

George A. Olah

A szénhidrogének jövője a 21. században*

A világ hagyományos energia- és nyersanyagforrásai egyre nehezebben képesek kielégíteni a rohamosan növekvő népesség és a modernizált társadalmak energiaigényét. Ugyanakkor a társadalom előtt álló egyik legnagyobb kihívás az, hogy egyensúlyt kell kialakítani az emberiség igényei és a környezet védelme, javítása között.

A természet rendkívüli ajándékát, a kőolajat és földgázt, ami évezredek során keletkezett, az emberiség meglehetősen gyorsan használja el. A 20. század folyamán fejlődtek ki azok a technológiák, amelyek a kőolajat és földgázt használják fel energiatermelésre, otthonaink fűtésére, autóink, repülőgépeink meghajtására, valamint nyersanyagként szolgálnak az ember által alkotott anyagok és termékek (műanyagok, festékek, gyógyszerek stb.) előállítására.

A világ fogyasztása megközelíti az 55–60 millió barrelt naponta (egy barrel megközelítőleg 160 liter, vagyis napi 10 millió tonna). A szénhidrogének szénből és hidrogénből tevődnek össze, és a felhasználás során visszafordíthatatlanul elhasználódnak. Szerencsére még jelentős tartalékaink vannak világszerte, köztük a nehézolajok, a palaolaj és az ún. kátrányhomok, valamint jelentős szénlerakódások (hidrogénben szegényebb szénvegyületek összetett keverékei), amelyek előbb-utóbb hasznosíthatók lesznek, igaz, drágábban. A múltbeli komor jóslatok, amelyek a kőolaj- és a földgáztartalékok gyors kimerülését jelezték előre, helytelennek bizonyultak. A kérdés csupán az, hogy mit értünk gyors alatt, és mekkorák valójában a tartalékaink. Ismert és bizonyított, hogy az olajtartalékok a valóságban majdnem megkettőződtek az elmúlt 30 év alatt, és ma meghaladják a billió barrelt. Ez az adat olyan lenyűgözőnek tűnik, hogy a legtöbben azt feltételezik: semmiféle olajhiány sincs a láthatáron. A világné-

* Boris János fordításának átnézéséért Molnár Árpád vegyészprofesszornak (JATE) tartozunk köszönettel. A Nobel-díjas kutató részletesebben beszél az általa javasolt eljárásról a *Magyar Kémikusok Lapja* 1999. májusi számában. — A szerk.

pesség növekedése jelenleg megközelíti a növekvő fogyasztást. Ez arra utal, hogy az egy főre eső készletekben reális gondolkodni. Ha így számolunk, nyilvánvalóvá válik, hogy ismert készleteink nem tarthatnak ki tovább fél évszázadnál. Még ha minden más tényezőt is figyelembe veszünk (új felfedezések, megtakarítások, alternatív források stb.), akkor is egyre jelentősebb problémával kell majd szembenéznünk a 21. század első felében. A kereslet és kínálat piaci erői elkerülhetetlenül elkezdik majd felhajtani az árat egy olyan szintre, amelyre ma még gondolni sem akar senki. Ha nem találunk új megoldásokat, a század második felére valódi válsággal kell majd szembesülnünk.

A fejlett ipari társadalom nyújtotta előnyök az egész emberiséget megilletik. Talán nekünk, akik iparilag fejlett világban élünk, monopóliumunk van a jobb életre? A világnépesség növekedésének problémája nemcsak azt a kérdést veti fel, hogy hogyan adjunk az emberiségnek élelmet és tetőt a feje fölé, hanem azt is, hogy hogyan biztosítsuk számára az energiát és a többi feltételt, ami az elfogadható életszínvonalhoz kell. A kőolaj az egész világon használt áru, ezért többé-kevésbé egységes az ára is. A belőle nyert termékek, a benzin és a dízelolaj fogyasztói ára azonban igen eltérő a különböző országokban, az adók különböző mértéke miatt. Európában és a többi ipari országban a benzin ára a kútnál akár 3–4-szerese is lehet annak, mint amennyiért az Egyesült Államokban adják. Az előzőek alapján világos, hogy a viszonylag olcsó olaj és gáz ígérését sehol sem lehet már sokáig fenntartani. Számomra az látszik az egyetlen ésszerű megoldásnak, hogy önként hozzákezdjünk az elkerülhetetlen jövőhöz való lágy átmenethez.

Első lépésként mindannyiunknak bátorságot és elszántságot kellene venni ahhoz, hogy a benzin és az olajtermékek árát olyan szintre emeljük, ahol annak már komoly hatása van, és ez cselekvésre sarkall. Ezzel megindulna az a lassú, de létfontosságú folyamat, melynek során megváltoztatnánk a mélyen belénk ivódott szokásokat, amelyek az örökké tartó, bőséges olajkészlet hitén alapulnak.

Ha energianyerés céljával tovább folytatjuk szénhidrogén-tartalékaink elégetését, akkor a csökkenő tartalékok és a meredeken növekvő árak a küszöbön álló 21. században oda vezetnek, hogy kénytelenek leszünk szénhidrogénkészleteinket szintetikus termékekkel kiegészíteni, majd felváltani, amelyek azonban jóval drágábbak lesznek. Egy barrel olaj ára még ma is csak mintegy 20 dollár (némi piaci ingadozással), és nincs olyan szintetikus eljárás, amely akár csak megközelíthetné ezt az árat. Ehhez pedig hozzá kell szoknunk, nem mint kormánypolitikai kérdéshez, hanem mint olyan tényhez, ami felett nincs hatalmunk.

A szintetikusolaj-termékek megvalósíthatóak és előállíthatóak, például szintézisgázból¹ (egy olyan szénmonoxid-hidrogén elegyből, amely a szén vagy a földgáz tökéletlen elégetéséből nyerhető, de szintén nem megújítható erőforrás). Használták már Németországban a II. világháború alatt és Dél-Afrikában a bojkott idején. Az előállításnak ez az útja (az ún. Fischer—Tropsch-szintézis) azonban igen energiaigényes, és aligha lehet a jövő technológiája. Új, gazdaságosabb eljárásokra van szükség. A szükséges tudományos alapok és a technológia kialakulóban vannak. Például a kőolajnál jóval bőségesebb földgáz közvetlenül is konvertálható benzin- vagy más szénhidrogéntermékké, anélkül, hogy előbb szintézisgázzá alakítanánk. A szén és a földgáz felhasználása olaj-

termékek előállítására túlmutat az olaj hozzáférhetőségén, de a jövő számára létfontosságúak lesznek a megújítható tartalékokon alapuló új megközelítések.

A szénhidrogének elégetésekor szén-dioxid (CO_2) és víz (H_2O) keletkezik. Ezért nem megújítható nyersanyagforrások. Én a jövő kihívásaként azt javaslom: fordítsuk meg a folyamatot, és állítsunk elő szén-dioxidból és vízből szénhidrogéneket. Elvben a laboratóriumban már tudjuk, hogyan kell a szén-dioxidot hidrogéngázzal (H_2) kémiai úton szénhidrogénekké alakítani. A fém- vagy igen savas katalizátorokkal (úgynevezett szupersavakkal) történő katalizis-eljárások megvalósíthatók. Korlátozó tényező, hogy a szükséges hidrogén elektrolitikus vízbontással való előállítása igen energiaigényes. Hosszú távon ezt az energiát — természetesen javított és biztonságosabbá tett — atomenergia biztosítja. Mivel azonban még ma sem tudjuk hatékonyan tárolni az elektromos energiát, fennálló erőműveink a csúcspériódusokon kívüli időkben hidrogént termelhetnének energiataralékolás céljából. Létrejöhetnének azonban a vízbontás más módszerei is, pl. enzimek felhasználása, vagy a természetes fotoszintézis utánzása, amelynél az energiaforrás a napfény, újrahasznosítva a CO_2 -ot a növényekben, a fákban, az óceáni algákban stb., hogy szénhidrogéneket és cellulózt nyerjünk, ily módon megújítva a növényi életet. A látomás, amely előttem lebeg: az ember végül a természet helyére lép, és szintetikus szénhidrogéneket állít elő szén-dioxidból és vízből. Olyan abszurd elképzelés volna ez? Én azt hiszem, nem.

Véleményem szerint lehetséges új megközelítés az ipari kibocsátásból származó szén-dioxid újrahasznosítására, szénhidrogének előállítására. Meg kell találnunk annak a módját, ahogyan a természetet utánozva a szén-dioxidot szénhidrogénekké alakíthatjuk át.

Az atmoszféra általános széndioxid-tartalma igen alacsony (0,033%), ezért gazdaságos kinyerése a levegőből nehéz. Ugyanakkor könnyedén visszanyerhető a széntartalmú üzemanyagokat égető erőművek füstkibocsátásából, a fermentációs folyamatokból, a mészko kalcinálásából, vagy más ipari folyamatokból. Meg kell találni a szén-dioxid telített szénhidrogénné vagy annak származékává való átalakításához szükséges hidrogén előállításának gazdaságos módszereit is. A tengerek vize korlátlan hidrogénforrás lehet, az elektrolitikus vízbontás nagy energiaigényéről azonban már tettem említést. Az atomkor eljövetele egy nagyszerű új energiaforrás távlatait nyitotta meg, ugyanakkor veszélyeket és biztonsági aggályokat is teremtett. Tragédia, hogy az utóbbi megfontolások gyakorlatilag holtpontra juttatták az atomenergia további fejlődését Európában és az Egyesült Államokban egyaránt. Tetszik vagy nem, hosszú távon nincs más alternatívánk, mint egyre inkább a tiszta atomenergia-forrásra támaszkodni, ugyanakkor meg kell oldanunk és minden bizonnyal meg is fogjuk oldani a biztonsági problémákat, köztük a radioaktív hulladékok eltávolításának és tárolásának problémáit.

A mainál biztonságosabb atomenergia (lehet, hogy egyszer még a fúzió felhasználására is sor kerül), valamint más alternatív energiaforrások kiaknázása rendelkezésünkre bocsáthatja a víz elektrolíziséhez szükséges elektromos energiát. Ilyen a napenergia felhasználása megfelelő helyeken, mint pl. a sivatagi területeken. A szél, a hullámok, az árapály stb. energiája potenciálisan mindegyik felhasználható. Ami a jelent illeti, meglévő erőműveink, akár fosszilis üzemanyagokat égetnek, akár atomenergiát használnak, a csúcsidezőszakokon

kívül termelhetnének energiát, ami a víz elektrolíziséhez felhasználható. Így biztosítva a szükséges hidrogént a CO₂ oxigénnel telített szénhidrogénné vagy szénhidrogén-üzemanyagokká való újrafeldolgozásához. Ez lehetővé teszi az energia tárolását, amely a szén-dioxid hasznos üzemanyaggá való újrafelhasználására fordítható.

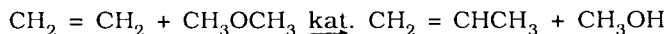
Más oldalról a nagy mennyiségű széndioxid-kibocsátás hozzájárul a bolygónkat veszélyeztető üvegház-effektushoz, amely súlyos környezeti gondot jelent. Hasznos üzemanyaggá való újrafeldolgozása nemcsak abban segítene, hogy enyhítsük a csökkenő szénhidrogénkészletek miatti gondot, hanem abban is, hogy csökkentsük ezt a súlyos környezeti veszélyt.

A metil-alkohol szén-dioxidból való közvetlen előállításának új módjában, mellyel kapcsolatban jelenleg kutatások folynak, a vizes elektrolitikus redukció szerepel a víz előzetes elektrolízise nélküli hidrogéntermelésre, az úgynevezett fordított üzemanyagcella felhasználásával. Az előzetesen kifejlesztett folyékony tápanyagú üzemanyagcellában² a metil-alkoholt megfelelő fémkatalizátor alkalmazása mellett oxigénnel vagy levegővel redukáltatjuk, miközben CO₂ és H₂O keletkezik.

Azóta már azt is kimutattuk: ez a folyamat megfordítható úgy, hogy a CO₂-ot és a H₂O-t elektrolízissel metil-alkohollá (vagy formaldehiddé, metilformináttá stb.) konvertáljuk, attól függően, mekkora az üzemanyagcellában használt cellapotenciál megfordított működés esetén. A fordított üzemanyagcella a CO₂ elektrokatalitikus redukcióját a víz konvencionális elektrokatalízisének potenciáltartományán kívül végzi el. Megfordított ciklusában az üzemanyagcella elektromossággal töltődik fel, amely vizes oldatban, fémkatalizátor alkalmazásával, a szén-dioxidból metil-alkoholt állít elő. Az üzemanyagcella tehát minden ismert akkumulátornál hatékonyabb. Az üzemanyagcella olyan alkalmazása, ahol hatékony, újratölthető eszközként funkcionál, amely szén-dioxid újrafelhasználásából származó metil-alkohollal (vagy származékaival) működik, nemcsak jó hatásfokú, tiszta energiaforrást jelent, hanem ugyanakkor segít csökkenteni a szén-dioxid, e káros meglegházi gáz légkörbeli koncentrációját.³

A szén-dioxid újrafeldolgozása metil-alkohollá vagy dimetil-éterre lehetővé teszi oxigéndús metánszármazékok előállítását is, amelyek üzemanyagként szintén nagy jelentőséggel bírnak. A metil-alkohol és a dimetil-éter mellett a dimetoximetán, a trimeroximetán, trioximetilén, dimetil-karbonát, metil-formát is szóba jöhet potenciálisan mint üzemanyag a mi közvetlen oxidálású, hatékony üzemanyagcellánkban. A szén-dioxid fordított üzemanyagcella révén történő recirkulálása hasznos üzemanyaggá azzal kecsegtet, hogy még meglévő fosszilis üzemanyag-tartalékainkat is újrahasznosíthatóvá teszi.

A CO₂ újrafeldolgozása CH₃OH-lá vagy dimetil-éterre a továbbiakban arra is használható, hogy etilént hozzunk létre:⁴



Ilyenek a bifunkciós sav–bázis katalizátorok, ill. zeolitok.

A szén-dioxidból előállított etilén (akárcsak a propilén) kézenfekvő lehetőséget ad a benzin jellegű szénhidrogének készítésére éppúgy, mint egyéb szénhidrogének és származékaik egész széles skálájának előállítására, amelyekre mindennapi életünkben támaszkodunk.

Az ismertetett kémiai eljárás a szénhidrogének előállításának új módszerét ígéri a 21. századra, miközben egy súlyos környezeti probléma enyhítésével is

kecsegtet. Földünkön az üvegházhatás a fosszilis üzemanyagok mértéktelen arányú elégetése következtében keletkező szén-dioxid miatt súlyos problémává vált.

Az 1997. decemberében Kiotóban rendezett konferencián 160 államfő egyezményt írt alá, amellyel megalapították és fel is osztották a szénjogokat. Minden országnak van egy elfogadott kvótája, amely meghatározza azt a mennyiséget, amely a rendelkezésre álló fosszilis energiaforrásokból felhasználható. Kötelezővé teszi vagy az alternatív energiaforrások és az atomenergia alkalmazását, vagy igen költséges eljárásokat a CO₂ eltávolítására. Az államoknak azonban módjukban áll egymás között cserélni és értékesíteni a szénkvótájukat. A szegényebb országok így eladhatják a rendelkezésükre álló mennyiséget a gazdagabb, iparosodott országoknak. Mi azonban mindannyian a Föld bolygó polgárai vagyunk. Bárki égeti is el a fosszilis üzemanyagot, szén-dioxidot bocsát ki a légkörbe, amely mindannyiunké. Ez a megközelítés tehát nem tekinthető valódi megoldásnak, és nem fogja szükségszerűen csökkenteni a légköri CO₂ szintet. A kibocsátott szén-dioxid újrafelhasználása ezzel szemben nemcsak új szénhidrogén üzemanyagokat termel, hanem ugyanakkor el is távolítja az ártalmas széndioxid-többletet az atmoszférából. Ha sikeres lesz ez az eljárás, igen nagy perspektivákat ígér. Nem kétséges, sok a tennivaló ahhoz, hogy előrehaladjunk. Alaptudományról van azonban szó, amely megteremti az alapot az új technológiai fejlődéshez.

JEGYZETEK:

- 1 Olah, G.A.—Molnár, Á.: Hydrocarbon Chemistry. Wiley-Interscience Publishers. New York 1995. valamint az ott található irodalom.
- 2 Olah, G.A. és mtsai: US Patent S. 559, 683 (1997)
- 3 Olah, G.A.—Prakash, G.K.S.: Ideiglenes USA szabadalmi folyamodvány, 1997. május 7.
- 4 Olah, G.A.: Acc. Chem. Res. 20, 411 (1987) és az ott található irodalom.