

# Kémiai Panoráma

2022. évfolyam 25. szám

KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS HŐHULLÁMOK

MOLEKULÁRIS RÁDIÓMŰSOR

VÍRUSKÓD

PUBLIKÁCIÓK HOZZÁFÉRHETŐSÉGE

HÍRES KUTATÓK: DAVID A. EVANS ÉS TELEGDI BÁLINT

GYÓGYÍTÓ FEHÉR FŰZ

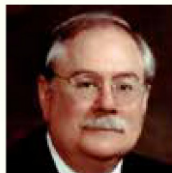






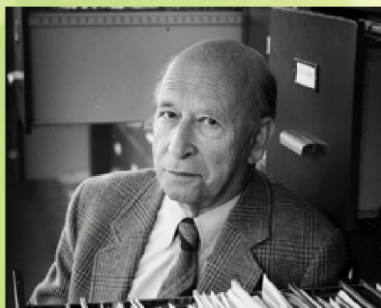
28-29

**Híres kutatók**  
David A. Evans  
szerveskémiai  
munkássága  
**Simonyi Miklós:**



30-31

**Híres kutatók**  
Telegdi Bálint, a vegyész mérnök fizikus  
**Ménes András**



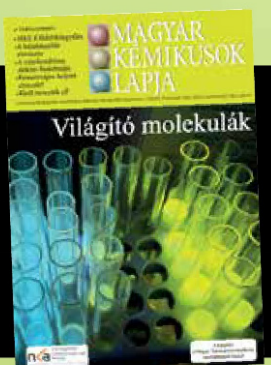
34-37

**Gyógyító molekulák**  
növényekben  
A fehér fűz, a növényi aszpirin  
**Kőszegi Lídia**

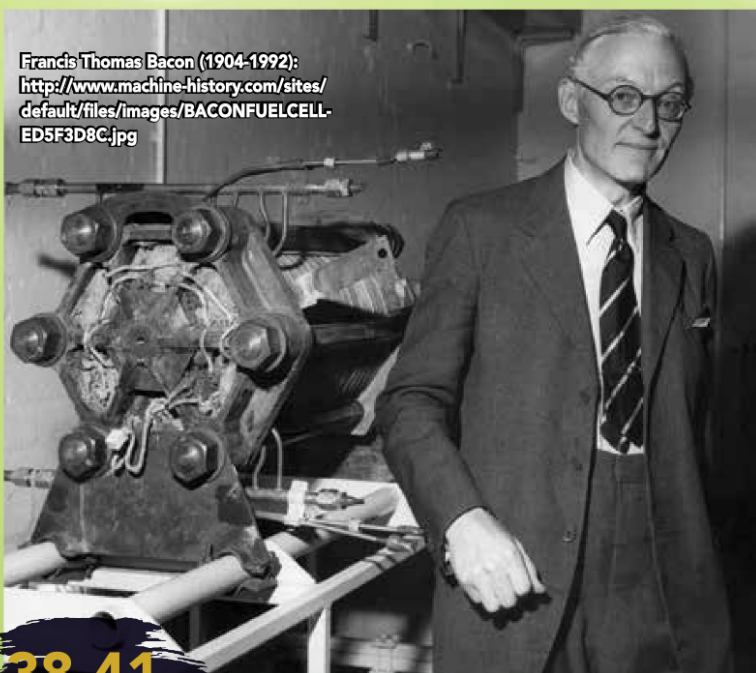


32

**Ajánló**  
A Magyar  
Kémikusok  
Lapja



**Francis Thomas Bacon (1904-1992):**  
<http://www.machine-history.com/sites/default/files/images/BACONFUELCELL-ED5F3D8C.jpg>

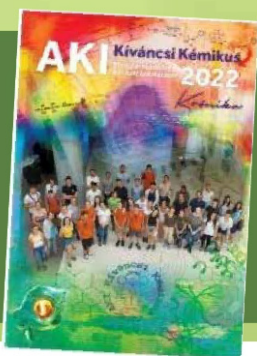


38-41

**Ma is aktuális**  
Üzemanyag cellák – Kémiai energiából elektromos energia **Bazsó Fanni Laura**

33

**AKI kíváncsi kémikus**  
Kutatótábor a  
Természettudományi  
Kutatóközpontban  
**Dr. Tompos András**



# TIKKASZTÓ hőség

2021 még mindig a hét legmelegebb év közé tartozott. Bár 2020-2022-között a globális átlaghőmérsékletet átmenetileg kissé csökkent, 2022 első felét extrém időjárás jelenségek uralták. Szokatlanul korai hóhullámok, szárazság, hatalmas árvizek, félelmetes erdőtüzek jellemezték világszerte, az Egyesült Államokban, Ázsiában és Európában, így hazánkban is. Jégeső, viharok sújtották Európát és Dél-Amerikát, szélsőséges áradások léptek fel Ázsiában, Dél-Amerikában.



Freepik

Szárazság Spanyolországban



Árvíz Dél-Ázsiában



The Guardian

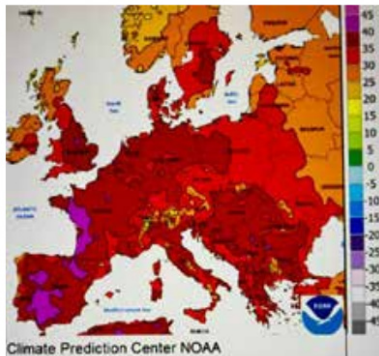
Erdőtűz Franciaországban

Hóhullám akkor következik be, amikor a felső légkörben egy terület fölött hosszabb ideig statikusan nagy légköri nyomású rendszer alakul ki. A levegő a légkör felső szintjéről a talaj felé húzódik, ahol megnöveli a hőmérsékletet és hosszú ideig extrém meleg időt hoz létre. A nagy nyomású levegő megakadályozza a hő felemelkedését, minek következtében, a talajra jutó hő kiszárítja a talajt, aszályt hoz létre.

A Meteorológiai Világszervezet szerint a hóhullám azt a helyzetet jelenti, amikor a napi maximumhőmérséklet több mint 5 egymást követő napon 5 °C-kal meghaladja az átlagos maximum-hőmérsékletet a területen.



Júliusban Európa-szerte rekordokat döntött a rekkenő hőség, a legutóbbi a június óta tartó hőhullámok sorában. Nyugat-Európa nagy részén 40 Celsius-fok közelébe vagy a fölé kúszott a hőmérséklet.



**Hőmérsékleti maximumok Európában 2022. július 17-23 között**

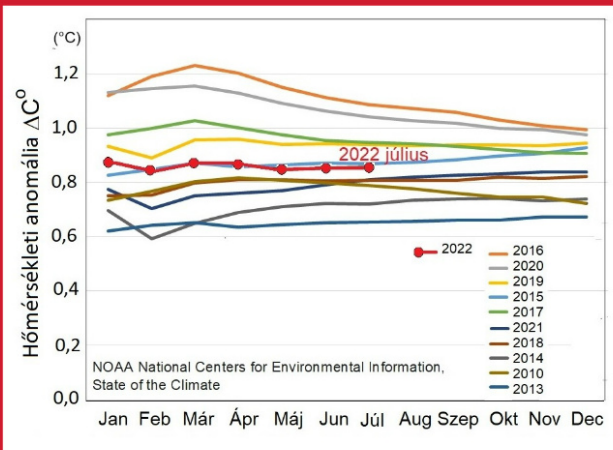
Egy lassan mozgó magassnyomású áramlat szállította és szállítja a forró levegőt Észak-Afrikából Nyugat- és Közép-Európa egyes részeire. Sorra megdőlték a helyi/regionális hőmérsékleti rekordok.

A föld és az óceánok felszínének átlagos globális hőmérséklete 2022. január–július között 0,86 °C-kal haladta meg a 20. századi átlagot (13,8 °C), és ez csak a hatodik legmelegebb január–júliusi időszak volt az elmúlt 143 év alatt.

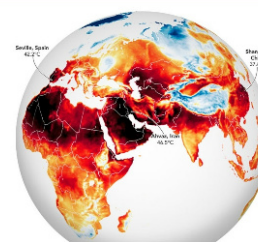
Az ábra összehasonlítja a 2022. évi globális hőmérsékleti anomáliát (piros vonal) a tíz legmelegebb év megfelelő adataival 2016 (1.), 2020 (2.), 2019 (3.), 2015 (4.), 2017 (5.), 2021 (6.), 2018 (7.), 2014 (8.), 2010 (9.), 2013 (10.) és 2005 (10.). Az egyes görbék az adott év elejétől az adott hónapig kialakult átlagos globális hőmérsékleti anomáliát ábrázolják kumulatív módon. Más szóval, a januári

érték a januári átlaghőmérséklet anomáliája, a februári érték a januári és a februári átlagos anomália, és így tovább. Az anomáliák a 20. századi átlaghőmérséklettől való eltérést jelentik.

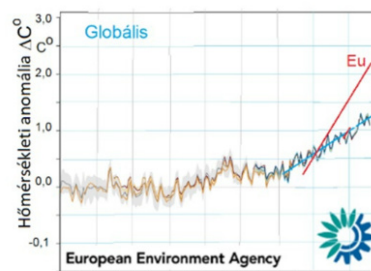
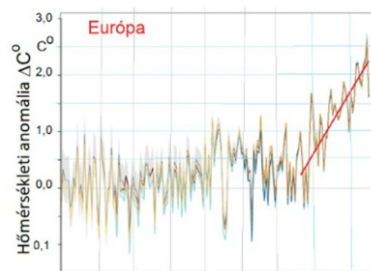
Noha 2022 még nem a legmelegebb év az éghajlatváltozást jellemző globális paraméterek tükrében, (átlaghőmérséklet, atmoszférikus széndioxid mennyisége, az óceánok hőmérséklete, a sarki jég kiterjedése, tengerszintek emelkedése), az éghajlatváltozás hatásai akkumulációjának vagyunk tanúi, amely a lokális időjárási paraméterek szélsőséges eltérését eredményezi a földi átlagtól. Az egyik problémás időjárási tényező a másikat befolyásolja, pozitív visszacsatolását eredményezi. A felmelegedési folyamatok egymást erősítik. Ilyen jelenség a 21.században a



**A globális átlaghőmérséklet eltérése a 20. századi átlagtól 2022. első félévében és a megelőző 10 legmelegebb évben**



**A felszíni levegő hőmérséklete 2022.07.13**



**Európai és globális átlagos felületközi hőmérséklet eltérése az iparosodást megelőző 1850-1900-értéktől**

*Az éghajlatváltozás hatásai akkumulációjának vagyunk tanúi, amely a lokális időjárási paraméterek szélsőséges eltérését eredményezi a földi átlagtól.*

hőhullámok megjelenése, hosszuknak és számuk gyakoriságának a növekedése.

Az Európában kibontakozó hőhullámok megjelenése különösen kiugró jelenség. Az európai hőhullámok, 2003, 2006, 2010, 2015, 2018, 2019, 2020 és 2021 években egyre fokozottabb aszályokat és sok ezer ember halálát okozták. Közép-Európában az utolsó évtizedekben az átlaghőmérséklet, jóval gyorsabban növekedett, mint a globális földi átlag.

2012 és 2021 között a globális átlagos felszínközeli hőmérséklet  $1,11-1,14^{\circ}\text{C}$ -kal volt magasabb az iparosodás előtti szintnél, ami a legmelegebb rekord évtizedét jelenti. Az európai szárazföldi hőmérséklet ugyanebben az időszakban még gyorsabban,  $1,94-1,99^{\circ}\text{C}$ -kal nőtt. Figyelemreméltó, hogy Európában az átlaghőmérséklet növekedésének trendje is jóval meredekebb, mint a globális átlaghőmérséklet növekedésének meredeksége. A közelmúltbeli európai hőhullámok három-öt fokkal magasabb hőmérsékletet értek el, mint amit a klímaváltozás jelenlegi időszaka előtt mértek.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség megállapítja közleményében: "Az államok a Párizsi Megállapodásban kötelezettséget vállaltak arra, hogy a globális hőmérséklet-emelkedést jóval  $2^{\circ}\text{C}$  alatt tartják az iparosodás előtti szinthez képest, és törekednek arra, hogy a növekedést  $1,5^{\circ}\text{C}$ -ra korlátozzák. Az átlaghőmérséklet Európában az üvegházhatású gázok kibocsátásának drasztikus csökkentése nélkül már 2050 előtt túl fogja lépni a  $2^{\circ}\text{C}$ -os határértéket. A tartós szélsőséges hőség súlyos hatással lehet az ökoszisztémákra és a társadalmakra, többek között túlzott halálozásokra, erdőtüzekre és betakarítási kudarcokra".

## A HŐHULLÁMOK

A tikkasztóan forró európai nyarak, a hőhullámok megjelenésének oka, a légkör cirkulációjának nagy mértékű megváltozása a troposzféra, a klímaváltozás miatt. A hőhullámok megjelenése nem új jelenség, újdonság az,

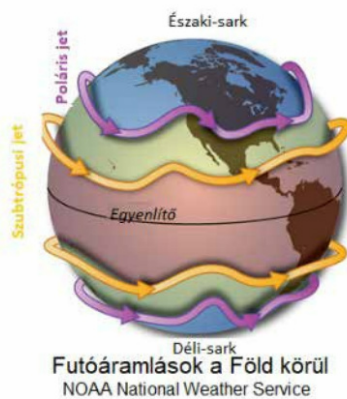
hogy egyre intenzívebbek, gyakoribbakká és tartósabbakká váltak világszerte.

Az európai nyári meleg és a hőhullámok változékonyságának mozgatórugói is a légköri áramlatok nagy léptékű megváltozása, a talaj nedvességihiánya és az ehhez kapcsolódó talaj-légkör visszacsatolás. Európa éghajlatát a troposzféra nagy sebességgel mozgó, a Föld forgó mozgásának köszönhetően nyugatról keletre hullámalakban körbejáró légáramlat, szubtrópusi futóáramlás (jet stream) befolyásolja.

A futóáramlatok a troposzféra felső szintjén  $7-12$  km magasságba ( $200-500$  milibar nyomás szintek között),  $150-450$  km/ó sebességgel közel horizontálisan áramló keskeny szélsávok, amelyek övként mindkét félgömbön nyugatról-keleti irányba körbejárják a bolygónkat, mind az észak mind a déli félgömbön. A horizontális jelző arra utal, hogy az áramlás vertikális kiterjedése



Futóáramlat keresztmetszete illusztráció



elhanyagolható a horizontálishoz képest. Az áramlatokban a szélesebbég rohamosan növekszik a középvonal felé haladva.

Két futóáramlás létezik mind az északi, mind a déli féltekén. A két fő széláram ott jön létre, ahol meleg és hideg légtömegek találkoznak egymással. Minél nagyobb a hőmérsékletkülönbség a két régió között, annál erősebb lesz a szél. A  $60$ -ik szélességi fok közelében kialakuló sugáráramot poláris futóáramlásnak, míg azt, amelynek középvonala a  $30$ -ik szélességi fok közelében helyezkedik el, szubtrópusi futóáramlásnak nevezzük.

Bár a Föld forgása miatt a futóáramlások túlnyomórészt nyugati szelek, kanyargós útjuk miatt néha északra vagy délre is elkanyarodnak. Áramlási mintájuk hullámszerű, völgyekkel (az áramlás egyenlítő felé kanyarodik) és gerincekkel (az áramlás pólus felé kanyarodik) az alacsony, illetve nagy nyomású területeken.

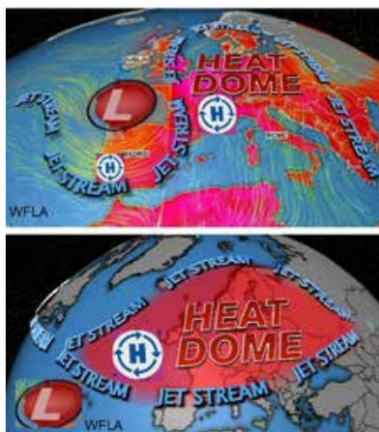
A széláramokban hatalmas, magas nyomású légörvények (anticiklonok), ill. alacsony nyomású képződmények (ciklonok) válnak le. Az anticiklonokban uralkodó leszálló légáramlás száraz időt hoz, a ciklonok érkezésével csapadékképződés jár.

Nyáron mindkét futóáramlat jóval gyengébb, mivel jóval kisebb az egyenlítő és a sarkok közötti hőmérsékletkülönbség. A szubtrópusi áram a pólus felé tolódik el, közel  $40-45^{\circ}$  szélességig. A sarki áramlat is eltolódik a pólus felé a  $75^{\circ}$  szélességig vagy nem is létezik. A két futóáramlás télen gyakran egybemosódik (pl. Japán, illetve az USA térségében), különösen nagy viharokat előidézve  $200$  milibar nyomású magasságban.

A trópusi és a nyugati szelek övét összekapcsoló nedves szállítószalagok gyakran kötődnek a pólusok felé tartó meleg tengeráramlatokhoz, az Atlanti-óceánon a Golf-áramlathoz, a Csendes-óceánon pedig a Kuroshio áramlathoz. Különösen aktív ez a folyamat a hurrikán szezonban, amikor a trópusi viharok jelentős mennyiségű nedvességet szállítanak a trópusi vidékekről észak felé.

Mivel a trópusi meleg és a sarki hideg levegő hőmérsékletkülönbsége télen a legnagyobb, az áramlások mind az északi, mind a déli féltekén télen a legerősebbek.

Néha lokálisan az áramlás mintázata megváltozik, nagy amplitúdójú gerinc képződik, vagy a sugárfolyam ketté válik (kettős áramlás) és hurkot képez. Mindkét esetben, két alacsony nyomású hideg régió (L) között egy magas hőmérsékletű és nagy légnyomású (H) közel statikus képződmény un. hőkupola vagy másnéven



Hőkupola kialakulása hurkolt és kettős futóáramlás esetén

hódóm jön létre. Ez huzamosan blokkolja a nyugat-keleti irányú légáramlást.

A jelenség nagy hatással van a mérsékelt öv időjárására. A nem mozgó nagy nyomású régió a talaj felé nyomja a levegőt. Ez megakadályozza a talaj közelében lévő levegő felfelé áramlását. A süllyedő levegő úgy működik, mint egy kupola. Helyén tartja a meleg talajlevegőt és kiszárítja a talajt, aszályt okozva. Feláramló levegő nélkül nem eshet eső, és semmi sem akadályozza meg a forró levegő további felmelegedését, a hőhullám kialakulását.

Kutatók valószínűsítik, hogy a közepes északi szélességek feletti szélsőséges nyári hőhullámok elsősorban hőkupolák kialakulásával az anticiklonok blokkolásával függenek össze. A nagy nyomású régiók kialakulása viszont

gyakran egy Eurázsia feletti kettős futóáram szerkezethez, abban hurkok kialakulásához kapcsolódik. A kettős áramlás mintázat megjelenésének gyakorisága a szubtrópusi futóáramlatban növekszik és ez magyarázhatja az Európai és Észak-Amerikai hőhullámok gyakoriságának növekedését is.

A kutatók új bizonyítékokat mutattak be arra vonatkozóan is, hogy az Nyugat Európai és Észak-Amerikai nyári éghajlat több évtizedes változásainak egyik fontos mozgatórugói az Atlanti-óceán óceáni áramlatainak változásai.

## HŐHULLÁMOK HAZÁNKBAN

Magyarország éves középhőmérsékletének értéke a globális tendenciákat követi, bár a kis területnek megfelelően nagyobb változékonysággal. A tengerszintre vonatkozó évi középhőmérséklet  $\sim 10^{\circ}\text{C}$ , megközelítőleg  $1,5\text{-}2^{\circ}\text{C}$ -szal melegebb, mint a földrajzi szélességnek megfelelő érték. 2021-ben nyáron száraz és extrém meleg volt. 2022-ben enyhe telet követően ismét megjelentek a hőhullámok és még a félév végén is tartott a nagy meleg és csapadékszegény időjárás, aminek következtében az ország jelentős részén ismételt aszály alakult ki.

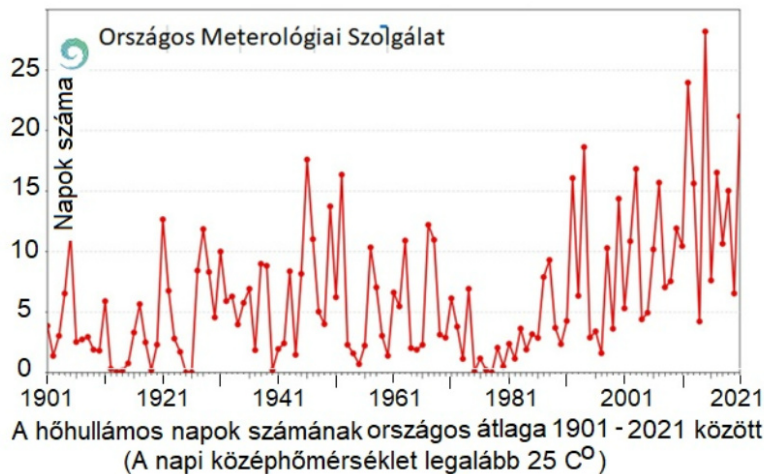
Magyarország klímája is változik. Az érdeklődő olvasó hazánk klímájáról és

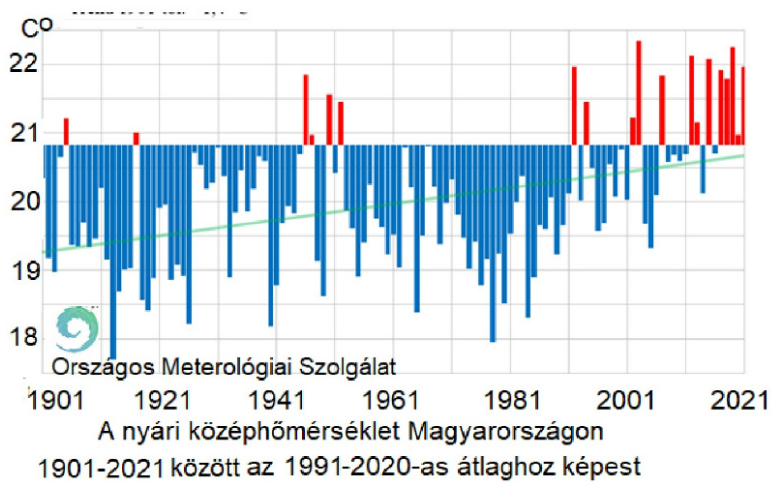
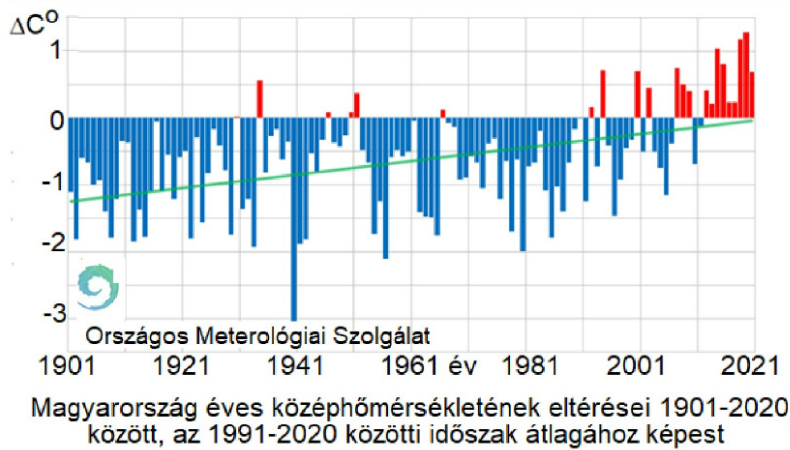
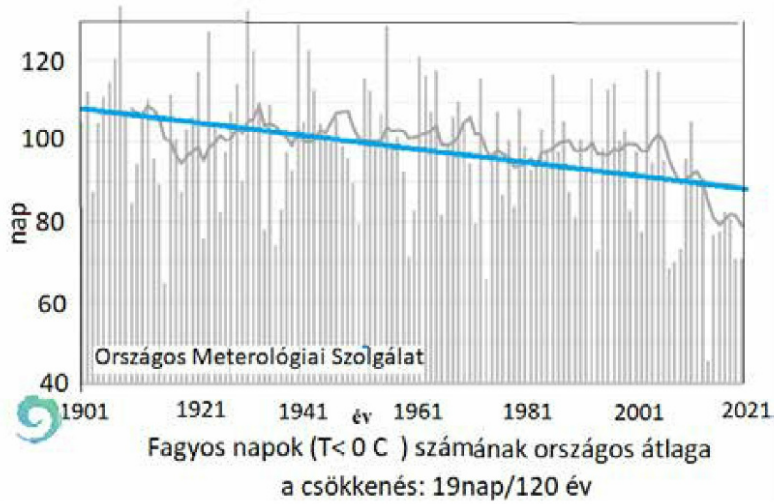
klímaváltozásáról majdnem napra kész részletes képet kaphat az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) honlapján ([www.met.hu](http://www.met.hu)) található részletes tanulmányokból. Magunk is a következőkben az OMSz munkatársainak tanulmányaiból vesszük át az adatokat a magyarországi hőhullámok jellemzőinek illusztrálására.

A hőhullámos napok (a napi középhőmérséklet legalább  $25^{\circ}\text{C}$ ) megjelenése Magyarországon sem új jelenség. A hőhullámos napok és a fagyos napok számának éves országos átlagai láthatóak az OMSz adatai alapján az alábbi ábrákon a múlt század elejétől 2021-ig.

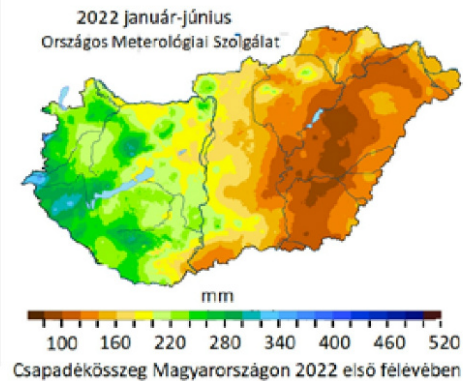
Az adatok alapján az 1975-1985 közötti hideg nyarakat követően, mely időszakban a hőhullámos napok éves számának országos átlaga kevesebb volt öt napnál, az éves esztrém meleg napok számának növekedése figyelhető meg. A három legtöbb hőhullámos napot 2015, 2012, és 2021-ben mérték 28,24 és 21 nappal.

A hőhullámos napok (napi középhőmérséklet  $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) számának növekedése és a fagyos napok (napi minimumhőmérséklet  $< 0^{\circ}\text{C}$ ) számának csökkenése egyértelműen a melegebb tendenciát igazolja. Szembetűnő az extrém meleg napok számának gyakoribbá válása a múlt század





kilencvenes éveitől. A hazai átlagos éves és nyári középhőmérsékletek is növekszenek. Az éves és évszakos értékek eltéréseit 1901 és 2021 között, az 1991–2020 időszak átlagértékétől az alábbi ábrák szemléltetik. Az ábrák az évenkénti







értékek mellett, az évek közötti változékonyságot kiszűrő, tízéves mozgóátlagot is feltüntetik.

Az éves, valamint az összes évszakos középhőmérsékletekben bekövetkezett emelkedés mindkét vizsgált időszakban szignifikánsnak tekinthető. Érdeemes megfigyelni, hogy az utóbbi ~20 évben a melegedés mértéke nagyobb volt, mint a teljes 120 év során.

## SZÁRAZSÁG MAGYARORSZÁGON

Az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései alapján a 2021-es nyár az átlagnál 1,2 Celsius fokkal melegebb volt, ezzel az ötödik legmelegebb 1901 óta. A június közepétől július végéig tartó időszakot nagyrészt hőhullámok határozták meg, míg az évszak eleje és vége a szokásosnál hűvösebb volt.

Országos átlagban a nyári csapadékösszeg jelentősen elmaradt az 1991–2020-as átlagtól. Hasonlóan száraz nyár legutóbb 2015-ben volt.

2021 száraz volt Magyarországon, majd 2022-ben tovább folytatódott a csapadékszegény időjárás, aminek következtében az ország jelentős részén aszály alakult ki. A legsúlyosabb aszály az Alföld középső és tiszántúli részén volt. Az Országos Meteorológiai Szolgálat csapadékmérései is igazolják, hogy a szárazság Magyarországnak elsősorban Magyarország keleti alföldi területén alakult ki. A keleti országrészben a 200 mm-t sem érte el a féléves csapadék, sőt az Alföld középső és tiszántúli részén nagyobb területen 120 mm sem érte el, ami az érintett területen közelítően a szokásos érték fele. Ugyan akkor a június végéig

lehullott csapadék mennyisége a Dunántúlon, többhelyen az átlagos érték közeli 250–300 mm volt.

**Bella József**



### IRODALOM

- Roland Stull, *Practical meteorology*, 2015  
Sutton, R. T. & Hodson, D. L. R. *Climate. Sci. (80-)* 309, 115–118 (2005).  
Rousi, E., et al. *Nat Commun* 13, 3851 (2022)  
*Debreceni Egyetem 1. dia (tankonyvtar.hu)*  
Szentes Olivér, *OMSz Szárazság Magyarországon 2022-ben és a múltban*  
Bokros Kinga és Lakatos Mónika, *OMSz Hőhullámok Magyarországon*  
NOAA, <https://www.weather.gov/jetstream/>  
*Global and European temperatures*



# Csillagászati kutatások rádióhullámhosszakon

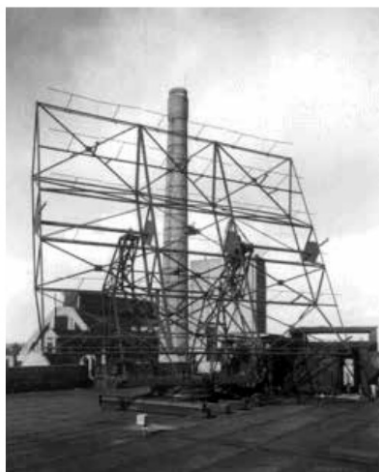
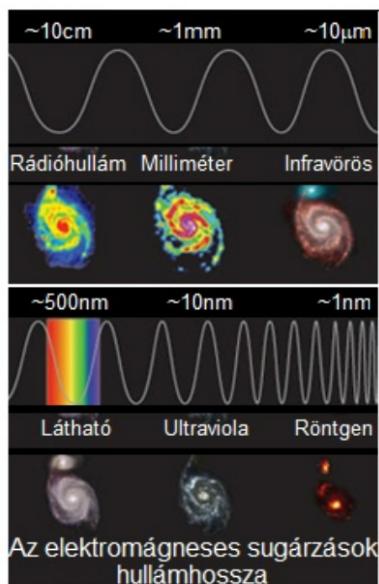
A kozmikus atomok és molekulák kutatása tulajdonképpen egyidős magával a modern csillagászzal. Ennek napjainkban fő mozgató ereje annak kiderítése, hogy az életjelenségekben főszerepet játszó molekulák, illetőleg azok prekursorai megtalálhatók-e a különböző kozmikus objektumokban, pl. aszteroidákban, üstökösökben és a Földre hulló meteoritokban, továbbá a kozmoszban. A spektroszkópiai vizsgálatok eleinte csak a látható színek területére korlátozódtak, de ma már az elektromágneses spektrum minden tartományára kiterjednek; a gamma és röntgen sugárzásoktól a rádióhullámokig.



A rádióhullámok csillagászati alkalmazásának előfutáraként a radartechnika felhasználását tekinthetjük a Föld-Hold távolság meghatározásában, ennek magyar úttörője Bay Zoltán volt, aki az egykori Egyesült Izzóban konstruált radar berendezést használta közvetlenül a II. Világháború befejezését követően. A méréseket 1946 februárjában végezték, az

eredmények közzétételére 1947-ben került sor (1). A radarantennát a Tungsram Kutató Laboratórium épületének a tetején a 2. ábra mutatja.

Noha ilyen méréseket egy évvel korábban amerikai forrásból is közöltek (2), a Bay féle méréseket jel akkumulációs eljárással végezték, aminek segítségével a jel/zaj arányt jelentősen tudták növelni. Ezt a módszert a korszerű radar



**2. ábra** A Bay Zoltán féle radarantenna képe

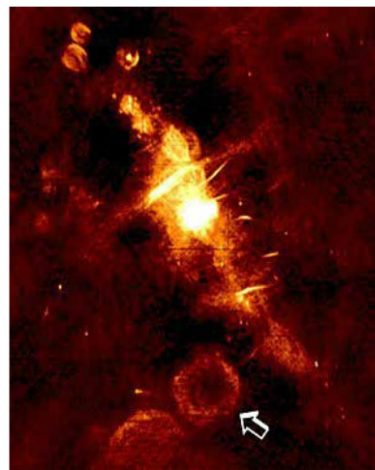
csillagászatban azóta is alkalmazzák. Egyébként a Hold-Föld távolság modern értéke 384400 km. Tekintettel arra, hogy a visszavert sugárzás intenzitása fordítva arányos a kozmikus objektumok Földtől mért távolságának negyedik hatványával, radar csillagászati méréseket csak a Naprendszeren belül lehet végezni.

A rádiócsillagászat célja a kozmikus objektumokból felfogott mikrohullámú,

illetve rádióhullámú sugárzás analízise. Tehát szemben a radar csillagászáttal, amely aktív eljárás, a rádiócsillagászat nem befolyásolja az észlelt jelek természetét és intenzitását, tehát passzív eljárás. Ez természetesen nem csökkenti jelentőségét, és a mai csillagászati módszerek közül a legfontosabbak közé tartozik.

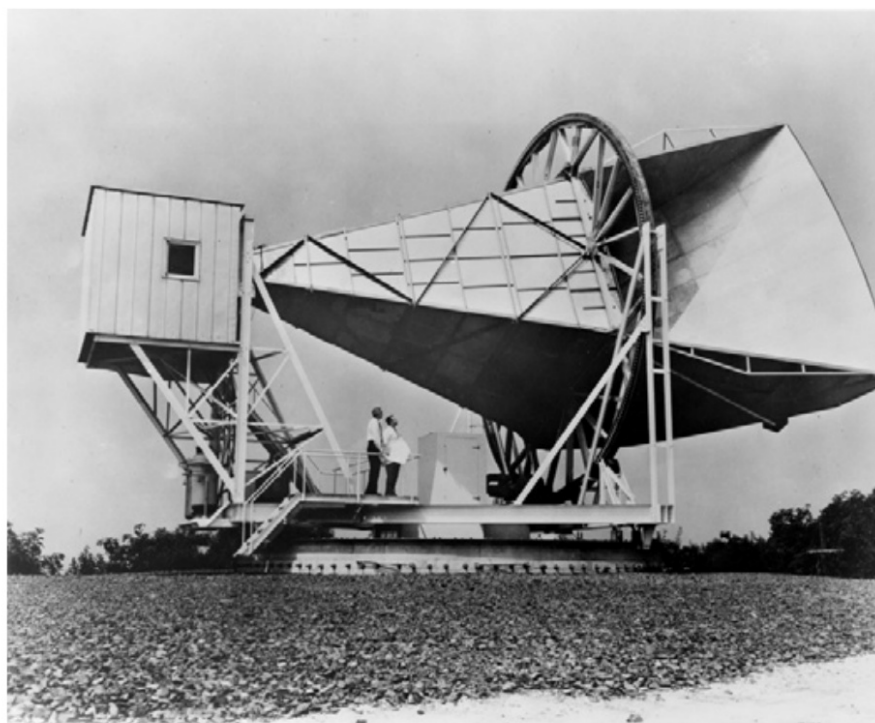
A rádiócsillagászat első művelője Karl Jansky volt az 1930-as években, aki elsőként észlelt a Tejútrendszerből érkező rádiósugárzást. A Bell Telephone Laboratory munkatársa volt és légköri zavaró rádiójeleket tanulmányozott. Ismeretlen eredetű jeleket észlelt, amelyek ismétlődési gyakoriságából arra gyanakodott, hogy a Napból érkező jeleket talált. Később kiderült, hogy a Tejútrendszerből, elsősorban a Nyilas (Sagittarius) csillagkép irányából észlelhetők a jelek.

Noha nem kapcsolódik közvetlenül a molekuláris problémákhoz, meg kell



**3. ábra** képalá: A Tejút központi részének rádiócsillagászati képe

említenünk a kozmikus háttér sugárzás felfedezését. George Gamow, Ralph Alpher és Robert Hermann 1948-ban már megjósolta ennek létezését. Noha több



**4. ábra** Penzias és Wilson a kürtantennájukon

előzetes megfigyelés is utalt a létezésére, tényleges megfigyelése Arno Penzias és Robert Woodrow Wilson nevéhez fűződik. Ők a Bell Telephone Laboratories munkatársai voltak és elsőként próbálták a műholdas jelek vételére használt rádióantennát rádiócsillagászatra alkalmazni. A 4. ábrán bemutatott kürtantenna detektorát úgy tervezték,



5. ábra Az effelsbergi rádiótávcső



6. ábra A greenbanki interferometikus hálózat

hogy a környezeti hőszugárzás befolyása 0,05 K alatt maradjon, ezért a berendezést folyékony héliummal 5 K környékére hűtötték. Ezzel az antennával vizsgálták az égbolt feketetest sugárzásnak megfelelő hőmérsékletét. Az égbolt hőmérsékletét 0 K-nek várták, de a méréseik legalább 2K értékre vezettek. Mindent elkövettek a lehetséges zavaró hatások kiküszöbölésére, pl. a kürtantennából elűzték a galambokat és kipucolták a guánót is, de a különbséget végül is állandónak találták az égbolt bármelyik részén is és pedig 3 K körüli értéken. Mindez 1964-ben történt. A magyarázatot a közeli Princetoni Egyetem kutatói, Robert Dicke és James Peebles adták meg, az észlelt háttér sugárzás a világegyetem egykori forró állapotából visszamaradt feketetest hőmérsékleti sugárzás. Ez mind a mai napig a legközvetlenebb érv az ún. Big Bang ősrobbanás kozmológiai elméletre. Penzias és Wilson ezért a felfedezésükért 1978-ban megkapták a fizikai Nobel-díjat.

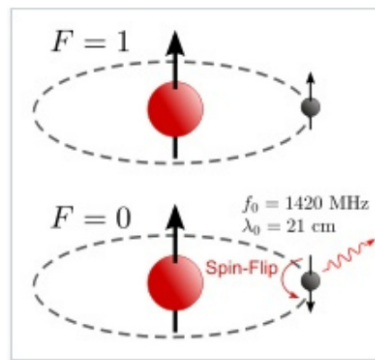
A rádiócsillagászok tehát mikrohullámú és rádióhullámhosszú hőszugárzást észlelnek a világűr különböző objektumaiból. A mikrohullámok frekvenciatartománya 1mm és 1 m között van, ami 300 GHz – 300MHz frekvencia tartománynak, míg a rádióhullámok a 300 Mhz alatti frekvenciáknak, tehát 1 m –nél hosszabb hullámoknak felelnek meg. A többnyire a háztetőkön látható lakossági rádióantennákat úgy tervezik, hogy a 900 MHz és 3 GHz közötti frekvenciákon működjenek (2, 3 és 4G hálózatok). Műhold vételre alkalmas parabola antennák is sokhelyütt találhatóak.

A rádiócsillagászatban számos, különböző frekvenciákon működő teleszkóp van, ezek vagy egyedi parabola antennák, vagy interferometrikus hálózatba kapcsolt parabola sorozatok. Az 5. ábrán látható a németországi effelsbergi 100 m átmérőjű rádió távcső, míg az 6. ábra az USA-beli greenbanki interferometikus hálózatot mutatja be. Az effelsbergi létesítmény frekvencia tartománya 300 MHz és 90 GHz között

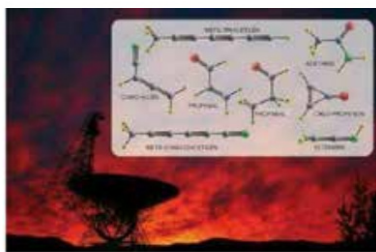


7. ábra Az areciboi 305 m –es rádióteleszkóp (Puerto Rico) egykori képe.

van, míg a greenbanki teleszkóp frekvencia tartománya:290 MHz -50GHz illetve 67 GHz -115GHz. A 7. ábra mutatja be az areciboi óriás rádióteleszkópot.1963-ban építették, és eredetileg radarállomásnak tervezték a Szovjetunióból esetlegesen kilőtt interkontinentális rakéták észlelésére.



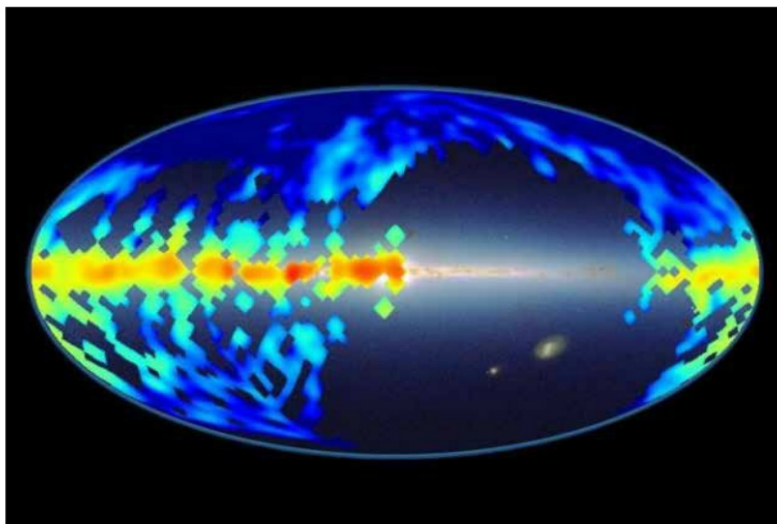
8. ábra a spin parallel – antiparallel átbillenés illusztrációja.



9. ábra Rádiócsillagászati módszerrel azonosított szerves molekulák.

Sajnos 2020-ban véglegesen megsérült, összeomlott és teljesen le kellett szerelni. Felújítására tervek vannak. Az 1995-ben bemutatott Aranyszem című James Bond filmben is szerepelt. Történetéről megjelent cikk (3). Ha valaki kíváncsi a világon található rádiótvécsövekre, megtekintheti azokat a következő webcímen: (List of radiotelescopes, Wikipedia).

A kozmoszból érkező mikrohullámú sugárzás egyik nagyon fontos forrása a semleges hidrogénatom spektroszkópiái hiperfinom szerkezeti átmenete, az ún. spin-flip átmenet. Ez akkor jelentkezik, amikor a hidrogénatom elektronspinjének a protonspinhez viszonyított irányítottasága megfordul, ahogy azt a 8. ábra mutatja be, a magasabb energiájú



11. ábra A diffúz csillagközi sávok galaktikus elhelyezkedése

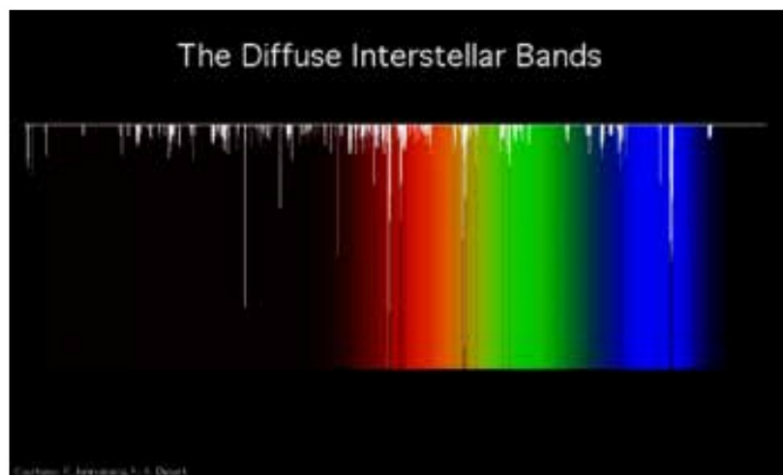
parallel spin állapotból az alacsonyabb antiparallel állapotba kerül.

A hidrogénatomok még a kozmikus háttérsugárzási 2.73 K hőmérsékleten is gerjesztődnek a magasabb energiájú spin állapotba, de – a nagyon ritka – ütközésektől eltekintve ebben az állapotban rendkívül hosszú ideig maradhatnak (nagyságrendileg 10 millió évig), mivel ez a spin –átmenet szimmetriatiltott. Az átmenet

mikrohullámú frekvenciája kb. 1420 Mhz, azaz hullámhossza 21 cm. A 21 cm sugárzást elsőként Harold Irving Even és Edward Mills Purcell észlelte 1951-ben a Harvard Egyetemen. Ez a sugárzás szinte akadálymentesen terjed a kozmoszban, segítségével a Tejút-rendszer szerkezete és mozgási állapota feltérképezhető. Ennek nagy jelentősége van, mert Naprendszerünk galaxisunk síkjában helyezkedik el, így a Tejútra merőlegesen nem figyelhető meg.

Számos kémiai elem atomjainak hiperfinom szerkezetét tanulmányozták rádiócsillagászati módszerrel a hidrogéneken kívül (pl. D, He, C, S ...).

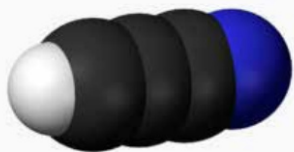
A rádiócsillagászat forgási színeképek megfigyelésén alapul. Forgási színeképek csupán poláris molekulák esetében



10. ábra Diffúz csillagközi sávok a látható színek tartományban

”  
A rádiócsillagászat célja a kozmikus objektumokból felfogott mikrohullámú, illetve rádióhullámú sugárzás analízise.”

”



**12. ábra A ciano-acetilén lineáris molekula.**

lehetséges, tehát permanens elektromos dipólusmomentumot igényel. A molekulák szimmetriája határozza meg polaritásukat. Csak azok a molekulák jöhetnek számításba, amelyek poláris szimmetria pontcsoportba tartoznak. Vannak olyan spektroszkópiai effektusok, amelyek csökkentik a molekulaszimmetriát és így lehetővé teszik forgási színeképük megfigyelhetőségét. Pl. egy atom

izotópjának beépülése, vagy a centrifugális torzulás lecsökkentheti a molekulaszimmetriát, de az így létrejövő dipólusmomentum általában kicsiny. Mivel a forgási spektrum vonalainak intenzitása a dipólus momentum négyzetével arányos, jól észlelhető forgási spektrum létrejöttéhez minél nagyobb permanens dipólusmomentum szükséges.

A rádiócsillagászati mérések alapján számos szerves molekulát sikerült azonosítani a kozmosz különböző objektumaiban. A 9. ábra mutat be néhány ilyen, kisebb méretű szerves molekulát. (4)

A kozmikus molekulák kutatását az ún. diffúz csillagközi sávok (DIB= diffuse interstellar band) problematikája lendítette fel. Ezek gyenge spektroszkópiai abszorpciós sávok vörös színű csillagok és egyéb csillagászati objektumok színeképében, amelyek értelmezése, azaz

Antracén		Benzo(a)pirén	
Krizén		Koronén	
Korannulén		Naftacén	
Naftalin		Pentacén	
Fenantrén		Pirén	
Trifenilén		Ovalén	

**Táblázat (PAH molekulák)**



**13. ábra A Taurus (Bika) csillagkép igen gazdag tartalmazza az ábra alsó sora.**

adott molekulákhoz történő egyértelmű hozzárendelése, nagyon nehéz feladat. A közeli ultrabolya, a látható tartományú és közeli infravörös színek tartományokban figyelték meg eleinte ezeket a sávokat, és szélességüket nem lehetett Doppler szélesedésnek betudni. Spektrális elhelyezkedésük arra utalt, hogy relatíve kis energiakülönbségekből erednek az elektronsávok tartományában. A 10. ábra mutat be néhány ilyen abszorpciós sávot.

A legkorábbi DIB sáv megfigyelést 1921-ben tette Mary Lee Heger, de ilyen sávokkal részletesen elsőként Paul Merrill foglalkozott 1934-ben. Azóta számos tanulmány irányult ezeknek a DIB sávok nehezen azonosítható molekuláris eredetének tisztázására. Annyi bizonyos, hogy az intersztelláris közegben található molekulák jelenléte okozza ezeket az abszorpciós színeképi sávokat. Mind a mai napig az optikai csillagászatban főként csak kis, néhányatomos molekula jött szóba, mint lehetséges forrás, és az ultrabolyától az infravörös tartományig



PAH molekulákban, ezek szerkezetét

már több, mint 500 ilyen sávot figyeltek meg. Gerhard Herzberg, a molekulaszpektroszkópia 'pápája' (kémiai Nobel díjas: 1971) úgy vélekedett, hogy a DIB sávok kis, több hidrogénatomot tartalmazó molekulák, ún. predisszociációs folyamatának eredményeként nyerik elmosódott spektrális szerkezetüket (pl.  $\text{CH}_4 + \text{NH}_4$ ) (5).

Brice Ménard és Gail Zasowski (Johns Hopkins University) a Sloan Digital Sky Survey alapján a 11. ábrán látható DIB eloszlási térképet állította össze, amit az American Astronomical Society 225. ülésén mutattak be az USA-ban, Seattle-ben. A térkép a Tejútrendszer legsűrűbb részére koncentrált infravörös mérések alapján.

Noha, mint előbb említettük, Gerhard Herzberg kismolekulák predisszociációjának tulajdonította a DIB sávokat, és más munkák szerint ezek a csillagközi porszemcséknek tulajdoníthatók, modernebb kutatások

inkább feltételezik, hogy a DIB sávok többatomos szénmolekulákkal kapcsolatosak. Sir Harold Kroto, angol mikrohullámú spektroszkópus cianopolynnek kozmikus jelenlétére gondolt. Ezzel kapcsolatos laboratóriumi kísérletek vezettek el a fullerének felfedezéséhez (fizikai Nobel díj, 1996). A legegyszerűbb ilyen molekulát a 12. ábrán láthatjuk térkitöltéses molekulapálya ábrázolásban.

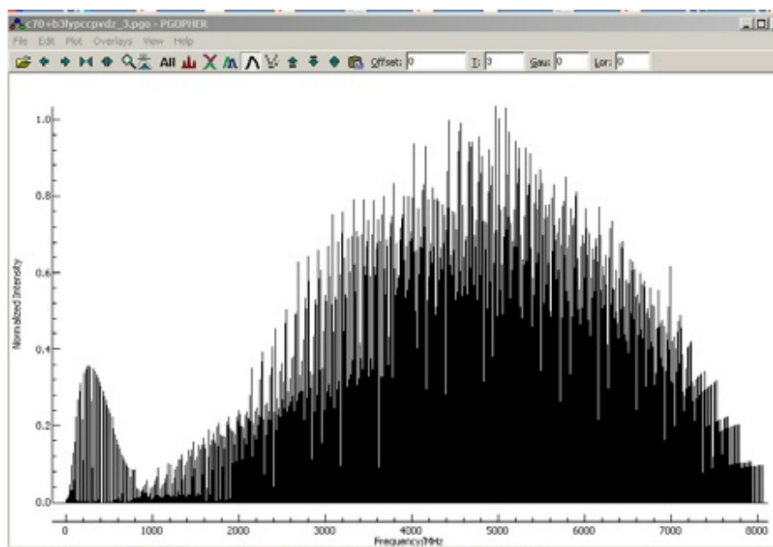
A csillagközi molekulák között speciális helyet foglalnak az ún. PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons – policiklikus aromás szénhidrogének) molekulák, néhányat közülük a táblázat tartalmaz. Sokan gondolják úgy, hogy ezek és ionizált vagy kémiaiilag szubsztituált származékaik a fő forrásai a DIB sávoknak.

A PAH molekulák további érdekessége, hogy hidrogénvesztéssel fullerénekké alakulhatnak át. Így a PAH kutatások összekapcsolódnak a kozmikus fullerén kutatásokkal. Az Orion köd igen gazdag csillagközi molekulákban, így PAH molekulákban is. A NASA Ames Kutatási Központja tart fent egy infravörös spektroszkópiai adatbázist (6) és európai kezdeményezés a Cosmic PAH Portal (7)

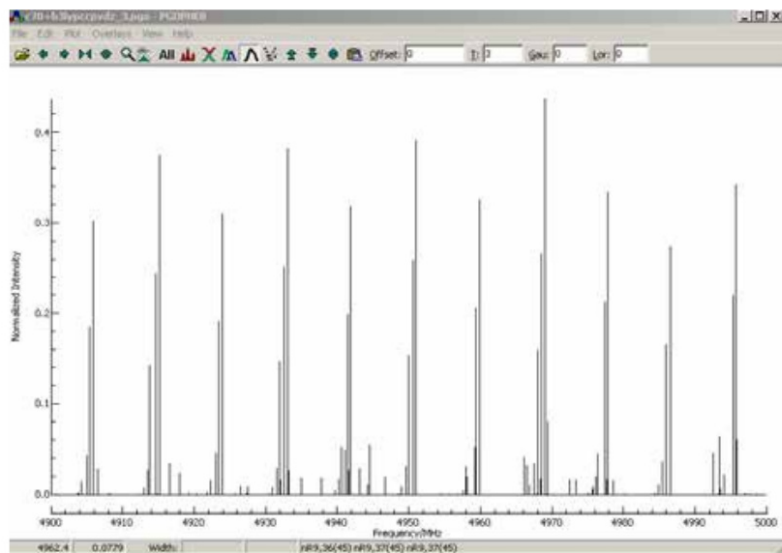
amely már felkészült a Webb Infravörös Teleszkóp infravörös spektroszkópiai adatainak feldolgozására.

Ma már nagyon sok csillagközi molekulát sikerült rádiócsillagászati és optikai spektroszkópiai módszerekkel felfedezni a csillagközi térben, planetáris ködökben, távoli galaxisokban és egyéb helyeken. Ezek áttekintése megtalálható egy 2022-es közleményben (8)

A rádiócsillagászat szerepe a PAH és fullerén molekulák megtalálásában egyelőre még tisztázatlan, ugyanis a semleges  $\text{C}_{60}$  és  $\text{C}_{70}$  molekulák és a neutrális és szubsztituátlan PAH molekulák nem polárisak, tehát nincsenek tiszta forgási (rádióhullámú) spektrumaik. Eddig egyetlen kivétel ismert; a 1. táblázatban szereplő korannulén, amelynek gömbszelet geometriája és 2 Debye körüli dipólusmomentuma van. Ezenkívül a korannulén laboratóriumi mikrohullámú spektruma is ismeretes, így jó esély van rádiócsillagászati felfedezésére. Ionizált PAH és fullerén molekulák spektroszkópiája alig ismert, egyetlen kivétel a  $\text{C}_{60}^+$  monokation, amelyet elektronspektroszkópiai csillagászzal sikerült DIB molekulaként



13. ábra A C70+ kation tiszta forgási spektruma 0-8000 MHz tartományban, 3K hőmérsékleten



14. ábra, A fenti spektrum 4900 -5000 MHz között

azonosítani. A semleges  $C_{60}$  és  $C_{70}$  fulleréneket sikerült a TC-1 planetáris ködben a Spitzer infravörös teleszkóp segítségével megtalálni. Egyéb fullerénszarmazékokat egyelőre nem találtak, noha interstelláris molekulák után több helyütt is kutatnak. Ilyen pl. az USA-beli GOTHAM projekt, amely a greenbanki rádióteleszkóp felhasználásával hideg, sötét molekuláris felhőkben folytat intenzív kutatásokat.

A Webb teleszkóp infravörös berendezéseivel várhatóan sok új molekulára lehet majd akadni, de az infravörös spektrumok egyedi molekulákhoz való rendelése sokszor problémákba ütközik, ugyanis az egyes jelenlevő molekulák spektrumsávjai egymással átfednek. Ezenkívül pl. ionizált molekulákban a rezgési színek kvantumkémiai számítása nem mindig végezhető el a kvantumkémia szokványos eszközeivel, mert a rezgési és elektronállapotok erősen csatolódnak és a Born-Oppenheimer (BO) adiabatikus közelítés nem alkalmazható. Így pl. az igen széles körben használt Gaussian szoftver, ami a BO közelítésen alapul, nem képes a

kísérleti infravörös spektrumokat helyesen szimulálni.

Ezért van jelentősége a rádiócsillagászati megfigyeléseknek, mert az észlelt spektrumokban az egyedi molekulák forgási vonalai egymástól jól elkülönülnek, és a forgási színek kevésbé érzékeny az elektron-rezgési kölcsönhatásokra.

Már közöltek kvantumkémiai számításokat a  $C_{60}^+$  monokation mikrohullámú spektrumára (9), ugyanis a  $C_{60}$  ikozaéderes szimmetriája miatt, a benne fellépő Jahn-Teller effektus csak  $D_{5d}$  szimmetriára redukálja a molekulageometriát, és ez is apoláris szimmetriacsoport, így a  $C_{60}^+$  ion sem rendelkezhet tiszta forgási színekkel. Azonban, ha az egyik szénatom  $^{13}C$  izotóp, az ionnak létre jön permanens dipólusmomentuma, de ez csak 0,03 Debye körül van, ami nem elégséges a mikrohullámú spektrum megfigyelésére.

A jelen szerző előzetes kvantumkémiai és spektrumszimulációs számításai alapján elvileg lehetséges a  $C_{70}^+$  kation rádiócsillagászati megfigyelése (10) ugyanis ebben az ionban a Jahn-Teller effektus az eredeti apoláris  $D_{5h}$

geometriát  $C_s$  geometriára torzítja, aminek 1.3 Debye körüli permanens dipólusmomentuma van. A 13. ábra mutatja be az ion 3K hőmérsékletre számított mikrohullámú színeképet. Mint látható az ionnak igen sok forgási vonala jelentkezik kb. 142000, de ha egy szűk frekvencia tartományban vizsgáljuk a számított spektrumot, pl. a 14. ábra 100 MHz szélességű tartományában, az egyes forgási vonalak jól elkülönülnek, így megfelelő színeképi felbontás esetén jól azonosíthatók.

Meg kell azonban jegyezni, hogy a rádiócsillagászati kutatásokhoz a laboratóriumi mikrohullámú spektrumok az optimálisak. A fullerénionok és nagy PAH molekulák laboratóriumi mikrohullámú spektroszkópiája azonban igen nehéz, esetenként szinte megoldhatatlan feladat.

Nemes László

**IRODALOM**

- Z. Bay, Reflections of microwaves from the moon, *Hungarica Acta Physica*, I. évf. 1. sz. (1947) 1–22. Oldal
- Mofenson, Jack; „Radio Echoes From the Moon”, *Electronics*, April 1946; [https://csillagvizsgalo.blog.hu/2020/12/10/volt\\_egyszer\\_egy\\_arecibo](https://csillagvizsgalo.blog.hu/2020/12/10/volt_egyszer_egy_arecibo) „ 2008 július 10 Szalai Tamás, Csillagközi molekulavadászat, <https://www.csillagaszat.hu/hirek/tejutrendszer/tr-csillagkozi-anyag/csillagkozi-molekulavadaszat/>, 2008 július 10
- G. Herzberg: Remarks on the diffuse interstellar lines, *I.A.U. Symposium no. 31*, 1967
- NASA AMES PAH Infrared Spectroscopic Database (Webb Telescope site)
- Cosmic PAH Portal (<https://cosmic-pah.irap.omp.eu/doku.php>)
- B.A. McGuire, Census of interstellar, circumstellar, extragalactic, protoplanetary disk, and exoplanetary molecules, *Astrophysical Journal Supplement Series* 239.30 (51pp), 2022 April
- K.M.T. Yamada, S.C. Ross, F. Ito:  $^{13}C$ -substituted  $C_{60}^+$ : Predictions of the rotational spectra, *Molecular Astrophysics* 6 (2017) 9-1
- Nemes László: A  $C_{70}^+$  kation Jahn-Teller indukált tiszta forgási spektruma, MTA VII. oszt. AMMB ülésén 2022, október 21. elhangzott előadás





# A GENETIKAI KÓD SZEREPE a vírusfertőzésekben

```

1 AUUAAAGGUUUUACCUUCCAGGUAACAA
ACCAACCAACUUUCGAUCUCUUGUAGAUCU
61 GUUCUCUAAACGAACUUUAAAAUCUGUGUG
GCUGUCACUCGGCUGCAUGCUUAGUGCACU
121 CACGAGUUAUUUAAAUAUAUUUACUGU
CGUUGACAGGACACGAGUAACUCGUCUAUC
181 UUCUGCAGGCGUCUUCGGUUUCGUCCGUG
UUGCAGCCGAUCAUCAGCACAUCAAGGUUU
241 CGUCCGGUGUGACCGAAAGGUUAAGUGGA
GAGCCUUGUCCUGGUUUAACGAGAAAAAC
301 ACACGUCAA.....

```

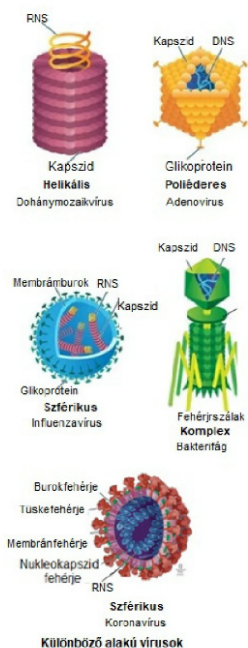
```

29821 UUUAGUAGUCUAUCCCAUGUGAUUUAAA
UAGCUUCUUAAGGAGAAUGACAAAAAUAUA
29881 AAAAAAAAAA AAAAAAAAAA AAA

```

GenBank: MN908947.3 (Wuhan-Hu-1)

A vírusok biológiai paraziták, amelyek önmagukban szaporodásra képtelenek, de bejutva az élőszervezetek sejtjeibe azok fehérjéit használják fel saját másolataik előállítására. Elszaporodásuk után kapcsolatba lépnek a gazdaszervezet genetikai állományával és különféle betegségeket okozhatnak.

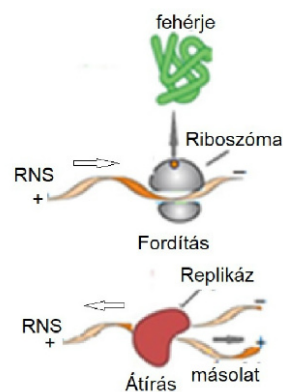


A vírusok egy kapszidnak nevezett fehérjehéjba burkolt DNS- vagy RNS-nukleinsav genomból állnak. A kapszidon kívül néhány vírusnak van egy külső lipidmembránja, az úgynevezett burok (köpeny), amely az egész kapszidot körülveszi. A burokfehérjék segítik a vírusrészecskék kötődését a gazdasejtekhez és védik magát a genomot a sérülésektől.

A vírusok formája nagyon változatos. Lehetnek helikálisak, poliéderesek, szférikusok és komplex formájúak is. Többségük átmérője 20-300 nm közé esik, jóval kisebbek, mint a sejtek.

## A VÍRUSGENOMOK

A vírus genomja egy algoritmus, nukleinsavba kódolt utasítások halmaza, amely saját replikációjához minden



szükséges információt tartalmaz. Egy program, amelyet a gazdasejt molekuláris gépezetei olvasnak és legyártják a vírus replikációjához szükséges fehérjéket (fordítás, transzláció) és genomjának másolatait (átírás, transzkripció),

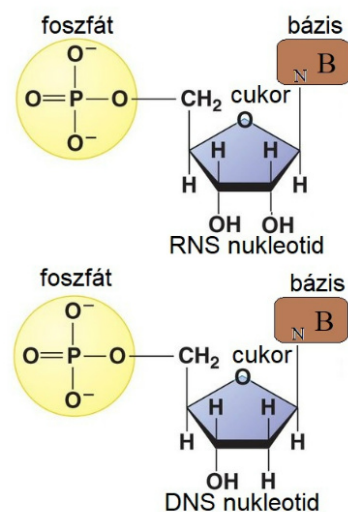
hasonlóan napjaink 3D nyomtatóíhoz. A fehérjék és genom szintéziséhez szükséges biomolekulákról, az aminosavakról és nukleotidokról a megfertőzött gazdasejt gondoskodik.

Bár a vírusok önmagukban nem tekinthetők élőnek, ennek ellenére van néhány fontos közös tulajdonságuk a sejtalapú élő szervezetekkel. Nukleinsav genomjuk ugyanolyan genetikai kódokon alapul, mint amit az élőszervezetek sejtjeikben használnak. A sejtalapú élethez hasonlóan a vírusok is genetikai változatossággal rendelkeznek.

## NUKLEINSAVAK

A nukleinsavak monomer nukleotid molekulák polimer láncolatai. Egy nitrogénbázisból, egy pentóz cukorból és egy foszfát csoportból állnak. A DNS és RNS nukleinsav szájakat felépítő nukleotidok eltérnek egymástól a cukor összetevőikben. A DNS esetében ez deoxiribóz, az RNS estében ribóz molekula.

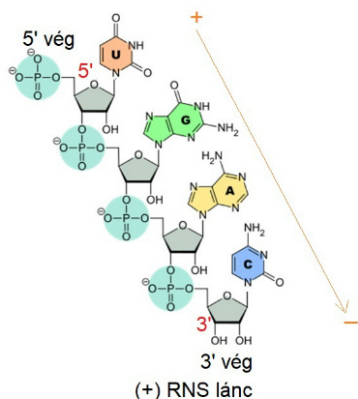
A nukleotidok nitrogénbázisai purin vagy pirimidin származékok. A DNS nukleotidjainak nitrogénbázisai az adenin (A), guanin (G), timin (T) és citozin (C).



## A vírus genetikai állománya, a víruskód a replikációja során módosulhat.

Az RNS nukleotidok a timin helyett uracil (U) nitrogénbázist tartalmaznak.

A nukleotidok a nukleinsavláncban úgy kapcsolódnak egymáshoz, hogy a foszfátcsoporthoz a szomszédos nukleotid pentóz egységének 3'-OH csoportjával alakítanak ki foszfodiészter kötést. Így a nukleinsav gerincét ezen pentóz-foszfát-lánc alkotja. A lánc 5' végén a pentóz csoport 5' szénatomjához foszfát csoport kötődik, a lánc 3' vége a pentóz 3' hidroxil csoportjával végződik. Ebből következik a nukleinsavak szájak irányítottasága, polaritása is, vagyis az a biológiailag fontos tulajdonság, hogy a nukleinsav szájak 5'- és 3'-vége szerkezeti és funkcionális szempontból is eltér egymástól. Az 5' véggel kezdődő láncot pozitív (+) vagy szensz szálnak, a 3' véggel kezdődő láncokat negatív értelmű (-) vagy antiszensz szálnak nevezik. A genetikai kódot mindig az 5'->3' pozitív irányítású szensz szál hordozza, ha ez nem áll rendelkezésre, a genom replikációja során szintézis útján fog előállni.



A genom – a nukleinsav típusától függetlenül – lehet egyszálú (ss, „single stranded”), vagy kétszálú (ds, „double stranded”). A kétszálú genom egy szensz és egy antiszensz nukleinsav szájból áll. Az egyszálú nukleinsavak hélix szerkezetűek, a kétszálúak kétszálú hélix szerkezetet alkotnak. A kétszálú genomokban az egymás körül csavarodó nukleinsav szájak (egyik szensz, másik antiszensz) bázisai hidrogénkötéssel bázispárokat alkotnak.

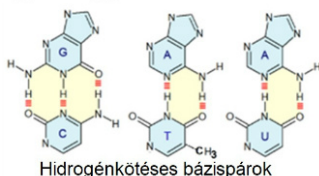


A dsDNS szájakat guanin-citozin és adenin-timin, a dsRNS szájakat guanin-citozin és adenin-uracil hidrogénkötéses bázispárok kötik össze. Ezen bázispárok képződése energetikailag kedvező.

A guanin három H-bridet alkot a citozinnal, az adenin két H-bridet alkot az



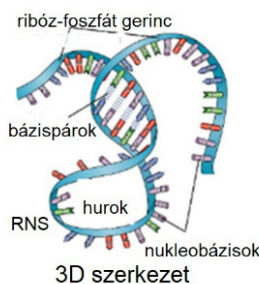
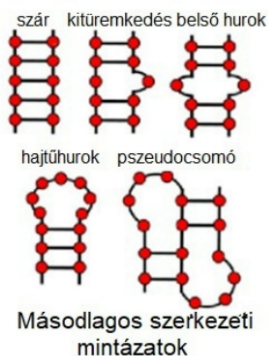
uracillal és a timinnel (RNS vagy DNS). Más ún. nemkanonikus hidrogénkötéses bázispárok is léteznek, de ezek energetikailag jóval kedvezőtlenebbek.



Ha ismerjük a bázisok szekvenciáját a kétszálú nukleinsav egyik szálán, (például a pozitív értelmű szálon), akkor automatikusan ismerjük a másik, antiszensz szál (-) szekvenciáját is. Azt a jelenséget, hogy meghatározott bázispárok léteznek, komplementer párosításnak nevezik. A nukleinsavak ezen tulajdonsága nem csak a kettős-hélix szerkezet kialakulását segíti elő, de lehetővé teszi a sejt molekuláris gépezetei számára a nukleinsav-szálak által tárolt genetikai információ leolvasását és a szálak másolatainak elkészítését is.

Az RNS-molekulák többnyire egyszálú formájukban léteznek, de előfordulnak két szálú formában is. A fehérjékhez hasonlóan az RNS-molekulák is alkothatnak másodlagos és harmadlagos struktúrákat.

A bázispárosodásnak megfelelően a szálak bizonyos részei összehajolhatnak, összetapadhatnak, másodlagos szerkezetet alakítanak ki, ún. hajtűhurkokat képezhetnek. A másodlagos szerkezetek leggyakoribb típusa a szár-hurok szerkezet. A szár-hurok szerkezetben az RNS egy szegmense felhajlik, így



hidrogénhid keletkezik a dsRNS-molekula másik komplementer szegmensével. Az RNS-molekula azon részei, amelyek nem rendelkeznek szomszédságban komplementer nukleotid szekvenciával, dudorokat képeznek, amelyek ugyan destabilizálják az RNS lokális szerkezetét, de fontos szerepük van a fehérjék szintézisének katalitikus reakcióiban.

Szubsztrátként szolgálhatnak enzimatis reakciókhoz felismerési helyeket biztosítva az RNS-kötő fehérjék számára.

Az élőszervezetek genomjai kétszálú DNS molekulák. A vírusok túlnyomó többsége ribonukleinsav (RNS) – genomokkal rendelkeznek, de előfordulnak deoxiribonukleinsav (DNS)- genomú vírusok is. Mindkét típus genomja lehet egyszálú (ss) vagy kétszálú (ds) és körkörös, lineáris vagy szegmentált elrendezésű is. Az utóbbi típusú például az influenza vírus is, amelyben mindegyik genom-szegmens egyetlen fehérjét kódol. Egyszálú genom lehet pozitív vagy negatív értelmű a nukleinsav szál polaritásától függően.

Egyszálú ribonukleinsav (ssRNS) genomokkal rendelkezik például a hepatitis C (HCV) vírus, a HIV vírus, nyugat-nílusi vírus, a trópusi térségben gyakori dengue-láz vírusa, a kanyaró kórokozója a morbilli vírus és a MERS, a SARS és a Covid-19 fertőzést okozó SARS-CoV-2 koronavírusok, valamint klinikailag kevésbé súlyos kórokozók, mint például a náthát okozó rinovírusok. DNS genomú vírusok a bárányhimlőt és fekete himlőt okozó varicella zoster és variola vírusok.

A genomok méretét a nukleobázisok (b) vagy bázispárok (bp) száma jellemzi, attól függően, hogy egy- vagy kétszálúak.

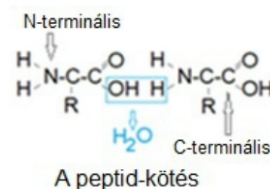
A vírusgenomok mérete 2 kilóbázistól néhány száz kilóbázis hosszúságig terjed. A baktériumok megabázis, az eukarióták gigabázis nagyságrendbe eső genom méretekkkel rendelkeznek.

	29-31 kb
Koronavirus	29-31 kb
E. Coli	4.5 to 5.5 Mbp
Humán	3,1 Gbp
Genom méretek b bázis, bp bázispár	

Az RNS-genomokkal rendelkező vírusok között az egyszálú pozitív értelmű (+) RNS-genomok fontos alcsoportot képviselnek a vírusok között. A pozitív értelmű genom hírvívó RNS-ként (mRNS) működhet, és a gazdasejt riboszómái által közvetlenül vírusfehérjékké fordítható.

## FEHÉRJÉK

A fehérjék meghatározott sorrendű aminosavak hosszú láncolatai. Az élőszervezetek fehérjei 20 különböző aminosavból épülnek fel, amelyek peptidkötéssel összekapcsolódnak és polipeptidláncokat alkotnak.



A peptidok rövid, a polipeptidok hosszú aminosavláncok. A fehérjék két vagy több polipeptidláncból állnak össze.

A fehérjék elsődleges szerkezete – az aminosavak kapcsolódási sorrendje – mellett, alakjuk is rendkívül fontos funkciójuk betöltéséhez. A fehérjeszerkezet következő szintje az aminosavak ismétlődő mintázatai, a másodlagos szerkezet, amelynek leggyakoribb típusai az  $\alpha$ -hélix (spirális szerkezetű polipeptid lánc), és a  $\beta$ -redő (két vagy több polipeptidlánc lapszerű szerkezete). Mindkét szerkezeti formát hidrogénkötések alakítják ki. A polipeptid teljes háromdimenziós felépítését, melynek jelentős szerepe van a



molekuláris felismerésben, harmadlagos szerkezetnek nevezzük. Ez kialakulhat egy vagy több polipeptid láncból is.

## A VÍRUS REPLIKÁCIÓJA

A vírus replikációjának technológiája összetett mechanizmusokat alkalmaz, különböző vírus- és sejtfehérjéket igényel és három alapvető részből áll: (a) nukleinsav víruskód olvasása és a szükséges fehérjék szintézise (fordítás, transláció), (b) a víruskód másolatának szintézise (átírás, transzkripció), (c) a vírus elkészült összetevőinek összerakása, burkolása.

A technológia – biokémiai reakciók programozott sorozata – különböző vírus- és sejtfehérjéket igényel.

### A vírus replikációjához szükséges fehérjék típusai.

A vírusfehérjéket funkcióik szerint csoportosítják. Ezek strukturális fehérjék, nem-szerkezeti (riboszómális) fehérjék és szabályozó fehérjék. A fehérjék jó része anyagcsere folyamatot katalizáló enzim.

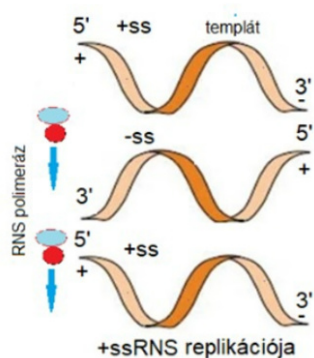
#### Strukturális fehérjék a

burokfehérjék, membrán fehérjék és nukleokapszid fehérjék. Funkciójuk a vírusburok kialakítása, és a genom védelme, beágyazása.

**Nem-szerkezeti fehérjék** a különböző enzimek és transzkripció faktorok, amelyek a vírus replikációját végzik. Ilyen például a vírusproteáz, RNS-replikáz vagy más polimerázok, továbbá olyan enzimek amelyek katalizálják a virális polipeptidek hasítását, vagy védik a genomot gazdaszervezet védekezésével szemben.

**Szabályzó és kiegészítő fehérjék** azok a fehérjék, amelyek szabályozzák a genom fordítását és átírását, vagy részt vesznek a gazdasajt funkcióinak módosításában. Sok ebbe a kategóriába tartozó fehérje több funkciót is ellát.

A pozitív szálú RNS vírusok kódolt fehérjéi közül az egyik fontos riboszómális fehérje az RNS-függő RNS-polimeráz (RdRp), amely elengedhetetlen a vírus replikációhoz, mivel ilyen motoros fehérje nem fordul elő a gazdasajtekben. Ez egy olyan enzim, amely az adott RNS-el komplementer RNS-szál szintézisét katalizálja. Az egyszálú (+)ssRNS genomok másolatait az RNS polimeráznak két lépésben kell elkészítenie.



A jelenség hasonlít egy fémtárgy (+) formaöntéséhez, amelynek lényege az, hogy elkészítenek egy üreget, ami a minta (templát) fémtárgy negatívját tartalmazza (-), aztán az üregbe megolvasztott fémeket vagy műanyagot öntenek és hagyják megdermedni lemásolva ezzel az eredeti fémtárgyat (+).

A következőben a pozitív értelmű egyszálú +ssRNS genomú vírusok kódolásába és replikációjába szeretnénk betekintést nyújtani, különös tekintettel a

napjainkban is terjedő Covid-19 pandémiát okozó SARS-CoV-2 koronavírusra.

## A KÓD NYELVE ÉS A GENOM ARCHITEKTÚRÁJA

A genom nem más, mint nukleinsav láncba programozott önálló feladatokat ellátó utasítások sorozata, amely tartalmazza a biológiai szervezet működéséhez szükséges biokémiai lépéseket. Az utasításokat a nukleinsav cukorfoszfát láncára rögzített különböző hosszúságú, de meghatározott sorrendű nitrogénbázisok szekvenciái kódolják.

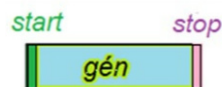


A kódolás nyelve digitális, de nem bináris. A bináris kód 2 számjegyet (0,1) használ. A timin (T), cisztein (C), guanin (G), adenin (A) (DNS) vagy az uracil (U), cisztein (C), guanin (G), adenin (A) (RNS) bázisokkal kódolt genom kvaterner kódolás.

A genom kétféle biológiai információt hordozó nitrogénbázis szekvenciákkal rendelkezik: az egyik a fehérjék kódolását, a másik a gének működését, átírását és fordítását szabályozza. Utóbbiak a genom mindkét végén, ill. a fehérjék kódjai között elhelyezkedő, fehérjéket nem kódoló szekvenciák.

## A GÉNEK

A gének elején start kód jelzi, hogy hol kezdődik a szekvencia fordítása és a végén stop jel ad utasítást a fordítás leállítására.



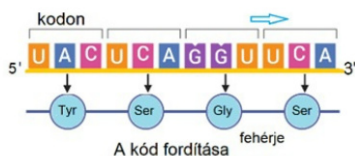
Egy fehérje összes aminosavát kódoló – start és stop jel közé zárt – nukleotid szekvenciát, nyitott leolvasási keretnek nevezik (ORF, az angol open reading frame után). Nyitott abban az értelemben, hogy a fordítás, a leolvasás folyamatos a



két jel között. A genom génjeinek jelölése ennek megfelelően ORF1, ORF2, ORF3, etc. A leolvasás mindig balról jobbra, vagyis az 5' irányból a 3' felé történik, a start jeltől a stop jelig. A stop jelhez enzim kötődik, amelynek hatására a riboszóma felszabadítja a teljes szintetizált peptidláncot.

## A FEHÉRJÉKET KÓDOLO GÉNEK

A génekben a szervezetek működéséhez szükséges fehérjék aminosav szekvenciáit a bázissorrend kódolja, ezért a sorrendnek kiemelten fontos szerepe van. A biológiai szervezetek fehérjéinek kialakításában alapvetően 20 különböző aminosav vesz részt. A genom 4-féle bázist tartalmazó nukleotidot használ fehérjék kódolására. Emiatt egy aminosav kódolására legalább 3 nukleotid szükséges, hiszen két nukleotiddal csak  $4^2 = 16$  fehérje lenne kódolható. A három nukleotidból álló szekvenciákból azonban már  $4^3 = 64$  különböző képezhető (ismétléses variáció). Az evolúció során célszerűen ez valósult meg. Az egyes aminosavakat kódoló három nukleotidból álló szekvenciát kodon-nak nevezik (az angol codon nyomán). A kodonok biztosítják a kulcsot, amely lehetővé teszi a kód fordítását. A fordítás során a gén nukleotid szekvenciája egy polipeptid lánc (fehérje) aminosav-szekvenciájává válik.



A 64 ( $4^3$ ) lehetséges kodonból 61, aminosavat kódol. Például az UUA codon a leucint kódolja. Három kodon UAA, UAG, UGA a fehérjelánc végét jelző stop jelet definiálják. A genom olvasásának kezdetét jelentő start jel a metionin aminosavat kódoló AUG codon (minden fehérje első aminosava a metionin).

A kodonok száma több mint háromszorosa, a szükséges aminosavak számának. Emiatt a kódolás redundáns,

több kodon kódolja (2,3,4,6) ugyanazt az aminosavat (pl. a leucint és az arginint 6-6 kodon). Ez előnyt jelent pontmutációk (egyetlen bázis kicserélődése). esetén, hiszen csökkenti a lehetséges aminosav hibák számát a fehérjében.

Az egyes aminosavak kodonjait az alábbi kodon táblázat tartalmazza feltüntetve a kódolt aminosavak jelöléseit is.

		2. karakter											
		U			C			A			G		
U	Fenilalanin	Phe	F	Szerin	Ser	S	Tirozin	Tyr	Y	Cisztein	Cys	C	U
	Fenilalanin	Phe	F	Szerin	Ser	S	Tirozin	Tyr	Y	Cisztein	Cys	C	C
	Leucin	Leu	L	Szerin	Ser	S	Stop	-	Stop	-	Stop	-	A
	Leucin	Leu	L	Szerin	Ser	S	Stop	-	Stop	-	Stop	-	U
C	Leucin	Leu	L	Prolin	Pro	P	Hisztidin	His	H	Arginin	Arg	R	U
	Leucin	Leu	L	Prolin	Pro	P	Hisztidin	His	H	Arginin	Arg	R	C
	Leucin	Leu	L	Prolin	Pro	P	Glutamin	Gln	Q	Arginin	Arg	R	A
	Leucin	Leu	L	Prolin	Pro	P	Glutamin	Gln	Q	Arginin	Arg	R	G
A	Izoleucin	Ile	I	Treonin	Thr	T	Aszparagin	Asn	N	Szerin	Ser	S	U
	Izoleucin	Ile	I	Treonin	Thr	T	Aszparagin	Asn	N	Szerin	Ser	S	C
	Izoleucin	Ile	I	Treonin	Thr	T	Lizin	Lys	K	Arginin	Arg	R	A
	Metionin	Met	M	Treonin	Thr	T	Lizin	Lys	K	Arginin	Arg	R	G
G	Valin	Val	V	Alanin	Ala	A	Aszparaginsav	Asp	D	Glicin	Gly	G	U
	Valin	Val	V	Alanin	Ala	A	Aszparaginsav	Asp	D	Glicin	Gly	G	C
	Valin	Val	V	Alanin	Ala	A	Glutaminsav	Glu	E	Glicin	Gly	G	A
	Valin	Val	V	Alanin	Ala	A	Glutaminsav	Glu	E	Glicin	Gly	G	G

Aminosav kodonok

*Meg kell említeni, hogy a 20 fehérjealkotó aminosavon kívül, van még kettő, melyek ritkán fordulnak elő élőszervezetekben. Az egyik a szelenocisztein (Sec, jelölése U), – a ciszteinhez hasonló és kizárólag szeléntartalmú fehérjék szintézise során képződik szelén jelenlétében, amit az egyik stop kodon az UGA kódol. A másik – csak néhány archeában és egy baktérium metántermelő enzimjeiben található – pirrolizin (Pyr, jelölése O), amit az UAG kódol.*

Érdekes, hogy a hasonló szerkezeti tulajdonságokkal rendelkező aminosavak általában hasonló kodonokkal rendelkeznek. Így például:

- az aszparaginsav kodonok (GAU, GAC) hasonlóak a glutaminsav kodonokhoz (GAA, GAG); a különbség csak a harmadik bázison látható.
- az összes savas (Asp, Glu) és bázikus (Arg, Lys) aminosav második bázisa A vagy G;
- a fenilalanin (UUU, UUC), tirozin (UAU, UAC) és triptofán (UGG) aromás aminosavak kodonjai uracillal (U) kezdődnek;
- minden kodon, amelyben U a második

pozícióban van, hidrofób aminosavat határoz meg (Ile,Leu, Met, Phe, Val).

A molekuláris felismerés lehetőségének biztosítására a gének is kialakítanak másodlagos és harmadlagos szerkezetet. A vírusok replikációjának megvalósításához szükséges algoritmushoz a fehérjék szintézisét programozó vírus kód (rendezett nukleotid szekvenciák) mellett, a genom másodlagos és harmadlagos szerkezete is hozzájárul. Az utóbbiak szerepének felderítése a tudományterületet izgató kérdések közé tartozik napjainkban is.

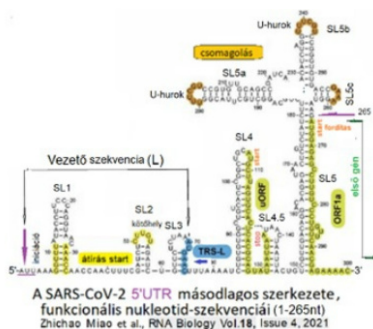
## FEHÉRJÉKET NEM KÓDOLO SZABÁLYZÓ SEKVENCIÁK.

A fehérjét nem-kódoló szabályzó szekvenciák fontos szerepet játszanak a gének fordításának és átírásának vezérlésében, továbbá a háromdimenziós térszerkezetük kialakításában is. A szabályzó szekvenciák közvetlenül a gént megelőzően (cisz szabályzó szekvenciák) és a géntől távolabb is elhelyezkedhetnek (transz szabályzó szekvenciák). Az irodalomban ezeket a szekvenciákat egyszerűen „nem kódoló”, vagy „lefordíthatatlan” régióknak nevezik (az angol „untranslated region” után) és UTR-rel jelölik.

A genom két végén található szabályzó nukleotid szekvenciák jelölése elhelyezkedésüknek megfelelően 5'UTR vagy 3'UTR. Ezek a rövid ~ 6-300 nukleotid méretű szabályzó szekvenciák különböző funkciókat látnak el, szerepük van a genom stabilitásában, átírásában és a fordítás hatékonyságában egyaránt. Az 5' UTR-en belül van egy ún. vezető szekvencia (L, leader), amelyet felismerve a riboszóma megköt és elindítja a fordítást. Az utolsó gén stop kodonja után elhelyezkedő 3' UTR a fordítás befejezésében, valamint a transzkripció utáni módosításban játszik szerepet. Mindkét UTR védi a genomot a lebontás ellen (vagy ellenkezőleg, elősegítik azt) aszerint, hogy csökkentik vagy növelik kapcsolódási képességét a lebontó ribonukleázokhoz

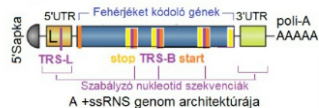
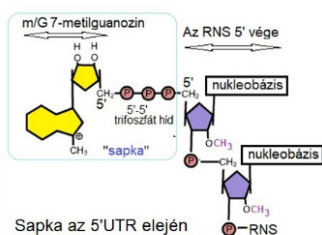
vagy a lebontást segítő másodlagos proteinekhez.

Az UTR-ek nukleotid szekvenciái olyan másodlagos struktúrát vehetnek fel, amely befolyásolja a riboszómák RNS-kötő képességét és kötőhelyeket alakíthat ki különböző funkciójú enzimek megkötéséhez; utóbbiak befolyásolni képesek a fordítás és az átírás, továbbá a csomagolás hatékonyságát.



Említést érdemelnek még a gének szakaszos átírását (lásd később) szabályzó speciális rövid 6-12 nukleotidból álló szekvenciák TRS, (Transcription Regulatory Sequences). Két típusuk van: az egyik a TRS-L (L-Leader) az 5' UTR szekvenciában helyezkedik el, a másik típus TRS-B (Body) a génnek közé illeszkedik. Mindkét típusra jellemző, egy 6-7 nukleotidból álló azonos (konzervatív) motívum megjelenése. A koronavírus genomjában ez ACGAAC.

A fentiekén kívül a kód 5' UTR elejéhez, az első nukleotidhoz 5'-5' trifoszfát-kötéssel egy 7-metilguanozin molekula kapcsolódik (sapka, cup), míg a kód végét (3' UTR) egy hosszú poli-adenin lánc AAAAA ..., úgynevezett „poli-A farok” zárja le.



A sapka hozzájárul, hogy a riboszóma felismerje a kódot, a sapka és a poli-A farok egyaránt védik a genomot a sejtek ribonukleázaitól, amelyek katalizálják kisebb komponensekké történő degradációját és segítik a kód fordítását, átírását is.

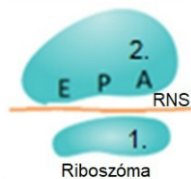
## A FEHÉRJESZINTÉZIS MOLEKULÁRIS GÉPEZETEI

Az RNS genom bázissorrendjének lefordítását a fehérje aminosavsorrendjére, a gazdasejt molekuláris gépezetei, riboszómái (rRNS) és a szállító (transzfer) RNS-ei (tRNS) végzik el annak citoplazmájában.

A sejtek általában sok ezer riboszómát tartalmaznak. Mindegyik riboszóma megköthet egy nukleinsav szálat és legfeljebb három tRNS-t. Mindkét molekuláris gépezetet a gazdasejt RNS-polimeráz III megnevezésű fehérjéje szintetizálja más fehérjék mellett.

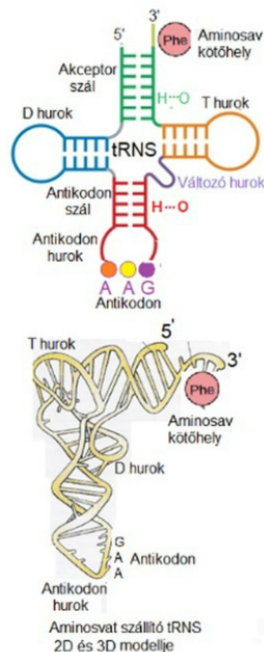
## RIBOSZÓMA

A riboszóma két részből áll: egy kis (1) és egy nagy (2) alegységből. A riboszóma körülbelül egyharmada fehérje és kétharmada riboszomális RNS (rRNS). Az rRNS-ek felelősek a riboszóma szerkezetéért és működésének nagy részéért, míg a fehérjék segítik az rRNS-ek alakváltoztatásait, miközben katalizálják a kémiai reakciókat. A nagy alegység köti össze peptidkötéssel az aminosavakat. Az aminosavat szállító tRNS-ek fogadására három kötőhellyel rendelkeznek: (A) arrival, érkezés, (P) polipeptid-színézis, (E) exit, kilépés.



## TRANSZFER RNS (TRNS)

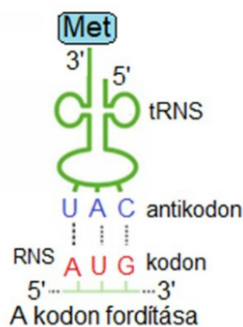
A szállító tRNS olyan molekuláris gépezet (70-85 nukleotid hosszúságú egyszálú RNS-molekula), amely a fehérjeszintézishez szükséges aminosavakat szállítja a riboszómához. Hidrogénkötésekkel bázispárokat képez önmagával, lóherelevél alakú másodlagos és 3D szerkezetet kialakítva.



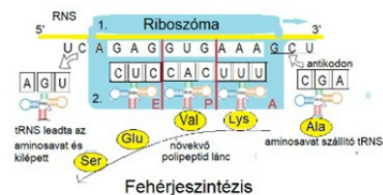
A tRNS egyik végén három nukleotidból álló szekvencia van, amelyek bázisai a bázispárképzés szabályai szerint hidrogénkötést képesek létesíteni az RNS megfelelő kodonjával. A tRNS-nek ezt a bázishármasát antikodonnak nevezik, mert specifikus mRNS kodonokhoz tud kötődni. A tRNS másik vége a kodonok által meghatározott aminosavat hordozza. Minden aminosavhoz egyedi tRNS tartozik.

## FORDÍTÁS, FEHÉRJESZINTÉZIS

A szintézis első lépésében a riboszóma kis alegysége az mRNS 5' végéhez kötődik majd 5'-3' irányban mozogva az mRNS mentén megkezdí a kiindulási hely (első AUG) keresését.



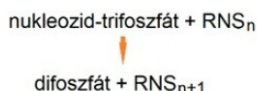
A riboszóma nagy alegysége csak azután kötődik a nukleinsavhoz, miután a lánckezdő tRNS kötődött a start kodonhoz. Kötődése során úgy orientálja magát, hogy a lánckezdő tRNS a komplex P-helyén helyezkedjen el. Ezt követi a megfelelő aminosavat szállító tRNS kötődése az A helyhez. A P helyen a peptidil-transzferáz az új aminosavat az első aminosavhoz a metioninhoz köti, katalizálva a két aminosav között a peptid-kötés kialakulását. A fordítás során a polipeptid N-terminálistól C-terminálisig épül fel. Majd a P-helyzetben lévő tRNS az E-helyre mozog, kilökődik a riboszómából és a riboszóma 1 kodonnal tovább lép a 3' irányba: Az A-hely most kiürül a következő szállító tRNS érkezése előtt. A ciklus addig ismétlődik, amíg a riboszóma stop kodonnal nem találkozik.



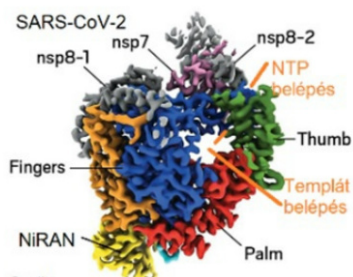
## RNS SZINTETIZÁLÓ MOLEKULÁRIS GÉPEZET

A genom átírását, az RNS-szál komplementer szálának szintézisét egy saját maga által kódolt RNS-függő RNS-polimeráz (RdRp, „RNA dependent RNA polymerase”), pontosabban ez és más nem-strukturális szabályzó enzimfehérjék (nsp) által alkotott replikáz-komplex végzi. A komplementer szál szintézisét egy

nukleotid-transzferáz enzim katalizálja, amely nukleozid-monofoszfátot (nukleotid) ad a növekvő nukleinsavhoz.

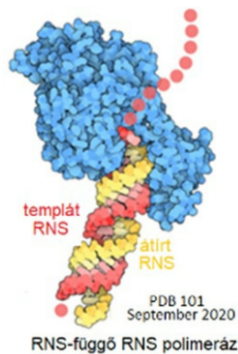


Mivel ez a polimeráz vírus-specifikus (nem fordul elő a gazdasejtben), ezt a polimerázt, (nem-szerkezeti fehérjét) is a vírus genomjának kell kódolnia. A polimerázt a sejttes riboszómák állítják elő nem sokkal a fertőzés után. Az alábbi ábra a koronavírus genomját átíró polimeráz szerkezetét illusztrálja.



Credit  
Yan Gao et al., Science 368, Issue 6492, pp779, 2020  
Az RdRp replikáz komplex architektúrája

Ez a polimeráz a Thumb, a Palm a Fingers és NiRAN aldoménekből áll, amelyek elsősorban a templát-kötésben, a polimerizációban, a nukleozid-trifoszfát (NTP) belépésében és az ezekhez kapcsolódó funkciókban vesznek részt. A Palm aldomén a Fingers és a Thumb aldomének találkozásánál helyezkedik el, és tartalmazza a katalízisben részt vevő



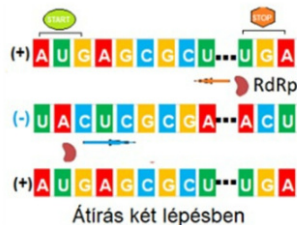
elemek többségét. A Palm aldoménben jelen van egy RNS felismerő motívum és ez az aldomén választja ki a ribonukleotid-trifoszfátokat NTP és fémion koordinálásával katalizálja a nukleotidil-transzfer reakciót. A fenti doméneken kívül van még egy kevésse felderített funkciójú domén (NiRAN), amelyről feltételezik, hogy a nukleozid-trifoszfátokat köti meg a polimeráz által kijelölt helyen.

Az RNS polimeráz az RNS láncot a 3' hidroxil végéhez nukleotid egységeket adva hosszabbítja meg. Az új RNS lánc minden egyes nukleotidja a bázispárosodás szabályainak megfelelően kerül a helyére: U=A, G=C.

## A KÓD ÁTÍRÁSA, A GENOM REPLIKÁCIÓJA

A genom replikációja két lépésben, két átírással megy végbe. Az első átírás során az RNS-szintézist végző RNS-polimeráz felismeri a templát RNS 3' végét és 5' irányba haladva, a bázispárképzés szabályainak megfelelően nukleotid egységeként felépíti a komplementer negatív szálú RNS molekulát. A templát bázisrendje egyértelműen meghatározza az átíró RNS-molekula bázisrendjét.

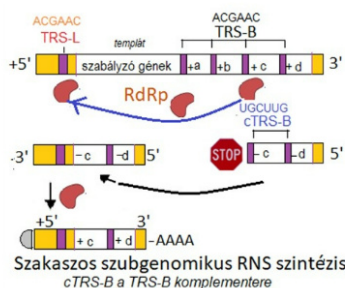
A második átírás során a (-) RNS-t használva templátnak, a 3' végétől 5' irányba elkészíti az eredeti RNS másolatát. A szintézis végén a kész polinukleotid-lánc leválik a mintáról és kialakul másodlagos és 3D-szerkezete is.



A koronavírusok átírási mechanizmusa valamivel bonyolultabb, összehasonlítva más pozitív szálú RNS-vírusok átírási mechanizmusával. Esetükben az eredeti átírandó szál kisebb szegmensei, szubgenomikus RNS-ek is keletkeznek a

replikáció során. Ebben az esetben a szerkezeti és kiegészítő fehérjék szintézisét a riboszóma nem a teljes RNS genomról végzi, hanem ezek géneiről a replikációs gépezet által szakaszos átírással készített szubgenomikus sgRNS-ekről.

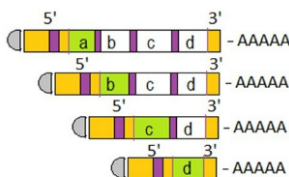
Szubgenomikus RNS akkor keletkezik, ha az átírás során a polimeráz egy génnek közötti átírást szabályzó szekvenciához (TRS-B) érkeve megáll, megszakítja a negatív RNS szál szintézisét, majd kihagyva a többi gént, a templát 5' UTR szegmensében elhelyezkedő TRS-L szabályzó szekvenciára ugrik és hozzáilleszti a templát 5'UTR-ének komplementerét a születőben levő negatív szálú RNS-hez.



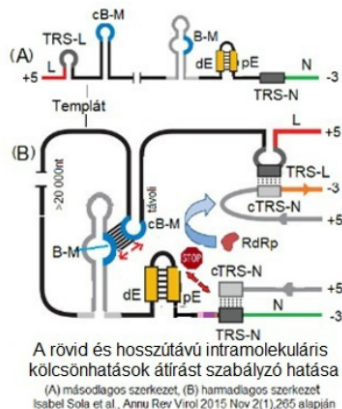
A 6 nukleotidból álló (ACGAAC) bázis-szekvencia jelen van, mind a vezető TRS-L, mind pedig a génnek közötti TRS-B szekvenciákban, ez teszi lehetővé a templát szál TRS-L és a komplementer születőben levő szál cTRS-B (UGCUG) közötti kölcsönhatást hidrogénkötéses bázispárok kialakításával.



Az eljárás megismétlődik a genom minden TRS-B szabályzó szekvenciánál és végső soron a szakaszos átírás eredményeképpen különböző hosszúságú szubgenomikus RNS-ek (sgRNS-ek) halmaza jön létre, amelyek 5' és 3' vége megegyezik a vírusgenom azonos végeivel. Végezetül a sgRNS-ek 5' UTR elejére is sapka kerül és 3' végére poli-A farok készül, így válnak önállóan alkalmassá fordításra.



A genom magasabbrendű szerkezetének átírást szabályzó szerepét jól illusztrálja a koronavírus genom nukleokapszid génje (N) szakaszos átírásának alábbi modellje (Isabel Sola).



Az ábrán a felső lineáris séma a koronavírus genomot képviseli. A piros vonal a vezető szekvenciát, a hajtú a TRS-L-t jelzi a genom 5' végén. A nyílhegyekkel ellátott szürke vonal a születőben levő negatív polaritású RNS-t jelenti. Az ívelt kék nyíl jelzi a sablonváltást a vezető szekvenciára a szakaszos transzkripció során. A narancssárga vonal a templátváltást követően a születő sgRNS-hez hozzáadott vezető szekvencia komplementerét jelöli.

Egy rövidtávú kölcsönhatás lép fel az N-gént megelőző közeli gén két komplementer szakasza között dE-pE. Az RNS-RNS kölcsönhatások által kialakított magasabb rendű szerkezet elősegítheti a RdRp transzkripció komplex leállítását és leállítását.

Egy másik nagy távolságú intramolekuláris kölcsönhatás, egy az aktív doménon belüli 10 nukleotidos szekvencia B-M és egy távoli több, mint 25 000 nukleotid távolságra levő komplementer nukleotid szekvencia cB-M között alakul ki. Ez a kölcsönhatás fizikai közelségbe hozhatja a genom 5' végén található vezetőszekvenciát és a TRS-N-t, elősegítve a templátváltást a negatív szálú sgRNS szintézise során.

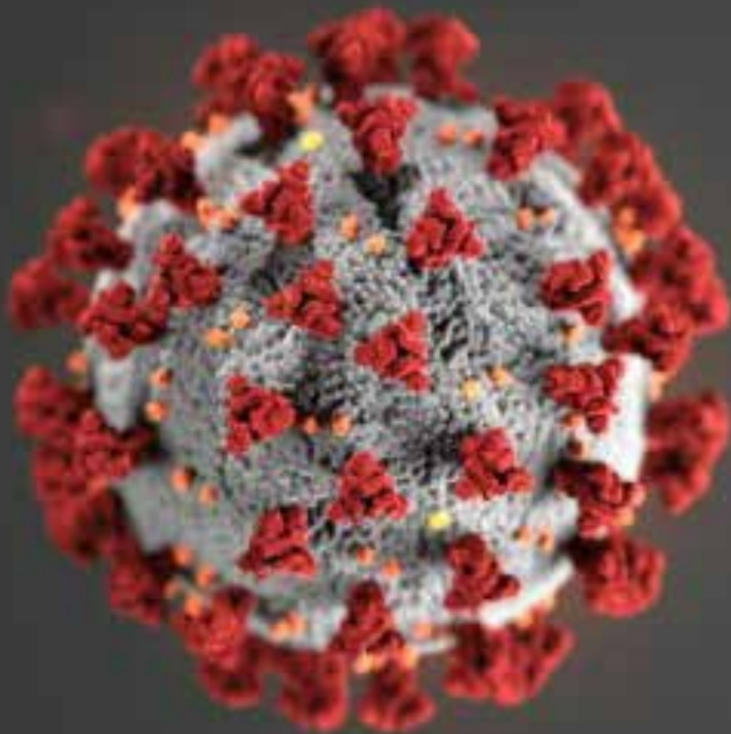
## MUTÁCIÓ

A vírus genetikai állománya, a víruskód, replikációja során módosulhat (mutáció). Egyes mutációk a vírus jellemzőinek megváltozásához vezethetnek, például a vírus könnyebben terjedhet vagy súlyosabb betegséget is okozhat. A genetikai állomány megváltozásának valószínűsége annál nagyobb mértékű lesz minél nagyobb mértékű a sejtes populáció fertőzöttsége. A mutációk esetenként olyan vírusváltozatot eredményeznek, amely jobban alkalmazkodik a környezethez. A sikeres változatok természetes kiválasztódásának ez a folyamata a vírusevolúció.

Mutációk fellépésének két oka lehet. Az egyik a rekombináció jelensége, a másik a véletlen másolási hibák fellépése. A rekombináció akkor következik be, amikor a gazdasejtet egyazon vírus két különböző egvede fertőzi meg, és a replikációjuk során kicserélik a genomjaik egyes nukleotid szekvenciáit, majd potenciálisan nagyon eltérő patogén tulajdonságokkal rendelkező új utód víronként lépnek ki a sejtből. Rekombinált vírusok, például a szegmentált genomú vírusok, mint az influenza vírus. Amikor két különböző törzsből származó influenzavírus egyszerre fertőzi meg ugyanazt a sejtet, akkor a sejtben keletkező új vírusok némelyike keverten tartalmazhatja a szegmenseiket. Előfordul a rekombináció egyszálú RNS genomú vírusoknál, például a koronavírusnál is.

A véletlen másolási hibák a genom átírása során lének fel. Bár a vírusgenom átírását végző polimeráz általában





pontosan dolgozik, néha mégis előfordul, hogy hibázik. Leggyakoribb másolási hiba az un. pontmutáció. Pontmutáció akkor következik be a genomban, amikor egy nukleotiddal többet, vagy kevesebbet vagy nem a megfelelő nukleotidot adja hozzá a polimeráz, a készülő nukleinsav szállhoz. A leggyakoribb másolási hiba az, amikor hasonló méretű bázist tartalmazó nukleotid kerül az új szállba (A → G, C → U).

Felléphet mutáció a vírus életciklusának

		genom 10 <sup>3</sup> nt	mutáció/ nukleotid/ciklus
ss(+)-RNS	Polióvírus 1	7,44	9,0 × 10 <sup>-5</sup>
	Sars-Cov-2 (2022)*	29,3	1,3 × 10 <sup>-6</sup>
	Hepatitis C vírus	9,65	3,8 × 10 <sup>-5</sup>
ss(-)-RNS	Influenza A vírus	13,60	2,5 × 10 <sup>-5</sup>
	Kanyaró vírusa	15,90	3,5 × 10 <sup>-5</sup>
dsRNS	Human T-cell leukémia	8,5	1,6 × 10 <sup>-5</sup>
	HIV-1 (szabad virion)	9,18	6,3 × 10 <sup>-5</sup>
dsDNS	Herpes simplex	152	5,9 × 10 <sup>-8</sup>
	Human cytomegalo (Herpesvírus típus)	235	2,0 × 10 <sup>-7</sup>

Vírusok átlagos mutációs rátája

R.Santjuan, P.domingo-Calaop, cell.Mol.Life Sci.,73(23) 2016

\*M. Amicone et al, Evol Med Public Health, 29:10(1):142 2022

más fázisában is, amely egy vagy több nukleotid elvesztésével jár a nukleinsav egy szegmenséből (delécio, törlés).

Bár a legtöbb pontmutáció nem okoz jelentős változást a vírus tulajdonságaiban, mégis különféle funkcionális következményekkel járhat, például eredményezheti a kódolt fehérjék megváltozását is. A másolási hibák jelentős részét vagy maga a szintézist irányító polimeráz, vagy néhány vírus esetében, kifejezetten ezt a feladatot ellátó, a vírus által kódolt javító enzimek hajtják végre (proofreading, lektorálás). Például a SARS-CoV-2 genomja kódol egy szabályzó (nsp) fehérjét, mely nukleáz aktivitású doménje ellátja a lektorálás feladatát.

A mutációk nem korlátozódnak a replikációra, mivel a genetikai anyag későbbi, az átírást követő szerkesztéséből, spontán vagy környezeti okok miatt fellépő nukleinsav károsodásból is származhatnak.

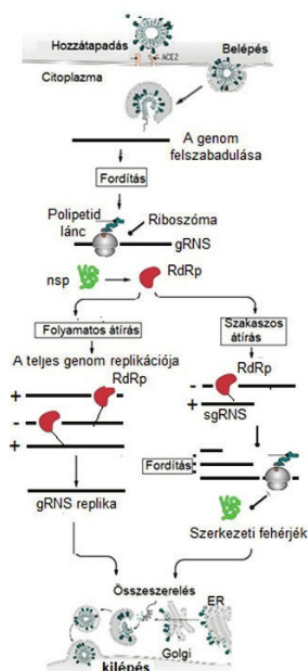
A mutációs gyakoriság annak a valószínűsége, hogy a genetikai információ változása átkerül a következő generációra. Értékét általában a vírusutódok genomjában keletkezett hibák átlagos számával jellemzik, bázisonként, replikációs ciklusonként (mutáció/nukleotid/replikáció). A mutációk gyakorisága természetesen a vírus evolúciója során változik. A gyakoriságban a legnagyobb különbségek az RNS- és a DNS-vírusok között találhatóak. Az alábbi táblázat néhány különböző típusú vírus mutációs rátáját tünteti fel.

### A +RNS GENOMMAL RENDEKEZŐ VÍRUSOK ÉLETCIKLUSA

**A vírus életciklusa öt fázisra bontható:**

- Tapadás a gazdasejthez, behatolás a sejt citoplazmájába,
- A genom felszabadulása burkából.

- **Fordítás:** A gazdasejt riboszómái a kódot olvasva szintetizálják a vírusfehérjéket, közöttük a genomot másoló RdRp polimerázt, amelyet csak a vírus ismer fel. A pozitív szálú RNS genommal rendelkező vírusok esetében, a riboszóma képes közvetlenül fehérjéket előállítani a citoplazmában.
- **Replikáció:** A replikáz két átírással szintetizálja a genom másolatát.



A koronavírusok életciklusa

Az ábra a Sars-CoV-2 pozitív egyszálú genomú vírus életciklusának különböző fázisait illusztrálja.

## EGY KIS GENETIKAI SZÓTÁR

**A helikázok** a kétszálú nukleinsavak szálait összetartó hidrogénhidakat bontják, hogy kialakuljon a szabad templát (sablon) szál.

**A proteázok** a fehérjékben található peptidkötések hidrolízise révén bontják le a fehérjéket kisebb peptidekre, majd aminosavakra.

**A polimerázok (replikázok)** olyan enzimek, amelyek nukleinsavak hosszú láncait szintetizálják. A DNS-polimeráz és az RNS-polimeráz a DNS-, illetve RNS-molekulák másolatait, átírását (transzkripció) készítik el.

**A transzferázok** olyan enzimek, amelyek katalizálják egy atomcsoport, például amin, karboxil, karbonil, metil, acil, glikozil és foszforil átvitelét a donor szubsztrátról egy akceptor vegyületre.

**A riboszómák (rRNS)** egy ribonukleinsavból és riboszómális fehérjékből álló fehérjéket szintetizáló molekuláris gépezetek. Beolvassák a hírvívó mRNS nukleotid szekvenciáit és a genetikai kód alapján lefordítják ezeket aminosav szekvenciákká (fordítás, transláció).

**A transzfer RNS-ek (tRNS)** ribonukleinsavból álló kis molekuláris gépezetek, melyek a fehérjéket szintetizáló riboszómákhoz szállítják az aminosavakat.

**A transzkripció faktorok** olyan fehérjék, amelyek a genomhoz

kötődve elősegítik vagy gátolják egy-egy gén -átírását. Ezt a feladatot egyedül, vagy más proteinekkal (un. kofaktorokkal) együttműködve végzik.

**A nukleázok** olyan enzimek, amelyek hasítják a foszfodiészter kötések a nukleinsavakban levő nukleotidok között, mind a DNS-ben, mind az RNS-ben. Szerepük a genetikai minőség-ellenőrzés, például a replikáció során a DNS-vagy RNS lektorálásban, a bázisok, a nukleotidok hibás illeszkedésének felismerésében és a nukleinsav szálak javításában.

**Lektorálás (Proofreading)** az folyamat, amely során a polimeráz korrigálja az általa hibásan beépített nukleotidot a születő nukleinsav szálban.

**A Golgi-készülék** egy a citoplazmában elhelyezkedő membránrendszer. A Golgi-készülék válogatja szét a fehérjéket, és juttatja őket célhelyükre.



- **Összeszerelés, kilépés:** Az endoplazmatikus retikulumban (ER) a helikális genommásolatokból és a szerkezeti fehérjékből új

vírusrészcskék állnak össze. A vírusutódokat végül a Golgi-készülékek a sejtmembránba szállítják, ahonnan kilépnek a sejtek közti térbe, készen más sejtek megfertőzésére.

A Covid-19 pandémiát okozó vírus genomjának replikációja és ennek megfelelően a fehérjéinek szintézise is két lépésben történik (szubgenomikus RNS).

Pálinkás Gábor

### IRODALOM

[https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia\\_12/](https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_12/)  
 Nyitrai László és Pál Gábor *A biokémia és molekuláris biológia alapjai, e-tankönyv*  
[https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia\\_9\\_nat2020/](https://www.nkp.hu/tankonyv/biologia_9_nat2020/)  
[https://bioszfera.com/downloads/Molekularis\\_genetika.pdf](https://bioszfera.com/downloads/Molekularis_genetika.pdf)  
 Susanne Modrow et al., *Molecular Virology*. (2013) Aug 12: 185  
 Philip V'kovski et al., *Nat Rev Microbiol*. 19(3):155. (2021)  
 Isabel Sola, et al., *Annual Review of Virology* 2, 265-(2015)  
 Yiyang Yang et al., *Mol Biol Evol*; 38(4):1241 (2021).  
 Pálinkás Gábor, *Kémiai Panoráma* 22.szám, 16.old (2020)



# A publikációk hozzáférhetősége

„Work, finish, publish” ez volt Michael Faraday (1791-1867) tudományos munkára vonatkozó intelme tanítványai részére. Azóta másfél évszázad telt el és a tudományos folyóiratkiadás világméretű üzleti vállalkozássá vált. Tudományos műhelyek maholnap képtelenek a profiljukba illő legfontosabb folyóiratok előfizetésére. Bár az elektronikus hozzáférés sokak (bár nem mindenki!) számára pótolja a dolgozatok papíralapú megjelenését, a folyóiratok egyre növekvő

száma miatt az online előfizetések ára is egyre nagyobb terhet ró a felhasználó intézmények számára.

Nagy érdeklődést váltott ki annak híre, hogy az amerikai kormányzat megköveteli -- 1926-tól kezdve -- a szövetségi forrásokból támogatott kutatások publikációinak ingyenes közzétételét mind az interneten (open access, OA), mind egy nyilvános raktárban [1].

A kormányzat tervezete nem kívánja meg, hogy minden tudományos publikáció OA legyen, de a jövő amerikai dolgozatainak azonnali közzététele nyilvános raktárakban a kiadókat tönkre teheti, mivel a könyvtárak felmondhatják jelenlegi előfizetésüket. A kormányzat szerint az amerikai nép több-tízmilliárd dollárt költ évente a legjobb kutatások támogatására és nem lehet késedelem az eredmény megismerésében. A kiadók remélik, hogy a publikációk előállítására támogatást kapnak. Egy formája ennek az egyes publikációk költségének (page charge) növelése. Megjegyzendő, hogy egyes kormányzati szervezetek (National

”  
A kormányzat szerint az amerikai nép több-tízmilliárd dollárt költ évente a legjobb kutatások támogatására és nem lehet késedelem az eredmény megismerésében.

”

Csapás a folyóiratok tűzfalára



Friss publikációk tervezett raktára

Institutes of Health, NIH and National Science Foundation, NSF) jelenleg kifizetik a publikációs költséget. Ez a költség az NIH éves költségvetésének 0,5 százaléka. De a kutató könyvtárak esetében ez a hányad akár 11% is lehet. Egy másik megoldás az lehet, hogy a dolgozatokat elfogadás után nyilvánosan hozzáférhető intézeti publikációs listákon tehetik közzé.

Sok kiadó régóta hadban áll nonprofit tudományos társaságokkal mondván, hogy az előfizetéseket fenn kell tartani a szerkesztési és nyomdai költségek fedezetére. A tűzfal kritikusai szerint a kiadók gátolják az információk szabad áramlását és arra kényszerítik az amerikai adófizetőket, hogy kétszer fizessenek: először a kutatás támogatásáért, másodsor, hogy lássák az eredményt.

Ez az érvelés Amerikán kívül is érvényes -- még akkor is, ha kisebb országok adófizetői nem érzik adójuk részének a kutatásokra fordított összegeket.

**Szerkesztőség**



HIVATKOZÁSOK

[1] Nature News, US government reveals big changes to open-access policy, 26 August 2022

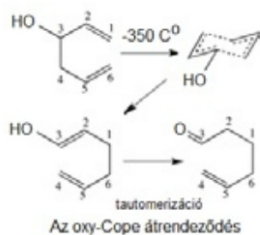
[2] Scienceinsider, 26 Aug 2022, doi: 10.1126/science.ade6076 szerint



# David A. Evans szerves kémiai munkássága

**D**avid A. Evans (1941-2022) Washington DC-ben született. Tanulmányait egy magán egyetemen (Oberlin College, Ohio) kezdte meg, ahol tanára, Norman Craig bevonta kémiai kutatásaiba. A körülményekre jellemzően, szombatonként Craig otthonában Evans nyírta le a füvet, ezzel biztosítva Craig számára szabad időt, hogy üvegtechnikai munkával elkészíthesse közös kísérleteikhez a szükséges eszközöket. A korai szintetikus munkák során alakult ki Evans kísérletező módszere: kezdettől fogva egyesítette az intuíciónal a törekvéssel, hogy megértse a reakciók eredetének okát és szelektivitásukat.

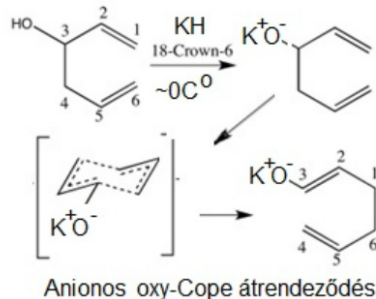
Evans doktori tanulmányait a Michigan Egyetemen (Ann Arbor) kezdte és Pasadenában fejezte be a California Institute of Technology (Caltech) diákjaként. Első állását 1967-ben a University of California, Los Angeles (UCLA) egyetemen nyerte el, ahol később professzor lett. Itt kezdett tanulmányozni átrendezési reakciókat, amelyekben az atomok száma és fajtája nem változik meg csak a közöttük lévő kötések rendeződnek át. Példa erre az oxy-Cope átrendeződés [1], amelyben magas hőmérsékleten szimultán módon bomlanak és képződnek szén-szén kötések:



Evans megtalálta a reakció felgyorsításának módját: kálium-hidrid alkalmazásával az átalakulás sebessége

A Kémiai Panoráma rendszeresen megemlékszik híres kutatók életéről és munkásságukról. Ezúttal egy idén elhunyt kiváló szerves kémikus David A. Evans tevékenységét ismertetjük a Nature nyomán (606, 859, 2022. június 30), majd következő cikkünkben megemlékezünk az egy évszázada született Telegdi Bálint vegyész-mérnökről, fizikusról.

rendkívüli módon –  $10^{10}$ -szeresére – felgyorsul és  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten is végbemegy (Evans anionos oxy-Cope reakciója [2]):



Az enyhe körülmények és az enolát termék miatt a reakciót széles körben lehetett alkalmazni szerves szintézis céljára.

Evans 1974-ben visszatért a Caltech-re, ahol a száz éve ismert aldol (aldehid + enol) reakció területén tett jelentős felfedezéseket. A reakció termékeinek sztereokémiája, ugyanis nem volt ismeretes.

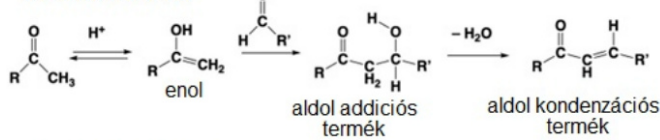
Dialkil-bór-észter alkalmazásával [3,4] kiderítette, hogy a reakcióban képződő bór-enolát geometriája és az aldol termék sztereokémiája között jó korreláció áll fenn, a kiindulási oxovegyület szerkezetétől függetlenül. Egyúttal bevezette a királis közreműködő molekula (auxiliary) fogalmát; ez királis vegyület, amely

könnyen elkészíthető aminosavból. Ezek a módszerek bonyolult szerkezetű természetes vegyületek szintézisét tették lehetővé.

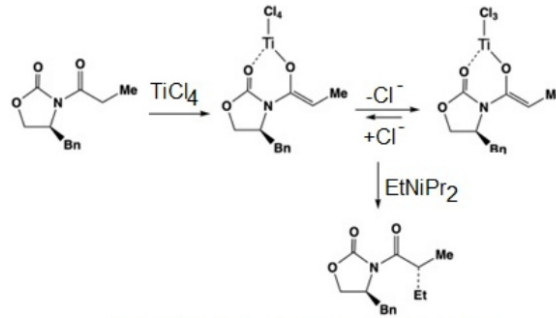
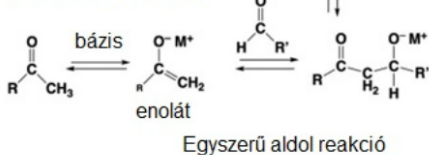
Evans 1983-ban áttért a Harvard Egyetemre (Cambridge, Massachusetts). Ebben az időben a kémiai cikkek, előadások és disszertációk kémiai képletei tusrajzzal pauszpapíron templátok segítségével készültek, előadásokhoz a rajzokból diaposzitiv fényképeket kellett készíteni; mindez legalább egy hetet vett igénybe. 1984 januárjában az Apple hirdetés útján tudatta, hogy elkészült a Macintosh számítógép fejlett grafikai képességekkel, amit a géppel együtt adott MacDraw program illusztrált. Ennek a programnak semmi köze nem volt a kémiához, folyamatábrák készítésére volt alkalmas. Evans meglátta a képletírás lehetőségét és 1985 elején 3200 \$-ért megvásárolt egy Macintosh-t. Kémiai képletek és folyamatok szemléltetésére szolgáló program kidolgozásához Evans segítséget kapott feleségétől, Selena (Sally) Evanstól, aki kémiatanár volt és kiváló rajzkészséggel bírt, továbbá egy PhD diáktól, Stewart Rubinsteintől, aki a kémiai programokat készítette. A programot Evans kutatócsoportja folyamatosan tesztelte és a követelményeket megfogalmazta. Rubinstein a programot ChemDraw-nak nevezte el és létrehozta a Cambridge Scientific Computing céget 1986 januárban. A részletekről maga Evans számolt be „History of the Harvard



## 1. Enolos reakcióút



## 2. Enolátos reakcióút



Titán-enolát felhasználása szintézis céljára

ChemDraw Project” című cikkében, amit első tanárának, Norman Craig-nek ajánlott [5].

A Harvard Egyetemen Evans tovább fejlesztette fém-enolátok előállítását szintetikus átalakítások céljára. Az alábbi ábra titán-tetraklorid alkalmazását mutatja be.

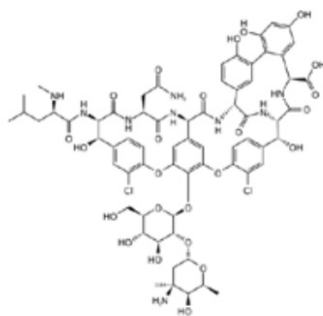
Ezekről a kísérleteiről 1990-ben Oxfordban számolt be a „Chirality and Drug Action” konferencián. A résztvevőket az alábbi fotó mutatja be.



Evans a második sorban jobbról a negyedik. Az első sor bal szélén ül K.B. Sharpless (kémiai Nobel-díj 2001), tőle jobbra a második J.F. Stoddart (kémiai Nobel-díj 2016). További kiváló szerves kémikusok: Steve V. Ley (negyedik sor balról a harmadik), W. Oppolzer (harmadik sor balról a harmadik), mellette S. Hanessian, az első sor jobb szélén ül H.B. Kagan.

Evans módszerei diasztereoselektív (cisz-transz izomereket megkülönböztető) és enantioszelektív (enantiomereket megkülönböztető) eljárások kidolgozását tették lehetővé, amelyekkel bonyolult szerkezetű természetes vegyületek

sztereoselektív szintézisét valósította meg [6]. Legjelentősebb eredményei: a tengeri lényekből izolált rák ellenes briostatín-2 [7] és spongistatin-2 [8], az opiát agonista salvinorin A [9], valamint a vankomicin antibiotikum totálszintézise. A feladatok nehézségére példaként szolgáljon a heptapeptid aglikont tartalmazó vankomicin szerkezete, amelyben a számos aszimmetria centrum mellett három – a gyűrűs szerkezeti elemek gátolt rotációja miatt fellépő – atropizomer is található. A szintézist munkatársaival 1998-ban valósították meg [10].



## VANKOMICIN

Evans nagy gondtal készült előadásaira, amelyek vázlatait a kémiai közösség számára elérhetővé tette. Éveken keresztül gyűjtötte reakció-mechanizmusok adatbázisát, és a szintézisek problémáit egy nyilvánosan elérhető weboldalon tette közzé, amit az érdeklődők világszerte használhattak. Tanítványai között sok szakember szerzett nevet, közöttük David MacMillan, aki 2021-ben kémiai Nobel-díjat kapott szerves folyamatok aszimmetrikus

Ezek a módszerek bonyolult szerkezetű természetes vegyületek szintézisét tették lehetővé.

katalíziséért. Első női doktorandusza, Ann Weber az amerikai Merck gyógyszergyár egyik alelnöke lett.

Dave Evans 2022. április 29-én halt meg. **Simonyi Miklós**

## IRODALOM

- Berson J.A., Jones M. JACS, 86, 5019 (1964)
- Evans D.A., Golob A.M. JACS, 97, 4765 (1975)
- Evans, D.A., Vogel E., Nelson, J.V. JACS, 101, 6120 (1979)
- Evans D.A., Nelson J.V., Vogel E, Taber, T.R. JACS, 103, 3099 (1981)
- Evans D.A. Angew Chem Int Ed, 53, 11140 (2014)
- Gage J.R., Evans D.A. Org. Synth, 68, 83 (1990)
- Evans D.A., Carter P.H., Carreira P.M., Charette A.B., Prunet J.A., Lautens M. JACS, 121, 7540 (1999)
- Evans D.A., Coleman P.J., Dias L.C. Angew. Chem. Int. Ed. 36, 2738 (1997)
- Scheerer J.A., Lawrence J.F., Wang G.C., Evans D.A. JACS, 129, 8968 (2007)
- Evans D.A., Wood M.R., Trotter, B.W., Richardson, T.I. Barrow, J.C., Katz, J.L. Angew. Chem. Int. Ed. 37, 2700 (1998)

# Telegdi Bálint, a vegyészmérnök fizikus

Telegdi Bálint 1922. január 11-én született Budapesten. Édesapja a pesti kereskedelmi iskolába járt. Több idegen nyelvet megtanult a fogolytársaitól, amikor az I. világháború alatt Normandiába volt internálva, mint ellenséges állam polgára. A háború után az édesapja hajózási vállalatoknál dolgozott Európa-szerte.

Több ország után a család Budapestre költözött, hogy Bálint tanuljon meg magyarul beszélni és írni. Ez volt 1928 és 1929-ben. Az 5. és a 6. osztályt a Keleti pályaudvar közelében végezte. Ennek a városrésznek a beceneve Csikágó. Különleges élmény volt hallgatni Telegdi professzort, amikor a Magyar Tudományos Akadémián előadást tartott magyarul, és

a pesti utcagyerekek tájszólását használta.

Az ifjú Telegdi Bálint nagy pesti élménye volt a hangosfilm, ez terelte érdeklődését a technika irányába. 1930-ban a család Bécsbe költözött, Bálint ott tanult a reálgimnáziumban. Születésnapjára kémiai kísérletező készletet kapott. Ez volt az első igazi találkozása a természettudománnyal. Négy év gimnázium után kémiai szakiskolába iratkozott be. Dr. Pechinger tanár úr nagy hatással volt Bálintra. Főként amikor fizikaórán a katódsugarak fényét mutatta be fluoreszkáló cinkszulfid-ernyőn. A fizikatanár észrevette, hogy Bálintot érdeklik az atomok, ezért kezébe adta Sommerfeld könyvét: „Atomok és atomszínképek”. Ezt olvasva Bálint zavarba jött mert a könyv integrál jelekkel volt tele. Tanára javaslatára megtanulta az integrál- és differenciálszámítást.

Eközben édesapja a hajózásban dolgozott Olaszország és Egyiptom között. Amikor a náci megszállták Ausztriát 1938-ban, Bálint vonaton Olaszországba utazott. Egy szabadalmi irodában dolgozott, akárcsak Einstein. – A szabadalmi irodában eltöltött idő hasznosnak bizonyult későbbi tudományos karrieremben, - emlékezett vissza, - mert megtanultam valamit, amit sem az iskolában, sem az egyetemen nem tanítanak: irreleváns információk

rengetegében hogyan lehet megtalálni a lényegét. – Az olasz tartózkodás sem volt tartós. Amikor német csapatok érkeztek Észak-Olaszországba, Bálint édesanyjával Svájcba ment, az illegális határátlépésben hivatásos embercsempészek segítették 1943-ban. Elmondható tehát, hogy Telegdi Bálintnak mozgalmas iskolaévei voltak.

Telegdi Bálint vegyészmérnöki diplomát szerzett Lausanne Műszaki Egyetemen. Az ifjú Telegdi figyelme a kvantumjelenségekre összpontosult. A diszciplináris határokat átlépve fizika-doktorandusz lett a Szövetségi Műegyetemen, Scherrer professzor laboratóriumában. Egyik feladata az egyetemi hallgatók zárthelyi dolgozatainak kijavítása volt. Nem véletlen tehát, hogy a Telegdi Bálint által írt egyetlen könyv egy fizikai példatár.

Scherrer intézetében Telegdi Bálintnak – mint vegyészmérnöknek – fotoemulziókkal kellett foglalkoznia. Ennek következtében disszertációjában

”  
Igazolta, hogy a tér és  
töltés tükrözése együtt  
valóban szimmetriája a  
természetnek.  
”





kidolgozta az alfa részecskékből összetett atommag modelljét. Disszertációjának bírálói Scherrer és Pauli voltak. Wolfgang Paulit, a Szövetségi Műegyetem büszkeségét a hallgatói között nem a világos előadási tettek ismertté, hanem a vizsgákon gyakorolt szigorúsága. Telegdi Bálint sikeresen abszolválta a doktori szigorlatot, utána Pauli egy pohár borra is meghívta.

1948 őszén Scherrer Bristolba küldte Telegdit, hogy jobban beletanuljon a fotoemulziós technikába. A második világháborút követő években Angliában még rossz volt a közellátás. Nehéz volt cigarettát kapni, szűk készletükből a trafikosok csak a régi vevőiknek adtak. Szerencsére egy zürichi barátnője naponta 20 cigarettát küldött Bálintnak, ez elmélyítette a kapcsolatukat.

Bristolban Telegdi megtanulta az emulziós technológiát, de nem érezte az új fizika szellemét. Ezért nem fogadta el az ott felajánlott állást.

A legtöbb kísérleti fizikai katedrán Rutherford tanítványai ültek. Lord Rutherford mindig azzal kérkedett, hogy ő „egy egyszerű gondolkodású fickó”, aki nem ismeri a kvantummechanikát. Tanítványai büszkék voltak elméleti tájékozatlanságukra. Az elméleti fizikát Hitler elől menekült német fizikusok hozták Angliába: Bethe, Fröhlich, Heitler stb. Eltekintve Bristol elmélet-ellenes légkörétől, a felajánlott állás visszautasításakor Gaucho Marx elvét követtem: „Soha nem lépek olyan klubba, amelyik hajlandó befogadni engem”. A legelképzelhetlenebb helyet választottam: a Chicagói Egyetemre mentem.

Telegdi a doktorátusa után feleségül vette a barátnőjét és capriba mentek el nászútra. Ezután vízumot kérték az amerikai konzulátuson. Telegdi „cserekutatói” vízumot kapott, de a felesége nem kapott vízumot. Majd 1951-ben kaptak mindketten vízumot. 1951 nyarán érkeztek meg Chicagóba. Ott Telegdi első útja a Biofizikai Intézetbe vezetett, hogy felkeresse Szilárd Leót.

Telegdi elmondta terveit, amit Szilárd helyeselt. Amúgy végig magyarul beszélgettek.

Elérkezett 1956, Telegdi karrierjének nagy korszaka. Hogy a nehéz instabil mezonok bomlásának furcsa sajátosságait megmagyarázzák, C.D. Lee és C.M. Yang arra jutottak, hogy a gyenge bomlások megsérítik a természet addig általánosan elfogadott tükrözési szimmetriáját. A kobalt-atomnak van perdülete, ami – Föld analógia alapján – lehetővé teszi, hogy rajta „egyenlítő” meg „északi pólust” és „déli pólust” értelmezzünk. A tapasztalat azt mutatta, hogy béta-bomláskor a radioaktív kobalt-atomok több elektront bocsátanak ki a „déli pólusra” mint az „északi pólusra”. Ez pedig azt jelenti, hogy a béta-bomlás nem tükröszimmetrikus az „egyenlítőre” nézve! Hogy a természet szimmetriája mégse vesszen el, az az elméleti értelmezés született meg, hogy a béta-bomlások a tér és a töltés együttes tükrözésével szemben szimmetrikusak. Amikor ezt Szilárd Leó meghallotta, így kommentálta: - Ez azt jelenti, hogy ha egy kobalt-atom tükörbe néz, akkor nem önmagát látja, hanem egy antiatomot! – Hogy lehetne ezt bizonyítani? Hogyan lehetne antiatomot készíteni?

A természet tükrözési szimmetriájának megsérülését tekintélyes fizikusok örült ideának ítélték. Telegdit is megpróbálták lebeszélni arról, hogy ilyenre vesztgesse az idejét. De ő nem hagyta magát. A ciklotron által gyártott pí-mezonok bomlásakor pozitív és negatív müonok keletkeznek. Ezek egymás antirészecskéi, vagy perdületük, és béta-bomlással elbomlanak. Nem könnyű velük kísérletezni, mert csak két milliomod másodpercig léteznek, de Telegdi Bálintnak sikerült kimutatnia: a negatív müon bomlásakor „dél felé” bocsájtja ki a negatív elektront, antirészecskéje viszont, a pozitív müon pedig „észak felé” bocsájtja ki a pozitív elektront. Ez igazolta, hogy a tér és töltés tükrözése együtt valóban szimmetriája a természetnek. A kísérlet meghozta Telegdi Bálintnak a világhírt.



Telegdi bámulatos kísérleti technikáját megcsodálták. A rövid életű müon kedvenc kísérleti objektuma lett. Kimutatta, hogy a müon bomlásakor kirepülő elektronok polározva vannak, mégpedig ugyanúgy, mint az atommagok béta-bomlásakor keletkező elektronok. Ez tovább erősítette a tér + töltés tükrözési szimmetriát. Dick Garwin kitalálta, hogy a müon mágneses nyomatéka külső mágneses mezővel elforgatható. Így Garwin és Telegdi több tizedesjegy pontossággal megmérték a müon mágneses nyomatékát. Eredményük jól igazolta a kvantumelmélet jóslatát.

Fermi 1954-ben, 53 évesen meghalt. A Chicagói Egyetemről Telegdi Bálint kapta meg a „kiválasztott Fermi-professzor” címet. Nyugdíjba vonulása után a nyarait Svájcban, a teleit Kaliforniában töltötte.

A gyenge béta-bomlás szimmetriájának a tisztázásáért Telegdi Bálint 1991-ben átvehette a Wolf-díjat, amelynek tekintélye megközelíti a Nobel-díjét.

Telegdi Bálint 2006. április 8-án hunyt el Pasadenában.

**Ménes András**

# A MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

a Magyar Kémikusok Egyesületének havonta megjelenő folyóirata,  
olvasóink érdeklődésére is számot tartható írásai 2022 II. félévében.



## 2022. JÚLIUS–AUGUSZTUS

Ígéretes fiatal kémikusok  
Világító molekulák az ELKH  
Természettudományi Kutatóközpontban.  
Beszélgetés Kele Péterrel  
Szalay Péter

A kémiatanítás története a magyarországi  
elemi és közép fokú iskolákban 1868 és  
2020 között az óraszámok tükrében  
Keglevich Kristóf

Ködpiszkáló. Kemoterápia helyett  
citromlé?  
Csupor Dezső

Kiről nevezték el? A Boyle-törvény vagy  
Boyle–Mariotte-törvény  
Inzelt György

VEGYÉSZLELETEK  
Lente Gábor rovata

## 2022. SZEPTEMBER

Ígéretes fiatal kémikusok  
Nanorészecskék ezüstből és aranyból –  
„Lendület” kutatások Szegeden.  
Beszélgetés Csapó Edittel  
Szalay Péter

Új és hatékony antivirális gyógyszerekre  
továbbra is szükség van. Beszélgetés  
Keserű György Miklós akadémikussal  
Kiss Tamás

Elena Ceausescu, az áltudós kémikus  
Braun Tibor

VEGYÉSZLELETEK  
Lente Gábor rovata

## 2022. OKTÓBER

Kiről nevezték el? A Kirchhoff-törvények,  
Kirchhoff sugárzási törvénye, Bunsen–  
Kirchhoff-spektrorszóp  
Inzelt György

Rövid betekintés az ősi római  
gasztronómiába Lucullustól Apiciusig  
Braun Tibor

VEGYÉSZLELETEK  
Lente Gábor rovata

## 2022. NOVEMBER

Ígéretes fiatal kémikusok  
A második „Lendület” – az enzimektől a  
nanozimékig. Beszélgetés Szilágyi  
Istvánnal  
Szalay Péter

Az allergia, textiles szemmel is  
Kutasi Csaba

Laboráns néni, nyerít a kémcső!  
Németh Liza Szófia

VEGYÉSZLELETEK  
Lente Gábor rovata

## 2022. DECEMBER

Varázslatos Kémia nyári tábor, 2022 –  
Pécs  
Lente Gábor, Ósz Katalin, Petz Andrea

Kiről nevezték el? Olivia Newton-John  
nagyapája és a hidratáció elmélete. Born  
hidratációs törvénye, a Born–Haber-  
ciklus  
Inzelt György

Ködpiszkáló. Gyógytea helyett medvetalp:  
a füvesember veszélyes tanácsai  
Csupor Dezső

Védekezés a ruhamoly kártevése ellen  
Kutasi Csaba







# KUTATÓTÁBOR

## a Természettudományi Kutatóközpontban

A Természettudományi Kutatóközpont 2022-ben tizenkettedik alkalommal szervezte meg pályaválasztás előtt álló, kémia és biológia iránt érdeklődő középiskolás diákok számára az „AKI Kíváncsi Kémikus” kutatótábort.

**A** biológiai témákkal bővített tehetségdonozó tábor évente lehetőséget ad a résztvevők számára, hogy egy héten keresztül a Természettudományi Kutatóközpont kutatóival együtt dolgozhassanak, betekintést nyerjenek az itt végzett munkába.

Ebben az évben a Kutatóközpont pályázataik alapján 25 középiskolást tudott fogadni 18 hazai és határon túli gimnáziumból a kutatótábor hetére. A diákokat 9 kutatócsoport 26 kutatója 11



kutatási projekttel fogadta a Kutatóközpont Anyag- és Környezetkémiai Intézetének, a Szerves Kémiai

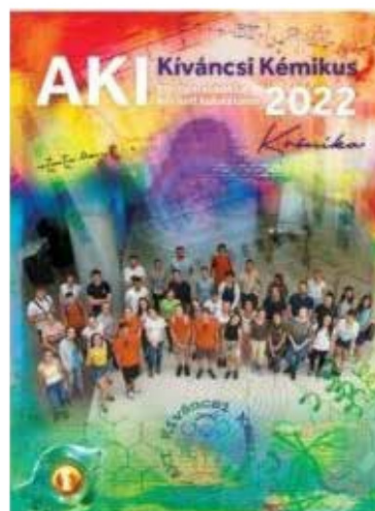
Intézetének, az Enzimológiai Intézetének és a Szerkezetkutató Központjának laboratóriumaiban.

A diákok a táborban eltöltött egy hét alatt elmélyedtek egy-egy tudományos témában, megismerhették az általunk alkalmazott kísérleti módszereket, bekapcsolódhattak a labormunkába, részt vehettek nagyműszerekkel végzett

méréseken. A hét végén pedig miniszimpóziumon számoltak be kutatómunkájukról.

A kutatótábor programjáról és a diákok dolgozatairól készült krónika az alábbi linke kattintva tekinthető meg. ([http://www.ttk.hu/aki/wp-content/uploads/pdf/AKI\\_KK\\_2022.pdf](http://www.ttk.hu/aki/wp-content/uploads/pdf/AKI_KK_2022.pdf))

**Dr. Tompos András**





# A fehér fűz, a növényi aszpirin

Az Európában és Ázsiában honos lombhullató fehér fűzfa (*Salix alba*) a fűzfafélék családjába tartozó fűz (*Salix*) nemzetség legismertebb képviselője. A nemzetség tagja a nyárfa is. Különböző fajtái ismeretesek. Ilyen az erdészeti célra magyar nemesítésű, egyenes törzsű „Bédai Egyenes”, a feltűnően sárga – kosárfonásra is alkalmas ágazatú – „Vitellina” és a hosszú sárga ágait földig lógató „Szomorúfűz”. A legősibb szomorúfűz fajta a Kínából származó „Babiloni Fűz”. Levelei kopaszok, ágai sárgászöldek, a napos oldalon vörösesek. Meghonosodott Észak-Amerikában, Észak-Afrikában és Európában is. Európában a XVII. században a romantikus kertek egyik dísnövénye volt.

A legtöbb fűzhöz hasonlóan a fehér fűz is kedveli a meleg párást, levegőt, kifejlett fái akár 25 méterre is megnőnek. Koronája gyakran szabálytalan, ferde. Ágai egészen a földig hajolnak. Kora tavasszal először megjelennek virágai, a barkák, aztán a keskeny világosbarna levelei. A barkák nektárt adnak a méheknek, táplálékot a rovaroknak. A fehér fűz kétlaki, a hím és női virágok külön fákra nőnek. A karsú, ovális levelei az alsó felükön finom,



A fehér fűzfa kérge

selymes fehér szőrszálakkal borítottak. A rovarok általi beporzást követően a nőstény barkák fehér pehelybe burkolt kis magokat növesztenek. A pelyhes burkok segítik a magok szél által történő terjedését.

A fehér fűzfa kivonata a legrégebben feljegyzett fájdalomcsillapító az emberiség történetében. A népi gyógyászat évezredek óta használja világszerte a fa kérgéből vagy leveleiből készült teákat, kivonatokat, gyulladás- és fájdalomcsillapításra.

Mint 2017-ben kiderült, már a neandervölgyi ember (~ie. 60 000) is ismerhette a fűzfafélék gyógyhatását. Kutatók kimutatták a neandervölgyiek megkövesedett állkapcsán egy fűzfafajta, a nyárfa kérgének nyomait. Az ember valószínű fogfájás miatt a fa kérgét rágcshálhatta fájdalmai enyhítésére. A fehér fűzfát az ókori asszír, egyiptomi és görög gyógyászatban is használták. Hippokratész görög orvos a fehér fűzfát láz és fájdalom enyhítésére ajánlotta. A kínai orvosok i.e. 500 óta használják a

fehér fűzfát fájdalom és gyulladás csökkentésére. Az őslakos amerikai törzsek, köztük a cseroki, feketeláb, irokéz és eszkimó népek a kéreg közeli rokon fajtáiból készítették teát fejfájás, láz, izomfájdalmak, hidegrázás, reuma és az általános fájdalmak enyhítésére.

A fehér fűz napjainkban is világszerte népszerű a láz, valamint a gyulladások és fájdalmas állapotok (inhüvelygyulladás, fejfájás, reumás ízületi gyulladás, hátfájás, osteoarthritis, és izomfájdalmak) alternatív gyógyítására. A fakéreg kivonatait étrendkiegészítőként forgalmazzák.

A fehérfűz gyógyhatásának első vizsgálatát Edward Stone tiszteletes végezte el Angliában 1763-ban. A kéreg keserű íze a malária kezelésére használt perui kínafa (kinin) keserű ízű kérgére emlékeztette. Több éven keresztül sikeresen használta a fűzfa kérgének szárított porát emberek maláriás lázának gyógyítására, bár a kínafa-kéreggel kombinálva a kezelés hatásosabbnak bizonyult.

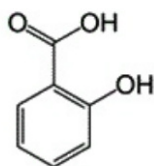
A fehér fűzfa nem ok nélkül bizonyult gyógyhatásúnak, mivel a fa kérge és levelei egy szalicil- glikozid származékot, a szalicint, úgynevezett „növényi aszpirint” szintetizálnak.

A szalicin, egy prodrug, amely a szervezetünkben a gyógyhatást kifejtő





szalicilsavra bomlik. Emiatt nevezik a szalicint növényi aszpirinnek is. A prodrug olyan vegyület, melyből a szervezet állítja elő a gyógyszert.



Szalicilsav

Számos fa kérge szintetizál gyógyhatású hatóanyagokat. Említésre méltó ezek közül a kínafa, melyből a malária gyógyítására alkalmazott kinin nyerhető ki. A fák kérgének és leveleinek jellegzetes heterociklusos fenolvegyületei, mint például a szalicin, védik a fákat a növényevő és patogén szervezetektől és figyelemkeltő jelzőanyagokként szolgálnak a nektárjukat fogyasztó rovarok számára.

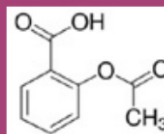
A gyógyhatású molekulát Buchner vonta ki 1828-ban a fehér fűz kérgéből. A sárga, keserű ízű kristályokat szalicinnak (szalicil-glikozid) nevezte el. Később Raffaele Piria felfedezte, hogy a szalicin hidrolízisével cukor és aromás vegyület,

szalicil-alkohol (szaligenin) képződik. A szalicil-alkohol oxidációjával szalicilsav keletkezik.

A szalicilsav a szalicinnal megegyező farmakológiai hatásokat mutatott, ugyanakkor nem rendelkezett annak keserű ízével. Később kiderült, hogy a szalicin átalakulása szalicilsavvá az emberi szervezetben is lejátszódik és a szalicin aktív metabolitja valójában a szalicilsav.

A múlt században a szalicilsavat, szalicint és más szalicilátokat (metil-szalicilát), több olyan gyógynövény (pl.: mirtusz, gyöngyvesző, kúszó fajdbogyó, réti fű) kivonatában is sikerült azonosítani, amelyek kivonatait a fájdalommal és lázzal járó betegségek kezelésében már korábban, a szalicilsav felfedezését megelőzően is alkalmazták. Ma már ismert, hogy a szalicilátok széles körben elterjedtek a növényvilágban, jelen vannak élelmiszerek növényi forrásaiban is. A szalicilsav egy növényi hormon. Növeli a növények toleranciáját és

A szalicilsavat szintetikus Kolbe marburgi professzor állította elő 1859-ben. Munkatársai kidolgozva az ipari előállítás



Acetilszalicilsav

technológiáját, gyárat alapítottak a szalicilsav ipari előállítására. A XIX. század utolsó évtizedeiben a szalicilsav volt a reuma leghatékonyabb gyógyszere, bár nagyobb dózisban jelentős mellékhatásai voltak. Később egy kisebb dózisban is hatékony szert Hoffmann dolgozott ki 1897-ben a szalicilsav kémiai módosításával. Fenolos hidroxilcsoportját acetilezve - acetilszalicilsavat állított elő, amelyet a Bayer cég 1899-ben Aspirin néven kezdett forgalmazni. Az Aspirin napjainkban is a legnagyobb mennyiségben előállított gyógyszerek közé tartozik. A szalicilsavhoz viszonyítva csekélyebb mértékű mellékhatásokkal rendelkezik (Kémiai Panoráma 2009, 2.szám).



rezisztenciáját a különféle betegségekkel szemben, A szalicilsavnak számos fontos élettani szerepe is van, mint például a virágzás, az ionfelszívódás, a tápanyagszállítás, a gázcsere és a fehérjeszintézis serkentése.

## A KÉREG KÉMIAI ÖSSZETEVŐI

A fűzfakéreg fő gyógyhatású vegyületei a szalicin (0,3-0,8 %), a szalicilsav, és a szaligenol mindamelllett, hogy kivonata

A glikozidok egy vagy több cukormolekulából és egy nem cukor jellegű molekulából (aglikon) álló vegyületek. A cukormolekulák lehetnek azonosak vagy különbözőek. A glikozidokban a glikozidos hidroxilcsoport lép reakcióba az aglikonnal,

~20 százaléka kondenzált polifenolokat és tanninokat is tartalmaz. A vizes kivonatok esetében a fő flavonoidok a naringenin, vagy az eriodictiol és ezek glükozidjai, a fő polifenolos frakció pedig flavonolokból (pld. katekin, epikatekin, galokatekin) és egy sor procianidinből áll. Mindegyikük erőteljes antioxidáns. A fűzfa levelei főleg flavonoidokat, fenolsavakat, ezek származékait és fenolos glikozidokat, tartalmaznak.

A szalicin egy aril-béta-D-glikozid, egy szalicil-alkohol, amelyben a fenolos hidrogént egy béta-glikozid-maradék helyettesíti.



A szalicin a gyomorban és a bélben hidrolizál, d-glükózt és szalicil-alkoholt (szaligenint) képezve, majd felszívódáskor a szalicilalkohol szalicilsavvá és más szalicilát vegyületekké (pld. gentizinsav, szalicil-glükoronid) oxidálódik a májban, amelyek mindegyike a vesén keresztül ürül.

Egy hasonló szalicilát a medveszőlő leveleiben előforduló arbutin (hidrokinon β-D-glükozid) amelyet hagyományosan húgyúti fertőzések kezelésére alkalmaztak, de ma már főleg természetes bőrfehéritő szerként pigmentek eltávolításához használnak a kozmetikumokban, mivel gátolja a melanin képződését a szervezetben.

## A KÉREG KIVONATAINAK HATÁSA

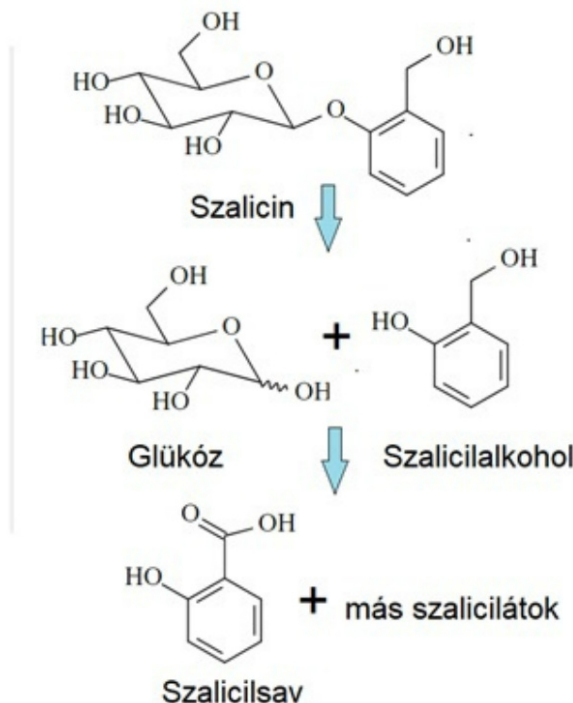
A kereskedelemben a fehér fűz kérget porított formában vagy vizes oldatban étrendkiegészítőként forgalmazzák és gyulladáscsökkentésre, láz- és fájdalomcsillapításra, reumás ízületi gyulladás, hátfájás, osteoarthritis (ízületi kopás), és izomfájdalmak alternatív gyógyítására ajánlják. A tipikus adagja 120-240 mg szalicin.

Hosszú felhasználási története ellenére viszonylag kevés publikált tanulmány, humán és állatkísérlet jelent meg, amely megerősíti a fűzfakéreg gyógyhatását. A kis számú klinikai vizsgálatok eredményei alátámasztják a fűzfa kéregkivonatok fájdalomcsillapítóként és gyulladáscsökkentőként történő alkalmazását krónikus derék- és ízületi

fájdalmak esetén. A fűzfakéreg hivatalosan bejegyzett a Magyar Gyógyszerkönyvben (Ph Hg VIII.). Az Európai Gyógyszerügynökség (European Medicines Agency) elsősorban a fűzfakéreg készítmények hosszútávú alkalmazásának tapasztalatai alapján állapítja meg, hogy „a kivonatok alkalmasak enyhe ízületi fájdalmak, gyulladások, továbbá a közönséges megfázáshoz kapcsolódó láz és fejfájás enyhítésére”.

A fűzfakéreg fájdalom és gyulladás csökkentő hatása mellett több esetben vizsgálták citotoxikus, antidiabetikus, elhízás elleni, neuroprotektív és hepatoprotektív hatását is, azonban a vizsgálatok eredményei jelenleg még nem meggyőzőek.

A fűzfa kéregből készült készítményeket csak felnőtteknél szabad alkalmazni.

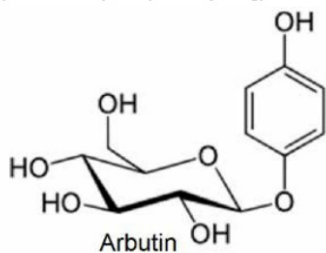


A szalicin hidrolízise

Terhes nők nem szedhetik. Nem szabad 4 hétnél tovább szedni.

A fűzfakéreg-kivonatok ritka mellékhatásai közé tartozhatnak allergiás reakciók, például kiütések, viszketés és asztma, valamint gyomor- és béltünetek, például hányinger, hányás, hasi (hasi) fájdalom, hasmenés és gyomorégés.

Nem szabad szedni a kivonatokat, ha a beteg túlérzékeny (allergiás) a szalicilátokra (pl. aspirin) vagy más gyulladáscsökkentő gyógyszerekre, amelyek nem szteroid gyulladáscsökkentőként (NSAID) ismertek. A szalicilát érzékenység miatt asztmás betegek sem szedhetik, és aktív gyomorfekély, súlyos máj- vagy



veseműködési zavar, véralvadási zavarok esetén sem szedhetőek.

Bár a fűzfakéreg-kivonatok gyógyhatását szalicin tartalmának tulajdonítják, a kivonatok egyéb összetevői, beleértve az egyéb szalicilátokat, valamint a polifenolokat és a flavonoidokat, szintén kiemelkedő szerepet játszhatnak a terápiás hatásokban. A mellékhatások minimálisnak tűnnek a nem szteroid gyulladáscsökkentő gyógyszerekhez, köztük az aspirinhez képest. A fűzfakéreg kivonatok hatásos adagja alacsonyabb, mint az aspirin tipikus adagja (500 mg). Ez a különbség valószínű a polifenolok és a flavonoidok jelenlétének köszönhető.

## A HATÁSMECHANIZMUS

A szalicin hatásmechanizmusa hasonló az Aspirin (acetilszalicilsav) hatásmechanizmusához, hiszen mindkét vegyület a szervezetben szalicilsavra bomlik. A szalicilsav pedig gátolja a

prostaglandinok szintézisét. A prostaglandinok szöveti, kémiai vagy traumás sérülések során, szabadulnak fel és lázat, gyulladást és fájdalmat okozhatnak. A sejtthártya belső felszínéhez kötődő foszfolipid-molekulából az említett ingerek hatására telítetlen alifás karbonsav, arachidonsav szabadul fel. Az arachidonsav a ciklooxygenáz nevű enzim katalitikus hatására prosztaglandinná alakul át. A keletkezett prosztaglandinok aktiválják a hírvívó molekulákat, amelyek a testben levő fájdalmat érzékelő receptorok segítségével továbbítják az agy felé. A szalicinból képződő szalicilsav mennyisége azonban kicsi, így a készítmények hatása más összetevőiknek is köszönhető.

## SZALICILÁTOK ÉLELMISZEREKBE

Kevésbé ismert, hogy számos ételiszem, zöldségek, gyümölcs és üdítőitalok de az alkohol is tartalmaz szalicilátokat (például a brokkoli, a karfiol, az uborka, a gomba, a retek, a spenót, a cukkini, padlizsán és a paprika vagy a gyümölcsök, italok. Emiatt napi táplálkozásunk során szervezetünkbe is kimutatható mennyiségű szalicilátok kerülnek. Emiatt feltételezik, hogy számos betegség kockázatának csökkentése részben a növényi alapú ételiszerekben található szalicilátoknak is köszönhető. A napi szalicilsav bevitelre vonatkozó közzétett becslések azonban jelentősen eltérnek, 0,4 és 200 mg között mozognak naponta, így nem világos, hogy a nyugati étrend elegendő szalicilátot biztosít-e a betegség megelőzéséhez. Néhány etnikai konyha tartalmazhat sokkal több szalicilsavat, mint amennyi a nyugati étrendből beszerezhető.

Egy Skóciában végzett felmérés alapján (116 férfi, 121 nő) a férfiak naponta 2,9-6,27 mg (medián 4,42), míg a nők 2,35-4,89 mg (medián 3,16mg) szalicilátot fogyasztanak táplálkozásuk során. A szalicilát bevitel szignifikánsan és pozitívan alakult rost-, kálium-, C-vitamin fogyasztás estén.

Kőszegi Lídia

Az Aspirin és szalicilsav hatásmechanizmusát az 1970-es években tárta fel Vane, Bergstrom és Samuelson. Munkájukért 1982-ben Nobel-díjat kaptak. Kísérleti eredményei alapján Vane vont le azt a következtetést, hogy az ASS és a szalicilsav is gátolja a prosztaglandinok képződését.



## IRODALOM

- Csupor Dezső Gyógyszerészet 57, 413, Nora Tawfeek, et al., *Front. Pharmacol.*, 12 February (2021) <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.593856>
- A. Wood, et al., *Phytother. Res.* 29: 1112-1116 (2015)
- A. Wood et al., *Mol. Nutr. Food Res.*, 55, S7-S1 (2011)
- G. Duthie and A. Wood, *Food Funct.*, 2, 515 (2011)
- Kazuhiisa Sugimoto, et al. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, Volume 27 (2004) Issue 4
- Majid Saeedi, et al., *Phytotherapy Research* 35, 4136 (2022) <https://www.orvosok.hu/gyogynovenyek/feher-fuzfa-63/> <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/herbal/salicyc-cortex>

# ÜZEMANYAG CELLÁK

## Kémiai energiából elektromos energia

Napjainkban az alternatív energiahordozók kutatása rendkívül dinamikus fejlődő terület. A fosszilis energiahordozók látszólagos kimerülése és egyre magasabb ára, valamint a benzin és dízel üzemű járművekkel kapcsolatos környezetvédelmi problémák miatt a tüzelőanyag cellák kutatását egyre nagyobb érdeklődés övezi.

A tüzelőanyag cellák atyjaként Sir William Grove-ot szokták említeni, aki 1839-ben a víz elektrolízisének vizsgálatakor azt tapasztalta, hogy az alkalmazott áram kikapcsolása után ellenkező irányú áram indul el. Ezt az áramot az okozza, hogy az általa használt egyik platinaelektrodnánál a fejlődő hidrogén oxidálódik, míg a másikonál keletkező oxigén redukálódik. Grove kihasználta ezt a felfedezést, és megszerkesztette az első tüzelőanyag-cellát.

1889-ben két kutató, Charles Langer és Ludwig Mond sikeres kísérleteket végeztek levegő és szén-gáz üzemű cellákkal. Ezt az eljárását Francis Thomas Bacon (1904-1992) fejlesztette tovább, aki 1932-ben az alkáli elektrolit üzemanyag cellák elvét dolgozta ki.

Az 1950-es évek második felében a NASA körül csoportosuló, több száz kutatóintézetben jelentős pénzügyi támogatásokkal megindult a tüzelőanyag cellák továbbfejlesztése. A Gemini programban 1964 és 1966 között végrehajtott űrrepülések során az űrkabin energia ellátását tüzelőanyag cella biztosította. Ezek az üzemanyag cellák tiszta hidrogén és oxigén üzemanyaggal működtek. A végtermékként kapott vizet is hasznosították, ásványi só tablettákkal tették ihatóvá az űrhajósok számára. Az Apollo programban is helyet kapott a tüzelőanyag cella, ahol – a

villamosenergia ellátás mellett – az űrhajósok vízellátására is felhasználták a berendezéseket.

Az 1960-as évektől napjainkig széleskörűen alkalmazzák a tüzelőanyag cellákat elektromos



Courtesy of The National Renewable Energy Laboratory (NREL)

### A tüzelőanyag cella felépítése

romos áram előállítására. Fontos megemlítenünk, hogy a piacon elérhető kisméretű, hordozható készülékek (amelyeket főleg a közlekedési ipar hasznosít) mellett hőerőművekben is alkalmazzák a tüzelőanyag cellákat elektromos áram termelésére.

### A tüzelőanyag cellák felépítése

A tüzelőanyag cellák a kémiai energiát elektromos energiává alakítják át, ugyanúgy, mint például az elemek vagy az akkumulátorok. A különbség csupán annyi, hogy az elemek lemerüléstük után nem használhatóak újra, az akkumulátorok is kimerülnek egy idő



Kép a Geminiről 1964-ből: <http://abyss.uoregon.edu/~js/images/gemini8.jpg> és <http://abyss.uoregon.edu/~js/images/gemini7.jpg>

A tüzelőanyag cellák addig üzemeltethetők, amíg az üzemanyag rendelkezésre áll

után, a tüzelőanyag cellák viszont addig üzemeltethetők, amíg van rendelkezésre álló üzemanyag. A különböző típusok közös jellemzője, hogy két elektródból, valamint a köztük lévő elektrolitból állnak. Egyes tüzelőanyag elemek katalizátort is tartalmaznak a jobb hatásfok végett.

Ahhoz, hogy a cellában lejátszódó redoxi reakciókat áramtermelésre tudjuk használni, térben szét kell választanunk az oxidációs és redukációs folyamatokat és a keletkező elektronokat egy külső áramkörön keresztül munkavégzésre kell kényszerítenünk. A cellában lejátszódó áramtermelő folyamat során a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra szakadnak szét. A protonok az elektroliton haladnak keresztül, az elektronok pedig az említett külső áramkörön. A katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénnel és így víz jön létre. Tehát az azt jelenti, hogy a folyamat során nem keletke-



Kép a Geminiről 1964-ből  
<http://abyss.uoregon.edu/~js/images/gemini8.jpg>

zik környezetszennyező gáz, ami a tüzelőanyag elemek egyik nagy előnye. További előny az, hogy az áramtermelő folyamat hatásfokát elméleti termodinamikai határok nem korlátozzák, szemben a belsőégésű motorokkal, melyek hatásfokát a Carnot-ciklus szabja meg.

**Megkülönböztetünk alacsony (50-80°C) és magas hőmérsékleten (600-1000°C) működő üzemanyag cellákat, de csoportosításukat alapvetően az elektrolit anyagától függően szokás elvégezni:**

- Alkáli elektrolitos tüzelőanyag cellák - Alkaline Fuel Cells (AFC)**
- Foszforsavas tüzelőanyag cellák - Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)**
- Olvadt karbonátos tüzelőanyag cellák - Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)**
- Protoncserélő membrános tüzelőanyag cellák Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)**
- Direkt metanol membrános cella**
- Szilárd oxidos tüzelőanyag cellák - Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)**

### Alkáli elektrolitos tüzelőanyag cellák

Az üzemanyag cellák közül az Alkáli Elektrolitos Cellák tekintenek a legnagyobb múltra vissza, ezért ezeket tekinthetjük az egyik legjobban tanulmányozott típusnak.

Ezen tüzelőanyag elemeket 80°C környékén üzemelik. A cellában lejátszódó reakciók:

Anódon:



Katódon:



Az üzemanyag cellában az áramtermelő folyamat során a hidroxil ion ( $\text{OH}^-$ ) az anódon reakcióba lép a hidrogénnel. Termékként víz keletkezik.

Az Alkáli Elektrolitos Cellák előnyei közé sorolható, hogy alacsony hőmérsékleten nagy hatásfokkal működnek és olcsón előállíthatók. Hátrányuk, hogy csak tiszta oxigénnel és hidrogénnel képesek működni. Bármilyen szennyezés, főleg szén-dioxid és szén-monoxid csökkenti a hatékonyságot, mivel az elektrolit elkarbonátosodását okozza.

### Foszforsavas tüzelőanyag cellák

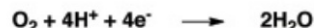
A foszforsavas tüzelőanyag cellákban elektrolitként vízmentes foszforsav található, amely alacsony hőmérsékleten rossz ionos vezető, ezért ezt a tüzelőanyag cellát magas hőmérsékleten (175-200 °C között) üzemeltetik.

A cellában lejátszódó reakciók:

Anódon:



Katódon:



Jelen esetben a töltéshordozó részecske a  $\text{H}^+$ , amely az anódon keletkezik, ezt követően a katódon egyesül az oxigén molekulával, és víz keletkezik.

Előnye a foszforsav kis illékonyága, ezért ezek a berendezések hosszú élettartalmúak. Hátránya az üzemanyag cella működéséhez szükséges platina katalizátor ára, ezért az előállítás költségei nagyok, továbbá az, hogy a készüléket nagy tisztaságú hidrogénnel kell üzemeltetni, mert a katalizátormérgek tönkreteszik a berendezést.

### Karbonátolvadékok tartalmazó tüzelőanyag elemek

Az 1960-as évek közepén fejlesztették ki ezt a cella típust, melynek technológiája azóta nagy fejlődésen ment keresztül.

Elektrolitként olvadt lítium és nátrium, vagy kálium karbonátot tartalmaznak. Megfelelő működésükhöz az elektrolit olvadt állapotban tartása céljából magas hőmérséklet (kb. 650 °C) szükséges, ennek eredményeképpen az elektrolit a karbonát ionokat vezetni képes. Anódként nikkelt, katódként nikkelt-oxidot szoktak alkalmazni.

A cellában lejátszódó folyamatok:

Anódon:



Katódon:



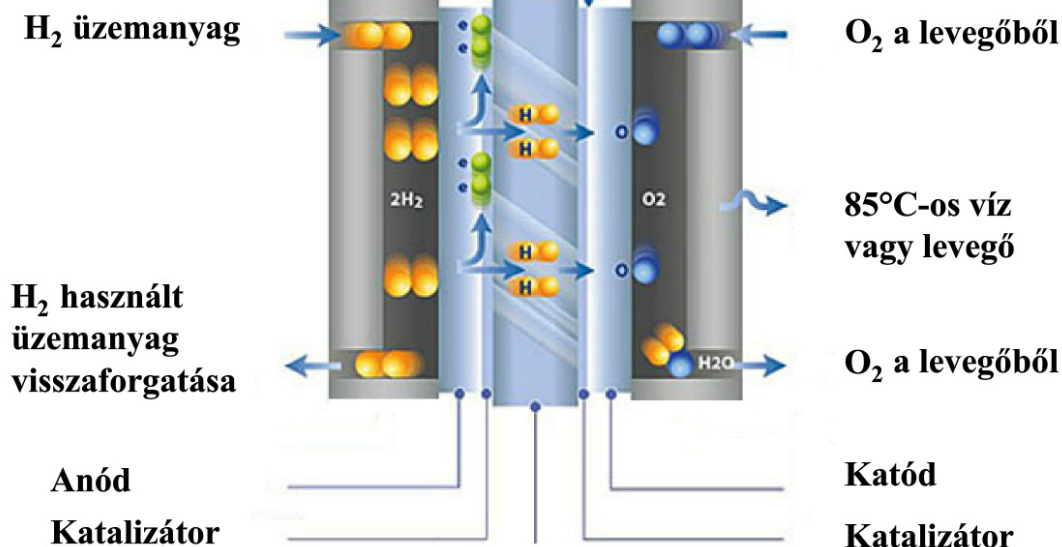
Előnye az olcsó és könnyen hozzáférhető alapanyagigény, továbbá a magas hatásfok (a hő felhasználásával együtt 80% fölött is lehet). Hátránya az, hogy nem korrózióálló a berendezés.

### Protoncserélő membrános tüzelőanyag cellák

Ennél a cella típusnál az elektrolit anyaga egy protonvezető polimer, amelyet az üzemanyag elem vékony polimerfilm formában tartalmaz. Ezeknek a polimereknek az egyik speciális tulajdonsága, hogy vizes formában a

Áramkör

Membrános üzemanyagcella



Protoncserélő membrán

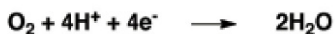
protonokra áteresztőek, elektronokra viszont nem (innen ered a név is: protoncserélő membrán). A protoncserélő membrános cellák működése pont erre a tulajdonságra épül: a membránba érkező hidrogén szétesik protonokra és elektronokra, a protonok végighaladnak a membránon, az elektronok pedig egy külső áramkörön.

A cellában lejátszódó folyamatok:

Anódon:



Katódon:



A cellában lévő szilárd elektrolit miatt ez az üzemanyagcella nem érzékeny a környezeti változásokra, így hosszútávon is megbízhatóan üzemel. Hátránya, hogy platina katalizátort tartalmaz (lásd foszforsavas üzemanyag cellák).

A protoncserélő membránt tartalmazó cellák egyik speciális fajtája a direkt metanol membrános cella, a DMFC (lásd: Oláh György válasza korunk kihívásaira című cikkünket a Kémiai Panoráma 1. számában). A DMFC esetében a cellában lejátszódó reakció valamilyen szerves vegyület vizes oldatának a levegő oxigénjével történő oxidációján alapul. Vagyis az anódon eltérő reakció megy végbe, mint a protoncserélő membrános cellák esetében, a katódreakció viszont azonos.

Anódon:



Katódon:



Szilárd oxidos tüzelőanyag cellák

A szilárd oxidos cellákban az elektrolit vékony kerámia rétegek kötegéből áll, a

kerámia anyaga ittriumos cirkónium-dioxid. A cellák magas hőmérsékleten működnek, az eddig ismertetett cellák közül a legmagasabb hőmérsékleten, ez az érték akár 1100°C is lehet. Ez a hőmérséklet ahhoz szükséges, hogy a kerámieréteg, mint elektrolit képes legyen az oxigén ionok vezetésére. Katódként







La-Sr-MnO<sub>3</sub> ötvözetet, anódként Ni-Zr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ot alkalmaznak. A cellában lejátszódó reakciók:

Anódon:



Katódon:

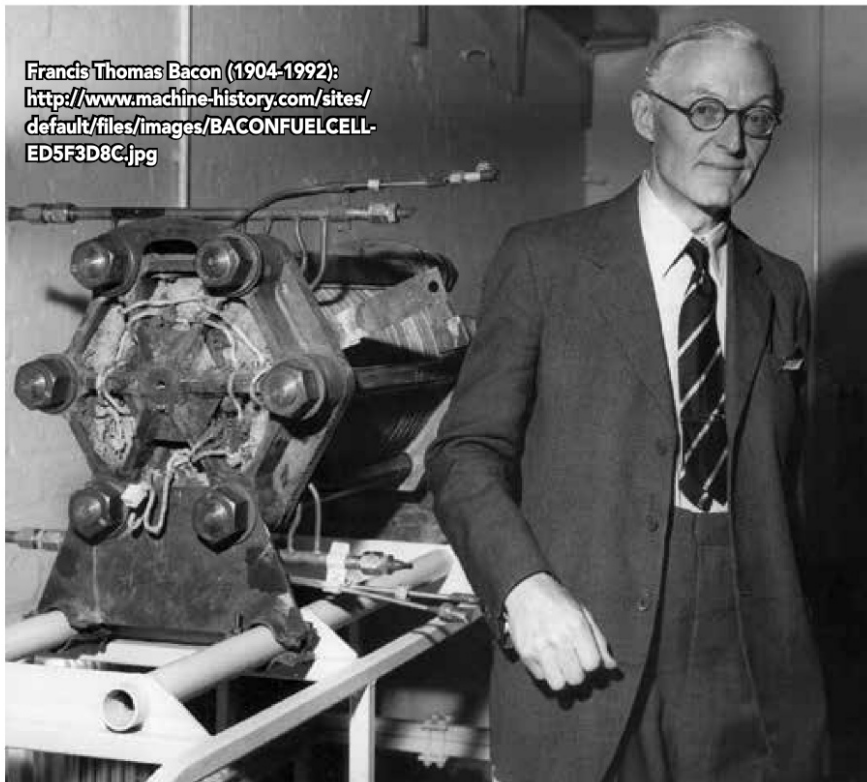


A fenti két reakcióegyenletről egyértelműen látszik, hogy a töltéshordozó oxigén ionok a katódon keletkeznek az oxigén molekulákból. Ezt követően az anódon a hidrogénnel egyesülnek víz keletkezése közben. Ezt követően a felszabaduló elektronok egy külső áramkörön keresztül áramot termelve jutnak el ismét a katódhoz, és a folyamat kezdődik előlről. Előnye, hogy a magas üzemi hőmérséklet miatt, a hőhasznosítást is beleértve nagy hatásfokkal működnek ezek a cellák, hátránya, hogy a cirkónium-dioxid és az ittrium magas ára miatt drágák az előállítási költségek.

### Csökkentés és tárolás

Az öt alapvető tüzelőanyag cella előnyeinek és hátrányainak ismeretében egyértelműen meg lehet fogalmazni azt az utat, amelyen a további fejlesztéseknek el kell indulniuk. Ezek pedig a méret csökkentése, a működési hőmérséklet csökkentése, az előállítási költ-

Francis Thomas Bacon (1904-1992):  
<http://www.machine-history.com/sites/default/files/images/BACONFUELCELL-ED5F3D8C.jpg>



ségek csökkentése, valamint a hidrogén tárolásának megoldása.

Ezen üzemanyag cellákat a közlekedés mellett az ipar számos területén alkalmazzák. Mégis kiemelném jelentőségüket a közlekedés terén: ha fejlesztésük eléri azt a szintet, hogy versenyre kelhessenek a benzin és diesel hajtotta járművekkel, akkor akár környezetvédelmi szempontból, akár teljesítmény szempontjából lekörözhetik versenytársaikat, és remélem, hogy ennek hamarosan eljön az ideje.

**Bazsó Fanni Laura**

A szerző írása megjelent a 9. számában 2012-ben



#### Felhasznált irodalom:

Inzelt György: Az elektrokémia korszerű elmélete és módszerei II. kötet, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 1999, p.245  
 Inzelt György, Fizikai Szemle 54, 2004, 252-258  
[www.fuelcell.hu](http://www.fuelcell.hu)

**Üzemanyag  
 cella hajtású  
 autó**

## Kémiai Panoráma

Felelős kiadó és főszerkesztő:

Pálincás Gábor

Kiadja az ELKH Természettudományi

Kutatóközpont

Kapcsolat: 1117 Budapest,

Magyar tudósok körútja 2.

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

Tördelés-képszerkesztés: Szarka Bernadett

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

