

MAKSAY GÁBOR

# Jelátvitel: szimmetria és szimmetriasértés

*Kajtár Márton emlékére*

Elménk az objektumok képét szubjektíven és holisztikusan, egészében fogadja be. Miért olyan különleges a szimmetria számunkra? A szimmetriát a harmónia, a nyugalom és a stabilitás fogalmaival lehet társítani. A szimmetriasértés viszont változást és diszharmoniót sugall, esetleg bizonytalanságot, zavart, hiányérzetet kelt. Persze ezek a képzetársítások koránt sem nyilvánvalók.

Ha rátekintünk *Leonardo da Vinci* közismert tanulmányára (1. ábra), először az emberi test klasszikus harmóniája, szimmetriája tűnik a szemünkbe. Alaposabban megnézve azonban észrevesszük, hogy a lábfejek ábrázolásmódja sérti a szimmetriát. A végtagok kettős ábrázolása pedig mozgást sugall. A test szinte kilép a kép síkjából.

Sokféle társadalmi mozgásformában is nagy szerepet játszik a szimmetria. Az al-



1. ábra. Szimmetriasértés: Leonardo da Vinci Vitruvius tanulmánya

kotó ember számára kihívást jelent például a zene, az építészet, a képzőművészet és az irodalom formavilága területén. A szimmetriasértés pedig felkavaró, mint például a társadalmi rendszer szimmetriáját sértő forradalom. A költők viszont kiaknázzhatják az aszimmetria felkavaró hatását. *József Attila* így fogalmaz meg egy erkölcsi dilemmát a *Két Hexameterben*:

Mért legyenek *én* tisztességes?  
Kiterítenek úgyis!

Mért *ne* legyenek tisztességes?  
Kiterítenek úgyis.

Vagyis, szimmetrikus ismétlés helyett, amivel *Ady* oly gyakran nyomatékosított, *József Attila* a kérdést ellentétesen ismételte meg, az *én* helyett a *ne* tiltó szóval. Ez a provokatív szimmetriasértés állásfoglalásra késztet.

## Egyetemes szimmetria

A szimmetria, különféle értelmezésben, az egész világegyetemet áthatja. A szimmetria elvont fogalma valamilyen változtatással szembeni állandóságot jelent. A szimmetriasértés tehát valamilyen változást, mozgást tükröz. Ilyesmi mindenféle rendszerben előfordul; az atomalkotó részecskéktől a molekulákon és élőlényeken át az egész Univerzumig: reakciók, funkció-, szerkezet-, alak- és állapotváltozások. Ha a változás térbeli dimenziója láthatatlanul kicsi vagy végtelenül nagy; időtartama pillanatszerű vagy igen hosszú: szinte kimutathatatlan. Aki az általános szimmetriaelveket felfedezte és a kvantummechanikába bevezette: a Nobel-díjas *Wigner Jenő* nem kevesebbet állított, mint hogy szimmetriák kormányozzák a természet törvényeket. Másrészt, *József Attila Eszmélet* című verse szerint „...a törvény szövődéke / mindig fölfeslik valahol”. Noha a világegyetem születésének *Big Bang* elmélete szerint az anyag és antianyag egyenlő arányban keletkezett, jelenleg eltérő arányban léteznek. A szimmetriasértés akkor lesz értelmezhető, ha a *Nagy Hadronütköztetővel* különbséget lehet kimutatni az anyag és antianyag parányi részecskéinek tulajdonságai között. Figyelemre méltó és az adattárolásban lesz



2. ábra. Szimmetriasértő lepényhal

hasznosítható, hogy különféle szimmetriák nagyságrendekkel fokozzák az atomok mágneses momentumának stabilitását.

Hogyan érvényesül a szimmetria és szimmetriasértés a természetben, az élővilágban? A növény- és állatfajok formagazdagsága szinte végtelen. Csaknem minden faj alakjában kimutatható néhány egyszerű szimmetriaelem. A bilaterális szimmetriát tükörsík jellemzi, a két fél oldal egymás tükörképei, amelyeket felcserélve az objektum képe változatlan marad. Forgási szimmetria esetén pedig egy szimmetriatengely körüli forgatás a tárgyat önmagával fedésbe hozza.

Az élővilág evolúciója során a szervezettség összetettségével is nő. Az összetettség akkor gazdaságos, ha azonos szerkezetek kapcsolódnak, ami szimmetriát eredményez. Viszont a felszegűsző lepényhal torz alakja (2. ábra) a törzsféjlődés egy különleges átmeneti, szimmetriasértő formája, amelyben a nyílt vízi életmódot feladó, tengerfenékre letelepedő hal tükörsíkja a domináns testhelyzet elfordulása során különböző irányokban „rekedt meg”. A felszegűszők egyedféjlődése során is végbemege ez az életmódváltás és a szemek oldalirányú vándorlása.

Az evolúciós változások tehát megmegakadnak, szinte kimutathatatlanul lassúak. A kimutathatóság másik végén talál-

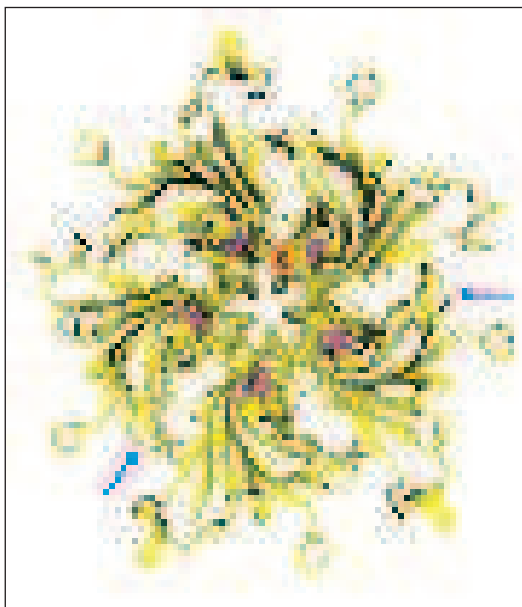
hatók a mikrovilág villámgyors folyamatai. Lépjünk be a biomolekulák formagazdag mikrovilágába és tekintsünk át néhány gyors szerkezetváltozást a nagymolekulák működése során. Korunkban ezeket sorra tárják fel a biofizika modern módszereivel. Szemlélődésünket összpontosítsuk a jelátviteli fehérjék, receptorok szerkezetére, ugyanis szimmetriájuk különösen formagazdag.

### Üzenetvétel szimmetrikus fehérjékkel

Miért fontosak a jelátviteli fehérjék? A sejtektől a társadalomig, mindenféle élő szervezet összehangolt működéséhez és szabályozásához szükség van kommunikációra, információcserére. A sejtek élettani jelek révén kommunikálnak. A jel lehet elektromos és mechanikai, tehát fizikai jelenség, de lehet kémiai vegyület is: transzmitter, hormon és feromon. Az összes fehérjefajta egyharmada a sejtet burkoló membránba ágyazódik és közreműködik az információcserében. A kibocsátott jelet a célsejten egy jelfogó fehérje, azaz receptor (f)elfogja és dekódolja. Ekkor a receptor konformációja, vagyis a fehérje térszerkezete megváltozik. Ez enzimkatalizált kémiai reakciókat indukálhat, vagy ionszatornák nyílnak ki a célsejt membránjában, és az ionok ki- és beáramlása elektromos feszültségváltozást eredményez. A továbbiakban összpontosítsunk a receptorok térszerkezeti változásaira a jelbefogás kezdetén. Ezek kizárólag gyenge, megfordítható fizikai-kémiai (nem-kovalens), gyors kölcsönhatások. Egy jelfogó ionszatornának például egy másodperc tört része alatt kell kinyílnia és visszatérnie nyugalmi állapotába. Eközben kémiai (kovalens) kötései nem változnak. Költsői megfogalmazásban tehát, az életjelenségek szerkezeti titkai fizikai-kémiai kölcsönhatások szövédékekben rejtőznek. E szövédékek fel-felfelik és előtűnnek az életműködés titkai. A téma jelentőségét és aktualitását egyébként mi sem igazolja jobban, mint hogy 2012-ben adtak először Nobel-díjat receptorszerkezetek feltárásáért, 2013-ban pedig a fehérjék működését modellező számítási eljárásokért.

A jelfogó fehérjéket több alegység: peptidláncok 'gubancái' alkotják. Úgy fejlődhetnek ki a leghatékonyabban, hogy az ősi, peptidmodulokat kódoló gének megsokszorozódtak. Két azonos alegység tükörszimmetrikusan simul egymáshoz. Több alegység pedig tengelyszimmetrikusan körbe zárulhat, és gyakran csatornaüreget fog közre. Az evolúciós mutációk következtében egyes aminosavláncszemek kicserélődnek. Ettől még a fehérje globális szimmetriája megmaradhat,

de a felszínén bekövetkező lokális változások másfajta jelvivő molekula kötődéséhez vezethetnek. Az alig eltérő alegységek különféle kombinációkban egész receptorcsaládokat hoznak létre, amelyekkel az élő szervezet gazdaságosan és hatékonyan működtet jelszelektív szabályozást. A peptidláncok gyenge, de tengersok kölcsönhatása stabilizálja a fehérje szerkezetét. Ezt azonban a jelmolekula kötődése mégis megzavarja, mint vízbedobott kő a felszínt. Így a jel hatása több alegységre is áterjed, ugyanis a jelfogó fehérjék képlékenyek és alegységeik együttműködnek. Összefoglalva, a szimmetrikus receptorszerkezet gazdaságosan fel-



**3. ábra. Ionszatorna tengelyszimmetrikus pentamer szerkezete és aktivációja jelmolekulák szimmetriasértő kötődése révén**

építhető és stabil. Másrészt fizikai vagy kémiai jelek átmeneti szerkezetmódosító hatása révén gyors és szelektív szabályozásra képes.

### Tükörszimmetrikus dimerek és libikóka

Manapság derül ki, hogy e szerkezetváltozást a szimmetria átmeneti sérülése, csökkenése kíséri. Nézzük meg néhány példán, hogyan. A jelfogó fehérjék legnagyobb csoportja két alegységből álló tükörszimmetrikus dimer. Ha jelmolekula kötődik az egyik alegységhez, a szimmetria egyensúlya kibillen, mint fél oldalon terhelt libikóka. Egy újabb jelmolekula már kisebb affinitással kötődik a másik alegységhez, mint ahogy nehezebb felülni a mérleghinta fellendült ágára. A szimmetrikus receptor működése és a hintázás

egyaránt szimmetriasértő átmeneti állapotokon át zajlik. Az átmeneti szerkezetváltozások hatására pedig beindulnak a célsejt jelátalakító folyamatai.

### Tengelyszimmetrikus ionszatornák

Több, például 3–7 alegység gyűrűbe zárulva, a sejtmembrán átszelő csatornát alkothat. A jelmolekula többnyire az alegységek közti résben kötődik, aminek körbegrűző hatása kinyit egy ionszelektív csatornát. Az ionok spontán jutnak át a csatornán, koncentrációjuk kiegyenlítésének irányában. Az alegység-mutánsok különféle kombinációiból szereteágzó receptor-családok képződnek, a szabályozás fajra és sejtfajtra szelektív változataival. A szomszédos idegsejtek nyúlványai közti kommunikáció üzenetét neurotranszmitterek hordozzák. Átjutva a két idegsejtnyúlvány közti szinaptikus résen, számos neurotranszmitter olyan receptorhoz kötődik, amelynek öt alegysége tengelyszimmetrikus ionszatornát fog közre. Gyakori jelenség, hogy a fehérjén más-más, egy másfajta, úgynevezett ko-transzmitter is megkötődik, ami a receptor(cszatorna) szabályozására alkalmas. A gyógyászatban előszeretettel alkalmaznak ilyen jelmodulátorokat a központi idegrendszer finomszabályozására. A legfontosabb gátló neurotranszmitter a  $\gamma$ -aminovajsav (GABA). A legelterjedtebb nyugtató és altató hatású gyógyszerek (pl. *Sanax*) pedig fokozzák GABA csatornanyitító hatását.

A 3. ábra egy GABA receptor-szármarék szerkezetét mutatja a sejtmembránra merőleges irányban. A pentamer szimmetrikus szerkezetét röntgen kristallográfiával tárták fel. Kristályosították a receptort egy műteti altató, a propofol különböző koncentrációi jelenlétében is. A 3. ábrán a propofol (lila) betölti mind az öt köthelyét. Öt propofollal és propofol nélkül egyaránt zárva maradt a tengelyszimmetrikus szerkezet központi csatornája. Viszont néhány (1–3) propofolmolekula kötődése szimmetriasértő elrendeződésben csatornanyílást eredményezett. Más vizsgálatok szerint a GABA az alegységek között, a 3. ábrán kék nyíllal jelölt részekben kötődik. A *Xanax* egyetlen betöltött köthelyét pedig piros kör jelöli. Ezek a kötődési kombinációk aszimmetriát és csatornanyitást hoznak létre a pentamerben. Öt *Xanax*-molekula tengelyszimmetrikus kötődése esetén viszont a csatorna zárva marad. Tehát a ten-

gelyszimmetrikus receptorcsatornák kinyitásához a jelmolekuláknak szimmetriasértő elrendezésben kell kötődni.

### Transzporterek: ki-beszállítás és csiki-csuki

Térjünk most át a transzporterekre, amelyeknél maga a szállítandó molekula a jel. A transzporterek olyan membránfehérjék, amelyekkel a sejt hasznos anyagokat halmoz fel. Vagyis az ionszatornákkal ellentétben, itt az anyagok nagyobb koncentrációjuk irányában haladnak, amihez energia kell. Ilyen transzporterrel vesz fel a sejt nukleozidokat, a nukleinsavak építőelemeit. Három azonos alegység alkot tengelyszimmetrikus homotrimert (4/A. ábra). Az alegységek háromféle konformációt, térszerkezetet vehetnek fel. Alternáló

transzportereknek egy másfajta, különleges szimmetria-átmenete is.

Az egyes alegységek ugyanis két hasonló láncszakaszt tartalmaznak, amelyek ellentétes irányban ágyazódnak a membránba (4/B. ábra). Kétfogású szimmetriájuk van: a szimmetria-operátor (4/B. ábra: transzmembrán hélix-6); 4/C. ábra: TM6 tengelye, fekete ellipszis) körül elforgatva a két háromszög fedésbe hozható.

Ilyen szerkezetű (4/A. ábra) transzportereknek tulajdonítható az is, hogy a rákos sejtek sokféle gyógyszer hatásának ellenállnak, szakszóval *multidrug*-rezisztensek. Szimmetrikus trimerjeik ellentétes irányban szállítanak, kirekesztik a sejtől az ellenséges ágenseket. Összegezve, a transzporterek energiabefektetéssel kifelé vagy befelé szállítanak, miközben váltakozó irányban megmésztik egy háromdimenziós csiki-csuki szimmetriáját.

csökkenés következik be. Ennek megértését segíti az 5. ábra, amelyet M.C. Escher mozaikművészete (*tesszelláció*) ihlet. Piros vonal övezi a forgástengelyt és a hat egyforma alakzatot, amelyek tengelyszimmetrikus hexamert alkotnak. Mihelyst a rajzoló néhány vonással mozgást, életet lehel az alakokba, azaz – a jelmolekulák kötődésének hatásával analóg módon – átalakítja az alakzatok belsejét: egyesekből madár, szomszédjaikból szellem bontakozik ki. Ezáltal a hat egyforma alakzat szimmetrikus hexamerjéből három pár madár+szellem lesz, azaz trimer, amelyet három dimer alkot. Vagyis a mozgás csökkenti a szimmetriát.

Lényegében ilyesmi történik a feszültségfüggő Na-ionszatornák kinyitásánál is. Ezen létfontosságú jelátvivők láncolata továbbítja az elektromos jelet, akció potenciált az idegsejtek nyúlványai mentén. Tehát itt elektromos jel nyit ki ionszatornát. A jelátvivő fehérje négy alegységből álló tengelyszimmetrikus tetramer, amely zárt csatornát képez. A jel az elektromos töltéseket úgy rendezi át, hogy csatorna nyílik a Na-ionok számára, a tetramer fehérje pedig dimerek dimerjévé alakul. Tehát a receptor aktivációja, működése alatt a szimmetria csökken. Példák hosszú sorával lehetne illusztrálni, hogy a különféle jelfogó, de a más funkciójú, akár több tucat alegységből felépített szimmetrikus fehérjék is – például a gömbhéj-szimmetrikus vírusfehérjék – hasonló elvek szerint, szimmetriasértő szerkezetváltozásokon át aktiválódnak.

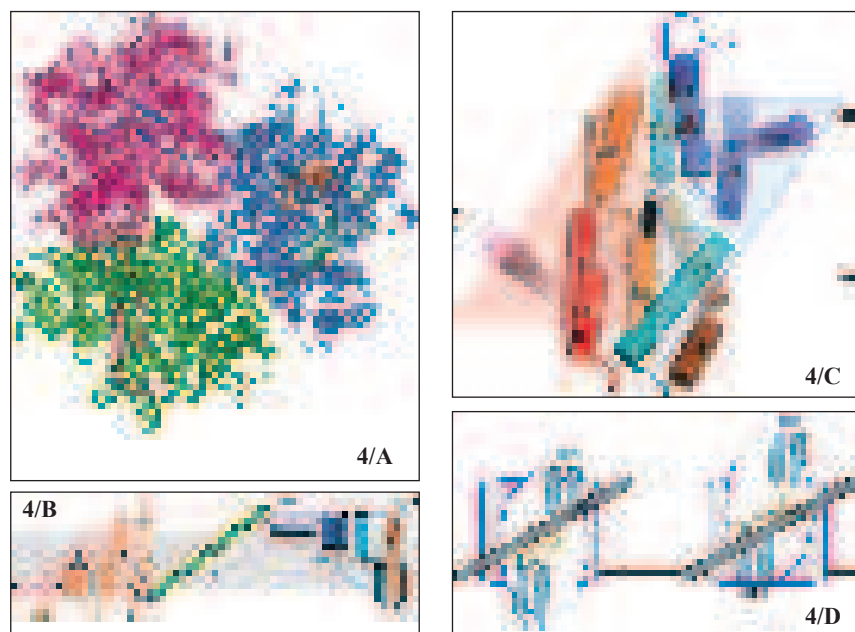
Foglaljuk össze, hogyan járul hozzá a szimmetriával stabilizált szerkezetek átmeneti szimmetriasérülése a működésükhöz? A fizikai vagy kémiai jel a szimmetrikus fehérje fogékony és képlékeny pontjain olyan lokális zavart hoz létre, amely könnyen és gyorsan átrendezi a gyenge kölcsönhatások hálózatát. A rendezettség csökkenése, a szerkezet szimmetriasérülése funkcionális változást indukál. A hatás tovagyűrűzése után a szimmetria villámgyorsan helyreáll.

\*

Érdekes, hogy szubjektív kapcsolatunk a szimmetria fogalmával milyen mélyen gyökerezik. Korunkban derül fény ennek a kapcsolatnak az objektív tartalmára, amely így az élettani szabályozás molekulaszervezeti szintjéig behatóan értelmezhető. Továbbá, a jelátviteli szerkezetváltozások gyorsasága miatt különösen szembetűnő, hogy a szerkezet szimmetriája milyen szorosan összefügg a működés disszimmetriájával. A szimmetrikus szerkezet és a szimmetriasértő működés, mint *jin* és *jang*, egymást feltételező és egymásba átmenő oldalai a valóságnak.

\*

Az írás több évfordulónak és aktualitásnak is igyekszik megfelelni. Az UNESCO a 2014. évet a kristálytannak szentelte. Ugyan-

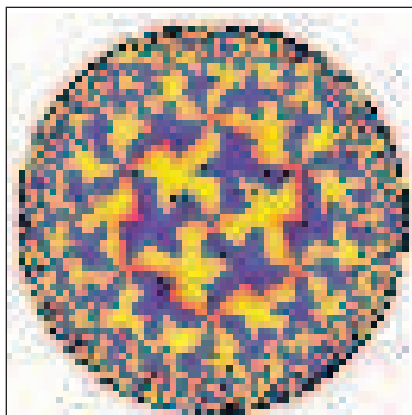


4. ábra. Transzporter membránfehérjék többrétű szimmetriája. 4/A: Tengelyszimmetrikus trimer felülnézetben. Egyik alegység a membrán felvevő oldalán nyitott, egy másik a túlóldalon kibocsátó állapotban, a két alegység pedig nukleozidot (narancsszínű) kötő, zárt állapotban van. 4/B: Egy alegység ismétlődő láncszakaszainak fordított beépülése a sejtmembránba, oldalnézetben. Henger: transzmembrán- (TM) spirál, háromszög: transport-régió. 4/C: a szimmetria-operátor TM6 tengelye (fekete ellipszis) mentén a transport-régiók kétfogású szimmetriája, a membrán síkjában (fekete csikok között). 4/D: A transzportséma oldalnézete. A transport-kapuként működő hajtúkanyaros hélixpárosok (kék HPI-2) mint dugattyúk, a membránra merőlegesen elmozdulnak. Ezáltal a nukleozid (gyűrűspálcikás szerkezet) átkerül a membrán alul nyitott, éppen záruló oldaláról (bal ábra) a felül kinyíló oldalára (jobb ábra)

hozzáférréssel működnek, mint malomjátékban a csiki-csuki. Az alegységek vagy a sejt belseje, vagy külseje felé nyitottak. Van egy zárt, köztes állapotuk is (4/A. ábra: kék alegység), benne a nukleoziddal (narancsszín). A tengelyszimmetria ilyen alternáló torzulásán kívül azonban van a

### Tengelyszimmetria csökkenése

Páratlan számú: három vagy öt alegység tengelyszimmetrikus szerkezetének a szimmetriáját könnyebb megzavarni, mint a páros számúak (négy vagy hat) alegységét. Utóbbiaknál ezért inkább szimmetria-



**5. ábra. Tengelyszimmetria csökkenését illusztráló tesszelláció. Váltakozó belsővel a hexamer átalakul madár+szellem párok triójává, dimerek trimerjévé**

is száz éve fedezték fel, hogy a röntgensugarak útjába tett kristályok kémiai térszerkezete a sugáryaláb diffrakciója, elhajlási mintázata alapján feltárható. Az UNESCO indoklása kiemelte *Kepler* úttörő szerepét is, aki 400 éve figyelte meg a hópolyhek, jégkristályok szimmetriáját. Ezzel elkezdődött a szimmetria általános és anyagszerkezeti szerepének vizsgálata. *Max Perutz*, a szerkezeti biológia és fehérjekutatás úttörője pedig száz éve született. E tisztelő-jubiláló írást Kajtár Márton emlékének szenteltem, aki az aszimmetria szerves kémiai kutatója, karizmatikus oktató, felejthetetlen ember és tudomány népszerűsítő volt. Márton nyolcvanöt éve született és harminc éve jelent meg műve és mindmáig alapvető kézikönyve, a *Változatok négy elemre*. 📖

## Irodalom

- Thompson D. (1952). *On Growth and Form*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Maksay G. (2011). Kémiai kommunikáció: négy úttörő, egy évszázad. *Kémiai Panoráma* 7, 9-11.
- Maksay G. (2012). József Attila és az aszimmetria. *Természet Világa* 143, 328.
- Maksay G. (2013). Kémiai kommunikáció az élővilágban. *Természet Világa* 144, 168-170.
- Maksay G. (2013). Kémiai Nobel-díj-2012, először a receptorok szerkezetéért. *Kémiai Panoráma* 10, 4-6.
- Maksay G. (2013). Asymmetric perturbations of pLIGCs: action! *Trends in Pharmacological Sciences* 34, 299-300.
- Maksay G., Tóke O. (2014). Asymmetric perturbations of signalling oligomers. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 114, 153-169.
- Maksay G. (2014). Max Perutz öröksége: évfordulók, hemoglobin, allosztéria, szimmetria. *Biokémia XXXVIII/4* (közlés alatt).

## A vörös róka Címképünkhöz



A vörös róka (*Vulpes vulpes*) az északi féltekén széles körben elterjed faj. Hazánkban ma a leggyakoribb nagyragadozónak számít, amely hegyvidékektől a síkvidékekig mindenhol előfordul. Igazi generalista faj, amely jól alkalmazkodik az élőhelyek folyamatos változásaihoz. Nemcsak erdőn, mezőn és a vizes élőhelyeken, hanem monokultúras mezőgazdasági területeken, és újabban a városi környezetben is képes megtelepedni és megélni. Hogy mennyire közismert faj, az is mutatja, hogy igen gyakori szereplője a magyar állatmeséknek, amelyekben rendszerint a ravaszsgot képviseli, pedig a vörös róka nem más, mint egy igen sikeres

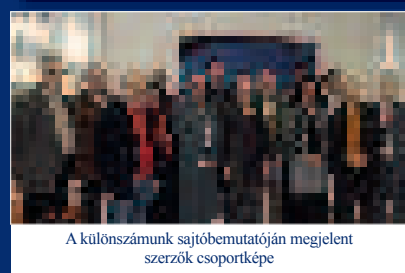
ragadozó, amelynek minden adottsága megvan a túléléshez. Alkalmazkodóképességét jól jelzi változatos táplálékspektruma. Nyáron és ősszel rengeteg kisemlőt, pockot, egeret zsákmányol, tavasszal a kisnyulak, a földön fészkelő madarak és azok fészkeljait sincsenek biztonságban tőle. Ízeltlábúak, tücskök, bogarak is szerepelnek étlapján, de emellett időszakonként jelentős mennyiségű növényi eredetű táplálékot, érő gyümölcsöket is fogyaszt. Télen eltakarítja az elhullott állatok tetemeit is. Urbánus környezetben a városi rágsálók és az ehető hulladék, szemét jelenti táplálékának zömét. K. Zs.

## Megjelent a Természet Világa új különszáma! Európával a világűrben

Az Európai Űrügynökség (ESA, European Space Agency) a világ nemzeti és nemzetközi űrszervezetei között a legszélesebb tevékenységi területet mondja magáénak. Az ötven év űrtapasztalatát felhalmozó szervezetnek 20 tagállama van, 2200 alkalmazottja évi 4 milliárd euró költségvetésből valósíthatja meg Európa űrprogramját. Különszámunkban ezt a sokoldalú tevékenységet mutatjuk be, különös tekintettel azokra a területekre, amelyeken az elmúlt évtizedekben magyar szakemberek is kivették a részüket a közös munkából. Ebben a 96 oldalas kiadványban 25 neves szakember közérthetően megírt cikkei adnak komplex áttekintést az ESA tevékenységéről, és a magyarok hozzájárulásáról az űrtevékenységben. Ára: 980 Ft.

### Tartalom

- Európával a világűrben
- Fél évszázad az európai együttműködés és innováció szolgálatában
- Horvai Ferenc: Az Európai Űrügynökség tudományos programjai
- Kereszturi Ákos: Mars Express Európa az ősi marsi víz nyomában
- Kiss Csaba – Ábrahám Péter: Az ISO, a Herschel és a hideg Világegyetem
- Patkós András: Eredmények az ESA Planck-szondájával
- Szegő Károly: A Rosetta-küldetés és a Csurjumov-Geraszimenko-üstököshöz
- Marschalkó Gábor – Szabados László: Asztrometria – egy ősi tudomány újjászületése
- Both Előd: Európa hordozórakétái
- Horváth Gyula: Magyar műhold ESA-rakétával
- Gesztesi Albert: Európa űrhajózása
- Balázs László – Barkaszi Irén – Ehmann Bea – Takács Endre: Ember a világűrben
- Apáthy István – Hirm Attila: Dozimetriai vizsgálatok a Nemzetközi Űrállomáson
- Almár Iván: ESA-szolgáltatások és -alkalmazások áttekintése
- Kerényi Judit – Mika János: Az időjárás és az éghajlat vizsgálata EUMETSAT műholdakkal



A különszámunk sajtóbemutatóján megjelent szerzők csoportképe

- Frey Sándor: Galileo – az európai műholdas navigációs rendszer
- Bozó Pál: Távérzékelés európai űrszondákkal
- Pap László: Űrtávközlés és az ESA
- Zábori Balázs: Az Európai Űrügynökség oktatási tevékenysége és a magyar részvétel
- Tari Fruzsina: Az ESA nemzetközi kapcsolatai
- Az Európai Űrügynökséggel kapcsolatos fontos események időrendje
- E számunk szerzői