

# Kémiai PANORÁMA

2017. évfolyam 17. szám

ÉLET EXTRÉM KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

OLÁH GYÖRGY HAGYATÉKA

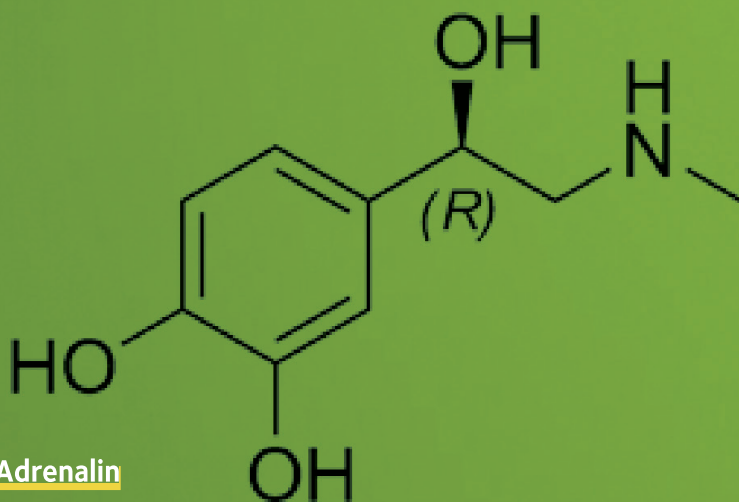
NOBEL DÍJAK 2017-BEN

3D SZERKEZETEK

A SZERVES KÉMIÁTÓL  
A STRESSZELMÉLETIG

A PERIÓDUSOS RENDSZER PROBLÉMÁI

GYÓGYÍTÓ MOLEKULÁK NÖVÉNYEKBEN



Adrenalin





**4.** Beköszöntő  
Kedves Olvasónk!

Gózon Ákos

**5-11** Túlélők  
kerestetnek!  
Élet extrém körülmények  
között

Pálinkás Gábor



**12-15** Extremofil élőlények  
Kilenc híres ellenálló

**22-23** Gyógyító molekulák  
növényekben: A lenmag  
Kószegi Lídia



**16-21** Oláh György hagyatéka  
Budapesten indult hosszú utazás

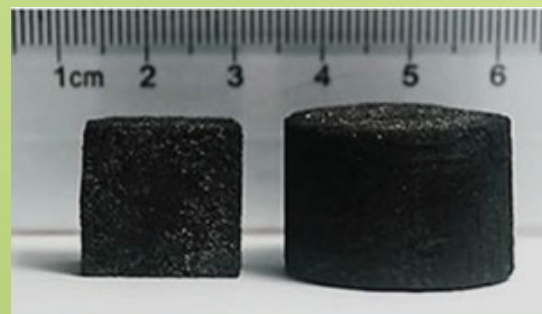
Simonyi Miklós



**25-29** Fulleren, nanocső,  
grafén

3D szerkezetek alacsony dimenziójú  
szén allotrópokból

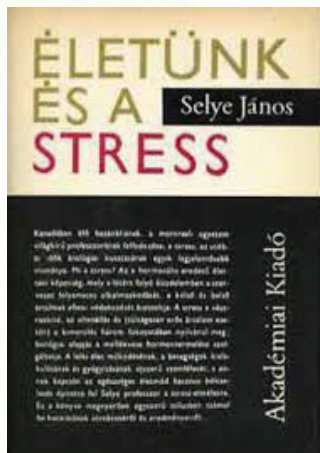
Rónainé Pfeifer Judit



**24** Elismerések és statisztikák  
Nobel díjak 2017-ben



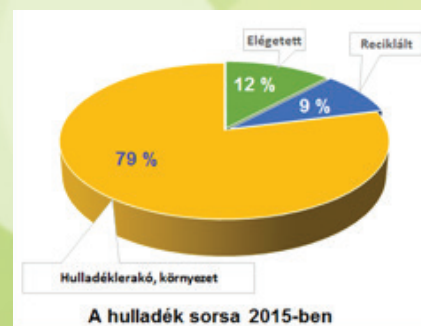
## 30-32 Selye János 100 A szerves kémiától a stresszelméletig Ménés András



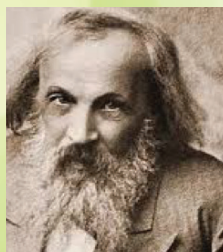
## 33 Selye contra Cannon Stressz-ellenfelek



## 37 Polimer-problémák Műanyag hulladékok környezetterhelése



## 34-36 A periódusos rendszer problémái A hidrogén és hélium elhelyezése a rendszerben Nemes László



## 38-39 Üzemanyag metanolból Oláh György kémiai válasza korunk kihívásaira

Simonyi Miklós

## Kedves Olvasóink!

**T**anulságos felmérés hívta fel a figyelmet ismét a kémiai ismeretterjesztés elengedhetetlen fontosságára. Az Európai Unió tagországai lakó állampolgárok nézeteit kutató Eurobarométer 2017 nyarán publikálta egy közvélemény-kutatás eredményeit a kémiai biztonság (*chemical safety*) átfogó kérdésköréről. Hosszú kérdéssorok segítségével a társadalomkutatók arra voltak kíváncsiak, mennyire tartják az európaiak fontosnak a vegyiparral kapcsolatos kérdésköröket a saját mindennapi életükben, milyen mértékben érzik veszélyeztetve az egészségüket, a biztonságukat a mérgező vegyszerektől, vagy gyúlékony, robbanásveszélyes anyagoktól. S általában: veszélyesnek gondolják-e a vegyi anyagok előállítását és használatát.

Az egyik kérdéssor azt tudakolta: ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy a háztartásunkba kerülő vegyi anyagok veszélyesek-e, illetve milyen mértékben, akkor kikhez fordulunk e fontos ügyben információért? Hat lehetséges feleletet kínáltak a válaszadóknak: a termékismertetőt, a médiát, a gyártó cégek általános tájékoztató kiadványait, a családok és a barátok

szájhagyomány útján terjedő ismereteit, a hivatalos hatóságokat és a nem kormányzati (civil) szervezetek felvilágosító tevékenységét. Az összeurópai eredmények azt mutatták, hogy az EU-ban lakók legtöbbje a termékismertető címkékről tájékozódik elsősorban (70%), s ezt az információforrást követi a médiából szerzett ismeret (az európai válaszadók 53%-a említette a sajtót). Magyarország azonban ez utóbbi eredmény tekintetében alaposan kilóg a sorból. A 28 tagállamból hazánkban tájékozódnak messze a legkevesebben a médiából (mindössze 36%), ami azt jelenti, hogy a sajtóra alig többen támaszkodnak információért, mint a családtagok, barátok, szomszédok szóbeli tapasztalat-átadására (32%).

Az Eurobarométer további tanulságaira következő, 18. számunkban még visszatérünk. A mostani, 17. számunk elé azonban megfogalmazhatjuk: bőven van, kell, hogy legyen terepe tehát a médiában a kémiai ismeretterjesztésnek miféleképpen.

A költő parafrázisával azt is mondhatnánk: rendezni végre vegyi dolgainkat – ez a mi munkánk, és nem is kevés...

**Gózon Ákos**



A szerkesztőség köszönetet mond az MTA Természettudományi Kutatóközpontnak, az MTA Folyóirat-pályázatának, továbbá az MTA Kémiai Osztálynak a támogatásáért.

A Kémiai Panoráma magazin az ÚMFT TÁMOP 4.2.3 KMR/1/2008-0006 pályázat keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával (3-6. számok), továbbá az MTA Kémiai Osztálya (4-6. számok) és a Servier Gyógyszerkutató Intézet (5-6. szám) támogatásával valósult meg.





# ÉLET extrém körülmények között

Az emberiséget hosszú ideje izgatja intelligens élőlények felkutatása az Univerzumban. Giordano Bruno volt az első, aki állította, hogy a csillagok lehetnek távoli napok is, melyek körül szintén keringhetnek lakott bolygók. Később Carl Friedrich Gauss a XIX. század matematikus zsenije is felvetette, hogy a Naprendszer más bolygóin is lehet élet és javasolta, hogy fényjelek küldésével kellene jelét adni a földi intelligens életnek. Gaussnak tulajdonítják azt az ötletet is, hogy a Pitagorasz tételt illusztrálva, a szibériai sztyeppeken a Marsról is látható, hatalmas derékszögű háromszög és az oldalaihoz simuló négyzetetek területére, eltérő színű növényeket kellene ültetni.

**A**jeladás ötletének megvalósulása azonban még 150 évet váratott magára. A XX. században, az űrszondák korában kiderült, hogy a Naprendszer bolygóin nem lelhetőek fel intelligens élet nyomai. 1977 szeptember 7-én, a NASA naprendszeren kívüli térbe fellőtt űrszondája, a Voyager-1 fedélzetén, egy arannyal bevont hanglemezen képeket és hangos üzenet vitt magával a naprendszeren kívüli civilizációk számára. A gyűjtemény képei és diagramjai tudásunkról, matematikai és fizikai mennyiségekről, a Naprendszeréről és bolygóiról, a DNS-ről, a human anatómiáról, zenéről és művészetről informálják a távoli civilizációkat. A negyven éve utazó űrszonda, elhaladva a Naprendszer bolygói mellett, messze elhagyta a 30-50 Nap-Föld távolság

közötti excentrikus pályán keringő Plutót. 2017 augusztusában már 139,5 Nap-Föld távolságra jutott központi csillagunktól. Megközelítőleg 40000 év múlva 1,4 fényévi távolságban fog elhaladni, a sarkcsillaghoz közeli Zsiráf csillagkép a Gliese 445 megnevezésű csillaga mellett.

A XX században a rádiózás elterjedésével a távoli intelligenciák felkutatásának eszközei a rádióhullámok lettek. A múlt század végén egész tudományág alakult ki a földön kívüli intelligencia kutatására



**Szedimentációs lerakódások a Mars felszínén**

(„Search for Extra-Terrestrial Intelligence” SETI). Csillagászok, asztrobiológusok, informatikusok fáradoznak a földönkívüliek felkutatásával és a kommunikáció kialakításával. Óriási rádióteleszkópokkal kutatják folyamatosan az égboltot modulált jelek megfigyelésére.

Bár jelenleg csak a bolygónk kering lakható övezetben, azonban a bolygópályák kialakulásának korábbi szakaszaiban más bolygó, például nagy valószínűséggel a Mars is keringhetett lakható övezetben. A Marsra küldött űrszondák kimutatták korábbi víz nyomait, szedimentációs lerakódásokat és kristályvizes ásványokat. A csillagászok már észleltek több olyan exobolygót, amelyek valószínűen a lakható övezeten belül fekszenek. Ilyenek például a Gliese 581c, vagy a Kepler-452b exobolygók is. Ebben az évben jött a híre, hogy a tőlünk egy nagyjából 40 fényévi-re lévő naprendszerben hét, a Földhöz nagyjából hasonló méretű bolygó kering a TRAPPIST-1 hideg törpecsillag körül. A

tudósok feltételezése szerint a TRAPPIST-1 rendszerben hétből három bolygó kering lakható zónában, és esély van felszínükön folyékony víz jelenlétére is.

Azt a vágyunkat, hogy hozzánk hasonló civilizációt felmutató űrlényekről hírt kapjunk az utópisztikus irodalmunk is ébren tartotta. A tudomány mai ismeretei alapján azonban kicsi annak a valószínűsége, hogy a Naprendszerhez közeli régiókban gondolkodó, civilizált lények létezzenek. Sokkal nagyobb az esélye annak, hogy előbb találunk a világűr általunk elérhető tartományában, a számos földi életforma valamelyik egyszerűbb változatára – akár a Naprendszer más bolygóján, vagy annak holdján is – mint az élő szervezetek összetett, fejlett formáira. Magán a Földön is számos olyan egyszerűbb életforma honos, melyek más bolygón is életképesek lehetnek.

A bolygónkon jelenlegi ismereteink szerint több mint 8 millió – egyes becslések szerint több, mint 10 millió – életforma





## A Cassini űrszonda felvétele az Enceladusról

**A Cassini űrszonda 2008-ban közel haladva a Szaturnusz kis holdjához az Enceladushoz, gejzirszerű kilövelléseket észlelt a hold jeges felülete alatti óceánból. A kilövellések kémiai analízise vízgőzből, szén-dioxidból, szén-monoxidból és szerves anyagokból álló gázkeveréket mutatott ki.**

(sejtmagvas eukarióta, sejtmagnélküli prokarióta és nem sejtjes szerveződésű vírus) létezhet napjainkban. Ezekből 2017 júniusában 1 683 541 volt részletesen katalogizálva. A Homo Sapiens csak egy ezek közül.

A nagyszámú földi életforma közül az evolúció során számos különleges túróképes életforma alkalmazkodott extrém környezethez. A szélsőséges környezeti paraméterekhez alkalmazkodott szervezeteket extremofileknek, az együttesen több extrém paramétert is elviselő szervezeteket poliextremofileknek nevezzük. Az ilyen extrém fajok kutatása az utóbbi három évtizedben gyorsult fel.

Extremofilek korai életformák voltak a Földön, mivel ezeknek alkalmazkodni kellett a korábbi szélsőséges fizikai vagy kémiai tulajdonságokkal bíró környezetekhez. Ilyen szélsőséges körülmény a magas vagy alacsony hőmérséklet, a nagy nyomás, a radioaktív ionizáló sugárzás, nagy szárazság, a savas vagy lúgos környezet. Az extremofilek többsége baktérium vagy ősbaktérium (archea), de előfordulnak közöttük eukarióták is. Honosak vulkanikus környezetben, a tengerek mélyén, vagy a földkéregben több kilométer mélységben, nagy sótartalmú vagy savas tavak-

ban és a sarki jégtakaróba ágyazva is.

A legtöbb baktérium vagy archea, fény hiányában nem képes életfunkciókra. Azonban léteznek speciális fajok, hidrotermális mikroorganizmusok, melyek alkalmazkodtak a fény és oxigén hiányához, a nagy nyomáshoz és magas hőmérséklethez. Ezek a mikroorganizmusok fény nélkül kemoszintézissel állítanak elő szénhidrátot. A cukor előállításához az energiát ásványokból és a környezet szénmentes kémiai vegyületeiből nyerik. Ilyen vegyületek a hidrogénszulfid, hidrogén gáz, metán, vas és az ammónia is. A kemoszintézis termékeként ezek a mikrobák további vegyületeket termelnek, melyek egy része toxikus, más része táplálékként szolgál más élőlények számára.

Naprendszerünk számos égitestének felszínét borítja vízjég. A felszínük alatt cseppfolyós víz is jelen lehet és több esetben vulkanikus aktivitásuk is megfigyelhető. Van rá esély, hogy a több tíz kilométer vastag jégpáncélok alatt az élettevékenység egyszerű formáira bukkanhatunk a jövőben.

Az élet más égitesten történő felkutatásához fontos a földi tengerek és óceánok mélyét benépesítő, a légkörtől és felszíni viszonyoktól és sugárzástól független élőszervezetek kutatása. Ilyenek az oxigén-szegény (anaerob) körülmények között metánt előállító metanogének, a szélsőséges hőmérsékleteket tűró termofilek és a kőzetek repedéseiben található u.n. endolitikus életformák.

Az archea doménbe tartozó metanogén mikroorganizmusok hibernálódás nélkül végzik életfunkcióikat. Alkalmazkodtak extrém hőmérsékletekhez, oxigén és napfény nélkül is életképesek. Életfolyamataik során a szén-dioxidot redukálják metánná. Az ilyen szervezetek szigorúan anaerobak. Az energiatermelés fő útja a metanogenezis útján zajlik, amely során hidrogént használnak energiaforrásként a szén-dioxid metánná alakításához. A metanogének rendkívül fontosak az anaerob környezetben, mivel az általuk termelt metán a felszínre aerob környezetbe jutva, természetes gázforrást képez.

A termofilek többsége széles hőmérsékleti tartományt (47-113°C) tűró anaerob

élőlény. A kriofil szervezetek fagyáspont alatt hibernálódnak, fényt nem igényelnek; kénes gázokat kibocsájtó vulkanikusan aktív területeken energiaforrásként főleg hidrogént és kéntartalmú anyagokat használnak. A hipertermofil fajok az óceánok mélyén hidrotermális kúrtók közelében honosak. Tipikus képviselőjük a Pyrolobus fumaris archea.

Az endolitikus élőlények a szárazföld mélyén, kőzetek repedéseiben találhatók. Az általuk kibírt felső hőmérsékleti határ 110°C. Az élettevékenységükhöz szükséges anyagokat a kőzetekéből oldják ki.

## AZ EXTRÉM KÖRNYEZETI KÖRÜLMÉNYEK

Extrémnek tekintünk minden olyan környezeti feltételt, mely nehezíti a Földön ismert életformák funkcióit. A környezeti paraméterek szélsőértékei extrém körülményeket hoznak létre az élőszervezetek funkcióinak ellátásához.

Az alábbi táblázat összefoglal néhány fontos környezeti paramétert és az ezek szélsőértékeinél életképes extremofil fajt.

Paraméter	Típus	Tűróképesség	Példák
Hőmérséklet	Hipertermofil	>80 C°	Pyrolobus fumaris, 113 C
	Termofil	60-80 C°	Sinechococcus lividis
	Mezofil	15-60 C°	A legtöbb szervezet
	Kriofil	<15 C°	Kriobaktérium, néhány rovar
Nyomás	Barofil, Piezofil	1300 bar	Tardigrada, rovar, mikrobák
	Sugárzás	Radiorezisztens	Deinococcus radiodurans
Vákuum	Vákuum toleráns	> 5000 Gray	Tardigrada, rovar, mikrobák
	Szárazság	Xerofil	Artemia salina, mikrobák
Sós közeg	Halofil	2-5 M NaCl	Dunaliella salina
pH	Alkalofilek	pH>9	Natrono baktérium
	Acidofilok	pH <7 pH <1	Bacillus firmus Cyanidium caldarium Ferroplasma sp
Oxigén tenzió	Anaerob	Oxigént nem tolerál	Methanococcus jannaschii
	Mikroaerofil	Kéves oxigént elvisel	Clostridium
	Aerob	Oxigént igényel	A legtöbb szervezet
Gázok		CO <sub>2</sub>	Cyanidium caldarium
Extrém kémia	Fém-toleránsok	Cu, As, Fe, Cd, Zn Zn, Co, Cd, Hg, Pb	Ferroplasma acidarmanus Ralstonia sp

Az extremofilek osztályozása

A földi élőszervezetekben megvalósuló kémiai folyamatokhoz, a biomolekulák és ionáramok precíz szabályzásához, továbbá a sérülések javításához szükség van bizonyos hőmérsékletre, pH-ra, oldott anyagokra és a legtöbb esetben vízre is. Az élőszervezetek funkcióinak ellátásához szükségük van energiára, az energiaáramlás szabályzására, redox kémiai folyamatok megvalósulására is. Az extremofil szervezet, vagy képes életfunkcióira az adott környezeti paraméterek mellett, vagy intracellulárisan védekezni képes ezekkel szemben. Az életműködést befolyásoló



legfontosabb környezeti paraméterek, a hőmérséklet, a nyomás és a környezet kémiai összetétele.

### ADAPTÁCIÓS MECHANIZMUSOK

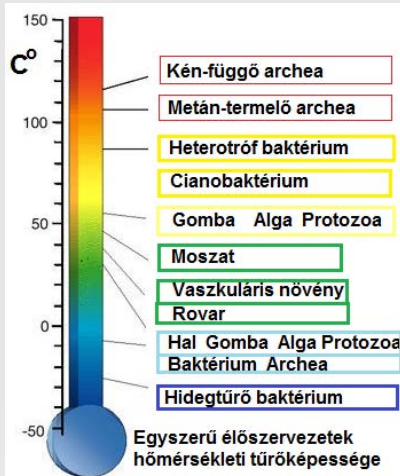
Az extrém környezetet elviselő élőlények tűrőképességének három típusát különböztethetjük meg, az élő szervezeteket jellemző három fontos tulajdonság, a táplálkozás, növekedés és szaporodás alapján. Az elsőben az élőlény táplálkozik, növekszik és szaporodik, a másodikban növekszik, táplálkozik, de szaporodásra képtelen. Végül a harmadik típus szélsőséges körülmények között élettevékenységet nem végez, hibernált állapotban van, passzív túlélés jellemzi, és ha a körülmények ismét kedvezővé válnak, ismét megindul élettevékenysége.

Egy élő szervezet számára extrém körülmények között a legegyszerűbb megoldás funkcióinak fenntartásához, ha szervezeten kívül tartja a környezetet. Az egysejtű, fotoszintézisre képes zöld algák, a Dunaliella acidophila, a Chlamydomonas acidophila a pH 0 – 1 tartományában is életképesek. A hóforrásokban (57°C) növekedő vörös alga, a Cyanidium caldarium, kénsavas környezetben pH 2 – 4 közötti tartományban képes szaporodni. Vizsgálatok kiderítették, hogy a sav-tolerancia elérése érdekében a sejtek citoplazmája közel semleges állapotban marad a külső savas környezet ellenére is. A nehézfém-toleráns baktériumok, kiáramlást biztosító pumpával rendelkeznek, hogy a cink, réz és kobalt fémeket eltávolítsák szervezetükből.

Ha a környezet kívül tartása nem lehetséges, akkor az evolúció során a szervezet védőmechanizmusokat épít ki. Módosítja a fiziológiai folyamatokat és megerősíti javítási képességeit.

### HŐMÉRSÉKLET

Az extrém hőmérséklet kihívást jelent az élőszervezetek számára. Alacsony hőmérsékleten a fagyás, magas hőmérsékleten a biomolekulák denaturálódása a veszély. A gázok oldékonysága vizes közegben a hőmérséklet függvénye. Emiatt oxigént vagy széndioxidot igénylő, vizes közegben



élő szervezetek működése, magas hőmérsékleten megnehezül. Közeledve a 100°C hőmérsékletre a fehérjék és nukleinsavak denaturálnak és növekszik a sejtmembránok áteresztőképessége. Azok a szervezetek, amelyek oxigént vagy széndioxidot igényelnek, a magas hőmérsékletet nem élik túl. Például a halak 40°C-on életképtelenné válnak.

Kevés eukarióta szervezet képes elviselni magas hőmérsékletet. Ugyanakkor képesek elviselni nagyon savas, sós, közegeket, nagy nyomást és toxikus fémek jelenlétét

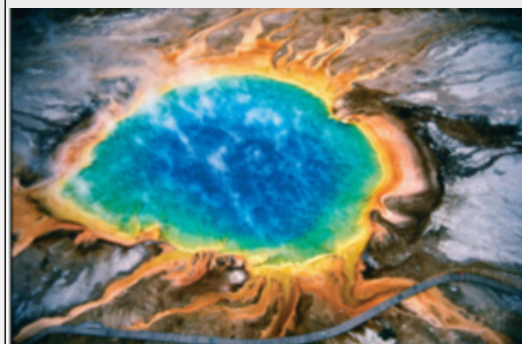
A klorofil 75°C-on bomlik, ezzel kizárva a fotoszintézis megvalósulását. 100°C felett a fehérjék denaturálnak. A membránok áteresztőképessége megnövekszik, a sejtek elvesztik felügyeletüket a molekula transzport felett. 250°C felett elbomlik az élet számára fontos összes molekula. A legtöbb eukarióta hőmérsékleti limitje 60°C, de ezt a hőmérséklet elviseli néhány protozoa, alga és gomba is.

### MAGAS HŐMÉRSÉKLET

A termofilek a magas hőmérsékletű környezetet kedvelik. Többségük 50-70°C hőmérsékleti tartományban optimálisan növekszik, míg 20°C alatt életképtelenek. Termofilek a lila és zöld cianobacilusok, a thiobacilus, a thermococcus archea is. A termofilek életterei a hőforrások, a mélytengerek és az óceánok hidrotermális kúrtóinak környezete.

Különösen magas hőmérsékleten, 80°C felett is léteznek élőszervezetek, ezek a hipertermofil élőlények. Az eddig ismert leghőtoleránsabb a „Strain 121” megnevezésű hipertermofil egysejtű archea szerve-

zet. Laboratóriumi autoklávban 24 órát 120°C hőmérsékleten tartva, majd ismét szobahőmérsékletre hűtve, megduplázza populációját. Magas hőmérsékletet (110°C) toleráló szervezet a Pyrolobus fumarii archea is. Hipertermofil a Csendes-óceán keleti részén található hidrotermális kéményeinek külső oldalán élő állatfaj a pompeji-féreg (Alvinella pompejana) és az olasz Vulcano-szigetről ismert Pyrococcus furiosus, amely 100°C-t is átvészelt. Az élet felső hőmérsékleti határa valószínűleg 120°C-nál magasabban van. Vannak bizonyos adatok arra, hogy a hidrotermális kúrtók 200°C hőmérsékletet is meghaladó környezetében is léteznek DNS és RNS molekulákkal rendelkező mikroorganizmusok.



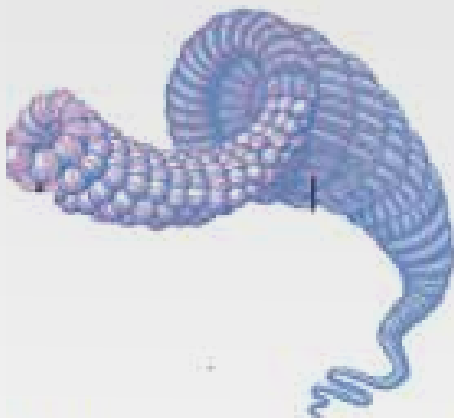
Hőforrás Yellowstone Nemzeti Parkban

A magas hőmérséklet növeli a membránok áteresztőképességét. Magas hőmérsékleten a sejtek úgy tudják fenntartani a membránjaik optimális működését, meggátolni membránjaik áteresztőképességének növekedését, hogy módosítják azok szerkezetét, a membránok lipidjeinek telítetlen zsírsavait telítettekkel cserélik.

A hőmérséklet hatással van a fehérjék szerkezetére és funkcióira is. Az evolúció során a sejtek úgy alkalmazkodtak a magas hőmérsékletre, hogy magasabb rendű oligopeptideket hoztak létre, csökkentve a fehérjék flexibilitását, rövidítve a másodlagos szerkezeti elemeket összekötő hurkokat.

A DNS molekulák 70°C felett általában denaturálnak. A magas hőmérsékleten tűrő élőszervezetekben megnövekszik a KCl és MgCl<sub>2</sub> fém sók koncentrációja, kat-

ionjaik leárnyékolják a foszfátsoportok negatív töltéseit, megakadályozva a DNS molekula hidrolízisét. A magas hőmérsékletet, a nyomás és a sókoncentráció is kompenzálja. A sótartalom megnövekedése megnöveli a DNS molekuláinak stabilitását. Az összes hipertermofil szervezet rendelkezik olyan enzimmal, mely többszörösen megcsavarja a kettős DNS hélixet, ezzel megnövelve a molekula termális stabilitását.



**Többszörösen csavart DNS**

## ALACSONY HŐMÉRSÉKLET

Az alacsony hőmérsékletet tűró kriofil fajok 15°C hőmérséklet alatt is képesek növekedésre és szaporodásra. A kriofil fajok jelen vannak alpesi és sarki jéggel borított talajokban, jeges gleccserekben, és mélytengeri vizekben, továbbá az Antarktisz vagy az óceánok fagyos talajában. Az óceánok mélyvízeiben élők nagy nyomást, a tengeri jégben élők nagy sókoncentrációt is tolerálnak. Az antarktiszi száraz területek közeteiben élőknek kicsi a víz és tápanyag szükséglete.

A fonálféreg (Nematoda) egy állattörzs, amelybe állati és növényi élősködők, valamint szabadon élő fajok tartoznak. Mintegy 2000 leírt fajukat ismerjük.

Egyes antarktiszi baktériumok is alacsony hőmérsékletet toleráló szervezetek, amelyek -15°C-on is aktív életfolyamatokat végeznek. Végül megemlíthetők a himalájai hidegtűrő baktériumok és nem utolsósorban a -40°C hőmérsékletet is

elviselő gerinces állatok, a fókák, pingvinek és a jegesmedvék is.

A hőmérséklet csökkenésével a sejtmembránok merevsége növekszik. A sejtek válaszként az előzőekkel ellentétben a telítetlen zsírsavak mennyiségét növelik a telítettek rovására. A fagyponthoz alatti hőmérsékleteken bekövetkező károsodások elkerülésére a sejtek összetétele úgy változik, hogy vagy csökken a víz fagyáspontjának hőmérséklete – néhány rovar esetében akár 10 –18°C-t is – vagy kifagy a sejtek közötti víz, mely aztán a hőmérséklet fagyáspont fölé emelkedése esetén ismét megolvad. Ez történik néhány alacsony hőmérsékletre alkalmazkodott béka, kígyó és teknős esetében.

Érdekes megemlíteni, hogy a kutatók az elmúlt évtizedekben több tízezer, vagy százezer éves jégtakarók mélyéből nyert mintákban is találtak baktériumtörzseket, amelyek aztán táptalajon fokozatosan felmelegítve ismét növekedésnek és szaporodásnak indultak. A kutatók 2003-ban Nyugat-Kínában a Tibeti-fennsík 750 000 éves jégsapkájának 296 méter mélységéből kinyert baktériumtörzseket, míg 2009-ben a Grönlandon 120 ezer éve 3000 m mélységben jégbefagyott baktériumtörzset melegítettek fel táptalajon, amelyek ezt követően ismét növekedni, szaporodni kezdtek.

Ilyen mélységben a mikroorganizmusoknak nagy nyomást, és a tápanyagok hiányát is el kellett viselni. Az említett kísérletek megerősítik azt a feltételezést, hogy más égitestek jégtakarója alatt is létezhetnek baktériumszerű életformák.

## SUGÁRZÁS

A részecske sugárzások (neutron, proton, alfarészecske, nehéz ion) vagy az elektromágneses sugárzások (gamma, röntgen, ultraibolya, látható fény, infravörös, mikrohullámú sugárzások) energiát adnak át az élőszervezeteknek. A sugárzások gátolják a fotoszintézist és károsítják a nukleinsavakat. Módosítják a DNS molekula bázisait és rombolják kettős hélix szerkezetét.

Az extrém körülményeket tűró szervezetek sejtjeinek javítóképessége megnő

*A DNS-javítás mechanizmusainak feltárásáért Tomas Lindahl svéd, Paul Modrich amerikai és Aziz Sancar török-amerikai tudós 2015-ben kémiai Nobel-díjat kapott.*



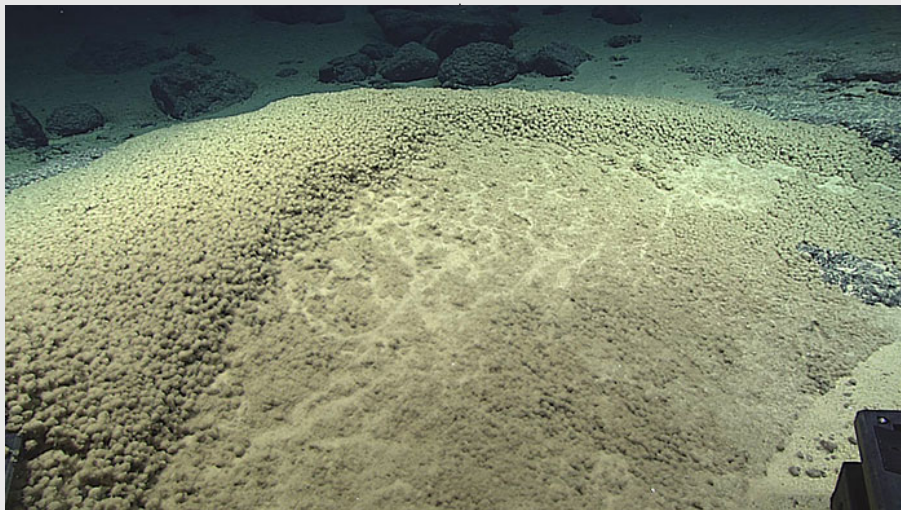
azáltal, hogy mechanizmust alakítanak ki a széttöredezett DNS molekulák ismételt összeszerelésére. Emellett összetételükben növelik a szabadgyökök eltávolításához szükséges antioxidánsokat és méregtelenítő enzimeket is termelnek. Tipikus példája a sugárzást tűró baktériumoknak a *D. radiodurans* baktérium.

## NYOMÁS

A hidrosztatikus nyomás is fontos paraméter, amely befolyásolja a szervezetek életfolyamatait. Nagynyomású környezetek közé tartoznak a bioszféra jelentős hányadának életteret adó mélytengeri szintek és a talaj alatti mélyszintek. Különösen gazdag az élővilág a mélytengerek hidrotermális kürtői környezetében.

Számos barofil faj, rákfajta, csőféreg, baktérium él ilyen környezetben fény és oxigén hiányában, nagy nyomás és magas hőmérséklet mellett. Bár a hominidek lég-





**Gromia sphaerica amőba telepek a Mariana-árok mélyén**

NOAA Office of Ocean Exploration and Research, 2016 Deepwater Exploration of the Marianas.

köri nyomás mellett jöttek létre, tengeri elődeik hidrosztatikus nyomáson fejlődtek ki. A hidrosztatikus nyomás a tengerek felszíne alatt 10 méterenként 1 barral növekszik. Így Földünk jelenleg ismert legmélyebb pontján a csendes-óceáni Mariana-árokban található Challenger-szakadékbán 11 km mélyen 1100 bar a nyomás. A Mariana-árokban is igen gazdag a barofil élőlények sokasága. Ezek a szervezetek alkalmazkodtak 700-800 bar nyomáshoz, de 500 bar alatti nyomáson szaporodásra képtelenek. Ilyen a Hirondeella gigas rákfajta is.

Mivel a víz forráspontja a nyomás növekedésével emelkedik, az óceánok legmélyebb pontján a víz forráspontja 400 C°-ot is elér, így a víz ennél alacsonyabb hőmérsékleten cseppfolyós marad. A hidrotermális kürtők környezetében a víz hőmér-



**Mélytengeri hidrotermális kürtő**

séklete elérheti a 300°C-t, bár azoktól távol csupán 2-3°C. A megnövekedett nyomás megnöveli a szervezetek életműködéséhez szükséges optimális hőmérsékletet is, bár csak néhány fokkal.

Ha egy kémiai reakció térfogat növekedéssel jár, akkor ezt a nyomás megnövekedése gátolja. Ez érvényes a térfogat növekedésével járó sejtfolyamatokra és makromolekuláris szerkezetek kialakulására is. A nagy nyomás az élő szervezetekben hatással van az anyagcsere folyamatokra is, ami megnehezíti a sejtnövekedést.

Bár sok szervezet adaptálódott az evolúció során a nagy nyomásokhoz, a nyomás gyors változása általában a szervezet halálát okozza. A nyomás növekedésével a sejtek lipidjei szorosabb pakolásúvá válnak, amely növeli a membránok merevségét és csökkenti áteresztőképességüket. A nyomás hatással van a génexpresszió két folyamatára a transzkripcióra és translációra is. Ekkor megnövekszik a membránokban a telítetlen zsírsavak mennyisége, növekszik a DNS és fehérje molekulák javítóképessége.

## KÉMIAI KÖRNYEZET

Amikor jelentős változások történtek a Földön a kémiai környezetben, mindig jelentős változások léptek fel az életformák evolúciójában is. A környezet életje-

lenségeket befolyásoló kémiai tényezői a víztartalom, sótartalom, az oldatok pH értéke és az oxigéntartalom. Az alábbiakban áttekintjük, mit okoznak az élőszervezetek működésében a paraméterek extrém értékei.

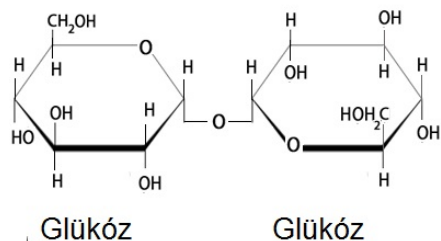
## VÍZTARTALOM

Az élő szervezetekben a sejtek tömegének mintegy 60-70 %-a víz, 25-30 %-a szerves anyag (fehérjék, nukleinsavak, lipidek és szénhidrátok) és 5%-t tesz ki a sók. A poláros vízmolekula hidrogénkötések kialakítására hajlamos, ezért számos szerves és szervetlen vegyület jól oldódik benne. A víz nem csak közege a sejtekben lejátszódó kémiai reakcióknak, hanem fontos reakciópartner is. Egyik kiindulási anyaga a fotoszintézisnek és a nagy fajlagos hőkapacitása miatt, hőmérséklet kiegyenlítő szerepe is van. A víz hiánya az élőszervezetek környezetében extrém környezetet jelent. A baktériumok, gombák, növények, rovarok, tardigrádok, számos fonálféreg és a bizonyos rákfajták- képes anhidrobiozisz állapottal védekezni a szárazság ellen.

Az anhidrobiozisz a szervezetnek a szárazság által kiváltott olyan nyugalmi állapota, amelyben a szervezet majdnem teljesen dehidratálódik, és metabolikus aktivitását észrevehetetlen szintre csökkenti.

Hosszú idejű anhidrobiozisz visszafordíthatatlan változásokat okoz a sejtekben, megváltozik a lipidek, fehérjék és nukleinsavak szerkezete. Az észak-amerikai sivatagok lakója, a kengurupatkány, egész élete során (2-5 év) nem iszik vizet. A Szaharai-sivatagi hangya is jól tűri a szárazságot. Vízszükségletét mindkettő táplálékokból fedezi. A medveállatka (Tardigrade) képes hibernálódni, (kriptobiozisz) csökkentett életmódba váltani extrém körülmények között. Az állatka anyagcseréjét a normális érték 1%-ára csökkentve akár egy évtizedig is képes nedvesség nélkül az életfunkcióira, lecserélve víztartalmát nem-redukáló diszacharidra, ún. trehalózra (gombacukor). A trehalóz két egyszerű cukorból (glükóz) álló szénhidrát. Különleges tulajdonsága, hogy a sejtmembránokban képes a vizet pótolni, így megakadályozni, hogy

## Trehalóz



azok végzetesen károsodjanak. A trehalóz vízmegtartó tulajdonságát a gombák, például a júdásfülgomba is, kihasználják.

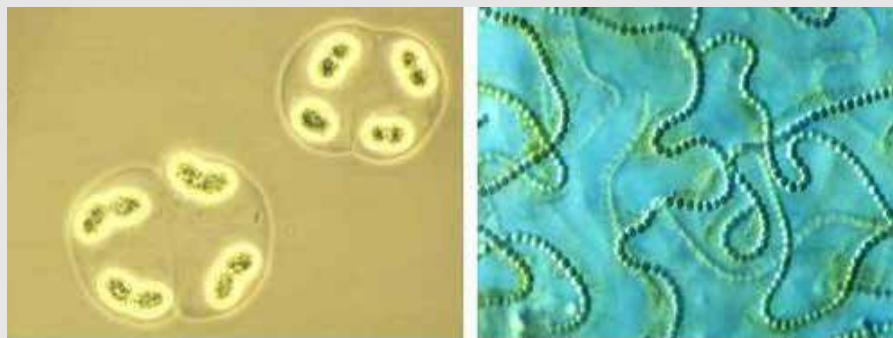
## SÓTARTALOM

A nagy sótartalmú környezetek intenzív napsugárzásnak kitett tengerek, tavak, melyek meghaladják a tengervíz átlagos 3,5 %-os sótartalmát és sótartalmuk az intenzív párolgás miatt közel telített, vagy esetleg túltelített is lehet. Ilyen a Nagy Sós-tó az Amerikai Egyesült Államok nyugati részén, Utah államban, a Holt-tenger és számos hőforrás is.

A sejtekben a sók ionjai közül legnagyobb mennyiségben, a nátrium, a kálium, a kalcium, a magnézium, a vas kationok és a klórid anion fordul elő. A sejtek funkcióinak ellátásához optimális sókoncentráció szükséges. Ha ez meghalad egy értéket a sejtek károsodnak. Minél nagyobb a sókoncentráció a sejten belüli és kívüli térben, annál nagyobb lesz az ozmotikus nyomás és a beáramló só dehidratálni fogja a sejteket. Ennek következtében kiszáradnak és összetöredeznek a sejtek enzim és DNS molekulái.

Sok nagy sótartalmat tűrő mikroorganizmus, az ozmotikusan aktív részecskék koncentrációjának extracelluláris folyadékban történő növekedésekor (az ozmolaritás növekedése), az oldott anyagokat a sejtek citoszoljaiban (vízben oldott szerves szénhidrátok, fehérjék, nukleinsavak, lipidek és szervetlen sók) gyűjti össze. Ezzel akadályozzák meg sejteik citoplazmájának dehidratációját és kiszáradását.

Nagy sótartalmú környezetben élő szervezetek a halofilek. Tipikus halofilek, a



## Cianobaktériumok

fotoszintetizáló és a sejteikben klorofilt, kék vagy piros színanyagot tartalmazó cianobaktériumok. A víz elpárolgása után a sóban zárványként megmaradó víztasakokban is képesek életfunkcióikra. A *Dunaliella salina* algafaj szintén életképes telített sóoldatban.

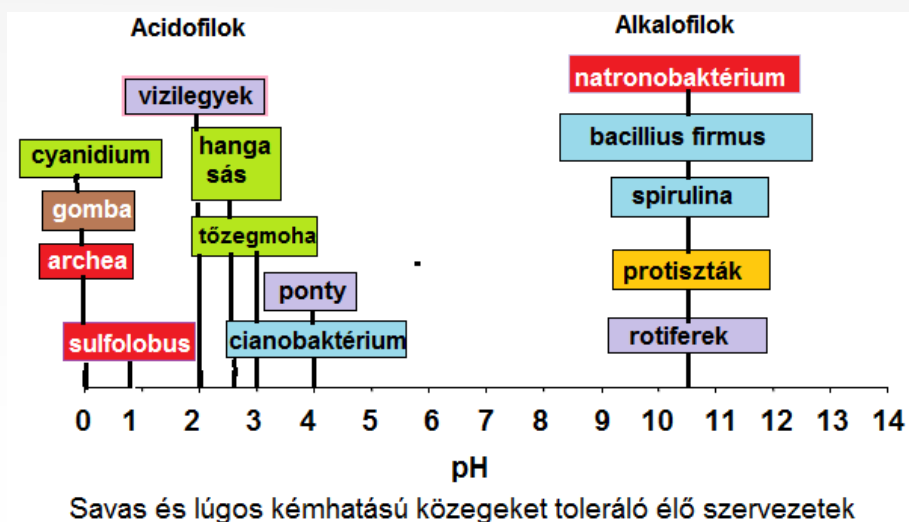
## pH

Az élő szervezetekben minden egyes sejt életműködéséhez szükséges az állandó és optimális pH-jú kémiai környezet. A biológiai folyamatok számára a közel semleges pH az optimális érték. Emiatt az intracelluláris pH a legtöbb esetben a semleges érték közelébe esik. Különösen alacsony pH értékeken a DNS molekulák denaturálódnak.

Az acidofil szervezetek savas pH-n mutatnak maximális szaporodást és általában 5,5 pH értékek alatt képesek növe-

kedni. A legtöbb acidofil mikroba nem életképes neutrálshoz közeli pH értékeken. Savas környezethez jól alkalmazkodó a fotoszintetizáló *Cyanidium caldarium* mikroszkopikus vörös alga, amely ún. termoacidofil élőlényként tiszta széndioxid közegben, pH 0 – 4 között megél, és 57°C hőmérsékletet is kibír. Az extrém pH körülményekhez adaptálódott élőszervezetek citoplazmájának pH értékei ugyanolyanok, mint a mezofil (közepes hőmérsékletet kedvelő) mikroorganizmusoké. Mivel a DNS molekulák savas közegben felbomlanak, az RNS molekulák pedig nagyon érzékenyek a lúgos pH értékekre, a sejtek stabilitásuk érdekében kizárják a környezeti hatást a sejtfalon kívülre.

Savtűrő szervezetek sejteji nagy belső pufferkapacitással rendelkeznek és a sejtmembránhoz kötődő antiporter szállítófehérjékkel protonfelvételt tesznek lehetővé,





így pozitív felületi töltést alakítanak ki a sejtfalon.

Az antiporterek két anyagot mozgatnak ellentétes irányba. Az egyiket a koncentráció-grádiens irányába, a másikat ezzel ellentételesen. Tipikus példa az intracelluláris pH-t szabályzó nátrium/proton antiporter, amely nátriumot szállít kívülről a citoplazmába és protonot távolít el onnan.

Az extrém savtűrő szervezetek egy másik tipikus példája, a 60°C hőmérsékletű savas hőforrásból izolált *Picrophilus oshimae* archaea, amely membránja stabilitásához hidrogén ionokat igényel. Funkcióit 0,7 pH értéken tudja optimálisan ellátni, pH >4 fölött molekulái felbomlanak.

Az alkalofil prokarióta szervezetek általában extrém lúgos környezetből származnak. Számos alkalofil baktérium viszonylag széles pH tartományban (pH 8 – 11) képes növekedni. Ilyen a *Bacillus firmus* is, mely 7,5 – 11 pH között képes szaporodni, bár a növekedés optimuma pH 9-nél van. Az alkalikus környezetet tűró élőlények esetében a sejtek a cukrok és aminosavak polimerjeiből álló negatív töltésű sejtfalat alakítanak ki. A lúgos viszonyokat tűró szervezetek közül kiemelkedik a *Plectonema nostocorum* prokarióta baktérium, amely 13-as pH környezetet is túlél.

## OXIGÉN

A környezet oxigéntartalma is fontos szerepet játszik a sejtek működésében. Tipikus példa erre a Föld korai oxigénhiányos környezete. Az oxigénhiány miatt egy sor fontos kémiai elem, mint például a cink és a réz elérhetetlen volt az élőszervezetek számára. Később ezeknek az elemeknek kulcsfontosságú szerepe volt a soksejtű életformák kialakulásában, ami jelentős lépést jelentett az élet fejlődésében. Az oxigén szerepet játszott a különböző életformák és a hatékony energiatermelés kialakulásában. Az oxigén egyike azoknak az elemeknek, amelyek lehetővé tették az eukarióta élet kialakulását bolygónkon.

A Földön az aerob és az anaerob kör-



nyezetek közötti átmenetek széles skálája fordul elő. Anaerob tulajdonsággal rendelkeznek azon szervezetek, amelyeknek nincs szükségük oxigénben gazdag környezetre. Az oxigén nem szükséges anyagcseréjükhez és szaporodásukhoz. Bizonyos anaerob szervezetek képesek hasznosítani az oxigént, de annak hiányában is életképesek. A tényleges anaerobok számára az oxigén, pusztulásukat is okozhatja. Ilyenek a metanogén baktériumok, amelyek nyomokban fellelhető oxigénre is érzékenyek. Ilyen anaerob szervezet például a hidrotermális kúrtók közelében élő *Methanococcus jannaschii* metanogén archaea, amely egyúttal hipertermofil is.

A földi extremofilek kutatása fontos adatokat szolgáltat a földön kívüli élet létezését, evolúcióját, valamint a földi élet esetleges földönkívüli eredetét vizsgáló asztrobiológiai kutatások számára. A földi extrém környezetekhez hasonlóak – jeges felszín, jég alatti óceánok, ezek alján levő hidrotermális kúrtók, hőforrások – létezése más égitesteken is igen valószínűek. Ismereteink a földi extrém körülményekhez alkalmazkodott élőszervezetekről, megkönnyíti az élet nyomait más égitesteken kereső kutatásokat azzal, hogy kijelöli, milyen felszíni jellegzetességek és felszíni aktivitás jelezheti élőszervezetek, vagy korábban élt szervezetek létezésének.

**Pálinkás Gábor**



## OLVASNIVALÓK

L. J. Rothschild, *Ad Astra, The magazine of The National Space Society, Volume 14, Number 1, 2002.*

Michael T. Madigan and Barry L. Mairs, *Scientific American 276, No4, 1997.*

Lynn J. Rothschild and Rocco L. Mancinelli, *Nature 409, 1092-1101, 22 February 2001.*

Csermely Péter, *természet Világa 129.évf, 6sz.1998.*

*Catalogue of Life: 26th July 2017.*

Wharton, D. A. & Ferns, D. J. *Panagrolaimus davidi. J. Exp. Biol. 198, 1381–1387, 1995.*

Katerina Stamati, Vivek Mudera, and Umber Cheema.

*J Tissue Eng. 2011; 2(1): 2041731411432365.*

Katerina Stamati, Vivek Mudera, and Umber Cheema

Jennifer Loveland-Curtze és mások, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 59, 1272, 2009.*

Brent C. Christner, Ellen Mosley-Thompson, Lonnie G. Thompson and John N. Reeve, *Environmental Microbiology, 5 (5), 433, 2003.*

## KENGURUPATKÁNY

A 70-170 gramm súlyú, 10-15 cm hosszú kis emlős rágcsáló állat, az észak-amerikai sivatagok lakója. Bár négy lába van, a két hosszú hátsó lábán úgy ugrál, mint a sokkal nagyobb méretű névrokona. Növények magvaival táplálkozik, összes vízigényét a táplálékból elégíti ki. Nem izzad, lassítja anyagcseréje sebességét, hogy takarékoskodni tudjon a vízigényével. 2-5 évig él és ez alatt nem iszik vizet. Extrém hőmérsékletet bír ki. A táplálékként gyűjtött magokat földalatti üregekben tárolja.



# Kilenc híres ellenálló

# 2

## FA-BÉKA (WOOD FROG)



A barnás-rozsda színű 5-7 cm hosszú, nagy hideget toleráló Fa-béka (*Lithobates sylvaticus*) Észak-Amerikában, Kanadában és Alaszkában honos. Télen erdei levelek, törmelékek alá bújik és bőre megfagy. Ez védi szervezetét a lehűléstől. Ha az idő felmelegszik, a fagyott bőr felolvad. A hideg hatására a vérében levő fehérjék kifagyasztják a sejtjeiből a vizet a sejtközi állományba, miközben a mája nagy mennyiségű glükózt termel, amely betöltődik a víz helyére sejtjeibe. Fagyott állapotban a békának nincs szívverése, a légzése, vérkeringése és agyműködése is leáll ahhoz hasonlóan, mint az a krioprezerváció (biológiai anyagok fagyasztva tartósítása) során történik. Amikor a hőmérséklet ismét 0°C fölé kerül, a sejtközi jégkristályok megolvadnak, és ismét beáramlanak a sejtjeibe, az életfunkciói ismét aktívá válnak.

A Strain 121 egysejtű archea (*Geogemma barossii*) törzs, a 3,5 milliárd évvel ezelőtti földi viszonyok között alakult ki, amikor a Földön rendkívüli körülmények álltak fenn.

Extrém nyomás, meleg, savas és nagy sótartalom volt a jellemző. Az 1 mikrométer nagyságú egysejtű archea, az óceánok alján hidrotermális kürtők környezetét népesíti be, ahol a víz szuperkritikus állapotban van és igen nagy a nyomás, savasság és sótartalom. Az archea 121°C-on még szaporodik, de 130°C hőmérsékleten leáll a növekedése, azonban ekkor is életképes marad és amint hidegebb környezetbe kerül, ismét szaporodóképessé válik.

Anyagcseréjéhez vasoxidot redukál, a környezet kémiai anyagait  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  kemoszintézissel hasznosítva. A kemoszintetizáló szervezetek a tápláléklánc alapját képezik. Táplálékláncuk szolgál más élőszervezeteknek, a gigantikus csőférgeknek, kagylóknak, tapadó tengeri csigáknak, rákoknak. A kutatók feltételezik, hogy a Jupiter holdján, az Európán és a Szaturnusz holdján, az Enceladuson is léteznek hidrotermális kürtők a felszín alatti tengerekben.

## STRAIN 121

# 3





## SZAHARAI SIVATAGI HANGYA

# 4



A hangya sivatagokban honos, ahol a hőmérséklet 50°C, de 70°C sem ritka. A Szaharai sivatagi hangya (*Cataglyphis fortis*) hosszú lábakkal rendelkezik, amelyek felemelik a rovarok testét a forró Szahara homoktól. A hosszú lábak miatt a hangyák gyorsak is, másodpercek alatt 3,3 métert is képesek megtenni, ami megakadályozza, hogy megsüljenek. Minél gyorsabban mozog a hangya, annál rövidebb ideig éri a napsugárzás. A Szaharai sivatagi

hangya száraz fűben megpihen, hogy megszabaduljon a felesleges hőtől. A napsütésnek csak néhány percig képes ellenállni, de hővel szembeni toleranciája lehetővé teszi, hogy megtalálja az ételmezt. A rovar figyelemreméltó képességekkel rendelkezik: forró terepen navigálva „számolja” lépteit, hogy megjegyezze, milyen messzire képes biztonságosan eltávolodni fészékétől és ahhoz időben visszatérni, hogy megakadályozza túlmelegedését.



# 5

## ÖRDÖGI FÉREG

Az Ördögi féreg (*Halipcephalobus mephisto*) egy az állatok doménjébe tartozó multicelluláris fonálféregfaj. 2011-ben fedezték fel egy Dél-Afrikai aranybánya 3 km mélyén fekvő vízkészletében. Mérete 0,5-0,6 mm, mely 1000-szer nagyobb, mint azoké a földalatti egysejtű szervezeteké, melyekkel táplálkozik. Elviseli a magas hőmérsékletet, ivartalanul szaporodik. A radiokarbonos kormeghatározás szerint, 3000-12 000 éves felszín alatti vizekben él.

Ezek a fonálféreg alacsony oxigéntartalmú vizekben is megélnek, az óceánvíz átlagos oldott oxigéntartalmának kevesebb, mint egy százalékával is beérik.

## DEINOCOCCUS RADIODURANS

**6** Az 1,5-3,6 mikrométer nagyságú *Deinococcus radiodurans* egy gömbformájú, homokba beágyazódó, a radioaktivitással szemben a legjobban ellenálló poliextremofil baktérium. Túléli az extrém hideget, a dehidratációt és a savas hatásokat is. A baktérium nagy, akár 5000 Gy (Gray) dózisu sugárterhelést is elvisel ionizáló sugárzástól. A baktérium ilyen terhelés után is tovább él és szaporodik. Az emberre 10 Gy sugárterhelés halálos dózis! A baktérium azért viseli el a nagy sugárdózist, mert genom szekvenciáinak több másolatával rendelkezik és képes a sérült DNS molekuláit 12-24 óra elteltével kijavítani. A baktérium a marsi körülmények között is egy lehetséges életforma.



## MEDVEÁLLATKA

**7** A medveállatka (Tardigrade) az egyik legtűrőképesebb élőszervezet. A medveállatkák már félmilliárd évvel ezelőtt is éltek a Földön és túléltek az összes fajok kihalására vezető eseményt. A kis állatok főként vízben zuzmók és mohák alkotta életközösségekben élnek és algával táplálkoznak. Megtalálhatók 6000-8000 méter tengerszint feletti magasságban a Himaláján, valamint több kilométer mélységben az óceánokban. Előfordulnak radioaktív hőforrásokban, forró kénforrásokban és az Antarktison is. A 0,5-1,2 mm hosszú állatkának 8 lába van és mindegyiken 4-8 karommal rendelkezik. Testét kemény, kitint, poliszacharidokat, fehérjéket és lipideket tartalmazó kutikulapáncél (körömszerű páncél) fedi. Igen sok fajuk ismert és Magyarországon is számos megtalálható. A medveállatka képes hibernálódni, (kriptobiozis) csökkentett életmódba váltani extrém körülmények között. Hibernálódásuk során testüket viasszal vonják be, lábaikat behúzzák, és hordó alakot vesznek fel. Ha újra nedvesség éri őket, életfunkcióik rövid időn belül ismét megindulnak.

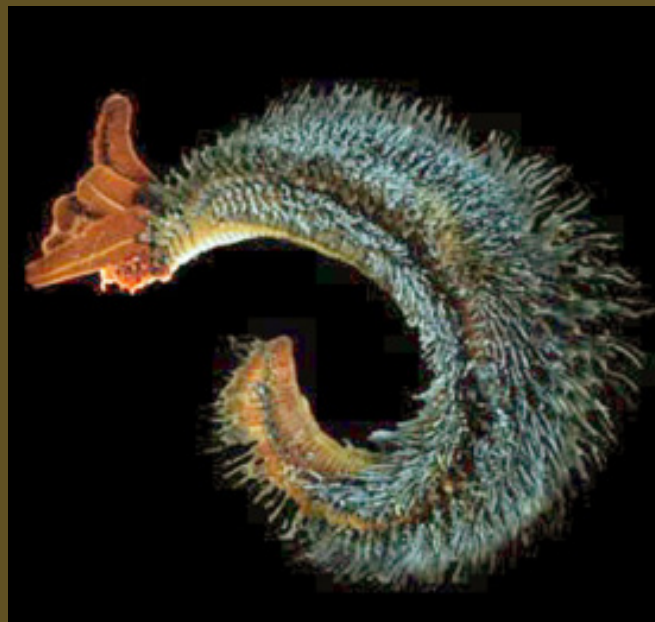
Az állatka anyagcseréjét a normális érték 1 %-ra csökkentve akár egy évtizedig is képes nedvesség nélkül az életfunkcióira. Kiszáradás ellen úgy védekezik, hogy lecseréli sejtjei víztartalmát nem-redukáló diszacharidra, ún. trehalózra. Elviseli a szélsőséges hőmérsékleteket, kis nyomást (közel vákuum) és földi atmoszférikus nyomás ezerszeresét is. Túléli az intenzív kozmikus és ultrabolya sugárzást. 2007. szeptemberében az Európai Űrhivatal két különböző fajhoz tartozó medveállatkákat juttatott a világűrbe az orosz Foton M3-as űrszondán. Az űrszonda 10 napig keringett 270 km magasságban a Föld körül. A medveállatkáknak egyidejűleg kellett elviselniük a világűrben a -270°C-os hőmérsékletet, a légüres teret, a teljes oxigénhiányt, a kozmikus sugárzást, és a DNS-t erősen roncsoló, a földi ultrabolya sugárzás 1000-szeresét meghaladó sugárzást is. A medveállatkák kétharmada visszatérés után képes volt szaporodni.



## POMPEJI-FÉREG

A mintegy 6 cm hosszú, pompeji-féreg (*Alvinella pompejana*) névre keresztelt élőlény, a Csendes-óceán keleti részén található az Axial Summit kaldera hidrotermális kéményeinek külső oldalán él. A baktériumokkal táplálkozó, és baktériumok kolóniájával szőrszerűen borított állat, a hidrotermális kéményen lakócsövet épít magának és abban él. A kutatók titánból készült hőmérőt vezettek a férgek lakócsövébe és azzal több órán keresztül regisztrálták a hőmérsékletet. A mérések érdekes eredményre vezettek. A féreg elviselte, hogy fejénél a 105°C hőmérsékletet is elérve 81°C-ot ingadozzon úgy, hogy rendszeresen 60°C volt a két vége közötti hőmérsékletkülönbség. A kutatók jelenleg vizsgálják, hogy a Pompeji-féreg szervezete hogyan védekezik a fehérjéit és nukleinsavait romboló magas hőmérséklet és nagy hőmérsékleti gradienssel szemben.

# 8



# 9

## HIRONDELLEA GIGAS



### FORRÁS:

A fenti összeállítás Santush Ketajaru: *Extreme Organisms*, 2012-ben megjelent ebook-ja és Hideki Kobayashi és társszerzői által készített összefoglaló: PLOS ONE: [www.plosone.org](http://www.plosone.org), 1 August 2012, Volume 7, Issue 8, alapján készült.

elszarusodott kitines védőréteg. Az élőlényt először 1960-ban Jacques Piccard és Don Walsh észlelte, amikor Trieste nevű tengeralattjárójukkal lemerültek a Mariana árok legmélyebb pontjára. Az óceánkutatók nem értették, hogy élhet egy szervezet ilyen nagy nyomáson és szinte tápanyagok nélkül. Japán kutatók később (2009-ben) egy automata robottal rákmintákat hoztak fel a mélyből és a mintákból elvégezték a rákok emésztő enzimjeinek analízisét. A vizsgálatok növényi eredetű poliszacharidok emésztésére alkalmas amiláz, celluláz, mannáz és alfa-glükózidáz emésztési enzimeket mutattak ki a mintákban. A *H. gigas* alkalmazkodva a mélytengeri környezethez, olyan emésztési enzimeket fejlesztett ki, amelyek képesek az elsüllyedt növényi maradványok emésztésére.

A *Hirondellea gigas* egy 5 cm hosszú rákfajta, amely Földünk jelenleg ismert legmélyebb pontján a csendes-óceáni Mariana-árokban található 11 km mély

Challenger-szakadékban él. A szakadék legmélyebb pontján a nyomás eléri a 1100 bar-t. A *H. gigas* gerinctelen állat, a lágytest védelmét szolgáló külső váza,

# Budapesten indult hosszú utazás

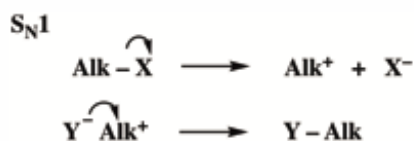
Oláh György élete példázta a tudomány kiváló magyar képviselőinek sorsát a 20. században. Tehetséges és szorgalmas volt mégsem maradhatott hazájában, új életet kellett keresnie Nyugaton. A Budapesti Műszaki Egyetemen kialakított életreszóló érdeklődése átsegítette akadályokon és világhírű kémikussá vált. Tudása és találékonsága mind a tudományos kutatás, mind gyakorlati alkalmazások terén ragyogó példaként szolgálhat a jövő generációi számára.

2017. március 14-i számában a New York Times jelentette: „Oláh György magyar születésű tudós – aki 1994-ben Nobel-díjat kapott a szénvegyületek kémiai reakcióinak tanulmányozásáért – szerdán meghalt Beverly Hills-i otthonában. 89 éves volt”.

Egy kiválóságunk ismét külföldön halt meg.

## BUDAPESTI KEZDETEK

Oláh tanulmányai és tudományos pályája Budapesten kezdődött, amint azt élvezetes stílusban leírja önéletrajzi könyvében [1]. Vegyészmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetemen (BME) kapta meg 1949-ben és a Szerves Kémiai Intézetben kezdett dolgozni Zemplén Géza professzor munkatársaként. A Zemplén által 1913-ban alapított intézet volt az első egyetemi szerves kémiai tanszék az országban. Zemplén szénhidrát kémikus volt, Emil Fischer tanítványa, így



1. ábra: Nukleofil szubsztitúciós reakciók mechanizmusa Ingold definíciója szerint

Oláh a hagyományokat követve szénhidrátok és természetes vegyületek kémiájával kezdett foglalkozni. Első eredményét azzal érte el, hogy Tihanyban az ott termesztett gyapjas gyűszűvirág (*Digitalis lanata*) friss leveleiből izolált egy vegyületet (lanataglikozid C), amit kémiai úton hatékony szívreható gyógyszerre (digitoxin) alakított át. Reakcióját szabadalmaztatták, és a Richter Gyógyszergyárban az ipari gyártásba bevezették.

Oláh személyes érdeklődése hamarosan másfelé irányult. A BME kémia oktatása az 1940-es években megbízható alapot adott a laboratóriumi kísérletezéshez, de a kémia elméleti részét kevésbé érintette. Nem tanították reakciók mechanizmusát, nem említették a reakciók köztitermékeit. Ezek a problémák a fiatal vegyészre arra serkentették, hogy önmagát képezze hosszú órákat töltve a Központi Könyvtárban, ami egy életreszóló szokásává vált. 1950 táján olvasmányaiiban feltűnt Christopher Ingold neve – a reakciómechanizmusok és a szerves vegyületek elektronszerkezetének úttörője – aki a nukleofil szubsztitúciós reakciókat két típusba ( $S_N1$  és  $S_N2$ ) sorolta a reakciók kinetikus rendje alapján. Az  $S_N1$  mechanizmus első

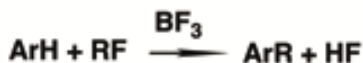
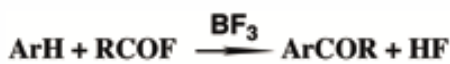


2. ábra: A Friedel-Crafts alkilezési reakció

A nyomtatott könyvek és monográfia sorozatok továbbra is nélkülözhetetlenek tanulásra és kutatásra egyaránt

kinetikus rend szerint meg végbe feltételezve, hogy egy alkil-kation köztitermék lassú, sebességmeghatározó lépésben keletkezik (1. ábra). A kation izolálása ebben az időben még szóba sem került. A kinetikailag másodrendű  $S_N2$  mechanizmus szerint a távozó csoportra történő elektroneltolódást a nukleofil támadása váltja ki.

Laboratóriumi kísérleteiben Oláh aromás gyűrűk alkilezését, ill. acilezését tanulmányozta Friedel-Crafts reakcióval (2. ábra). Az  $\text{AlCl}_3$  reakciópartner – egy elektronhiányos Lewis sav – Oláh feltételezése szerint kationt hoz létre a reakció során, amit nagyon szeretett volna bizonyítani.



3. ábra: Friedel-Crafts reakciók fluoridokkal

4. ábra: Izolált tetrafluoroborátok



Ekkor olvasott először fluorvegyületekről és az az ötlete támadt, hogy fluoridokat kellene használni alkilezésre. Első kísérlete, hogy meggyőzze Zemplént a fluor kémia fontosságáról elutasításban részesült, nem is alaptalanul. A hidrogénfluorid rendkívül reakcióképes, alacsony forráspontú és nagyon mérgező. A háborút követő években a laborban alig volt vegyi fülke, az sem zárt hatékonyan, így mérgezte volna a labor levegőjét. De Zemplén hozzájárult, hogy egy Dunára néző erkélyt (ami erősen sérült a hadi cselekmények során) Oláh és kollégái fluor kémiai kísérletekre használjanak. Ezt befedték, munkahelyé alakították és rövidesen megkezdtek kísérleteiket a „balkon labor”-ban.

1953-ban elindította első egyetemi előadássorozatát Elméleti Szerves Kémia címen, mai fogalmak szerint ez fizikai-szerves kémia volt – az első ilyen tárgy az országban – azzal a céllal, hogy betöltsse a hagyományos empirikus oktatás és a modern mechanizmusokra és kémiai szerkezetre épülő szemlélet közötti űrt fizikai módszerek szerves kémiai alkalmazásával.

Bár Oláh lelkes tanár volt, az oktatás másodlagos volt kísérleteihez képest; Friedel-Crafts reakciói acil és alkil fluoridokkal  $\text{BF}_3$  jelenlétében fontosabb volt számára (3. ábra).

A feltételezett köztitermék komplexek tanulmányozása érdekében Oláh nem csak a reagensek és katalizátor reakcióképességét vette számításba, hanem az oldószerét is: egy reakcióképes ionos köztitermék gyorsan eltűnne a reakcióképes közegben. Ezért oldószerként magát a  $\text{BF}_3$  reakciópartnert alkal-

mazta és sikerült elsőként izolálnia ionos természetű arénium-tetrafluoroborátokat alacsony hőmérsékleten (4. ábra). Ekkor kezdődtek a karbokation komplexekre irányuló hosszantartó kutatásai.

1954-ben létrehozták az MTA Központi Kémiai Kutatóintézetét (KKKI), amelynek igazgatója, Schay Géza professzor felkérte Oláh Györgyöt, hogy igazgatóhelyettesként csatlakozzék az intézethez. Ez a 27 éves kutató szakmai elismerésének sokat mondó jele volt. Az Oláh által létrehozott 8-fős kutató csoport a következő két évben eredményes kutatást végzett. Ezalatt sikerült némileg áttörnie a hazai tudományos kutatásnak a kommunista rendszer által okozott nyomasztó elszigeteltségén. 1955-ben részt vehetett egy IUPAC konferencián Zürichben, ami az első és egyetlen nyugateurópai utazása volt. Előadásokat tarthatott a kelet-németországi Humboldt Egyetemen és meglátogathatta Emil Fischer laboratóriumait. Egy alkalommal látogatást tehetett a Szovjetunióban, ahol találkozott híres vegyészekkel, köztük az Elemorganikus Vegyületek Intézetének szerves-kémikus igazgatójával, Nyeszmejanovval, a Szovjet Tudományos Akadémia elnökével. A vele folytatott tudományos témákat érintő megbeszélés mellett Oláh negatív tapasztalatokat is szerzett. Beszélgetésük francia és német nyelven folyt, de ha harmadik személy is bejött az irodába, Nyeszmejanov azonnal oroszra váltott és tolmácsot kért. Még ő is tartott attól, hogy jelenthetik „szovjet-ellenes” viselkedését. Négyszemközt Nyeszmejanov utalt Pauling rezonancia-elméletének a szovjet tudomány általi elutasításá-

ra. Megemlítette, ő nem írta alá a politika által diktált hivatalos jelentést, mert beteget jelentett, hogy ne vegyen részt az akcióban [2]. Oláh bepillantást nyert a tudományt ért félelmetes politikai befolyásra.

1956. októberében kitört a magyar forradalom a szovjet uralom ellen. A következő néhány napban a KKKI-ban megalakult egy kis forradalmi bizottság, amibe Oláh-t is beválasztották. De rövidesen bekövetkezett a szovjet megszállás, amivel visszatért az elnyomás és mintegy 200.000 magyar hagyta el az országot. Oláh feleségével, 2-éves fiával és kutatócsoportja egy részével csatlakozott a menekültek áradatához új életet keresve Nyugaton.

## ELINDULÁS IDEGENBEN

Az Oláh család egy rokonhoz érkezett Londonba. Mivel Oláh otthon sikeres kutató volt, először akadémiai állásban gondolkodott. Kiváló angol kémikusokkal találkozott, akiket irodalomból ismert (Christopher Ingold, Alexander Todd), de kutatói lehetőséget nem talált. A menekült kutatók segítségére létrehozott brit képviselő (Academic Assistance Council) ajánlott részére egy állást az amerikai Dow Chemical iparvállalatnál. A vállalat központja Michigan államban volt, de éppen akkor hoztak létre egy kutató laboratóriumot a kanadai határon túl egy Sarnia nevű kisvárosban, Ontario államban. A laboratórium egy kémiai üzem területén jött létre és ipari célokat szolgált. A vállalat sztirolt gyártott etilbenzoliból, amit benzol etilénrel való alkilezésével állítottak elő Friedel-Crafts reakció segítségével, így Oláh



5. ábra A terc-butil kation deprotonálódása

szakértelme értékes volt a cég számára. Ő – megtartva régi szokását – hosszú órákat töltött munkaidőn kívül a szakirodalmat olvasva és terveket készítve. Számos szabadalmat dolgozott ki a vállalat számára és rövidesen vezető kutatóvá léptették elő.

Oláh szakmai szemináriumokat is szervezett, ahová sikerült kiváló kutatókat meghívnia, bár az ipari kisváros nem esett a látogató professzorok megszokott útvonalába. Tudományos eredményeit publikálta és előadásokat tartott egyetemeken és nemzetközi konferenciákon ezáltal szélesítve szakmai kapcsolatait a tudományos közösséggel. Gyári alkalmazottként egy négy-kötetes monográfiát szerkesztett a Friedel-Crafts reakciókról, amit a Wiley-Interscience jelentetett meg. Ezért a munkájáért 1963-ban megkapta az Amerikai Kémiai Társaság díját, ami jelentős elismerés annak, aki csak néhány éve menekült el szülőföldjéről.

De az igazi áttörés más volt. Sokáig úgy vélték, hogy szén csak akkor képezhet ionos vegyületet, ha a hozzá kapcsolódó csoportok nagymértékben stabilizálják (trifenilmetán festékek). Karbo-kationokat az 1950-es években még instabilisnak tartották olefinnél törtenő deprotonálásuk miatt (5. ábra).

Bár alkil kationok létezését kinetikai kísérletek alapján gyanították, spektroszkópiailag ill. egyéb fizikai bizonyíték nem szolgált jelenlétiük mellett sem folyadékban, sem szilárd fázisban. Mindez akkor változott meg, amikor Oláh egy nagyon erős Lewis savat ( $\text{SbF}_5$ ) talált, és azt olyan kis nukleofilitású körülmények között reagáltatta, ami nem engedte meg a kation deprotonálását. Ez a reakció-közeg először maga a protonáló reagens, antimon-pentafluorid volt és ekkor sikerült létrehozni az első stabilis alkil-

kationt (terc-butil-hexafluoro-antimonát, 6. ábra).

A termék azonosítását az akkor még gyerekipőben járó NMR spektroszkópia módszerével sikerült elvégezni együttműködésben egy fizikus kollégával. Ezután olyan inaktív oldószereket is talált ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_2\text{ClF}$ ,  $\text{SO}_2\text{F}_2$ ), amikkel a reakcióelegyet  $-78^\circ\text{C}$  hőmérsékletre tudta lehűteni. Így további alkil-kationokat (terc-amil- és izopropil-) állított elő. Az NMR spektrumok analízise kimutatta, hogy az eredetileg  $\text{sp}^3$ -hibridizációjú szénatomok kation formában  $\text{sp}^2$ -re változnak, másszóval a semleges tetraéderes szénatom síkszerkezetű kationná alakul át.

A három stabilis alkil-kation (karbokation) bizonyítását először Brookhavenben egy Szerves Reakciómechanizmus Konferencián adta elő 1962-ben, amit számos publikáció követett. Tehát az alkil-kationok létezése, amit Budapesten képzelt el, majd Amerikában évekig kutatót, végül bizonyítást nyert.

## A TUDOMÁNYOS SIKEREK ÉVEI

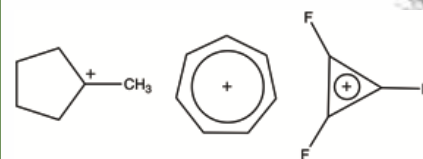
Oláh 7 év után megvált a Dow Chemical gyártól és a Western Reserve Egyetem (Cleveland, Ohio) Szerves Kémiai Tanszékének vezetője lett. Alapos vizsgálat tárgyává tette azokat a savakat, amelyek szénhidrogének pozitív töltést tudnak létrehozni. Mivel ezek erősebb savak a közismert ásványi savaknál (kénsav, salétromsav), ezért a szupersav elnevezést kapták. A már sikerrel alkalmazott Lewis-savak ( $\text{BF}_3$ ,  $\text{SbF}_5$ ) mellett erős protikus savakat [ $\text{FSO}_3\text{H}$ ,  $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$ ] és u.n. konjugált savakat [ $\text{HF-SbF}_5$ ,  $\text{FSO}_3\text{H-SbF}_5$ ,  $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H-SbF}_5$ ,  $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H-B}(\text{O}_3\text{SCF}_3)_3$ ] is nagyon hasznosnak



6. ábra Az első stabilis alkil-kation só



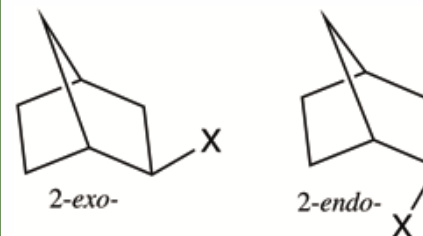
7. ábra Stabilis karbokationok néhány képviselője



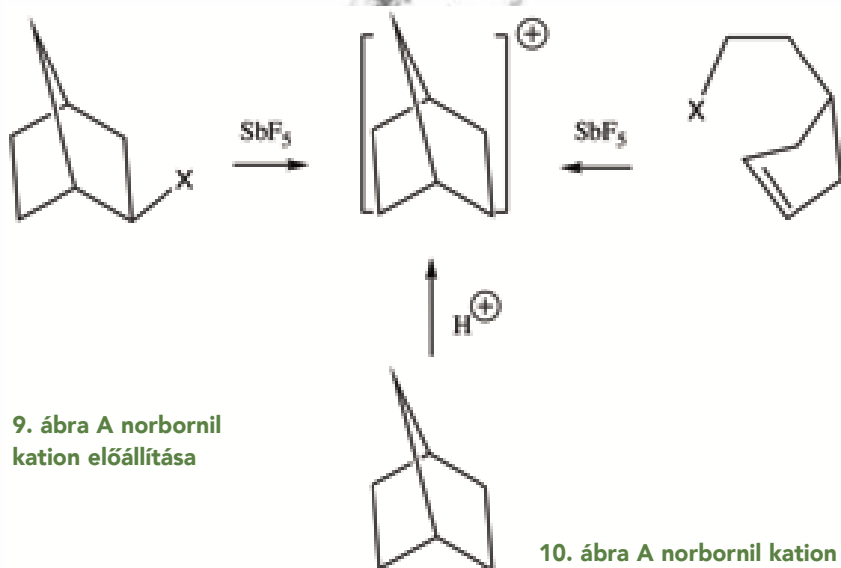
talált kis nukleofilitású oldószerekben [ $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_2\text{ClF}$ ,  $\text{SO}_2\text{F}_2$ ]. Néhány év alatt nagyszámú stabilis karbokationt állítottak elő, amelyek közül néhány a 7. ábrán látható.

Attól kezdve, amikor Oláh az első stabilis karbokationjait bemutatta, a kémiai közösség egy heves vita tanuja volt. Két híres kémikus, Herbert Brown és Saul Winstein nem tudott megegyezni az általuk feltételezett 2-norbornil kation szerkezetében. A tények – amelyekből kiindultak – ismertek voltak: a 2-exo-norbornil-brozilát (p-brombenzolszulfonát) szolvólízise ecetsavban sokkal gyorsabb volt, mint az endo sztereoizomeré (8. ábra).

Az elemfelek azon vitáztak, hogy mi a jelenség oka. Brown szerint az endo izomer szolvólízisének sebessége azért lassú, mert az ecetsav a térben gátolt helyzetű csoportot nehezen közelíti meg és a feltételezett intermediert egy klasszikus három vegyértékű ion. Winstein azzal érvelt, hogy az exo izomer



8. ábra 2-norbornil sztereoizomerek



9. ábra A norbornil kation előállítása

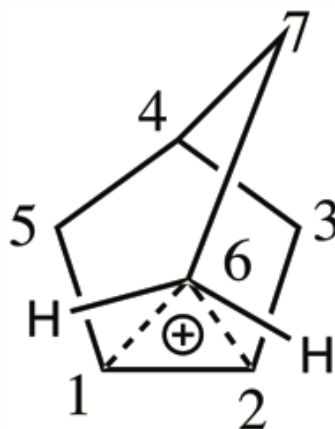
gyors reakcióját a szomszédos  $\sigma$ -kötések közreműködése segíti és ezért az intermedier egy gyűrűs karbonium ion. A vitázó felek egyike sem tudta álláspontját kísérletileg igazolni. Mivel Oláh csoportja technikailag képes volt stabilis karbokationok előállítására, a norbornil kationt háromféle úton is előállították (9. ábra).

Oláh a szerkezetet bizonyító NMR vizsgálatokat csak 1969-ben tudta elvégezni és az eredmény Winstein álláspontját igazolta. Ez ellentétet szült Oláh és a nagyteknétyű Brown között, ami kényelmetlen volt, de végül is jelentős felfedezéshez vezetett: a norbornil kation a karbokationok addig ismeretlen csoportját képviselte, amelyben egy szénatomnak több mint 4 szomszédja van (10. ábra):

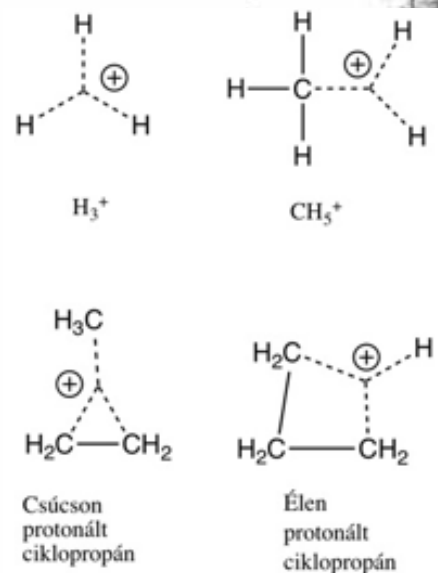
A hiperkoordinált szénatom (6-os számmal jelölve a 10. ábrán) 2-elektron-3-centrum kötéssel jellemezhető, ami telített szénhidrogének egyszeres ( $\sigma$ ) kötésén történt elektrofil reakció eredménye. Ennek a felismerésnek az alapján Oláh 1972-ben a karbokationokat két különböző osztályba sorolta:

1. Háromértékű *karbenium* ionok ( $sp^2$ -hibridizált szénatomok), amelyek planáris szerkezetűek térbeli torzítás hiányában. Ezek a szénatomok hat vegyértékelektront tartalmaznak és ezért elektronhiányosak. Szerkezetükben csak 2-elektron-2-centrum típusú kötések találhatók. Ezek reprezentatív alapvegyülete:  $CH_3^+$ .

10. ábra A norbornil kation szerkezete



Penta- (vagy még több atommal) koordinált *karbonium* ionok öt- vagy nagyobb koordinációjú szénatomot tartalmaznak. Ezek szerkezete nem írható le kizárólag 2-elektron-2-centrum típusú egyszeres kötésekkel, bennük szükség van 2-elektron-3-(vagy multi)-centrum kötésre is. A karbokation centrumnak mindenkor nyolc vegyértékelektronja van, de az egész ion elektronhiányos, mert 2 elektron három (vagy több) atom elektron-oktettjéhez tartozik. Reprezentatív alapvegyületek:  $CH_5^+$  [3]. Ezek az ionok telített szénhidrogénekben jöhetnek létre a C–H és C–C egyes kötések elektrofil reakciójában, amelyek részt vesznek karbonium ionok létrehozásában. A 2-elektron-3-centrum kötés-típus néhány képviselőjét a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra A 2-elektron-3-centrum típusú kötések reprezentatív képviselői

## A SZÉNHIIDROGÉN KUTATÓ INTÉZET

12 évi tudományos kutatás után Oláh és csoportja szénhidrogének kutatására kívánta erőit koncentrálni és egy új intézet alapításába kezdett. A Dél-Kaliforniai Egyetem (University of Southern California, USC, Los Angeles) némi támogatást adott erre a célra, de további adományokra volt szükség, amit egy filantróp házaspár – Donald és Katherine Loker – biztosított, ezért az intézetet később Loker Hydrocarbon Research Institute néven hozták létre. Az Intézet kutatási programja a szupersavakkal katalizált reakciók eredményeire alapozva gyakorlati jelentőségű eljárások megvalósítására törekedett, amilyen pl. izobutilén alkilezése izobutánnal toxikus

adalekok alkalmazása nélkül (12. ábra).

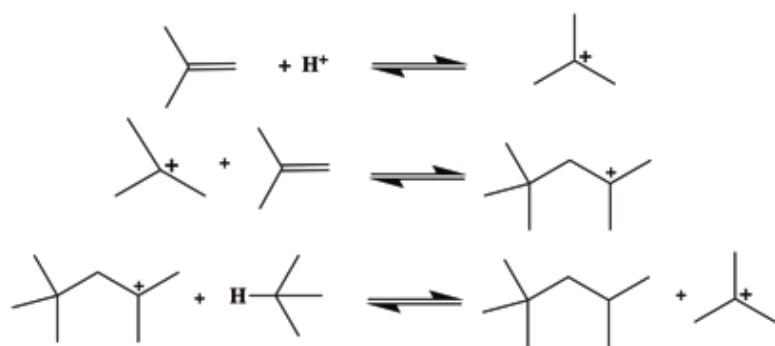
Ebben az alkilezési reakcióban az izobután hidrid-transzfer reagensként vesz részt és egyben a terc-butil kation forrása is, ami intermolekulás hidrid transzfer útján jön létre. Az eljárás izooktán ipari előállítására, ólommentes benzín gyártására alkalmas.

## A NOBEL-DÍJ

Az 1994. évi kémiai Nobel-díjat egyedül Oláh Györgynek ítelték oda. Részletek a Svéd Királyi Tudományos Akadémia sajtóközleményéből [4]:

„Az 1960-as évek elején Oláh és munkatársai felfedezték, hogy stabilis karbokationok állíthatók elő szupersavak segítségével. Oláh felfedezése nyomán sok karbokationt állítottak elő és tulajdonságait részletesen vizsgálták. Oláh azt is megmutatta, hogy módszere alkalmas fontos szerves vegyületek szintézisére, egyenes láncú szénhidrogének átalakítására nagy oktánszámú motorhajtó anyagokká. Oláh módszereinek fontos eleme a rendkívül kis nukleofilitású oldószerek használata, amelyek nem reagáltak karbokationokkal. Az 1950-es évek elején indult a feltételezett norbornil kation szerkezetére vonatkozó vita S. Winstein és az 1979-ben Nobel-díjjal kitüntetett H. C. Brown között, amelynek eldöntését számos kiváló kutató megkísérelte, de csak Oláh csoportjának sikerült NMR spektrumot készíteni  $\text{SbF}_5$ - $\text{SO}_2\text{ClF-SO}_2\text{F}_2$  oldatban  $-158^\circ\text{C}$  hőmérsékleten. A spektrumok Winstein álláspontját – a pentakordinált szénatom létezését igazolták, ami a szerves kémiában ezután már nem számít exotikus különlegességnek.”

A Nobel-díjakat minden évben Alfred Nobel halálának évfordulóján, december 10-én adják át. Oláh átvette érmét és diplomáját a Svéd Királytól olyan érzésekkel, amelyekről önéletrajzában így számol be: „Egyszerre megrohant a pillanat jelentősége. Átvillant a fejemen a Budapesten indult hosszú utazás, és némi kétkedés is, vajon mindez valóság-e?” De figyelembe véve a díjátadás időpontját, Oláh mást is érezhetett: pontosan 50



12. ábra Az izooktán ipari szitézise

évvél korábban Budapesten a nyilas terror tombolása és a Vörös Hadsereg küszöbön álló ostroma idején a pusztá élet forgott kockán.

## AZ EMBERISÉG SZOLGÁLATÁBAN

Oláh a díj átvétele után nem ült babérjain, hanem tovább dolgozott. Kutató csoportjának egyik új eredménye a szilárd szupersavak felfedezése volt [6]. A Nobel-díj utáni években Oláh legfőbb törekvése az volt, hogy megoldást találjon az emberiséget a 21. században fenyegető problémákra: a véges mennyiségű szénhidrogének növekvő felhasználására és a Föld klímájának változására az üvegház hatású gázok (metán és  $\text{CO}_2$ ) felszaporodása miatt. A megoldás, amit munkatársaival dolgoztak ki, a Metanol Gazdaság [7]. Szupersav katalízissal a  $\text{CO}_2$  metanollá alakítható, amiből etilén és propilén nyerhető: ezek fontos ipari szénhidrogén

nyersanyagok számtalan termék gyártására benzintől a polimerekig. Legsikeresebb eljárásuk az u.n. oxidatív bi-reformálás nagy hozamú ipari metanol szintézist tesz lehetővé [8] (13. ábra).

A Világ első széndioxidból metanolt gyártó nagyüzeme – amit Oláh Györgyről neveztek el – 2011-ben kezdett működni Svartsengiben (Izlandon) és teljes kapacitását 2012-ben érte el. Ezért az ipari sikerért az Eric és Sheila Samson Miniszterelnöki Díj Alternatív Üzemyanyagok Fejlesztéséért a Közlekedésben kitüntetést ítelték oda. A díjazottak: Oláh György és munkatársa G. K. Surya Prakash (14. ábra). A Samson díjat Izrael Állam alapította abból a célból, hogy csökkentse a nyersolajtól való függőséget.

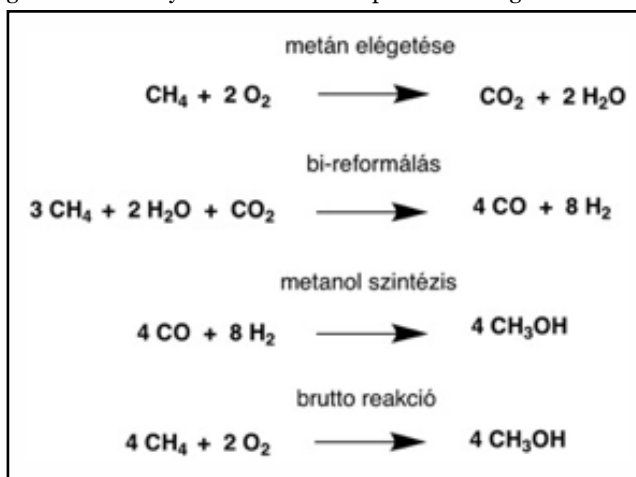
## EGY MAGYAR MITOSZRÓL

A népszerű nézet szerint, amelyben a nemzeti büszkélkedés önsajnálattal vegyül: "Sok Nobel-díjast adtunk a Világnak!" E vélekedés leggyengébb pontja az a szó, hogy adtunk. De két valódi kérdés válaszra vár.

**1. Mi az oka annak, hogy a lakosság lélekszámához képest sok tehetséges fiatal nő fel hazánkban?**

A válasz egyszerű: mindenkor voltak kiváló, önzetlen és odaadó tanáraink, akik tanítványaikban felkeltették az érdeklődést, a lényegeset megtanították nekik és hagyták őket gondolkodni és dolgozni.

**2. Nagy tehetségű felnőtteink miért hagyták el az országot?**



13. ábra Metanol szintézis bi-reformálás útján



Erre próbáljunk választ találni azáltal, hogy összehasonlíttuk Oláh pályafutását az Intézet (KKKI) sorsával, amelyből eltávozott.

**a)** Ha itthon marad, forradalmi bizottsági tagsága miatti politikai retorzió távolította volna el őt az intézet vezetéséből.

**b)** 1962-ben az első karbókation NMR-rel történt azonosításakor a KKKI-ban még nem volt NMR berendezés (Magyarországon sem, az USA-ban is újdonság volt).

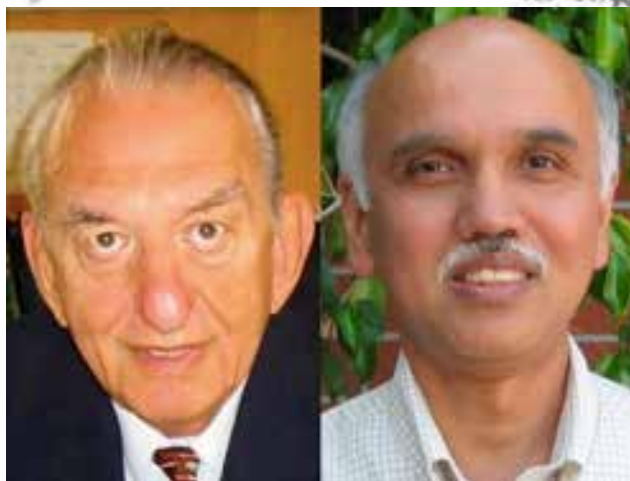
**c)** 1969-ben a norbornil kation szerkezetének bizonyításával Oláh világhírű lett. A KKKI-ban a politikai irányítás elmozdította Schay Gézárt és a kutatómunkát az 1980-as évekig a tudománytól idegen befolyások torzították.

**d)** Az 1980-as években mire Oláh már a Loker Szénhidrogén Kutató Intézetet igazgatta, a KKKI-ban felnőtt új generációk kinőtték a politika negyed-évszázados tudománytalan beavatkozásait és többen is nemzetközi ismertségre tettek szert.

**e)** 1994-ben, amikor Oláh Nobel-díjat kapott, a KKKI nehéz helyzetbe került: a privatizáció miatt elvesztette a hazai gyógyszeripar támogatását, emellett politikai támadás érte (sajnálatos módon egyetemi kollégák részéről is) mint a Sztalinizmus maradványát.

**f)** A 21. század első évtizedében, amikor Oláh előadásokat tartott itthon az általa teremtett Metanol Gazdaságról, a KKKI nehézkes nevét Kémiai Kutatóközpont (KKK) változtatta, anyagi helyzete jelentősen javult és több intézete is elnyerte az EU-tól a Center of Excellence címet az ezzel járó anyagi támogatással együtt.

**g)** 2013-ban a KKK-t más intézetekkel együtt beolvastották az újonnan alapított Természettudományi Kutatóközpontba (TTKK). Az átszervezéskor váratlan esemény történt: a KKK könyvtára (amelynek állományát több mint fél évszázadon keresztül gyűjtötték (és a kémiai könyvtárak között második legnagyobb volt az országban a BME Központi Könyvtára mögött) lebontásra került. Oláh – aki Nobel-díjából könyvtárat alapított a Loker Szénhidrogén Intézetben (és egy kémiai díjat Magyarországon) – úgy vélekedett: „Bármilyen hasznosak is az online szakirodalmat terjesztő, előhívó és kereső rendszerek, a nyomtatott könyvek és



**14. ábra Oláh György (balról) és G. K. Surya Prakash (a foto a ChemViews hírlevél 2013. november 12-i számából származik a Wiley engedélyével)**

monográfia sorozatok könyvtárainkban továbbra is nélkülözhetetlenek tanulásra és kutatásra egyaránt, mert sok olyan szempontra vetnek fel, amelyek nem nyilvánvalóak. Az egyszerű lapozgatás – mikor nem is tudjuk, mit keresünk – nélkülözhetetlen gondolatébresztő tapasztalat” [9].

**h)** A TTKK nehéz diónak bizonyult a kijelölt főigazgató számára; az első három év után távoznia kellett. 60 évvel ezelőtt Oláh – még állást keresve – Alexander Todd társaságában meglátogatott egy akkor alapított egyetemet (University of East Anglia) és meghallgatta a fiatal Alan Katritzky elképzeléseit a létesülő szerves kémiai intézetről. Todd (akkor a Cambridge-i Egyetem tanára) így szólt: „Ha a terveid valóra válnak, néhány évszázad múltán ebből még egy jó egyetem lehet” [10]. Valóban, egy intézet megerősödése időt igényel, akár csak a gyepe Angliában.

Végül próbáljunk választ adni a feltett 2. kérdésre.

Egy kicsi és szegény országban, ahol a társadalmat különböző ideológiák jegyében fogant súlyos politikai ártalmak érték, sokan szenvedtek el igazságtalanságot. A többség ezért visszahúzó, védekező magatartású lett, míg jónéhányan megtalálták a módját, hogy kompenzálják magukat a közösség rovására. Akadtak, akik kárörömmel néztek mások baját. De – szerencsére – mindig voltak olyanok is, akik megőrizték emberségüket, szolidárisak voltak a kiszolgáltatottakkal,

a szenvedőkkel és segítették a túlélést. Mindent egybevéve a társadalmi környezet hazánkban az elmúlt 100 évben gyakran volt rossz – olykor elviselhetetlen – a kultúra kiválóságai számára a zene, a képzőművészetek és a tudományok területén beleértve a Nobel-díjasokat is.

**Simonyi Miklós**  
**Természettudományi**  
**Kutatóközpont**



## IRODALOM

- 1 Olah, G. A. "A Life of Magic Chemistry." Wiley, New York, 2001, ISBN: 978-0-471-15743-4
- 2 Az [1] hivatkozás, 61–62. oldal
- 3 Olah, G. A. J. Amer. Chem. Soc. 94, 808–820, 1972.
- 4 [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1994/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1994/press.html)
- 5 Az [1] hivatkozás, 179. Oldal
- 6 Surya Prakash, G. K., Munoz, S. B., Papp, A., Masood, K., Bychinskaya, I., Mathew, T., Olah, G. A. Asian Journal of Organic Chemistry. 1, 146–149, 2012.
- 7 Olah, G. A., Goepfert, A., Surya Prakash, G. K., "Beyond Oil and Gas. The Methanol Economy" Wiley, 2011, ISBN: 978-3-527-64463-6
- 8 Olah, G. A. Angewandte Chemie International Edition, 52, 104-107, 2013.
- 9 Az [1] hivatkozás, 93. oldal.
- 10 Az [1] hivatkozás, 65. oldal.



# A lenmag

A len (*Linum usitatissimum*) egygyári, kb. 1 méter magasra megnövő zárvatermő kék virágzatú rost-, olaj- és gyógynövény.

**A** mezopotámiai eredetű lent több ezer éve termesztik. Termesztették az ókori Egyiptomban is. A len szárából szövetet készítettek, magjait a mumifikáláshoz is felhasználták. Ma a világon a növény két fajtáját termelik: szálas-lent és mag-lent. A szálas-len főleg Európában nő. A mag-len termesztése világszerte elterjedt.



A len rostjaiból ma is szöveteket állítanak elő és felhasználják speciális papírok előállításához is. A növény magjából olajat készítenek (lenolaj), hasznosítják festékek, lakkok, linóleum, nyomdafestékek, szappanok és sok más termék előállításához is. Ma több mint 2,7 millió tonna lenmagot termelnek évente. A legtöbb lenmagot termelő ország, Kanada, Kazahsztán, Kína, Oroszország, USA, India, Etiópia, Ukrajna, Anglia.

A népi gyógyászatban a lenmag fogyasztását régóta ajánlják székrekedés, hasmenés, gyomorhurut, felső légúti fertőzések és reumás ízületi gyulladások enyhítésére. De ajánlják számos más betegség (cukorbetegség, magas vérnyomás, érlemezés, a szív koszorúér-betegség, szív- és érrendszeri betegségek és az elhízás megakadályozására, valamint diétás súlycsökkentésre is. Helyileg, a bőrfelületre pakolásával, pikkelysömör, égési sérülések, ekcéma és általános bőrgyulladás esetén is felhasználják. A lenmag, lenmag-őrlemény vagy lenmag-kivonatok gyógyhatásainak felderítésére számos kuta-

tás és klinikai kísérlet folyik a világ számos országában. A tudományos irodalomban számos közlemény valószínűsíti, hogy a lenmag hatóanyagainak valóban szerepe lehet a szív- és érrendszeri betegségek, a cukorbetegség, a reumatoid arthritis – az ízületek gyulladással elváltozása – enyhítésében és számos daganatos betegség megelőzésében. A lenmag gyógyhatását kémiai összetevőinek, telítetlen zsírsavaknak és a gyulladást csökkentő antioxidáns polifenol tartalomnak tulajdonítják.

## A LENMAG KÉMIAI ÖSSZETEVŐI

A lenmag egyedülálló az olajos magvak körében, mivel rendkívül magas az alfa-linolénsav (omega-3 zsírsav) és lignán tartalma. Tartalmazza az összes esszenciális aminosavat, ezek közül jelentős mennyiségben glutaminsavat, alanint, aszparaginsavat, arginint, glicint és leucint. Jelentős az E-vitamin tartalma és számos B-vitamint, például tiamint, riboflavint, niacint is tartalmaz. Polifenolok közül hidroxibenzoésavakat és szekoizolarikirezinol tartalmát kell megemlíteni. Az alábbi táblázat a lenmagok egy tipikus összetételét illusztrálja, a kanadai lenmagok irodalomban elérhető átlagos kémiai összetétele alapján.

Természetesen a lenmag kémiai összetéte-

Összetevők	g/100g lenmag
Zsírsavak	39,4
Aminosavak	32
Rost	20
Ásványi anyagok	2,2
Vitaminok	0,6
Polifenolok	2,4
egyéb	3,4

A kanadai lenmag átlagos kémiai összetétele

le függvénye a termesztési hely talajviszonyainak, a mag érettségének és az adott időjárási viszonyoknak is.

## A LENMAG GYÓGYHATÁSAI

A lenmag gyógyhatásaira vonatkozó tudományos adatok és elvégzett klinikai kísérletek kritikai elemzése alapján a Természetes Gyógymódok Átfogó Adatbázisa a lenmag fogyasztását 2-es típusú cukorbetegségben, a zsírsavcsere zavarai által okozott magas koleszterinszintben és a magas vérnyomásban szenvedő betegek esetében „lehetségesen hatásosnak” (valamivel több megbízható adat áll rendelkezésre a hatásosság, mint a hatástalanság megítélésére) ítéli meg.

**NATURAL MEDICINES**  
COMPREHENSIVE DATABASE



„Valószínűen hatástalannak” ítéli meg az adatbázis a lenmagot, illetve kivonatait a csontritkulás gyógyításában.

*A kiegészítő és alternatív gyógymódok tudományos értékelésével, a klinikai információk kritikus összefoglalásával, az állandóan frissített Természetes Gyógymódok Átfogó Adatbázisa foglalkozik az Egyesült Államokban. A gyógymódok hatékonyságának szigorú tudományos megalapozottsága egyes időszakoként igen eltérő lehet attól függően, hogy mennyi megbízható adat áll rendelkezésre és azok mennyire egyértelműek. Ezért a gyógynövények hatékonyságát, vagy hatástalanságát valamely betegség gyógyításában az adatbázis „biztos”, „valószínű” és „lehetséges” jelzőkkel látja el az adatok megalapozottságától függően, aszerint, hogy a hatás meglétét vagy a hatástalanságát kimutató megbízható adatok*

vannak nagyobb számban. A készítmények hatékonyságát állandóan felülvizsgálják és amennyiben az újabb adatok indokolják, a besorolást megváltoztatják

Nevezetesen a klinikai kutatások azt eredményezték, hogy

1) a napi 26-40 gramm lenmag fogyasztása 12 héten keresztül szignifikánsan csökkentette az éhgyomri vércukorszintet a kiindulási értékhez képest a túlsúlyos, glükóz-intoleranciát okozó 2-es típusú cukorbetegségben szenvedő betegeknél,

2) különböző lenmagot tartalmazó készítmények, beleértve a magot, a részlegesen zsírtalanított muffinokat, valamint a lenmaglignán kivonatot, jelentősen csökkentették a koleszterinszintet,

3) a lenmag vagy lenmagolaj, lignánok vagy rostok csökkentették a szisztolés és diasztolés vérnyomás értékeit, a lenmagot nem fogyasztott kontroll csoportokhoz képest.

Az adatbázis az alfa-linolénsavat és lignánokat, különösen a szekoizolaricirezinol diglükozid lignánt jelöli meg a hatékonyságot felelős vegyületekként.

Az adatbázis a 2017-ben frissített adatok elemzése során nem talált jelenleg elegendő megbízható információt, az összes többi – a népi gyógyászatban a lenmagot hatásosnak megítélő – betegség esetében a lenmag hatóságának megítéléséhez. Így például a rákos megbetegedések megelőzésében sem áll elegendő, egyértelműen bizonyító adat a rendelkezésre.

A darált lenmag vagy a lenmagolaj használata nagyon fontos szerepet kapott a modern táplálkozásban különböző ételek elkészítéséhez. Fogyasztásával a szervezet hozzájárulhat az egyik legtisztább tápanyagforráshoz, a szervezet számára szükséges esszenciális zsírhoz, omega-3 többszörösen telítetlen zsír-

savakhoz. Ezek közé tartozik a linolénsav is. A lenmag 35-40 százalék zsiradékot tartalmaz, aminek mintegy 70 százaléka esszenciális, tehát a szervezet számára nélkülözhetetlen. Telítetlen zsírsavak számottevő mennyiségben a tengeri halakban fordulnak elő, az édesvízi halfajtákban általában nem találhatóak meg. Hazánkban a busa zsírja, néhány növényi olaj és magvak, tökmag, dió, valamint a szójabab is tartalmaz telítetlen zsírsavakat, bár sokkal kisebb mennyiségben, mint a lenmag. A szervezet lenolajat tartalmazó sejtjei sokkal ellenállóbbakká válnak, mint a telített zsírokkal ellátott sejtek. A közösségi oldalakon számos recept elérhető lenmag tartalmú ételek elkészítéséhez.

## MELLÉKHATÁSOK

Itt kell megemlíteni, hogy a nyers lenmag fogyasztásakor, bár ritkán, de mint minden más gyógynövény esetében is, mellékhatások léphetnek fel. Mind a Természetes Gyógymódok Átfogó Adatbázisa, mind az Egyesült Államok Nemzeti Egészségügyi Intézete (National Institute of Health, NIH) csak kis mennyiségű lenmag fogyasztását ajánlja bőséges víz bevitelle mellett. A lenmag fogyasztása nagy dózisban elegendő víz nélkül a nyelöcső vagy a belek elzáródását is okozhatja, figyelmeztet az NIH.

Az University of Maryland Medical Center (Baltimore, USA) szerint a felnőttek fogyaszthatnak 1 evőkanál őrölt lenmagot naponta kétszer vagy háromszor, vagy naponta egyszer 2 vagy 4 evőkanállal. (1 evőkanál darált lenmag 8-10 g). Az őrölt magok összekeverhetők gabonával, joghurttal, zabpehellyel, vagy beleszórhatók ételekbe, süteményekbe, nagy adag salátás és zöldséges ételekbe.

Mivel a nyers éretlen lenmag – bár kis mennyiségben – tartalmazhat potenciálisan mérgező cianogén glükozidokat, az NIH az éretlen nyers lenmag fogyasztását kategori-

kusan tiltja. Nem ajánlott lenmag vagy lenmagolaj fogyasztása terhes nőknek sem, mivel az enyhe hormonális hatásokat is kiválthat. Kevés megbízható információ van arról, hogy biztonságos-e a lenmag alkalmazása a bőr ápolása során. A nagy mennyiségű lenmag vagy lenmagolaj okozhat hasmenést is.

Bárkinek, aki nyelöcső-, vagy bél-szűkületben szenved, vagy akinek már elzáródása van ezeken a területeken, nem szabad a lenmagot fogyasztania. Bár a lenmagra fellépő allergiás reakciók nagyon ritkák, több súlyos reakciót jeleztek már. A tünetek közé tartozott a hasi fájdalom, émelygés és hányás. Életveszélyes anafilaxia is előfordult. Az anafilaxia hirtelen vérnyomáscsökkenést és légzési nehézséget jelentő reakció.

Nagy mennyiségű omega-3 zsírsav növelheti a vércukorszintet, ezért az NIH szerint a cukorbetegeknek is óvatosnak kell lenniük a lenmag fogyasztásával. A lenmag növelheti a túlzott vérzés kockázatát is, mivel csökkenti a véralvadás mértékét. Vérzéssel járó betegségben szenvedőknek, vagy a vérhígító hatású gyógyszerek vagy kiegészítők szedése esetén is óvatosnak kell lenniük a lenmag fogyasztásával.

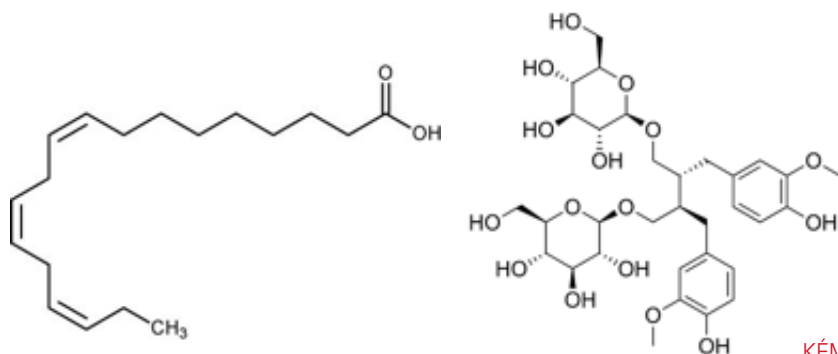
A lenmag kölcsönhatásba léphet a cukorbetegség, magas koleszterintartalom és magas vérnyomás ellen szedett gyógyszerekkel, ezért ilyen gyógyszereket szedő, vagy vérzékenységben szenvedő betegeknek lenmag fogyasztásakor konzultálniuk kell orvosukkal.

**Közszegi Lídia**



## IRODALOM

- Bernacchia R, Preti R, Vinci G, Austin J. *Nutri Food Sci.* 2014. 2(8), 1045  
 B. D. Oomah & G. Mazza, *Food Chemistry* 48 (1993) 109-114  
<http://phenol-explorer.eu/contents/food/809>  
<https://ncih.nih.gov/health/flaxseed>  
*Natural Medicines Comprehensive Database*  
 J Perez, Jimenez, V Neveu1, F Vos and A Scalbert, *European Journal of Clinical Nutrition* (2010) 64, S112-S120  
 J.L. Adolphe, S.J. Whiting, B.H.J. Juurlink, L.U. Thorpe, J. Alcorn. *British Journal of Nutrition*, 103 (2010), pp. 929-938  
 S. Fukumitsu, K. Aida, H. Shimizu, K. Toyoda, *Nutrition Research*, 30 (2010), pp. 441-446  
 Ankit Goyal, Vivek Sharma, Neelam Upadhyay, Sandeep Gill, and Manvesh Sihag, *J Food Sci Technol.* 2014 Sep; 51(9): 1633-1653.



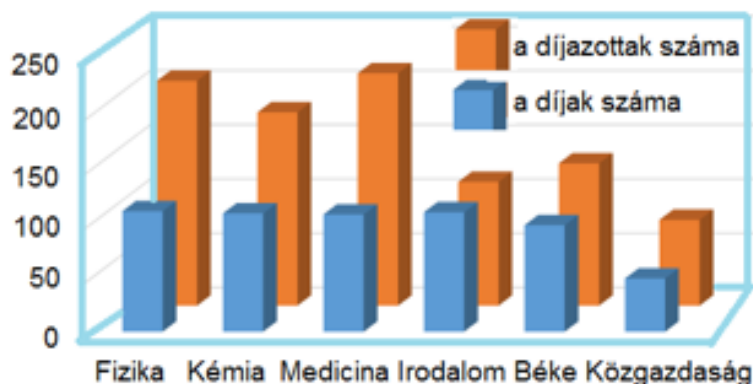
Alfa-linolénsav

Szekoizolaricirezinol diglükozid

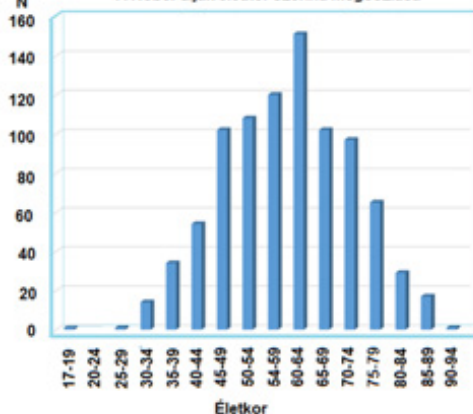


# Nobel-díjak 2017-ben

A Nobel-díjak és díjazottak száma 1901-2017 között



A Nobel-díjak életkor szerinti megoszlása



## FIZIKA

**Rainer Weiss, Barry C. Barish és Kip S. Thorne**

„a LIGO detektorhoz való döntő hozzájárulásukért és a gravitációs hullámok megfigyeléséért”

## KÉMIA

**Jacques Dubochet, Joachim Frank és Richard Henderson**

„krio-elektronmikroszkópia kifejlesztéséért és oldatfázisú biomolekulák nagy felbontású szerkezet-meghatározásáért”

### NÉHÁNY ADAT A NOBEL-DÍJAK TÖRTÉNETÉBŐL

Nobel-díj	Díjak száma	Díjazottak száma
Fizika	111	207
Kémia	109	178
Fiziológia vagy Orvostudomány	108	214
Irodalom	110	114
Béke	98	131
Közgazdaság	49	79
Összesen:	585	923

## FIZIOLÓGIA VAGY ORVOSTUDOMÁNY

**Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash és Michael W. Young**

„a napi biológiai ritmust szabályozó molekuláris mechanizmusok felfedezéséért”

## IRODALOM

**Kazuo Ishiguro**

„a világgal való illuzórikus kapcsolatunk mélységét feltáró, hatalmas érzelmi erejű regényeiért”.

## BÉKE

**Az atomfegyverek betiltásáért küzdő nemzetközi civil szervezet, az ICAN**

„a nukleáris fegyverek használatának humanitárius következményire történt figyelemfelhívásért, valamint az ilyen fegyverek szerződésen alapuló tilalmának elérésére irányuló áttörő erőfeszítésekért”

## KÖZGAZDASÁG

**A Sveriges Riksbank Díja Alfréd Nobel emlékére**

**Richard H. Thaler**

„a viselkedési közgazdaságtanhoz történt jelentős hozzájárulásáért”

A díjazottak közül 5 házastárs, 8 szülő-gyermek pár és 1 testvérpár, 4 tudós és 1 szervezet kétszer, 1 szervezet háromszor kapott díjat.



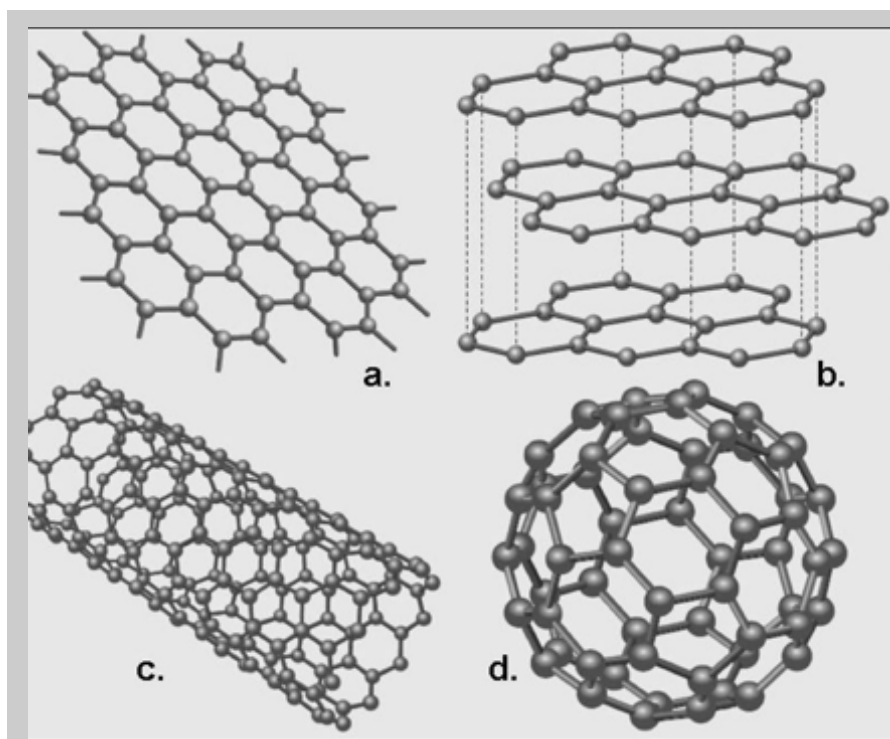
# 3D szerkezetek alacsony dimenziójú szén allotrópokból

Az új szén allotrópok előállítására és vizsgálatára valósággal „ráugrott” a tudományos közösség.

Tízezernyi tudományos cikk és sok száz szabadalmi bejelentés rendkívüli hő- és elektromos vezetési tulajdonságot, szokatlanul nagy szilárdságot jelez a szerkezetet fenntartó szénatomok  $sp^2$  hibridizációjának következtében.

**A** szén új allotrópjai, a fullerén {Croto, Curl, Smalley (1), 1985} és a szén nanocső {Iijima (2), 1991} felfedezése, majd az atomi vastagságú egyetlen szénatomos réteg, a grafén {Geim, Novoselov (3), 2004} izolációja az utolsó 30 év nagy szenzációja mind a kémiában, mind a fizikában [1. ábra]. Ezek az allotrópok korábban is előfordultak az ember környezetében, csak nem kerültek a tudományos figyelem fókuszába, még nevük sem volt. A grafén minden grafit kristályban megbújt, elméleti számításoknak tárgya volt, az elektronmikroszkópos szakemberek a maga fizikai valóságában is találkozhattak vele.

A tudományos szakirodalomban alakult ki az a gyakorlat, hogy a Buckminsterfullerén (C<sub>60</sub>), és a szén nanocső esetében „felfedezés”, a grafén esetében „izoláció” a szokásos szóhasználat. A nanoszerkezetek intenzív vizsgálata, a nanotudomány alakította ki az „alacsony dimenziójú szerkezetek”, az 1D és 2D szerkezetek elnevezést. Itt nem geometriai értelemben vett 1D és 2D idomokról van szó. Szokássá vált azokat az anyagokat, amelyek részecskéi kettő, ill. egy dimenzióban nanométeres méretűek 1D, illetve 2D szerkezeteknek nevezni aszerint, hogy hány dimenzióban nem nanométerűek. A 3D szerkezet elnevezés olyan testekre vonatkozik, amelyek nem



**1. ábra.** Szén allotrópok sematikus ábrázolása, **a:** grafén; **b:** grafit (grafén rétegek egymáson); **c:** szén nanocső (grafén feltekeredve); **d:** C<sub>60</sub>, Buckminsterfullerén (grafén felületű, 20 hatszögű és 12 ötszögű lappal határolt poliéder).

tömörek, nanopórusokat tartalmaznak és 1D, illetve 2D szerkezetek egymásra épüléséből származtathatók (4, 5).

Kezdetektől óriási volt a várakozás. A kutatók, mérnökök, ipari befektetők tényleges áttörést vártak számos területen a nanoelektronikától és a

fotonikától a biológiai alkalmazásokig. A szakmai várakozásokon túl a tudáspolitikai is tervbe ill. számításba vette az új szén allotrópok, ezen belül elsősorban a grafén várható hatását a műszaki, gazdasági életre és a társadalomra. Az Európai Unió

egymilliárd Eurós grafén-kutatási programot szavazott meg a grafén zászlóshajó „Graphene Flagship: a Future and Emerging Technology Flagship” program számára (6).

Valóban vannak eredmények, de ezek átütő ereje - legalább is a csúcstechnológiában - egyelőre elmarad a várakozásoktól, amint ezt Mark Peplow, a Nature szemléírója megállapítja 2013-as elemzésében (7). Bár azóta is jelentékeny erőfeszítések történtek mind a szén nanocső, mind a grafén olcsó és megbízható előállítására (egyes termékek már kereskedelmi forgalomban is vannak) az előállítási módszerek még messze nem tekinthetők teljesen megoldottnak. A nanocső legáltalánosabb előállítása nagy térfogatú reaktorokban történik különféle szén-tartalmú prekursorokból;

”  
A grafén tinták  
piaca egyre nagyobb  
választékot kínál

”  
az elsődleges termék különböző hosszúságú egyfalú és többfalú, vezető vagy félvezető nanocsövek keveréke. Ezeknek a termékeknek a szétválasztása megoldható, de nem egyszerű feladat. Grafént a folyamatosan javuló eljárások egyre nagyobb felületű lemezkék formájában igyekeznek kibocsátani. A grafén mint termék előállítására jelenleg két alapvető módszer van. Nagyfelületű elsősztályú réteget kémiai leválasztással, vagy szelektív maratással megfelelően megválasztott hordozón lehet előállítani. A hordozóról a grafén lefejtése és a végfelhasználó felületre történő felvitele további komoly technológiai kihívás. Másodosztályú, kislefelületű, egy-két réteges grafént és grafén-oxidot grafit agresszív oxidációjával, roncsolással nyernek. Ennél a módszernél a grafén lemezkék agglomerációra való hajlandósága jelent

megoldandó feladatot.

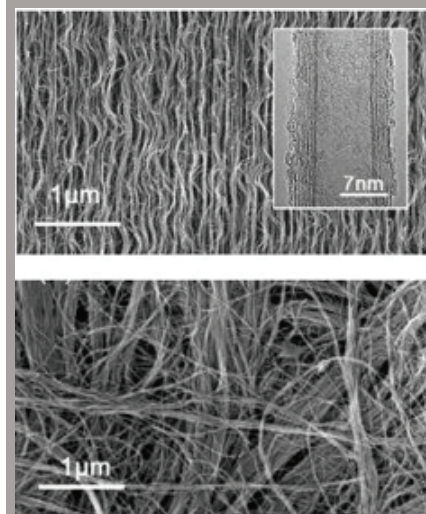
A szén nanocső felfedezése és az izolált grafén tulajdonságainak megismerése óta folyamatos erőfeszítések történtek az alacsony dimenziójú szerkezetek különleges, rendkívül kedvező tulajdonságainak a gyakorlatilag alkalmazható 3D testekre történő kiterjesztésére. Még ezek a próbálkozások sem átütő erejűek, de ígéretes eredmények és jelentős tulajdonság-javulások már tapasztalhatók.

Mik is lehetnek ezek a 3D testek? Itt elsősorban folyadék fázisból, vagy szuszpenzióból leválasztott szerkezetek, filcek, ill. tintákból, festékekből leválasztott rétegek jönnek számításba; rétegek, amelyek esetleg csak kevésszámú egymás fölött elhelyezkedő 2D lemezkét tartalmaznak, de akár makroszkópos, vastagságuk is lehetnek. Ezeken kívül cm-es vastagságú, vagy ennél is sokkal nagyobb nyitott szerkezetek, szivacsok, habok, nanopórusos váz szerkezetek is kívánatosak lennének mind az energia ipar (pl. szuperkondenzátorok, akkumulátorok), mind a biológiai alkalmazások (pl. implantátumok) fejlesztése szempontjából. A levegő sűrűségéhez hasonló, esetleg annál kisebb sűrűségű mechanikailag terhelhető testek vonzóak lehetnének mint szerkezeti anyagok a légi közlekedés számára is; a hélium gáz szén habbal történő helyettesítése a léghajózásban új lehetőségekkel kecsegtet. Kérdés természetesen az, hogy mennyiben maradhatnak meg a reális 3D szerkezetekben a natív nanocsövek és grafén lemezkék kiemelkedő képességei. Ez a kérdés azért nagyon éles, mert az eddigi kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a kristályhibák, a szemcsehatárok már 2D-ben is drasztikus tulajdonságromlást okoznak; a grafén kiváló tulajdonságai csak hibátlan grafénban érvényesülhetnek.

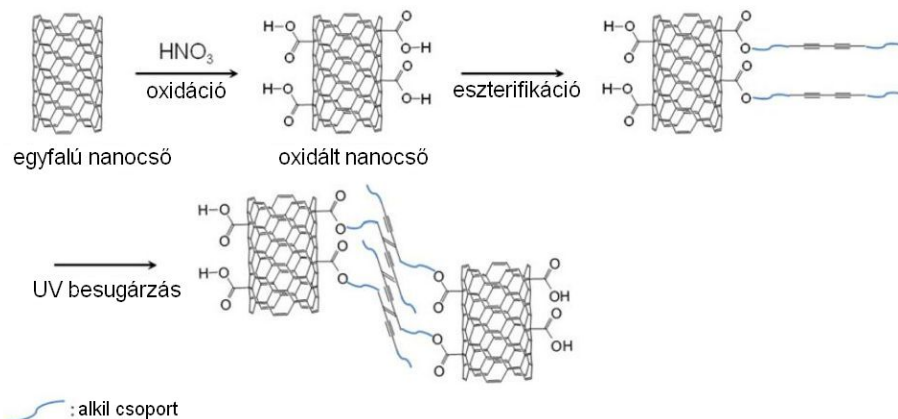
Tanulmányok a Massachusetts Institute of Technology (MIT) munkatársai által végzett szimulációk

és ezek egybevetése az általuk végzett kísérletekkel. A kutatók grafén alapú gyroid szerkezetekből 3D testeket állítottak elő grafén lemezkék hő- és nyomás-kezelésének kombinációjával. Az így előállított szilárd test sűrűsége mindössze 5 százaléka az acél sűrűségének, miközben mechanikai szilárdsága (húzási és nyomási terhelhetősége) annak tízszerese (8). A kutatócsoport a szilárdság atomisztikus modellezésével méretfüggő szimulációkat is végzett. A szimulációkból érdekes következtetéseket vontak le. Elvileg valóban lehetséges lenne héliumhelyettesítő testeket grafén gyroidokból előállítani, de ezek a testek a tényleges használatához elég nagy méretekben nem lennének eléggé szilárdak, a külső légnymástól összeroppannának.

Az alábbiakban a nanoszerkezetű szén néhány 3D alkalmazását mutatjuk be, amelyek kereskedelmi forgalomban



2. ábra. Elektronmikroszkópos felvételek (fent) összerendezett CNT-ből (carbon nanotube, szén nanocső) készült buckypapír merőleges metszetéről, beillesztett nagyfelbontású elektronmikroszkópos képpel; (lent) rendezetlen CNT-ből készült buckypapír merőleges metszet képe. Wang dolgozatának felhasználásával (10).



**3. ábra. Buckypapír előállítási sémája**

**funkciós csoportokkal ellátott nanocsövekből. Chen (7) dolgozatának felhasználásával.**

kapható termékek, vagy csak prototípusok ill. ígéretes laboratóriumi minták.

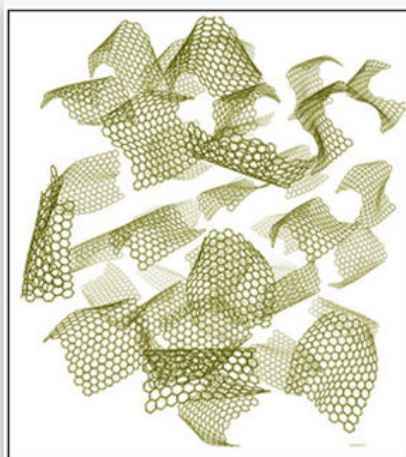
Az 1D nanodimenziós szénből készített makroszkópos 3D szerkezetek sikeres példája a jó elektromos- és hővezető képességű buckypapír (buckypaper). A buckypapírok szén nanocsövek kusza szövevényéből létrejött nagy porozitású membránok [2. ábra]; az 1D szénecsövek szabálytalanul egymáson helyezkednek el háromdimenziós mikro-, vagy akár makro-szerkezetekben (9). A szerkezetet a natív nanocsövek közötti van der Waals kölcsönhatás, vagy funkciós csoportokkal ellátott nanocsövek közötti kémiai kölcsönhatás tartja egyben. A „buckypapír” név az elsőnek felfedezett  $sp^2$  hibridizációjú szénatomokból álló – Buckminsterfullerén névre utal. A buckypapír első előállítása szén nanocső szuszpenziók szűrésével történt: mikropórusos membrán felületén filcszerű, papír vékonyságú réteg maradt fenn. Ma is ez a módszer a kereskedelemben árusított buckypapír termékek előállításának alapja, fajtái elsősorban abban különböznek egymástól, hogy az előállításhoz milyen oldószereket, oldószer kombinációkat, ill. natív, vagy kémiailag módosított felületű szénecsöveket alkalmaznak. A buckypapír

már kereskedelmi forgalomban van, többféle gyártótól kapható tekercsben, illetve a felhasználó által megrendelt formában. A buckypapír szerkezetek porozitása, elektromos- és hővezető képessége, mechanikai szilárdsága széles tartományban hangolható a felhasznált nanocső fajtájától, méretétől, függően.

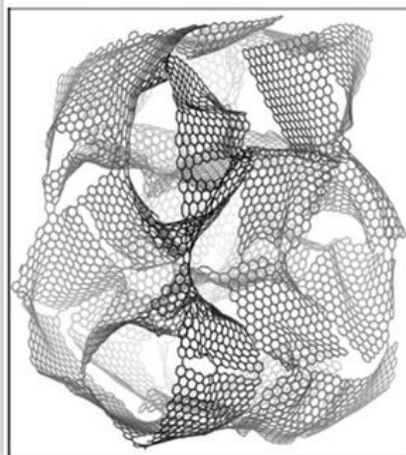
Külön típust képeznek azok a buckypapírok, amelyeket felületkezeléssel aktivált nanocsövekből állítanak elő (11). Ez rendszerint kémiai átalakítást jelent: olyan funkciós csoportokat visznek fel a nanocső falakra amelyek besugárzás, vagy egyéb további kezelések hatására konjugált keresztkötéseket hoznak létre a nanocsövek között [3. ábra] (12). Bizonyos felhasználásoknál előnyös és megoldott az eredendően rendezetlen irányú szén nanocsövek párhuzamos elrendezése (13). A buckypapír kinézete és kezelési módja az autóiparban, repülőgépgyártásban használatos szénszállal erősített szén szövetekéhez hasonló. Szerkezeti tulajdonságai, porozitása, elektromos vezetőképessége alapján számos alkalmazása van már és még több egyelőre kutatási fázisban. Felhasználása sokrétű a mikrotechnológiában is; jelentősége kiemelkedő repülőgépek villámcsapás védelmében. A megfelelően

megválasztott buckypapír műgyanta infiltrációval magas széntartalmú kiváló hő- és elektromos vezetőségű kompozit formálható (13).

A másik, széles körben használható 2D -> 3D alkalmazás a grafén alapú elektromosan vezető tinta (14). Ide értjük azokat a grafén, illetve redukált grafén-oxid (RGO) szuszpenziókat, amelyekből printeléssel vagy elektro spray módszerrel különféle kiváló elektromos vezető réteges szerkezetek tömöríthetők. Egyes mikroelektronikai eszközökbe a grafént direkt módon printeléssel integrálják. Printeléskor a szuszpenzió grafén lemezkéi egymásra halmozódnak (3D szerkezet). A printelhető elektromos tintákban található grafén a legtöbb termék esetében grafit exfoliációjából (hántolásából) származik és már az exfoliáció módszerének megválasztásánál is számításba veszik a grafén tinta várható felhasználását. Az oldószerben kíméletes ultrahangos rázással megvalósított exfoliáció a grafén lemezkéket szuszpenzió formájában hozza létre; a grafén szuszpenzió fenntartásához stabilizátorokat használnak, amelyek segítségével a tinta viszkozitása, felületi feszültsége, nagy koncentrációjú stabilitása finoman hangolható (15). A grafén tinták piaca



Szolvotermális reakció



Grafén szivacs

**4. ábra. Oldószerben diszpergált grafén-oxid lemezek konverziója grafén szivaccsá (17).**

egyre nagyobb választékot kínál és esetenként egyre irreálisabb elvárásokat kelt (a Google keresőben „Grafént minden konyhába!” jellegű hirdetésekre is bukkantunk, amelyben a grafén festék házilagos kivitelű felvitelét ajánlják).

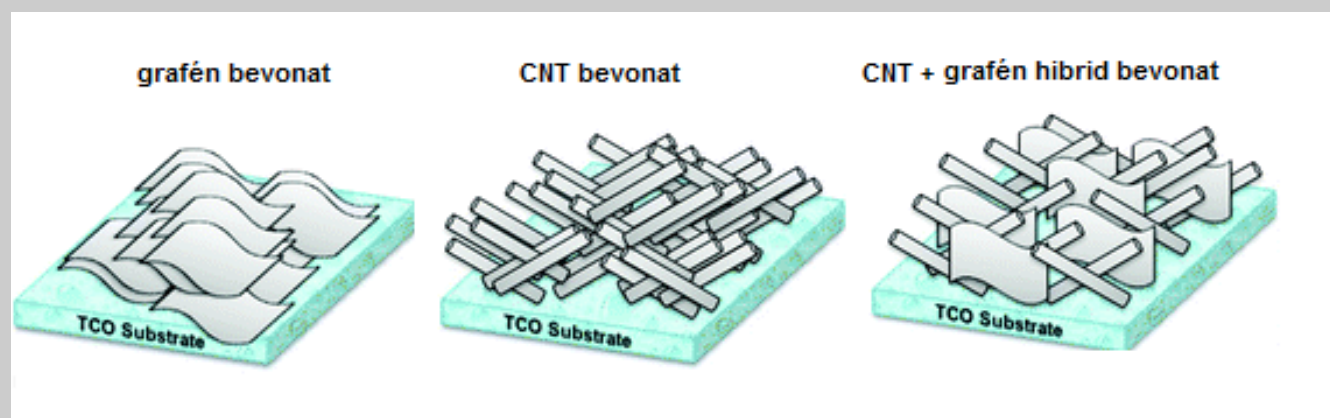
Az elektromosan vezető tintából elektro spray módszerrel nemcsak grafént, hanem egyéb aktív összetevőket tartalmazó szuszpenziókat is fel lehet vinni különböző hordozókra. A hordozó maga is lehet egy szén allotróp. A következő generációs fűtőanyag cellák elektródái feltehetőleg valamilyen grafén-korom hibrideket alkalmaznak majd a tároló kapacitás növelésére (16). Az a felismerés, hogy a szén-korompapírok grafénnal hibrideket képeznek jelentősen kitágítja és olcsóbbá teheti a grafén felhasználását.

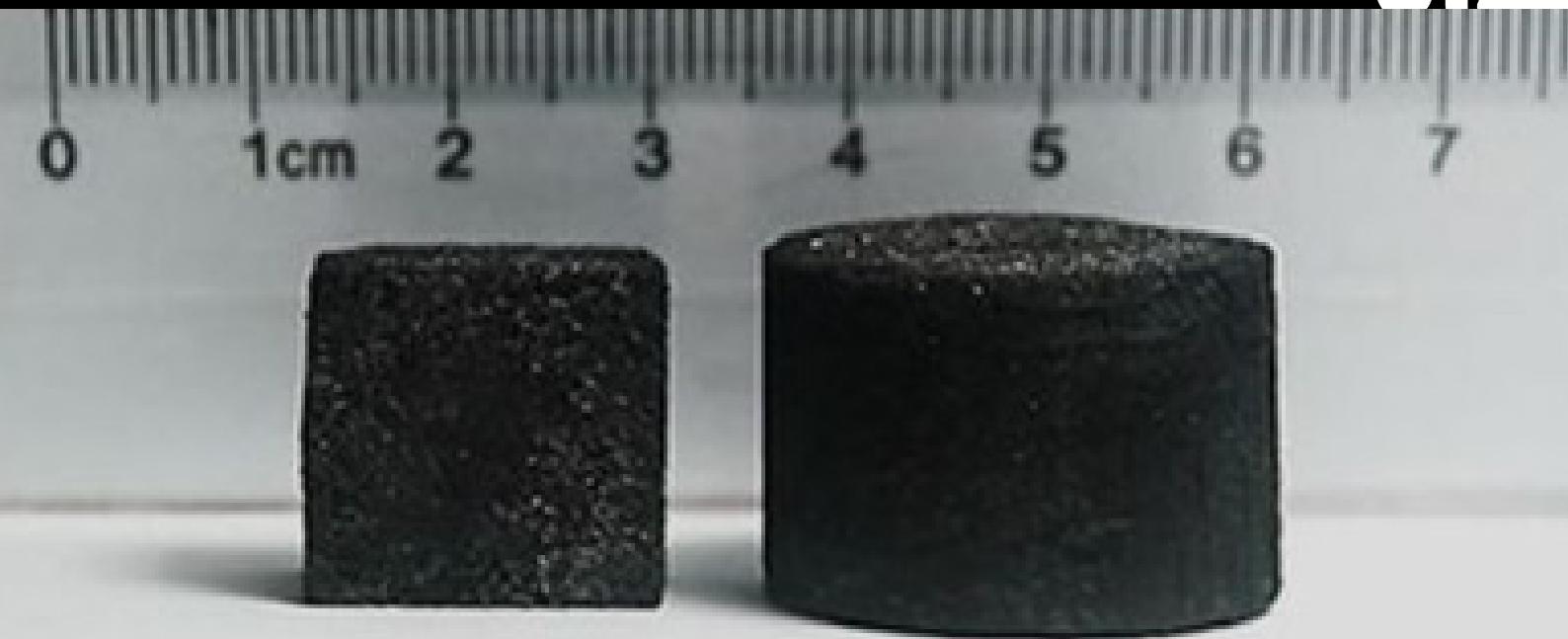
További lehetséges alkalmazások céljából grafén adalékkal hőszigetelő bevonatokat, kenőanyagokat, polimer- és kerámia kompozitokat is előállítanak már. Ezekben az anyagokban a kiváló tulajdonságú grafén egyes előnyeit szeretnék 3D testekben, rétegekben, bevonatokban alkalmazni. Ezek feltétele a grafén lemezek perkolációja az alkalmazástól függő mátrixban.

Nagyfelületű, külső házfalakra alkalmazható grafit festékektől „ingyenes energiát”, napelem kiváltást is remélnék a fejlesztők.

A grafit exfoliációjából kapott grafén, ill. redukált grafén-oxid részecskéket sikeresen be lehet vezetni a már jól ismert szén-korom-alapú technológiákba. Egy radikálisan új próbálkozás a szén nanocsövek és grafén lemezek öntartó, skálázható tömörítése adalékmentes 3D-makrotestek: szivacsok, aerogél, szénhab előállítására. Ezeknek a szén szivacsoknak a sűrűsége közel van a levegő sűrűségéhez, a Poisson állandójuk mind a három tér-irányban közel zérus, és alig függ a terheléstől. Reverzibilis a gáz és folyadék abszorpciójuk. A grafén hab és szivacs előállítására alkalmas módszerek jelenleg grafit exfoliációjából indulnak ki: először grafén-oxidból állítják elő a 3D szerkezetet (a grafén-oxid sokkal könnyebben kezelhető és diszpergálható mint a grafén), majd ezt egy következő lépésben grafénné redukálják. A grafén-oxid redukciója során általában nemcsak az oxid oxigénjét távolítják el, hanem a grafénon az exfoliáció során kialakult funkcionális csoportokat is. Yinpeng Wu és munkatársai 1-2 cm-es méretű szivacsos testeket állítottak elő 20-50  $\mu\text{m}$  laterális méretű redukált grafén-oxid lemezekből [4. és 5. ábra].

**6. ábra. 3D szén allotróp elektromosan vezető bevonatok fotóanód felületen foto-elektrokémiai vízbontó cellában (19). TCO substrate: transparent conducting oxide átlátszó vezető oxid hordozó.**





5. ábra. Tömörített grafén szivacs fényképe (17).

Az előállítás során a grafit exfoliációból nyert grafén-oxidot folyamatos oldószer-cserék után vizes közegből fagyasztva szárították (17). A kínai egyetemi és állami kutatási központok egyszerű és iparilag alkalmazható módszereket kutatnak (18) szivacsos szerkezetű grafén golyók előállítására (100  $\mu\text{m}$ -tól akár néhány mm-es átmérőig). Shu Wan és munkatársai grafén-oxid vizes szuszpenziójából cseppfolyós nitrogénbe cseppentéssel granuláris grafén-oxidot készítenek, majd a grafén-oxidot hidrazinnal redukálják grafénná. Az így nyert szivacsos grafén golyók nagy fajlagos elektromos kapacitással és a saját tömegüknek százszorosát lekötő képes olaj-megkötő adszorpciós kapacitással rendelkeznek.

A 3D szén allotróp testek különleges csoportját képezik a nanocső-grafén hibridek [6. ábra], amelyeket önállóan, vagy különböző hordozókon vezetőképesség-növelő bevonatként alkalmaznak (19). A hibrid alkalmazások nagy előnye az egyéb 3D szerkezetekhez képest, hogy a két komponens szinergiája lényegesen csökkenti mind a grafén, mind a nanocső agglomerizációs hajlamát.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy

az alacsony dimenziójú szén allotrópok 3D alkalmazásai még keresik a helyüket a termék szintű alkalmazásokban. A buckypapírok és elektromosan vezető tinták már kereskedelmi forgalomban vannak. A grafén szivacsok előállítására és az alkalmazásuk iparilag hasznosítható megvalósítására jelenleg

nagy erőfeszítéseket fordítanak. A makroszkópos méretű szivacsos grafén testek várhatóan hasznosítást találnak majd az energiaiparban és a biológiai implantátumokban.

**Rónainé Pfeifer Judit**  
**MTA EK Műszaki Fizikai és**  
**Anyagtudományi Kutatóintézet**



#### IRODALOM

1. Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F. & Smalley, R. E. *Nature* 318, 162–163 (1985).
2. Iijima, S. *Nature* 354, 56-58 (1991).
3. Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva I. V., Firsov A. A. *Science* 306, 666-669 (2004).
4. Beck M. *Természet Világa*, 127, 482-485 (1996).
5. Andrea C. Ferrari és mások, *Nanoscale*, 7, 4598 (2015).
6. Molnár Cs. <https://molnarcasaba.wordpress.com/2015/07/11/az-aceInal-is-erosebb-atlatszo-anyage-a-jovo/>
7. Peplow, M. *Nature* 503, 327-329 (2013).
8. <http://news.mit.edu/2017/3-d-graphene-strongest-lightest-materials-0106>
9. <http://www.nano-lab.com/buckypaper.html>
10. Wang, D., és mások. *Nanotechnology* 19, 075609 (2008).
11. Chen, I-W. P. és mások. *Nanotechnology* 22, 485708 (2011).
12. Trakakis, G., és mások. *Materials* 6, 2360-2371 (2013).
13. <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282012005000017>
14. Novoselov, K. S. és mások. *Nature* 490, 2091-2102 (2012).
15. <http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/technology-spotlights/graphene-inks-for-printed-electronics.html>
16. Sanli, S. I. és mások. *J. Mater. Sci* 52, 2091-2102 (2017).
17. Yinpeng Wu, és mások. *Nature Communications* 6, 6141 (2015).
18. Shu Wan és mások. *Scientific reports* 6, 32746 (2016). doi:10.1038/srep32746
19. Kim, J. Y., és mások. 2012, *Royal Soc. Chem.* 2, 9415-9422 (2012).

# A szerves kémiától a stresszelméletig

A „stressz” egyetlen szóban kifejezi az élet nehézségeit egy bizonytalan világban. Mivel számtalan módon érinthet, és masszázsterápiától vitaminokon át a meditációig mindenféle eszközzel harcolunk ellene, a szó mindennapi fogalommá vált. Csaknem minden rosszért – ami megtörténhet valakivel – részben felelőssé tehető. Olyan népszerű, hogy tudományos alapjairól gyakran megfeledkezünk. A stressz összekovácsolta az orvostudomány és a lélektan egykor megszakadt szövetségét.



## TANULMÁNYAI

Selye János Hugó Brúnó 1907. január 26-án született Bécsben, Maria Felicitas Langbank és Selye Hugó orvos-családból származó sebész gyermekeként. Az elemi oktatást otthon kapta a nevelőnőjétől, később a komáromi bencések gimnáziumába járt. 1924-ben kezdte orvosi tanulmányait a Prágai Német Egyetemen, egy évet más egyetemeken töltött (Párizsban és Rómában) mielőtt 1929-ben megszerzte a doktorátust. Ezután folytatta posztgraduális tanulmányait a szerves kémia területén, amiből 1931-ben újra doktorált. Kivándorolt az Egyesült Államokba, és egy évet a Johns Hopkins Egyetemen töltött, majd a montreali McGill Egyetemre ment át, ahol 1933-ban a biokémia előadója lett.

## MUNKÁSSÁGA

Gyakran beszámolt róla, hogyan alakult ki a stressz fogalma, ami érdekes tanmese felfedezésről, csalódásról és látomásról. Az ötlet 1925-ben villant fel benne, amikor még orvostanhallgató volt. A klinikai gyakorlat során azon tűnődött, vajon miért van az, hogy olyan sok különböző betegségben szenvedő páciens mutatja ugyanazokat a kezdeti tüneteket. Lepedékes nyelv, általános fájások és sajgások, gyomorproblémák, fogyás és más tünetek sok olyan betegségekre jellemzők, amelyeket az orvosok megállapítanak, de rendszerint kevés figyelmet szentelnek nekik. Sokkal inkább figyelik egy bizonyos betegség sajátos jeleit, a mumpsznál például a fültömirigy megduzzadását. Selye eltűnődött rajta, hogy ennyi sokféle betegség esetében miért van ilyen sok közös tünet, különösen a korai szakaszban.

Egy évtizedre elvesztette szem elől ezt a „rossz közérzet szindrómát”, de 1935-ben



ismét felfedezte. Miközben egy új szarvasmarhahormont keresett, tehenek petefészkének hormonkivonatát fecskendezte patkányokba, ami jellegzetes tünetet idézett elő az állatokon. A mellékvese kérge megnagyobbodott, a csecsemőmirigy kisebb lett, vérző fekélyek jelentek meg a gyomorban és a belekben. Ilyen tünetcsoportokat korábban még nem figyeltek meg. Selye fellelkesült, mert először azt hitte, új nemi hormonra lett.

De lelkesedése nem tartott sokáig. Amikor a patkányokat különféle szervekből - lépből, vesékből, méhlepényből - készült kivonatokkal oltotta be, azok ugyanazt a három tünetet produkálták. Már nem reménykedett benne, hogy új hormont talált, és egészen kétségbeesett, amíg mint később írta, „pillantásom rá nem esett egy üveg formalinra, amely véletlenül ott volt a polcon az orrom előtt”. Ezt a mérgező folyadékot szövetek tartósítására használják, Selye most ezt fecskendezte be a laboratóriumi állatokba, ugyanazzal az eredménnyel. Úgy látszott, bármilyen mérgező anyag ugyanolyan reakciószorozatot vált ki.

Ekkor eszébe jutott, amit orvostanhallgató korában tapasztalt. Visszaemlékezett azokra a korai tünetekre, amelyek számos fertőző betegségben szenvedő páciensen megjelentek. Valami hasonlót ismert fel a patkányok megnövekedett mellékveséjében, összehúzóerősödött csecsemőmirigyében, vérző fekélyeiben. Az is eszébe jutott, hogy sok különböző betegségnél lényegében ugyanazt a kezelést alkalmazzák, a betegnek azt tanácsolják: pihenjen, egyen könnyű ételeket és tartsa magát melegen. „Ha be tudjuk bizonyítani, hogy a szervezetnek van valamilyen, nem specifikus reakciómintája - írta - amellyel a betegségeket okozó különböző lehetséges ingerekre válaszol, ez a védekező válasz szigorúan objektív, tudományos

Tíz egymást követő évben jelölték Nobel-díjra, de soha nem kapta meg



elemzésre ad lehetőséget.” Megszületett a stressz fogalma.

### A STRESSZ-ELMÉLET

Selye első cikkét a stresszről a *Nature*-ben tette közzé, a szerkesztőhöz írt levél formájában. Hamarosan kifejlesztette az

Általános Alkalmazkodási Tünetcsoportot (angolul G.A.S), amelyre megadta a stresszválasz háromfokozatú magyarázatát. A stressz első fokozata a riasztási válasz, ezt követi az ellenállási fokozat és végül a kifáradás fokozata. Ezek nem véletlenszerű kifejezések: azzal a móddal állnak kapcsolatban, ahogy a test kibocsátja a rendelkezésére álló mellékvese-kérgi hormonokat,

feltölti, végül pedig kimeríti őket. Selye kezdetben tisztán hormonális jellegűnek látta a stresszreakciót. Később felismerték a hipotalamusszal kapcsolatban álló agyalapi mirigy fontosságát és annak szerepét a stresszválaszban. Mostanában feltételezik, hogy a neurotranszmitterek kormányozzák a neurohormonok kiválasztását, amelyek viszont a stresszválaszért felelős adrenokortikotrop hormon kiválasztását szabályozzák. Mint minden, ami kapcsolatban van az aggyal, a stressz kémiája is további megismerésre vár.

A stressz-elméletet nem fogadták el azonnal. A fogalmat bírálta a kitűnő Walter B. Cannon, a homeosztázis modern fogalmának megalkotója. Mindazonáltal számíthatott *Sir Frederick Banting* támogatására. A kanadai tudós, aki a cukorbetegség inzulinos kezelésének úttörője, segített neki, hogy elnyerjen egy kisebb kutatói ösztöndíjat. Noha még néhány éven át tartott az ellenállás a stresszelmélettel szemben, Selye 1950-es *Stressz* című monográfiája tekintélyes mennyiségű kísérleti bizonyítékot sorolt fel. Selye elkezdett évkönyvet kiadni a stresszrel kapcsolatban, és az endokrinoló-

gia új felfedezései javarészt alkalmasak voltak az elmélet megerősítésére.

Saját és mások kutatásainak segítségével nagyszámú rendellenesség (szív- és érbetegségek, gyulladások, allergiás reakciók) esetében azonosítani tudta a stresszválasz összetevőit. Gyakran vannak

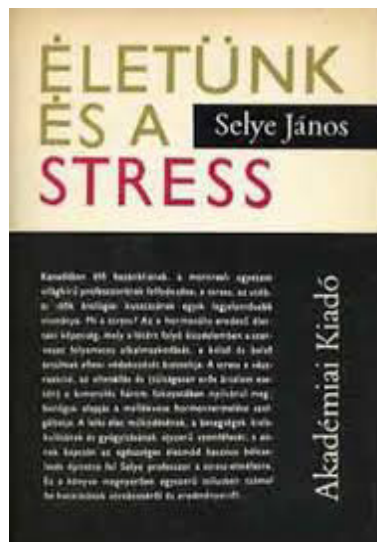
kapcsolatban a stresszel a különböző pszichoszomatikus zavarok az emésztési problémáktól az elhízáson át a szexuális rendellenességekig. 1975-re Selye azzal büszkélkedhetett, hogy száztízezer (!) publikáció jelent meg a stresszrel kapcsolatban, csak ő maga harminc könyvnek és ezeröttszáz (!) cikknek volt a szerzője.

Tudományos könyvei mellett népszerű és ötletes könyveket is írt. 1956-ban jelent meg az

*Életünk és a stressz*, a széles körben olvasott klasszikus, néhány évvel később a *Stressz distressz nélkül*. Selye, aki tisztában volt az önkifejezés és a kreativitás fontosságával, a transzcendentális meditációval és a Krisna-hittel is foglalkozott.

A stressz-elméletnek - noha kellően elfogadtatta magát - sokféle kihívással kellett szembenéznie az utóbbi években. A mai stresszszakutatók néha megkülönböztetnek társadalmi, lélektani, élettani stresszt. Legújabbán a „megbirkózás” elmélete került előtérbe. Rámutatva a hormonrendszer rendkívüli érzékenységére az érzelmi ösztönzésekkel szemben, *Richard S. Lazarus* stresszszakutató és mások vitatják azt az alapeszmét, hogy a stressz pusztán nem specifikus reakció a stresszt okozó hatásra. Ilyen módon ha valaki *fázik*, az nem váltja ki szükségszerűen ugyanazt a stresszválaszt, mint ha *nagyon fázik*. Ez csupán hangsúlyeltolódás, ami tükrözi a fogalommal foglalkozó pszichológusok érdeklődését és a stressz különböző kezelési módjainak egyre növekvő fontosságát.

Selye János energikus tudós volt, örökké ápolt és fitt, aki tíz nyelven beszélt. 1945-től 1977-es visszavonulásáig a



Montreali Egyetem Kísérleti Orvostudományi és Sebészeti Intézetének igazgatója és professzora volt. Ugyanakkor ő lett az elnöke a Nemzetközi Stresszintézetnek is, amelyet 1976-ban alapított. Élete folyamán tíz egymást követő évben jelölték Nobel - díjra, de sajnos soha nem kapta meg.

1930-ban Frances Rebecca Love-ot vette feleségül, 1949-ben Gabrielle Gran-ot, 1978-ban Louise Drevet-t. Megszállottan dolgozott, és Életem stressze című önéletrajzának tanúsága alapján nem lehetett könnyű együtt élni vele. Selye János 1982. októberében hunyt el Montrealban.

### A HAGYATÉK

Selye Jánosban felmerült 1973-ban a gondolat, hogy igen gazdag – kb. 1 millió könyvet és folyóiratot tartalmazó – könyvtárával szeretne hazatelepülni. Úgy gondolta, hogy három év az 1976-ban esedékes nyugdíjba vonulásáig elég az ügyek intézésére. És innentől indult a „magyar betegség”, amiről Marx György írta:

„Magyarország tanítani, Amerika hasznosítani tudja a tehetségeket.” A bürokratikus aktatologatás Selye professzor halálával sem ért véget, sőt átnyúlt a rendszer-váltáson is. Selye könyvtára, ami a számí-



Selye János nevét viselő gimnázium, Komárom

tógépes adatfeldolgozás előfutára volt Kanadában, itthon egy égerárga papírhalomná vált. 1999. június 8-án a könyvtárra hulladékhasznosítással foglalkozó cégek licitáltak. Hulladékkereskedői szemszögből pedig a tengerentúlról származó könyveknek és folyóiratoknak nem tudományos értéke, hanem súlya van.

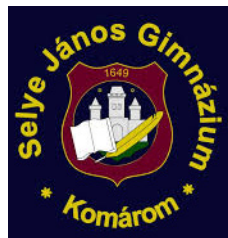
Selye János hagyatékának egy jóval kisebb, de inkább érzelmileg értékes része a levelezése. Magyar egyetemekkel, de még középiskolákkal is folytatott levelezést. Akkor még szövegszerkesztő program nem

lévén, írógéppel írta ő maga, vagy magyar származású titkárnője a válaszleveleket. Az angol betűket használó írógép nem ismerete a magyar ékezeteket, ezért Selye a betűk fölé grafitceruzával maga tette az ékezeteket.

Bár a Selye-könyvtár szomorú sorsra


jutott, Selye János szellemi hagyatéka, a stressz-elmélet tovább él. Újrágondolói és továbbgondolói orvosi lapok cikkeiben, vagy Ph.D. értékezősekben fogalmazzák meg eredményeiket.

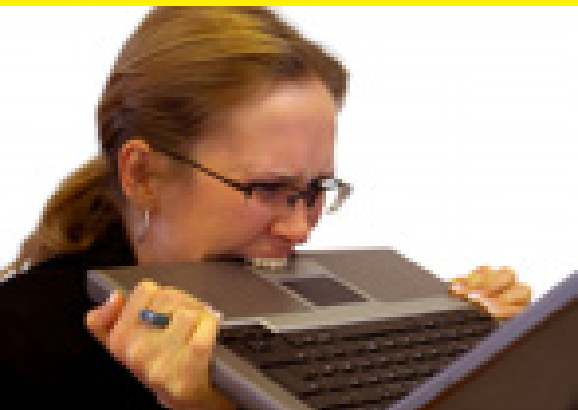
**Ménes András**  
EGIS Gyógyszergyár



A Selye János Egyetem Komáromban

### TOVÁBBI OLVASNIVALÓK

- Selye János (1970): *In vivo - a*  *szupramolekuláris biológia védelmében.* Akadémiai Kiadó, Bp.
- Selye János (1973): *Életünk és a stressz.* Akadémiai Kiadó, Bp.
- Selye János (1976): *Stressz distressz nélkül.* Akadémiai Kiadó, Bp.
- Selye János (1980): *Álomtól a felfedezésig.* Akadémiai Kiadó, Bp.
- H. Selye: *A Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents.* Nature, 1936 (138) 32.
- H. Selye: *The general adaptation syndrome.* Journal of Clinical Endocrinology, Baltimore, 1946. (6.) 177.
- S. Szabo: *The Creative and Productive Life of Hans Selye: A Review of His Major Scientific Discoveries.* Experientia, Basel, 1985 (41) 564-567.
- Ménes András: *Száz éve született Selye János.* EGIS Hírlap, 2007. február 7.

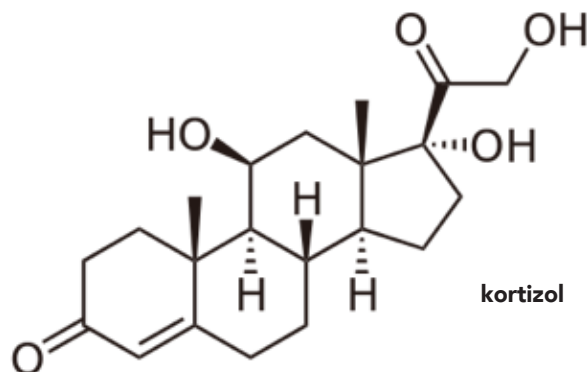
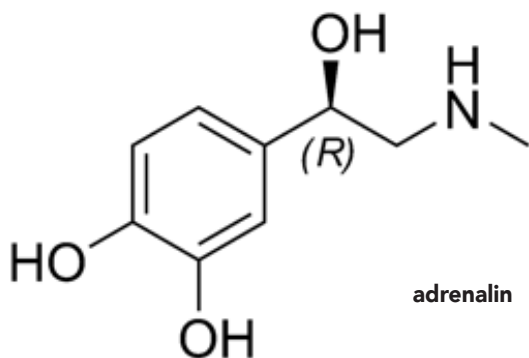


# Stressz-ellenfelek

Két kutató, két stressz-elképzelés,  
s a tudománytörténet egyik legendás vitája...



**Selye János** (1907-1982) és legnagyobb ellenfele **Walter B. Cannon** (1871-1945) egymással soha nem beszéltek. Ennek oka valószínűleg a nagy korkülönbség és ebből adódóan a karrierük időbeli eltolódása volt. Selye gyerekkorában Cannon már az Amerikai Fiziológiai Társaság elnöke lett (1914). Ellentétük abból eredt, hogy milyen hormont tartottak a stressz kiváltó okának. Selye szerint az adrenalin a stressz kiváltó oka.



Cannon úgy vélte, hogy a stressz-választ az agy irányítja. A hipotalamusz irányítása alatt álló agyalapi mirigy (hipofízis) serkenti a kortizol, más néven hidrokortizolon kiválasztódását

Mindkét anyag a mellékvese velőállományában termelődik, a különbség annyi, hogy az adrenalin termelését közvetlenül a stressz váltja ki, míg a kortizol a stressz hatására mozgósított agyi funkciók közvetítése útján keletkezik. Stressz hatására tehát szervezetünkben fokozódik a stressz-hormonok (mind az adre-

nalin, mind a kortizol) termelődése, s ezáltal megnövekszik vérnyomásunk, gyorsul szívverésünk, gyomrunk összehúzódik, cukor és zsír szabadul fel sejtjeinkből energiát biztosítva szervezetünk fokozott munkájához.

A stressz hatására káros testi és lelki válaszok is felléphetnek szervezetünkben (magnövekedett ingerlékenység, fáradtság és alvászavarok). Súlyos esetben düh vagy depresszió is felléphet. Oka lehet szívrohamoknak is.

**Szerkesztőség**

# A hidrogén és hélium elhelyezése a rendszerben

Lapunk egy korai számában írtunk már a periódusos rendszerről (A periódusos rendszer 140 éve, 2009, 2. szám), most a PR rövidítéssel is jelölt rendszerrel kapcsolatos problémákkal és az azokra irányuló megoldási kísérletekkel foglalkozunk...

Rétegek	Gruppe I. R <sup>0</sup>	Gruppe II. R <sup>0</sup>	Gruppe III. R <sup>0'</sup>	Gruppe IV. R <sup>0'</sup>	Gruppe V. R <sup>0'</sup>	Gruppe VI. R <sup>0'</sup>	Gruppe VII. R <sup>0'</sup>	Gruppe VIII. R <sup>0'</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4						
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	---44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	---68	---72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	Y=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	---100	Ru=101, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=115	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	Hf=138	Co=140				
9	(-)							
10			Er=178	Ta=180	Ta=182	W=184		
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208			
12			Th=231			U=240		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
	Lantanidák		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
	Aktinidák		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

## Mendelejev rövid-periódusos rendszere

A periódusos rendszer (PR) legismertebb megalkotója, Dmitrij Mendelejev eredeti publikációját követően (D. I. Mendeleev, Zhur. Russ. Fiziko-Khimicheskoe Obshchestv. 1, 60-79, 1869) a PR sok tudományos forradalmi felfedezést túlvészelt, a legfontosabb ezek közül az atomszerkezet felderítése és a kvantummechanika kidolgozása, továbbá a relativitás elmélet megalkotása volt.

### MENDELEJEV

Az elemek elhelyezése a PR-ben eredetileg az atomtömegek szerint történt (rövid-PR) de később ez módosult az atomszámok szerinti felsorolásra, így alakult ki a 7 periódusból és 18 csoportból felépülő modern PR. Ebben a rendszerben pl. a tellúr és a jódkémiai viselkedésüknek megfelelő elhelyezkedésük, míg atomtömegük szerint helyet kellene cserélniük.

Csupán az atomszámok szerint rendezve az elemeket egy lineáris rendszert kapnánk, de a PR lényege, hogy ezt a szekvenciát bizonyos helyeken megszakítjuk és a rövidebb szekvenciákat egymás alá helyezzük el. Tehát

## Modern PR

a PR elsősorban az atomszámok szerinti felsoroláson, másodsorban a rövidebb szekvenciák sorba rakásán alapul. Ez az elrendezés biztosítja, hogy az azonos vagy hasonló kémiai tulajdonságú elemek ugyanabba a csoportba kerüljenek.

Annak magyarázatát, hogy a hasonló tulajdonságú elemek miért kerülnek ugyanabba a csoportba a kvantummechanika nyújtja, amely szerint az elemek atomjai a magból és az elektronhéjakból épülnek fel. A legkülső elektronhéjban levő ún. vegyérték elektronok szabják meg a kémiai sajátosságokat, így azok az elemek, amelyeknek a vegyértékhéján azonos számú elektron található, ugyanabba a csoportba kerülnek. Pl. az alkálifémek külső héján egyetlen s elektron található (s<sup>1</sup> konfiguráció). Az alkálifémek vízzel szemben egyre növekvő reaktivitást mutatnak a lítiumtól a rubídiumig haladva. Ez belső elektronhéjaik különbségeinek tulajdonítható.

Ennek a viszonylag egyszerű rendezési elvnek a figyelembevételével meglepő, hogy olyan sok alternatív PR formát dolgoztak már ki, a számuk meghaladja az ezret! Érdekes módon az első periódus két eleme, a

Meglepően sok alternatív periódusos rendszer formát dolgoztak már ki, a számuk meghaladja az ezret

hidrogén és a hélium anomális eseteket jelentenek és mind a mai napig vita tárgya, hogy melyik atomcsoportba kell őket sorolni. A konvencionális modern PR táblázatban ez a két elem az 1. és 18. csoportban vannak, azaz a hidrogén az alkálifémek, a hélium pedig a nemesgázok csoportjában. Ez egy 'kéttornyú' táblázati formához vezet, ami az amúgyis egyenlőtlen formát bővíti.

A PR táblázatának blokkos formáját az a sorrend alakítja ki, hogy benne balról jobbra haladva az s, majd a d és végül a p pályák telítődnek elektronokkal. További 'furcsaság' a megszokott PR táblázatnak, hogy két további blokk kapcsolódik hozzá, mintegy lábjegyzetként, az ezekben szereplő egymást



Van olyan elképzelés is, miszerint a hidrogént és a héliumot ki kell emelni a PR táblázatból és fölé kell helyezni, mintegy lebegve a többi elem fölött. Ezzel az elképzeléssel szemben olyan erőteljes kijelentés is elhangzott, hogy a hidrogén és a hélium kiemelése a PR táblázatból azt sugallja, hogy a ezekre az elemekre nem vonatkozik a 'periodicitási törvény'. Valójában ez az elrendezés csak azt kívánja kifejezésre juttatni, hogy a hidrogén és bizonyos fokig a hélium sem helyezhető el egyértelműen egyik elemcsoportba sem, de a "lebegő hidrogén és hélium" nincs ellentétben a PR alapelvével.

A Mendelejev féle PR előfutárai között fontos szerepet játszott a triádok elemcsoportjainak javaslata Johann Wolfgang Döbereiner szerint. A triádok gondolata mintegy fél évszázaddal megelőzte a Mendelejev féle PR táblázatot. Ha ezeket a triád elemeket atomtömeg szerint tüntetjük fel, akkor a középső elem atomtömege közelítőleg megegyezik az első és a harmadik elem atomtömegének átlagával (triád szabály). Ha viszont atomszám (rendszer) szerint tüntetjük felé az elemeket, akkor a triád szabály pontossá válik. A H a halogének oszlopában, PR táblázatban a hidrogén, ill. a hélium tökéletes triádot alkot a csoport következő két elemével.

A PR további problémája a 3. csoporttal kapcsolatos. Sok táblázatban ez a csoport a szkandium, yttrium, lantán és aktinium elemekből (ill. a kapcsolódó lantanidákból és aktinidákból) áll. Ismét más táblázatok a lantán és aktinium helyett a lutécium és a lawrencium elemeket tüntetik fel. Noha ez utóbbi csoport (szkandium, yttrium, lutécium és lawrencium) kémiaileg és fizikailag jobban hasonlítanak egymásra, mint a szkandium, yttrium, lantán és aktinium, mégis sokan nem fogadják el a lutécium és lawrencium besorolását a 3. csoportba. Pl. a szokványos elrendezés (Sc, Y, La és Ac) nem elégíti ki a triád szabályt, míg a (Sc, Y, Lu és Lr) tökéletes triádot képeznek. A táblázat ezt illusztrálja (rendszer) számokkal.

Van egy másik érdekes probléma a PR táblázattal. Néhány évvel ezelőtt a szupernehéz elemekkel még több nehézség adódott. Köztudott, hogy minél nehezebb (nagyobb rendszámú) elemeket tekintünk,

Y	39		Y	39
La	57		Lu	71
Ac	89		Lr	103
$(39+89)/2=64$ (nem 57)			$(39+103)/2=71$ tökéletes triád!	

## A harmadik csoport táblázata

annál inkább figyelembe kell venni a relativisztikus hatásokat. Ezek fél klasszikus értelmezésben azzal függnek össze, hogy a mag méretének növekedésével a belső elektronok sebessége megnő, ami a pályák torzulásához, és a kémiai tulajdonságok megváltozásához vezet. Eleinte ezeknek a kémiai változásoknak a megfigyelése nehézségbe ütközött, mert pl. a 104-es és 105-ös rendszámú elemeknek (rutherfordium, Rf és dubnium Db) csak nagyon rövid élettartamú izotópjait sikerült előállítani. Később azonban már rendelkezésre álltak stabilabb izotópok is, így kémiai kísérleteket lehetett elvégezni.

Mivel Rf a 4. atomcsoportba tartozik az elvárás szerint a cirkónium és a hafnium tulajdonságaihoz kellene hasonlítania. Azonban az 1990-es években végzett kísérletek arra mutattak, hogy a relativisztikus hatások olyan jelentősek, hogy mind a Rf, mind a Db anomális tulajdonságokkal rendelkezik. Pl. a RfCl<sub>4</sub> igen illékonyan bizonyult. Ezért aztán kezdett a dolog úgy kinézni, hogy a relativisztikus hatások meghamisítják a kémiai periodicitás szabályait.

Rövidesen sikerült még nagyobb rendszámú elemeket szintetizálni. Nem meglepően azt várták, hogy a még nagyobb relativisztikus hatások még jelentékenyebb anomáliákhoz fognak vezetni. Érdekes módon nem ez történt. Így a 106-os és 107-es rendszámú elemek: seaborgium, Sg, ill. a bohrium, Bh kémiai tulajdonságai ismét periodikus jelleget mutattak. A helyzet most az, hogy a nagyobb rendszámú szuper nehéz elemek is engedelmeskednek a periodicitás elvárásainak. Mi a helyzet pl. a bohriummal? A TcO<sub>3</sub>Cl, ReO<sub>3</sub>Cl és a BhO<sub>3</sub>Cl szublimációs entalpiája sorra 49, 66 ill. 89 kJ mol<sup>-1</sup>. Ha a triád szabályt követve jósljuk a Bh vegyület entalpiáját, 83 kJ mol<sup>-1</sup> értéket kapunk, ami csak kb. 7% eltérést mutat a kísérleti értéktől. Ez is alátámasztja, hogy a bohrium minden relativisztikus hatás ellenére a 7. csoportba

tartozik. Amikor Mendelejev előre jelezte a gallium, a germánium és a szkandium kémiai tulajdonságait, lényegében a triád szabályt használta, méghozzá a PR táblázat két irányában egyszerre. Például a szelén atomtömegét (amely ismert volt) Mendelejev a triád szabállyal sikeresen tudta reprodukálni. Ezt az alábbi táblázatban mutatjuk be (modern atomtömegek).

	S (32,07)	
As (74,92)	Se?	Br (79,9)
	Te (127,60)	
Se: $(32.07+74.92+79.90+127.60)/4=78.62$ , valódi atomtömeg: 78.96		

## A szelén atomtömegének meghatározása Mendelejev szerint

Jelenleg a szupernehéz elemekre vonatkozóan a vita elült, a periodicitás bizonyított. Nem ez a helyzet a hidrogén és a hélium esetében, ott a kérdés még mindig nyitott: hová kell ezeket az elemeket a PR táblázatban helyezni?

De akármit is gondolunk ezekről a vitatott pontokról, tény az, hogy a PR egyike a tudomány legfigyelemreméltóbb felfedezéseinek. Az összes eddig felfedezett és szintetizált 118 kémiai elemre átfogó szabályszerűségeket tartalmaz. Olyan különböző elemek, mint pl. az arany, a hélium, a kén, a higany és az oxigén együtt tárgyalhatók egy kétdimenziós elrendezésben. A PR számos felfedezésre vezetett többek között az atom- és molekulafizikában, és persze az egész kémia területén.

Nemes László



### FELHASZNÁLT IRODALOM:

Eric Robert Scerri: *Trouble in the Periodic Table, Education in Chemistry* –2012 January, pp.13-17 (<https://www.researchgate.net/publication/286922450>)  
Vladimir M. Petrushevski, Julijana Cvetkovic: *On the true position of hydrogen in the periodic table, Section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences, MASA, Vol.38, No.1, pp. 83-90 (2017), DOI: 10.20903/csnmbs.masa.2017.38.1.103*

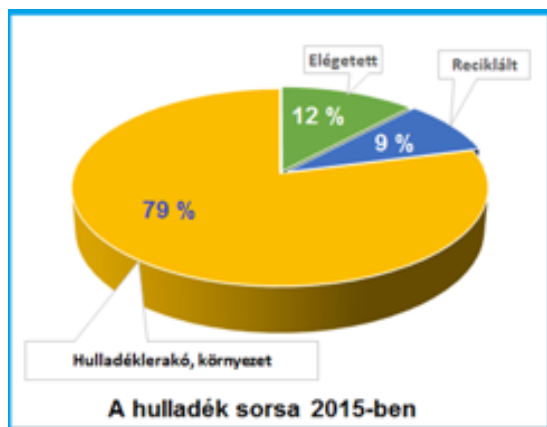
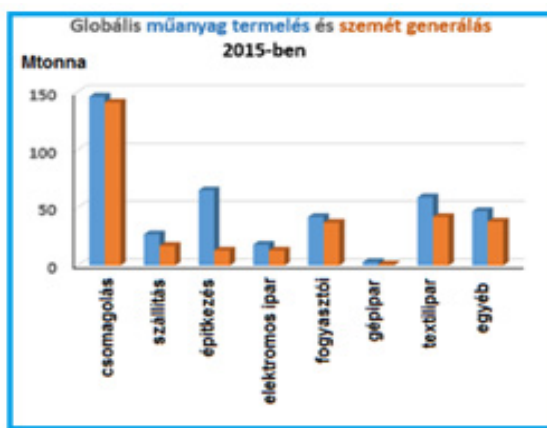
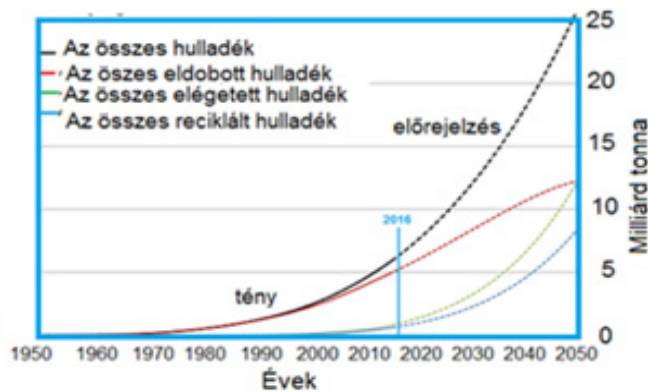


# Műanyag hulladékok környezetterhelése

(Roland Geyer, Jenna R. Jambeck, Kara Lavender Law, Science Advances, 19 Jul 2017: Vol. 3, no. 7)



Műanyag hulladékok halmozott keletkezése és elhelyezése



Amerikai környezetvédelmi kutatók az év közepén adatokat közöltek a Science Advances folyóiratban a valaha gyártott műanyagok, polimer gyanták, szintetikus szálak és adalékok, globális előállításáról, használatáról és sorsokról. Ilyen átfogó tanulmány a műanyagokról és az általuk létrehozott környezeti terhelésről korábban nem készült.

A polimer gyanták, szintetikus szálak és adalékok gyártásával, felhasználásukkal és élettartamukat követő sorsukkal kezelésükkel kapcsolatos adatokat összegyűjtve és értékelve elvégezték az összes valaha tömeggyártással előállított műanyag első globális elemzését.

A szerzők publikált adataiból a Discover magazin is átvett néhány figyelmet keltő adatot. Ezek közül olvasóink tájékoztatására magazinunk további ad néhányat.

Műanyagok vagy szintetikus szerves polimerek nélkül a világ ma elképzelhetetlennek tűnik. Nagymértékű termelésük és felhasználásuk azonban csak 1950-ig nyúlik vissza. Bár az első szintetikus műanyagok már a 20. század elején megjelentek, mint például a bakelit, széleskörű gyártásuk és használatuk csak a második világháború után kezdődött meg.

A műanyagok gyártásának mennyisége túlszárnyalta a legtöbb, az ember által gyártott anyagot (kivéve az acél és cement). A szerzők adatai szerint, eddig a világon műanyagokból 8300 millió tonnát (Mt) gyártottak. 2015-ig mintegy 6300 Mt műanyag hulladék keletkezett, amelynek körülbelül 9% -át újrahasznosították, 12%-ot elégették, és 79%-ot halmoztak fel hulladéklerakókban vagy a természeti környezetben. A szerzők becslése szerint, ha a jelenlegi termelési és hulladékgazdálkodási trendek folytatódnak, 2050-re körülbelül 12 megatonna műanyag hulladék fog a hulladéklerakókba, vagy természeti környezetbe kerülni.

A műanyagok előállításához használt monomerek, mint például az etilén és a propilén túlnyomó többsége fosszilis szénhidrogénekből származik. Az általánosan használt műanyagok egyike sem biológiailag lebontható. Ezért a hulladéklerakókban vagy a természeti környezetben felhalmozódnak, és nem bomlanak el. A műanyag hulladék végleges kiküszöbölésének egyetlen módja a hőkezelés, például égetés vagy pirolízis. Így növekvő aggodalomra ad okot a természetes környezetnek a műanyag hulladékkal való közel állandó szennyezése.

Reménykeltő azonban, hogy a világon számos helyen foglalkoznak olyan technológiák kifejlesztésével, amelyekkel nehezen reciklálható műanyagok a polimer- és gumigyártáshoz felhasználható alapanyagokká, ill. üzemanyaggá, vagy vegyipari nyersanyagokká alakíthatók át. A műanyag hulladékok újrahasznosításához jelentős segítséget nyújthat a szelektív hulladékgyűjtés.

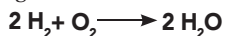
**A Szerkesztőség**

# Oláh György kémiai válasza korunk kihívásaira

A benzin drága, és várhatóan egyre drágább lesz, mivel a fogyasztás nő, a termelés pedig stagnál. A Föld népessége lassan eléri a 7 milliárd főt, és a rohamosan fejlődő Indiában és Kínában mind többen szeretnének a biciklyeregből autóba ülni, miközben az európai országok nagyvárosaiban egyre népszerűbb a kerékpáros közlekedés.

**A** probléma azonban súlyosabb annál, semhogy takarékossgal orvosolni lehetne. A fosszilis tüzelőanyagok (a szén, a kőolaj, a földgáz) felhasználásának korlátozását a klímaváltozás, illetve a nagymértékű széndioxid kibocsátás következtében fellépő üvegház hatás is szükségessé teszi. Az atmoszféra CO<sub>2</sub>-tartalma 1960 és 2000 között 20%-kal növekedett.<sup>1</sup> A feladat tehát valójában két problémát rejt: pótolni kell a kimerülő fosszilis üzemanyagokat, ugyanakkor el kell kerülni az atmoszférikus széndioxid koncentrációjának növekedését. A magyar származású, 1994-ben kémiai Nobel-díjjal kitüntetett Oláh György is e probléma megoldásán fáradozott az elmúlt 15 évben, akárcsak sokan mások.

A fosszilis fűtőanyagok helyettesítésére több javaslat is született. Az egyik szerint a járműveket hidrogéngázzal kellene hajtani. A hidrogén égése valóban „környezetbarát” vizet bocsát a levegőbe:



Hidrogénforrásként szolgálhatna a tenger-víz, amennyiben rendelkezésre áll elegendő mennyiségű, olcsó elektromos energia, azonban ilyenkor is gondot jelent a gáz biztonságos tárolása és szállítása (atmoszférikus nyomáson a hidrogén forráspontja -253°C és a levegővel robbanóelegyet képez). A hidrogén a legkisebb tömegű elem, a nagy nyomású palackok megfelelő szigetelése, azaz a robbanásveszély kiküszöbölése egyelőre még megoldatlan.

Egy másik, közismert javaslat az üzemanyag utánpótlást a mezőgazdaság területén keresné. Az egyik lehetőség a mezőgazdasági hulladék (úgynevezett biomassa) elgázosítása, de ez

A bi-reformálás  
nyersanyagként  
metánt, vizet és

széndioxidot  
használ fel

nem produkálna számottevő mennyiségű üzemanyagot. A másik út, a megfelelő cukor-ill. keményítőtartalmú növények termesztése, a keményítő lebontása és erjesztéssel etilalkohollá alakítása. Az erjesztéssel és desztillációval előállított bioetanol legtisztább formája is 4% vizet tartalmaz, amit külön eljárással kell 100%-os, úgynevezett abszolút etilalkohollá alakítani, mivel a benzin csak tiszta etanollal keverhető.

Az abszolút etanol is higroszkópos, ami megnehezíti a tárolását és a szállítását. A dízelolaj helyettesítésére alkalmas lehet a pálmaolaj, illetve a szója és a trópusokon honos Jatropha fajtákból előállítható anyag. Ezek a módszerek azonban nagymértékben csökkenének az élelmiszerek termesztésére szolgáló területet, ugyanakkor nem mérsékelnék jelentősen a dízelolaj- és benzinfogyasztást.

Oláh György az üzemanyaggazdaságot új



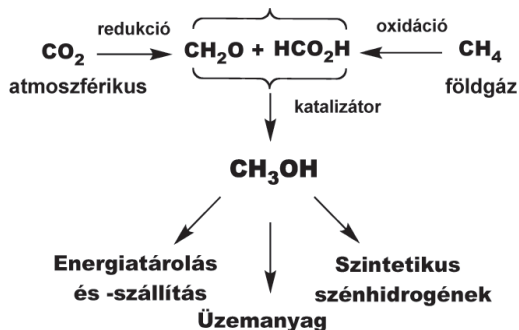
Oláh György

alapokra helyezné. Benzin-metanol elegyet már az 1980-as évek óta használnak járművek hajtására. A metanol akkor is elegyíthető benzinnel, ha nem 100%-os tisztaságú, és ennyiben előnyösebb, mint az etanol. A metanol tárolása és szállítása is problémamentes. Előállítására Oláh és munkatársai különböző ipari eljárásokat dolgoztak ki; nyersanyagként metánt (földgázt) és széndioxidot alkalmaztak. Azonban a metán esetében továbbra is fosszilis

szénhidrogén a szén forrása, míg a széndioxidon alapuló eljárás megvalósítja a szén cirkulációját. Oláh György javaslata környezetsemleges, kémiaileg megújítható széntartalmú üzemanyagok és termékek iparszerű előállítására vonatkozik. Az Oláh által metanolgazdaságnak nevezett új rendszer megszüntetné, illetve jelentősen mérsékelné a fosszilis szénhidrogénektől való függést.

Metanol elvileg oxidáció vagy redukció révén állítható elő a rendelkezésre álló egy szénatomos metánból, vagy széndioxidból, de a képződő elegyben a metanol aránya nem éri el az 1%-ot. Oláh és munkatársai – egy nagyipari eljárás kidolgozása





## A metanolgazdaság elve

céljából – a képződő keverék katalitikus átalakítását oldották meg úgy, hogy a metanol részaránya a 70%-ot is eléri.

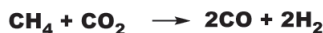
A metanol, szemben a hidrogénnel biztonságosan tárolható és szállítható. A benzin helyettesíthető metanollal. A metanol előnye a bioetanollal szemben az, hogy előállítására nem csökkenti a mezőgazdasági termőterületet.

További érv a metanol mellett a kémiai továbbalakítás lehetősége. Egyszerűen képezhető belőle dimetiléter, ami, meglepő módon alkalmas a dieselolaj helyettesítésére.

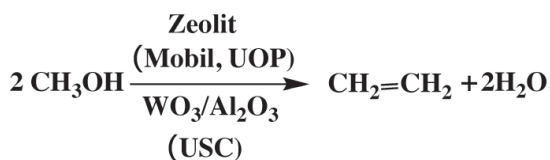
Természetesen csak nyomás alatt tárolható mivel a forráspontja -24.8°C, de biztonságos, mert nem képez peroxidot, mint a diethylether amelynek forráspontja 34.6°C.

A metanolgyártásnak az Oláh-csoport által kidolgozott talán legszellemesebb módszere a bi-reformálás, amely nyersanyagként metánt, vizet és széndioxidot használ fel:

Mind a vizet, mind a széndioxidot levegőből nyerik, az általuk kifejlesztett új adszorbeáló rendszerek felhasználásával.



## A bi-reformálás reakcióegyenletei



## A Jatropha integerrima magja 40% olajat tartalmaz

A Mobil és a Honeywell [UOP] által használt zeolitikatalizátorokon felül Oláh és munkatársai maguk is kidolgoztak egy eljárást etilén előállítására metanolból.

Oláh és munkatársai megoldották a metanol propilénné történő átalakítását is, ami lehetővé teszi a műanyagipar és a gyógyszeripar számos nyersanyagának előállítását kőolaj és földgáz felhasználása nélkül. Az említett eljárások szabadalmi joga Oláh professzor egyetemének (University of Southern California, USC) a tulajdona, és a részletek (a katalizátorok összetétele, a gyártástechnológia menete, feltételei és körülményei) még nem teljes egészében kerültek nyilvánosságra.

Jelenleg több nagyüzem épül etilén és propilén gyártására metanol alapon. Kínában, ahol kevés a kőolaj- és földgázlelőhely, közel száz, évi többmillió tonnás kapacitású metanolgyár épül, és a szénalapú gyártással együtt járó CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentése is nemzeti cél lesz. Metanol, mint említettük, Oláh eljárása szerint CO<sub>2</sub>-ből is gyártható. A világon az első ilyen üzem Izlandon épül, és 2009-ben kezdi meg működését, geotermikus energia felhasználásával. Dél-Koreában, Japánban, és más ázsiai országban már számos metanolalapú dimetiléter-üzem működik.

Az Oláh és munkatársai által kidolgozott további módszerek új, közvetlenül metanol felhasználó tüzelőanyagcellák (Direct Methanol Fuel Cell: DMFC) kifejlesztésére vonatkoznak. A tüzelőanyagcellák olyan elektrokémiai egységek, amelyek a hajtóanyag kémiai energiáját közvetlenül elektromos energiává alakítják át. A közeljövőben egyes japán cégek már metanol használó üzemanyagcellákat hoznak forgalomba, kezdetben mobiltelefonok és számítógépek üzemeltetésére, és folyamatban van az autók elektromotoros hajtását megvalósító üzemanyagcellák fejlesztése is.

**Simonyi Miklós**

(Szerzőnk cikke a Kémiai Panoráma 1. számában jelent meg.)



## Hidrogénpalackok szállítása

\*<sup>1</sup>A Carbon Dioxide Information Analysis Center által hiivatkozott, Hawaii-on végzett mérések szerint

További információk az interneten: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biofuel>, <http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/joceah/2005/70/i07/abs/jo040285o.html> <http://www.enc.hu/1enciklopedia/aktualis/dmfc.htm>

## Kémiai Panoráma

Felelős kiadó és főszerkesztő:

Pálinkás Gábor

Kiadja az MTA Természettudományi

Kutatóközpont

Kapcsolat: 1117 Budapest,

Magyar tudósok körútja 2.

e-mail: [panorama@chemres.hu](mailto:panorama@chemres.hu)

Tördelés-képszerkesztés: Horák Ferenc

Szakmai tanácsadó: Gózon Ákos

Honlap: [www.kemiaipanorama.hu](http://www.kemiaipanorama.hu)

Szerkesztők



The background features a large, tilted periodic table of elements. The elements are arranged in their standard periodic order, with their symbols and atomic numbers visible. The table is tilted at an angle, making it a prominent visual element on the page.