.K. Surya Prakash nyerte el. Oláh professzor ezt így kommentálta: „Ez számomra azért jelent különleges örömet, mert elsősorban a Nobel-díjam után végzett munkámat méltányolja.”

7. Összefoglalás

A fenti rövid összefoglalás alapján mindannyiunk számára világos lehet, hogy Oláh professzor komolyan gondolta a Nobel-díj elnyerése utáni évekre vonatkozó elhatározását és az utóbbi évtizedekben is valóban sokoldalú, hasznos és gyakorlati szempontból is jelentős eredményeket hozó munkát tudott végezni. Ahogy tervezte: „...megtanulok a Nobel-díjjal élni, és nem pihenni a babérokon.”

Befejezésül engedtessek meg néhány személyes megjegyzés is. A Loker intézetben (több részletben) eltöltött közel 4 év folyamán közeli kapcsolatba kerültem vele, ami több volt egyszerű munkakapcsolatnál. Gyakori megbeszéléseinken tapasztaltam széleskörű, alapos tudását és rendkívüli érdeklődését. Ez nem korlátozódott csak a kémiára. Igen sokat olvasott, hiszen, ahogy írta, ez látóköre és ismeretei kiszélesítést tette lehetővé. Ismert, hogy egyetemi éve alatt filozófiai, történelmi, és jogi előadásokat is látogatott, sőt két évet sikeresen elvégzett az orvosegyetemen is.

Rendkívüli memóriával rendelkezett. 2015–2016-ban több alkalommal is eltöltöttem egy-egy hónapot az intézetben (ekkor a már fentebb említett, a szénhidrogének kémiáját összefoglaló monográfia újabb, harmadik kiadásán dolgozva). A heti csoportmegbeszéléseken történő megjegyzéseiből láttam, hogy közel 90 évesen is – miközben egészségi állapota folyamatosan romlott – pontosan emlékezett mindenre, még apró részletekre is, amit évtizedekkel korábbi kutatásai során megfigyelt és publikált.

Hivatkozások

1. Oláh, Gy. Életem és a Mágikus Kémia; Better: Budapest, 2002 és 2016.
2. Olah, G. A.; Laali, K. K.; Wang, Q.; Prakash, G. K. S. Onium Ions; Wiley-Interscience: New York, 1998.
3. Carbocation Chemistry, Olah, G. A.; Prakash, G. K. S. Eds.; John Wiley & Sons: New York, 2004.
<https://doi.org/10.1002/9780471678656>
4. Olah, G. A.; Prakash, G. K. S.; Molnár, Á.; Sommer, J. Superacid Chemistry; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2009.
<https://doi.org/10.1002/9780470421604>
5. Olah, G. A.; Prakash, G. K. S.; Wade, K.; Molnár, Á.; Williams, R. E. Hypercarbon Chemistry, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2011.
<https://doi.org/10.1002/9781118016466>
6. Olah, G. A.; Klumpp, D. A. Superelectrophiles and Their Chemistry, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2008.
<https://doi.org/10.1002/9780470185124>
7. Olah, G. A.; Molnár, Á. Hydrocarbon Chemistry, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2003.
<https://doi.org/10.1002/0471433489>
8. Olah, G. A.; Molnár, Á.; Prakash, G. K. S. Hydrocarbon Chemistry, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2017.
9. Olah, G. A.; Goepfert, A.; Prakash, G. K. S. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy; Wiley-VCH, 2009.
<https://doi.org/10.1002/9783527627806>
10. a) Winstein, S.; Trifan, D. S. J. Am. Chem. Soc. 1949, 71, 2953. <https://doi.org/10.1021/ja01176a536>
b) Howe, R.; Friedrich, E. C.; Winstein, S. J. Am. Chem. Soc. 1965, 87, 381–382.
<https://doi.org/10.1021/ja01080a043>
11. Brown, H. C. Acc. Chem. Res. 1973, 6, 377–386;
<https://doi.org/10.1021/ar50071a003> 1983, 16, 432–440;
<https://doi.org/00310.1021/ar00096a002> Tetrahedron 1976, 32, 179–204. [https://doi.org/10.1016/0040-4020\(76\)87001-9](https://doi.org/10.1016/0040-4020(76)87001-9)
12. a) Olah, G. A. Acc. Chem. Res. 1976, 9, 41–52.
<https://doi.org/10.1021/ar50098a001>
b) Olah, G. A.; Prakash, G. K. S.; Saunders, M. Acc. Chem. Res. 1983, 16, 440–448.
<https://doi.org/10.1021/ar00096a003>
13. Scholz, F.; Himmel, D.; Heinemann, F. W.; Schleyer, P. v. R.; Meyer, K.; Krossing, I. Science 2013, 341, 62–64.
<https://doi.org/10.1126/science.1238849>
14. Berkessel, A.; Thauer, R. K. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1995, 34, 2247–2250.
<https://doi.org/10.1002/anie.199522471>
15. Corr, M. J.; Murphy, J. A. Chem. Soc. Rev., 2011, 40, 2279–2292. <https://doi.org/10.1039/c0cs00150c>
16. a) Ali, A.; Sittler, E. C., Jr.; Chornay, D.; Rowe, B. R.; Puzzarini, C. Planet. Space Sci. 2013, 87, 96–105.
<https://doi.org/10.1016/j.pss.2013.07.007>
b) Ali, A.; Sittler, E. C., Jr.; Chornay, D.; Rowe, B. R.; Puzzarini, C. Planet. Space Sci. 2015, 109–110, 46–63.
<https://doi.org/10.1016/j.pss.2015.01.015>
17. a) Olah, G. A.; Mathew, T.; Prakash, G. K. S.; Rasul, G. J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 1717–1722.
<https://doi.org/10.1021/jacs.6b00343>
b) Olah, G. A.; Mathew, T.; Prakash, G. K. S.; J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 6905–6911.
<https://doi.org/10.1021/jacs.6b03136>
18. Forrás: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/>
19. a) Olah, G. A.; Goepfert, A.; Czaun, M.; Prakash, G. K. S. J. Am. Chem. Soc., 2013, 135, 648–650.
<https://doi.org/10.1021/ja311796n>
b) Olah, G. A.; Goepfert, A.; Czaun, M.; Matthew, T.; May, R. B.; Prakash, G. K. S. J. Am. Chem. Soc., 2015, 137, 8720–8729. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b02029>

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond Dr. Nagy Ferencnek, a Better Kiadó tulajdonosának az Oláh György önéletrajzi könyvéből vett idézetek és kémiai átalakulások közlésének engedélyezéséért.

George A. Olah: Research in post-Nobel years

Nobel laureate Professor George A. Olah passed away in March, 2017 leaving behind a great legacy. Being active and innovative throughout his life, he continued his successful research career in his post-Nobel years. This communication is a short summary about some of his achievements. First, a number of books are listed edited and published in this period, including *Onium Ions* (1998), *Carbocation Chemistry* (2004), *Superelectrophiles* (2008) and new editions of *Superacid Chemistry* (2009), *Hypercarbon Chemistry* (2011), and *Hydrocarbon Chemistry* (2003, 2017).

Next, the so-called nonclassical ion controversy, a long debate between Olah and Brown about the true nature of the 2-norbornyl cation ($C_7H_{11}^+$) is summarized. This is contrasted with recent findings to show the XRD structure of a salt of this cation with a highly symmetric that is nonclassical structure. This information strongly supporting Olah's interpretation appears to be the final episode of the nonclassical ion controversy.

The behavior and reactivity of the nitronium cation in strong (super)acids and the so-called "Olah-enzyme" serve as examples to show the essence of superelectrophilic concept and its related effect.

A section titled "Signs in the Sky" describes recent surprising observations by astrophysicists closely related to Olah's carbocation chemistry. Namely, the Cassini-Huygens spacecraft using onboard instruments (plasma and mass spectrometers, gas chromatograph) observed, quite surprisingly, about 200 hydrocarbon derivatives, ions and O- and N-containing derivatives in the

upper atmosphere of Titan, one of the moons of Saturn. These, among others, include protonated methane (CH_5^+), the cycloproponium ion ($C_3H_3^+$), protonated benzene (benzenium ion, $C_6H_7^+$), and quite surprisingly, even the nonclassical 2-norbornyl cation. Finally, extraterrestrial methane and methanol were also detected as highly abundant species in interstellar space.

The final section is about Olah's pioneering "methanol economy" concept arguably his most innovative idea of this period developed with Professor Surya Prakash, his former graduate student and successor as director of the Loker Institute. "Methanol economy" was inspired by his concern about our diminishing and excessive use of fossil fuel resources and related significant increases in atmospheric carbon dioxide. Briefly, it is a chemistry-based new approach to capture and recycle carbon dioxide. This gives a possibility to supplement photosynthetic recycle by nature and provides an inexhaustible source for carbon-based fuels and, at the same time, it mitigates our excessive carbon footprint. The key chemical entity in the methanol economy is methanol. It can be produced by the hydrogenation of CO_2 and may be used as the fuel of internal combustion engines. In contrast to hydrogen (the basic energy carrier in the hydrogen economy), it allows safe storage, handling, transportation and dispensing. Furthermore, methanol is also a feedstock for varied hydrocarbons (ethylene, propylene, aromatics) and derived products.

The communication concludes with a few personal remarks about the long-time collaboration of the author with Professor Olah.