

ETO: 32+008+81+82

LÉTÜNK

TÁRSADALOM•TUDOMÁNY•KULTÚRA
SOCIETY•SCIENCE•CULTURE

XLIV. évfolyam, 2014. 4. szám
Year XLIV, issue 2014/4

FORUM KÖNYVKIADÓ, ÚJVIDÉK
FORUM PUBLISHING COMPANY, NOVI SAD

KIADJA A FORUM KÖNYVKIADÓ INTÉZET
Published by the Forum Publishing Company

Angol tartalommutató és rezümék:
Rakić-Ódri Kornélia

Szerb tartalommutató és rezümék:
Németh Ferenc

ETO-besorolás:
Ispánovics Csapó Julianna

A folyóiratban megjelent tanulmányokat felkért szakemberek lektorálták.

All the contributions in the quarterly journal *Létünk* are refereed by external professionals from the relevant field.

A Szerb Köztársaság Oktatási, Tudományügyi és Technológiai Minisztériuma a *Létünk*-ket M52-es értékű tudományos folyóiratnak minősítette.

A folyóirat az interneten:
www.letunk.rs

TARTALOM

A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI ÉS DISKURZUSAI Nemzetközi hatókörű tudományos tanácskozás

Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka
Forum Könyvkiadó Intézet – Létünk folyóirat, Újvidék

2014. október 25., Újvidék

■ ■ *Előszó*

A természettudományok időszerű kérdései és
diskurzusai című nemzetközi hatókörű
tudományos tanácskozásról (Bence Erika) 9

■ ■ *Plenáris előadások*

- Németh Ferenc Az asztrofizika magyarországi úttörője (Szathmári
Ákos [1855–1927] munkásságáról) 10
- Mészáros Koordinációs kémiai kutatásaink legújabb
Szécsényi Katalin eredményei 24

■ ■ *Szekció-előadások*

- Zoran Primorac Kriza fundamentalne znanosti /
Az alaptudományok válsága 38
- Kiss Ernő A hőtan fejlődése és szerepe az egzakt
tudományokban 51
- Csonka Ákos Szteroid vegyületek hatása tumor sejtvonalakon
in vitro 66
- Hunyadi Dávid Az ammónium-paravolframát,
(NH₄)₁₀[H₂W₁₂O₄₂]·4H₂O, ipari alapanyag
előállítására egy új szilárd-gázfázisú heterogén
reakcióval 73
- Czékus Géza Az urbánus környezetek biodiverzitása 83
- Molnár József A kemoterápia új lehetőségei:
multidrog-rezisztencia gátlása baktériumokban
és tumorsejtekben 97
- Takács Márta Fuzzy kognitív térképek 107
- Pásztor Kicsi Mária A nyelvészet matematikája 118
- Bence Erika A Fibonacci-sor az irodalomban (Kontra Ferenc
Angyalok regénye című kötete példáján) 127

	■ ■ <i>Összefoglalók</i>	
Kocsis Lenke	A plenáris előadások	135
Pósa Mihály	Az első szekció előadásai és diszkussziói	136
Pásztor Kicsi Mária	A második szekció munkájának értékelése	139
Halupka	A harmadik szekció keretében elhangzott	
Rešetar Szabina	előadásokról	140
	E számunk szerzői	142
	Recenzensek	143

SADRŽAJ

AKTUELNA PITANJA I DISKURSI PRIRODNIH NAUKA Međunarodni naučni skup

Učiteljski fakultet na mađarskom nastavnom jeziku, Subotica
Izdavački zavod „Forum” – Časopis „Létünk”, Novi Sad

25. oktobar 2014., Novi Sad

■ ■ *Predgovor*

O međunarodnom naučnom skupu Aktuelna
pitanja i diskursi prirodnih nauka
(Erika Bence) 9

■ ■ *Plenarna predavanja*

Ferenc Nemet Pionir astrofizike u Ugarskoj (O životnom delu
Akoša Satmarija [1855–1927]) 10
Katalin Mesaroš Sečenji Najnoviji rezultati naših koordiniranih
hemijskih istraživanja 24

■ ■ *Predavanja u sekciji*

Zoran Primorac Kriza fundamentalne znanosti 38
Erne Kiš Razvoj termodinamike i njena uloga
u egzaktnim naukama 51
Akoš Čonka Uticaj steroidnih jedinjenja na ćelijske linije
tumora *in vitro* 66
David Hunjadi Proizvodnja industrijske sirovine amonijum-
paravolfamatata $(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ pomoću
nove, čvrste-gasfaze heterogene reakcije 73
Geza Cekuš Biodiverzitet urbanih sredina 83
Jožef Molnar Nove mogućnosti u kemoterapiji: inhibicija
multidrog-rezistencije u bakterijama i ćelijama
tumora 97
Marta Takač Fuzzy („nejasne”) kognitivne mape 107
Maria Pastor Kiči Matematika lingvistike 118
Erika Bence Fibonačijev niz u književnosti, na primeru
dela *Angyalok regénye (Roman anđela)*
Ferenca Kontre 127

■ ■ *Sažeci*

Lenke Kočiš	Plenarna predavanja	135
Mihalj Poša	Predavanja i diskusije I. sekcije	136
Maria Pastor Kiči	Vrednovanje rada II. sekcije	139
Sabina Rešetar Halupka	O predavanjima u III. sekciji	140
	Autori ovog broja	142
	Recenzenti	143

CONTENTS

■ ■ *Theory – History – Experiment*

CURRENT ISSUES AND DISCOURSES IN NATURAL SCIENCES

International Scientific Conference

Teacher Training Faculty in Hungarian, Subotica
Forum Publishing Company – Létünk Periodical, Novi Sad

25 October 2014, Novi Sad

■ ■ *Foreword*

On the International Scientific Conference
on Current Issues and Discourses in Natural
Sciences (Erika Bence) 9

■ ■ *Plenary lectures*

Németh, Ferenc	Hungarian Pioneer of Astrophysics (On the Work of Ákos Szathmári [1855–1927]) 10
Mészáros Szécsényi, Katalin	Our Current Research in Coordination Chemistry 24

■ ■ *Section Lectures*

Zoran Primorac	The Crisis of Fundamental Sciences 38
Kiss, Ernő	The Development of Thermodynamics and its Role in Exact Sciences 51
Csonka, Ákos	The Effect of Steroid Compounds on Various Tumor Cell Lines <i>In Vitro</i> 66
Dávid, Hunyadi	The Development of Alternative Production of Ammonium-Paravolframate, (NH ₄) ₁₀ [H ₂ W ₁₂ O ₄₂]·4H ₂ O, Industrial Raw Material 73
Czékus, Géza	Biodiversity of Urban Environments 83
Molnár, József	New Perspectives of Chemotherapy: Inhibiting Multidrug Resistance in Bacteria and Tumor Cells 97
Takács, Márta	Fuzzy Cognitive Maps 107
Pásztor Kicsi, Mária	Mathematics of Linguistics 118
Bence, Erika	Fibonacci Sequence in Literature (The Example of the Novel by Ferenc Kontra, <i>Angyalok regénye</i> [Novel of Angels]) 127

	■ ■ <i>Roundups</i> Plenary lectures 135 Discussions and lectures of the 1st Section 136 Evaluation of the work of the 2nd Section 139 On the lectures given within the work of the 3rd Section 140
	Authors in this issue 142 Reviewers 143

Kocsis, Lenke

Pósa, Mihály

Pásztor Kicsi, Mária

Halupka

Rešetar, Szabina

A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI ÉS DISKURZUSAI CÍMŰ NEMZETKÖZI HATÓKÖRŰ TUDOMÁNYOS TANÁCSKOZÁSRÓL

A 21. század elején végképp korszerűtlen gondolkodásnak minősíthető az egyes tudományos diszciplínák összebékíthetetlen ellentétéről szóló felfogás. A tudományos műveltség hagyománya – nemcsak az olyan zseniális teljesítmények esetében, mint amilyen pl. Leonardo da Vincié (1452–1519) volt – egyáltalán nem a különállás, hanem az összetett tudás és készségek egyfajta polihisztorszerű magatartás történetét jelenti. A számos nagyszerű példa közül nekem most Blaise Pascal (1623–1662) jut eszembe, akiről egy irodalomtörténeti kurzus keretében éppúgy beszélünk, mint ahogy a matematikában, a filozófiában és más tudományágak területén is diskurzus tárgyát jelentheti munkássága.

Remélem, hogy ez a tanácskozás felold olyan sztereotípiákat, amelyek pl. arról szólnak, hogy a reál-, illetve humán tudományok tudósai kölcsönösen lenézik egymást, vagy hogy nem folytathatnak egymással tudományos diskurzust. Tudom, hogy egy olyan kis tanácskozás, mint amilyent a Létünk, a Forum Könyvkiadó Intézet és a szabadkai Magyar Tannyelvű Tantóképző Kar idén is szervezett, nem old meg nagy kérdéseket és nem változtathatja meg a világot, de remélhetőleg hozzátesz ezekhez a pozitív folyamatokhoz egy szemernyit. Gondolom, hogy ez a tudományos tanácskozás is azt a szellemiséget képviseli, amely a tudományos eredmények értékére, ezeknek bemutatására, a tudományos és kulturális párbeszéd megteremtésére koncentrál – miközben a nyelvi akadályok áthághatók és megszüntethetők.

BENCE Erika

Németh Ferenc

Újvidéki Egyetem, Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka
 ferenc.nemet@magister.uns.ac.rs

AZ ASZTROFIZIKA MAGYARORSZÁGI ÚTTÖRŐJE

Szathmári Ákos (1855–1927) munkásságáról

Hungarian Pioneer of Astrophysics
 On the Work of Ákos Szathmári (1855–1927)

Pionir astrofizike u Ugarskoj
 O životnom delu Akoša Satmarija (1855–1927)

A vajdasági tudománytörténeti kutatások hiánya miatt szinte mindmáig nem tudjuk birtokba venni a vidékünkön egykor élt és alkotott nagyszámú természettudós szellemi/tudományos örökségét, holott annak feltárásával gazdag, rácsodálkozást kiváltó tudósi életpályák kerülnének felszínre. Ilyen többek között Szathmári Ákosnak (1855–1927), az asztrofizika magyarországi úttörőjének pályafutása is, aki a 19. század második felében egy ideig (1878–1883) a nagybecskereki piarista főgimnázium természettan- és mennyiségtan-tanára volt. Ott az első magyar nyelvű spektroszkópiakönyv szerzőjeként tartjuk számon (*A Spectralanalysis és alkalmazásai*. Dohány Ignác ny., Nagybecskerek, 1882), aki több találmányával is gazdagította a fizikát, s nagybecskereki évei alatt komoly csillagászati megfigyeléseket végzett, meteorészleléseit pedig megosztotta korának tudósaival. E tanulmány jobbára feledésbe merült tudományos munkásságát foglalja össze forráskutások alapján.

Kulcsszavak: asztrofizika, színeképelemzés, csillagászat, Szathmári Ákos, Nagybecskerek

BEVEZETŐ

Tudományos örökségünk a módszeres feltárás hiánya miatt, úgy tűnik, még mindig jobbára ismeretlen és feltérképezetlen az egykor vidékünkön ténykedő természettudósok és feltalálók tudományos opusa. Csak néhány jelesebb neve maradt fenn a köztudatban, ugyanakkor számos szorgalmas kutató nevét, munkásságát továbbra is homály fedi. Mintha szándékosan hanyagolnánk tudománytörténeti örökségünk teljes számbavételét, pedig az rácsodálkozást kiváltó meglepetésekkel szolgálna egykori tudományos életünk gazdagságáról, végső soron arról, hogy nem vagyunk gyökértelenek. Ha voltak is az elmúlt időszak-

ban tudomány- és technikatörténeti vizsgálódások, azok képletesen szólva csak fellebbentették a leplet gazdag tudománytörténeti örökségünkről, inkább az érdekesség, a kuriózum szándékával s nem a tudományos méltányolás igényével. Kalapis Zoltán¹, Ribár Béla² és mások³ ilyen irányú írásai inkább népszerűsítő, művelődéstörténeti szempontú megközelítésben foglalkoztak vele, s szomorú tényként könyvelhetjük el, hogy tudomásunk szerint ez idáig még senki sem végezte el a vajdasági magyar tudománytörténet akár vázlatos feldolgozását, tudományos életünk egykori szorgalmas munkásainak átfogó számbavételét. Anélkül pedig továbbra is hiányzik az az értelmezési keret, amelybe az újonnan felbukkanó tudós-életpályákat el tudnánk helyezni, és úgyszintén hiányzik az összehasonlítási alap is, amely abban segítene, hogy az illető tudóst el tudjuk helyezni az őt megillető helyre.

Pedig vidékünk tudománytörténete bizonyíthatóan gazdag, legalább negyed évezredes, mert a 18. század közepéig vezethető vissza. Fejlődésének voltak hullámhegyei és hullámvölgyei, apró műhelyei, de tudós kiválóságai is. Mindenképpen fontos hangsúlyozni e tudósok munkájának folyamatosságát, amely térségünk tudománytörténeti folytonosságát is biztosította. Csakhogy nemigen ismerjük ezeket a szorgalmas elődöket, azt sem tudnánk felsorolni, hogy mely tudományterületeken tevékenykedtek, még kevésbé, hogy milyen tudományos eredmények miatt nem szabad megfélekezni róluk.

Valaki azt mondhatná, hogy felesleges a térségi tudománytörténeti vizsgálódás, hiszen a jeles kutatók nevét már elragadta a feledéstől az egyetemes magyar fizika-, kémia- vagy természettan-történet, a többiek neve pedig, ha feledésbe is merül, nem nagy kár érte. Ám nem így áll a dolog. Az egyetemes magyar tudománytörténet vidékünkéről igen kevés tudós munkásságát jegyzi, s ha abból következtetünk itteni tudományos életünk egykori gazdagságára, akkor bízást téves képet nyerünk. Számunkra fontosak a kevésbé jelentős tudományos opussal rendelkező kutatók is, akik árnyalttá teszik az összképet, egyben szemléltetik koruk tudományos trendjeit, s a tudósok, tudósműhelyek térségi elrendezéséről is tanúskodnak. Tehát mondhatnám úgy is, hogy számunkra minden kutató számít.

A vajdasági magyar tudománytörténetnek pedig az utóbbi 250 évben volt kit feljegyeznie azok közül, akik innen indultak vagy munkásságuk egy részét itt töltötték. A legkorábbiak között említhetjük Kempelen Farkast (1734–1804) (KALAPIS 2003/II.: 125–126), a 18. század egyik legjelentősebb magyar tu-

¹ Kalapis Zoltán: *Életrajzi kalauz*. Ezer magyar biográfia a délszláv országokból I–III. Forum Könyvkiadó, Újvidék, 2002–2003

² Ribár Béla: *Híres magyar tudósok*. JMMT, Újvidék, 1997

³ Például lásd: Németh Ferenc: *Régi bánáti találmányok*. = *Úri világ Torontálban*. Művelődéstörténeti írások. Forum, Újvidék, 107–120.

dását, mechanikusát és felfedezőjét, aki 1767-től bácskai telepítési kormánybiztos volt, s tevékenysége során „Bánátot nagyon kitisztította a zsványoktól és tolvajoktól [...], akik szerteszéjjel ragadoztak és dologtalan korhelyek lévén fosztogattak és pusztítottak”. Az ő nevéhez fűződik többek között a bácskai posztógyártás megszervezése, a néptelenné vált területek benépesítése, a Temesi bánság visszacsatolásának javaslata, ugyanakkor ő volt a Ferenc-csatorna építésének tanácsosa is. A tudománytörténet nemcsak híres sakkozógépét tartja számon, hanem azt is, hogy 1770 táján a világon elsőként készített beszélőgépeket, amelyek a sűrített levegőt az emberi hanghoz hasonló levegőrezgésekké alakították át. Emellett számos más találmánya is volt. Munkásságát részben a magunkénak is mondhatjuk, akárcsak Ambró Ignácét (1748–1788) is, Újvidék egykori városi főorvosát, aki a 18. századi orvosi szakirodalmunkat gazdagította, több kéziratot munkája között pedig egy nyolcvan ív terjedelmű patológia is fennmaradt (KALAPIS 2002/I.: 32–33).

A 19. században Zentáról indult Bugarszky Istvánnak (1868–1941), a neves kémikusnak, a természettudományi nevelés nagy alakjának pályafutása is, aki a budapesti Állatorvosi Akadémia Kémia Tanszékének tanára volt, majd a Pázmány Péter Tudományegyetem Kémiai Intézetének vezetője. Liebermann Leóval együtt végzett kísérleteket, a fehérjék sav- és báziskötő képességével kapcsolatosan, emellett számos más kutatást is a kémiai statika és kinetika köréből (KALAPIS 2002/I.: 170–171). Ugyancsak Zentáról rugaszkodott el Fekete Mihály (1886–1957) is, Beke Manónak, a híres matematikusnak a tanársegéde, aki később a jeruzsálemi Zsidó Egyetem Természettudományi Karának dékánja lett. Legfontosabb tudományos eredménye a transzfinit átmérő fogalmának megalkotása volt, kutatásának fő területe pedig a pontthalmazok elmélete (KALAPIS 2002/I.: 289–290). Az ósóvéiak (Ravno selo) ma is büszkék lehetnek Kádár Lászlóra (1908–1989), a bácskai földrajztudósra, a Magyar Földrajzi Társaság elnökére, aki tudományos pályáját gróf Teleky Pál mellett kezdte, a budapesti Közgazdaság-tudományi Egyetem Földrajz Tanszékén. A folyóvízi erózióval, a földfelszíni formák rendszerezésével, folyóteraszokkal és futóhomok-formákkal foglalkozott behatóan. Tagja volt az Almásy László-féle Szahara-kutató expedíciónak is, s egy ideig Újvidéken dolgozott (KALAPIS 2003/II.: 96–97). Ópázováról indult Kadić Ottokár (1896–1957), a magyar ősemberkutatás egyik megalapítója és a tudományos barlangvizsgálat szervezője, az őslénytan egyetemi tanára, aki többek között a Begatáj és a Bega folyó földtani viszonyait tanulmányozta (KALAPIS 2003/II.: 97–98). Kondor Gusztáv (1825–1897) az egykori szabadkai gimnazista, később az MTA levelező tagja, földmágnességi méréseivel alkotott maradandót, Budapesten pedig a csillagászat rendkívüli egyetemi tanára volt (KALAPIS 2003/II.: 164–165). A pancsovai Lambrecht Kálmán (1889–1930) korának jeles paleontológusa, ornitológusa és etnográfusa

volt, egy ideig a Természettudományi Közlöny szerkesztője, akinek öslénytani rendszerező munkái ma is megkerülhetetlen források (KALAPIS 2003/II.: 204–205). Az óbecsei születésű Than Károly (1834–1908), szülővárosának későbbi díszpolgára, Heidelbergben Wilhelm Bunsen mellett képezte magát, majd a pesti egyetem kémiai tanszékére került, ahol megalapította az első kémiai intézetet, s elindította az első kémiai folyóiratot. Az MTA másodelnöke volt. Szerves és szervetlen kémiával egyaránt foglalkozott, első jelentős tudományos eredménye a karbonil-szulfid felfedezése és előállítása volt, emellett bevezette az elemzési adatok gyökbe való kifejezését, vagyis a „Than-féle egyenértéket” (KALAPIS 2003/III.: 229–230). Egy ideig budapesti laboratóriumában dolgozott vele a zombori Koch Ferenc (1853–1917), aki később tanársegéd lett a kolozsvári kémiai tanszéken (KALAPIS 2003/II.: 151–152).

Sokan voltak azok között is, akik csak egy ideig kutattak vidékünkön, s kutatásaik eredményeit tudományos munkáikban tették közzé. Bittner Imre (1798–1887) 1834 és 1837 között Torontál megye főorvosa, maláriakutató, 1847-ben Pesten jelentette meg munkáját a Bánság poszlázairól (KALAPIS 2002/I.: 127–128). Borbás Vince (1844–1905) egyetemi tanár, a 19. század legnagyobb magyar botanikusa, a korszerű flóra- és növényföldrajzi kutatás megalapozója, számos gyűjtőutat tett errefelé, s mintegy kétezer növényalakot írt le. 1873-ban három ízben járt Dél-Bánátban (a Deliblati-homokpusztán meg a verseci hegy tájékán) s elsőként írta le a Kazán-szorosban őshonos, sárga Tulipa hungaricát (KALAPIS 2002/I.: 145–146). Deseő Béla (1851–1912), a nagykindai gimnázium tanára, aki külföldön folytatott zoológiai tanulmányokat, az ízeltlábúak, különösen a rovarok anatómiáját tanulmányozta. Részletesen feltárta a Fiumei-öböl szivacsfaunáját, és sikerült neki húsz új fajt is felfedeznie. Őt az a megtiszteltetés is érte, hogy 1901-ben az V. nemzetközi berlini zoológiai kongresszus egyik előadója lehetett (KALAPIS 2002/I.: 235–236). Heuffel János (1800–1857), a szenvedélyes botanikus, a bánáti térség flórájának szorgalmas kutatója volt. A fiatal Josif Pančić is kapcsolatba került vele, aki egy ideig Heuffel segédkutatója volt. Többek között monográfiát írt a hazai tölgyekről, a gyűjtőutairól magával hozott növényfajokat pedig herbáriumában őrizte, amely kortársai szerint a leggazdagabbak egyike volt Európában (KALAPIS 2003/II.: 38–39). Kitaibel Pál (1757–1817), az Európa-szerte ismert magyar természet- tudós, a botanika egyetemi tanára is szívesen kutatott errefelé. 1792 és 1816 között bejárta az egész akkori Magyarországot, részint az ásványvizeket, részint az adott térség természeti viszonyait vizsgálva. Százötven féle ásványvíz elemzését végezte el, emellett ő fedezte fel a pannon-alföldi flóra jellemző fajtáinak a felét. 1800-ban Szabadkán, Ludason, Kishegyesen, Verbászon és Újvidéken kutatott, a Fruška gorát mintegy tíz nap alatt járta be. Dél-Bánátban, Versec és Fehértemplom környékén is megfordult. Sokatmondó adat, hogy vidékünkön

mintegy 500 növényfajt dolgozott fel, a begyűjtött mintákat pedig gazdag herbariumában őrizte meg (KALAPIS 2003/II.: 146–147).

A 19. században és a 20. században több kevésbé ismert vagy régen elfeledett újítás, érdekes találmány is született vidékünkön. Hadd említsek csupán néhány bánáti példát. 1887-ben, a nagyikindai Naszády Józsefnek sikerült szabadalmaztatnia a hadicélokat szolgáló bűvárhajóját, azaz tengeralattjáróját, s két évvel előzte meg John P. Holland hasonló találmányát (NÉMETH 2003: 108). A becskerei Szabó Sándor 1887-ben mutatta be új rendszerű számológépét, amelyet iskolai taneszközhöz szánt, s melyet a korabeli tanfelügyelőség is kedvezően értékelt (Uo. 109). A nagybecskerei Demkó Ferenc 1894-ben szerkesztett egy fertőtlenítőgépet a járványos betegségek megfékezésére, 1899-ben a nagyikindai Kolb Vilmos pedig egy különleges szerkezetet konstruált vasúti vagonok összekapcsolására (Uo. 111). A zichyfalvi Mayering Károly optikai folyadéklencséjét, amely a fényképészet számára jelentett fontos előrelépést, a Magyar Tudományos Akadémián is bemutatták, s amikor 1908-ban elkészített egy 175 cm átmérőjű óriási lencsét, a szakirodalom azt a világ legnagyobb lencséjeként tartotta számon (Uo. 113). 1906-ban a becskerei Osztie Béla egy énekgépet konstruált, amellyel a zenetanítást igyekezett korszerűsíteni, 1909-ben pedig, a szintén becskerei Beck Gyula egy Bleriot-rendszerű repülőgépet készített, azaz annak egy tökéletesített változatát, amelynek az volt az előnye, hogy „egy kézfogással monoplánból biplánná alakítható át” (Uo. 115). Érdekes, figyelemfelkeltő találmány volt még 1911-ben Árpásy János „olvasatógépe”, 1934-ben Eich Tihamér önműködő forgalmi rendőre meg Hirsch Izidor „rádió-ébresztője”, Hegedűs Sándor és Gyurics László önműködő vasúti sorompója és sok más, ma már feledésbe merült találmány (Uo. 116–120).

A bánáti magyar tudományosság legfontosabb központja a 19. században és a 20. század elején mindenképpen Nagybecskerek volt. A Bega menti város, Torontál megye székhelye több jelentős tudós-életpálya kiindulópontja volt. A vegyészek közül onnan indult Schwicker Alfréd (1864–?) pályafutása, aki a pozsonyi magyar kir. vegykísérleti állomás vezetője és a pozsonyi orvos-természettudományi egylet titkára volt, aki a szulfitek és tioszulfátok kutatása terén jeleskedett, s akinek több tudományos szakdolgozata, kötete jelent meg (BOROVSKÝ [1912]: 293). Wegscheider János (1859–?)⁴, a szerves és szervetlen kémia egykori tanára a bécsi egyetemen, úgyszintén Nagybecskerek szülőtte volt, akárcsak Guttman Oszkár (1855–1909) is, aki vegyészként, a robbanóanyagok és pirotechnika elismert szakértőjeként Londonban fejezte be pályafutását, miközben több szakmunkát írt a robbanóanyagok használatáról (INTERNETES FORRÁS, 2014).

⁴ Anonim: *Egy becskerei származású egyetemi tanár ünneplése.* = *Híradó*, 1931. júl. 24.

Ha még pontosabban szeretnénk fogalmazni, azt mondhatnánk, hogy a nagybecskereki tudományosság egyik melegágya az 1846 óta működő Piarista Gimnázium volt, amelynek tanári karában jeles tudósok is helyet kaptak.

Ott tanított a 19. század második felében Czirbusz Géza (1853–1920), a földrajztudós, utóbb egyetemi tanár, a Természettudományi Füzetek szerkesztője, valamint a temesvári Természettudományi Társaság titkára. Átdolgozta és Nagybecskereken három kötetben megjelentette Balbi Adorján egyetemes földleírását, amely a 19. század végén a legterjedelmesebb földrajzi kézikönyvnek számított (KALAPIS 2003: 209–210). E tanári kar tagja volt Kollarich Mihály (1844–1890) is, aki Zürichben nyert vegyészmérnöki képesítést⁵ meg Nyáry Ferenc (1837–1891), a bölcsészdoktor és vegyész, a selmecbányai Bányászati és Erdészeti Akadémia tanára, aki 1887-ben, Nagybecskerek központjában mutatta be látványos találmányát, az első Bánátban készült akkumulátort.⁶ A becskerek-i Piarista Gimnázium tanára volt még Pachinger Alajos természettudós, az anyarozsgomba és gabonarozsda kutatója.⁷ 1878-ban pedig ott nyert alkalmazást Szathmári Ákos, az asztrofizika magyar úttörője is.⁸

Most az ő tudományos pályafutását ismertetjük.

A NAGYBECSKERÉKI PIARISTA GIMNÁZIUM TANÁRAKÉNT (1878–1883)

Szathmári Ákos Kolozsvárott született 1855. január 11-én (SZINNYEI, internetes forrás), s tanári pályájának végén ott is hunyt el, 1927. augusztus 11-én (GULYÁS, internetes forrás). Szülővárosában 1878-ban fizikából és matematikából nyert tanári oklevelet, s mint Szinnyi jegyzi, még egyetemista éveiben, 1876–77-ben⁹ (meg később is) cikkei jelentek meg az ottani *Orvos-természettudományi Értesítőben* (SZINNYEI, internetes forrás). Később a *Műegyetemi Lapokban* is közölt, akárcsak korabeli német szaklapokban (Uo.).

Fiatal, kezdő tanárként, mindössze 23 évesen került az 1878/79. tanévben a nagybecskereki piarista főgimnáziumba, a „város által választott világi tanárként”, 700 forintos fizetéssel (OBELCZ 1880: 3–21). A gimnáziumnak akkortájt

⁵ Németh Ferenc: *Egy derékba tört karrier*. Dr. Kollarich Mihály születésének 150. évfordulójára. = *Magyar Szó*, Kilátó, 1994. aug. 20.

⁶ Németh Ferenc: *Dr. Nyáry Ferenc*. = *Magyar Szó*, Bánáti Híradó, 1989. okt. 21.

⁷ Németh Ferenc: *A gabonabetegségek egy régi kutatója*. Pachinger Alajos becskerek-i éveiről. = *Magyar Szó*, Kilátó, 1993. júl. 24.

⁸ Németh Ferenc: *A színekp-elemzés szakértője*. Szathmári Ákos becskerek-i éveiről. = *Magyar Szó*, Kilátó, 1992. okt. 24.

⁹ Első ismert cikke, amelyet 21 éves korában közölt (1876-ban), a hangsebesség-mérésekkel foglalkozott.

251 tanulója volt (Uo.), s miután a piaristák nem rendelkeztek elegendő tanerővel (1878-ban pedig már megnyílt a főgimnázium), a gimnáziumi bizottsága világi tanárokat is alkalmazott (ARÁNYI 1879: 3–52). Az 1878 őszén meghirdetett két tanári helyre nem kevesebb mint negyvenkét pályázó jelentkezett, közülük az egyik, akit megválasztottak, a fiatal Szathmári Ákos volt (Uo.). Ő lett a fizika, a mennyiségtan, a természettan és a magyar nyelvtan tanára, a tanári könyvtár kezelője meg a természettani szertár őre is (Uo.). Mindemellett saját készítményű kísérleti eszközeivel, valamint a nagybecskereki iparosok által az ő felügyelete alatt előállított tárgyakkal jelentősen gazdagította a természettani szertárat (OBELCZ 1880: 3–21). Obelcz József írja a Szathmári-vezette (gyarapodó) szertárról 1880-ban, hogy „5 nagy szekrény tele van eszközökkel [...], s két év óta különösen a szertár örének, Szathmári Ákos tanár fáradhatatlan és szakavatott kezelésének köszönhető, ki nemcsak a meglevőt fönntartja, hanem a romlottat megjavítja és részint maga sok újat készít, részint a helybeli kézművesek által útmutatása szerint készített” (Uo.).

Mindemellett népszerű és hozzáértő tanára volt a becskerekai gimnáziumnak, így amikor 1883 júniusától megvált ettől a tanintézetből és Kolozsvárra távozott, azt a tényt nagy sajnálattal vette tudomásul a gimnázium tanári kara. Az 1882/83. évi *Értesítő*ben olvassuk az alábbi sorokat: „Szathmári Ákos tanárt, ki 5 éven át nem csak lankadatlan buzgalommal, hanem kiváló szakismerettel tanította intézetünkben a physikát és mathesist, a kolozsvári ref. főgymnasiumhoz választották meg rendes tanáruul, és ezen tanév végén intézetünktől megválik. Kísérjük a volt kollégák legjobb kívánságai és a mindenható áldása az új működési térre. [...] Fogadja az önzetlen és az intézetre nézve kiváló becsű fáradhatatlan működéséért az igazgatóság hálás köszönetét” (ARÁNYI 1883: 3–13).

Szathmárit 1883. május 17-én szavazattöbbséggel választották meg a kolozsvári református főgimnázium „mennyiségtani tanszékének” tanárává¹⁰, s ezért vált meg a becskerekai gimnáziumtól.

Sokrétű és szerteágazó volt Szathmári nagybecskerekai tevékenysége, hiszen nemcsak a gimnáziumban, hanem a város közéletében is tevékeny szerepet vállalt.

A tanintézetben már 1879 őszétől kezdődően, időnként kísérletekkel egybekötött tudománynépszerűsítő előadásokat tartott.¹¹ A becskerekai *Torontál* ezt így harangozta be: „Örömmel hallottuk, hogy főgymnasiumunk tevékeny tanára, Szathmári Ákos úr, ki a természettani museum érdekében oly rendkívül sokat fáradozott, a jövő iskolai év kezdetével természettudományi felolvasásokat tart. [...] Egészen biztosan mondhatjuk, hogy a városi közönségnek nem csak élvezetes, de egyszersmind hasznos estélyei leendenek. [...] A természettan azon

¹⁰ *Protestáns egyházi és iskolai lapok*, 1883. máj. 27.

¹¹ Anonim: *Természettudományi felolvasások. = Torontál*, 1879. jún. 19.

részei kerülnek ezen kísérletekkel egybekötött előadásokon tárgyalás alá, melyeknek a practicus életben is alkalmazásai vannak, s ennél fogva a közönségnek a legmelegebben ajánljuk Szathmári tanár úr fáradozásainak részvétel által való pártolását.”¹² 1879 őszen-telén Szathmári négy nyilvános előadást tartott a becskerekai gimnázium fizikaszertárában, s ennek bevételét a természettani szer-tár felszerelésére fordította.¹³

Első előadására „a villamosság köréből” december 3-án került sor.¹⁴ Erről olvassuk, hogy „minden egyes részletében népszerű és tanulságos volt. A tanár úr fáradságot nem kímélt, hogy a kísérletek sikeresek legyenek, és hogy azokat a laikus is könnyűszerrel megérthesse”.¹⁵ Második előadásában, 1879. december 14-én, a hangtant népszerűsítette néhány érdekes kísérlettel egyetemben, nagyszámú közönség előtt.¹⁶ Erről olvassuk, hogy „a hangtanból vett érdekes kísérletek láncolata és a hatásvadásztól ment érthető előadás mindvégig lekötötte a hallgatóság figyelmét. Különösen tetszett a különféle hangoknak forgó tükrökben való láthatósága. Az előadás végén a közönség hangos éljenzésben tört ki”.¹⁷ Harmadik előadását 1880. január 5-én Szathmári az „erőműtannak” szentelte¹⁸, a negyedikén pedig, 1880 januárjának végén, a „hignyugtannal és higmoztannal” kapcsolatos kísérleteit mutatta be, előadását pedig ismét megél-jenezte a közönség.¹⁹

Az ifjú tanárt az a megiszteltetés is érte, hogy Torontál megye 1880 februárjában őt nevezte ki szakellenőrnek a hamisított borok megvizsgálására, s az illetékesek a döntéskor különösen azt a körülményt vették figyelembe, hogy „Szathmári tanár úr a spectroscopot, mely ilyen természetű kérdések helyes el-döntéséhez nélkülözhetetlen, már évek óta kezeli”.²⁰

1880 márciusában Szathmári Ákosnak, a becskerekai gimnázium tanári kará-val együtt alkalma volt megtekinteni és megcsodálni Thomas A. Edison (1878-ban szabadalmaztatott) mechanikai hangíró és visszajátszó eszközét, a hengeres fonográfot, amelyet akkortájt Bánátban műszaki csodaként mutattak be.²¹ Erről az élményéről elragadtatással írt a *Torontálban*: „Piukovits úr szivessége folytán a főgymn. Tanárkarával együtt közelebbről megtekintettem a phonographot, s

¹² Uo.

¹³ Anonim: *Nyilvános előadás a főgymnasiumban.* = *Torontál*, 1879. nov. 20.

¹⁴ Anonim: *Szathmári Ákos.* = *Torontál*, 1879. dec. 11.

¹⁵ Uo.

¹⁶ Anonim: *Szathmári tanár.* = *Torontál*, 1879. dec. 18.

¹⁷ Uo.

¹⁸ Anonim: *Figyelmeztetjük olvasó közönségünket.* = *Torontál*, 1880. jan. 15.

¹⁹ Anonim: *Nyilvános előadás.* = *Torontál*, 1880. jan. 29.

²⁰ Anonim: *A hamisított borok megvizsgálása.* = *Torontál*, 1880. febr. 12.

²¹ Anonim: *Phonograph.* = *Torontál*, 1880. márc. 11.

nem tudom eléggé kifejezni bámulásomat azon eredmény fölött, melyet fölmutatott. A belebeszélt mondatokat nemcsak, hogy érthetően adja vissza, hanem oly híven, hogy midőn ismerősünk hangját reprodukálja, arra azonnal reá ismerünk. Ezenkívül, feltűnően híven utánozta a hahotázást, minden legkisebb árnyalatát, sőt az egyes hangszerek hangjának színezetét is feltűnteti. [...] Ritkán nyílik alkalom a természettan eme vívmányával megismerkedni, s ezért nem lehet eléggé ajánlani a megtekintésre.”²²

Becskereki évei alatt nemcsak más találmányaira csodálkozott rá, hanem saját maga is találmányokkal foglalkozott. 1880 januárjában egy készüléket talált fel „a pontos idő ellenőrzésére”.²³ Ezt pedig örömmel nyugtázta a helyi lap is: „Végre valahára rendes időjelzésünk lesz. Ugyanis, Szathmári Ákos, a helybeli főgymnasium tanára, a város költségén a gymnasiumi physikai muzeum órájával egybekötött villanyos csengettyűt alkalmazott a toronyra, mely a már megrendelt óra járását szabályozni fogja.”²⁴ 1883 márciusában egy „villanygépet” szerkesztett, amelyet helybeli iparosok készítettek el.²⁵ Ezt tette közszemlére Steiner Miklós becskereki gyógyszerárában, azzal a meghagyással, hogy „a gépet a közönség részéről használhatja bárki”.²⁶ A rövid hírből azonban nem derül ki, hogy pontosan milyen gépről is volt szó, és milyen célt szolgált.

1880 áprilisában azzal szerzett magának elismerést, hogy megjavította a tűzoltók őrszobáját és a római katolikus templom tornyában lévő őrszobát összekötő „villannyos vezetéket”.²⁷ Szathmári „ezen villanyos vezetéket díjtalanul helyre igazítván, használhatóvá tette a villanytelepet, amely immár a czélnak teljesen megfelel”.²⁸

Amellett, hogy fizikai tanszerek és egyéb, kísérleteihez szükséges eszközök készítésével foglalkozott, s kortársai emiatt „mechanikus”-ként²⁹ is számon tar-

²² Uo.

²³ Anonim. *Végre valahára.* = *Torontál*, 1880. jan. 22.

²⁴ Uo.

²⁵ Anonim: *Steiner Miklós.* = *Torontál*, 1880. jan. 22.

²⁶ Uo.

²⁷ Anonim: *A nagy-becskereki polgári önkéntes tűzoltó-egylet.* = *Torontál*, 1880. ápr. 1.

²⁸ Uo.

²⁹ A budapesti millenniumi kiállításon, 1896-ban a vegyészeti részben kiállított eszközök egy részét vele készítette el a vallás- és közoktatásügyi minisztérium. (Bugyi Balázs: *A röntgenológia megszületése Magyarországon.* = *Az Országos Orvostörténeti Könyvtár Közleményei*, 1964. 30. 193–194.) Ugyanakkor a bajai főgimnázium részére megfelelő módon átalakította a Boyle-Mariotte-készüléket. (*A Ciszterci Rend bajai kath. főgymnasiumának Értesítője 1894–95.* Kollár Antal és fia ny., Baja, 1895. 7.) A pápai főiskola is nála javíttatta meg a természettani szertár kísérleti eszközeit (*A Dunántúli Evang. Ref. Egyházkerület Pápai Főiskolájának Értesítője az 1893–94. iskolai évről.* Kiadták Németh István és Szilágyi József igazgatók. Kis Tivadar ny., Pápán, 1894. 170.)

tották, nagybecskereki éveiben ő a budapesti Süss Ferdinánd „egyetemi mechanikus” megbízottja is volt, „házi távirók és villamos jelző-csengők” eladására.³⁰

1881 novemberében választották meg a nagybecskereki Révay Kör titkárának, ahol több tudomány-népszerűsítő előadás megtartására nyílt alkalma.³¹ 1882 novemberében azután egy másik érdekes vállalkozásba is bekapcsolódott. Ugyanis Nagybecskerekén mozgalom indult egy meteorológiai állomás felállítására, és Szathmárinak kellett volna átvennie az állomás irányítását. Erre azonban, nyilván pénzhiány miatt, nem került sor.³²

CSILLAGÁSZATI MEGFIGYELÉSEI, SPEKTROSZKÓPIAI MÉRÉSEI, AZ ELSŐ MAGYAR SPEKTROSZKÓPIAKÖNYV (1882)

A színeképelemzés, azaz spektrálanalízis a megfigyelt objektumokról érkező fény színeképi vizsgálatával foglalkozik, s a színekép elemzésével meghatározhatók a közeg anyagi összetevői. A 19. század derekán Gustav Kirchoff és Robert Bunsen tanulmányozták a gázok fényspektrumát, és közösen szerkesztették meg a spektrográfot a fényspektrum vizsgálatára. Felfedezték, hogy egy-egy elem mindig ugyanazokat a hullámhosszokat állította elő. Az ő találmányukkal a csillagok kémiai felépítését ugyanolyan pontosan meg lehetett határozni, mintha a Földön vizsgálnák őket. E tudományos vizsgálati eljárások összességét nevezzük spektroszkópiának. A csillagászati színeképelemzés egyébként az asztrofizika egyik legeredményesebb vizsgálati módszere. A csillagászati színeképelemzés során vizsgálják többek között az egyes hullámhossz-tartományok intenzitását, erősségét, illetve fényességét meg az ún. Fraunhofer-vonalak helyzetét és szélességét.

Zsoldos Endre írja, hogy Szathmári Ákos csillagászzal csak nagybecskereki éveiben foglalkozott, majd később, kolozsvári éveiben, a fizikai kísérletek kerültek előtérbe (ZSOLDOS 2006). Nagybecskereki csillagászati megfigyeléseit, annak eredményeit másokkal is megosztotta, így Konkoly Thege Miklóssal (1842–1916), a jeles csillagászzal és meteorológussal, aki ógyallai (Szlovákia, ma Hurbanovo) birtokán csillagvizsgálót épített, ahol a meteorok és üstökösök kutatását végezte, s spektroszkópiás vizsgálatokkal is foglalkozott. Konkoly említi 1881-ben, hogy a hódmezővásárhelyi megfigyelő helyett a meteorészleléseket ezentúl „Szathmáry Ákos tanár úr végzi Nagy-Becsckerekén” (Uo.). 1881-

³⁰ Anonim: *Villamos csengők.* = *Torontál*, 1880. márc. 11.

³¹ Németh Ferenc: *A színekép-elemzés szakértője.* Szathmári Ákos becsckereki éveiről. = *Magyar Szó*, Kilitó, 1992. okt. 24.

³² Uo.

ben meteorészleléseinek eredményeit Hermann Kobold (1858–1942) német csillagász és Kövesligethy Radó (1862–1934) asztrofizikus és szeizmológus is felhasználta munkájához, de a Szathmárra való hivatkozás nélkül (Uo.).

Tanárunknak Nagybecskereken két fontos munkája is megjelent, amely csillagászzal is foglalkozott: *A spectral-analysisről* (SZATHMÁRI 1880), valamint *A Spectralanalysis és alkalmazásai* (SZATHMÁRI 1882).

Első tanulmánya a nagybecskereki piarista gimnázium *Értesítőjében* láttat napvilágot 1880-ban (SZATHMÁRI 1880), s annak egyik fejezetében, *A spectralanalysis alkalmazása az asztrofizikában* a Nap fizikai tulajdonságairól, az égitestek által visszavert napsugarak spektrumairól, az üstökösök, az állócsillagok, a ködfoltok és a hullócsillagok spektrumairól értekezett (SZATHMÁRI 1880).

E tanulmányának bővített változatát jelentette meg két évvel később, 1882-ben, önálló kötetben is Nagybecskereken (SZATHMÁRI 1882), s ezt a munkát tekinti a tudománytörténet az első magyar nyelvű spektroszkópiakönyvnek (ZSOLDOS 2006). Munkáját Szathmári Abt Antalnak (1828–1902), a Ferenc József Egyetemen a kísérleti természettan rendes tanárának, volt professzorának, a földmágnesesség kutatójának szentelte (SZATHMÁRI 1882: 3). Ez az üttörő spektroszkópiai munka a szerző saját kiadásában, saját költségén látott napvilágot, s ennek okát kötetének előszavában magyarázza: „Munkám számára kiadót nem találtam, mert »a mű tárgyánál fogva nemcsak nem számíthat kellő kelendősegre, de kiadása biztos veszteséget von maga után« – írta a főlészóított kiadók egyike” (Uo. 5–6). Műve megírására, saját bevallása szerint, két körülmény késztette: az egyik a színeképelemzés akkori rohamos fejlődése, a másik pedig a megfelelő szakirodalom hiánya volt, amelyet ezzel szeretett volna pótolni (Uo.). Kötetét 1882. május 31-én fejezte be (Uo.), s a becskerekai *Torontál* szerint 1882 júniusának végén jelent meg.³³

Az előfizetési felhívásban, amelyet 1882 márciusában közölt a *Torontál*, az alábbiakat olvassuk: „A mű mintegy 17 sűrűn nyomtatott ívre terjed, s a szükséges fénytani ismeretek előrebocsátása után a spectralanalysis kimerítően tárgyalja úgy elméleti, mint gyakorlati szempontból. Kiterjeszkedik az égitestek physikai alkatának meghatározására, figyelembe veszi a spectrokopot, mint a meteorológusok segédeszközét, főlemlíti azon eseteket, melyekben a spectrokop a gyakorlati életnek is jó szolgálatokat is tehet, szóval igyekszik megismertetni a tudományok azon mezejét, melyet a prisma segítségével hódítottak meg.”³⁴ Ugyanakkor a becskerekai *Wochenblatt* írja a műről, hogy „a fizika tudományának egyik legújabb, legérdekesebb és egyben legnehezebb fe-

³³ Anonim: *A tanév vége a főgymnasiumunkban.* = *Torontál*, 1882. jún. 29.

³⁴ Anonim: *A Spectralanalysis és alkalmazásai.* = *Torontál*, 1882. márc. 2.

jezetét tárgyalja a téma tüzetes ismeretével, közérthetően. A laikus is érzi és tudja, hogy a természettudomány milyen magas fejlődési fokot ért el. Mindeme természettudományi ismeretek birtokában, a szerző tökéletesen teljesítette feladatát. Az anyagot ezer könyvből és saját kísérletei alapján gyűjtötte össze” (NÉMETH 1992).

Szathmári 352 oldalon jelentette meg tanulmányát, s e munkája, mint előszavában írja, sokkal bővebb lehetett volna, de tekintettel arra, hogy saját költségén jelentette meg, kénytelen volt „terjedelmét kisebbiteni” (SZATHMÁRI 1882: 5–6). Művét három könyomatú táblával illusztrálta, amelyet Stein József kolozsvári könyvnyomdász készített (Uo.).

Munkájának korabeli ismertetései közül szakmailag a legmegalapozottabb Fodor Ferenc írása, amely az *Orvos-Természettudományi Értesítő*ben jelent meg 1882-ben (FODOR 1882). Apró részletességgel elemezte Szathmári művét, kora tudományos szintjének ismeretében, s a többi között így méltatta: „Figyelemmel végig olvasván e könyvet, örömmel mondhatom, hogy általa a magyar természettani irodalomnak egy igen érezhető hiánya lett elenyésztetve. Tudtommal ez az első terjedelmesebb dolgozat a színek elemzés és alkalmazásaira vonatkozólag a magyar irodalom terén, s ezért is méltán illeti a dicséret, mint úttörőt. [...] Tekintve akár a bő tartalmat, akár a gazdag adathalmazt, akár a szigorú rendszerességet, akár a világos érthetőséget és a folyékony, magyaros nyelvezetet, bátran mondhatom, hogy e könyv szerzője e téren való alapos elméleti és gyakorlati ismereteiről tesz tanúságot, és hogy e könyv a mai tudományosság színvonalán áll” (Uo.).

Csillagászati része (142 oldalon) taglalja a nap, az égitestek és a holdak által visszavert sugarak spektrumait, valamint az állócsillagok, a csillaghalmazok, a ködfoltok, az üstökösök és hullócsillagok, az északi fény meg a villámok spektrumait (SZATHMÁRI 1882). Zsoldos Endre meglátása szerint „a változócsillagokról szóló rész jobban átgondolt, mint két évvel azelőtt és részletesebben tárgyalja a fényváltozások eredetét magyarázni próbáló elméleteket. [...] Ez volt utolsó ismert publikációja, amely csillagászattal is foglalkozott” (ZSOLDOS 2006).

Egy évvel becskeréki kötetének megjelenése után tért vissza Szathmári Kolozsvárra, ahol a Református Kollégium tanára lett.

TOVÁBBI MUNKÁSSÁGA

Kolozsvárott folytatódott sikeres tanári pályája. Csillagászattal már nem foglalkozott, s jobbra csak a fizika tanításával kapcsolatos cikkei láttak napvilágot (ZSOLDOS 2006). 1883-ban ugyan még tartott külön csillagászati órákat, és feltételezések szerint a csillagászati színekélelemzést saját jegyzetei alapján tanította (Uo.).

1908-ban vonult nyugdíjba, s 1927 augusztusában, 72 éves korában hunyt el.

Halálával munkássága is feledésbe merült: sem a magyar fizika-, sem a csillagásztörténet nem említi nevét (vidékünk tudománytörténete is büszke lehetne rá, de nem tartja számon), holott úttörő műve erre mindenképpen feljogosítaná, hiszen az első magyar nyelvű spektroszkópiakönyv szerzője volt.

IRODALOM

- ARÁNYI 1879. *Értesítő a nagy-beckerekéi főgymnasiumról az 1879-iki tanév végén*. Összeállította: Arányi Béla. Athenaeum ny., Budapest
- ARÁNYI 1883. *Értesítő a nagy-beckerekéi főgymnasiumról az 1882/83. tanév végén*. Közli: Arányi Béla. Pleitz Ferencz Pál, Nagybecskerek
- FODOR Ferenc 1882. *Szathmári Ákos nagy-beckerekéi főgymnasiumi tanár „Spectralanalysis és alkalmazásai” című művének ismertetése*. = *Orvos-Természettudományi Értesítő II. Természettudományi szak*. 7. évf. 4. k. (1882) 3. füzet, 283–286.
- GULYÁS PÁL: *Magyar írók élete és munkái. Cédulatár*. (internetes forrás: <http://gulyaspal.mtak.hu/> letöltve: 2014. okt. 15.)
- INTERNETES FORRÁS 2014. www.booksandcollectibles.com.au „Guttman Oscar” (letöltve: 2014. okt. 15.)
- KALAPIS Zoltán 2002. I.: *Életrajzi kalauz*. Ezer magyar biográfia a délszláv országokból I. Forum Könyvkiadó, Újvidék
- KALAPIS Zoltán 2003. II.: *Életrajzi kalauz*. Ezer magyar biográfia a délszláv országokból II. Forum Könyvkiadó, Újvidék
- KALAPIS Zoltán 2003. III.: *Életrajzi kalauz*. Ezer magyar biográfia a délszláv országokból III. Forum Könyvkiadó, Újvidék
- NÉMETH Ferenc 2003. *Régi bánáti találmányok*. = *Úri világ Torontálban*. Művelődéstörténeti írások. Forum, Újvidék, 107–120.
- OBELCZ József 1880. *A nagy-beckerekéi gymnasium története alapíttatásától főgymnasiummá való kiegészítettéig 1846–1879*. = *Értesítő a nagy-beckerekéi főgymnasiumról az 1879/80. tanév végén*. Közli: Arányi Béla. Athenaeum ny., Budapest, 3–21.
- SZATHMÁRI Ákos 1880. *A spectral-analysisről*. = *Értesítő a nagy-beckerekéi főgymnasiumról az 1879/80. tanév végén*. Közli: Arányi Béla. Athenaeum r. társ. Nyomda, 3–245.
- SZATHMÁRI Ákos 1882. *A Spectralanalysis és alkalmazásai*. Írta: Szathmári Ákos főgymnasiumi tanár. A szerző tulajdona. Kiadja a szerző. Nyomatott Dohány Ignácznál Nagy-Becskereken
- SZINNYEI József: *Magyar írók élete és munkái*. (internetes forrás: mek.oszk.hu/03600/03630/html/ letöltve: 2014. okt. 15.)
- ZSOLDOS Endre 2006. *Az asztrofizika kezdetei Magyarországon: Szathmári Ákos (1855–1927)*. = *Természettudományi Közöny*, 137. 2006. dec., 12. sz., 572–573.

Hungarian Pioneer of Astrophysics
On the Work of Ákos Szathmári (1855–1927)

Due to the lack of research in the history of science in Vojvodina, almost up to the present time we cannot embrace the spiritual and scientific heritage of numerous scientists once living and working in our region, although by discovering it many rich, marvelous scientific careers would surface. Among others, such is the career of Ákos Szathmári (1855–1927), the pioneering Hungarian astrophysicist, who taught natural sciences and mathematics in the Nagybecskerek Piarist Gymnasium for a period in the second half of the 19th century (1878–1883). He is known to be the author of the first book of spectroscopy (*A Spectralanalysis és alkalmazásai. [Spectralanalysis and its application]*, Dohány Ignác ny., Nagybecskerek, 1882) having enriched physics with several inventions, and during his time in Nagybecskerek he performed serious astronomical observations, sharing his findings with contemporary scholars. The study summarizes Szathmári's largely forgotten scientific work, based on source research.

Key words: astrophysics, spectral analysis, astronomy, Szathmári Ákos, Nagybecskerek

Pionir astrofizike u Ugarskoj
O životnom delu Akoša Satmarija (1855–1927)

U nedostatku istraživanja istorije nauke u Vojvodini sve do danas nismo u mogućnosti da sagledamo duhovno/naučno nasleđe velikog broja naučnika iz oblasti prirodnih nauka koji su nekada živeli i radili na ovim prostorima, iako bi, otkrivanjem toga došli do spoznaje bogatih, divljenja vrednih naučnih karijera. Takva je, između ostalog i karijera Akoša Satmarija (1855–1927), pionira astrofizike u Ugarskoj, koji je u drugoj polovini 19. veka, jedno vreme (1878–1883) bio profesor fizike i matematike u Piarističkoj Gimnaziji u Velikom Bečkereku. Smatra se autorem prvog dela o spektroskopiji na mađarskom jeziku (*A Spectralanalysis és alkalmazásai*, Dohány Ignác ny., Nagybecskerek, 1882), koji je fiziku obogatilo sa više svojih pronalazaka, i koji je, u godinama provedenim u Velikom Bečkereku vršio ozbiljna astronomska posmatranja, a rezultate svojih istraživanja, vezanih za opažanje meteora delio je sa svojim savremenikima. Ovaj rad sažima njegov, pretežno zaboravljen naučni opus na osnovu bazičnih istraživanja.

Ključne reči: astrofizika, spektralna analiza, astronomija, Akoš Satmari, Veliki Bečkerek

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Mészáros Szécsényi Katalin

Újvidéki Egyetem, Természettudományi-Matematikai Kar, Kémiai, Biokémiai és
Környezetvédelmi Tanszék
mszk@uns.ac.rs

KOORDINÁCIÓS KÉMIAI KUTATÁSAINK LEGÚJABB EREDMÉNYEI

Our Current Research in Coordination Chemistry

Najnoviji rezultati naših koordiniranih hemijskih istraživanja

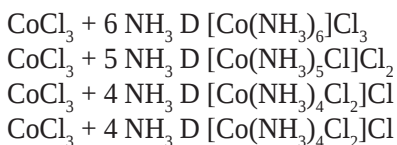
A pirazolszármazékok és koordinációs vegyületeik vizsgálata, széles körű alkalmazhatóságuknak köszönhetően, ígéretes kutatási területnek bizonyulnak. Mivel a kórokozók száma – amelyek ellenállók a gyakran alkalmazott antibiotikumok hatásával szemben – folyamatosan növekszik, új, széles körű antimikrobiális tulajdonsággal rendelkező, de az egészséges sejteket nem károsító vegyületek előállítása nagy kihívással járó feladat. Viszont a biológiai aktivitáshoz kapcsolódó reakciók megértése nélkül nehéz lenne új szerkezetű, megfelelő tulajdonságokkal rendelkező vegyületek tervezése.

A fémionok koordinációja biológiai aktivitással rendelkező ligandumokkal gyakran módosítja azok élettani hatását, így az aktivitás komplexképződés hatására csökkenhet, de növekedhet is. Emiatt a koordinációs vegyületek szintézise és jellemzése potenciális biológiai aktivitással rendelkező ligandumokkal értékes adatokkal szolgálhatnak a szerkezet és a várt tulajdonság közötti összefüggések jobb megértéséhez.

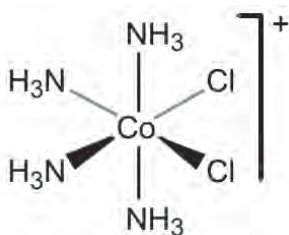
Kulcsszavak: koordinációs vegyületek, biológiai aktivitás, szerkezetutajdonság, összefüggések

A koordinációs vagy komplex vegyületek önállóan is stabilis molekulák/ionok és fémsókból álló összetett vegyületek. A központi atomot, amely leggyakrabban átmeneti fémion (esetleg semleges fématom), ligandumok veszik körül. A ligandumok szabad elektronpárral rendelkező molekulák vagy ionok, amelyek a fémion üres d-pályáját feltöltve a fémionhoz kovalens kötéssel kapcsolódnak. A kötést létesítő elektronpárok számát koordinációs számnak nevezzük. Ha a ligandum több szabad, megfelelő térbeli elhelyezkedésű elektronpárral rendelkezik, akkor egyszerre több kötést is létesíthet a központi atommal. Az ilyen ligandumot többfogú ligandumnak, a létesített kötéseket kelátkötésnek, a keletkezett vegyületet pedig kelátnak nevezzük. A ligandumok száma és térbeli elhelyezkedése a központi atom körül jelentősen befolyásolja a keletkezett ve-

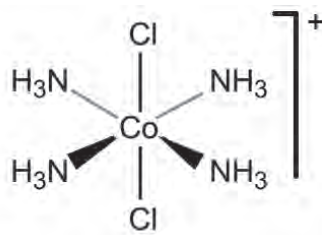
gyületek tulajdonságait. Így például a kobalt(III) klorid ammóniával különböző színű komplexeket képezhet:



A két utolsó vegyület eltérő színe a ligandumok eltérő térbeli elhelyezkedésének következménye:



*Cisz-dikloro-tetraammin-
kobalt(III) ion*



*Transz-dikloro-tetraammin-
kobalt(III) ion*

Az azonos összetételű, de eltérő térbeli szerkezetű vegyületeket izomereknek nevezzük. Az eltérő szín jól szemlélteti az izomerek eltérő fizikai-kémiai tulajdonságait.

Másik ismert példa az eltérő tulajdonságokra transz- és a cisz-diammin-dikloro-platina(II) esete. A két izomer közül a cisz-módosulatot (ún. ciszplatin, rövidítve: CDDP) kemoterápiás gyógyszerként alkalmazzák, míg a transz izomer biológiai aktivitást nem mutat. Bár a vegyület tulajdonságait M. Peyrone 1845-ben írta le, feltételezett szerkezetét Werner az általa kidolgozott elmélet alapján adta meg 1893-ban. A cisz-módosulat biológiai aktivitását 1965-ben B. Rosenberg és munkatársai fedezték fel¹, és kimutatták, hogy az *Escherichia coli* baktérium sejtosztódását akadályozzák.² Nemsokára az is kiderült, hogy a ciszplatin nemcsak a baktériumok osztódását befolyásolja, hanem patkányokban a szarkómasejtek tömegének növekedését is hatékonyan akadályozza.³ Gyógyszerként való alkalmazását petefészek- és hererák kezelésére 1978-ban engedélyezték.⁴ Azaz az 1845-ben már ismert vegyület gyakorlati alkalmazására több mint egy évszázadot kellett várni!

Az elmúlt időszakban számtalan komplex vegyületet állítottak elő. A Scopus adatbázisában mintegy 100 000 tudományos publikációban fordulnak elő a koordinációs vegyület (coordination compound) és a fémkomplex (metal complexes) kulcsszavak csak a 2011 és 2014 közötti időszakban. A tudományos

publikációk nagy száma a vegyületcsoport jelentőségére utal. A fémkomplexe-
ket széleskörűen alkalmazzák az iparban, pl. katalizátorokként⁵, de jelentős sze-
repet játszanak a biokémiai kutatásokban és gyógyszerkutatásban⁶ is.

Az Újvidéki Egyetem Természettudományi Karán V. M. Leovac tanár úr és
kutatócsoportja majd fél évszázada foglalkozik feltételezett biológiai aktivitás-
sal rendelkező szerves fémkomplexek szintézisével és szerkezeti jellemzésével.
A kutatások eredménye több mint 150 tudományos publikációban jelent meg,
amelyeket több mint ezerszer idéztek világszerte. E kutatócsoport vezetését vet-
tem át a tanár úr nyugdíjba vonulásakor. Most legújabb eredményeinkről szeret-
nék dióhéjban beszámolni.

Vizsgálataink a 2011–2014-es időszakban elsősorban az új vegyületek szer-
kezete és biológiai aktivitása közötti összefüggések pontosabb megismerésére,
megértésére irányulnak.

A ligandumok kiválasztásánál első szempont azok potenciális biológiai ak-
tivitása, illetve fiziológiai hatása. Központi atomként élettani jelentőséggel bíró
mikroelemek szolgálnak: leggyakrabban réz-, nickel-, kobalt- és cinkvegyüle-
tekkel dolgozunk. Ahhoz, hogy megérthessük, mely tényezők befolyásolják a
komplekképződést és a keletkezett vegyületek szerkezetét, a reakcióelegy kom-
ponenseit egyesével, módszeresen változtatva vegyületsorozatokat próbálunk
szintetizálni. Egyúttal azt is vizsgáljuk, hogyan hat a fémionhoz tartozó anion,
illetve az oldószer cseréje, az oldat pH-értéke, a hőmérséklet és egyéb kísérleti
tényezők a reakció lefolyására.

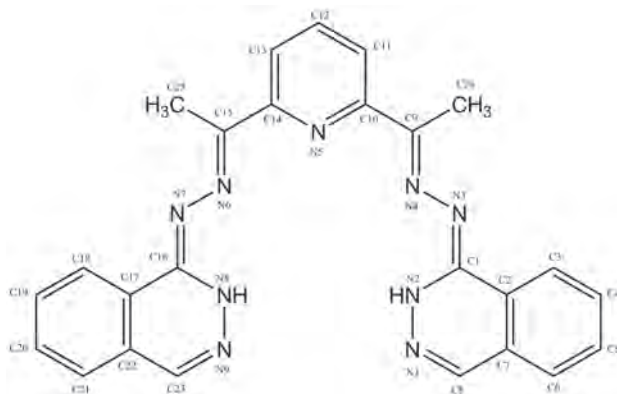
A keletkezett vegyületek szerkezetének meghatározása lehetőség szerint
egy kristály röntgendiffrakció segítségével történik, kiegészítve spektroszkópiai
szerkezetmeghatározási, főként infravörös spektroszkópiai (IR) módszerekkel.
A keletkezett termékek összetételét elemanalízissel ellenőrizzük. Ugyanis elő-
fordulhat, hogy bár a kiválasztott kristály diffrakciós képéből meghatároztuk
mind a rács, mind a molekula teljes szerkezetét a szilárd fázisban, a szintetizált
minta nem homogén és/vagy a szintézis nem reprodukálható. Csak a megbíz-
hatóan reprodukálható szintézis folyamán kapott termékek biológiai aktivitása
meghatározásának van értelme. Ebben az esetben a termoanalitikai vizsgálatok-
nak is kiemelkedő jelentősége van, ugyanis a vegyületek termikus stabilitása
meghatározó tényező lehet azok gyakorlati alkalmazhatóságában.

Egyik újabb kutatásunkban egy már régóta ismert és vérnyomáscsökkentő-
ként alkalmazott gyógyszer, a hidralazin (Hydralazine®, Hz) származéka szol-
gált ligandumként, amelyet a következő módon állítottunk elő⁷:

1-Hidrazinoftalazin hidrokloridot (5 mmol, 1.00 g) oldottunk 30 cm³ me-
tanol és 5 cm³ desztillált víz elegyében enyhe melegítés közben. Az oldathoz
2,6-diacetilpiridin metanolos oldatát csepegtettük (2.5 mmol, 0.41 g; 10 cm³). A
reakcióelegyet 30 perc refluxáltatás után szobahőmérsékletre hűtöttük, miköz-

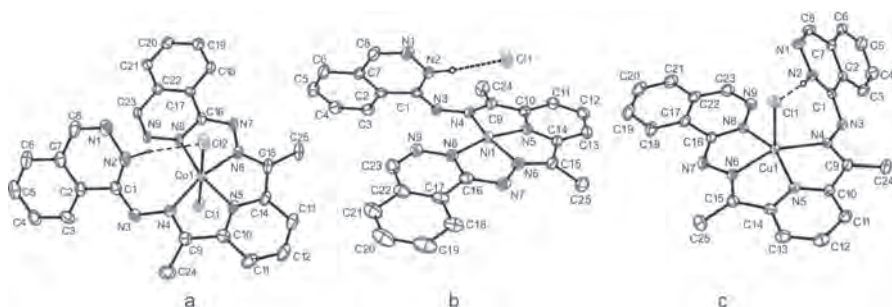
ben narancsszínű amorf csapadék keletkezett. A csapadékot szűrtük, metanollal mostuk, és levegőn szárítottuk.

A ligandum, bis(italazin-1-hidrazon)-2,6-diacetilpiridin, (Hz_2DAP) szerkezetét az 1. ábra mutatja.

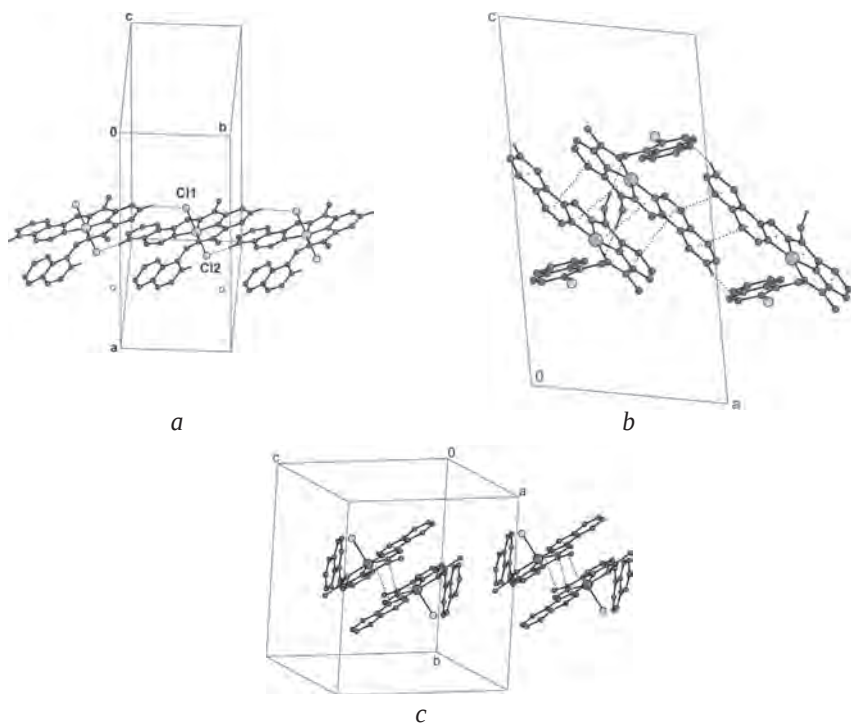


1. ábra. A ligandum (Hz_2DAP) szerkezete

A komplexek szintéziséhez Co^{II} , Ni^{II} , Cu^{II} és Zn^{II} acetátot alkalmaztunk. Bár a ligandum 7 nitrogén donor atomot tartalmaz, térbeni elhelyezkedésük miatt csak négyfogú ligandumként koordinálódik. Emellett az N2 és N8 nitrogén atomokhoz savas proton csatlakozik. Az acetátion mint bázis elősegíti a ligandum deprotonálódását, így a fémionok a deprotonált ligandummal reagálva a következő összetételű komplexek keletkezése közben reagálnak: $[\text{Co}(\text{Hz}_2\text{DAP-H})\text{Cl}_2] \cdot \text{MeOH}$, **a**, $[\text{Ni}(\text{Hz}_2\text{DAP-H})\text{Cl}] \cdot \text{MeOH}$, **b**, $[\text{Cu}(\text{Hz}_2\text{DAP-H})\text{Cl}]$, **c**, $[\text{Zn}(\text{Hz}_2\text{DAP-2H})] \cdot \text{H}_2\text{O}$, **d**. Az első három vegyület molekulaszerkezetét a 2. ábra szemlélteti. A molekulák elhelyezkedését a kristályrács elemi cellájában a 3. ábra mutatja.



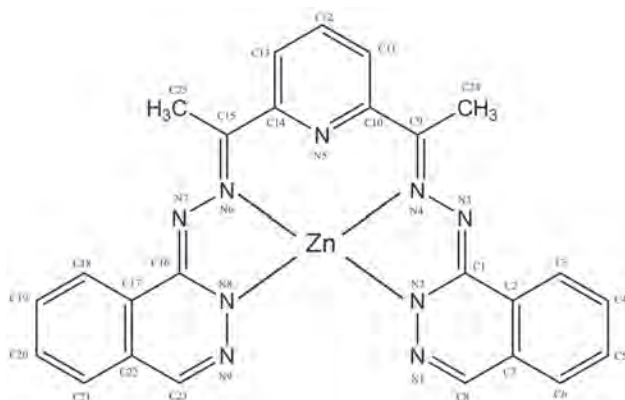
2. ábra. Az **a**, **b** és **c** vegyületek molekulaszerkezete a megfelelő atomszámozással.
A könnyebb áttekinthetőség kedvéért a hidrogénatomokat nem ábrázoltuk



3. ábra. Az **a**, **b** és **c** vegyületek molekuláinak térbeli elhelyezkedése a kristályrácsban

Annak ellenére, hogy a kísérleti feltételek azonosak voltak, a keletkezett vegyületek kristály- és molekulaszervezete lényegesen eltérő. Azaz a koordináció a Hz_2DAP ligandummal kizárólag a központi fémiontól függ. Noha a szintézishez fém-acetátokat alkalmaztunk, a keletkezett komplex vegyületekben acetátion nem található, csak a ligandum deprotonációját segíti elő. Az **a** vegyületben kettő, a **c**-ben egy kloridion koordinálódik a központi atomhoz. A **b** vegyületben a kloridion koordinációja elmarad, ellenionként a molekula töltésemlegességét biztosítja.

A cink-komplexet, **d**, nem sikerült megfelelő egykristály formában izolálni, így szerkezetének meghatározásában az elemanalízis és az IR-spektrometria mellett jelentős szerepet játszottak a tömegspektrométerrel (MS) csatolt termogravimetriás (TG) vizsgálatok. Ezek alapján a **d** komplex feltételezett szerkezetét a 4. ábra szemlélteti. Azaz, míg az **a** – **c** komplexek esetében a ligandum egyszerűen deprotonált formában koordinálódik, a cink-komplex semleges, ún. belső komplexet képez, feltehetőleg síknégyszetes elrendeződéssel a központi cinkatom körül.

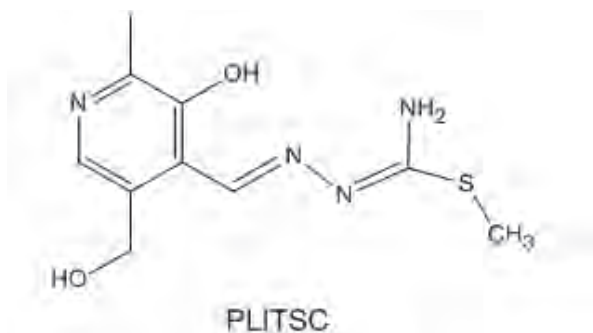


4. ábra. A cink-komplex, **d**, feltételezett szerkezete

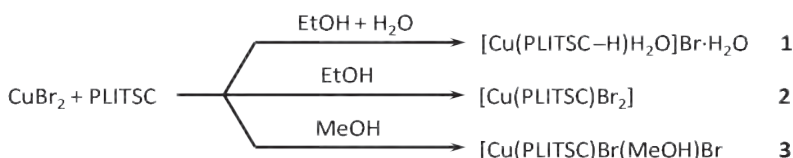
Ahogy az várható volt, a különböző központi atomot tartalmazó, lényegesen eltérő molekula- és kristályszerkezetű vegyületek antimikrobiális aktivitása is lényegesen különbözik, míg a ligandum antimikrobiális hatása elhanyagolható. A Ni^{II} , Co^{III} és Cu^{II} komplexek jelentős mértékben gátolják az *Escherichia coli*, a *Staphylococcus aureus* és a *Micrococcus lysodeikticus* baktériumok szaporodását. Hatásuk a központi atomtól függően a következő sorrendben csökken: $\text{ion Co}^{\text{III}} > \text{Cu}^{\text{II}} > \text{Ni}^{\text{II}} \gg \text{Zn}^{\text{II}}$, amelyet a fémion körüli térbeli elrendeződés és az eltérő számú koordinált klorid ion is befolyásolhat. A komplexek nem gátolják a gombák szaporodását. Sőt, a cink-komplex a *Candida albicans* szaporodását elősegíti.

Említésre méltó, hogy egy másik hidralazin-származék teljesen más antimikrobiális mintát követ⁸: a ligandum jelentős gombaölő hatással rendelkezik, ami a komplexképződés hatására növekszik. Egy előbbi munkánk során viszont azt találtuk, hogy a ligandum antimikrobiális hatását a komplexképződés jelentős mértékben csökkenti.⁹ Mindezek a megfigyelések arra utalnak, hogy a vegyületek biológiai aktivitását számtalan tényező befolyásolja, és a tényezők felismerése és rendszerezése még nagyon sok kísérleti munkát igényel.

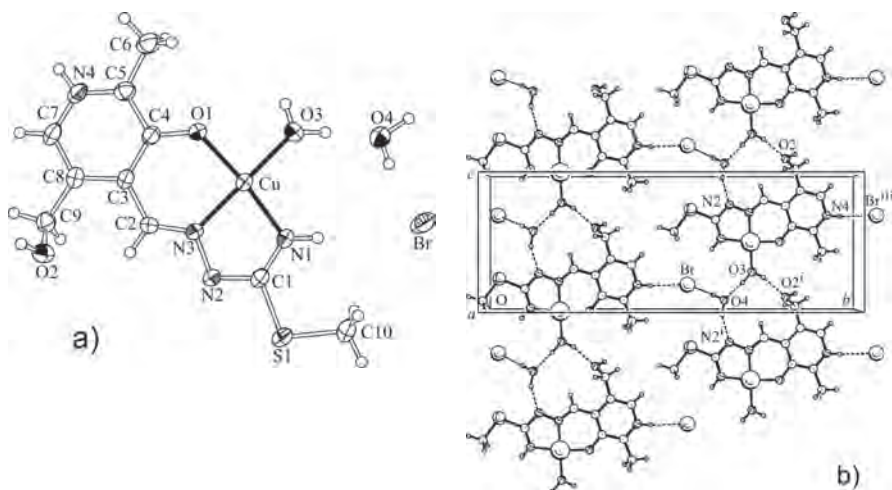
A következő példával azt szeretném bemutatni, hogy a reakció körülményeinek megváltoztatása hogyan hat ki a keletkezett termékek szerkezetére és/vagy összetételére. A B_6 vitamin egyik alakja, a piridoxal, érdekes kémiai, szerkezeti és biológiai tulajdonságainak köszönhetően gyakran kerül a kutatók érdeklődési körébe. Származéka, a piridoxál S-metil-isotiosemikarbazon, PLITSC (5. ábra), réz(II)-bromiddal a reakciófeltételektől függően különböző komplexeket képez¹⁰, ahogyan azt a 6. ábra mutatja.



5. ábra. A PLITSC ligandum szerkezete

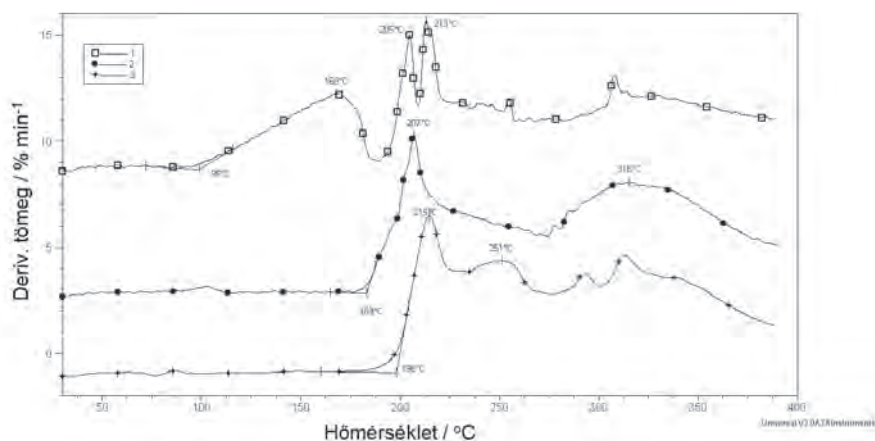
6. ábra. A kísérleti feltételek hatása a CuBr_2 és a PLITSC közötti reakcióban keletkező termék összetételére

A PLITSC hidroxil-csoportjai savas protont tartalmaznak. Amennyiben a réz(II)-bromidot és a PLITSC-t 80% etanol (EtOH) és 20% víz elegyében reagáltatjuk, a háromfogú, ONN atomokon keresztül koordinálódó ligandum egyszerűen deprotonált formában kapcsolódik a központi atomhoz. Így egyszerűen pozitív töltésű komplex kation keletkezik, amelyben a réz(II) ion körüli síknégyszetes térbeli szerkezet egy vízmolekula koordinációjával alakul ki. A komplex kationhoz tartozó bromid ellenion a külső koordinációs szférában található. A vegyület egy molekula kriszálvízzel kristályosodik. A komplex molekulaszervezetét a 7a ábra mutatja, míg a 7b ábrán a molekulák elrendeződését ábrázoltuk a kristályrácsban.



7. ábra. Az **1** komplex molekulaszerkezete (a)
és a molekulák elrendeződése a kristályrácsban (b)

Ha az előbbi reakciót tiszta etanolban (EtOH) végezzük, a ligandum deprotonációja elmarad, és a síknégyszetes elrendeződés helyett négyszetes-piramisos szerkezet alakul ki mindkét bromidion koordinációjával (**2**). Metanolban (MeOH) is hasonló térbeli elrendeződés alakul ki a Cu(II) ion körül, viszont az egyik bromidiont MeOH molekula helyettesíti. A két utóbbi vegyület szerkezetének meghatározásához az egykristály diffrakciós módszert nem tudtuk alkalmazni, mert nem sikerült megfelelő minőségű kristályt növesztetni. Így szerkezetükre a szokásos spektroszkópia módszerek mellett a vezetőképességi és mágneses szuszeptibilitási adatokat felhasználva következtettünk. A **2** és a **3** komplex termikus viselkedése szintén alátámasztja a feltételezett szerkezet helyességét. Míg az **1** vegyület derivatív termogravimetriás (DTG) görbéje lényegesen eltérő, addig a **2** és a **3** vegyületek esetében a DTG-görbék nagyon hasonló bomlási folyamatra utalnak (8. ábra). Ugyanis a tárolás során valószínűleg az MeOH elpárolog, így már a két utóbbi vegyület összetétele is azonossá válik. Viszont a lényegesen jobban tagozódó DTG-görbe a **3** komplex eltérő kristályszerkezetére utal. Frissen szintetizált vegyület esetében az MeOH kb. 150 °C körül „kirobban”. Így, bár a mennyisége termogravimetriás méréssel nem határozható meg, alátámasztja az MeOH jelenlétét a kristályos anyagban, valószínűleg a rézionhoz koordinálva.



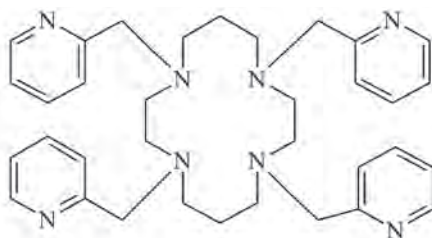
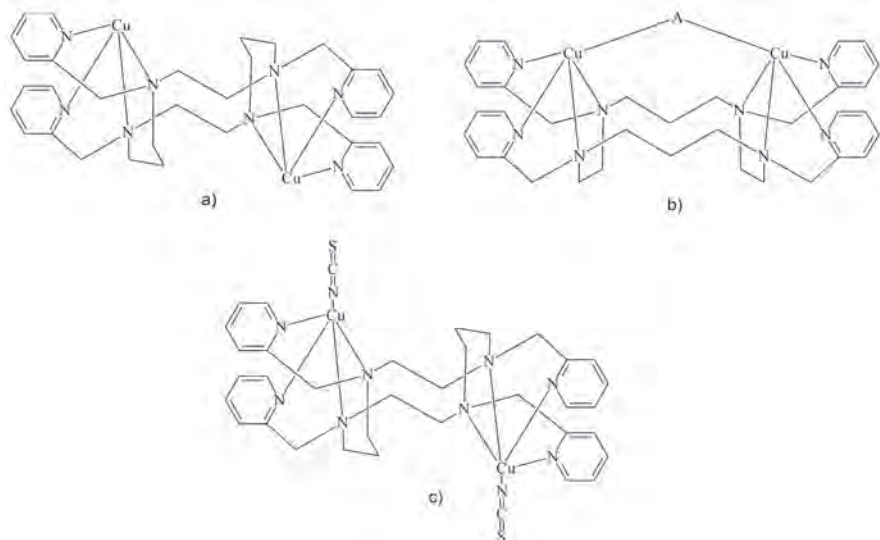
8. ábra. Az 1, 2 és 3 vegyületek DTG-görbéi

A makrociklusos vegyületek olyan gyűrűs vegyületek, amelyek gyűrűje 12 vagy annál több atomot tartalmaz. Makrociklusos vegyület például a profirin, amely a hemoglobinban a *hem* alapját képezi. A hemoglobin a vörösvérsejtek fő alkotója, ami vastartalmú hemből és fehérjerészből (globin) áll. A hemoglobin molekula *hem* része koordinálja a vas(II) iont, és az oxigén reverzibilis megkötésére szolgál. A makrociklusos fémkomplexek jelentősége többek között éppen abban rejlik, hogy szelektíven ismernek fel semleges molekulákat éppúgy, mint kationokat vagy anionokat.¹¹

A következő munkánkban a N,N',N'',N'''-tetrakis-(2-piridilmetil)-1,4,8,11-tetraazaciklotetradekán, *tpmc*, (9. ábra) lignadum kétmagvú réz(II)-komplexeinek citotoxicitása és szerkezete közötti összefüggést vizsgáltuk humán cervix adenocarcinoma (HeLa), humán melanoma (Fem-x) és vastagbél tumoros (LS174) sejtvonalakon.¹² A komplexek szerkezeti képletét a következőképpen adhatjuk meg: $[\text{Cu}_2\text{tpmc}](\text{ClO}_4)_4$ (I), $[\text{Cu}_2(\text{X})\text{tpmc}](\text{ClO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, X = F⁻, n = 0 (II), X = Cl⁻, n = 1 (III), X = Br⁻, n = 0 (IV), X = I⁻, n = 1 (V), X = NO₂⁻, n = 0 (VI), $[\text{Cu}_2(\text{NCS})_2\text{tpmc}](\text{ClO}_4)_2$ (VII), míg szerkezetüket a 10. ábra mutatja.

Azt találtuk, hogy a vegyületek citotoxicitása jelentős, bár elmarad a ciszplatinhoz (CDDP) viszonyítva. Maga a ligandum nem okoz sejtpusztulást.

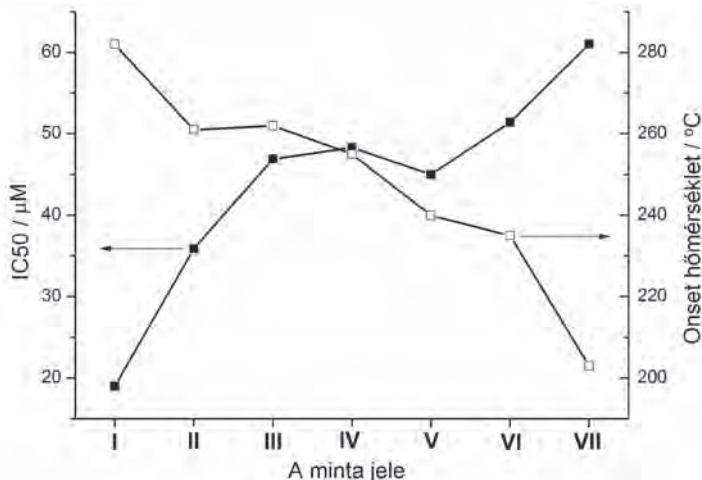
Érdekes összefüggésre figyeltünk fel a vegyületek termikus stabilitása és citotoxicitása között. A II – VII vegyületek termikus stabilitása összhangban van a HeLa sejtvonallal szembeni sejtburjánzást gátló hatással, valamint a komplexek vizes oldatban mért stabilitási állandók értékével.

9. ábra. A *tpmc* ligandum szerkezete10. ábra. A komplexek szerkezete a) az **I** vegyület b) a **II** – **VI** és c) a **VII** vegyület szerkezete

Legkifejezettebb citotoxicitása minden vizsgált sejtvonallal szemben az **I** vegyületnek van, azaz a $[\text{Cu}_2\text{tpmc}](\text{ClO}_4)_4$ komplexnek, amelyben a központi atom csak a makrociklusos ligandumhoz kapcsolódik. A nitrition társ-ligandumot tartalmazó **VI** komplex majdnem olyan erős ráksejt-citotoxicitást mutatott a vastagbél-tumoros (LS174) sejtvonalra nézve, mint a legmagasabb sejtelhalást okozó **I**. Az **I** vegyület kiemelkedően magas termikus stabilitása és fokozott citotoxicitása feltehetőleg a komplex ionon belüli elektromos töltésseloszlásnak és a térbeli tényezők együttes hatásának következménye. A **II** – **VI** komplexekben ui. egy anion társ-ligandumként koordinálódik és hídként köti össze a két réz(II) központot. Az anion koordinációja következtében a komplex kation töltése csökken, és töltésseloszlása a társ-ligandum elektronszerkezetétől/elektronegativitásától függően változik. Így valószínű, hogy a töltésseloszlás befolyásolja

a vegyületek burjánzásgátló hatását is. Ezenfelül a hídként viselkedő anion az **I** és a **VII** molekula szék konformációját kád formává alakítja. A **VII**-ben egy-egy NCS^- ion koordinálódik *transz* helyzetben a réz(II) ionokhoz.

A termikus stabilitás és a komplexek stabilitási állandója a **II** – **VII** vegyületekben összhangban van a Lewis-féle sav-bázis elmélet Pearson-féle értelmezésével (HSAB principle^{13,14}). A csökkenő termikus stabilitással a vegyületek HeLa sejtvonallal szembeni citotoxicitása is csökken (11. ábra). Ez a megfigyelés a molekulák térbeli konfigurációjának jelentőségére utal a célsejtekkel való kölcsönhatás során. **I**-hez viszonyítva a vegyületek a másik két sejtvonallal szemben jóval alacsonyabb citotoxicitást mutatnak. Kivételt csak a **VI** vegyület képez, amelynek az LS174 sejtvonallal az **I**-vel azonos nagyságrendű a citotoxicitása.



11. ábra. A vegyületek citotoxicitása és termikus stabilitása közötti összefüggés*

ÖSSZEGZÉS

A fémkomplexek jelentős szerepet játszanak a biokémiai és gyógyszerkutatásban. Komplexképződés hatására lényegesen módosulhat a ligandum biológiai aktivitása. Ugyanakkor a biofémek felvétele a szervezetben a megfelelő komplexekből rendszerint lassú folyamat, ami biztosítja optimális adagolásuk feltételeit. Ahhoz, hogy jobban megértsük a vegyületek szerkezete és feltételezett biológiai hatása közötti összefüggéseket, ismert szerkezetű vegyületsorozatok készítésére van szükség. Ez rendszerint nem egyszerű feladat, mert nemcsak

* IC50: félhatásos gátló koncentráció – a maximális hatás felének eléréséhez szükséges koncentráció. Minél nagyobb az IC50 értéke, annál alacsonyabb a hatóanyag hatása.

a reagáló komponensek tulajdonságai szabják meg a reakció végtermékét, hanem a kísérleti feltételek (oldószer, pH, hőmérséklet stb.) is jelentős mértékben befolyásolhatják a keletkezett vegyületek összetételét és/vagy szerkezetét. Igen gyakran nagyon kis szerkezeti/összetételbeli változás jelentősen módosítja a vegyület hatását a szervezetben lejátszódó biológiai, fiziológiai és biokémiai folyamatokra. A munkában saját tapasztalataim alapján igyekeztem néhányat bemutatni ezekből a bonyolult kölcsönhatásokból.

IRODALOM

- 1 B. Rosenberg, L. Van Camp, T. Krigas. Inhibition of cell division in *Escherichia coli* by electrolysis products from a platinum electrode. *Nature* 205 (1965) No 4972: 698–699.
- 2 B. Rosenberg, L. Van Camp, E. B. Grimley, A. J. Thomson. The inhibition of growth or cell division in *Escherichia coli* by different ionic species of platinum(IV) complexes. *J Biol Chem* 242 (1967) 1347–52.
- 3 B. Rosenberg, L. Van Camp, J. E. Trosko, V. H. Mansour. Platinum compounds: a new class of potent antitumour agents. *Nature* 222 (1969) No 5191: 385–6.
- 4 Approval Summary for cisplatin for Metastatic ovarian tumors. FDA Oncology Tools. Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research. 19 December 1978.
- 5 J. Hagen, *Industrial Catalysis, A Practical Approach*, 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany
- 6 Advanced information on the Nobel Prize in Chemistry 2001, The Royal Swedish Academy of Sciences: Catalytic asymmetric synthesis; <http://www.kva.se/>
- 7 B. Holló, J. Magyari, V. Živković-Radovanović, G. Vučković, Z. D. Tomić, I. M. Szilágyi, G. Pokol, K. Mészáros Szécsényi. Synthesis, characterisation and antimicrobial activity of bis(phthalazine-1-hydrazone)-2,6-diacetylpyridine and its complexes with Co^{III} , Ni^{II} , Cu^{II} and Zn^{II} . *Polyhedron* 80 (2014) 142–150.
- 8 E. N. Nfor, A. Husian, F. Majoumo-Mbe, I. N. Njah, O. E. Offiong, S. A. Bourne. Synthesis, crystal structure and antifungal activity of a Ni(II) complex of a new hydrazone derived from antihypertensive drug hydralazine hydrochloride. *Polyhedron* 63 (2013) 207–13.
- 9 B. Holló, M. V. Rodić, Lj. S. Vojinović-Ješić, V. Živković-Radovanović, G. Vučković, V. M. Leovaca, K. Mészáros Szécsényi. Crystal structure, thermal behavior, and microbiological activity of a thiosemicarbazide-type ligand and its cobalt complexes. *J Therm Anal Calorim.* 116 (2014) 655–62.
- 10 V. M. Leovac, Lj. S. Vojinović-Ješić, S. A. Ivković, M. V. Rodić, Lj. S. Jovanović, B. Holló, K. Mészáros Szécsényi. Transition metal complexes with thiosemicarbazide-based ligands. Part 60. Reactions of copper(II) bromide with pyridoxal S-methylisothiosemicarbazone (PLITSC). Crystal structure of $[\text{Cu}(\text{PLITSC}-\text{H})\text{H}_2\text{O}]\text{Br}\cdot\text{H}_2\text{O}$. *J Serb Chem Soc.* 79 (2014) 291–302.
- 11 H. Zafar, A. Kareema, A. Sherwani, O. Mohammad, T. A. Khan. Synthesis, characterization and biological studies of homo and hetero-binuclear 13-membered pentaaza bis (macrocyclic) complexes. *J Mol Struct.* 1079 (2015) 337–46.

- ¹² S. B. Tanasković, M. Antonijević-Nikolić, B. Barta Holló, B. Dražić, T. Stanojković, K. Mészáros Szécsényi, G. Vučković. Correlations between the in vitro antiproliferative activity, structure and thermal stability of some macrocyclic dinuclear Cu(II) complexes. J Serb Chem Soc. 79 (2014) 1–18.
- ¹³ R. G. Pearson. Recent advances in the concept of hard and soft acids and bases. J Chem Educ. 64 (1987) 561–68.
- ¹⁴ B. Holló, Z. D. Tomić, P. Pogány, A. Kovács, V. M. Leovac, K. Mészáros Szécsényi. Transition metal complexes with pyrazole-based ligands. Part 28. Synthesis, structural, DFT and thermal studies of cadmium(II) halides and zinc(II) chloride complexes with 3,5-dimethylpyrazole-1-carboxamide. Polyhedron, 28 (2009) 3881–89.

Our Current Research in Coordination Chemistry

The chemistry of pyrazoles and their coordination compounds are an intriguing research field due to their wide range of applicability. As the number of pathogens resistant to widely used antibiotics is constantly growing, finding new compounds with a wide spectrum of antimicrobial activity but with low toxicity toward normal cells is a challenging task. However, without understanding the true nature of the reactions affecting the biological activity it is difficult to design new structures with the expected properties.

Coordination of biological active ligands with metal ions often alters the activity that may be enhanced or decreased by complex formation. Therefore, synthesis and characterization of coordination compounds with potentially bioactive ligands could provide useful data for better understanding the structure-properties relationships.

Key words: coordination compounds, biological activity, structure–properties relationships

Najnoviji rezultati naših koordiniranih hemijskih istraživanja

Ispitivanje derivata pirazola i njihovih koordinacionih jedinjenja, zahvaljujući širokoj primenljivosti, pruža obećavajuću istraživačku oblast. Kako se broj rezistentnih patogena na često primenjivane antibiotike neprekidno povećava pronalaženje novih antimikrobijalnih jedinjenja sa širokim spektrom delovanja, koji pri tome nisu toksična za zdrave ćelije, je zadatak sa velikim izazovom. Međutim, bez razumevanja reakcija povezana sa biološkom aktivnošću bilo bi teško projektovati jedinjenja nove strukture sa određenim svojstvima.

Koordinacija metalnih jona sa ligandima koji poseduju biološku aktivnost vrlo često modifikuje njihov fiziološki efekat koji se može kako smanjiti tako i povećati zbog kompleksiranja. Zbog toga sinteza i karakterizacija koordinacionih jedinjenja sa ligandima potencijalne biološke aktivnosti može dati

podatke koji doprinose boljem razumevanju povezanosti između strukture i određene funkcije.

Ključne reči: koordinaciona jedinjenja, biološka aktivnost, povezanost strukture i funkcije

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Zoran Primorac

Sveučilište u Mostaru, Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti –
 Institut za Okoliš, Mostar
 xyzprimorac@yahoo.com

KRIZA FUNDAMENTALNE ZNANOSTI

The Crisis of Fundamental Sciences

Az alaptudományok válsága

Fundamentalne znanosti proučavaju osnovne zakone prirode, a to je prije svega fizika i ostale srodne znanosti. Status ovih znanosti određuje plauzibilnosti našeg znanja i pretpostavlja pravce i prognoze daljnjeg razvitka. Analiza suvremenog stanja, odnosno zadnjih desetljeća, fundamentalnih znanosti, pokazuje kako postoje izvjesne naznake krize. Znakovi krize imaju različite korijene, a navedimo samo neke; metodološki, epistemološki, ontološki i pragmatički. Nas prije svega interesira stanje krize koje je nastalo u nemogućnosti formiranja jedne jedinstvene fundamentalne znanosti, ostvarene preko jedinstvene fundamentalne fizike.

Početkom prošlog stoljeća došlo je do paradigmatške promijene fundamentalne znanosti uobličene u Einsteinovoj Specijalnoj i Općoj teoriji relativnosti te Bohrovoj i Heisnebergovoj kvantnoj mehanici. Ova dva koncepta u mnogim dijelovima nisu kompatibilni i daljnji razvoj znanosti imao je za cilj pomiriti ova dva pogleda na svijet i dati jednu jedinstvenu teoriju. No, to se nije pokazalo izvedivim i do današnjih dana, a uzrok je u dubokoj ontološkoj razlici, odnosno različitim koncepcijama fizičke realnosti. U ovom kratkom radu pokušat će se dati naznake tih razlika, koji nas mogu navesti na zaključak kako imamo duboku krizu i ukoliko su ove dijagnoze točne nameće se jednostavno pitanje: nazire li se kraj fundamentalne znanosti, a samim tim i znanosti uopće ili imamo jedan novi početak?

Ključne riječi: fundamentalna fizika, Specijalna i opća teorija relativnosti, kvantna mehanika, jedinstvena fizika, ne-lokalnost, EPR-paradoks

Kada govorimo o krizi znanosti onda moramo konstatirati kako je ona prisutna u različitim oblicima, u raznim granama znanosti i očituje se na različite načine, tako na primjer; negdje se iskazuje prvenstveno kroz krizu savjesti (biotehnološke znanosti), drugdje se odražava uglavnom kao nedostatak financijskih sredstava potrebnih za istraživanje, što je opet posljedica društveno ekonomske determiniranosti same znanosti koja predstavlja problem po sebi, dok se negdje u najvećoj mjeri manifestira kroz krizu rezultata i problema samog pojmovnog aparata kojim se dotična grana znanosti koristi.

Ovim kratkim radom pokušat će se naznačiti kriza fundamentalne znanosti, koja se prije svega odnosi na krizu fundamentalne fizike, a to je dio fizike koji proučava temeljne principe i fenomene Svijeta i koja želi proniknuti u samu njezinu bit. Obratit ćemo pozornost na gore navedeni treći slučaj koji se ogleda u nemogućnosti jedne jedinstven i koherentne slike fundamentalnih fenomena.

O krizi se govori od osamdesetih godina prošlog stoljeća, ali je korijen problema od samog osnutka suvremenih teorija, koji zalaze na početak dvadesetog stoljeća, tj. pojave teorije relativnosti i kvantne mehanike. Inače, vrlo je indikativno i to što se o problemima ove vrste, tj. o krizi u fundamentalnoj znanosti, u javnosti govori vrlo malo ili nikako i kako se javno ističu samo uspjesi. Taj efekt se zasigurno može objasniti kontekstom u kojemu se odvijaju znanstvena istraživanja, gdje se tzv. „uspjeh“ shvaća kao uvjet opstanka jer je obično uvjet financiranja projekata. Ovo pokazuje svu kompleksnost problematike oko same krize jer otkriva kako se njezini različiti oblici međusobno prepliću. Na primjer, da se sudbina znanstvenih projekata, pa i samih znanstvenika, određuju na osnovi neznastvenih kriterija, odnosno ovise o faktorima koji stoje izvan znanstvene domene.

Dakako, nesumnjivo postoji napredak u pojedinim granama znanosti koji opisuju ograničeni raspon pojava, tako na primjer kemija omogućuje da izražavamo međudjelovanje atoma bez upućenosti u unutarnje ustrojstvo atomske jezgre. No, očekivalo bi se da imamo jednu cjelovitu i koherentnu, objedinjenu, teoriju koja bi obuhvaćala sve djelomične teorije kao približne i koje ne bi trebale da budu podešavane izborom vrijednosti izvjesnih proizvoljnih brojeva kako bi bile u suglasnosti sa činjenicama.

Traganje za takvom jednom teorijom naziva se ‘objedinjavanje fizike’, a projekt bi trebao biti proveden na ujedinjenju četiri fundamentalne sile ili fundamentalna fenomena; gravitacija, elektromagnetizam, slabe i jake nuklearne sile, što u konačnici svodi na objedinjavanju dvije fizikalne teorije a to je kvantna mehanika i teorija relativnosti, posebice Opće teorije relativnosti. Ovo jedinstvo traži se bezuspješno skoro čitavo jedno stoljeće i upravo ta činjenica ide u prilog tvrdnji kako je fundamentalna fizika u dubokoj krizi. Ovim radom će se djelomično pokušati rasvijetliti uzrok takvog stanja, koji najvjerojatnije stoji u ne kompatibilnosti kvantne mehanike i Opće teorije relativnosti, odnosno njihovih konceptualnih razlika.

DVIJE TEORIJE SA RAZLIČITIM ONTOLOGIJAMA

Početkom prošlog stoljeća došlo je do paradigmatске promijene koncepta fizike, gdje je paradigma klasične fizike, uobličene u već tradicionalno Newtonovom svjetonazoru, zamijenjena sa dvije nove ideje koncipirane u Einsteino-

voj teoriji relativnosti i kvantnoj mehanici. Prva je izvršila korijenite promijene u poimanju prostorno vremenskih odnosa, a druga u shvaćanju mikrokozmosa i njegove egzistencije.

Albert Einstein 1905. godine objavljuje rad “*Ka elektrodinamici tijela u gibanju*” (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Annalen der Physik 17, 891, 1905.), i postulira svoju Specijalnu teoriju relativnosti koja se odnosi na inercijske sustave postavivši dva načela: a) u svim sustavima koji miruju ili se gibaju konstantnom brzinom vrijede isti fizikalni zakoni; b) brzina svjetlosti u svim takvim sustavima je jednaka.

Zapravo ovo predstavlja proširenje načela relativnosti klasične mehanike koje pokazuje specifičnu crtu elektrodinamike, a proizlazi iz eksperimentalnih činjenica. Ovako prošireno načelo relativnosti omogućilo je invarijantnost zakona elektromagnetizma, ali impliciralo reviziju shvaćanja prostora i vremena ili bolje rečeno metrike prostora i vremena. Einstein nije bio zadovoljan rezultatima Specijalne teorije relativnosti jer je ona bila ograničena. Uistinu se nameće pitanje zašto inercijalni sustavi imaju prednost prema svim ostalim sustavima i zašto samo jednoliko pravocrtno gibanje ima relativan karakter. Zato je on htio poopćiti Specijalnu teoriju relativnosti, osloboditi je ograničenja i naći takvu matematičku formu za sve prirodne zakone koji će biti identični u svim koordinatnim sustavima, a to je učinio u Općoj teoriji relativnosti.

Einstein 1916. godine objavljuje Opću teoriju relativnosti u članku *Osnove opće teorije relativnosti* (*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, Annalen der Physik), gdje osnovu čine jednačbe polja koje su definirale promjene u prostoru i vremenu gravitacijskog polja, i jednačbe gibanja, koje su opisivale gibanje čestice u tom polju.

Osnovna postavka Opće teorije relativnosti: polje gravitacije je u bilo kojoj točki prostora ekvivalentno “umjetno” stvorenom polju sila zbog ubrzanja, a posljedica te postavke je Einsteinovo načelo o ekvivalentnosti tromе i teške mase. On zaključuje: ako se ne može razlikovati gravitacijsko polje neke mase od umjetno stvorenog polja sila zbog ubrzanja, tada nema razlike između teške i tromе mase.

Na osnovi općeg oblika jednačbe gravitacijskog polja koji predstavlja sustav od deset jednačbi, glavnu ulogu imaju tenzori krivine drugog ranga i skalar krivine. One opisuju karakter gravitacije, pa i prostor i vrijeme u ovisnosti od raspodjele supstancije.¹

¹ Opći oblik jednačbe gravitacijskog polja, koji predstavlja sustav od deset jednačbi glasi: – tenzor krivine drugog ranga, – metrički tenzor, – skalar krivine, – tenzor supstancije, – konstanta.

Fundamentalni tenzor (g_{ik}), koji je u slučaju Specijalne teorije relativnosti konstantna veličina, u Općoj teoriji relativnosti predstavlja promjenjivu veličinu i ovisi o distribuciji supstancije. Dakle u Općoj teoriji relativnosti pojam polja zauzima primarno mjesto, gdje veličina (g) ima metrička i gravitacijska svojstva. S jedne strane to su komponente metričkog tenzora, a na drugoj strani igraju ulogu gravitacijskog potencijala. Slijedi da prostorno-vremenski kontinuum ovisi od gravitacijskog polja i obratno. Tako jednačbe geodezijskih linija pokazuju gibanje čestice ili svjetlosti u gravitacijskom polju, pri čemu su uzeti u obzir inercija i gravitacija. Prisutnost raznih tijela odgovarajuće mase utječu na prostorno-vremenski kontinuum.

Kako Specijalna teorija relativnosti predstavlja samo poseban slučaj Opće teorije, tj. u graničnim uvjetima stanja bez polja ili infinitezimalne vrijednosti tog polja, dobili smo jednu koherentnu teoriju koja je opisivala mehaničke sustave u njihovom dinamičkom svojstvu te gravitacijsko polje.

Dakle, jednačbe teorije relativnosti su determinante, odnosno u svakom vremenskom trenutku mogli smo odrediti položaj, količinu gibanja i ostale parametre sustava. Problem je jedino u tome što se ove jednačbe odnose samo na mehaničke sustave, odnosno ako želimo da imamo jednu jedinstvenu teoriju onda se ona mora proširiti i na ostale entitete kao što je primjerice elektromagnetsko polje. Einstein je bio svjestan ograničenosti svoje teorije i tako je sve do svoje smrti pokušao naći jednu jedinstvenu teoriju polja odnosno jedinstvenu fiziku, ali bezuspješno.

Na drugoj strani, Planckovo otkriće diskretnih kvanta energije elektromagnetskog zračenja bilo je u oštroj suprotnosti s klasičnom teorijom, što je duboko uznemiravalo i samog Plancka pa je naknadno čak nastojao formulirati neke hibridne verzije svoje kvantne teorije kako bi je približio klasičnoj fizici koliko mu se samo činilo mogućim. Međutim, radikalna formulacija kvantne fizike je dobivala sve više potvrda, tako 1905. Einstein pomoću nje daje briljantno objašnjenje foto-električnog efekta odakle je slijedio zaključak kako svjetlosni kvanti posjeduju ne samo određenu energiju već i određeni impuls.

Einstein je uspješno primijenio ideju kvantizacije kako bi riješio jedan važan problem u fizici čvrstog stanja koji je mnogo godina zbunjivao znanstvenike. To je bilo narušenje klasičnog Dulong-Petitovog zakona o toplinskom kapacitetu (specifičnoj toplini). Eksperimentalno nađena temperaturna ovisnost toplinskog kapaciteta krutina nije se mogla objasniti u okvirima klasične teorije. Konačno je Einstein 1907. primijenio Planckovu ideju kvantizacije elektromagnetskog zračenja na energiju vibracija kristalne rešetke. Tako je uspio teoretski izvesti temperaturnu ovisnost toplinskog kapaciteta krutina koja se slagala s eksperimentom i time položio jedan od temelja moderne teorije čvrstog stanja.

I tako, od kraja XIX. stoljeća do 1913. godine, nakupio se velik broj eksperimentalnih rezultata koji se nisu mogli objasniti na temelju postojeće teorije:

otkriće diskretnih linija poredanih u pravilne serije u atomskim spektrima, fotoelektrični efekt, toplinski kapacitet plinova, toplinski kapacitet krutina i zračenje crnog tijela, sve je to ukazivalo na kvantizaciju energije. Nakon što je Rutherford predložio svoj planetarni model atoma, Niels Bohr je 1913. povezoao sve te činjenice i ideje u prvu, ne sasvim ali ipak prilično konzistentnu kvantnu teoriju atoma.

Povezujući planetarni model atoma s idejom kvantizacije, Bohr je dao zakon za frekvencije zračenja vodikovog atoma koji je objašnjavao Ritzov kombinacioni princip i Balmerovu formulu te omogućio izračunavanje Rydbergove konstante. Bohrovu teoriju, ili točnije Bohrov model, je dalje uspješno razvijao i poopćavao i on sam kao i Sommerfeld, Debye i drugi. Idejom “kvantnih skokova” između raznih kružnih ili eliptičnih “planetarnih orbita” elektrona u atomu uspjelo se objasniti i sistematizirati golem eksperimentalni materijal o spektralnim linijama. Isto tako, formuliranjem principa korespondencije postalo je jasno da kvantna teorija daje u makroskopskom limesu klasičnu fiziku.

Međutim, do 1922., unutrašnje inkonzistencije i ograničenja te tzv. „stare kvantne teorije“ postala su očigledna. Novi razvoj bio je potaknut idejama o valno-čestičnoj dvojnosti prirode kvantnih objekata.

Konačno, što se tiče fizikalnog značenja valne funkcije, Born je 1927. predložio njenu probabilističku interpretaciju koja je izbjegla kontradikcije kakve su mučile druge interpretacije i koja je izdržala sve kritike i testove i ubrzo postala općeprihvaćena. Valna je funkcija po Bornu matematički opis valova vjerojatnosti, a ne valova materije. Drugim riječima, valnu funkciju u nekoj točki možemo interpretirati kao amplitudu vjerojatnosti i njen apsolutni kvadrat povezati s gustoćom vjerojatnosti nalaženja elektrona, a ne s gustoćom elektronskog naboja ili gustoćom elektronske materije u toj točki, pa se de Broglievi valovi ne mogu opisati kao neka vrsta klasičnih valova.

1927. je Heisenberg uveo u kvantnu teoriju i svoje relacije neodređenosti koje kažu da nije moguće do proizvoljne preciznosti odrediti istovremeno sve varijable koje karakteriziraju mikročestice, već samo neke. Na primjer, što preciznije elektronu određujemo njegov položaj, to veću neodređenost unosimo u njegov impuls, i obratno. Te relacije od najdublje fundamentalne važnosti znače konačni raskid kvantne mehanike s klasičnim determinizmom kakav vlada u klasičnoj mehanici ili elektromagnetizmu, te fundiranjem kvantne mehanike kao teorije probabilističkog statističkog tipa.

Iz ovog kratkog opisa razvoja jedne i druge teorije već se u početnoj fazi pokazuje njihova nesumjerljivost, odnosno ontološka razlika, a kao interesantna činjenica navedimo kako je Einstein aktivno sudjelovao u stvaranju kvantne mehanike da bi kasnije postao njezin ozbiljan kritičar. Prva ali ne i jedina ontološka razlika leži u principu ili relaciji neodređenosti koja u svojoj konačnoj interpretaciji niječe deterministički pristup nego se atomski svijet može proma-

trati samo na statistički način, što je za Einsteina bilo ne prihvatljiva, poznata je njegova izjava da se *Bog ne kocka* aludirajući kako su zakoni prirode nešto što se ne može smatrati vjerojatnim².

Možda bi najbolje mogao objasniti situaciju sa kvantnom mehanikom sam stav N. Bohra, koji uistinu ne negira stvarnost, ali zaključuje kako kvantna mehanika implicira da se o njoj ništa ne može reći, što je svrstava u sustav formula kojima se koristimo za predviđanje ili da bi tehnološki kontrolirali stvari sa čime se mnogi znanstvenici ne mogu složiti. Dakle, ona nudi izvjesnost a ne istinu, a parafrizirajući K. Popper koji kaže kako moramo razlikovati istinu, koja je objektivna i apsolutna, od izvjesnosti koja je subjektivna, jer znanstvena izvjesnost ne postoji. Ovakav stav ili ovakvi stavovi su možda pretjerani ali ukazuju da je kvantna mehanika u mnogome različita u ontološkom i epistemološkom smislu od Einsteinove teorije relativnosti.

Možemo slobodno reći da ontologija kvantne mehanike i ne postoji jer ona, barem u interpretaciji N. Bohra i W. Heisenberga, ne govori o bitku stvari nego samo o načinu istraživanja što je epistemologija koja se bazira na operacionizmu. Za razliku od klasične fizike, gdje iz matematičkog formalizma na precizan način slijedi ontološki opis objektivnog svijeta u kvantnoj mehanici to ne može biti slučaj. Dakle, ovakvo tumačenje je primarno formulirano kao jedna *epistemologija* kantovskog tipa, koja se ne bavi toliko načinom objektivno vrijedne i nužne spoznaje vanjskog svijeta, već pita o uvjetima mogućnosti iskustva tog svijeta.

Moramo napomenuti kako su obje teorije logičko–matematički besprijeorne, ali tu leži opasnost jer savršene matematičke konstrukcije nekog teorijskog modela ne znači da posjedujemo teoriju koja se odnosi na objektivni svijet. Tako na primjer u kvantnoj mehanici postoji barem devet različitih matematičkih formulacija (npr. valni formalizam, matrični, Diracov, Feynmanov, Wignerov...) Različiti formalizmi uvode različite elemente od kojih polaze u izgradnji teorije, postavlja se pitanje koji je formalizam tj. čiji su elementi najbliži onom zbiljskom, *elementima fizičke zbilje*, kako bi rekao Einstein?

U daljnjem tekstu navedimo samo neke osobine kvantne mehanike koje su u najmanju ruku nespojive sa teorijskim osnovama teorije relativnosti, a posebice sa Općom teorijom. Metodološki, jednadžbe kvantne mehanike su iznimka u fizici jer su isključivo linearne, a posljedica je načelo superpozicije što u konačnici imamo slučaj da se jedno matematičko načelo nameće kao fizički princip. Tako na primjer, ako imamo raspršenje dviju identičnih čestica onda su one

² „Još mogu povjerovati da je Bog stvorio svijet u kojemu ne postoje zakoni prirode, drugim riječima da je stvorio kaos. Ali da su statistički zakoni konačni i da je Bog svaki slučaj odlučivao kockom – ta misao mi je krajnje antipatična.“ (B. G. Kuznjecov, *Ajnštajn*, 1975)

nerazlučive. Ova superpozicija dovodi do još jednog fenomena koji karakterističan samo za kvantnu mehaniku, a to je kolaps valne funkcije.

Problem kolapsa valne funkcije je usko povezan sa mjerenja, koji se sastoji u sljedećem; ako promatramo par čestica u interakciji i ako odaberemo stanje za jednu česticu odmah je određeno i stanje druge čestice, dakle valna funkcija se raspada i to samo prilikom mjerenja na dva superponirana konačna rješenja. No, kada se taj kolaps javlja to je pitanje za sebe i s obzirom na različiti opis mikrokozmosa i makrokozmosa gdje je granica primjenjivosti, odnosno koliko čestica može ostati u stanju superpozicije (neporemećene evolucije) prije nego što valna funkcija kolabira? To danas nitko ne zna.

Prostor ovog teksta ne dozvoljava detaljniju analizu navedenih teorija, ali nam se čini dovoljnim da se naznači dubinska razlika između njih. Dakako, neko bi mogao dati primjedbu, kako se radi o dvije konzistentne teorije koje opisuju različite realnosti, Opća teorija – makrokozmos, a kvantna – mikrokozmos te bi to mogao biti izlazak iz nesuglasica i krize fundamentalne znanosti. No, moramo napomenuti kako problemi nisu u matematičkom formalizmu i interpretaciji nego i samoj biti fizičke realnosti koja se želi opisati. Navedimo samo dva primjera a to je „singularitet“ i „lokalnost“, a posebice ova druga osobina na koju je Einstein naročito obratio pozornost.

Da pojasnimo, singularitet, prema Općoj teoriji relativnosti je njezin sastavni dio te opis ga predviđa, tj. mogućnost postojanja materijalne točke koja bi u konačnici evoluirala u „crnu rupu“, a što se tiče drugog pojma, lokalnost, ona je u fundamentu teorije relativnosti tj. činjenica kako se ni jedna informacija, međudjelovanje ne može prostirati većom brzinom od brzine svjetlosti. Konstantna i maksimalna brzina svijetlosti predstavlja jedan od postulata na kojoj se gradila teorija relativnosti, posebice Specijalna teorija relativnosti.

Za kvantnu mehaniku singularitet nije moguć, a principijelno ona je teorija kojoj imanentna pripada ne-lokalnost, koju možemo definirati da u određenim situacijama dolazi do trenutne promijene stanja na proizvoljno velikoj udaljenosti.

POKUŠAJ RJEŠAVANJE KRIZE

Einstein je potpuno odbacivao mogućnost postojanja ne-lokalnosti, koja je po njemu posljedica toga što mi ne možemo shvatiti dublju vezu fenomena koji se manifestiraju preko kvantne mehanike, odnosno da postoje skrivene varijable koje se ponašaju prema principima lokalne teorije. Takvu teoriju se zove *lokalna teorija skrivenih varijabli* (*local hidden-variable theory*, *LHVT*). Sukladno s tim on je 1935. zajedno sa dvojicom suradnika, Borisom Podolskym i Nathanom Rosenom, objavio rad koji je trebao jasno ukazati na manjkavost kvantne teoriji, posljedično, njene nepotpunosti.

Oni smišljaju misaoni pokus koji će pokazati da kvantna teorija ne može opisati stvarnost bez unutarnjih proturječja. Posebice se to odnosi na problem mjerenja, na primjer ako na početku imamo dva elektrona ili dva fotona s ukupnom količinom gibanja nula, tada, nakon što su simetrično upućeni na suprotne strane svijeta, ali ne znamo na kojem pravcu, imamo spoznaju kako njihov zbroj količina gibanja uvijek ostaje nula, zbog njihova suprotna gibanja. Odavde slijedi da mjerenjem jednog od njih utvrđujemo istodobno i na daljinu količinu gibanja onog drugog, iako on mogu biti svjetlosnim milenijima daleko.

Rad izlazi 1935. godine pod originalnim nazivom “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?” – *Da li se kvantno-mehanički opis realnosti može smatrati kompletnim?* (A. Einstein, B. Podolski, N. Rosen, 1996) Članak je po svojoj formi relativno kratak, svega četiri strane, ali je efekt koji je proizveo nesumjerljiv. Na početku rada autori se bave općim pitanjem kompletnosti znanstvene teorije. Uvode osnovni uvjet koji mora da ispuni svaka znanstvena teorija ako želi biti kompletna, a on se formulira na sljedeći način: *Svakom elementu fizičke realnosti mora odgovarati neki element u fizičkoj teoriji.* Ova tvrdnja nema smisla ukoliko se ne definira pojam elementa fizičke realnosti.

Autori ovdje uvode svoje kriterije fizičke realnosti koji je kamen temeljac cijele naredne priče definiraju na sljedeći način: *Ako, bez da na ikoji način poremetimo sustav, možemo sa sigurnošću predvidjeti vrijednost fizičke veličine, onda postoji element fizičke realnosti koji odgovara toj fizičkoj veličini.*

Odavde slijede dvije tvrdnje od kojih mora da važi jedna od navedenih a to su:

1) *Kvantno-mehanički opis realnosti koji daje valna funkcija nije kompletan;*
 ILI 2) *Kada operatori dvije fizičke veličine ne komutiraju, te dvije veličine ne mogu istovremeno posjedovati realnost.*

Pobornici kvantne mehanike se ne slažu sa prvom tvrdnjom, tako da im ostaje druga, a sada slijedi glavni dio rada, u koji mi iz objektivnih razloga ne možemo ulaziti, da se konstruiraju stanja za koje ne važi druga tvrdnja i onda slijedi zaključak da je istinita prva, tj. kvantna mehanika nije kompletna.

To je suprotno onom što tvrdi Bohr da je za mjerenje osobina čestice potrebno izravno i uzajamno djelovati s njom. Dakle, paradoks. Međutim Bohra taj argument uopće nije uznemirio, jer su čestice povezane jednom nedjeljivom, uvezanom valnom funkcijom i mjerenjem jedne čestice nastaje kolaps cijele, zajedničke valne funkcije. Na taj način je trenutno dobiven podatak i o drugoj čestici, iako je ona izvan dosega signala koji se prenosi brzinom svjetlosti, prema Specijalnoj teoriji relativnosti, najvećom mogućom brzinom prijenosa signala. Kažemo da su takve čestice kvantno uvezane.

Razmotrimo još i slijedeću inačicu EPR pokusa. Neka je dovoljno izolirani atom iz udaljenog međuzvjezdanog prostora u nekom trenutku iz sebe izbacio foton. S obzirom da je foton bio dobro lokaliziran u malenom području veličine

atoma, njegov je impuls praktički potpuno neodređen, foton se širi na sve strane, a stanje njegova impulsa je radijalno simetrična valna funkcija, dakle s potpuno ravnopravnim smjerovima gibanja (ne uzimajući u obzir stanje polarizacije).

Ukupni je impuls sustava: (*atom nakon emisije + foton*) jednak nuli. I svaki podsustav, atom i foton pojedinačno, iz razloga radijalne simetrije, također ima impuls jednak nuli. Nakon vrlo dugo vremena, recimo 100 godina, jedan sićušan dio rasprostranjenog kružnog elektromagnetskog vala polumjera 100 svjetlosnih godina dolazi do nas na Zemlji u naš detekcijski uređaj. Ali, kao što znamo, «klik» našeg detektora ne znači da smo uhvatili dio nego cijeli foton. To je ono što smo nazivali kvantnim skokom u točku – trenutnim kolapsom kvanta iz područja polumjera 100 svjetlosnih godina u točku. Kako je cijeli foton udario u naš uređaj koji ga je uhvatio iz određenog smjera, detektor je otprio trzaj na smjeru atom-detektor.

Sada, da bi zakon očuvanja impulsa bio sačuvan, mora biti da je «istodobno» (očito ne u smislu Specijalne teorije relativnosti) atom doživio jednak trzaj na suprotnu stranu. Kako je atom «znao» da treba trznuti kad je prošlo 100 godina od emisije fotona? To znači da su atom i foton opisani jednom zajedničkom kvantno uvezanom valnom funkcijom. Kolaps se morao dogoditi i kod detektora i kod atoma istodobno kao da prostor i vrijeme između njih uopće ne postoji. Za Einsteina ovakva je situacija neodrživa nego postoje skriveni parametri koji su već odredili vrijednost mjerenih veličina, a nama se čini kako do odluke dolazi u trenutku mjerenja.

Mogli bismo reći da je osnovno pitanje oko kog se ne slažu zagovornici standardne kvantne teorije i zagovornici teorija skrivenih varijabli pitanje interpretacije superpozicije. Oni na strani kvantne mehanike smatraju da je kvantna teorija kompletna, i da su osobine sustava čije je stanje predstavljeno superpozicijom neodređene. Sa druge strane, pobornici skrivenih varijabli tvrde da je kvantno-mehanički opis nekompletna. Po njima, osobine sustava imaju definiranu vrijednost sve vrijeme, pa i kad je sistem u superpoziciji.

Situacija je mogla da se razriješi samo eksperimentom, ali originalna postavka EPR efekta bila je eksperimentalno neizvodljiva. Razne modifikacije ovih postavki, posebice Bohmovih i drugih autora dovelo je do mogućnosti eksperimentalne odredljivosti samih postavki i u kratkim crtama obratimo pozornost na rezultate tih eksperimenata.

Navedimo kao prvo postavljanje takozvane Bellove teoreme³ (Bell 1964:195) koja je sadržana u uvjetu koje moraju zadovoljavati lokalne teorije skrivenih

³ O Bellovom teoremu pogledajte detaljnije u A. I. M. Rae, *Quantum Mechanics Illusion or Reality?* CUP, Cambridge, 2000. Ili u J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, CUP, Cambridge, 1987.

varijable, čime bi bilo moguće i eksperimentalno utvrditi razliku u predviđanju dviju konceptualno različitih teorija. Bellova nejednakost je konstruirana za teorije skrivenih varijabli koje počivaju na dvjema pretpostavkama – lokalnosti i realizmu. Pretpostavka o lokalnosti se ogleda u tvrdnji da mjerenje izvršeno na jednom sustavu ni na koji način ne može da utiče na drugi sustav ukoliko ta dva sustava ne integriraju. Pretpostavka realizma, u suštini, tvrdi da čestice posjeduju definirane osobine neovisno od toga da li su promatrane ili ne. Eksperimenti koju su kasnije obavljeni stali su u prilog standardne interpretacije kvantne mehanike, odnosno činjenici da ne postoje skriveni parametri, odnosno kvantna teorija i procesi su inherentno ne-lokalne teorije.

Poboljšani eksperimenti su dani u nejednakosti Leggettija, u duhu Bellovih predviđanja, koje zadovoljavaju sve teorije skrivenih varijabli i koje se oslanjaju na pretpostavku realizma. Nelokalne interakcije su u ovom slučaju bile do velikog stupnja dopuštene. Slično kao i kod Bellovih nejednakosti, kvantna mehanika je i ove nejednakosti narušavala. Prvi test Leggettovih (Leggett–Garg: Wikipedia) nejednakosti izvršili su M. Aspelmeyer i A. Zellinger sa suradnicima 2007., a najnoviji test je izvršen od strane H. Romera i suradnika tokom 2010. godine. Oba su potvrdila predviđanja kvantne teorije i na taj način su isključili iz igre širok spektar lokalnih teorija zasnovanih na realizmu.

No, ono što je ovdje bitno naglasiti kako ovim eksperimentima i teorijskim razmatranjima nije riješen problem jedinstva fizike i kriza, tj. konceptualno nejedinstvo između kvantne mehanike i Einsteinovog stava i dalje ostaje. Možda pretpostavka o postojanju skrivenih varijabli nije polučila rezultate, ali njezina osnovna ideja koja leži u jednom jedinstvenom opisu svijeta ostaje i dalje kao prioritet u rješanju krize.

Jedinstvo ovih teorija pokušava se naći u jednom drugom konceptu koji se zove *Teorija struna*, čija je glavna ideja kako osnovu svijeta ne čine čestice nego otvorene i zatvorene strune čije će titranje i dinamičko stanje u višedimenzionalnom realnom prostoru dati jedinstvo svih fenomena. Nemoguće je da dublje ulazimo u implikacije ove teorije, ali možemo napomenuti kako bez obzira na njenu eventualnu matematičku konzistentnost, ta teorija je u konačnici eksperimentalno ne odredljiva, što zanoči kako je fundamentalna fizika ovakvog tipa prešla Rubikon sa obale fizike na obale „metafizike“ i teorijske spekulacije.

ZAKLJUČAK

Ovaj kratki osvrt na stanje fundamentalne znanosti koja je uobličena u fizičkoj teoriji početkom ovog stoljeća i dvadesetog vijeka, pokušao je naznačiti njezinu duboku krizu. Namjerno koristimo izraz fundamentalna znanost, jer ona govori o osnovnim zakonima prirode i kao takva ima tendenciju da iznese opći

okvir o postojanju svijeta. Sve ostale znanosti, mislim na prirodne znanosti u užem smislu, su po svom su predmetu proučavanja parcijalne pa nemaju tendenciju niti mogućnost pružiti kompletnu sliku Svijeta.

Kao što je poznato, do početka dvadesetog stoljeća Newtonova klasična fizika, ili njezine interpretacije stvorile su jedan opći okvir objašnjenja osnovnih zakona prirode, koji je bio konzistentan ali sa odgovarajućim neslaganjima oko nekih fizikalnih fenomena. Govoreći jezikom T. Kuhna, ova neslaganja sa određenim eksperimentalnim rezultatima dovela su, početkom dvadesetog stoljeća, do revolucionarnih promjena paradigme uobličene u dvije nove teorije; Einsteinovu Specijalnu i Opću teoriju relativnosti i kvantnu mehaniku čiji su pokretači N. Bohr i W. Heisenberg. Prva paradigma, odnosno teorija relativnosti, napravila je korijenite promijene u definiranju i razumijevanju osnovnih fizikalnih pojmova kao što su prostorno-vremenski odnosi i temeljni principi invarijantnosti, a druga, odnosno kvantna mehanika, mijenja opći stav prema fizikalnim objektima mikroskopskog svijeta, odnosa prema determinizmu i ulozi promatrača u procesu mjerenja.

Trebalo bi očekivati da su ova dva pristupa otvorili put ka jednoj novoj općoj teoriji, ali u samom početku dolazi do potpunog razilaženja ova dva koncepta. Tako možemo reći kako ove dvije teorije idu svojim putem razvoja koji su u mnogim točkama nesumjerljivi, a što stavlja pod upitnost mogućnosti stvaranja jedne univerzalne slike Svijeta. Relativna pomirba je pronađena u predmetu opisa, dok je Opća teorija zadužena za opis makro-kozmosa, to je kvantna fizika zadužena za opis mikro-kozmosa. No, ovo je samo prividno prikrilo problem jer su razlike između ovih dviju teorija kako na ontološkoj tako i na epistemološkoj i metodološkoj razini.

Razlika između ova dva, tako nazovimo, koncepta je ontološke prirode, tj. u odnosu prema samoj biti stvarnosti. U radu smo naveli samo neke od razlika, tako na primjer; Heisenbergova relacija neodređenosti implicirala je indeterminizam u opisu kvantnih objekata, a što je za Einsteina i ostale istomišljenike, koji su pobornici determinističkog pristupa, bilo ne prihvatljivo kao moguće objektivno stanje stvari.

Drugi primjer je „nelokalnost“ koja je imanentna kvantnoj mehanici i direktno je suprotna Einsteinov postuliranoj tezi u teoriji relativnosti o „lokalnosti“, odnosno tezi kako se niti jedna interakcija ili informacija ne može prenositi većom brzinom od brzine svjetlosti itd. Da bi se riješio ovaj problem Einstein, sa svojim suradnicima, pokušao dokazati da je kvantna mehanika nepotpuna kao teorija odnosno da postoji svijet skrivenih varijabli, a navedene nesuglasice su posljedica upravo ove nepotpunosti. Eksperimenti koji su vršeni u svrhu potvrđivanja ove Einsteinove teze pokazale su kako je kvantna mehanika imanentno ne-lokalna teorija, tj. da ne postoje skrivene varijable. No, time ne samo da nije

riješen problem nego je potvrdio razliku između dvije ontologije, odnosno dva pristupa prema realnosti.

Daljini razvoj ovih dviju teorija, do današnjih dana nije uspio premostiti jaz između ova dva stava. Na drugoj strani niti jedan od ova dva puta nije uspio doći do općenitosti koja bi dala jedinstvenu sliku Svijeta. Kriza fundamentalne znanosti se nastavlja i traži nova rješenja, ako su ona moguća?

LITERATURA

- BELL, J. S. 1964. *Physics Vol. 1, No.3*, pp. 195–200.
 BELL, J. S. 1987. *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, collected papers in quantum mechanics, CUP, Cambridge
 EINSTEIN, A.; PODOLSKI, B.; ROSEN, N. 1935. *Phys. Rev.* 47, 777–780.
 KUZNJECOV, B. G. 1975. *Ajnštajn*, II. sv. Minerva, Subotica–Beograd
 LEGGET-GARG, inequality, Wikipedia, the free encyclopedia, (http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)
 RAE, A. I. M. 2000. *Quantum Mechanics Illusion or Reality?* CUP, Cambridge

The Crisis of Fundamental Sciences

Fundamental sciences study the elementary laws of nature, which is primarily physics and other related sciences. The status of these sciences determines the plausibility of our knowledge and presupposes the directions and perspectives of further development. The analysis of the present-day state, i.e. the recent decades of fundamental sciences, shows that there are certain indications of crisis. These indications are of different origins, some of which are: methodological, epistemological, ontological and pragmatic.

The beginning of the last century faced a paradigmatic change of fundamental sciences as a result of Einstein's special and general theory of relativity as well as of Bohr's and Heisenberg's quantum mechanics. These two concepts are not compatible in several parts, and the further development of science aimed to reconcile these two worldviews and to give a unified theory. The development of quantum mechanics and general theory of relativity, particularly in the interpretation of modern cosmology, demonstrated certain weaknesses, both in specific concepts and in the possibility of their uniting, e.g. the string theory. This leads to the conclusion that a certain crisis is evident, and if these predictions are correct, a simple question arises: is it the end of fundamental science in sight, and alongside with that, the end of sciences in general, or is it a new beginning?

Key words: Special and general theory of relativity, quantum mechanics, contemporary cosmology, string theory, implicate order

Az alaptudományok válsága

Az alaptudományok a természet alaptörvényeit kutatják, s ide tartozik mindenekelőtt a fizika meg a rokon tudományágak. E tudományterületek státusa határozza meg tudásunk plauzibilitását, és feltételezi a további fejlődés irányait és kilátásait. Az alaptudományok mostani állapotának, pontosabban az utóbbi tíz év helyzetének elemzése bizonyítja, hogy abban a válság bizonyos jelei tapasztalhatók. A válság jeleinek eltérő gyökerei vannak, például módszertani, episztemológiai, ontológiai és pragmatikus alapjai.

A múlt század elején paradigmátikus változás állt be az Einstein általános és speciális relativitáselmélete, valamint a Bohr és Heisenberg kvantummechanikája által körvonalazott alaptudományokban. E két koncepció több részletében nem kompatibilis, s a tudományok további fejlődésének célja volt, hogy összehámozza e két életszemléletet, s egy egységes elméletet fogalmazzon meg. A kvantummechanika, valamint az általános relativitáselmélet fejlődése – különösen a modern kozmológia értelmezésében – bizonyos fogyatékokról adott jelt, mind az egyes koncepciók, mind azok egyesítésének lehetősége vonatkozásában; ilyen például a húrelmélet. Mindez ahhoz a következtetéshez vezet, hogy bizonyos válság keletkezett, s amennyiben ez a diagnózis helytálló, felmerül az egyszerű kérdés: vajon az alaptudományok alkonya van-e láthatáron, s azzal egyetemben pedig a tudományoké, vagy egy új kezdettel szembesülünk?

Kulcsszavak: általános és speciális relativitáselmélet, kvantummechanika, modern kozmológia, húrelmélet, implicit sor

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Kiss Ernő

... Nyugalmazott egyetemi tanár
... ekiss@tf.uns.ac.rs

A HŐTAN FEJLŐDÉSE ÉS SZEREPE AZ EGZAKT TUDOMÁNYOKBAN

The Development of Thermodynamics and its Role in Exact Sciences

Razvoj termodinamike i njena uloga u egzaktnim naukama

A XIX. század éveiben, valamint a XX. század első évtizedében a zárt rendszerű egyensúlyi termodinamika főtételei és törvényei megfogalmazódtak. Ezek az ismeretek lehetővé tették a fizika, de különösen a kémia, valamint e két tudományágból kifejlődött újabb tudományok egzakt tudományokká való fejlődését. A XX. században, de különösen a XX. század második felében a kutatások a nyílt rendszerű nem egyensúlyi termodinamika irányába tolódtak el. Az elért eredményeket alkalmazni lehet a fenn említett tudományokban, különösen egyes transzportfolyamatok előrejelzésére és kiszámítására. Ugyanakkor a nem egyensúlyi termodinamika témaköre kibővült a biológiára és a fejlődéstanra is.

Kulcsszavak: termodinamika, egyensúlyi, nem egyensúlyi alkalmazás, egzakt tudományok

Az egzakt tudományok bármely területére jellemző, hogy a tudomány képes pontos számszerűsíthető előrejelzéseket adni a lejátszódó folyamatokról, úgy-hogy azok mennyiségi kifejezésekkel is megállapíthatóak legyenek, a pontos és szigorú, valamint reprodukálható kísérleti mérések alapján. Ebben az értelemben a fizika és a kémia is igazi egzakt tudománynak tekinthető. A kémia a fizikából vált ki, és már a XVIII. század folyamán a két tudományból kialakulóban volt egy harmadik, multidiszciplináris tudomány, a fizikai kémia. Lomonoszov (Михаил Васильевич Ломоносов) 1752-ben hirdette meg a fizikai kémia első programját a Szentpétervári Egyetem tanulóinak Курс истинной физической химии címmel (VUCINICH 1963). A fizika és a kémia mint más alap- és alkalmazott tudomány multidiszciplináris készségeket mutatnak, és könnyen átfedésbe kerülhetnek akár egy harmadik tudománnyal is (biológia, orvostudomány). Ezeknek a tudományoknak ma óriási jelentőségük van az anyagismeretekben, különböző természetes és mesterséges folyamatok megismerésében, és ez a felismerés megállpítható az élővilágra is.

A dolgozatom célja, hogy rámutassak arra, hogyan tette a fizika egyik ága, a hőtan, vagyis a *termodinamika* a kémiát, a fizikai kémiát egzakt tudománnyá, noha a termodinamikának hasonló szerepe van a biológiában meg a fejlődés-tanban is.

EGYENSÚLYI TERMODINAMIKA

Termodinamikai fogalmak és a zárt rendszerű termodinamika főtételei

A termodinamika az energiaátalakulások vizsgálatának tudományterülete. Szigorúan egzakt és alkalmazott tudomány. Írásos kísérlet az energiaátalakulás-ról már az időszámításunk előtti első évszázadban is volt. A termodinamikusok szemében az alexandriai Hérón labdája nem más mint egy gőzturbina, ahol a hő-energia mozgási energiává alakul át. Ha a „szerkentyűt” nem szórakozásra használták volna, hanem valamiféle munka végzésére, akkor Hérón labdáját az első gőzgépnek tekinthetnénk. Így 1712-ig kellett várni, ugyanis Thomas Newcomen ebben az évben megszerkesztette az első gőzgépet, amelyet már munkavégzésre használtak (a bányákban vízkiszivattyúzásra alkalmazták). Newcomen gőzgépének üzemeltetése drága volt, mert sok hőenergiát kellett alkalmazni, az elvégzett munka pedig nagyon kicsi volt. Ezért Newcomen gőzgépét állandóan tökéletesítették, és az évek múltával eredményesebb és eredményesebb gőzgépeket szerkesztettek. Ezek után felmerült az elméleti kérdés, hogy a befektetett hőenergia melyik hányadát lehet munkává alakítani. Erre a kérdésre adott választ Carnot (Nicolas Léonard Sadi Carnot, 1824) egy speciális termodinamikai körfolyamat tanulmányozásával. A tanulmányból kitűnt, hogy a hőerőgép hatásfokát (η) kizárólag a gép üzemelésének hőmérséklet-határai szabják meg, nem pedig az alkalmazott üzemanyag vagy a hőerőgép mechanikai tulajdonságai. A hőtan szempontjából Carnot tanulmányának sok hozadéka volt. Megszülettek az alapfogalmak, mint például a termodinamikai rendszer, a hőenergia, valamint az elvégzett munka fogalma, a körülményeket leíró fogalmak (reverzibilis, izotermikus, adiabatikus...), a hőerőgép hatásfokának a fogalma, amiből azután újabb termodinamikai fogalmak és mennyiségek alakultak ki.

A termodinamikai rendszer az anyagi valóság tetszőlegesen kiválasztott és elhatárolt része, amelyben mechanikai, termikus, kémiai és egyéb (transzport)-folyamatok játszódhatnak le. Az egyensúlyi termodinamika az állapotváltozásokat statikusan, egyensúlyi kezdő- és végállapot alapján írja le. A zárt termodinamikai rendszer anyagot nem cserél a környezetével (szemben az izolált rendszerrel, amely sem anyagot, sem energiát nem cserél). A rendszer lehet homogén, ahol az állapotjellemzők a rendszer minden egyes pontjában egyen-

lők, vagy inhomogén (heterogén), ahol az állapotjellemzők a rendszerben folyamatosan változnak. A vizsgált rendszerek mindig valamilyen állapotban vannak (egyensúlyi/nem egyensúlyi állapot). Az állapotok egyértelmű leírásához állapotjelzőket használhatunk, melyek az egész rendszerre vonatkozó fizikai mennyiségeket jelentenek. Ezek a fizikai mennyiségek lehetnek extenzív (összeadódó/additív) mennyiségek, tehát a rendszer kiterjedésével arányosak. Ilyen például a tömeg (m), a térfogat (V) vagy a belső energia (U) stb. Az intenzív (kiegyenlítődő) mennyiségek nem additív jellegűek. Ilyen például a nyomás (p), a termodinamikai hőmérséklet (T), valamint a fajlagos extenzív mennyiségek, például a sűrűség ($\rho = m/V$) vagy a fajlagos belső energia ($u = U/m$) stb. A termodinamikai hajtóerő valamely intenzív mennyiség inhomogenitásával arányos hatás, amely meghatározott extenzív mennyiség áramát idézi elő és tartja fenn ($\epsilon =$ extenzív mennyiség/idő). Az intenzív mennyiség egy „általánosított erő”-nek, az extenzív mennyiség pedig egy „általánosított elmozdulás”-nak tekinthető. Az „általánosított erő” okozza az „általánosított elmozdulás” változását, tehát a kettő szorzatának energiadimenziója kell hogy legyen. Ilyen állapotjelző párok (konjugált állapotjelző párok) a mechanikában a nyomás–térfogat (p – V), a termodinamikában a hőmérséklet–entrópia (T – S). Az inhomogenitás a nyomásban (p) térfogatváltozást okozhat (dV); az inhomogenitás pedig a hőmérsékletben (T) entrópiaváltozást (dS) (LITZ 2005).

A termodinamika főtételei meghatározzák a hő (Q), a munka (W) és az energia (U , belsőenergia) közötti viszonyokat. A hő az energia egyik formája, ami átvihető az egyik testről a másikra (vagy az egyik termodinamikai rendszerről a másikra), a hőmérséklet-különbség hatására (ΔT). A rendszeren végzett munka vagy a rendszer által végzett munka a rendszerben energiaváltozással jár. A munka végzése lejátszódhat visszafordítható/reverzibilis és visszafordíthatatlan/irreverzibilis körülmények között. Ha a változások gyorsan játszódnak le, akkor azok a termodinamikai rendszerben a rendezetlenség megnövekedéséhez vezetnek. A termodinamikában a rendezetlenség fokának a mércéje az entrópia.

Az entrópia (S), a $dS = \delta Q/T$, differenciális mennyiségként kerül meghatározásra, ahol a (δQ) az elnyelt vagy leadott hőenergia, melyben a rendszer az egyik állapotból a másikba megy át abszolút hőmérsékleten (T), visszafordítható körülmények közepette. A (δ) azt jelenti, hogy a hő, akárcsak a munka, nem állapotfüggvény.

A **termodinamika nulladik főtétele** a hőegyensúly beálltát határozza meg. Ha az egyik termodinamikai rendszer egyensúlyban van a másikkal, a másik pedig a harmadikkal, akkor a harmadik termodinamikai rendszer is egyensúlyban van az elsővel.

A **termodinamika első főtétele** az energiamegmaradás elvén alapszik. A környezettől elszigetelt rendszerben, bármilyen folyamatok is mennek végbe a

rendszeren belül, az energiák összege állandó. Ha a rendszer nem zárt, akkor a rendszer energiája pontosan annyival nő, amennyivel a környezeté csökken, és ez fordítva is érvényes. Véges változások esetében $\Sigma \Delta U = 0$, illetve az infinitezimális kis változások esetében a $\int dU = 0$ képlet használatos. A termodinamika első főtétele a $\Delta U = Q \pm W$ képlet közelebbről határozza meg. A rendszer belső energiájának megváltozása egyenlő a rendszerrel közölt hő és a rendszeren végzett munka összegével. A rendszeren végzett munka pozitív, a rendszerrel végzett munka pedig negatív előjelű (egyezményes/konvencionális előjel).

A *termodinamika második főtétele* a spontán folyamatok irányát szabja meg. Több megfogalmazása van. A Clausius-féle megfogalmazás (Rudolf Clausius, 1850) értelmében a természetben nincs olyan folyamat, amelyben a hő önként, külső munkavégzés nélkül hidegebb testről melegebbre menne át. A Kelvin–Planck-féle megfogalmazás (William Thomson Kelvin, 1851; Max Planck, 1903) szerint a természetben nincs olyan folyamat, amelynek során egy test hőt veszítene, és ez a hő egyéb változások nélkül teljes egészében munkává alakulna át.

A termodinamika második alaptörvénye az entrópia segítségével a következőképpen fogalmazható meg: a spontán folyamatok esetében a magára hagyott rendszerek entrópiája csak növekedhet: $dS \geq \delta Q/T$, illetve $dS \geq 0$ vagy $\Delta S \geq 0$, és az egyensúlyi állapotban eléri maximális értékét. Spontán módra csak az történhet meg, ami a termodinamikai rendszer rendezetlenségét fogja növelni. A kémiában ez azt jelenti, hogy spontán módon csak azok a kémiai folyamatok játszódhatnak le, amelyek entrópiánövekedéshez vezetnek.

Mivel az entrópia a rendezetlenség fokának a mércéje, ebből világos, hogy az entrópia statisztikai mennyiség. Spontánszerűen a természetben mindig olyan folyamatok játszódnak le, amelyek a rendezetlenség megnövekedéséhez vezetnek. Boltzmann (Ludwig Boltzmann) szerint a rendezetlen állapot beállítására a statisztikai valószínűség mindig nagyobb, mint a rendezett állapot megjelenésére: $S = k \log \Omega$. Az egyenletben a k a Boltzmann állandót jelenti (az a munka, amelyet egy gázmolekula végez el tágulás esetén a hő hatására, mikor a hőmérséklet 1 °C-kal megnövekszik), az Ω pedig valószínűséget jelent, amit ki lehet fejezni a mikroállapotok számával, amelyek ugyanazon makroállapothoz tartoznak a megfigyelt rendszerben. Boltzmann eredeti dolgozatában a valószínűséget (W) (németül Wahrscheinlichkeit) jelölte meg. Mivel ma a termodinamikában a munkát (W) (angolul work) jelölik meg, a félreértés elkerülése végett nem használom az eredeti Boltzmann-megjelölést. A Boltzmann-féle entrópiamagyarázatnak a fő mondanivalója az, hogy a természetes folyamatokban mindig az fog megtörténni, ami valószínűbb, az pedig egy rendezetlen állapot.

Az informatikában (az informatika az információtudomány, a matematika és az elektronika elegye) az úgynevezett Shannon-féle entrópiafüggvényt alkal-

mazzák $H(S) = -\sum p_i \log_2 p_i$. A p_i a hírek valószínűségeinek egyike. A termodinamikai (Boltzmann-entrópia) és az informatikai (Shannon-entrópia) entrópia között a különbség csak a logaritmusalapban jelentkezik, ugyanis az első függvényben „e” alapú (természetes alapú, e, irracionális szám), a második függvényben pedig „2” alapú logaritmust használnak. A Shannon-entrópia ma már a kémiában is alkalmazást talált (GREGORI-PUIGJANÉ 2006), az új molekulák modellezésében mint molekula deszkriptor (PÓSA 2012).

A *termodinamika harmadik főtétele* (Walther Nernst, 1906) kimondja, hogy a tökéletes kristályos anyag entrópiája abszolút nulla fok hőmérsékleten zérus. A tétel egyik legfontosabb következménye, hogy az abszolút zérus hőmérséklet (0 K) véges, sok lépésben nem érhető el. Továbbá két olyan állapot entrópiájának a különbsége, amelyek kvázistatikusan átalakíthatók egymásba, $T \rightarrow 0\text{K}$ -nál, nullához tart, azaz: $\lim \Delta S = 0$ vagy $S_{0,K} = 0$, mikor a $T \rightarrow 0$.

Másképpen szólva, az abszolút nullánál a rendezetlenség foka nullához tart. Ez ugyanakkor az abszolút nulla fok elérhetetlenségét is jelenti.

A termodinamikai hőmérsékleti skála nullája az a hőmérséklet, ahol a hőerőgép hasznossági foka 100%. Ez a hőmérséklet formálisan egyenlő az abszolút nullával, 0 K, ami $-273,15^\circ\text{C}$ -nak felel meg.

A Helmholtz- és a Gibbs-féle szabadenergia

A termodinamika főtételeinek alapján Helmholtz (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz) összefüggéseket talált a szabadenergia, a belsőenergia és az entrópia között: $A(T,V)=U-TS$. Helmholtz szabadenergiája nem más, mint az izotermikus munka, melyet a rendszer nyújtani tud visszafordítható/reverzibilis folyamatok esetében, $\Delta A = -W_{\max}$. A Helmholtz-egyenlet az $U=A+TS$ alakban rámutat arra, hogy a belsőenergia két részből áll, a szabadenergiából és a TS-energiából. A TS-energia mértékét a hőmérsékleten kívül az entrópia határozza meg. Ez a TS-energia rendezetlensége miatt munka végzésére nem alkalmas. Tehát a termodinamikában indokolt az energia minőségéről is beszélni.

A Gibbs-féle (Josiah Willard Gibbs) szabadenergiát a $G(T,p)=H-TS$ egyenlettel lehet meghatározni, és ez az energiamennyiség a hasznos munka mértékéről beszél. Az egyenletben a (H) az entalpiát, a hőtartalmat jelenti, ami a belsőenergia és a tágulási munka összegével egyenlő, $H(S,p)=U(S,V)+pV$. A Gibbs-féle szabadenergia szerint a hasznos munka mértéke egyenlő az izotermikus-reverzibilis munka és a tágulási munka különbségével $\Delta G = -(W_{\max} - p\Delta V)$. Tehát az a munka, melyet a gáz saját tágulására végez el, a rendszeren kívül nem használható. A hasznos munka alatt a kémiában egy kémiai reakció lejátszódásának a lehetőségét kell érteni. Természetes, hogy ez a probléma különösen foglalkoztatta a kémikusokat. Berthelot (Marcelin Berthelot, 1865) volt az első

tudós, aki a kémiai reakciók lejátszódásának lehetőségét termodinamikai fogalommal próbálta megmagyarázni. Berthelot a kémiai affinitást a felszabaduló hő nagyságával kísérte meg kapcsolatba hozni (exoterm reakciók). Végül is ez az elképzelés helytelennek bizonyult, mivel a természetben spontán módra olyan reakciók is lejátszódhatnak, melyek hőelnyeléssel járnak (endoterm reakciók). Ma a spontán kémiai reakciók lejátszódásának a lehetőségét a Gibbs-féle szabadenergia nagyságával állapítjuk meg. Ha a reakció lehetséges, akkor az a reakció a Gibbs-féle szabadenergia csökkenéséhez vezet (a ΔG értéke negatív előjelű, mivel a $p\Delta V$ munka kisebb a reverzibilis munkánál, $W_{\max}$), az adott körülmények között. Ilyenkor az entrópia értéke növekszik (a ΔS értéke pozitív előjelű).

Érdemes megemlíteni, hogy annak idején Gibbs a szabadenergiát „rendelkezésre álló energiának” (available energy) nevezte. Ezen megfontolások alapján Rant (Zoran Rant, 1956) megfogalmazta az exergia (exergy, ex-ergon, vagyis a „munkából”) fogalmát. Az exergia azt a munkát jelenti, amely ahhoz szükséges, hogy a rendszer az adott helyzetből az egyensúlyi helyzetbe kerüljön izotermikus körülmények között. Az egyensúlyi állapotban az exergia nullával egyenlő, akárcsak a Gibbs-féle szabadenergia.

A termodinamikai, valamint a fizikai és a kémiai egyensúlyi állapot

A termodinamikai rendszer egyensúlyi állapota a termodinamika nulladik főtételéből vezethető ki, és már a fent említett posztulátumon kívül más posztulátumok is megfogalmazhatók, melyek közül a legismertebbek a következők:

- bármely magára hagyott termodinamikai rendszer egy idő után egyensúlyi állapotba kerül, amelyből önmagától nem mozdulhat ki;
- egy egyensúlyban levő termodinamikai rendszer szabadságfokainak száma a környezetével megvalósítható kölcsönhatások számával egyenlő;
- a két testből álló magára hagyott termodinamikai rendszer egyensúlyban van, ha a testek között fellépő kölcsönhatásokat jellemző intenzív állapot-határozóik egyenlők.

A termodinamika második főtétele szerint a rendszerben csak olyan folyamat játszódhat le, amely a rendszer és a környezet együttes entrópiáját növeli. A termodinamikai egyensúly feltételei matematikailag a következőképpen írhatók le:

- Egyensúlyban az összentrópiának maximuma van: $\Delta S_r + \Delta S_k \geq 0$, ahol az S_r és S_k a rendszer, illetve a környezet entrópiáját jelenti.
- Zárt rendszerben állandó belső energia és térfogat esetén az egyensúlyt az entrópia segítségével így fejezhetjük ki: $\Delta S_{U,V} = 0$.

- Zárt rendszerben az izoterm-izochor folyamatok irányát és az egyensúlyt a Helmholtz-féle szabadenergiával fejezhetjük ki: $\Delta A_{T,V} \leq 0$ (egyensúly esetében nincs munkavégzés, $\Delta A_{T,V} = 0$).
- Zárt rendszerben az izoterm-izobár folyamatok irányát és az egyensúlyt a Gibbs-féle szabadenergiával fejezhetjük ki: $\Delta G_{T,p} \leq 0$ (egyensúly esetében nincs hasznos munkavégzés, $\Delta G_{T,V} = 0$).

A fizikai egyensúlyi állapotokat attól függően, hogy a fizika melyik ágát tárgyaljuk, sokféleképpen lehet megfogalmazni, így például a mechanikában az egyensúlyi állapot azt az állapotot jelenti, amelyben egy test minden pontjára ható erők és nyomatékok összege nullával egyenlő. A vízgőz nyomását a folyadék felületéről felszálló vízmolekulák, valamint a lecsapódó vízmolekulák egyensúlya szabja meg. Ilyen esetben fázisegyensúlyi állapotról beszélünk (vízpára és a lecsapódott folyadék egyensúlyi állapota). Az adszorpció fizikai-kémiai folyamat. Az egyensúlyi állapot állandó hőmérsékleten az adszorpciós izotermával írható le. Az adszorpciós gázizoterma meghatározza az adszorbens felületén adszorbeált gáz és a szabadgáz molekulák között fennálló egyensúlyi állapotot.

Kémiai egyensúlynak nevezzük azt az állapotot, amely valamely megfordítható kémiai folyamat során jött létre, makroszkopikusan változatlan, és benne az ellentétes irányú reakciók sebessége, valamint szabadenergiája egyenlő. A nem megfordítható reakciók esetében egyensúly állhat be a kiindulási anyagok és a termékek koncentrációja között. A kiindulási anyagok koncentrációja csökken, a termékeké nő az idő függvényében. Bővebben az egyensúlyi állapotokról (KISS 2014).

A Gibbs-féle fázistörvény (fázisszabály)

A Gibbs-féle fázistörvény (1875–1878) a többkomponensű, heterogén rendszer komponenseinek (C), fázisainak (P), szabadsági fokainak (F) száma és a külső állapotjelzők (p , T , c -koncentráció stb.) száma között állapít meg egyszerű, de általános érvényű összefüggést: $F = C - P + 2$. Az egyenletben a 2-es szám a két független változó (p , T) számát jelenti. Komponensnek nevezzük a rendszer kémiaiailag független alkotórészeit (egymástól függetlenül létező anyagfajtákat: atom- és molekulafajtákat). Ha a rendszer különféle molekulái között reakciók játszódhatnak le, a komponensek számát a jelen levő anyagfajták és a köztük lehetséges független reakciók számának különbségeként kell figyelembe venni. Fázisnak nevezzük a rendszer azonos fizikai és kémiai paraméterekkel rendelkező (homogén) légnemű, folyadék vagy szilárd halmazállapotú részeit. Nem egyszerűen a halmazállapot-fajtákról van szó, mert mind folyadék, mind szilárd

fázis többféle is jelen lehet a rendszerben. Szabadsági foknak a szabadon változtatható intenzív paraméterek számát nevezzük. Ezen intenzív állapotjelzők értékét egy bizonyos folytonos intervallumon belül szabadon választhatjuk meg anélkül, hogy a fázisok száma megváltozna: a fázis eltűnne vagy új keletkezne.

A fázisegyensúly általános feltétele, hogy állandó hőmérséklet és nyomás mellett az egyensúlyi fázisokban egyaránt jelen levő minden komponensre nézve be kell hogy álljon az izoterm-izobár egyensúly. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a szóban forgó komponens kémiai potenciálja (μ_B) a fázisokban ugyanakkora. A kémiai potenciál alatt parciális moláris szabadentalpiát kell érteni, vagyis parciális moláris Gibbs-energiát,

$$\mu_B = \left(\frac{\partial G}{\partial n_B} \right)_{p, T, n_{i \neq B}}, \text{ J/mol}$$

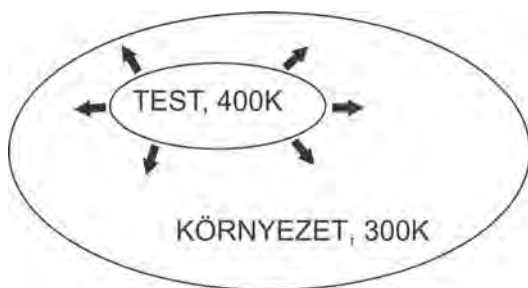
ahol G a rendszer Gibbs-energiája, J; n_B a B komponens anyagmennyisége, mol; p a nyomás, Pa; T a hőmérséklet, K.

*A zárt rendszerű egyensúlyi termodinamika bemutatása
számszerű példákon*

Az egyensúlyi termodinamika praktikus alkalmazására a természettudományokban szolgáljon a következő három példa a fizika, a kémia és a fizikai kémia tárgyköréből:

Első példa: Miért terjed a hő a melegebb testről a hidegebb felé?

Adatok: A test hőmérséklete 400 K, a környezet hőmérséklete 300 K, a lejátszó hőcsere nagysága 400 J.



Megoldás: A test entrópiaváltozása $\Delta S_{\text{test}} = -400 \text{ J}/400\text{K} = -1,00 \text{ J/K}$ (–400 J, mert a test hőt ad le, hőt veszít), a környezet entrópiaváltozása $\Delta S_{\text{kör}} = +400$

$J/300K = +1,33 \text{ J/K}$ (+400 J, mert a környezet hőt vesz fel). Az entrópiaváltozás summája $\Delta S_{\text{summa}} = \Delta S_{\text{test}} + \Delta S_{\text{kör}} = -1,00 \text{ J/K} + 1,33 \text{ J/K} = +0,33 \text{ J/K}$.

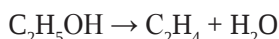
A test és környezet summájának entrópiaváltozása pozitív (+0,33 J/K), tehát a folyamat spontánszerű akkor, amikor a hő a magasabb hőmérsékletű testről az alacsonyabb hőmérsékletű környezet felé terjed.

Második példa: Vajon mi fog keletkezni standard körülmények között (25 °C/298K, 1 atmoszféra/101325 Pa) az etilalkohol melegítésekor, etén (etilén) vagy dietiléter?

Adatok: A lehetséges kémiai reakciókban szereplő vegyületek standard entalpiája és standard entrópiája ismert (lásd a táblázatot).

	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol, K
C_2H_5OH	-278050	158,84
C_2H_4	+52330	219,32
$(C_2H_5)_2O$	-281310	250,80
H_2O_{liquid}	-285700	70,64

Megoldás: Az etén az etilalkoholból a következő kémiai reakció útján keletkezhet:



A reakció entalpia-, illetve entrópiaváltozását kiszámíthatjuk a kémiai reakció termékei összegének és a kiinduló anyagok összegének különbségéből (a végállapot és a kezdőállapot különbsége).

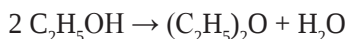
$$\Delta H^\circ_{\text{reakció}} = (52330 - 285700) - (-278050) = +44680 \text{ J/mol}$$

$$\Delta S^\circ_{\text{reakció}} = (219,32 + 70,64) - 158,84 = 131,12 \text{ J/mol, K}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reakció}} = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ = 44680 - 298 \cdot 131,12 = +5606,24 \text{ J/mol}$$

Az adott körülmények között az etilalkoholból etén nem keletkezhet, mivel a reakció Gibbs szabadenergiája pozitív.

Dietiléter etilalkoholból a következő kémiai reakció útján keletkezhet:



$$\Delta H^{\circ}_{\text{reakció}} = (-281310 - 285700) - 2 \cdot (-278050) = -10910 \text{ J/mol}$$

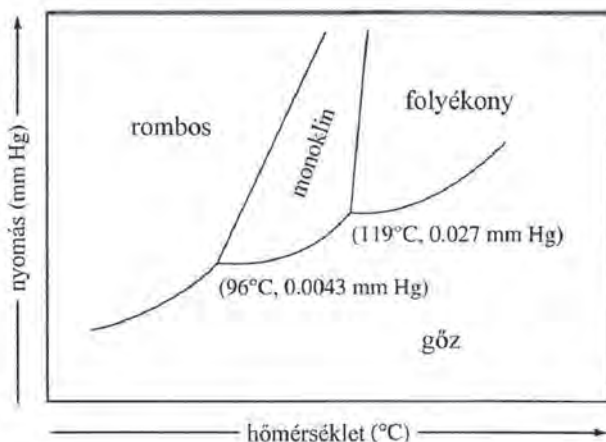
$$\Delta S^{\circ}_{\text{reakció}} = (250,80 + 70,64) - 2 \cdot 158,84 = + 3,76 \text{ J/K}$$

$$\Delta G^{\circ}_{\text{reakció}} = \Delta H^{\circ} - T \Delta S^{\circ} = -10910 - 298 \cdot 3,76 = -12030,48 \text{ J/mol}$$

Az adott körülmények megfelelnek a dietiléter keletkezésének, mivel a reakció szabadenergia-csökkenéssel jár (KIS 1987).

Harmadik példa: Lehetséges-e a kén ismert változatait egyensúlyba hozni?

Adatok: A kénnek a természetben két kristályos változata ismert (rombos és monoklin), valamint a folyékony és gáznemű változata, ahogyan azt a kén fázisdiagramja mutatja.



Megoldás: Felírjuk a Gibbs-féle törvény képletét. $F = C - P + 2$. Egykomponensű és négyfázisú rendszerről van szó, tehát $F = 1 - 4 + 2 = -1$. Az ilyen rendszernek a szabadságfoka (-1) volna. A szabadságfok (0) vagy valamilyen pozitív egész szám lehet. „Negatív szabadság” még a természetben sem létezik. Tehát ne kutassunk azután, hogy a kén lehetséges fázisait egyensúlyba hozzuk, mert az lehetetlen. Az egyensúlyi termodinamika általános fogalmainak bemutatása az irodalmi jegyzékben megjelölt enciklopédia alapján készült (BRLEK 1997).

NEM EGYENSÚLYI TERMODINAMIKA

A klasszikus termodinamika a folyamatokat zárt rendszerben és egyensúlyi állapotban tanulmányozza. A klasszikus termodinamikát nem érdekli sem a jelenségek története, sem a sebessége. A klasszikus termodinamika feltárja, mi

nem lehetséges, vagy mi nem valószínű. Ha nyílt termodinamikai rendszereket nem egyensúlyi vagy egyensúlyközeli állapotban tanulmányozunk, akkor a termodinamika újabb lehetőségeket nyújt a természet megismeréséhez.

A *nem egyensúlyi* (irreverzibilis) termodinamika a transzportfolyamatok idő és tér szerinti változásának egységes térelméleti leírására törekszik. A nyílt rendszerű termodinamikai folyamatokban a rendszer környezetével energiát (hő, munka) és anyagot is cserél. A biológiai rendszerek nagy része a nyílt termodinamikai rendszerekhez tartoznak, ahol az energia és az anyagcsere állandó folyamatban van. Ezek a folyamatok már olyan gyorsan játszódnak le, hogy visszafordíthatatlannak válnak, és ezért a rendszeren tartós változásokat idéznek elő. Az élővilágban ennek a folyamatnak a legismertebb természetes következménye az öregedés. Ez a jelenség természetesen jelen van a mechanikában (anyagöregedés, vasúti sínek előregeredése), az elektrotechnikában (elektromos vezetőkábelek öregedése) stb. A gyors változások a termodinamikai rendszerekben entrópia-energiavesztést okoznak. A transzport folyamatokban (energia- és anyagátvitel) egyes energiaformák visszafordíthatatlanul hőenergiává alakulnak át. Ezt a jelenséget Lord Rayleigh (John William Strutt, fizikai Nobel-díj, 1904) 1873-ban disszipációnak (vesztési függőségnek) nevezte el. Onsager (Lars Onsager, kémiai Nobel-díj, 1968) a jelenséget a következő egyenlettel általánosította: $dS/dt - I = \text{maximum}$. Az egyenletben a dS/dt kifejezés az entrópiaváltozás sebességét jelenti (entrópiaváltozás dS , a megfigyelt időben, dt), az I pedig azt az akadályt/ellenállást jelenti, ami az entrópianövekedést okozza (ONSAGER 1931a) és (ONSAGER 1931b). Egyes tudósok az Onsager-féle egyenletet *a termodinamika negyedik főtételének* nevezik. Morel és Fleck a termodinamika negyedik főtételét a következőképpen fogalmazták meg: „a termodinamikai rendszerek növelik az entrópiát a számukra elérhető maximális sebességgel” (MOREL 2006).

Az Onsager-féle egyenlet alkalmazást talált – mint már említettem – több tudományág területén, az elektrokémiában, a vegyészmérnöki számításokban stb. A nem egyensúlyi termodinamika mozgásegyenletét Onsager a következőképpen posztulálta: $J_k = \sum_j L_{kj} F_j$. Ahol a J_k – a k -adik extenzív érték áramlása/fluxusa; F_j – az áramlást előidéző erő; L_{kj} – az Onsager-féle állandó, vagyis a fenomenológiai együttható, amire a reciprocitási reláció érvényes, vagyis az $L_{kj} = L_{jk}$. Ez az egyenlet érvényes azokra a termodinamikai rendszerekre, amelyekben irreverzibilis folyamatok játszódnak le, és közel vannak az egyensúlyi állapothoz (ONSAGER 1968).

A biológiában, de különösen a fejlődésben, hogy az életet termodinamikai alapon meg lehessen magyarázni, az entrópiának egy „anti” változata született meg Schrödinger fejében (Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, fizikai Nobel-díj, 1933), a negentrópia. Ezen elmélet szerint a nyílt termodinamikai

rendszerekben, melyek még nem érték el az egyensúlyi állapotot, valamilyen elrendeződés állhat be, melynek a mértéke a negentrópia. A részlegesen rendezett termodinamikai rendszerek egymástól megkülönböztethetők a jelenség kezdetétől fogva. Ezek a különbségek fokozódhatnak a különböző sebességű anyag- vagy energiacsere következtében. A részlegesen rendezett termodinamikai rendszer egyes részei különböző távolságra lehetnek az egyensúlyi állapottól. A rendszer rendeződésének sebessége és tökéletesedése az anyag- és energiacsere sebességének a függvénye (Maximum Power Principle). Az Odum fivérek szerint (Howard Thomas Odum és Eugene Pleasants Odum, Crafoord Prize, 1987) az egyik energiafajta átalakulása valamilyen másik energiafajtvá különböző sebességgel játszódhat le. Ha például az egyik energiafajta gyorsan hővé alakul át, nem épülhet be a rendszerbe, mert szétszóródik a rendszer környezetére, és nem fog hozzájárulni a rendszer tökéletesedéséhez (ODUM 1955). Az Odum fivérek szerint a változásoknak vagy transzformációknak bizonyos optimuma van. Ez a gondolat tökéletesítette és közelebből meghatározta Lotka „Maximum Power Principle”-ét (CAI 2004). Az Odum fivérek elve „Maximum Em-Power Principle”-ként vált ismertté. Az Odum fivérek szerint minden rendszer arra törekszik, hogy maximalizálja a rendszerbe beépülhető energiát, amit *emergió*nak neveztek el („Every System tends to maximize the Flow of Processed Emergy”). Az emergia két szóból kovácsolódott össze (Embodied és Energy), amit magyarul talán a „megtestesült energia” szavakkal írhatnánk le. Az emergiát az energia minőségének és mennyiségének szorzata határozza meg. Az energia minősége alatt az energia átalakíthatóságát, az energia mennyisége alatt pedig az exergiát kell érteni, vagyis azt az energiamennyiséget, amely a rendszert az adott helyzetből az egyensúlyi állapotba eljuttatja.

$$Emergy = Energy\ transformity \cdot Exergy$$

$$Emergy = Energy\ Quality \cdot Energy\ Quantity$$

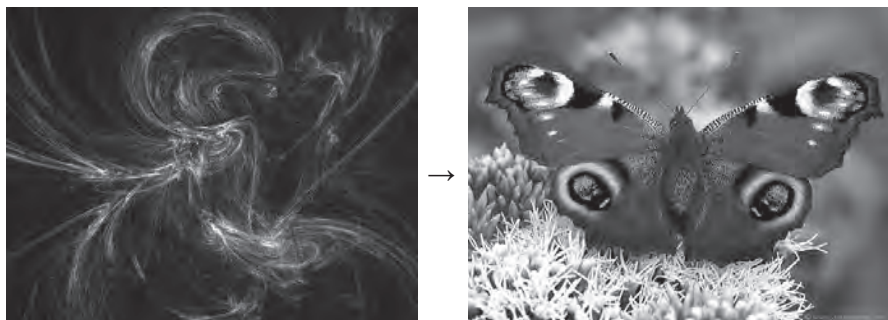
$$Megtestesült\ energia = Energia\ átalakíthatósága \cdot Exergia$$

$$Megtestesült\ energia = Energiaminőség \cdot Energiamennyiség$$

Az energiaminőség mérhető tulajdonság. Két azonos hőmennyiség közül az a minőségesebb, amelyik magasabb hőmérsékleten van. Ugyanaz a fényenergia-mennyiség esetében, az a fényenergia-mennyiség a minőségesebb, amelyiknek magasabb a frekvenciája. Elvben úgy lehetne fogalmazni, hogy az az energia a minőségesebb, amely gyorsabban átvihető, átalakítható. Számos tudós az Odum-féle „Maximum Em-Power Principle”-t a termodinamika negyedik fő-tételének tekinti, ami természetesen csak a nyitott termodinamikai rendszerekre érvényes (ODUM 1963). Világos, hogy az Onsager, főleg kémiai tudományokban alkalmazott egyenlete és az Odum fivérek fejlődéstani elmélete között je-

lentsős különbségek vannak. A tudósok kutatási területüktől függően a termodinamika negyedik főtételét különböző módon fogalmazták meg. Ez alapján véve nem is hiba és nem is szokatlan, hiszen a klasszikus termodinamika második főtételét is többféle módon fogalmazták meg és definiálták. A nem egyensúlyi termodinamikában a hő/anyag terjedésének sebességét vesszük figyelembe, és az akadályokat, amelyeket a transzport folyamán le kell küzdeni, a klasszikus termodinamikában pedig csak a változások irányáról beszélünk. Mégis joggal feltehetjük a kérdést: „Hány főtétele van a termodinamikának?” (KISS 2011)

Onsager óta több nagynevű tudós foglalkozott a nem egyensúlyi termodinamikával, mint például a Nobel-díjas Prigogine is (Ilya Romanovich Prigogine, kémiai Nobel-díj, 1977), de a nem egyensúlyi termodinamikát ma mégsem lehet teljesen kidolgozott és szigorúan meghatározott tudománynak tekinteni. Higgyünk abban, hogy jó utakon járunk, noha olyan szépség és szimmetria ki-fejlődése a káoszból, mint a vidékünkön is jól ismert nappali pávaszem lepke, egyenesen egyenlő a csodával (1. ábra).



1. ábra. A természet egyik remekműve, a káoszból lett pillangó

ZÁRÓSZÓ

A termodinamika minden olyan jelenség leírására alkalmas, ahol a hő vagy a hőmérséklet központi szerepet játszik. A zárt rendszerű termodinamika elvei alapján magyarázhatóak az alapvető termikus jelenségek (melegítés, hűtés, fázisátalakulások stb.), de a termodinamika szolgáltatja az alapot a kémiai és a fizikai folyamatok megértéséhez is. A kémia csak a termodinamika főtételeinek megfogalmazása után vált modern egzakt tudománnyá. A termodinamika (kémiai termodinamika) lehetővé teszi a kémiai reakciók lehetőségének előre-jelzését és a fizikai-kémiai folyamatok kivitelezésének matematikai kiszámíthatóságát. A klasszikus termodinamika csak arra mutat rá, hogy a szóban forgó kémiai reakció lehetséges-e vagy sem, de nem foglalkozik a kémiai reakciók sebességével. Megtörténhet, hogy a kémiai reakció lehetséges, de csak nagyon

lassan játszódhat le. Ilyenkor a vegyészeknek megfelelő reakciógyorsítók után (katalizátorok) kell kutatniuk, de ez már egy újabb tudományterület (kinetika) feladata.

A nyílt rendszerű nem egyensúlyi termodinamika szintén alkalmazást nyert az egzakt tudományokban, kémiában, fizikai kémiában, sőt a biológiában és a fejlődéstanban is. A nem egyensúlyi termodinamikát ma mégsem lehet teljesen kidolgozott és szigorúan meghatározott tudománynak tekinteni.

Megjegyzés: Az egyensúlyi termodinamika jelentős részét bemutattam a Bonaventurianum Ferences Fiúkollégium és Művelődési Ház lakóinak és vendégeinek Az emberek, akik az alkémiát eltemették címmel, Újvidéken, 2007-ben. A nem egyensúlyi termodinamikáról bővebben a Hány főtétele van a termodinamikának? című dolgozatomban írtam (lásd az idézett irodalmat).

IRODALOM

- BRLEK, Veljko 1997. *Termodinamika. Tehnička Enciklopedija*. Tom 13, Ter–Ž. (Glavni urednik Duško Štefanović). Leksikografski zavod „Miroslav Krleža”, Zagreb
- CAI, T. T., OLSEN, T. W., CAMPBELL, D. E., 2004. Maximum (em)power: a foundational principle linking man and nature, *Ecological Modelling* 178, 115–119.
- GREGORI-PUIGJANÉ, E., MESTRES, J., 2006. SHED: Shannon Entropy Descriptors from Topological Feature Distributions. *J. Chem. Inf. Model.*, 46, 1615–1622.
- KISS, E. Ernő, KISS, E. Ferenc 2011. *Hány főtétele van a termodinamikának?* A Magyar Tudomány Napja a Délvidéken, Újvidék, 2010. Proceedings 413–432. (Szerkesztő Szalma József). Vajdasági Magyar Tudományos Társaság, Újvidék
- KISS, E. Ernő, KISS, E. Ferenc 2014. *Termoökonómia – hőtani és közgazdasági paradigmák és analógiák*. A Magyar Tudomány Napja a Délvidéken, Újvidék, 2013. Proceedings 631–658. (Szerkesztő Szalma József). Vajdasági Magyar Tudományos Társaság, Újvidék
- KIŠ, E., LOMIĆ, G., MARINKOVIĆ-NEDUČIN, R., 1987. *Zbirka zadataka iz fizičke hemije*. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad
- LITZ, József 2005. *Fizika II*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- MOREL, R. E., FLECK, G., 2006. *A fourth law of thermodynamics*, Chemistry (History and Philosophy of Chemistry), 15, 4, 305–310.
- ODUM, H. T., PINKERTON, R. C. 1955. *Time's speed regulator: The optimum efficiency for maximum output in physical and biological systems*, Am. Sci., 43, 331–343.
- ODUM, H. T., 1963. *Limits of Remote Ecosystems Containing Man*. The American Biology Teacher, 25, (6), 429–443.
- ONSAGER, Lars 1931a. *Reciprocal relations in irreversible processes. I*. Physical Review, 37, 405–426.
- ONSAGER, Lars 1931b. *Reciprocal relations in irreversible processes. II*. Physical Review, 38, 2265–2279.
- ONSAGER, Lars 1968. *The motion of ions: principles and concepts*, Nobel Lecture, December 11, 272–288.

- PÓSA, Mihály 2012. *A Shannon-féle entrópia, mint molekula deskriptor a szteroid vázas vegyületeknél*. A Magyar Tudomány Napja a Délvidéken. Újvidék, 2011, Proceedings 560–566. (Szerkesztő Szalma József). Vajdasági Magyar Tudományos Társaság, Újvidék
- VUCINICH, Alexander 1963. *Science in Russian Culture: 1861–1917*. Stanford University Press, Stanford

The Development of Thermodynamics and its Role in Exact Sciences

During the nineteenth century and during the first decade of the twentieth century, the basic principles and laws of equilibrium thermodynamics for closed systems were defined. These findings have enabled the disciplines as physics, chemistry in particular, and the newly developed disciplines, as physical chemistry, etc. to become an exact science. In the twentieth century, especially in the second half of this century, research has shifted toward non-equilibrium thermodynamics for open systems. The achieved results of these studies have become applicable in predicting and calculating the corresponding transport processes in the above-mentioned disciplines. However, today's scope of the survey of non-equilibrium thermodynamics for open systems also spread to two new scientific disciplines, to biology and evolution.

Key words: thermodynamics, equilibrium and non-equilibrium thermodynamics, application, exact sciences

Razvoj termodinamike i njena uloga u egzaktnim naukama

U toku XIX veka i u prvoj deceniji XX veka definisani su osnovni principi i zakoni ravnotežnih zatvorenih termodinamičkih sistema. Ova saznanja su omogućila fizičci, a naročito hemiji, i iz ovih predmeta novo razvijenim disciplinama da postanu egzaktne nauke. U XX veku, a naročito u drugoj polovini XX veka istraživanja su pomerena prema ne-ravnotežnim otvorenim termodinamičkim sistemima. Postignuti rezultati ovih istraživanja postali su primenljivi u pretkazivanju i izračunavanju odgovarajućih transportnih procesa u gore navedenim naučnim disciplinama. Delokrug ne-ravnotežne termodinamike istovremeno se proširio i na dve nove naučne discipline, na biologiju i evoluciju.

Ključne reči: termodinamika, ravnotežna, ne-ravnotežna primena, egzaktne nauke

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Csonka Ákos¹

... Szegedi Tudományegyetem, ÁOK, Traumatológiai Klinika
... csonka.akos81@gmail.com

SZTEROID VEGYÜLETEK HATÁSA TUMOR SEJTVONALAKON *IN VITRO*

The Effect of Steroid Compounds on Various Tumor Cell Lines In Vitro

Uticaj steroidnih jedinjenja na ćelijske linije tumora in vitro

A kemoterápia sikertelenségének oka a tumorsejtekben lévő multidrog-rezisztencia (MDR) mechanizmusokban rejlik. Ezek közül az egyik legismertebb a membránban lokalizálódó különböző efflux pumpák fokozott expressziója. Korunk egyik égető problémája olyan új, hatékony vegyületek kifejlesztése, melyekkel képesek leszünk leküzdeni a tumorsejtek rezisztenciamechanizmusait. Az általunk szintetizált szteroid származékokat egér T-lymphoma, valamint humán prosztatarák sejtvonalakon vizsgáltuk meg *in vitro*. A vizsgált egér T-lymphoma sejtekben lévő multidrog-rezisztencia a humán *ABCB1*-génhez köthető. Ez azt jelenti, hogy a sejtmembránban lévő P-glikoprotein, más néven *ABCB1* transzporter efflux pumpa nagy mennyiségben kifejeződik a sejtekben, így a tumorsejtekbe jutó toxikus vegyületeket és kemoterápiás szereket képes eliminálni. A PC3 prosztatarák sejtvonalban megjelenő rezisztenciamechanizmusok a következők lehetnek: a gyógyszer kötő sejtfelszíni receptorok hiánya, a gyógyszer megváltozott metabolizmusa vagy a sejten belüli kötődési hely mutációja. A sztereoizomerek antiproliferatív hatását MTT-módszerrel vizsgáltuk. Az *ABCB1* transzporterre ható gátlást az *ABCB1* szubsztrát rhodamine123 sejten belüli akkumulációjával határoztuk meg, áramlási citometria segítségével. A doxorubicin és a szteroid vegyületek közötti kölcsönhatást is vizsgáltuk, ezen eredményeket CompuSyn software-rel interpretáltuk. A szteroidszármazékok *ABCB1* pumpára kifejtett gátló hatását a különböző szubsztituens csoportok befolyásolták. Annak ellenére, hogy a vizsgált szteroidszármazékoknak nincs markáns citotoxikus és antiproliferatív hatásuk a vizsgált sejtvonalakon, doxorubicinnel kombinálva legtöbbjük potenciálja annak hatását.

Kulcsszavak: multidrog-rezisztencia, *ABCB1* transzporter, egér T-lymphoma, PC3 prosztatarák sejtvonal, szteroidszármazékok

Spengler Gabriella¹, Ana Martins^{1,3}, Vincze Irén², Molnár József¹

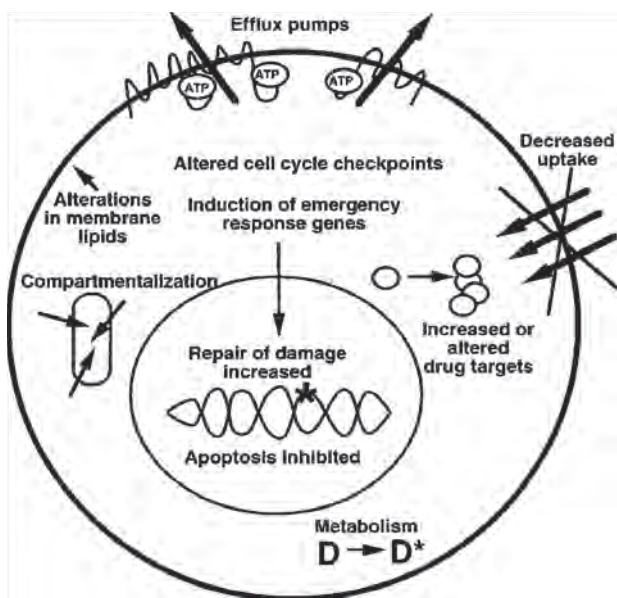
¹ Szegedi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Mikrobiológiai és Immunbiológiai Intézet

² Szegedi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Szerves Kémiai Tanszék

³ Unidade de Parasitologia e Microbiologia Médica, Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

A prosztatarák elsősorban az idősebb férfiak betegsége. Az életkor előrehaladásával kialakulásának valószínűsége egyre nő. Az Európai Unióban évente 417 000 megbetegedést diagnosztizálnak. Magyarországon minden évben kb. 1250 férfi halálát okozza. A prosztatarák és az egészséges prosztata működésében is fontos szerepet játszanak a mellékhere Leydig-féle intersticiális sejtjei által termelt tesztoszteron és 5α -dihydrotesztoszteron hormonok. A klinikumban ezt az androgén dependenciát próbáljuk kihasználni a tumorsejtek kezelése során. A betegség megelőzéséhez, illetve a már kialakult tumor progressziójának monitorozásához a mindennapi gyakorlatban jól használható a PSA (prosztata specifikus antigén) nevű glycoprotein enzim szintjének vérmintából történő mérése. A szakirodalomban egyéb elnevezéseivel is találkozhatunk mint például Gamma-seminoprotein vagy kallikrein-3. Normál értéke 4 ng/ml-nél kisebb, de egyes szerzők ezt a határt 2,5 ng/ml alatt tartják elfogadhatónak.

A kemoterápia sikertelenségének oka a tumorsejtekben lévő multidrog-rezisztencia (MDR) mechanizmusokban rejlik (1. ábra). Ezek közül az egyik legismertebb a membránban lokalizálódó különböző efflux pumpák fokozott expressziója. Ilyen efflux pumpák az ABC-transzporterek, melyek az egyik legnagyobb és legősibb fehérje szupercsalád. Emberben eddig kb. ötven ABC-transzportert azonosítottak, melyeket hét alcsaládba soroltak ATP-kötő doménjük (NBF – nucleotide binding fold) aminosavsorrendje és elrendeződé-



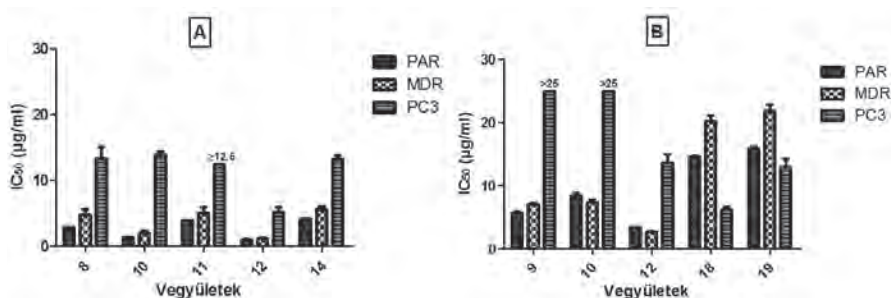
1. ábra. MDR efflux rendszerek

se alapján. A transzportált anyagok lehetnek gyógyszerek, metabolitok, lipidek, szteroidok. Korunk egyik égető problémája olyan új, hatékony vegyületek kifejlesztése, melyekkel képesek leszünk leküzdeni a tumorsejtek rezisztenciamechanizmusait.

A különböző szteroid vegyületek prosztatarák sejtvonalon történő vizsgálatának alapját annak androgéndependenciája adja. A szteroidok a lipidek családjába tartozó szerves molekulák. Alapvázuk az úgynevezett gonánváz vagy perhidro-ciklopentano-fenantrenváz. Négy gyűrűből áll, melyek közül az A, B, C gyűrű ciklohexán, a D pedig ciklopentán gyűrű. Az állatokban, növényekben és gombákban több száz szteránváz vegyület található. Állatok és gombák esetén lanoszterinből, növények esetén pedig cikloarteninből keletkeznek szqualén nevű triterpén típusú molekulából ciklizációs folyamat révén.

Az általunk szintetizált 23 szteroid származékot egér T-lymphoma, valamint humán prosztatarák sejtvonalakon vizsgáltuk meg *in vitro*. A vegyületek közti különbséget a szubsztituált csoportok adták, alapvázuk egységesen a szteroid gonánváz volt. A vizsgált egér T-lymphoma sejtekben lévő multidrog-rezisztencia a humán *ABCB1*-génhez köthető. Ez azt jelenti, hogy a sejtmembránban lévő P-glikoprotein, más néven ABCB1 transzporter efflux pumpa nagy mennyiségben kifejeződik a sejtekben, így a tumorsejtekbe jutó toxikus vegyületeket és kemoterápiás szereket képes eliminálni. A PC3 prosztatarák sejtvonalban megjelenő rezisztenciamechanizmusok a következők lehetnek: a gyógyszert kötő sejtfelszíni receptorok hiánya, a gyógyszer megváltozott metabolizmusa vagy a sejten belüli kötődési hely mutációja.

A sztereoizomerek antiproliferatív és citotoxikus hatását MTT-módszerrel vizsgáltuk (2. ábra). A sejtekre gyakorolt hatást 96 lyukas mikrolemezen vizsgáltuk. A sejtekhez a vizsgált vegyületeket emelkedő koncentrációban adtuk hozzá. A gátló hatást az IC_{50} értékek meghatározásával végeztük. MTT (3-[4.5-dimethylthiazol-2-yl]-2.5 diphenyl tetrazolium bromide) -módszer-



2. ábra. A leghatékonyabb szteroid vegyületek antiproliferatív (A) és citotoxikus (B) hatása PAR/MDR egér T-lymphoma és PC3 prosztatarák sejtvonalon

rel történt a kolorimetriás detektálás Multiscan EX ELISA készülékkel. Az IC_{50} értékek számítását GraphPad Prism software-ral végeztük. Az ABCB1 transzporterre ható gátlást az ABCB1 szubsztrát rhodamine123 sejten belüli akkumulációjával határoztuk meg, áramlási citometria segítségével (1. táblázat). A vizsgálat során a fluoreszcencia aktivitási hányadost (FAR-érték) számoltuk ki. Ez mutatja a sejtekben felhalmozódott rhodamine123 mennyiségét.

Vegyületek	FAR	Vegyületek	FAR
Verapamil	17.21	13	58.79
1	54.28	14	2.20
2	37.64	15	1.76
3	59.28	16	75.48
4	37.92	17	16.69
5	29.07	18	77.41
6	9.21	19	52.90
7	10.21	20	45.82
8	1.47	21	1.07
9	39.14	22	10.43
10	1.19	23	12.26
11	2.77	DMSO	0.78
12	7.41		

1. táblázat. ABCB1 transzporterre ható gátlás humán ABCB1 (MDR1) génnel transzfektált egér T-lymphoma sejtvonalon. FAR=Fluoreszcencia aktivitási hányados

A verapamilt pozitív kontrollként alkalmaztuk, mely fokozta a sejtek szenzitivitását a rhodamine123 akkumulációjának tekintetében. A méréseket Partec CyFlow készülékkel végeztük. A 23 szteroid vegyület és a mindennapi gyakorlatban alkalmazott kemoterápiás szer, a doxorubicin közötti kölcsönhatást is vizsgáltuk PC3 sejtvonalon. A sejtekre gyakorolt hatást ebben az esetben is 96 lyukas mikrolemezen vizsgáltuk. Ezen eredményeket CompuSyn software-ral interpretáltuk (2. táblázat). A szteroid származékok ABCB1 pumpára kifejtett gátló hatását a különböző szubsztituens csoportok befolyásolták. Annak ellenére, hogy a vizsgált szteroidszármazékoknak nem volt markáns citotoxikus és antiproliferatív hatásuk a vizsgált sejtvonalakon, doxorubicinnel kombinálva legtöbbjük potenciálja annak hatását. Ennek hátterében a szubsztituált csoportok jellege állhat, de ez még további vizsgálatok tárgyát képezi.

Vegyületek	Arány	CI	Interakció
1	5:1	0.44	Szinergizmus
2	5:1	0.47	Szinergizmus
3	10:1	0.91	Nincs kölcsönhatás
4	5:1	0.28	Jelentős szinergizmus
5	5:1	0.82	Mérsékelt szinergizmus
8	10:1	0.4	Szinergizmus
9	10:1	0.17	Jelentős Szinergizmus
10	10:1	0.26	Jelentős Szinergizmus
12	5:1	0.55	Szinergizmus
14	10:1	0.29	Jelentős Szinergizmus
16	10:1	0.53	Szinergizmus
17	10:1	0.38	Szinergizmus
18	10:1	0.96	Nincs interakció
19	20:1	0.61	Szinergizmus
22	20:1	0.27	Jelentős szinergizmus
23	20:1	0.3	Szinergizmus

2. táblázat. Doxorubicin és a 23 szteroid vegyület közötti kölcsönhatás PC3 sejtvonalon. CI=Kombinációs index

IRODALOM

- Catalona, W. J., Richie J. P., Ahmann F. R., Hudson M. A., Scardino P. T., Flanigan R. C., Dekernion J. B., Ratliff T. L., Kavoussi L. R., Dalkin B. L. 1994. Comparison of digital rectal examination and serum prostate specific antigen in the early detection of prostate cancer: Results of a multicenter clinical trial of 6630 men. *The Journal of urology* 151 (5): 1283–1290.
- Chou T. C., Martin N. 2005. CompuSyn for Drug Combinations. PC Software and User's Guide: A Computer Program for Quantitation of Synergism and Antagonism in Drug Combinations, and the Determination of IC_{50} and ED_{50} and LD_{50} Values, ComboSyn Inc, Paramus, (NJ).
- Cornwell M. M., Pastan I., Gottesman M. M. 1987. Certain calcium channel blockers bind specifically to multidrug-resistant human KB carcinoma membrane vesicles and inhibit drug binding to P-glycoprotein. *J Biol Chem.* 262: 2166–2170.
- Ferlay J., Steliarova-Foucher E., Lortet-Tieulent J., Rosso S., Coebergh J. W. W., Comber H., Forman D., Bray F. 2013. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries in 2012. *European Journal of cancer* 49 (6): 1374–1403.
- Gottesman M. M. 2002. Mechanisms of cancer drug resistance. *Annu Rev Med* 53: 615–627.

The Effect of Steroid Compounds on Various Tumor Cell Lines In Vitro

The lack of effectiveness of chemotherapy lies in the multidrug resistance mechanisms (MDR) found in tumor cells. The most known among these mechanisms is the increased expression of membrane-localized efflux pumps. A burn-

ing issue of our times is to develop new efficient compounds to overcome the resistance mechanisms of tumor cells. Our new steroid derivatives were examined *in vitro* on mouse T-lymphoma as well as on cell lines of human prostate cancer cell lines. MDR found in mouse T-lymphoma cells can be linked with the ABCB1 gene. This means that the P-glycoprotein found in the cell membrane, also called as ABCB1 transporter efflux pump, is overexpressed in cells, eliminating thus the effect of toxic compounds and chemotherapeutic agents in tumor cells. The resistance mechanisms occurring in the PC3 prostate cancer cell line can be as follows: the lack of receptors in surface cells binding the drug; altered drug metabolism; or the mutation of the binding place within the cell. The antiproliferative effect of stereoisomers was examined by MTT method. The inhibiting effect on ABCB1 transporter was determined by the accumulation of ABCB1 substrate in rhodamine 123 cells with flux cytometry. We also examined the interaction between the doxorubicin and the steroid compounds, interpreting the results using CompuSyn software. The inhibition of steroid compounds on ABCB1 pump was influenced by various substituents. Despite the fact that the examined steroid derivatives have no pronounced cytotoxic and antiproliferative influence on the examined cell lines, combined with doxorubicine, most of them enhance the influence.

Key words: multidrug resistance, ABCB1 transporter, mouse T-lymphoma, PC3 prostate cancer cell line, steroid derivatives

Uticaj steroidnih jedinjenja na ćelijske linije tumora in vitro

Razlog neuspešnosti kemoterapije krije se u mehanizmima multidrog-rezistencije (MDR). Jedan od najpoznatijih je povećana ekspresija raznih efleks-pumpi lokalizovanih uz ćelijsku membranu. Jedan od gorućih problema današnjice je razvijanje novih, efikasnih hemijskih jedinjenja kojima ćemo moći savladati mehanizme rezistencije ćelija tumora. Derivati steroida koje smo sintetizovali, ispitivali smo *in vitro* na ćelijskim linijama T-limfoma miša kao i na ćelijskim linijama ljudskog raka prostate. Multidrog-rezistencija u posmatranim ćelijama mišjeg T-limfoma može se vezati za humani ABCB1-gen. To znači da je P-glikoprotein u ćelijskoj membrani, drugim rečima ABCB1 transporter efleks-pumpa u velikoj meri se javlja u ćelijama, te je sposobna da eliminiše toksična jedinjenja i kemoterapijska sredstva koja su prodrli u ćelije tumora. Mehanizmi rezistencije koji se javljaju u PC3 ćelijskim linijama ljudskog raka prostate mogu imati sledeće uzroke: nedostatak površinskih ćelijskih receptora koji vezuju lekove, promenjen metabolizam lekova, ili pak, mutaciju mesta vezivanja unutar ćelije. Antiproliferativno dejstvo stereoisomera analizirali smo MTT-metodama. Inhibiciju, koja utiče na ABCB1 transporter, odredili smo

pomoću unutarćelijske akumulacije ABCB1 supstrata rodamina123, primenom protočne citometrije. Posmatrali smo i interakciju između doksorubicina i steroidnih jedinjenja, a dobijene rezultate interpretirali smo pomoću softvera CompuSyn. Supstituenti derivata steroida su uticali na inhibiciju ABCB1 pumpe. Uprkos tome što ispitivani derivati steroida ne ispoljavaju markantno citotoksično i antiproliferativno dejstvo na posmatrane ćelijske linije, u kombinaciji sa doksorubicinom većina njih potencira njegov uticaj.

Ključne reči: multidrogo-rezistencija, ABCB1 transporter, T-limfoma miša, PC3 ćelijska linija raka prostate, derivati steroida

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Hunyadi Dávid

· Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
· Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar
· Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék
· david.hunyadi89@gmail.com

AZ AMMÓNIUM-PARAVOLFRAMÁT, (NH₄)₁₀[H₂W₁₂O₄₂]·4H₂O, IPARI ALAPANYAG ELŐÁLLÍTÁSA EGY ÚJ SZILÁRD-GÁZFÁZISÚ HETEROGÉN REAKCIÓVAL

*The Development of Alternative Production of Ammonium-
Paravolframate, (NH₄)₁₀[H₂W₁₂O₄₂]·4H₂O, Industrial Raw Material*

*Proizvodnja industrijske sirovine amonijum-paravolframata
(NH₄)₁₀[H₂W₁₂O₄₂]·4H₂O pomoću nove, čvrste-gasfaze
heterogene reakcije*

Az ammónium-paravolframát (APT) a volfrámipar legfontosabb alapanyaga, melyből különböző volfrám-oxidok, volfrám-karbid és fém volfrám állítható elő. Ma az iparban az APT-t egy többlépcsős nedves kémiai eljárással állítják elő. Ebben a tanulmányban azt vizsgáltuk, hogy lehetséges-e APT-t előállítani WO₃, NH₃ és H₂O közötti szilárd-gázfázisú heterogén reakcióval. A reakció tanulmányozása mellett a reakciókörülmények hatását is megvizsgáltuk a reakciótermékekre: a WO₃ por összetétele, szerkezete, szemcsemérete, NH₃ parciális nyomása.

Az általunk elkészített APT-t XRD, Raman, FTIR, TG/DTA-MS mérésekkel jellemeztük, és arra jutottunk, hogy megegyezik a kereskedelmi APT-vel, helyettesíteni tudja azt. A SEM- és TEM-felvételeken látszott, hogy sikerült nanoszemcsés APT-t előállítani, ez korábban még senkinek se sikerült.

Kulcsszavak: ammónium-paravolframát, szilárd-gázfázisú, heterogén reakció, WO₃, NH₃

Szilágyi Imre Miklós^{1,2}, Pokol György¹

¹ Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest

² MTA-BME Anyagszerkezeti és Modellezési Kutatócsoport, Budapest

BEVEZETÉS

Az ammónium-paravolframát (APT), $(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ($x=4,7,10$) a volfrámipar központi alapanyaga. Ipari körülmények között csak az $\text{APT} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ forma stabil [1]. Az APT-ból többek között volfrám-oxidot, volfrám-karbidot és volfrámot állítanak elő. A volfrám-oxidokat katalizátorként [2-5], fotokatalizátorként [6–10] és gáz szenzorként [11–18] alkalmazzák. A volfrám-karbid is felhasználható katalizátorként [19, 20], illetve keménységének köszönhetően vágószerszámok, fűrók alapanyaga [21–23]. A volfrám a fényforrásiparban [1, 24–28], a fémkohászatban [29, 30], sport- és orvosi eszközökben [31, 32] és az elektronikai iparban [32] kerül felhasználásra.

Ma az APT-t az iparban nedves kémiai eljárással állítják elő. Ez egy többlépéses folyamat, mely jól feltérképezett, ugyanis alapvető fontossága miatt az APT előállítását már évtizedek óta kutatják. A gyártás nyersanyagai dúsított WO_3 -tartalmú ércek (volframit, Fe , MnWO_4 és scheelit, CaWO_4), melyek általában 65–75% WO_3 -tartalommal bírnak. Emellett a gyártáshoz volfrám tartalmú hulladékokat is felhasználnak, ilyen például a különféle ötvözetek és a volfrám megmunkálása során keletkező iszap, volfrám-karbid és volfrám-oxid. Ezek a hulladékok a legtöbb esetben 40–95% volfrámot tartalmaznak. Az előkezelés során a hulladékokból hevítéssel WO_3 -t állítanak elő [1].

A gyártás első lépése a lúgos feltárás, mely célja a WO_3 és az ércek feloldása, vízzeloldható Na_2WO_4 -á alakítása és a meddő kőzetek elválasztása. Feltáró reagensként NaOH - vagy Na_2CO_3 -oldatot használnak; az utóbbi szelektívebb, mivel kevésbé oldja a szennyezőket. A gyakorlatban a volframitot tömény NaOH -oldatban oldják melegítés közben légköri nyomáson. A jobb szelektivitás érdekében hígabb oldat is használható, azonban ilyenkor légkörinél nagyobb nyomás szükséges. A scheelithez Na_2CO_3 -oldatot használnak, hátránya az előző módszerhez képest, hogy itt 3,3-szoros mennyiségű Na_2CO_3 kell, míg NaOH esetén 1,5-szeres. Az előkezelés során előállított WO_3 -mat NaOH -oldatban oldják fel [1].

A következő lépés a kapott vizes Na_2WO_4 -oldat megtisztítása a szennyezésektől. Az oldatban található nagyobb mennyiségű szennyező ionok: szilikát, arsenát, foszfát, molibdát, fluorid, ólom, bizmut és alumínium. Az első lépésben a szilikationokat csapják ki alumínium-szulfát és magnézium-szulfát hozzáadásával [1]. A kicsapást pH 9–9,5-n melegen végzik, a keletkező csapadék sokszor nehezen szűrhető. A feltárás során oldhatatlan szennyezők segítik a szűrést, ezért bizonyos technológiákban a feltárás során oldhatatlan szennyezőket és az itt keletkező csapadékot egyszerre szűrik le. Ebben a lépésben a szilikationok mellett a foszfát- és fluoridionokat is kicsapják. A második kicsapási lépést pH 2,5–3-n végzik. A pH csökkentését nagy mennyiségű kénsav hozzáadásával érik

el, és ennek következményeként több tonna Na_2SO_4 keletkezik. Ebben a lépésben a molibdént szulfid formában csapják ki [1]. A reakcióban nagy mennyiségű H_2S és CO_2 gáz is fejlődik, melyeket NaOH -oldatban nyeletnek el. A molibdén eltávolítására egy másik módszer is használható, mely során NaS hozzáadásával pH 8,2–8,4-t állítanak be, majd aktív szénes derítést alkalmaznak [1]. Az oldatban levő Na^+ ionok koncentrációját elektrodialízissel csökkentik, a dialízis során a Na_2WO_4 -ból polikondenzációval nátrium-izopolivoframát keletkezik. Az itt kinyert Na^+ ionokat NaOH -oldat regenerálásra használják fel [1].

A tisztítást az ioncsere követi, mely során a Na^+ ionokat NH_4^+ ionokra cserélik. Ennek két megvalósítása lehetséges: az oldószeres extrakció, valamint ioncserélő gyanták használata. Az iparban az előbbi megoldás az elterjedtebb. Az extrakció előtt a nátrium-izopolivoframát az enyhén savas vizes oldatban található, melyhez fázistranszfer-katalizátort tartalmazó szerves oldószert adnak. A szerves oldószer leggyakrabban kerozin, ilyenkor oldódásjavító adalék hozzáadása is szükséges. A fázistranszfer-katalizátor átoldja a szerves fázisba a polivoframát ionokat. Fázistranszfer-katalizátorként hosszú szénláncú (C_8 – C_{10}) primer, szekunder, terciér aminokat vagy ammóniumsókat használnak. A fázistranszfer-katalizátor kiválasztása az oldat szennyezés-profiljától függ. Ez a lépés rendkívül érzékeny a körülményekre: a WO_3 -koncentráció a kiindulási vizes oldatban, a vizes fázis pH-ja, a WO_3 -koncentráció a szerves fázisban, a vizes/szerves fázisok aránya és a hőmérséklet [1]. Az extrakció után a fázisokat szétválasztják, és a polivoframát tartalmú szerves fázisból desztillált vízzel kimossák a Na_2SO_4 -nyomokat. Ezt követően a szerves fázishoz vizes NH_3 -oldatot adnak, a keletkező ammónium-polivoframát a vizes fázisban lesz. Ennél a lépésnél figyelni kell arra, hogy a pH 8 és 13 között legyen, valamint az ammónia-koncentrációra és a vizes/szerves fázis arányára. A szerves fázist ezután regenerálják és visszaforgatják [1]. Az ioncsere végén egy ammónium-polivoframát tartalmú vizes oldatot kapnak, melyből kristályosítással nyerik ki az APT-t.

A kristályosítás során először bepárolják az oldatot. A bepárlás foka (90–95%) a kiindulási oldat tisztaságától függ. A keletkező NH_3 gázt és a maradék anyalúgot visszaforgatják, így csökkentve a környezetszennyezést. A bepárlás során vízgőz és NH_3 gáz távozik, ennek következtében csökken a pH és nő a WO_3 -koncentráció az oldatban. A pH-csökkenés következtében úgynevezett paravolframát A ionok, $[\text{HW}_6\text{O}_{21}]^{5-}$ keletkeznek, melyek egyensúlyi reakcióban részlegesen átalakulnak paravolframát B ionná, $[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}]^{10-}$. Az APT, $(\text{NH}_4)_{10}\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ a paravolframát B ionokból kristályosodik ki.

Látható, hogy ez az eljárás meglehetősen bonyolult, a tisztítási és extrakciós lépések rendkívül pH-érzékenyek. Emellett a nedves kémiai eljárás rendkívül vegyszer- és energiaigényes, és a környezetet is nagymértékben megterheli: a lúgos feltárás során háromszoros mennyiségű Na_2CO_3 -ra van szükség, a savas

pH beállítása jelentős mennyiségű kénsavval történik, a reakció következményeként több tonnányi Na_2SO_4 keletkezik.

Mivel a WO_3 jól oldódik ammóniaoldatban, és az így kapott oldatból APT-t lehet kinyerni, ezért kérdésként merült fel, hogy lehetséges-e APT-t előállítani WO_3 por, NH_3 és H_2O gőz reakciójával is. Kiindulási anyagként a WO_3 -ot választottuk, ugyanis ez a volfrámipar egyik végterméke, sokszor hulladékként is előfordul. A WO_3 jól oldódik tömény alkáli lúgokban, és így az iparban a WO_3 -ot is újrahasznosítják, és nedves kémiai úton APT-t állítanak elő belőle. A WO_3 tömény NH_3 -oldatban is jól oldódik, és több lépésben APT-t lehet belőle kristályosítani [1].

KÍSÉRLETI RÉSZ

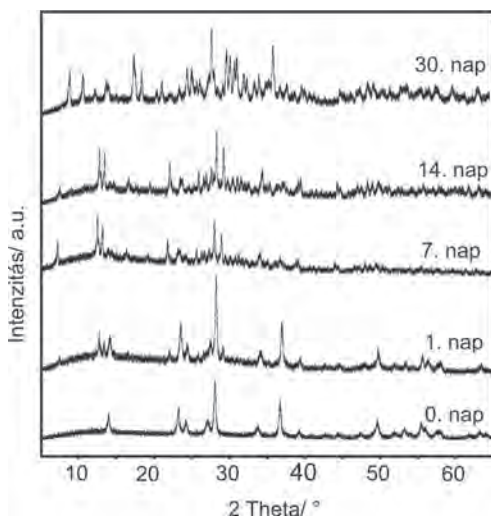
Munkánk során a WO_3 , NH_3 és H_2O közötti szilárd-gázfázisú heterogén reakciót térképeztük fel, és tanulmányoztuk a reakciókörülmények hatását a reakciótermékekre. A WO_3 , NH_3 és H_2O közötti reakciót úgy végeztük, hogy egy lezárt reaktorba szobahőmérsékleten WO_3 port és vizes NH_3 -oldatot helyeztünk, melyek csak gázfázisban tudtak érintkezni. Összesen 11 reakciót végeztünk el, az első kísérletsorozat (1–4) esetében a WO_3 minták összetételének (1 – oxidált, 2 – részlegesen redukált) és a kristályszerkezetének (3 – monoklin, 4 – hexagonális) hatását vizsgáltuk. A második kísérletsorozat (5–11) esetén a WO_3 szemcseméretének (100–300 nm [5–8], 70–90 nm [9–11]) és az NH_3 parciális nyomásának hatását (1. táblázat) vizsgáltuk. Az NH_3 parciális nyomását a felhasznált vizes NH_3 -oldat koncentrációjával szabályoztuk. A különböző WO_3 -mintákat minden esetben a kereskedelmi APT, illetve HATB (hexagonal ammonium tungsten bronze), $(\text{NH}_4)_{0,33-x}\text{WO}_{3-y}$ szabályozott hevítésével állítottuk elő (1. táblázat). A reakciók követése és a reakciótermékek karakterizálása por-röntgendiffrakciós (XRD) mérésekkel történt. Az XRD diffrakrogramokat egy PANalytical X’pert Pro MPD X-ray készülékkel vettük fel Cu K_α sugárzásforrás használatával.

Nr.	Kiindulási oxidok elkészítése a reakciókhoz			Szilárd-gázfázisú heterogén reakció körülményei		
	Prekurzor az oxidhoz	Atmosz- féra	Hőmér- séklet (°C)	Kiindulási oxid a reakcióhoz	NH ₃ parciális nyomása (kPa)	H ₂ O parciális nyomása (kPa)
1	APT	levegő	600	m-WO ₃	43,40	1,37
2	APT	nitrogén	600	m-WO ₃ redukált	43,40	1,37
3	HATB	levegő	600	m-WO ₃	43,40	1,37
4	HATB	levegő	470	h-WO ₃	43,40	1,37
5	APT	levegő	600	m-WO ₃	0,15	2,34
6	APT	levegő	600	m-WO ₃	1,56	2,28
7	APT	levegő	600	m-WO ₃	0,77	2,32
8	APT	levegő	600	m-WO ₃	12,23	1,97
9	HATB	levegő	600	m-WO ₃	0,15	2,34
10	HATB	levegő	600	m-WO ₃	1,56	2,28
11	HATB	levegő	600	m-WO ₃	0,77	2,32

1. táblázat. A különböző WO₃-k elkészítése a prekurzorok termikus bomlásából és a WO₃, NH₃, H₂O gőz közötti szilárd-gázfázisú heterogén reakciók körülményei

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

1–4 esetében az NH₃ parciális nyomása minden esetben 43,40 kPa volt. A reakciótermékek és az intermedierek megegyeztek ezen 4 reakció esetében. Ezért itt csak a 4-t mutatom be részletesen (1. ábra), ugyanis az intermedierek itt voltak a legkristályosabbak. A kristályszerkezetben már 1 nap után is változás volt tapasztalható, ugyanis az XRD-diffraktogramon új csúcsok jelentek meg. Egy hét után egy többfázisú keverékhez jutottunk, a fázisok közül a W₅O₁₄-t (PDF 07-2137) és a (NH₄)₂W₂O₇·0.5H₂O-t sikerült azonosítani. Ezen fázisok megjelenése jelentős eredmény volt, hiszen a (NH₄)₂W₂O₇·0.5H₂O-t nem állították még elő korábban, a W₅O₁₄-t pedig eddig csak magas hőmérsékleten, vákuumban sikerült előállítani [33, 34]. A (NH₄)₂W₂O₇·0.5H₂O nem szerepelt az ICDD-adatbázisban, ezért a hasonló kristályszerkezetű Na₂W₂O₇·0.5H₂O-t (PDF 10–4500) használtuk fel az azonosításhoz. Ezek az intermedierek 30 nap elteltével APT-vé (PDF 40–1470) alakultak át.



1. ábra. A 4-es reakció diffraktogramjai különböző időpontokban

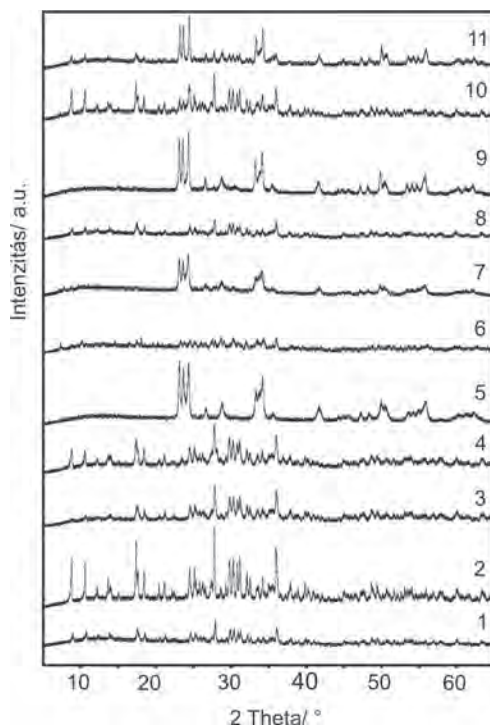
A 2. ábrán látható az összetétel hatása. A legjobb minőségű APT-t a részlegesen redukált $m\text{-WO}_3$ -ból (2) sikerült előállítani. Ennek az oxidnak van a legtorzultabb kristályrácsa [35], ezért könnyebben tud átalakulni, feltehetőleg emiatt kaptuk a legjobb minőségű APT-t ebből az oxidból. A kristályszerkezet hatása is látható (2. ábra), ugyanis a szintén kissé torzult kristályrácsú [35] hexagonális oxidból (4) jobb minőségű APT-t kaptunk, mint a monoklin oxidból (1, 3).

A második kísérletsorozatban (5–11) a WO_3 szemcseméretének és az NH_3 parciális nyomásának hatását vizsgáltuk. Amikor az NH_3 parciális nyomása 12,23 kPa volt (8), ugyanazokat a redukált átmeneti fázisokat kaptuk, mint 1–4 esetén, azonban itt kevésbé voltak kristályosak. Ennek az oka valószínűleg az lehetett, hogy a kisebb NH_3 parciális nyomás miatt kisebb volt az NH_3 redukáló hatása. Harminc nap múlva egy kevésbé kristályos APT-fázist kaptunk (2. ábra).

Kiseb NH_3 parciális nyomás esetén látható a szemcseméret hatása. 1,56 kPa-n 6 (100–300 nm) főterméke az $\text{APT}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (PDF 55–0763) volt, azonban 10 (70–90 nm) kizárólag a várt $\text{APT}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ -á alakult át. Ez egy jelentős eredmény volt, hiszen egy új utat találtunk az $\text{APT}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ előállítására (2. ábra).

0,77 kPa-n 7 (100–300 nm) diffraktogramján 30 nap után csupán apró APT-csúcsok láthatóak, a minta nagyrészt a kiindulási $m\text{-WO}_3$ -t tartalmazta. 11 (70–90 nm) nagyobb mértékben alakult át APT-vé (2. ábra). Ennek az oka, hogy a nagyobb részecskeméret lassítja a reakció sebességét.

0,15 kPa-n **9** (70–90 nm) esetében nagyon apró APT-csúcsok voltak csak megfigyelhetők. **5** (100–300 nm) teljesen a kiindulási oxid maradt. Ezen eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ha az NH_3 parciális nyomása túl alacsony, akkor a reakció túl lassú ahhoz, hogy 30 nap alatt észrevehető változást okozzon a kristályszerkezetben (2. ábra).



2. ábra. A reakciótermékek diffraktogramjai 30 nap után

ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként elmondható, hogy sikerült elérni a kitűzött célokat, egy teljesen új módszerrel, szilárd-gázfázisú heterogén reakcióval sikerült APT-t előállítani. Az új módszer egyszerű, és nem érzékeny a reakció körülményeire, ellenben az összetettebb és érzékenyebb nedves kémiai eljárással. Emellett elsőként sikerült $(\text{NH}_4)_2\text{W}_2\text{O}_7 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ -t előállítanunk, illetve a W_5O_{14} és az $\text{APT} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ esetében egy új előállítási módot találtunk.

IRODALOM

- [1] E. Lassner, W. D. Schubert, Tungsten properties, chemistry, technology of the element, alloys, and chemical compounds, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 1999.
- [2] C. Hammond, J. Straus, M. Righettoni, S. E. Pratsinis, I. Hermans, Nanoparticulate tungsten oxide for catalytic epoxidations. *ACS Catal.* 3 (2013) 321–7.
- [3] C. Di Valentin, F. Wang, G. Pacchioni, Tungsten oxide in catalysis and photocatalysis: Hints from DFT. *Topics Catal.* 56 (2013) 1404–19.
- [4] G. M. Veith, A. R. Lupini, S. J. Pennycook, V. Alberto, L. Prati, N. J. Dudney, Magnetron sputtering of gold nanoparticles onto WO_3 and activated carbon. *Catal Today* 122 (2007) 248–53.
- [5] A. Phuruangrat, D. J. Ham, S. J. Hong, S. Thongtem, J. S. Lee, Synthesis of hexagonal WO_3 nanowires by microwave-assisted hydrothermal method and their electrocatalytic activities for hydrogen evolution reaction. *J Mater Chem.* 20 (2010) 1683–90.
- [6] I. M. Szilágyi, B. Főrizs, O. Rosseler, Á. Szegedi, P. Németh, P. Király, G. Tárkányi, B. Vajna, K. Varga-Josepovits, K. László, A. L. Tóth, P. Baranyai, M. Leskelä, WO_3 photocatalysts: influence of structure and composition. *J Catal.* 294 (2012) 119–27.
- [7] C. T. Lin, T. H. Tsai, Solution volume effect of photodegradation by 1-D WO_3 nanorods via microwave-assisted solvothermal heating under the UV irradiation. *Asian J Chem.* 25 (2013) 7098–102.
- [8] A. B. D. Nandiyanto, O. Arutanti, T. Ogi, F. Iskandar, T. O. Kim, K. Okuyama, Synthesis of spherical macroporous WO_3 particles and their high photocatalytic performance. *Chem Eng Sci.* 101 (2013) 523–32.
- [9] B. X. Liu, J. S. Wang, H. Y. Li, J. S. Wu, M. L. Zhou, T. Y. Zuo, Facile synthesis of hierarchical hollow mesoporous Ag/WO_3 spheres with high photocatalytic performance. *J Nanosci Nanotech.* 13 (2013) 4117–22.
- [10] E. Karacsonyi, L. Baia, A. Dombi, V. Danciu, K. Mogyorosi, L. C. Pop, G. Kovacs, V. Cosoveanu, A. Vulpoi, S. Simon, Z. Pap, The photocatalytic activity of TiO_2/WO_3 /noble metal (Au or Pt) nanoarchitectures obtained by selective photodeposition. *Catal Today* 208 (2013) 19–27.
- [11] I. M. Szilágyi, S. Saukko, J. Mizsei, A. L. Tóth, J. Madarász, G. Pokol, Gas sensing selectivity of hexagonal and monoclinic WO_3 to H_2S . *Solid State Sci.* 12 (2010) 1857–60.
- [12] I. M. Szilágyi, L. Wang, P. I. Gouma, C. Balázs, J. Madarász, G. Pokol, Preparation of hexagonal WO_3 from hexagonal ammonium tungsten bronze for sensing NH_3 . *Mater Res Bull.* 44 (2009) 505–8.
- [13] C. Balázs, L. Wang, E. O. Zayim, I. M. Szilágyi, K. Sedlackova, J. Pfeifer, A. L. Tóth, P. I. Gouma, Nanosize hexagonal tungsten oxide for gas sensing applications. *J Eur Ceram Soc.* 28 (2008) 913–7.
- [14] I. M. Szilágyi, S. Saukko, J. Mizsei, P. Király, G. Tárkányi, A. L. Tóth, A. Szabó, K. Varga-Josepovits, J. Madarász, G. Pokol, Controlling the composition of nanosize hexagonal WO_3 for gas sensing. *Mater Sci Forum* 589 (2008) 161–5.
- [15] L. Wang, J. Pfeifer, C. Balázs, I. M. Szilágyi, P. I. Gouma, Nanostructured hexagonal tungsten oxides for ammonia sensing. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering „Nanosensing: Materials, Devices, and Systems III.* 2007,6769:67690E.

- [16] C. Balázsi, K. Sedlackova, J. Pfeifer, A. L. Tóth, E. A. Zayim, I. M. Szilágyi, L. S. Wang, K. Kalyanasundaram, P. I. Gouma, Synthesis and examination of hexagonal Tungsten oxide nanocrystals for electrochromic and sensing applications. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security; Sensors for Environment, Health and Security. 2009: 77–91.
- [17] J. Kukkola, M. Mohl, A. R. Leino, J. Maklin, N. Halonen, A. Shchukarev, Z. Konya, H. Jantunen, K. Kordas, Room temperature hydrogen sensors based on metal decorated WO_3 nanowires. *Sens Actuat B*. 186 (2013) 90–5.
- [18] Y. D. Zhang, W. W. He, H. X. Zhao, P. J. Li, Template-free to fabricate highly sensitive and selective acetone gas sensor based on WO_3 microspheres. *Vacuum*. 95 (2013) 30–4.
- [19] C. Moreno-Castilla, M. A. Alvarez-Merino, F. Carrasco-Marín, J. L. G. Fierro, Tungsten and tungsten carbide supported on activated carbon: surface structures and performance for ethylene hydrogenation. *Langmuir* 17 (2001) 1752–6.
- [20] A. Szymańska-Kolasa, M. Lewandowski, C. Sayag, G. Djéga-Mariadassou, Comparisons of molybdenum carbide for the hydrodesulfurization of dibenzothiophene. *CatalToday*. 119 (2007) 7–12.
- [21] A. Biedunkiewicz, A. Szymczyk, J. Chrosciechowska, Oxidation of (Ti,W)C ceramic powders. *J Therm Anal Calorim*. 77 (2004) 75–83.
- [22] S. Kano, T. Inoue, Surface softening and hardening of WC-Co using pulsed laser irradiation. *Surf Coat Tech*. 201 (2006) 223–9.
- [23] H. C. Kim, I. J. Shon, J. K. Yoon, J. M. Doh, Consolidation of ultra fine WC and WC-Co hard materials by pulsed current activated sintering and its mechanical properties. *Int J Refract Metal Hard Mater*. 25 (2007) 46–52.
- [24] I. M. Szilágyi, J. Madarász, G. Pokol, F. Hange, G. Szalontai, K. Varga-Josepovits, A. L. Tóth, The effect of K^+ ion doping on the structure and thermal reduction of hexagonal ammonium tungsten bronze. *J Therm Anal Calorim*. 97 (2009) 11–8.
- [25] L. Bartha, J. Neugebauer, Aspects of Effective Doping and the Incorporation of Dopant. *Int J Refract Metal Hard Mater*. 13 (1995) 1–34.
- [26] E. Pink, L. Bartha, The Metallurgy of Doped/Non-Sag Tungsten. London: Elsevier; 1989.
- [27] J. W. van Put, Crystallisation and Processing of Ammonium Paratungstate (APT). *Int J Refract Metal Hard Mater*. 13 (1995) 61–76.
- [28] L. Bartha, B. A. Kiss, T. Szalay, Chemistry of tungsten oxide bronzes. *Int J Refract Metal Hard Mater*. 13 (1995) 77–91.
- [29] Chemical Apparatus Engineering, company brochure, Plansee AG, Austria 2/97.
- [30] E. Okorn, G. Leichtfried, in: Proc. 7th Int. Tungsten Symposium, Goslar, pp. 361–370, ITIA, London 1997.
- [31] Tungsten-Based Products, company brochure, Ashot Ashkelon, Israel 11/92.
- [32] Tungsten, company brochure, Plansee AG, Austria 3/95.
- [33] M. Zumer, V. Nemanic, B. Zajec, M. Wang, J. Wang, Y. Liu, L. M. Peng, The Field-Emission and Current-Voltage Characteristics of Individual W_5O_{14} Nanowires., *J. Phy. Chem. Letters*. 112 (2008) 5250–5253.
- [34] M. A. Dahlborg, G. Svensson, M. Valkeapää, The Structure of $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ Synthesized under High Pressure and Temperature. *J. Sol. State Chem*. 167 (2002) 525–533.
- [35] I. M. Szilágyi, J. Madarász, G. Pokol, P. Király, G. Tárkányi, S. Saukko, J. Mizsei, A. L. Tóth, A. Szabó, K. Varga-Josepovits, Stability and Controlled Composition of Hexagonal WO_3 , *Chem. Mater*. 20 (2008) 4116–25.

The Development of Alternative Production of Ammonium-Paravolframate, $(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Industrial Raw Material

Ammonium-paravolframate (APT) is the most important raw material of wolfram, from which different wolfram-oxides, wolfram-carbide and metal wolfram can be produced. Today, APT is industrially produced by multilevel wet chemical processing. This study was aimed at studying the possibility of APT production by solid-gas phase reaction between WO_3 , NH_3 and H_2O . Alongside with studying the reaction, the effect of reaction conditions on reaction products was also examined: the composition, the structure and particle size of WO_3 powder, and the partial pressure of NH_3 .

APT developed by us was characterized by XRD, Raman, FTIR, TG/DTA-MS measures, concluding that it matches the commercial APT and can replace it. The SEM and TEM scans showed that nanoparticle APT was successfully produced, which has not been achieved previously.

Key words: ammonium-paravolframate, solid-gas phase, heterogeneous reaction, WO_3 , NH_3

Proizvodnja industrijske sirovine amonijum-paravolframata $(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ pomoću nove, čvrste-gasfazne heterogene reakcije

Amonijum-paravolframat (APT) je najvažnija sirovina za industrijsku proizvodnju volframa, od čega se proizvode različiti oksidi volframa, volfram-karbidi i metalni volfram. Danas se industrijska proizvodnja ATP se izvodi pomoću višefaznog, mokrog hemijskog procesa. U ovom radu smo ispitivali da li je moguće proizvoditi ATP heterogenom reakcijom koja se odigrava između čvrstog WO_3 i NH_3 odnosno H_2O u gasnoj fazi. Osim proučavanja reakcije ispitivali smo i uticaj reakcione sredine na proizvode: sastav praha WO_3 , njegova struktura, veličina granulacije, parcijalni pritisak NH_3 . APT koji smo proizveli karakterizirali XRD-, Raman-, FTIR-, i TG/DTA-MS-merenjima. Došli smo do zaključka, da je naš proizvod identičan sa komercijalno dostupnim ATP-om, te da može da ga zameni. Na SEM- i TEM-snimcima je bilo vidljivo da smo uspjeli proizvoditi APT u obliku nanogranula, što do sada niko nije uspeo.

Ključne reči: amonijum-paravolframat, čvrsto-gasno fazna reakcija, heterogena reakcija, WO_3 , NH_3

Czékus Géza

... Újvidéki Egyetem, Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka
... czekus.geza@gmail.com

AZ URBÁNUS KÖRNYEZETEK BIODIVERZITÁSA

Biodiversity of Urban Environments

Biodiverzitet urbanih sredina

Ma már nemcsak a biológusokat érdekli a biodiverzitás problémája, hanem az átlagembert is. A viszonylag érintetlen környezet biológiai változatosságával sok szakember foglalkozik. Ez ma már természetvédelmi probléma, kezelése komoly erőfeszítéseket igényel. Viszont az utca embere elsősorban nem ezzel a környezettel találkozik, hanem otthona, települése utcáival és tereivel. Vajon ezekre a területekre mily mértékben jellemző a biodiverzitás? Mi (ki) határozza azt meg? Változtatható-e a sokféleség? Milyen összefüggés van az élő környezet elemei között? Ezekre a kérdésekre keressük a választ egy konkrét példa, Szabadka városközpontja esetében.

Kulcsszavak: biodiverzitás, urbánus környezet, antropogén hatás, domináns, dendroflóra

BEVEZETŐ

A biodiverzitás a biológiai sokféleség egy létezési formája. A földi élet év-milliárdos fejlődése során alakult ki. Ez a válasz a különböző környezeti hatásokra. Az élővilág csak így tudott és tud megfelelően reagálni, azaz mindig akad(t) olyan faj, amely a megváltozott életkörülmények között is képes (volt) fennmaradni és az élet folytatását biztosítani. Hatalmas és gyökeres változásokon ment át a Föld: változott a hőmérséklete (jégkorszakok), szárazföldek emelkedtek ki és süllyedtek le, földrengések és vulkánkitörések pusztítottak, de mindig akadt olyan faj, amely képes volt továbbvinni az életet a megváltozott életfeltételek közepette is. Pl. az óriáshüllők kihalásakor szaporodtak el és váltak változatossá az emlősök.

A biodiverzitás különböző szinteken nyilvánul meg. Az élőlények igen nagy változatosságának a kiindulópontja a *gének* mutációja. Ez elsősorban az *egyedekben* nyilvánul meg. A biodiverzitás következő szintje a *faj* (gének szintjén jelentkező) sokfélesége, amely a *populációkba* tömörült egyedeinek változa-

tosságában figyelhető meg. A különböző fajokhoz tartozó populációk alkotta *életközösségek* képezik a következő szintet. Magasabb szintet képvisel egy *táj* (társuláscsoportok), a *biomok* és végül a *bioszféra*.

A biodiverzitás állandó változásnak van kitéve. Ezek a változások a fajok keletkezése, átalakulása és pusztulása. Ezt a három változást egy néven a biodiverzitás dinamikájának nevezzük.

Egy-egy faj megjelenése, létezése a földi élet egy pillanata. Úgy tartják, hogy a ma élő élőlények (fajok) a Föld élővilágának 2–5%-át alkotják, azaz 95%-uk eltűnt. A kihalt emlősök fajlétje 1–10 millió év; ilyen időintervallumban léteztek.

A fajkeletkezés sebessége egyenetlen, de általános jellemzője, hogy egy már létező fajjal kezdődik, amely genetikai változásokon megy át, amelyekre nagymértékben hatnak az ökológiai tényezők. E három tényező eredménye lesz majd az új faj. A fajképződés ellentétes folyamata a faj kihalása. Sok tényezőtől függ, de az embernek van döntő szerepe abban, hogy ez mind gyorsabb ütemben történik.

A kipusztulás egy egész fajra vagy egy területen előforduló populációra vonatkozhat.

Feltételezik, hogy ma 14 millió faj él a Földön (1. táblázat). Ezek 13%-a (1 700 000) ismert. A 17. századtól 480 állat-, illetve 650 növényfaj halt ki. Ma a madarak 12%-a, az emlősök 24%-a veszélyeztetett.

Világ	Regisztrált fajok száma	Potenciálisan létező faj
Monérák (baktériumok)	4 000	1 000 000
Protisták	80 000	600 000
Állatok	1 320 000	10 600 000
Növények	270 000	300 000
Gombák	72 000	1 500 000
Összesen	1 744 000	14 000 000

1. táblázat. Az eddig ismert és potenciálisan létező fajok száma (ANGELUS, 2003)

Mi tekinthető eltűntnek vagy kipusztultnak? Eltűnt fajok azok a fajok, amelyek példányaiból legalább tíz éve nem találtak egy példányt sem. Kipusztultnak nyilvánítjuk azokat, amelyek az elmúlt ötven évben nem kerültek elő.

Visszont az átalakulás és az esetleges kihalás nemcsak a fajokat érinti, hanem a folyamatos változásokat élő ökoszisztémákat is. A leromlási folyamat (szukcesszió) elsősorban tavainkon és patakjainkon figyelhető meg (elalgásodás, elmocsarasodás, feltöltődés – lásd Ludasi-tó, Bács-ér). Az ökoszisztémák stabilitását akár néhány faj hiánya is megsértheti. A genetikai változatosság eredmé-

nye a csökkenő rugalmasság, amellyel egy adott faj a környezet megváltozott feltételeihez tud(na) alkalmazkodni. Mind a fajok eltűnése, mind az új fajok behurcolása jelentős változásokat idézhet elő az ökoszisztéma életében. Minden fajnak megvan a maga szerepe, ezért azok hiánya funkcionális hiányhoz vezethet. A fajszám és az ökoszisztéma stabilitása vagy regenerációs képessége kapcsolatban van. A kisfajú ökoszisztémák (megművelt mezőgazdasági területek) az ökoszisztéma stabilitásának csökkenéséhez vezet; ezt emberi beavatkozással lehet korrigálni (műtrágyázás, gyomirtás).

Az ember biodiverzitásra gyakorolt hatása két csoportba sorolható:

- mezőgazdaság, városok, ipari területek, illetve
- a népesség és fogyasztás következményei: csökken a biodiverzitás, fajkihalás, az élőhelyek végzetes degradálása és eltűnése, klímaváltozás.

Megfigyelhetők ún. biodiverzitási forró pontok, azaz fajokban gazdag régiók. Ezekben jelentős az endemizmus, a ritka vagy veszélyeztetett fajok száma. Sajnos, ezekben a legnagyobb a veszélyeztetettség mértéke, és itt a legnagyobb mértékű az élőhelyvesztés. Ilyen forró pontok az esőerdők. A trópusi esőerdők a Föld szárazföldjeinek 1,4%-át teszik ki, ennek ellenére az össz fajok 90%-a itt él (az edényes növények 44%-a, négy gerinces állatcsoport összes fajainak 35%-a).

Az emberi pozitív hatások lassíthatják a biodiverzitás csökkenését. Elsősorban a természet gazdagságának ésszerű felhasználásával érhető el, de nem elhanyagolható a fenntarthatóság biztosítása sem (a környezet eltartóképessége, megfelelő mennyiségű és minőségű élelem – gazdasági fejlődés). Végül, de nem utolsósorban az oktatás minőségi megváltoztatása hozhat látványos eredményeket.

Hogy az ember számára miért nem lehet közömbös a biológiai sokszínűség? Amellett, hogy a természet szépségét biztosítja, közvetve az életét is jelenti. Köztudott, hogy a világgazdaság összes termelésének csaknem a fele biológiai termékeken, illetve folyamatokon alapul. Tömören összefoglalva, a biodiverzitás jelentősége a következőkben kereshető:

1. Globális. Minden fajnak megvan a maga szerepe és jelentősége az ökoszisztémában, így csak azok az ökoszisztémák tudnak sikeresen fennmaradni, ahol a fajösszetétel nem változott meg (gondolunk itt a megfelelő anyagforgalomra, energiaáramlásra). Mindemellett a biodiverzitás friss (potenciális) anyaggal lát el bennünket, így hasznos a megtermékenyítéskor, keresztezéskor, biotechnológiák kialakításakor.
2. Tudományos. Minden faj egy új kutatási lehetőséget rejt magában (a trópusok és a tengeri ökoszisztémák a mai napig nincsenek teljes egészében feltárva).

3. Gyakorlati jelentőség. Élelemforrást biztosít, a házi- és vadállatok, illetve növények keresztezése szempontjából jelentős értékkel bír (genetikai frissítés); gyógyszergyártáshoz számtalan növényfaj szolgál alapanyagul; a klímamegőrzés és a szennyezés csökkentése (erdők).
4. Gazdasági érték. A biodiverzitás megőrzésébe fektetett pénzüsszegeket jelentik.
5. Esztétikai jelentőség. A változatosság sokkal szebb, mint a monotonitás, ezért gyönyörködtet.
6. Etikai érték. A biodiverzitás megőrzése etikai kérdés és feladat is. A ma emberétől függ, és ő felel azért, hogy a következő generációt milyen biológiai sokszínűség várja majd (<http://www.cbd.int/>).
7. Kulturális-nemzeti érték. A biodiverzitás az evolúció eredménye. Ezért nemzeti és kulturális kötelességünk megőrizni és továbbadni.

A biodiverzitás felmérése történhet úgy, hogy egy területen előforduló fajokról készül lista (jelen munkánk is ilyen felmérés), vagy biodiverzitás-monitorozással. Ez az eljárás szabványos módszerekkel történik. Az élővilág állapotát, sajátosságait rendszeresen figyelemmel kísérik.

SZABADKA NÖVÉNYTAKARÓJA

Szabadkát északról a Szabadka-horgosi homokvidék határolja. Ez megye át löszbe, illetve fekete földbe, azaz termőföldekbe. A bemélyedésekben alakultak ki az alföldi sekély tavak (Palicsi-tó, Ludasi-tó, Vértó, Kelebiai-tó).

Ez a vidék növényfajokban igen gazdag. Obradović (1986) mintegy 1200 fajt regisztrált. A közel 4430 hektár területű homokvidék flóráját 578 faj képezte (GAJIĆ 1976) – 2. táblázat. Sajnos, újabb, átfogó tanulmány nem jelent meg.

Növénycsoport	Fajsám
Zsurló	4
Páfrány	2
Autohton virágos növények	525
Ültetett	27
Adventív	20
Összesen	578

2. táblázat. A Szabadka-horgosi homokvidék flóramegoszlása (GAJIĆ 1976)

Mivel munkánkban a fás szárú növényekkel foglalkozunk, ezért kitérünk a homokvidék dendroflórájára is. Ezek az állomány 10,4%-át képezik, azaz 58 faj. Részben fák, részben cserjék. Az erdővel borított területek nagysága 3597 hektár (1976-os adat, de azóta sem sokat változott a helyzet). Ezek összetételét az 1. diagramon szemléltetjük. Legnagyobb területen fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) nő, majd a feketefenyő (*Pinus nigra*) és a (kanadai)nyár (*Populus canadensis*) fordul elő. Sokkal kisebb területet borít a kocsányos tölgy (*Quercus robur*), illetve a nyugati osterfa (*Celtis occidentalis*).



1. diagram. Erdőalkotó fajok és az erdők nagysága

AZ URBÁNUS KÖRNYEZET BIODIVERZITÁSA

A lakott területek zöldfelületei a parkok, terek, utcák, szoliter-épületek környéke, lakótelepi épületek közti terek, az iskolák, iskoláskor előtti intézmények környéke és udvara, egészségügyi intézmények környéke, sport- és rekreációs központok környéke, az ipari létesítmények körüli (szél)védő övezetek, a kertesházak eleje és kertje (PINTÉR 2010).

A temetők felülete meghaladja a parkok összfelületét (CEKUS 2008). A szabadtéri Bajai úti temető több mint 20 hektáros, míg a három legnagyobb park összterülete 16 hektár. A 20 hektáron 75 fás szárú növényfaj él.

A növények sokféleségét döntően három tényező határozza meg az urbanus környezetben:

1. a tervszerű telepítés (a Köztisztasági és Parkosítási Közvállalat végzi) (KLADEK 1991),
2. a lakosok zöldesítenek és
3. a szél és madarak (és egyéb állatok) által terjesztett magok.

AZ URBÁNUS ZÖLDFELÜLET JELENTŐSÉGE

A zöldfelületek jelentősége mindenütt nagy, így a lakott területeken is. Csak a legfontosabbakat soroljuk fel – részben biológiai értékük, részben esztétikai értékük alapján. A zöldfelületek, így a fás szárúak is fontosak, mert esztétikai élményt nyújtanak, árnyékolók, hangtompítók, hővédők, légszennyezés-csökkentők, porfogók, megtörik a település monotóniáját, lelkiállapot-javítók, rekreációs jelentőségűek és nem utolsósorban a fotoszintézis útján oxigénnel gazdagítják a település levegőjét, viszont csökkentik a szén-dioxid mennyiségét (PINTÉR 2010).

VIZSGÁLÓDÁSUNK CÉLJA ÉS TÁRGYA

Munkánk célja az volt, hogy felmérjük Szabadka urbánus környezetének biodiverzitását.

A megfigyeléseket Szabadkán, a Városrendezési Hivatal által városközpontnak nyilvánított (www.urbansu.rs) mintegy 70 hektáros területen végeztük. 47 utcát és 11 teret jártunk be. Az 1004 virágtartó edény összfelülete 373 m² (22 m átmérőjű kör). Ezt követően adatainkat a környék biodiverzitásával vetettük egybe.

A szabadföldi növények feljegyzése 2010 és 2011 nyarán, a virágtartókban növények pedig 2012 nyarán történt.



1. ábra. Szabadka városközpontja (VINKÓ 2012)

EREDMÉNYEK

A szabadföldön növő fás szárú fajok száma 101 (CZÉKUS 2012), míg a virágtartókban 32 faj képviselője volt megfigyelhető (3. és 4. táblázat).

A központ tereinek és főbb útjainak uralkodó fája a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*), a sövényt a közönséges fagyal (*Ligustrum vulgare*) alkotja. Látványosan mindkét faj egyedei jó egészségi állapotban vannak, és a város gondjukat viseli. A szélesebb utcákban általában két sorban vannak ostorfák, de gyakori a három- és a négysoros is. Rudicstól a székesegyházig öt sorban állnak (a hatodik nyomvonalán haladt valamikor a villamos). Ezeket évente metszik.

Szembetűnő az is, hogy a központban a szabad földfelület (földtányérok) területe nagyon kicsi, olykor kifolyik belőlük a fa. Ez azt is jelenti, hogy mind a vízellátással, mind a talaj levegőztetésével baj van.

Több utca fátlan. Gyakoriak a fák mechanikai sérülései (kéreg, ágak, gyökök sérülése) is. Az ostorfák közel vannak az úttesthez, ami a téli sózás negatív hatását fokozza, annak ellenére, hogy az ostorfa kimondottan sőtűrő faj.

Jámbor (2008) hívta fel a figyelmet arra, hogy az éghajlatváltozás nemcsak a kulturális örökséget érinti kedvezőtlenül, hanem a városi természeti értékeket is, beleértve a fákat is. A hőhullámok, illetve a változékony téli időjárás a műemlékek mellett a parkokat, fasorokat, szoliterfákat is veszélyezteti.

3. táblázat. Szabadka városközpontjában feljegyzett fás szárú növényfajok névsora

Ssz.	Elnevezés	
	Népi	Tudományos
1.	akác, enyves~	<i>Robinia viscosa</i> VENT.
2.	akác, fehér~	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
3.	aranyfa, bókoló~ (forzitia)	<i>Forsythia suspensa</i> (THUNB.)
4.	babérmeggy, közönséges~	<i>Prunus laurocerasus</i> L.
5.	bálványfa	<i>Ailantus altissima</i> (MILLER)
6.	berkenye, madár ~	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
7.	berkenye, svéd~	<i>Sorbus intermedia</i> (EHRH.)
8.	bodza, fekete~	<i>Sambucus nigra</i> L.
9.	boglárkacserje	<i>Kerria japonica</i> L.
10.	borbolya, közönséges~ (sóska borbolya, sóska fa)	<i>Berberis vulgaris</i> L.
11.	boróka, henye~	<i>Juniperus horizontalis</i> MOENCH

12.	boróka, himalájai~	<i>Juniperus squamata</i> LAMB.
13.	boróka, kínai~	<i>Juniperus chinensis</i> L.
14.	boróka, közönséges ~	<i>Juniperus communis</i> L.
15.	boróka, nehézszagú ~	<i>Juniperus sabina</i> L.
16.	boróka, virginiai~	<i>Juniperus virginiana</i> L.
17.	borostyán, közönséges~	<i>Hedera helix</i> L.
18.	cédrus, atlasz~	<i>Cedrus atlantica</i> (ENDL.)
19.	császárfa	<i>Paulownia tomentosa</i> (THUNB.)
20.	csörgőfa, bugás~	<i>Koelreuteria paniulata</i> LAXM.
21.	dió, közönséges~	<i>Juglans regia</i> L.
22.	ecetfa szömörce, torzsás~ (amerikai~)	<i>Rhus typhina</i> L.
23.	eperfa, fehér ~	<i>Morus alba</i> L.
24.	fagyal, közönséges~ (vesszős~)	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
25.	fenyő, fekete ~	<i>Pinus nigra</i> ARNOLD
26.	füge, közönséges~	<i>Ficus carica</i> L.
27.	fűz, kecske~	<i>Salix atrocinerea</i> BROTH.
28.	fűz, spirál~	<i>Salix babylonica</i> L.
29.	fűz, szomorú~ (európai)	<i>Salix sepulcralis</i> nothovar. <i>chrysocoma</i> DODE
30.	galagonya, csereg~	<i>Crataegus laevigata</i> POIRET
31.	galagonya, egybibés ~	<i>Crataegus monogyna</i> JACQ
32.	gyepűrózsa	<i>Rosa canina</i> L.
33.	gyöngyvessző, japán~	<i>Spiraea x bumalda</i> BURV.
34.	gyöngyvessző, közönséges~	<i>Spiraea x van-houttei</i> (BRIOT) CARRIÈRE
35.	hamisciprus, oregoni~	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A. MURRAY) PARL.
36.	hárs, ezüstlevelű ~ (magyar hárs~)	<i>Tilia tomentosa</i> MOENCH
37.	hárs, kislevelű~	<i>Tilia cordata</i> MILLER
38.	hárs, nagylevelű~ (széleslevelű)	<i>Tilia platyphyllos</i> SCOP.
39.	hibiszkusz (törökrózsa, mályvacserje)	<i>Hibiscus syriacus</i> L.

40.	hóbogyó, keleti~ (fehér, közönséges~)	<i>Symphoricarpos albus</i> L.
41.	japánakác, közönséges~	<i>Sophora japonica</i> L.
42.	japánbirs	<i>Chaenoma speciosa</i> (SWEET) NAKAI
43.	jegenyefenyő, kolorádói~	<i>Abies concolor</i> LINDL. & GORDON
44.	jezsámen közönséges~, hamis jázmin~	<i>Philadelphus coronarius</i> L.
45.	juhar, ezüst~	<i>Acer saccharinum</i> L.
46.	juhar, hegyi~	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.
47.	juhar, korai~ (platánlevelű~)	<i>Acer platanoides</i> L.
48.	juhar, kőrislevelű~ (zöld~)	<i>Acer negundo</i> L.
49.	júdasfa, közönséges ~	<i>Cercis siliquastrum</i> L.
50.	kecskerágó, csíkos~	<i>Euonymus europaeus</i> L.
51.	kecskerágó, japán~	<i>Euonymus japonica</i> THUMB
52.	kecskerágó, kúszó~	<i>Euonymus fortunei</i> (TURCZ.) HAND.-MAZ.
53.	komló, felfutó~ (közönséges~)	<i>Humulus lupulus</i> L.
54.	kőris magas~	<i>Fraxinus excelsior</i> L.
55.	lonc, mirtuszlonc	<i>Lonicera nitida</i> L.
56.	lonc, törpelonc	<i>Lonicera pileata</i> L.
57.	luc, közönséges~	<i>Picea abies</i> (L.) KARSTEN
58.	luc, szürke~	<i>Picea pungens</i> var. <i>argentea</i> ENGELM.
59.	madárbirs, kerti ~	<i>Cotoneaster horizontalis</i> DECNE
60.	madárbirs, svéd ~	<i>Cotoneaster x suecicus</i> G. KLOTZ
61.	mahónia, kerti~ (magyal)	<i>Mahonia aquifolium</i> (PURSH) NUTT
62.	meggy, közönséges~	<i>Prunus cerasus</i> L.
63.	mogyoró, közönséges~ (erdei)	<i>Corylus avellana</i> L.
64.	narancseperfa, tövises~	<i>Maclura pomifera</i> (RAFIN) C. K. SCHEIDER
65.	nyár, fekete~	<i>Populus nigra</i> L.

66.	nyár, jegenye~	<i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i> (DU ROI) MOENCH.
67.	nyír, közönséges~	<i>Betula pendula</i> ROTH
68.	orbáncfű, bőrlevelű ~	<i>Hypericum calycinum</i> L.
69.	orgona, kerti~ (közönséges~)	<i>Syringa vulgaris</i> L.
70.	ostorfa, déli~	<i>Celtis australis</i> L.
71.	ostorfa, nyugati ~	<i>Celtis occidentalis</i> L.
72.	ördögcérna, közönséges~	<i>Lycium barbarum</i> L.
73.	őszibarack	<i>Prunus persica</i> (L.) BATSCHE
74.	papíreperfa	<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) VENT.
75.	pálmaliliom, kerti~	<i>Yucca filamentosa</i> L.
76.	pálmaliliom, törzsés~	<i>Yucca recurvifolia</i> SALISB.
77.	platán, közönséges~ (juharlevelű~)	<i>Platanus x hispanica</i> MILLER EX MÜNCH
78.	puszpáng, örökzöld~	<i>Buxus sempervirens</i> L.
79.	ribizske	<i>Ribes aurum</i> PURSCH
80.	rózsálc, ösztörűs rózsálc	<i>Weigela florida</i> (BUNGE) A. DC.
81.	selyemfenyő	<i>Pinus wallichiana</i> A.B. JACKSON
82.	som, veresgyűrű~	<i>Cornus sanguinea</i> L.
83.	szil, hegyi~	<i>Ulmus glabra</i> HUDSON
84.	szil, mezei~	<i>Ulmus minor</i> MILL.
85.	szilva, cseresznyeszilva	<i>Prunus cerasifera</i> EHRH
86.	szilva, vadszilva	<i>Prunus</i> sp.
87.	szivarfa, szívlevelű~	<i>Catalpa bignonioides</i> WALTER
88.	szőlő, bortermő~	<i>Vitis vinifera</i> L.
89.	tamariska, francia (gall~)	<i>Tamarix gallica</i> L.
90.	télizöld, kis~	<i>Vinca minor</i> L.
91.	télizöld, nagy~	<i>Vinca major</i> L.
92.	tiszafa, közönséges~	<i>Taxus baccata</i> L.
93.	tölgy, kocsányos~	<i>Quercus robur</i> L.
94.	törpefenyő, havasi~	<i>Pinus mugo</i> TURRA
95.	tuja, keleti~ (életfa)	<i>Thuja orientalis</i> L.
96.	tuja, nyugati~ (közönséges~)	<i>Thuja occidentalis</i> L.

97.	tűztövis, közönséges~ (vöröslő~)	Pyracantha coccinea M. J. ROEMER
98.	vadgesztenye, fehér~ (közönséges bokrétafa)	Aesculus hippocastanum L.
99.	vadgesztenye, piros~	Aesculus x carnea HYNE
100.	vadszőlő, japán~ (repkény, háromosztatú~)	Parthenocissus tricuspidata (SIEBOLD & ZUCC.) PLANCHON
101.	vadszőlő, közönséges~	Parthenocissus inserta (A. KERNER) FRITSCH

4. táblázat. Virágtartók fás szárú növényeinek gyakorisága (edényszám)

Ssz.	Elnevezés		
	Magyar	Tudományos	Edény-szám
1.	babérmeggy	Laurocerasus officinalis ROEM.	3
2.	boróka	Juniperus sp.	32
3.	borostyán	Hedera helix L.	28
4.	borostyán, keskenylevelű~	Hedera helix 'Sagittaeifolia'	8
5.	borsófa	Caragana arborescens L.	3
6.	citromfa	Citrus limon BURM.	3
7.	datolyapálma	Phoenix canariensis hort.	5
8.	fagyal	Ligustrum vulgare L.	8
9.	gyöngyvessző, közönséges~	Spirea x van-houttei (BROT) CARRIÉRE	9
10.	jukka, kerti pálmaliliom	Yucca filamentosa L.	1
11.	kecskerágó	Euonymus sp.	12
12.	kecskerágó, japán~	Euonymus japonica THUMB	10
13.	kecskerágó, kúszó~ (zöld~)	Euonymus fortunei (TURCZ.) HAND.-MAZ.	2
14.	kenderpálma, kínai~	Trachycarpus fortunei WENDL.	1
15.	leánder	Nerium oleander L.	23

16.	legyezőpálma	Trachycarpus excelsa WENDL.	5
17.	lonc	Lonicera sp.	4
18.	lószőrpálma, törpe~	Chamaerops humilis L.	2
19.	madárbirs	Cotoneaster horisontalis DECNE.	17
20.	rózsa	Rosa sp.	1
21.	sárkányfa, életfa	Dracaena marginata	1
22.	sétányrózsa	Lantana camara L.	5
23.	sóskafa, sóskaborbolya	Berberis sp.	10
24.	sugárarália	Schefflera arboricola HAYATA	8
25.	szágópálma, japán cikász	Cykas revoluta L.	1
26.	télizöld, kis~	Vinca minor L.	14
27.	tiszafa, közönséges~	Taxus baccata L.	3
28.	törpefenyő	Pinus mugo TURRA	7
29.	tuja, keleti~	Thuja orientalis L.	35
30.	tuja, nyugati~	Thuja occidentalis L.	165
31.	tűztövis, közönséges~	Pyracantha coccinea M.J. ROEMER	9
32.	vadszőlő, közönséges~	Parthenocissus inserta (A. KERNER) FRITSCH	2

1004 virágtartó edényt jegyeztünk fel. Ezek többsége örökzöld fát, cserjét vagy virágot tartalmaz. A virágtartók kb. a fele (574) díszként szolgál, de soknak elsődleges szerepe a térelválasztás (204). 779-ben van ültetett növény. Vannak, amelyekben vadon kelt növények vannak, de sok (225) üreset is találtunk. Ez utóbbiak funkció nélküliek. Egy-egy edényben általában egy fás szárú növény van. Az apró dísznövényekből, virágokból 25–30 is lehet az edényben.

A fás szárú növények a legtöbb esetben néhány évesek. Mintegy 300 edénybe legfeljebb 2-3 éve került növény, és csak 83 olyan virágtartó van, amelyben több éve nő a fa vagy cserje. Ez azt jelenti, hogy a tartók életfeltételei és gondozásuk nem igazán optimális.

A virágtartókat és a környezetüket közel 100 (fás és lágy szárú) növényfaj díszíti. Ezek a következők: 218 edényben van tuja (165-ben nyugati tuja – *Thuja occidentalis*, 35-ben keleti – *T. orientalis*). Gyakori a gömbtuja (53 edényben), illetve a „formált, metszett” alak is. Előfordul, hogy egy edényben két vagy három fa is van, ezek nem minden esetben azonos fajok. A második leggyakoribb

cserepes növény a muskátli (*Pelargonium* sp. – 23) – a korzón volt nagyon sok. Begónia (*Begonia* sp. – 63) főleg betonvályúban vagy -kockában volt. A sort a petúnia (*Petunia atkinsiana* – 50), az azúrkék pletyka (*Commelina communis* – 37), a borókák (*Juniperus* sp. – 32) és a borostyán (*Hedera helix* – 28 esetben) követi.

KÖVETKEZTETÉSEK

- Az urbánus környezet dendrológiai biodiverzitása elsősorban esztétikai jelentőségű;
- A biológiai sokszínűség a lakott területen sokkal nagyobb, mint a természetes környezetben;
- Kifejezett és döntő az antropológiai ráhatás (fajválaszték, faj- és egyedgyakorosság, elrendeződés stb.);
- Folyamatosan ellenőrizni kell;
- Ma már az ostorfasorok is veszélyeztetettek.

IRODALOM

- ANGELUS, J. (edit.) 2003. *Životna sredina i održivi razvoj*. Ecolibri, Beograd
- BEAGL http://www.beagleproject.org/hu/information/?op_id=711 A letöltés ideje: 2014. szept. 15.
- CEKUŠ G. 2008. Comparison of the Dendroflora of Subotica's Cemeteries. *Protection of Nature* 58/1–2, 111–121.
- CZÉKUS Géza 2012. *Szabadka városközpontjának dendroflórája*. Monográfia. Újvidéki Egyetem, MTTK, Szabadka
- GAJIC, M. 1976. *Flora Subotičko-Horgoške peščare*. Peščara, Subotica
- JÁMBOR I. 1982. *Zöldterület-rendezés*. Egyetemi jegyzet. Kertészeti Egyetem, Budapest
- KLADÉK E. 1991. *Razvoj vrtné umetnosti u Subotici*. Zavod za urbanizam, Subotica
- OBRADOVIĆ, M., BOŽA P. 1986. *Prodromus of flora of ferns and spermatophytes of Subotica Sand and its adjacency* [Prodromus flore papratnica i semenica Subotičke peščare i bliže okoline]. University in Novi Sad, Zbornik radova Prirodno-matematičkog fakulteta, serija za biologiju 16: 121–142. [in Serbian]
- PINTÉR N. 2010. *Szabadka kiemelt zöldfelületein lévő fák állapotfelmérése és értékelése*. Szakdolgozat. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest
- http://ramet.elte.hu/~ramet/oktatas/MSc_AltOkol/altoko_glob_biodiv_mintazatok.pdf
- http://ttk.pte.hu/kornyezettudomany/dokument/msctemat/hun/Biodiverzitas_mereses_vedelme_ea.pdf A letöltés ideje: 2014. szept. 20.
- <http://www.cbd.int/> A letöltés ideje: 2014. szept. 16.
- http://www.emk.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/emk/novenytan/novenytan/termvedbiol/termvedbiologia_01.pdf A letöltés ideje: 2014. szept. 20.
- www.urbansu.rs A letöltés ideje: 2014. szept. 5.

Biodiversity of Urban Environments

Nowadays, it is not only biologists who are concerned with the problem of biodiversity but common people as well. The relatively intact environment is studied by numerous experts and it has become an environmental issue, the handling of which requires serious effort. However, ordinary people primarily get not involved in this environment, but in his home, the streets and squares of his town. To what extent does biodiversity apply to such areas? What (or who) is it determined by? Can diversity be changed? What is the connection between the constituents of the living environment? The answers to these questions are looked for on a concrete example, the case of Subotica city centre.

Key words: biodiversity, urban environment, antropogenic effect, dominant, dendroflora

Biodiverzitet urbanih sredina

Problematika biodiverziteta danas ne interesuje samo biologe već i obične građane. Dosta stručnjaka se bavi biološkom raznovrsnošću relativno netaknute biološke sredine; danas je to već problem zaštite prirode, čije rešavanje iziskuje ozbiljne napore. Međutim, čovek sa ulice ne sreće se prvenstveno sa ovom okolinom, već sa ulicama i trgovima svoga zavičaja, naselja. U kojoj meri je za ove prostore karakterističan biodiverzitet? Šta, (ko) određuje to? Da li je raznovrsnost promenjiva? Kakva veza postoji između elemenata žive sredine? Na ova pitanja tražimo odgovor na jednom konkretnom primeru, na slučaju gradskog centra Subotice.

Ključne reči: biodiverzitet, urbana sredina, antropogeni uticaj, dominantnost, dendroflora

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Molnár József

⋮ Szegedi Tudományegyetem, ÁOK, Orvosi Mikrobiológiai és Immunológiai Intézet.
⋮ Szeged

A KEMOTERÁPIA ÚJ LEHETŐSÉGEI: MULTIDROG-REZISZTENCIA GÁTLÁSA BAKTÉRIUMOKBAN ÉS TUMORSEJTEKBEN

*New Perspectives of Chemotherapy: Inhibiting Multidrug Resistance
in Bacteria and Tumor Cells*

*Nove mogućnosti u kemoterapiji: inhibicija multidrog-rezistencije
u bakterijama i ćelijama tumora*

A baktériumok és ráksejtek multidrog-rezisztenciája kihívás a rezisztenciát módosító új típusú kombinált kemoterápiára a multidrog-rezisztens baktériumok és ráksejtek ellen. A fertőző plazmid rezisztencia és a membrán efflux pumpák közvetítette rezisztencia gátlásának jelentőségét mutatjuk be a biotechnológiától a kemoterápiáig a plazmid elimináció és az ABC transzporterek egyes lépéseit analizálva. A membrán transzporterek gátlása a multidrog-rezisztens baktériumokat és daganatsejteket érzékennyé teszi a hatástalanná vált kemoterápiás szerekre. Az antiplazmid hatású molekulák biotechnológiai jelentősége az, hogy stabil génállományú baktérium vagy gombasejtek állíthatók elő a mutagenitás kockázata nélkül. Az előzetes in vitro, ex vivo és in vivo vizsgálatok eredményei a rezisztenciát módosító fenothiazinonok vagy disziloxán vegyületekkel ígéretes lehetőséget nyújtanak kemoterápiás szerekkel szemben ellenállóvá vált kórokozók, illetve rákos sejtekkel szemben.

Kulcsszavak: baktérium, ráksejt, kemoterápia, plazmid, efflux pumpák, multidrog-rezisztencia

Közreműködtek: Spengler Gabriella, Szabó Diana, Mándi Yvette, Kásler Miklós, Haszon Ibolya, SZTE, Orvosi Mikrobiológiai Intézet, Szeged

A gyógyszerekkel szemben ellenálló ún. antibiotikum-rezisztens baktériumok és tumorsejtek megjelenése kihívás a modern kemoterápia számára, és ma a legfontosabb területe a kemoterápiás kutatásoknak (1, 3). Az antibiotikum-rezisztens baktériumok és kemoterápia-rezisztens tumorsejtek gyakorisága a környezetben, illetve a betegekben olyan óriási mértékben megemelkedett, hogy az már nem magyarázható a mutációkkal. A rezisztens baktériumok, amelyek a környezetükben lévő más baktériumfajoknak konjugáció révén, a sexpilusaik

útján átadják az antibiotikum-rezisztenciát és az úgynevezett multidrog-rezisztenciát, amelynek során egyidejűleg többféle antibiotikummal szemben válik érzéketlenné, rezisztenssé a baktériumsejt. Az antibiotikum-rezisztencia járványszerűen terjedhet az emberi bélflórában és az ember környezetében is (2, 3, 4).

A ráksejtek esetében a legfontosabb rezisztenciamechanizmus az energiafüggő efflux pumpák megjelenése és működése, amelyek a már sejtbe jutott gyógyszereket, kemoterápiás szereket kipumpálják a sejtekből, és ezáltal a daganatsejtek egyszerre válnak ellenállóvá több kemoterápiás szerre. A multidrog-rezisztens rákos sejtek szaporodása még nagy dózisú kemoterápia mellett sem gátolt a beteg szervezetében.

A rezisztencia elleni küzdelem során világszerte folynak kutatások olyan vegyületek irányában, amelyek a plazmidokat eliminálják a baktériumokból, és a hatástalanná vált antibiotikumok visszanyerhetik a kórokozó baktériumokat elpusztító hatásukat. A kutatások második nagy iránya a rákellenes gyógyszerek hatásának megtartása olyan molekulák kifejlesztésével, amelyek a ráksejtek multidrog-transzporter pumpáinak működését gátolják.

A plazmidok a baktériumok kromoszómájától független, genetikai információt hordozó, különleges szaporodási mechanizmussal rendelkező DNS-molekulák (4), amelyek például antibiotikum-rezisztencia, anyagcsere-folyamatok és egyéb tulajdonságok átörökítéséért felelősek. Vannak olyan plazmidok, amelyek a hordozó baktériumokból átmehetnek a környezetében lévő más baktériumokba is, mások csak különleges körülmények között mobilizálhatók.

Fontosságát tekintve az érdeklődés középpontjában a plazmidokhoz kötött úgynevezett fertőző antibiotikum-rezisztencia áll. A plazmidok által közvetített rezisztencia biztosítja a baktériumok szaporodását antibiotikum jelenlétében. A kórokozó az antibiotikum rezisztenciáját nemcsak utódsejtjeinek örökíti át, hanem a környezetében lévő más baktériumoknak is átadhatja.

Az antibiotikum-rezisztencia ilyen járványszerű tovaterjedése az ember vagy az állatok baktériumflórájában több évtizede ismert, Watanabe japán kutató munkájának eredményeként (2). Az utóbbi években az egyszerre több antibiotikumra érzéketlen baktériumok aránya a világon mindenütt, így hazánkban is, jelentősen emelkedik. A plazmidok terjedése következtében a bakteriális fertőzések gyógyítása nehézséget, sokszor leküzdhetetlen akadályt jelent az orvos számára. A gyógyítás sikertelensége gyakran a kórokozók sokféle antibiotikummal szembeni rezisztenciájának a következménye. Az antibiotikum-rezisztencia új hatásmechanizmusú antibiotikumok kifejlesztését követeli, ugyanakkor azonban a plazmidok eltávolítása, elterjedésük gátlása elvileg újra hatékonyvá tehet régi, ma már hatástalan antibiotikumokat. Mindkét területen intenzív kutatás folyik (5, 6, 7, 8).

Az antibiotikum-rezisztencia szóródása három különböző szinten történik. Az úgynevezett transzpozonok a baktérium kromoszóma és a baktériumban

lévő plazmidok között, míg a plazmidok az egyes baktériumfajok között terjesztik az antibiotikum-rezisztenciát.

A plazmidok szaporodását a baktériumsejten belül maga a plazmid irányítja; ez bizonyos mértékig függ a baktériumsejt működésétől is. Mivel a plazmidok egy részében hasonló a szaporodás szabályozása, elméletileg elképzelhető olyan vegyület szintézise, amely a plazmidok replikációjának sajátos lépéseivel kölcsönhatásba lépve plazmid törlést okoz.

A baktériumpopulációban a plazmidok fennmaradását a replikáció, az utódsejtek közötti megoszlás és a sejtek közötti konjugáció pontos biokémiai és genetikai szabályozása biztosítja. A természetben előforduló baktériumtörzsekből minden külső behatás nélkül is elveszhet a plazmid, aminek az előfordulási gyakorisága körülbelül egy a tízmillióból. Különböző hatásokkal ez a plazmidvesztés fokozható, és ez a mesterséges plazmidelimináció alapja.

A kemoterápia feladata a baktériumok antibiotikum-rezisztenciájának, illetve a plazmidok szóródásának a megszüntetése. Az eddigi kutatások eredménye volt az akridin festékek, az ethidium bromid, a hidroxürea, a nátrium-dodecilszulfát és több más, gyógyszerként nem alkalmazott vegyület plazmidtörlő hatásának a felderítése is.

A plazmid eltávolítására vonatkozó saját kísérleteink kiindulópontja egy véletlen felismerés volt, mely szerint két közismert gyógyszer, az akridin festékhez bizonyos mértékben hasonló szerkezetű klórpromazin és a promethazin csökkentette az *Escherichia coli* plazmid eredetű tetraciklin, kloramfenikol, sztreptomycin és szulfonamid rezisztenciáját egyidejűleg. Kísérleteinket az antibiotikum-rezisztencia kérdésére irányítottuk és végeztük abban a reményben, hogy egy új típusú szinergizmus révén – az antibiotikum-rezisztenciát hordozó plazmid eltávolítását okozó szer és az antibiotikum kombinációjával – hatásosabban vehetjük fel a harcot a bakteriális fertőzések ellen. A plazmidelimináló hatások és az őket létrehozó vegyületek szerkezete közötti összefüggések feltárása szintén ígéretes feladatnak látszott (5, 6, 7).

A klórpromazin plazmid elimináló hatásának felismerése után számos antihisztamin és központi idegrendszerre ható vegyület, mint amilyen a prometazin, a dibenzoazepin és dibenzociklohepten, bizonyos timoleptikumok és más háromgyűrűs vegyületek kerültek vizsgálatra. Az a tény, hogy a Gram-negatív kórokozóknál egymástól távolálló fajok között is létrejön a rezisztenciát hordozó plazmidok konjugációval történő átvitele, különösen indokoltá tette kutatásainkat (9, 10, 11, 12). Az egyes vegyületek hatását elsősorban a kórokozók ezen csoportján vizsgáltuk. A modellkísérletekhez ezért az *E. coli* baktériumot választottuk. A háromgyűrűs vegyületek közül a klórpromazin, a prometazin, az imipramin, az amitriptilin és a klopentixol, valamint a mepromazin-sztereoizomerek, illetve a tetrahydro-kannabidiolsav és származékai kerültek kipróbálásra.

A kísérletekben az irodalomból ismert baktériumok mellett a betegek vizsgálati anyagaiból származó baktériumtörzseket is vizsgáltunk. Az *E. coli* R- és F-plazmidok eltávolításánál a plazmidot hordozó és plazmidot veszített sejtek szelekciója a megfelelő antibiotikumot tartalmazó táptalajon történt. A plazmidmentesség kimutatása mellett arra törekedtünk, hogy tisztázzuk az anyagok hatását a plazmidok terjedésének különböző részfolyamataira. Ezért vizsgáltuk például a baktériumok közötti plazmidátvitelének gátlását, az egyes gyógyszerek komplexképzését a plazmid DNS-sel, a plazmid DNS kötődését a baktériummembránhoz és a plazmid DNS szuperhelix konformációjának módosulását az antiplazmid vegyületek jelenlétében (7).

Célunk volt, hogy a biológiai hatások és az alkalmazott vegyületek kémiai szerkezete között összefüggéseket keressünk azért, hogy a kapott törvényszerűségek felhasználásával az eddigi vegyületeknél hatásosabb, esetleg a gyakorlatban alkalmazható gyógyszereket nyerjünk. Ezért vizsgáltuk a hatásos és hatástalan vegyületek molekuláinak töltéseloszlását különböző (Hückel Del Re, CNDD-2) számításokkal (13, 14, 15).

Megállapítottuk az elimináció optimális fizikokémiai feltételeit (15, 16). A döntő bizonyíték az volt, hogy fenotípusosan plazmidmentessé vált sejtekben gél-elektroforézissel nem volt kimutatható a plazmid DNS jelenléte (7).

Az eltérő kompatibilitású csoportba tartozó plazmidok eliminálása, illetve eliminációs frekvenciája különbözik, de ugyanaz az RI44 vagy RP4 plazmid is változó gyakorisággal távolítható el a különböző gazdabaktériumokból. A plazmideltávolításhoz vezető biológiai folyamatok közül kétféle hatásmechanizmus ismeretes. Az egyikben a plazmidokat hordozó, pilusokkal rendelkező sejtek szelektív elpusztítása történik az SDS, nátrium-dodecil-szulfát jelenlétében, a másikban bizonyos interkalálódó vegyületek (akridin, etidium-bromid) gátolják a plazmid DNS replikációját. Mivel a plazmidot veszített és hordozó sejtek tenyészteti egyformán érzékenyek a plazmidtörölő vegyületekkel szemben a bakteriosztatikus és baktericid hatásokat tekintve, a nátrium-dodecil-szulfátéhoz hasonló szelekciós mechanizmus kizárható volt (7, 9).

A háromgyűrűs plazmid elimináló vegyületek szerkezeti hasonlósága a közismert interkalálókkal valószínűsítette ez utóbbi hatásmechanizmust. Az imipramin és amitriptilin jelenlétében a fluoreszcencia, a polarizációs fok, a cirkuláris dichroizmus és a DNS-olvasáspont mérések eredményei alapján kizárható az interkalációs típusú kötődés, ugyanakkor a fenothiazinok DNS-be történő interkalációja egyértelműen bizonyítható volt. A plazmideltávolító vegyületek közös tulajdonsága nem csak az interkaláció. Jelenlétükben a baktériumok membránja elektronmikroszkóppal is kimutathatóan megváltozik. A baktériummembránhoz nagyobb mennyiségű jelölt plazmid DNS kötődik transzfekció során a plazmidokat elimináló vegyületek jelenlétében, mint nélkülük (11).

A plazmidtörő vegyületek csökkentik a PBR322 plazmid DNS-sel történő transzformáció, illetve konjugáció gyakoriságát a vegyületekkel előkezelt sejtekben, jelezvén, hogy a sejtek nagy részében megszűnt a plazmid DNS behatolás vagy szaporodás lehetősége. A plazmidelimináló származékok jelenlétében a plazmidok sejtek közötti átvihetősége is csökken. A konjugációs párok kialakulása után adott vegyület ugyanolyan mértékű átviteli gátlást okoz, mint a donor baktériumok előkezélése, tehát elsősorban a transzkonjugális plazmid DNS szintézise gátolt, és nem a konjugációs párképződés. A csak plazmidátvitelt gátló vegyületek alkalmazása önmagában is csökkenti a plazmidszóródást, és növelheti a kemoterápia hatékonyságát (9, 11).

A kémiai szerkezet változtatása módosítja a vegyületek plazmidtörő képességét. Ez a hatás nem függ a kondenzált gyűrűrendszer térszerkezetében a heteroatomok okozta változásoktól. A gyűrűrendszer pi-elektronjainak szerepét bizonyítja az, hogy a hidrogénnel telített imipramin és dezipramin elvesztette plazmidtörő hatását. Az oldallánc és a gyűrűrendszer egymáshoz való viszonyában a cisz- és transzhelyzet ugyanolyan plazmidelimináló aktivitással ruházta fel a molekulát. Ebből következik, hogy az aktivitást biztosító molekulák baktériumhoz való kötődése nem olyan szigorúan sztereoselektív, mint a központi idegrendszeri hatások esetében. A kvantumkémiai számítások alapján munkatársaimmal megállapítottuk, hogy a fenotiazinok 9. és a dibenzoazepinek 10. szénatomján lévő töltés bizonyos összefüggést mutat a vegyületek plazmidelimináló hatásával. A felismert törvényszerűségek alapján Földeák Sándor új antracén-származékokat szintetizált, amelyeknél az alapváz 9, 1. és 2. helyzetben tartalmazta a szubsztituenseket. A 9-szubsztituált antracének között találtunk plazmidelimináló származékokat. A vizsgált háromgyűrűs vegyületek közül igen sok rendelkezik antibakteriális hatással, de közülük csak kevés törli a plazmidokat a baktériumokból. Ebből következik, hogy a plazmidelimináló hatást biztosító kötődés a baktériumokban fajlagosabbnak tekinthető, mint a baktériumszaporodás gátlásáért felelős kötődés. A vizsgált vegyületek központi idegrendszeri hatását viszont olyan nagyfokú sztereospecifitás jellemzi, hogy a párok közül csak az egyik vegyület rendelkezik központi idegrendszeri hatással, plazmid-elimináló hatásuk pedig csaknem azonos (16, 17, 18).

A plazmideliminációban viszont a sztereoizomerek közül az 1- és d-enantiomerek vagy például a cisz- és transz-klopentixol egyformán hatásosnak bizonyultak. A nagyszámú hasonló származék biológiai hatásának vizsgálata és a kvantumkémiai számítások elvégzése lehetővé teszi a kémiai szerkezet és a plazmidelimináló hatás közötti összefüggések határozottabb körvonalazását. A háromgyűrűs pszichofarmakonok plazmidtörési mechanizmusa eltér az eddig ismert interkalációs és szelekciós mechanizmusoktól. A plazmidfenmaradást biztosító három alapvető folyamat: a szaporodás (replikáció), a megoszlás (partitíció)

és a konjugációs plazmidátvitel egyidejű gátlása vezet a plazmid-eliminációhoz. A plazmid újbóli átvitel egyidejű gátlása a transz-konjugális-DNS szintézisen, illetve a pilus funkciókon érvényesülve azt eredményezi, hogy a plazmidmentessé vált sejtek ezen gyógyszerek jelenlétében együtt létezhetnek plazmidot hordozókkal a populációban és nem történik re-transzfer (7, 10, 19, 20).

A kutató feladata nemcsak az, hogy ismertesse az új eredmények alapján felállított új elméleteket, hanem az is, hogy egyúttal felhívja a figyelmet az új törvényszerűségek érvényességének hatáira. Ezért nem szabad elhallgatnunk, hogy az említett hatásokat *in vitro* létrehozó koncentrációk 50–100-szor magasabbak annál, amit az egyes betegségek kezelésére alkalmaznak *in vivo*.

A rezisztenciaplazmidok kísérleti eltávolítása az antibakteriális kemoterápia új fejezetét jelentheti. A plazmidátvitel gátlása, a plazmid-elimináció új elméleti lehetőségekre hívja fel a figyelmet az antibiotikum-rezisztens baktériumok okozta fertőzések kombinált kezelésével. Az eddig szerzett tapasztalatok, a kvantumkémiai számítások, a gyógyszertervezés modern számítógépes módszerei lehetőséget adnak arra, hogy megfelelő „terápiás index”-szel rendelkező kombinált terápiában alkalmazható plazmidokat elimináló vegyületek gyógyszerként gazdagítsák a gyógyítás gyakorlatát. Az antibiotikum-rezisztencia plazmidok gátlása orvosi szempontból a legfontosabb hatás. Azonban más plazmidok eliminációja is igen fontos, hogy csak néhány példát említsünk: a metabolikus folyamatokat kódoló plazmidok közül a cukorbontás, vagy a virulenciaplazmidok közül a colicintermelés, vagy a kalciumkötő plazmid a *Yersinia pseudotuberculosis* esetében, a növényi tumort indukáló *Agrobacterium tumefaciens* Ti-plazmidja vagy a fotószintézisben, illetve a nitrogénkötésben részt vevő rhizobium plazmidok is eliminálhatók. Ennek a kérdésnek a biotechnológiában lehet fontossága, mert a mikroorganizmusok átalakíthatók biotechnológiai feladatokra, programozhatók a mutáció kockázata nélkül.

Az orvosi alkalmazásra biztatóak az eredmények, amikor a már nem hatásos antibiotikumokat együtt adtuk bizonyos antihisztamin vegyületekkel gyakran visszatérő vesemedence-gyulladásban szenvedő betegeknek, azt tapasztaltuk, hogy az ilyen módon kezelt betegek maradványtünetek nélkül gyorsabban gyógyultak meg mint a hagyományosan kezelt kontrollcsoportokban kezelt betegek (21, 22, 23, 24).

Az antiplazmid hatások vizsgálata során találtuk azt, hogy bizonyos vegyületek gátolják a baktériumokban található HlyB-transzporter fehérje működését. Ez utóbbi a ráksejtekben található multidrog-rezisztencia efflux pumpához hasonlóan működik. Ez a megfigyelés egy új perspektívát nyitott a ráksejtek kemoterápiás szerekkel szembeni rezisztenciájának leküzdéséhez, pontosabban a már hatástalan szerek ismét hatásosak lehetnek a kemoterápiára érzéketlen, illetve rezisztens daganatos betegségekben. A rezisztenciát csökkentő molekulák az efflux pumpa

gátlás eredményeként megnövelik a gyógyszerek mennyiségét a ráksejtekben, és ilyen módon hozzájárulhatnak az eredményesebb kezeléshez. A ráksejtek rezisztenciájának egy második mechanizmusa az apoptózis hiánya. Az apoptózis indukció jelentősége a sejtek előregedésével együtt járó sejtpusztulás programja, amikor nem multidrog-rezisztencia a kezelhetetlenség oka, hanem egy újabb mechanizmus, a programozott sejthalál hiánya felelős a daganatos betegség eredménytelen kezeléséért. Ebből az is következik, hogy olyan rezisztenciamódosítók szükségesek, amelyek az apoptózis folyamatát indukálják vagy pedig egyidejűleg gátolják a multidrog-rezisztenciáért felelős efflux pumpákat is (13, 25).

Munkatársainkkal évekkkel ezelőtt két ilyen vegyületet szabadalmaztattunk Németországban. A szabadalom kettős hatása multidrog-rezisztencia gátlás és programozott sejthalál indukció egyidejű érvényesülése biztosíthatja további ígéretes lehetőségek kifejlesztését a daganatos betegségek gyógyításában (3, 26).

A rák gyógyításával azonos súlyú feladat a betegség megelőzése, kemoprevenciója. A megelőzés azt jelenti, hogy bizonyos növényekben előforduló vegyületek, mint például a krocinok, a kapszantin és más karotenoidok képesek kivédeni a kísérletekben előidézett rákos elfajulást. Ezzel a környezeti szennyeződések káros hatása elhárítható vagy csökkenthető, és az egyre növekvő környezetszennyezés következtében előforduló káros hatások megelőzhetők.

IRODALOM

1. World Health Organization (WHO) (2014): Antimicrobial resistance: global report on surveillance. (ISBN 978 92 4 156474 8) Geneva, Switzerland
2. Watanabe T, Nishida H., Ogata C., Arai T, Sato S. (1964): Episome-mediated transfer of drug resistance in enterobacteriaceae. Two types of naturally occurring R factors. J. Bact. 88, 716–726.
3. Gyemant N., Molnár A., Spengler G., Mandi Y., Szabó M., and Molnár J. (2004): Bacterial Models for Tumor Development, Acta Microbiologica et Immunologica. Hungarica 51: 321–332.
4. Jacob F., Brenner S., Cuzin F. (1963): On the regulation of DNA replication. Cold Spring Harbour Symp Quant Biol 28: 329–348.
5. Molnár J., Király J., Mándi Y. (1975): The antibacterial action and R-factor-inhibiting activity by chlorpromazine. Experientia 31: 444–445.
6. Molnár J., Mándi Y., Király J. (1976): Antibacterial effect of some phenothiazine compounds and R-factor elimination by chlorpromazine. Acta Microbiologica Acad Sci Hung. 23: 45–54.
7. Molnár J., Földeák S., Nakamura MJ., Rausch H., Domonkos K., et al. (1992): Antiplasmid activity: loss of bacterial resistance to antibiotics. APMIS Suppl 30: 24–31.
8. Mándi Y., Molnár J., Holland IB., Béládi I. (1976): Efficient curing of an *Escherichia coli* F-prime plasmid by phenothiazines. Genetical Research 26: 109–111.
9. Mándi Y., Molnár J., Holland IB. (1980): The effect of chlorpromazine on plasmid replication, plasmid transfer and sex pili of *E. coli*. Acta Microbiol. Acad. Sci. Hung. 27/3, 215.

10. Molnár J., Domonkos K., Mándi Y., Földeák S., Holland IB. (1980): Possible mechanism plasmid elimination by phenothiazines and related drugs in Usdin, Eckert, Forrest, eds. Phenothiazines and structurally related drugs: Basic and Clinical Studies, Elsevier North Holland, Inc. Amsterdam, pp. 115–118.
11. Molnár J., Schneider B., Mándi Y., Farkas S., Holland IB. (1978): New mechanism of plasmid curing by psychotropic drugs. *Acta Microbial Acad Sci Hung* 27: 309–315.
12. Molnár J., Földeák S. (1989): Antiplasmid action of phenothiazines and related compounds. Extracted the Proceedings of the 16th International Congress of Chemotherapy, Jerusalem, Israel, p. 343.
13. Kidd S., Humbley TW., Hevér A., Nelson MJ., Molnár J. (1996): The antiplasmid action of some palladium (II) complexes of phenothiazine based pharmaceuticals and the crystal structure promoted trichloro (10-(3'-dimethylaminopropyl) phenothiazine-S) palladium (II). *J. Inorg. Biochem.* 62: 171–181.
14. Molnár J., Nakamura J. (1985): Effect of Cannabis derivatives on plasmid replication in *Escherichia coli*. *Res. Communications in Substances of Abuse*, 6(1): 23–35.
15. Molnár J., Földeák S., Nakamura MJ., Gaizer F., Gutmann F. (1991): The influence of charge transfer complex formation on the antibacterial activity of some tricyclic drugs. *Xenobiotica* 21(3): 309–316.
16. Molnár J. (1986): Fenothiazinok és hasonló szerkezetű vegyületek antibakteriális, valamint plasmid replikációt gátló hatásai. Akadémiai Doktori Értekezés, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, p. 1–184.
17. Molnár J. (1990): The role of charge distribution of the tricyclic compounds in the antibacterial, antiviral and antiplasmid effects. *Electropharmacology* p. 205–218.
18. Molnár J., Földeák S., Hegyes P., Schneider B., Holland IB. (1979): New plasmid curing compounds: anthril and phenanthril derivatives: *Biochem Pharmacol* 28(2): 261–265.
19. Spengler G., Molnár A., Schelz Zs., Amaral L., Sharples D., Molnár J. (2006): The mechanism of plasmid curing in bacteria, *Current Drug Targets* 7: 825–841.
20. Csiszár K., Molnár J. (1992): Mechanisms of action tricyclic drugs on *Escherichia coli* and *Yersinia enterocolitica* plasmid maintenance and replication. *Anticancer Research* 12: 2267–2272.
21. Kásler M., Molnár J., Poczik M., Romhányi R. (1981): On the synergism of Pipolphen with antibiotics possible elimination of an “R” plasmid in vivo. *Sejtosztódás Farmakológiája X/1*, Eds. Hernádi Ferenc és Kovács Péter, In Hungarian with summary in English, Hajdúszoboszló, Hungary p. 141–151.
22. Kásler M., Molnár J., Poczik M. (1982): A Pipolphen plasmid törlő hatásának vizsgálata urogenitális fertőzések esetén. *Urol Nephrol. Szle* 9(3): 130–133.
23. Kásler M., Molnár J., Ágoston É., Poczik M. (1982): A Gentamycin-Pipolphen gyógyszer-kombináció alkalmazásának tapasztalatai polyresistens baktériumtörzsek okozta urogenitális fertőzésekben. *Urol Nephrol Szle* 9(3): 135–138.
24. Molnár J., Haszon I., Bodrogi T., Martonyi E., Turi S. (1990): Synergistic effect of promethazine with gentamycin in frequently recurring pyelonephritis. *International Urology and Nephrology* 22(5): 405–411.
25. Molnár J., Mándi Y., Spengler G., Amaral L., Haszon I., Turi S., Kásler M. Synergism between Antiplasmid Promethazine and Antibiotics In Vitro and In Vivo. *Molecular Biology* 2014, 3/2,1000119, ISSN: 2168-9547 MBL, open access journal.
26. Zalatnay A. and Molnár J. (2006): Effect of SILA-409 a new organosilicon multidrug resistance modifier on human pancreatic cancer xenografts. *In Vivo*, 20, 137–140.

Köszönetnyilvánítás: Köszönetet mondunk a Szegedi Rákkutatásért Alapítványnak és az Európai Közösség COST B16 programnak a támogatásáért.

New Perspectives of Chemotherapy: Inhibiting Multidrug Resistance in Bacteria and Tumor Cells

The multidrug resistance of bacteria and cancer cells is a challenge for developing a new type of combined chemotherapy against multidrug resistant bacteria and cancer cells.

The importance of resistance inhibition mediated by the infectious plasmid resistance and membrane efflux pumps is presented by analyzing individual steps of ABC transporters and plasmid elimination, from biotechnology to chemotherapy. Inhibiting membrane transporters makes multidrug resistant bacteria and cancer cells sensitive to the chemotherapeutic agents that have become ineffective. The biotechnological significance of antiplasmid agents is that genetically stable bacteria or fungi cells can be produced without the risk of mutagenicity. The results of preceding *in vitro*, *ex vivo* and *in vivo* examinations show promising perspectives of resistance-modifying phenothiazines or disiloxane compounds in combating chemotherapy resistant pathogens or cancer cells.

Key words: bacteria, cancer cell, chemotherapy, plasmid, efflux pumps, multidrug resistance

Contributors: Gabriella Spengler, Diana Szabó, Yvette Mándi, Miklós Kásler, Ibolya Haszon

Nove mogućnosti u kemoterapiji: inhibicija multidrog-rezistencije u bakterijama i ćelijama tumora

Rezistencija bakterija i ćelija raka predstavljaju izazov za kombinovanu kemoterapiju novog tipa, koji modifikuju rezistenciju, usmerenu protiv multidrog rezistentnih bakterija i ćelija raka.

Ovde predstavljamo značaj inhibicije zarazne plazmidne rezistencije i rezistencije nastale posredovanjem membranskih efluks-pumpi, analizirajući pojedine korake plazmidne eliminacije i ABC transportere počev od biotehnologije do kemoterapije. Inhibicija membranskih transportera čini osjetljivim multidrog-rezistentne bakterije i ćelije raka na kemoterapijska sredstva koja su postala neefikasna. Biotehnoški značaj molekula antiplazmidnog dejstva je u tome, što je moguće proizvesti bakteriju sa stabilnim genomom, bez rizika mutagenosti. Rezultati prethodnih *in vitro*, *eks vivo* i *in vivo* ispitivanja sprovedena sa fenotiazinom, koji modifikuje rezistenciju ili pak, sa disiloksan jedinjenjem,

daju obećavajuću mogućnost delovanja protiv patogena koji su postali rezistentni prema kemoterapijskim sredstvima, to jest protiv ćelija raka.

Ključne reči: bakterija, ćelije raka, kemoterapija, plazmid, eflux-pumpe, multidrog-rezistencija

Saradnici: Gabriela Špengler, Diana Sabo, Ivet Mandi, Mikloš Kašler, Ibolja Hason, Univerzitet u Segedinu, Institut za medicinu, mikrobiologiju i imunobiologiju, Segedin

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Takács Márta

Újvidéki Egyetem, Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka
takacs.marta@nik.uni-obuda.hu

FUZZY KOGNITÍV TÉRKÉPEK

Fuzzy Cognitive Maps

Fuzzy („nejasne”) kognitivne mape

A fuzzy kognitív térképek a rendszerelemek közötti kapcsolatrendszer leírására, egyrészt gráf formájában, másrészt olyan matematikai modellel, amely jól érzékelteti a rendszer-elemek kölcsönhatását. A kölcsönhatást az elemeket összekötő élek súlyozásával érzékeltetjük. Az éles értékek helyett alkalmazott fuzzy súlyok magukban hordozzák a rendszer bizonytalan viselkedésének megjelenítését és a kapcsolódó, a rendszer jövőbeli viselkedését előrejelző tanuló algoritmusok alkalmazását. Az esettanulmány a felsőoktatásban tanuló fiatalok előmenetelének becslésére ad modellt, az előmenetelt befolyásoló tényezők kölcsönhatását fuzzy kognitív térképpel modellezve és korábbi félévek adatbázisát felhasználva a tanuló algoritmusában.

Kulcsszavak: fuzzy kognitív térképek, rendszerelemek, gráf, matematikai modell

„Egy dolog annyira egyszerű, amennyire csak
lehetséges, de semmivel sem egyszerűbb.”

(Albert Einstein)

FORMÁLIS TUDÁSBÁZIS-ÁBRÁZOLÁSOK

A XXI. SZÁZAD ELEJÉN¹

A számítástechnika rohamos fejlődésével a rendszerek viselkedését szimuláló modellek elméleti és gyakorlati hátterét támogató kutatások is nagy lendületet vettek. A tudásbázisok statikus kapcsolatrendszerének megjelenítése és a

Lantos Zoltán, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
lantos.zoltan@bgk.uni-obuda.hu

Schramm Norbert, Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola, sramm.norbert@phd.uni-obuda.hu

¹ A kapcsolódó kutatásokat az OTKA105846 és OTKA106392 pályázati támogatás, továbbá a Vajdasági Tudományos és Művészeti Akadémia Intelligens rendszerek matematikai modelljei és alkalmazásai című pályázatának támogatása tette lehetővé.

dinamikus viselkedés matematikai modelljeinek kidolgozása egyaránt igényli és serkenti az olyan, még kiaknázatlan területeken az alkotó gondolkodást, mint a lágy számítási módszerek, az ontológiák vagy a kognitív térképek (SRAM 2012). Míg a XX. század utolsó évtizedeiben ezek a módszerek elsősorban a műszaki területeken jelentek meg az alkalmazásokban, addig a század utolsó éveiben és a XXI. század elején már a gazdasági, orvosi, sőt humán tudományok területén is kialakultak (és egyre több forrásból látjuk, alakulnak) erős grafikus megjelenítésű, matematikailag megalapozott, sőt szoftvereszközökkel támogatott modellek. Így azok érthetőek, kezelhetők lesznek szélesebb körben is, és nem csak a matematikusok, számítástudományban jártas szakemberek számára. Természetesen egy működő gyakorlati modell kialakításához csapatmunka kell, ahol az érintett terület szakértőinek gyakorlati, mindennapi tapasztalatait a modellezés elméleti hátterét ismerő szakemberekkel együtt formalizálják (TAKÁCS 2012).

A fuzzy kognitív térképek (röviden FCM – Fuzzy Cognitive Maps) ötvözik az általános kognitív térképek és a lágy számítási módszerek eszköztárát. A rendszerben valamilyen szerepet betöltő tényezők, szereplők a rendszer elemi csomópontjai. Ha azok kapcsolatban állnak egymással, akkor őket irányított élek kötik össze. A rendszerelemek közötti kapcsolatrendszer egyrészt gráf formájában, másrészt olyan matematikai modellel írják le, amely jól érzékelteti a rendszerelemek kölcsönhatását. A kölcsönhatást az elemeket összekötő élek súlyozásával érzékeltetjük. Az éles (+ erősítő vagy - gyengítő) értékek helyett alkalmazott fuzzy súlyok magukban hordozzák a rendszer bizonytalan viselkedésének megjelenítését és a kapcsolódó, a rendszer jövőbeli viselkedését előrejelző tanuló algoritmusok alkalmazását.

A fuzzy kognitív térkép lényegében Robert Axelrod (AXELROD 1976) politikai kutató kognitív, politikai és gazdasági kölcsönhatásokat modellező térképének továbbfejlesztése, kiegészítése, egyrészt a $[-1, 1]$ tartományba eső élsúlyokkal, másrészt a dinamikus változást modellező számítási mechanizmussal. A fuzzy kognitív térkép elnevezés az amerikai Bart Andrew Kosko nevéhez fűződik, aki villamosmérnök professzor a Dél-kaliforniai Egyetemen (University of Southern California, USC, www.usc.edu). Fuzzy kognitív térképéről szóló cikkét 1986-ban publikálta elsőként az IJMMS (International Journal of Man-Machine Studies) 24. számában (KOSKO 1986). Kosko szerteágazó érdeklődése tanulmányaiban is megmutatkozott. BSc-fokozatot filozófia és közgazdaságtan területeken szerzett, MSc-tanulmányait alkalmazott matematika, PhD-t villamosmérnöki területen folytatott, miközben jogi doktori címet is szerzett. Ennek megfelelően fuzzy logika, neurális hálózatok és zaj témakörben is számos cikket publikált, és nyitottan és bátran alkotta meg azt az alkalmazott matematikai elméletet (és gyakorlatot), amely más tudományterületekre is nagy hatással volt.

A FCM alkalmazása mára már széles körben elterjedt. Papageorgiou 2013-ban a FCM mozgalmas elmúlt egy évtizedét foglalta össze, a számítástechnikai alkalmazásoktól kezdve az orvosi, mérnöki, környezetvédelmi, gazdasági területekig.

Ma már a fuzzy kognitív térképek egyszerűbb alkalmazását és érthetőbb interpretálását, azaz a térképek elkészítését és dinamikus változásait modellező szoftverek is léteznek, például az FCMappers.²

A FUZZY KOGNITÍV TÉRKÉPEK FORMALIZMUSA

A fuzzy kognitív térképek gráfjai C_i tényező-csomópontokból, valamint az egyes C_i és C_j tényezőket összekötő e_{ij} élekből állnak (KOSKO 1986). Összetett rendszereket modelleznek, valós időben. Tényezőket, illetve a közöttük fennálló ok-okozati kapcsolatokat és azok egymásra gyakorolt hatását rajzolják ki. A csomópontok állapotát a t -dik időpillanatban az $x_i(t)$ numerikus érték (illetve fuzzy érték) írja le. A gráf e_{ij} élei w_{ij} súlyokkal társulnak, melyek a C_i és C_j tényezők kölcsönhatásának mértékét írják le. C_i és C_j közötti w_{ij} élsúly akkor pozitív, ha C_i növekedése C_j növekedését, és C_i csökkenése C_j csökkenését eredményezi. Negatív w_{ij} élsúly az előbbivel éppen ellentétes módon azt jelenti, hogy C_i növekedése C_j csökkenését, C_i csökkenése C_j növekedését vonja maga után. Ha a w_{ij} élsúly értéke nulla, akkor C_i és C_j között nincs kapcsolat.

Fuzzy kognitív térképről lévén szó, az egyes tényezők numerikus jellemzői kizárólag fuzzy, vagyis $[0, 1]$ tartománybeli értékeket vehetnek fel, az egyes élsúlyok pedig hasonlóképpen csak $[-1, 1]$ tartománybeli értékek lehetnek. Fontos megjegyezni, hogy a tényezők közötti összefüggés nem feltétlenül azonos abszolút értékű mindkét irányban ($1/2 w_{ij} \neq 1/2 w_{ji}$).

Az egyes tényezőket jellemző numerikus értékek számított értékek, melyeket az alábbi módon határozhatunk meg:

C_i tényező hozzárendelt értéke a $t+1$ -dik időpillanatban vagy lépésben:

$$x_i(t+1) = f \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_j(t) w_{ji} \right).$$

ahol $f(x)$ alatt általában egy szigmoid átviteli függvényt értünk, például az

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

² <http://www.fcmmappers.net/joomla/>

függvényt. A módszert, megkülönböztetve azt más megközelítésektől, FCM I módon jelöljük.

A következő időpillanatra (következő lépésre, rendszerállapotra) vonatkozó érték így mindig a megelőző pillanatban kiolvasható összes többi ($n-1$ darab) tényező súlyozott szorzatösszegével, pontosabban annak $f(x)$ -beli függvényértékével lesz egyenlő. Súly alatt a többi tényezőtől az éppen számított tényezőbe mutató élsúlyok értékeit értjük, $\lambda > 0$ paraméter pedig az x_i függvény görbületét szabályozza a $[0, 1]$ tartományban. Az $f(x)$ függvény más egyéb szigmoid típusú³ függvény is lehet.

Ha a rendszer tényezőinek állapotát több jellemző írja le, akkor a t lépéshez tartozó tényezőkhez az FCM az X állapotvektort rendeli:

$$X(t+1) = f(W^T X(t)),$$

ahol W az élsúlyokból alkotott

$$W = [w_{ij}]_{1 \leq i, j \leq n}$$

mátrix (LANTOS 2014).

Nem egyszerű feladat olyan rendszerhez kognitív térképet rendelni, melynek viselkedését esetlegesen a véletlen határozza meg. Annak ellenére, hogy a rendszerbeli bizonytalanságot a fuzzy eszközök segítségével modellezzük, a szakértők szubjektív véleménye komoly szerepet tölt be a kezdeti állapotterkép tényezőinek megválasztásában. Kimaradhatnak olyan tényezők vagy kapcsolatok a kezdeti modellből, amelyek hiányában később a rendszer viselkedésének modellezése torzult képet ad a lehetséges kimeneteket illetően. Sokan ezt a módszer hiányosságának vélik, de ha figyelembe vesszük azt, hogy az emberi agyban végbemenő modellezés sem veheti és veszi minden esetben figyelembe a környezet bizonyos hatásait, illetve az embertársak habitusát, akkor megfelelő körülményekkel a nagyobb hibákat kiszűrhetjük.

A következtetés és kiszámíthatóság a modellépítéskor alapvető fontosságú, a modell ugyanis a rendelkezésre álló tudásanyagból építkezik. A rendszer viselkedésének előrejelzése eszközöként alkalmazott fuzzy kognitív térképet azonban olyan módszerrel javasolt készíteni, melyet részben elvonatoztatunk a feladat jellegétől, ugyanakkor az alkalmazható átviteli függvények változatossága és a rendszermodell átlátható grafikus megjelenítése, rugalmas változtathatósága teret ad a kísérletezésnek. Az alkalmazott tanuló algoritmusok célja,

³ Értéktartománya: $[-1, 1]$, $f(-x) = -f(x)$, $f(0) = 0$, $f(\infty) = 1$, $f(-\infty) = -1$

hogy a kezdeti statikus kapcsolatrendszerbe (állapottérképbe, állapotvektor és élsúly értékekbe) egy ismert, kísérletekből, korábbi mérésekből nyert adathalmaz alapján, beépítse a valós időben zajló változásokat, hatásokat. A betanított rendszermodellben ezután a következő időpillanatokban várható állapotokra következtethetünk, kiszámíthatjuk a kapcsolódó állapotvektorokat, azaz előrejelzést adunk a rendszer viselkedését illetően.

ESETTANULMÁNY

Az esettanulmány a felsőoktatásban tanuló fiatalok előmenetelének becslésére ad modellt, az előmenetelt befolyásoló tényezők kölcsönhatását fuzzy kognitív térképpel modellezve és korábbi félévek adatbázisát felhasználva a tanuló algoritmusban.

Több más forrásban is találunk olyan matematikai modelleket, amelyek a hallgatói előmenetel becslésére adnak megoldást, de más-más tényezőcsoport figyelembevételével. Figyelemre méltó például Cole cikke, aki egy oktatási program sikerességének általános tényezőit és kölcsönhatásukat foglalta fuzzy kognitív térkép rendszerbe (például az „emberi erőforrás” tényező hatását a „program sikerességére” mint tényezőre „nagyon erősnek” mondja, fuzzy nyelvi változóval kifejezve) (COLE et al. 2000). Lallé és szerzőtársai a hallgatóknak nyújtott segítség különböző formáit mint tényezőket vizsgálja (LALLÉ et al. 2013). A felírt módszereket metrikus eszközökkel állítja egymás mellé és veti össze adott esetekre nézve azok eredményességét.

Az esettanulmányban alkalmazott módszer és tényezőhalmaz első közelítésben rámutat arra, hogy a Neptun hallgatói adatbázisban⁴ a hallgatóra vonatkozó adatok kapcsolata milyen irányúvá és intenzitásúvá válik, ha a rendszermodellt az előző félévek adataival tanítjuk. Miután a fuzzy kognitív térkép beállt a tanított értékekre, újabb két félév eredményességét becsljük meg az előző fejezetben leírt átviteli függvény segítségével. A félévek adathalmazait úgy választottuk meg, hogy ez utóbbi kettőnél is ismerjük a tényezőkhöz rendelt numerikus értékeket (rögzített adat), így a valóban rögzített adatokat és az FCM-rendszer által becsült értékeket összevethetjük, verifikálhatjuk.

Az eredményesség mutatóinak rendszerezése

Figyelembe véve a hallgatókról a Neptun nevű hallgatói adatbázisban rögzített adathalmazt és azok mérhetőségét (FALUS 2004), összegyűjthetjük azokat, amelyek egyfelől az eredményesség előjelzésének eszközei lehetnek, másrészt

⁴ <https://neptun.uni-obuda.hu/>

pedig egy fuzzy kognitív térkép (FCM) elkészítéséhez tényezőként alkalmazhatók lesznek. A kategorikus, illetve mért tényezők (változók) közül a fuzzy kognitív térképen azonban csak ez utóbbi, mérhető tényezőket vesszük most figyelembe (például a hallgatók nemét nem). A *személyes* és *szituatív* (FALUS 2004) tényezők egy részét is csak az eredményesség előjelzése során tudjuk felhasználni. A kollégiumi díj mértéke, mely *szituatív* tényező, például felhasználható, mert változása egy korábbi félévi értékhez képest (előző időpillanat a vizsgálat szempontjából) akár az életvitelben bekövetkezett változásra is utalhat. Falus további javaslatait figyelembe véve a függő és független, a *konstans* vagy *külsődleges* jellemzőket illetően a következő tényezőket használjuk a kognitív térkép kialakítása során:

- C_1, C_2 : tanulmányi átlag / kumulált tanulmányi átlag
- C_3 : ösztöndíj-index
- C_4, C_5 : felvett kredit / felvett összkredit
- C_6, C_7 : teljesített kredit / teljesített összkredit
- C_8, C_9 : díjazott TDK-k száma az adott félévben / össz. eredményes TDK
- C_{10} : befizetett költségtérítés
- C_{11} : befizetett kollégiumi díj
- C_{12} : kifizetett tanulmányi+köztársasági ösztöndíj (tanulmányok)
- C_{13} : kifizetett szociális+Bursa ösztöndíj+alaptámogatás (szociális helyzet)
- C_{14} : kifizetett közéleti ösztöndíj (munka)
- C_{15} : egyéb kifizetések (alapítványi, pályázati, kooperatív, doktori, TDK)
- C_{16}, C_{17} : kumulált befizetések / kumulált kifizetések
- C_{18} : aktív félévek száma a mostanival bezárólag
- C_{19} : passzív félévek száma a mostanival bezárólag

A kapcsolatrendszerrel illetően például így gondolkozhatunk: ha **valamennyivel** több ösztöndíj eléréséhez **valahányszor** akkora ösztöndíj-indexet kell teljesíteni, akkor a két érték exponenciális kapcsolatát célszerű úgy kezelni, hogy az ösztöndíj-index helyett annak logaritmusát vesszük FCM-tényezőként. Jelen esetben minden egyes kapcsolatot átgondolva ilyen jellegű „átskálázásra” nem volt szükség.

A kísérlet folyamán a számítások jellegéből eredően a tényezők értékkészletét azonos tartományba szorítjuk, átskálázzuk (például az $x \in (1, 5]$ akkreditált tanulmányi átlagot). A fuzzy kognitív térkép akkor illeszkedik jól a megoldás alapötletéhez, ha a tényezők egymásra gyakorolt hatásának ismerete nélkül ezen hatások felderítéséhez a mennyiségeket összemérhetővé tesszük. Az összemérhetőséget a tényezők $[0, 1]$ tartományba transzformált értékei biztosítják számunkra.

A feladat kritikus pontja, hogy az egyes tényezők együttes kölcsönös hatását mi módon lehet matematikai eszközökkel feltárni, ahelyett, hogy szubjektív mó-

don összeválogatott tényezőpárok kapcsolatát kellene utólagosan matematikai eszközökkel igazolni vagy cáfolni.

A kísérlet folyamán az látszott, hogy ha a gyengén teljesítő, illetve a későbbi félévekben lemorzsolódó hallgatók eredményeinek segítségével tanítjuk a rendszert, torz képet kapunk a tényezők kapcsolatrendszeréről. Tekintettel arra, hogy a gyakorlati alkalmazás szempontjából az oktatási rendszerben maradókra vonatkozó előrejelzést szeretnénk, a gyengén teljesítőket és a lemorzsolódók eredményeit kiiktatjuk, és a bennmaradt hallgatók eredményeinek befolyását is például azok tanulmányi átlagának arányában vesszük figyelembe.

Az n tényezős rendszerünkben tehát C_v tényezőjének vizsgálatakor valamennyi C_x ($x=1\dots n$, $x\neq v$) értékét C_v -vel súlyozva átlagoljuk, majd az így kapott eredményt osztjuk a súly nélkül számolt átlaggal. Így végül azt kapjuk meg, hogy C_v tényező valamennyi tényező együttes hatásához képest ($x=v$ esetet is beleértve) hány-szoros mértékben befolyásolja az egyes C_x ($x=1\dots n$, $x\neq v$) tényezők értékeit. A dolog fordítva is igaz. Azt is megmutatja, hogy valamennyi egyéb tényező C_v -re gyakorolt hatása hány-szorosa az összes tényezőre gyakorolt együttes hatásaihoz képest.

Az így kapott értékeket programozottan a $[-1, 1]$ tartományba kell képeznünk. Megoldásképpen az

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

függvény λ értékére

$$\lambda = \frac{1}{\ln m}$$

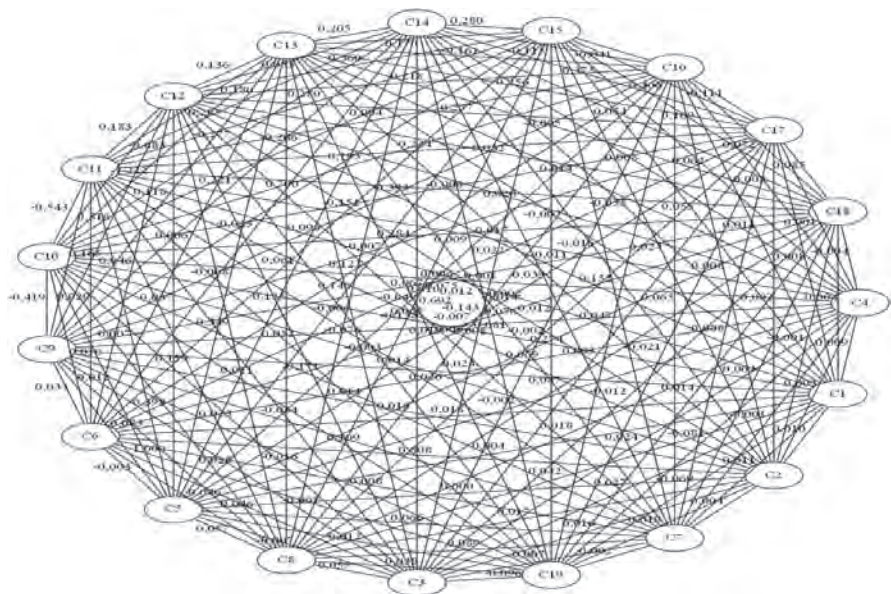
értéket veszünk, ahol a fentiekben leírt hányadosok maximumát m -mel jelöltük.

Tekintettel arra, hogy az alkalmazott módszernél a tényezők maguk is hatással vannak saját rákövetkező állapotukra, az úgynevezett FCM II módszert is alkalmazhatnánk, ahol az állapotváltozást a következőkkel adjuk meg:

$$x_i(t+1) = f \left(k_1 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n x_j(t) w_{ji} + k_2 x_i(t) \right).$$

A most felállított modellbe azonban a tényezők ön-hatását az összesített tényezők magukban hordozzák, így az egyszerűbb FCM I modellnél maradunk,

és az 1. ábrán látható teljes térképet kapjuk, miután a rendszert 2152 hallgató három félévnyi adataival tanítottuk.



1. ábra. Az FCM I módon nyert teljes, irányított, súlyozott páros gráf

AZ EREDMÉNYEK VERIFIKÁLÁSA

Az 1. ábrán látható FCM I modellel a továbbiakban a modell tanításához felhasznált három félévet követő két félév eredményeire adtunk szimulációval előrejelzést. Tekintettel arra, hogy ezen félévek is közben lezajlottak, és az adatok rögzítésre kerültek a Neptunban, összehasonlíhattuk a szimulációval kapott előrejelzést a valódi értékekkel.

Hogy csak egyet emeljünk ki a jól becsülhető tényezők közül: láthatóvá vált, hogy a tanulmányi átlag esetében $\pm 30\%$ -nyi hibát megengedve az esetek 84%-ában ad helyes eredményt az FCM I. A C_2 tényezőnél ez 93%, C_3 tényezőnél pedig 58%. Ha ugyanezeket megnézzük 20%-os toleranciával, 70%, 84% és 34% arányban ad a térképünk megfelelő eredményt. Egy legfeljebb 5-ig terjedő érdemjegynél ez fél osztályzatot jelent (vagyis pl. 4,2 helyett 4,7-et kalkulál, vagy fordítva), tehát valóban mindenki számára érthető a kapott eredmény jelentősége.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy elsősorban azon tényezőknél kapunk elfogadható eredményt, amelyek maguk is normál eloszlásúak (mint például a tanulmányi átlag). A további kutatások feladata, hogy ezt az összefüggést matematikai formalizmussal is alátámasszuk.

MIBEN ÉS MIÉRT JÓ A MÓDSZER?

Az alkalmazott módszer több ponton eltér a fuzzy kognitív térképek segítségével megadható hallgatói eredményesség (és hallgatói állapot) meghatározására szolgáló más módszerektől, illetve a tudásbázis reprezentálásra szolgáló más módszerektől.

1. A tényezők kiválasztása nem véletlenszerű és nem is teljesen intuitív kutatás-módszertani és pedagógiai területen jártas szakember besorolása alapján történt (FALUS 2004).
2. A tanítási algoritmus újszerű, mert kihasználja a függvényválasztás lehetőségének változatosságát. A tényezőkben önmaguk előző állapotainak hatását a kumulált hatással visszük tovább, így az összetettebb FCM II függvény helyett továbbra is az FCM I függvényt használjuk.
3. Megtörtént az eredmények statisztikai verifikációja. A hipotézisünk az, hogy amikor a hallgatók populációjára egy már ismert, mért adathalmazt összehasonlítunk egy, a módszer alkalmazásával kapott, ugyanarra a populációra vonatkozó adathalmazzal, akkor a két adathalmaz nem tér el szignifikánsan egymástól, tehát a módszer előremutatóan is alkalmazható. Megfelelő statisztikákkal azt bizonyítottuk, hogy a hipotézisünk beigazolódott (LANTOS 2014).

Miután a kísérletet elvégeztük, a következőket mondhatjuk ki az alkalmazott módszer eredményeiként:

1. Az alkalmazott FCM megmutatta az első tanítási szakaszban, hogy mely kapcsolatok erősek a kiválasztott, hallgatói előmenetelt befolyásoló tényezők között, és melyek elhanyagolhatók. Ennek alapján egy következő kísérletnél már egy bizonyos küszöbértéken alul teljesítő kapcsolatokhoz nem veszünk fel élet, így a gráf áttekinthetőbb lesz, ritka mátrix lesz az élmátrix, és kisebb lesz a számítási igény.
2. A verifikáltan meghatározó élek (amelyek a szűrés után a rendszerben maradtak) azokat a tényezőket kötik össze, amelyeknél a kontroll félévekben mért értékek és a betanított, FCM által számítottak csak az előlátott statisztikai határokon belül maradnak, azaz a betanított háló alkalmazható további félévek eredményességének becslésére is.

A kutatás és a módszer alkalmazásának folytatásaként a számított élsúlyokhoz fuzzy nyelvi változókat is rendelhetünk, természetesen a vizsgált $[-1, 1]$ tartományt lefedve olyan fuzzy halmazok tagsági függvényeivel, mint például *nagyon gyengíti*, *gyengíti*, *nem hat rá* (olyankor, ha az élsúly nulla körüli érték), *erősíti*, *nagyon erősíti*. Ily módon egy Cole-típusú modellt kapunk.

IRODALOM

- AXELROD, Robert 1976. *Structure of Decision: The Cognitive Map of Political Elites*, Princeton University Press
- COLE, Jason R., PERSICHITTE Kay A. 2000. *Fuzzy Cognitive Mapping: Applications in Education*, International Journal of Intelligent Systems, VOL. 2000/15, pp. 1–25.
- FALUS Iván szerk., 2004. *Bevezetés a pedagógiai kutatás módszereibe*. A pedagógiai kutatás módszerei Vol. 1. Műszaki Könyvkiadó
- KOSKO, Bart 1986. *Fuzzy cognitive maps*. International Journal of Man-Machine Studies, 1986/24., pp. 65–75.
- LALLÉ, Sébastien; MOSTOW, Jack; LUENGO, Vanda; GUIN Nathalie 2013. *Comparing Student Models in Different Formalisms by Predicting Their Impact on Help Success*. Artificial Intelligence in Education, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Volume 7926, 2013, pp. 161–170.
- LANTOS Zoltán 2014. *Hallgatói eredményesség vizsgálata lágy számítási módszerek alkalmazásával*. Diplomadolgozat. Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar, Alkalmazott Matematikai Rendszerek Intézet
- PAPAGEORGIOU, Elpiniki I. 2013. *A Review of Fuzzy Cognitive Maps Research During the Last Decade*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Volume 21, Issue: 1, pp. 66–79.
- SRAM Norbert 2012. *An Ontology Model-based ECG Diagnostic Solution*, IEEE 10th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII 2012), pp. 109–111.
- TAKÁCS Márta 2012. *A kulturális és gazdasági antropológiai vizsgálatok XXI. századi matematikai módszerei*. Létünk XLII. évfolyam, 2012. 4. szám, pp. 70–77.

Fuzzy Cognitive Maps

Fuzzy cognitive maps describe the relationship between the elements of the system, on one hand in the form of a graph, on the other with a mathematic model that well illustrates the interaction of the elements of the system. The interaction can be conveyed by weighing the connecting edges of elements. Fuzzy weights applied instead of sharp values imply the display of the system's uncertain behavior and the use of learning algorithms forecasting the systems future behavior. The case study gives a model of assessing students' achievement in their higher education. The interaction of elements influencing the achievement is modeled by a cognitive map, using the databases of previous semesters in learning algorithm.

Key words: fuzzy cognitive maps, elements, graph, mathematical model

Fuzzy („nejasne”) kognitivne mape

Fuzzy kognitivne mape opisuju sistem odnosa između elemenata sistema, delom u obliku grafa, a delom sa takvim matematičkim modelom, koji dobro predstavlja interakciju elemenata sistema. Interakciju možemo detektovati po-

moću rubova koji povezuju elemente. Fuzzy tegovi koji se primenjuju umesto vrednosti rubova, u sebi sadrže prikaz nesigurnog ponašanja sistema, i vezano za to, primenu učeničkih algoritama, koji prognoziraju ponašanje sistema u budućnosti. Ova studija slučaja daje model za procenu napredovanja mladih studenata, modelirajući interakciju činilaca koji utiču na njihovo napredovanje fuzzy kognitivnom mapom, i koristeći bazu podataka ranijih semestara u algoritmu učenika.

Ključne reči: fuzzy kognitivne mape, elementi sistema, graf, matematički model

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Pásztor Kicsi Mária

Újvidéki Egyetem, BTK, Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék
manyipsztorkicsi@gmail.com

A NYELVÉSZET MATEMATIKÁJA¹

Mathematics of Linguistics

Matematika lingvistike

A matematika és a nyelvtudomány határtudománnyá válásának folyamata már a huszadik század első harmadában elkezdődött, és azóta is egyfolytában tart, ahogyan az ezzel kapcsolatos viták is mindmáig aktuálisak. Mára azonban már nyugodtan állíthatjuk, hogy a nyelvészet bizonyos részei kimondottan matematikai indíttatásúaknak mondhatók, ilyen tekintetben pedig a két tudomány érintkezési tartományainak nagyjából három területe körvonalazódott. A matematikai módszerek legalapvetőbb alkalmazási területe az ún. *nyelvstatisztika*, melynek segítségével a nyelvi jelenségek gyakorisági relációit vizsgálhatjuk, és összevetésük által megfelelő szabályszerűségeket (ideális esetben statisztikai törvényeket) állapíthatunk meg. A nyelvtudomány egzaktságra törekvése másfelől az *absztrakt matematikai modellek* alkalmazását hívta elő a különböző nyelvi szintek struktúráinak formális ábrázolására, míg az információelmélet és a számítógépes ipar fejlődésével az ún. *nyelvi technológiák* kezdtek mind nagyobb teret hódítani. A tanulmány ezt a három területet kísérel meg körüljárni és értelmezni.

Kulcsszavak: matematika, nyelvészet, interdiszciplinaritás, nyelvstatisztika, formális modellek, nyelvtechnológia, világháló

AZ INTERDISZCIPLINARITÁS ÚTJÁN

Az ezredforduló tudományos irányzatait és gondolkodásmódját szemlélve egyértelműen megállapíthatjuk, hogy korunkra már egyre kevésbé jellemző az elszigetelt diszciplínákba zárkózás tendenciája.

Lényegében már a 20. század elején kiderült, a negyvenes évek derekáig pedig nyilvánvalóvá vált, hogy egyes tudományokon belül annyira megsokasodtak bizonyos kérdések és problémák, amelyekre saját területükön belül már nem tudtak elfogadhatóan konstruktív választ adni, hogy egyfajta integrálódási folyamat indult meg, s fokozatosan körvonalazódni kezdtek az egyes határtudományok.

¹ A tanulmány a Szerb Köztársaság Oktatás- és Tudományügyi Minisztérium 178017-es számú projektuma keretében készült.

Az interdiszciplinaritás eleinte azoknak a területeknek a határsávján kezdett kibontakozni, amelyek különben is rá voltak utalva, hogy egymás módszereit és ismereteit alkalmazzák. Így például a biokémia esetében az élő szervezetekben előforduló elemek és vegyületek, illetve kémiai folyamatok (pl. fotoszintézis) megismerése vegyi elemzések nélkül elképzelhetetlen, ugyanakkor a vegyészet számára is új kérdéseket vetett fel a szerves vegyületek kémiai folyamatainak feltárása. Kezdetben azonban nemigen volt példa rá, hogy a természet- és a humán tudományok között alakuljon ki kölcsönös érdeklődés, ugyanis a tudományosság kritériumait illetően igen mélyen berögződött a 19. századi gondolkodás pozitivista hozzáállása, melynek értelmében csak a természettudományok számíthattak tudományosságuk elismerésére, ugyanis csak azok voltak képesek tételeiket és állításait empirikus módszerekkel (megfigyelésekkel, kísérletekkel, mérésekkel, műszeres megfigyelésekkel stb.), valamint egy megfelelő matematikai apparátussal is alátámasztani. A társadalomtudományok és a humán diszciplínák ellenben a 20. századot megelőzően túlnyomórészt történeti, összehasonlító, illetve logikai és/vagy filozófiai módszerekre alapoztak, emellett vizsgálódásuk tárgya első rálátásra nem volt alkalmas a természettudományok által definiált empirikus módszerek alkalmazására (sem pedig törvény erejű állítások megfogalmazására), így lényegében mindmáig nem szűnt meg annak a sztereotip felfogásnak a továbbélése, miszerint a humán diszciplínákat nem igazán lehet tudománynak tekinteni.

Nem meglepő tehát, hogy a tudományosság ily módon értelmezett kritériumai odahatottak, hogy a humán és társadalomtudományok is igyekeztek beépíteni az empirikus és matematikai módszereket metodológiájukba. Így például a kezdetben túlnyomórészt filozófiai alapokra építő pszichológia a 19. és 20. század fordulóján kísérleti és mérési eljárásokat, majd statisztikai módszereket iktatott kutatásaiba, a szociológia viszont többek között nagyobb kiterjedésű reprezentatív mintákon végzett statisztikai felmérések alapján igyekezett kiszűrni a társadalmi struktúrákra és folyamatokra jellemző szabály- és törvényszerűségeket.

A matematikai módszerek alkalmazhatósága egy tudomány szempontjából kutatásainak egzakttá megalapozottságát igazolja a tudományosság ítélőszéke előtt.

Alberti Gábor szerint a matematika „a nyugati gondolkodás számára nem egy a tudományok közül, hanem a tudományosság maga: az a »nyelv«, melyen meg tudjuk fogalmazni az elvont összefüggéseket, az a szilárd alap, melyre önálló életre kelő, termékeny tudományos elméleteket lehet felépíteni” (ALBERTI 2006: 7).

Ha azonban a matematikára úgy tekintünk, mint a tudomány univerzális nyelvére, vagy – Galilei szavait parafrázálva – mint arra az ábécére, amely-lal Isten az univerzumot írta, felmerül a kérdés, vajon hogyan tekinthetünk

minderre a nyelvészet aspektusából, vagy még tovább lépve, a nyelvészet és a matematika kapcsolatának szemszögéből.

A NYELVÉSZET ÉS A MATEMATIKA TALÁLKOZÁSA ÉS ÖSSZEFONÓDÁSA

Ha a nyelvészet és a matematika közötti összefüggéseket keressük, laikus szemmel nézve azonnal felvetődik a kérdés, hogy miféle kapcsolat létezhet közöttük, sőt, az a végletes kétség is, hogy vajon a tudományok királynője egyáltalán hajlandó-e szóba állni egy olyan távrolról sem természettudományosnak vélt diszciplínával, mint amilyen a nyelvészet.

A tények azonban éppen az ellenkezőjét támasztják alá, lévén, hogy nem is egy olyan matematikus említhető meg a magyar tudománytörténet alakulása során, aki matematikai és egyéb természettudományi tanulmányai mellett kimondottan nyelvi kutatásokat is folytatott.

Hadd említsük itt meg elsőként Sajnovics Jánost (1733–1785), aki egyidejűleg volt matematikus, csillagász és nyelvész, s aki az 1770-ben Koppenhágában közzétett nyelvészeti műve révén, amelyben a magyar és a lapp nyelvet vetette egybe (*Demonstratio idioma ungarorum et lapporum idem esse* [Bizonyítása annak, hogy a magyar és a lapp nyelv azonos]), a finnugor összehasonlító nyelvészet és az őstörténeti kutatások egyik megalapozójaként lépett be a magyar tudomány történetébe (BARTHA 1991; A. JÁSZÓ 2007: 740).

De nem is kell annyira visszamennünk a múltba, hisz a 20. század szülöttei között is említhetünk matematikusokat, akik nyelvészettel foglalkoztak vagy foglalkoznak.

A magyar nyelvészet terén így mindenképpen Petőfi S. János (1931–2013), nemzetközi jelentőségű tudományos hagyatékkal rendelkező nyelvészünk érdemel említést, aki 1955-ben matematika-fizika-ábrázoló geometria, majd 1961-ben német nyelv és irodalom szakos diplomát szerzett, s aki több külföldi egyetemen is (pl. Göteborg, Konstanz, Bielefeld, Macerata) szerzteágazó szövegnyelvészeti kutatásokat folytatott. Tudományos koncepciója értelmében a szöveget komplex jelként szemlélte, elméletének alap gondolata pedig az volt, hogy „a szövegeket interdiszciplináris módszerek felhasználásával, a humán kommunikáció szemiotikai elméletébe ágyazva, multimediális szemiotikai objektumokként írja le” (MTA 2013). Ilyen szempontból pedig a szemiotikai szövegten szellemi atyjának és megalkotójának tekinthetjük.

Ezenkívül még más nyelvészeket is felsorolhatnánk, akik ma is aktív kutatásokat végeznek Magyarországon és külföldön, s akik a matematika irányából érkeztek a nyelvészet területére (pl. Kornai András, Alberti Gábor stb.), munkásságuk részletes ismertetésétől azonban itt most terjedelmi okokból eltekintünk.

A felsorolt példák elegendőek arra, hogy feltételezhessük egy olyan metszés-felület létezését a matematika és a nyelvészet határmezsgyéjén, amely valamilyen okból felkelti a matematikusok érdeklődését a nyelv dolgai iránt. Ez pedig nyilván nem más, mint a már említett megállapítás, miszerint a matematika is egy sajátos (absztrakt) nyelvet képez. Ugyanis a természetes nyelvekhez hasonlóan a matematika is rendelkezik egy alapvető jelkészlettel, amely az alapfogalmak tárárt (a matematikai nyelv szókészletét) jelöli; egy szabályrendszerrel, amely a jelek egymás közti viszonyát és kombinálhatóságát (a matematikai szintek és műveletek „grammatikáját”) meghatározza; illetve egy metanyelvi apparátussal, amely a kódrendszer és a szabályok értelmezését (a matematikai nyelv leírását) biztosítja. A matematika nyelve továbbá abban is hasonlít a természetes nyelvekre, hogy mindkét nyelvtípus „mondat- és szövegtana” elemi proposíciókból építkezik, mégpedig megfelelő szabályokban lefektetett transzformációs és logikai műveletek felhasználásával. Ilyen szempontból pedig önként kínálkozik a lehetőség, hogy a matematika és a nyelvvizsgálat kölcsönösen merítsenek egymás felismeréseiből és tapasztalataiból, amelyek a két nyelvtípus külön-külön történő tanulmányozása során merültek fel és kristályosodtak ki. Ennek igénye pedig különösen azóta aktualizálódott, amióta az információs és kommunikációs technológia olyan fejlettségi szintre jutott, hogy lehetővé tette egy teljesen új interdiszciplináris terület, a nyelvtechnológia megalapozását és létrejöttét. Ez az új diszciplína pedig törekvéseit illetően – ti. hogy az emberi nyelvet, illetve beszédet a mesterséges (gépi) intelligencia számára érthető és feldolgozható, sőt szimulálható formában kódolja – olyan új profilú, felsőfokú képzettséggel rendelkező szakembereket kezdett igényelni, akik megközelítőleg azonos tökéletességgel ismerik a természetes nyelv szabályait, mint a matematika és a számítástechnika sajátos gépi logikáját, algoritmusait és kódolási mechanizmusait.

Ilyen szempontból pedig nem csoda, hogy Európában már van rá példa (pl. az Egyesült Királyság yorki egyetemének matematika szakán)², hogy a matematika és a nyelvészet kombinált tanrendjét kínálják fel egyetemi alapképzésen a hallgatóknak. Arra a figyelemfelkeltő és felhívás értékű kérdésre pedig, hogy miért is döntsenek a hallgatók e vegyes kurzus kiválasztása mellett (avagy „Why study Linguistics and Maths?”), a következő választ kínálják a honlapon: „A nyelvészet a nyelv tudománya. A nyelvészet arra törekszik, hogy megértse a természetes emberi nyelv tulajdonságait – hogy miként szerveződnek struktúrárává a nyelvek, miként és miért variálódnak és változnak, hogyan sajátítjuk el őket, és milyen módon kommunikálnak általuk az emberek.

A matematika ezzel szemben a tudomány nyelve. Olyan egymástól távol eső területek megértését szolgálja, mint amilyen a vírusok szerkezete vagy a boly-

² United Kingdom, University of York, Department of Mathematics

gók járása. A matematika absztrakció útján jut el a példában rejlő alapproblémáig, gyakran eredendően eltérő jelenségek között meglevén a hasonlóságot.”³

Ahhoz azonban, hogy a fent idézett párhuzam egyáltalán létrejöhessen, magán a nyelvészetben belül kellett megszületnie annak a felismerésnek, hogy a természetes emberi nyelv is absztrakt rendszer, amelynek jelei és jelkapcsolatai dinamikus viszonyban állnak egymással és a rendszer egészével, valamint hogy a nyelvi rendszer belső viszonyai, logikai struktúrája és különböző transzformációs szabályai a matematikában kidolgozott kvantitatív, deduktív, illetve különféle formális módszerek segítségével újszerűen értelmezhetővé és modellálhatóvá válnak.

Ehhez azonban a 20. század nyelvészeti iskoláinak elméleti álláspontváltására volt szükség, vagyis arra a nagy paradigmaváltásra, amellyel előbb a nyelvészeti strukturalizmus, majd a generatív nyelvelmélet, illetve a negyvenes–ötvenes évektől az ezredfordulóig kialakult interdiszciplináris elméletek (pl. matematikai információelmélet, kommunikációelmélet, szemiotika, hálózatelmélet stb.) járultak hozzá a nyelv jelenségének komplexebb megértéséhez.

MATEMATIKAI NYELVÉSZET ÉS NYELVTECHNOLÓGIA

A matematika és a nyelvtudomány határtudománnyá válásának folyamata körülbelül a huszadik század első harmadában kezdődött, és azóta is egyfolytában tart, mint ahogyan az ezzel kapcsolatos viták is mindmáig aktuálisak. Mára már azonban nyugodtan állíthatjuk, hogy a nyelvészet bizonyos részei kimondottan matematikai indíttatásúaknak mondhatók.

Ha viszont körül akarjuk járni azokat az érintkezési tartományokat, amelyek mentén a nyelvészet leggyümölcsözőbb kapcsolatát építette ki a matematikával, nagy általánosságban három területet nevezhetünk meg. Ezek pedig:

1. a nyelvstatisztika;
2. a matematikai (v. formális) modellek alkalmazása a nyelvi relációk és struktúrák ábrázolására;
3. a nyelvtechnológia.

³ „Linguistics is the science of language. Linguists seek to understand the properties of natural human language – how languages are structured, how and why they vary and change, how they are acquired, and how they are used by people to communicate. Mathematics, on the other hand, is the language of science. It’s used to understand areas as diverse as the structure of viruses and the motion of planets. Mathematics abstracts the fundamental issue at the heart of an example, frequently finding connections with other, initially dissimilar, problems.

(URL: <<http://maths.york.ac.uk/www/coursesm1ng>>) – magyarra fordította: P. K. M.

1. A nyelv mennyiségileg mérhető elemeinek gyakoriságát, arányát, előfordulásuknak szabályszerűségeit stb. vizsgáló kvantitatív (alapvetően statisztikai) módszerek alkalmazását, illetve az általuk nyert mennyiségi, illetve statisztikai eredményeket szokták általánosságban nyelvstatisztikának nevezni.

A nyelvstatisztika nem új keletű részét képezi a nyelvvizsgálatoknak, már a számítógépek megjelenése előtt is alkalmazták a nyelvészek. Ennek egyszerű oka pedig az, hogy a nyelv megszámlálható jelenségei kiterjedésükben átfogják a nyelvi rendszer összes szintjét (a hangoktól a szövegig), s így az egyes kategóriák számokkal is kifejezhető relációi az egzaktság kinézetével ruházhatnak fel egy kutatást.

Ezen a ponton azonban mindenképpen meg kell jegyeznünk, hogy a kapott eredmények érvényessége tekintetében egyáltalán nem mindegy, milyen jelenségeket számlálunk meg, és mihez viszonyítjuk őket. A számadatok téves kiválasztása és viszonyítása ugyanis téves eredményeket és következtetéseket von maga után. Ezért a kvantitatív módszerek alkalmazását mindenképpen egy kvalitatív elemző felmérésnek kell megelőznie és követnie. Vagyis, Fóris Ágota szavaival kifejtve: „a kvalitatív és a kvantitatív kutatási módszer egyaránt fontos szerepet játszik a tudományos megismerésben, és mindkét módszer fontos eredményeket szolgáltat. Azt, hogy milyen arányban jutnak szerephez egy meghatározott vizsgálatban, a konkrét kutatási feladat, a kutatás körülményei szabják meg” (FÓRIS 2008: 55).

A statisztikai módszerek alkalmasak lehetnek pl. az egyes hangok megterheltségének felmérésében, és bizonyos írói-költői szótárak is készülhetnek így (azok, amelyeknek összeállításában a szerző stílusára jellemző szavak/kifejezések gyakorisága a mérvadó szempont). Itt azonban meg kell állapítanunk, hogy nem minden írói szótár ilyen jellegű.

A jól megtervezett statisztikai vizsgálatok azonban olyan törvényszerűségekre is rámutathatnak, amelyek esetleg minden nyelvre jellemzőek. Az ilyen univerzális tendenciákat nevezzük *statisztikai törvényeknek/törvényszerűségekné*k.

Közlük például az ún. *Zipf-törvényt* szokták emlegetni, amelynek értelmében „egy szónak a gyakorisági listán elfoglalt helye (= r), valamint szövegbeli használatának gyakorisága (= f) közötti kapcsolatot egy állandó (= C) jellemzi, vagyis $r \times f = C$, ahol C megközelítőleg állandó” (ALBERTNÉ HERBSZT 2007: 795). Magyarán pedig ez annyit jelent, hogy a leggyakoribb szó kb. kétszer olyan gyakran fordul elő, mint a második leggyakoribb, háromszor olyan gyakran, mint a harmadik stb.

A magyar nyelv viszonylatában alkalmazott gyakorisági eljárások közül viszont mindenképpen Deme László módszerét kell megemlítenünk (DEME 1971), amelynek kidolgozásakor a szerző a mondatszerkezeti sajátságok azo-

nosításához megfelelő mutatókat (pl. szerkesztettség, bonyolultság, mélységi, zsúfoltság stb. mutató) dolgozott ki, melyek révén behatárolta a közlő, az értekező, valamint a szépirodalmi prózára jellemző sajátos értékeket. A módszer azonban nem csupán a felsorolt szövegtípusok elemzésére alkalmas, hanem összehasonlítási alapot nyújthat egyéb szövegfajták (pl. a spontán beszéd vagy a publicisztika szövegeinek stb.) mondaszerkezeti vizsgálatához is.

2. A matematikai módszerek alkalmazása azonban nem merül ki a nyelvi jelenségek numerikus (gyakorisági, statisztikai) eljárásokkal történő feldolgozásában, sőt azt is mondhatnánk, hogy a nyelvi jelek relációinak feltárására gyakran nem is a matematika számítási műveletei a legalkalmasabbak. Ennek a célnak ugyanis sokkal inkább a formális logika, a halmazelmélet, a modellelmélet stb. formális lejegyzési és ábrázolási (elvonatkoztatási) módszerei felelnek meg, amelyek – mint már említettük – arra a kutatási tapasztalatra alapoznak, hogy a természetes nyelvek rendszere is – akárcsak a matematika absztrakt nyelvezete – az ilyenfajta vizsgálatokra tökéletesen alkalmas.

A nyelv rendszerének formális leírása előtt először a Saussure által megalapozott strukturalizmus nyitott utat, majd a generatív nyelvelmélet járult hozzá teljes fokú kibontakozásához, mégpedig azáltal, hogy Chomsky transzformációs generatív grammatikai mondatmodellje (a kompetencia fogalmával alátámasztva és átszöve) nem csupán a nyelvtudomány belterjes továbbfejlődésének adott löketet, hanem új típusú interdiszciplináris kapcsolatok létrejöttét is elősegítette.

A kompetencia elgondolása ugyanis, miszerint az emberi agy veleszületett (öröklött és fajspecifikus) érzéke révén véges számú nyelvi elemből végtelen számú grammatikailag helyes mondatot képes létrehozni (generálni), olyan kihívás elé állította a nyelvtudósokat, hogy fejlesszék ki, majd tökéletesítsék a modellt, melynek segítségével tetszőleges szöveg generálása válhatna lehetővé. Az ekképpen definiált feladat azonban már túl tág volt, hogy megoldható legyen a nyelvészet keretein belül, így egyrészt az ötvenes évek elején megszületett a pszicholingvisztika, amelynek egyik támpillérét és előzményét (a neobehaviorizmus mellett) éppen Chomsky elmélete képezte, másrészt viszont a számítástechnika egyre újabb vívmányainak integrálása révén többek között a gépi fordítást megcélzó nyelvtechnológia fejlődési útja is megalapozódott.

3. A nyelvtechnológia olyan interdiszciplináris érintkezési felületét képezi a nyelvészetnek, amely a nyelvi struktúrákat különleges formában kódolva és programozva képes a mesterséges intelligencia számára feldolgozhatóvá tenni. Az érintkezési felület ez esetben már valójában nem is csupán inter-, hanem sokkal inkább multidiszciplinárisnak mondható. Ehhez az alkalmazott tudományi szakterülethez ugyanis olyan szakemberekre van szükség, akik – mint említettük – egyaránt jártasak a nyelvi és a számítógépes rendszer útvesztőiben:

nyelvészek, matematikusok és informatikusok egy személyben, akik mellesleg jártasak a pszichológiában is.⁴

A nyelvtchnológia azonban – bár máig is jelentős eredményeket mutatott fel – valójában még mindig a jövő tudománya, s így itt csak nagy vonalakban vázoljuk fel alapvető területeit.

Így alapvető feladatai vannak még a nyelvészeti kutatásokat elősegítő kódolt adatbázisok és megfelelő elemzőprogramok további fejlesztésében, a gépi fordítás, a beszédfelismerés és a gépi beszéd létrehozásának további kutatása, a személyi számítógépek felhasználói részére készülő nyelvi szoftverek tökéletesítése és nem utolsósorban a világháló webes nyelvi szolgáltatásainak és alkalmazásainak további elmélyítése.

A nyelvtchnológia átfogó és teljes értékű kibontakozási közege ugyanis minden bizonnyal a világháló tere lesz.

IRODALOM

- ALBERTI Gábor 2006. *A matematika a természetes nyelvek leírásában*. Budapest
- ALBERTNÉ HERBSZT Mária 2007. A nyelvtudomány interdiszciplináris kapcsolatai. = A. Jászó Anna (szerk.): *A magyar nyelv könyve*. Budapest, 771–801.
- BARTHA Lajos 1991. Egy matematikus megalapozta az összehasonlító nyelvészetet. Sajnovics János emlékezete. *Ponticulus Hungaricus* IX. évf. 5. sz.
- URL. <<http://members.iif.hu/visontay/ponticulus/rovatok/nyomhagyok/bartha-sajnovics.html> – 2014. 10. 23.
- DEME László 1971. *Mondatszerkezeti sajátosságok gyakorisági vizsgálata*. Budapest
- FÓRIS Ágota 2008. *Kutatásról nyelvészeknek. Bevezetés a tudományos kutatás módszertanába*. Budapest
- A. JÁSZÓ Anna 2007. A nyelvtudomány történetének vázlata. = A. Jászó Anna (szerk.): *A magyar nyelv könyve*. Budapest, 723–770.
- MTA 2013. *Elhunyt Petőfi S. János nyelvész, az MTA külső tagja*. Budapest
- URL: <http://mta.hu/mta_hirei/elhunyt-petofi-s-janos-nyelvesz-az-mta-kulso-tagja-131320/ – 2014. 10. 23.

Mathematics of Linguistics

The process of mathematics and linguistics becoming a subdiscipline started in the first third of the 20th century and has been going on since, just as the discussions related to this are still topical. Nevertheless, we can positively declare that certain parts of linguistics can specifically be characterized as mathemati-

⁴ A tudományköziség és a specializáció igényének megvalósítása érdekében azonban sokkal realisabb és indokoltabb több különböző (speciális profilú) kutató és szakember magas színvonalon koordinált munkacsoportjában gondolkodnunk, mint polihisztori tudással rendelkező egyéni kutatókról.

cally driven. From this aspect, the contact area of the two sciences has divided roughly into three areas. The fundamental utilization of mathematical methods is the so-called *linguistic statistics* with which the frequency relations of linguistic phenomena can be analyzed, and by their comparison certain rules (ideally, certain statistical laws) can be established. The tendency of linguistics toward exactness has, on the other hand, provoked the application of abstract mathematical models for the formal representation of structures of various linguistic levels, while with the development of information theory and computer industry the so-called *linguistic technologies* have been increasingly gaining ground.

Key words: mathematics, linguistics, interdisciplinary, linguistic statistics, formal models, linguistic technologies

Matematika lingvistike

Proces formiranja interdisciplinarnih veza između matematike i nauke o jeziku započeo je još u prvoj trećini dvadesetog veka, i od onda neprekidno traje, kao što su i rasprave u vezi toga aktuelne sve do današnjeg dana. Trenutno međutim već zasigurno možemo da potvrdimo da su neki tokovi u lingvistici bez ikakve sumnje pokrenuti matematičkim načinom razmišljanja, a sa tog stanovišta presečni domeni ove dve nauke zaokružuju uglavnom tri osnovna područja interdisciplinarnosti. Najosnovniji način primene matematičkih metoda u lingvistici jeste tzv. *jezička statistika*, pomoću koje se vrše proračuni frekventnosti određenih jezičkih pojava, posmatraju relacije među njima, odnosno njihovim upoređivanjem izvlače zaključci o eventualnom postojanju pravila (a u idealnim okolnostima statističkih zakona) u njihovom funkcionisanju. Težnja lingvistike prema egzaktnosti je s druge strane rezultirala primenom *apstraktnih matematičkih modela* u cilju formalnog predstavljanja struktura koje pripadaju različitim jezičkim nivoima, dok je razvojem teorije informacija i računarske industrije započela je i sve intenzivnija ekspanzija tzv. *jezičke tehnologije*.

Ovaj rad predstavlja pokušaj opisa i interpretacije ova tri područja.

Ključne reči: matematika, lingvistika, interdisciplinarnost, jezička statistika, formalni modeli, jezička tehnologija

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Bence Erika

Újvidéki Egyetem, BTK, Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék
erikazambo@eunet.rs

A FIBONACCI-SOR AZ IRODALOMBAN¹

Kontra Ferenc *Angyalok regénye* című kötete példáján

Fibonacci Sequence in Literature

The Example of the Novel by Ferenc Kontra, *Angyalok regénye*

[Novel of Angels]

*Fibonačijev niz u književnosti, na primeru dela Angyalok regénye
(Roman anđela) Ferenca Kontre*

A *Fibonacci-sor* valójában Kontra Ferenc *Angyalok regénye* című, 2014-ben napvilágot látott novellai kiképzésű – vagy ha a műfaji jellemzőket a másik oldalról közelítjük meg, akkor novellák sorából szerveződő – regényének bevezető szövege. Leonardo Fibonacci (1170–1250) itáliai matematikus híres elmélete, illetve képlete több jelentésben is tematizálódik Kontra szövegében. Egyrészt a narráció része, másrészt a regény műfajkonstruáló eleme, harmadrészt az irodalom létmódjára utaló metafora. A novellában megjelenő könyvügnök többek között egy olyan, a ház körüli gazdálkodásról szóló könyvet kínál, amely a nyúltenyésztésre vonatkozó ismereteket a Fibonacci-sorozat példájával teszi szemléletessé, másrészt a képletre történő utalás az emberi lét metaforájaként is funkcionál a szövegben. A regény egészének jelentésszerveződésében is felismerhető a Fibonacci-sor működése, miként az irodalom létformájának szövevényyszerű alakzataiban. A tanulmány ezeket az interdiszciplináris átsajátításokat és átjárásokat vizsgálja Kontra Ferenc *Angyalok regénye* című kötete példáján.

Kulcsszavak: Kontra Ferenc, *Angyalok regénye*, Fibonacci-sor, műfaj, jelentés, létforma

A *Fibonacci-sor* Kontra Ferenc novellai kiképzésű, *Angyalok regénye* (2014) című regényének első története. A cím jelölte argumentum még nem utal közvetlenül a Leonardo Fibonacci (1170–1250) által felállított matematikai képletre² – bármilyen, akár félrevezető értelmet is tulajdoníthatunk neki, mert gondolhatunk pl. egy, az itáliai matematikusról elnevezett utcára vagy házsorra. Az

¹ A tanulmány a Szerb Köztársaság Oktatás- és Tudományügyi Minisztérium 178017-es számú projektuma keretében készült.

² Fibonacci-sorozatoknak nevezzük azokat a sorozatokat, amelyeknél az első két tag adott, ezt követően minden tag az öt megelőző két tag összege. Formulával: adott a_1 és a_2 , és $a_n = a_{n-1} + a_{n-2}$. (www.bethlen.hu/matek/mathist/forras/Fibonacci_sorozat.htm)

első, az elbeszélésbe rejtett konkrét utalás a történet egyik szereplőjének, az úmenti/város széli Vörös Rózsához címzett fogadóban gazdálkodási kézikönyvet kínáló könyvüagnöknek a beszédében hangzik el. Szó szerint idézi, felmondja a Fibonacci-képlet ún. „nyulas” példáját: „Jöjjenek, jöjjenek közelebb, akad itt olvasnivaló bárki kedvére, éppen egy olyan könyvnél tartottam, amit haszonnal forgathattam, van ebben mindenféle hasznos tanács a ház körüli gazdálkodóknak. Itt van ez, amit mutatok, tele metszetekkel az állattartásról. Vegyünk egy pár nyulat. A második hónap végén születik egy új pár, így most már két pár van. A harmadik hónap végén az eredeti nőténynek születik a második pár nyula, így már három pár lesz. A negyedik hónap végén ugyanennek a nőténynek lesz újabb kicsinye, a második hónapban született nőtény most elli az első kicsinyeit, így összesen már öt pár nyúl van” (KONTRA 2014: 11).

Matematika-népszerűsítő portálokon³ és ismeretterjesztő könyvekben (GERŐCS 1988) ugyanennek a következő leírását találjuk: „*Hány pár nyúl származhat egy évben egyetlen pártól, ha minden pár havonta új párnak ad életet, amely a második hónaptól lesz tenyészképes, és feltételezzük, hogy egy ivadék sem pusztul el?*”

A válasz a következő sorozat: 1, 1, 2, 3, 5 stb. Azaz $h_1=1$, $h_2=1$, $h_3=2$, $h_4=3$, $h_5=5$ stb. ha az első két hónapban (h_1 , h_2) még csak a »kezdő« párunk van, a harmadik hónapban születik meg az első új pár. A negyedik hónapban ez az új pár még nem ellik, de szülei igen, így már három pár nyulunk van. És így tovább” (www.bethlen.hu/matek/mathist/forras/Fibonacci_sorozat.htm).

A primer vagy felületes olvasás azonban még ezen a ponton sem reagál okvetlenül, átsiklik felette, miként a kocsma neve (Vörös Rózsa) hordozta jelentésen is. Ez utóbbira a „nyulas példa” elhangzása után, a bolondnak titulált lány konfúzus, rejtélyre utaló megjegyzései alapján figyelünk fel először. A könyvüagnöktől eltulajdonított, inkriminált könyv fedőlapján ugyanis egy rózsaképe, miként a kocsma falán is valamiféle rózsabrázolás látható. Ezekre vonatkoznak a lány kérdései és reflexiói: „Mit jelent rajta ez a vörös rózska?”, illetve: „A falon a rózska, egyetlen szál rózska egy városszéli kocsma falán, semmi egyéb, se kurtizánok, se szentek. A rózska így, befelé csavarodó szirmaival vörös titok marad. Éppen én ne tudnám felfogni, hogy mit jelent. A kocsma nevét – mesebeszéd. Ami elkerülhetetlen, annak a szemlélői lehetünk” (KONTRA 2014: 11).

A történet záró epizódjában, a szöveg utolsó szegmensében azonban elhangzik még egy figyelemfelkeltő, rejtélyes utalás – „*A Fibonacci-sor. Ennek sosem lesz vége*” (Uo. 17) –, amelynek nyomán teremődik meg a befogadásnak az a(z) – enigma feloldására irányuló – helyzete, minek következtében más értelmet

³ www.bethlen.hu/matek/mathist/forras/Fibonacci_sorozat.htm

trader.portfolio.hu/tozsdaszotar/technikai-elemzes/fibonacci-szamok-etc.

nyernek korábban elhangzott allúziók is, pl. a nyulak szaporodását illusztráló képlet, illetve a kocsmá nevében rejlő, illetve a falon függő rózsaaalakzat. A víz (a Duna?) ugyanis különös és iszonytató „hordalékot” vet partra: „Ott lebegtek a vízen hosszú sorban, a kezük kötéllel összekötve, az első a folyó lápos hínárjába keveredve, a háta, mint a teknős páncélja, felpúposodott a vízen, itt állította meg a sort, amely lebegve, magatehetetlenül himbálózott a felszínen, mint az egymáshoz kötözött csónakok. Hátukra fehér festékekkel számokat mázoltak” (Uo. 17).

A „Fibonacci-sor”-ra történő reflexió tehát nemcsak a víz által partra vetett hullák látványát kifejező hasonlatként funkcionál, de a narratív szinteken felbukkanó motívumokat, sőt magatartásokat is értelmezi. A(z) – „időtlenység elátkozott terében” álló – fogadóban történt jelenetek és megjegyzések így utólag konkrét, illetve hozzátvetőleges értelmet nyernek. A könyvügnök által kínált gazdálkodási kézikönyv a Fibonacci-sorozat⁴ ismert példájával szemlélteti a házinyulak szaporodásáról szóló tudnivalókat, ezt idézi a könyvügnök, miközben megjegyzést tesz a könyvet díszítő gazdag illusztrációs anyagra. A regényben később többször is történik utalás erre a „nyulas” képre, majd *A nürnbergi rab* című novella tematizálja is Albrecht Dürer ismert alkotását: „Ma mindenki az óriás bronznyúl előtt fényképezkedik, ami Dürer rajza alapján készült. Szoborba persze nem akkora csoda, mint a tenyérnyi temperafestményen, amelyet már csak tízévente visznek egyszer a nyilvánosság elé. Nem akartam hinni a szememnek, amikor a bécsi Albertinában láttam a képet, hogy minden szál szőr különálló ecsetvonás, amennyi ideig néztem, olyan érzésem támadt, mintha minden szál külön-külön másféle árnyalatú lenne a vörösestől a barnáson át a szürkékig, ezernyiszor mártva újra az ecsetet. És a nyúl vajon mozdulatlanul tűrte, vagy odaszögelték?” (Uo. 106–107).

Nem tudjuk ugyan, hogy kinek – az elbeszélőnek-e vagy valamelyik hősé- nek, a kocsmárosnak, illetve az idegennek a szájából hangzik-e el a rejtélyek kulcsát jelentő Fibonacci-utalás, de több mozzanatot is értelmez. Az ügnök által kínált könyv fedőlapján sem véletlen, hogy egy rózsza képe látható, hiszen a természet több jelensége, pl. a vadrózsza szirmainak elrendezettsége is a Fibonacci-spirálnak megfelelő képlet, ugyanakkor öskép, toposz, amely az antikvitásnak (GÉCZI 2011) és a keresztény szimbolikának⁵ is jelentős mozzanata. Ennek függvényében már a bolondnak titulált lány szavai is új értelmet nyernek, s a Grál-legenda, illetve a haláltánc-jelentés összefüggésében értelmezhetők a rejtélyes szavak („befelé csavarodó szirmaival vörös titok marad”, „ami elkerülhetetlen, annak csak szemlélői lehetünk” [KONTRA 2014: 11]).

⁴ Vö. az 1. számú jegyzettel.

⁵ Dan Brown *A Da Vinci-kód* című bestsellerjében – mint a Fibonacci-képletre reflektáló egyik újabb irodalmi szöveghely – a Grál, a Rózsza, Mária Magdolna és Jézus jelképe (BROWN 2010).

A keresztény szimbólumrendszer több mozzanata szövegszervező motívuma a regénynek, ugyanakkor kettő, az „angyali látomás” és a „haláltánc-motívum” áthatja az elbeszélés minden szintjét a tropikus alakzatoktól a narratív eljárásokig. A Fibonacci-utalás nélkül nem jutna eszünkbe elemezni, feltehetően csak egy véletlen összegnek tartanánk a kocsmáros által kimondott s a fogyasztás arányát/lehetőségét jelző számnak sem: „A két hajós kiforgatta a zsebét, csengtek az aprók a pulton, a kocsmáros dörmögve, hangosan számolt.

Ez 377, majd annyit mérek ki. Három korsóval és másfél pohárral lesz.

De ne egyszerre, az isten áldja meg, ossza két-két korsóba, majd jövök érte, magyarázta a fiatalabb” (Uo., 13).

A 377 a Fibonacci-számsorozat tizennegyedik (más értelmezés szerint a tizenötödik) tagja (N. N., 2014. <http://www.maths.surrey.ac.uk/hosted-sites/R.Knott/Fibonacci/fib.html>). „A számsorozat: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377... és így tovább. A végtelen hosszúságú sorozatban minden következő tag az előző kettő összege. A sorozatban egyre tovább haladva a szomszédos számok közül a kisebbet a nagyobbbal elosztva egyre közelebb kerülünk az 1,618-as értékhez, ami az aranymetszés nevű mértani fogalom esetében az 1 egységnek vett szakaszból szerkesztett nagyobb résznek az arányszáma, és többek között a szabályos ötszög szerkesztésének is az alapja” (N. N., 2014. <http://www.fxprofit.hu/index.php?fx=fibonacci>).

„Végtelen hosszúságú sorozat” (Uo.), mondja a matematikai törvény, amit az elbeszélő a „sosem lesz vége” (KONTRA 2014: 17) megjegyzéssel lendít át a világértés metaforikus alakzatainak szintjére, miáltal a Fibonacci-sorozat létmetaforává, „halálképletté” válik: a vízben úszó hullák látványa pedig ennek képi manifesztációja, a középkori ábrázolások haláltánc-motívumát idézi be a szövegvilágba.

„A Fibonacci-sorozat egymást követő tagjainak a hányadosából kapott sorozat határértéke pontosan az aranymetszéshez [...] tart” (NÉMETH 2013: 20) – olvashatjuk a matematikai tanulmányokban: „Az aranymetszés használatára példaként állíthatjuk a pentagrammát, amelynek az ókorban az eltérő népeknél eltérő jelentése volt, például Babilóniában az öt irányt jelképezte: elöl, hátul, balra, jobbra és fent. Ezeknek az irányoknak asztrológiai jelentést is tulajdonítottak, felülről kezdve az óramutató irányában Mars, Jupiter, Szaturnusz, Merkúr és a Vénusz jelei vannak. A középkorban az öt öselemet jelölték vele: a szellemet, a levegőt, a tüzet, a vizet és a földet” (Uo., 10).

Miként Dan Brown híres bestsellere, *A Da Vinci-kód*, Kontra Ferenc *Angyalok regénye* című művének narratív struktúrája is az emberi test (metaforikus értelemben az emberi létezés) rejtélyes („isteni”) arányai, a tökéletes aranymetszés megtestesülése gondolatára épül. Brown regényében a meggyilkolt múzeumi kurátor, Jacquin Saunière, a titkos Sion-rend nagymestere meztelen

holtteste marad a Vitruvius-tanulmányt jelölő alakzatban, hasán a saját vérével rajzolt pentagrammal (BROWN 2004). Kontra regényének első fejezete viszont tematizálja, az összes többi továbbgörgeti a Fibonacci-sorozatot, s ezáltal az aranymetszés képletét a hozzá fűződő motívumokkal és vonzatokkal. Az így keletkezett enigmák feloldására irányuló olvasói attitűd határozza meg befogadásának folyamatát.

A Cellini-történetet (Benvenuto Cellini, 1500–1571) elbeszélő második rövidtörténetben (*A firenzei ötvösmester*) egy, a művészi alkotás „isteni” arányairól, a Mester és ellenfele, Bartolommeo Bandinelli (1493–1560) között zajló vitában tematizálódik ismét az emberi test anatómiai felépítésének mint a tökéletes aranymetszés-megvalósulásnak a gondolata. Cellini Bandinelli legismertebb alkotása, a *Hercules és Cacus* „kontraposztos” felépítését bírálja: „Elmondom. Ha már az anatómiát említetted az imént, szobrod bizony alapjaiban híján van annak. Ha Herculesednek levágnád a haját, abban a koponyában bizony az észnek szemernyi helye sem maradna, az arcról sem derül ki, hogy emberé-e vagy egy herélt oroszláné, mivel csak sörénye van, egyebe sincsen. A fejnek semmi köze a figurához, és olyan szerencsétlenül áll a két csapott váll között, mintha csak úgy odadobták volna. Egy gnóm, holott hősnek kellene lennie” (KONTRA 2014: 27).

Cellini élete és művészete önmagában is összetett „alkotás”, a bűnügyi történet és az anyag tökéletes megformálásának folyamatáról szóló, Cellini *Perszeusz*-szobrának létrejöttét elbeszélő „művészregény”. Az alkotás/teremtés folyamatát megidéző leírásban az öt őselem (pentagramma) jelenlétét figyeljük meg; Cellini küzdelmét az anyaggal, miközben a tűzben/tűz által létrehozta tökéletes formába öntött bronzszobrát, a Medúza-fejet magasba emelő *Perszeuszt*.

A természetben és tropológiai szinteken is ismert jelenség a *tűzrózsa* fogalma. A Fibonacci-spirál természetben megjelenő formájaként tartjuk számon a szirmaival befelé tekeredő rózsát, illetve különböző – pl. tűzrózsának nevezett – fajtáit is. A tűzrózsa a nyelv képi tartományaiban a tűz létrehozta alakzatot kifejező metafora.⁶ Művészi alkotásfolyamat („a tökéletes arány” létrehozása) és a pusztítás („haláltánc”) jelentéseiben egyaránt formálja Kontra Ferenc *Angyalok regénye* című regényének szövegvilágait. A Perszeusz-történetet előadó vándorszínész-trupp tragédiáját elbeszélő *A Tökösi-erdőben* című novellában a művészi kifejezés tetőpontján változik át a tűz esztétikai értelemben vett látványcsodája a pusztítás alakzatává: a nimfát játszó díva által magasba emelt fáklya lángra lobbantja az erdőt. A már idézett, *A firenzei ötvösmester* című novellában a tűzből emelkedik ki Cellini legszebb és legtökéletesebb alkotása, de ugyanez lesz

⁶ 2008-ban látott napvilágot Richard A. Knaak *The Fire Rose* (Tűzrózsa) című népszerű fantasy regénye, az Ogre Titánok második darabja. Egyes kiadásai címlapján megjelenik a tűzrózsa ismertetett képalakzata.

ellenfeleinek sírhelye is. A Szent Eufémia-történetre épülő *Rovinj császára* című fejezetben a csoda és a halál tartalmai együtt jelentkeznek: kínzó tűzbe vetik a keresztény leányt, ahonnan angyalok mentik ki. A legendát tovagörgető történetben tüzes látomás lesz a Szent Eufémia-templom építését előhívó csoda formája.

A regény önreflexív szinteken is felidézi a Fibonacci-rejtély alakzatait, pl. a *Rovinj császára* első bekezdésében a mesét kagylóként határozza meg az elbeszélő, miközben tudjuk, hogy a kagylócsiga, illetve a tengeri kagyló a Fibonacci-spirálnak a természetben előforduló legtokéletesebb formái (UBORNYÁK–ERDÉLYI 2007. <http://kagylokurt.hu/80/tarsadalomtudomany/az-aranymetszes-tortenete.html>): „A kagyló ellenáll, amíg csak tud. Akkor lesz vége a mesének, ha széttörik. Nem hiszem, hogy lenne a mesénél zártabb történet...” (KONTRA 2014: 82).

Az *Angyalok regénye* – mint a Brown-bestseller, ám a művészregény-narratíva keretein belül – enigmák, rejtélyes utalások sorozatára épül, amelyeknek feloldása újabb alkotások, legendák és történetek világához vezet el az olvasót, miáltal a Kontra által létrehozott regény egy önmagát generáló, folytató, hatványozó szövegvilággá alakul; miként a Fibonacci-sor számai is egymás összegeiként alakulnak végtelen sorozattá. A Kontra-regény egyik ilyen sora – nem véletlenül – Albrecht Dürer *Nyúl* című képének értelmezésébe fut ki a *A nürnbergi rab* című novellában. A világhírű festmény egyrészt az ábrázolás tárgya révén asszociál a Fibonacci-példára, másrészt a világ leképezésének, utánképezésének klasszicista-romantikus stílusvitáját (az azt tematizáló alkotások sorát) idézi be a történetbe. Az is jelentésalkotó mozzanat, miszerint Albrecht Dürer is egyike azoknak, akit erőteljesen foglalkoztattak a test arányai, az aranymetszés problematikája alkotás közben. Halál-jelentésekre, ezáltal a regényszervező motívumokra asszociáló mozzanat a Dürer-történetben az is, hogy szülőházával szemben áll a nürnbergi hóhér háza, ami épp úgy turisták tömegét vonzza, mint Dürer „nyulának” bronz másolata. A tökéletes utánpótlás (ábrázolás) stíuselemzése ugyane szövegben egy másik alkotás szövegszerű megjelenítésének és képi világának, Vermeer *Csipkeverőnő* című alkotásának felidézését eredményezi: „A csipkeverőnő modellként nyilván hálásabb alany lehetett, csak ült ott az ablak előtt mozdulatlanul a vermeeri fénypásmában, húzgálva azt a cérnát le-fel, mégis elképedtem, hogy ez a világhírű festmény is csak egy tenyérnyi miniatűr, a Louvre egyik falának előretörő kiszögellésében kapott állandó helyet” (KONTRA 2014: 107).

A „nyulas” Fibonacci-példa által elindított irodalmi jelentéssorozat, az „irodalmi” Fibonacci-sor Leonardo Pisano, alias Fibonacci matematikai képletétől mint motívumtól az *Angyalok regénye* jelentésvilágát szervező történelmi korok és korstílusok legendáin, opusain, alkotásain (pl. a görög mitológia történetei, Cellini önéletrajza, a *Benvenuto Cellini mester élete, amiképpen ő maga megírta Firenzében*, valamint *Perszeusz-szobra*, Bartolommeo Bandinelli *Hercules és Cacus* küzdelmét ábrázoló alkotása, a Szent Eufémia-legenda és -templom, Ru-

dolf főherceg *Jagden und Beobachtungen* című könyve, Alfred Edmund Brehm munkássága, Csáth Géza *Trepov a boncaszton* című novellája, Albrecht Dürer *Nyúl* című képe, Jan Vermeer van Delft *Csipkeverőnő* című festménye etc.) át az irodalom mint szellemi kontinuum létformáját értelmező művészregény-jelentések kibontakozásáig és tematizációjáig terjed. Valójában az irodalom létformájának mint egy szellemi értelemben vett, végtelenségbe futó Fibonacci-sorozatnak a létére utal. Az irodalmi alkotás és jelentései ugyanis sohasem érhetők tetten csak az adott és egyetlen alkotás elolvasásában és befogadásában, hanem az újraolvasások által létrehozott „folyamatos történetek” sorozatában, amelyek jelentések és alkotások összeadandó történetére épül. Mint a Fibonacci-képlet.

KIADÁS

KONTRA Ferenc 2014. *Angyalok regénye*. Magyar Napló, Budapest

IRODALOM

- BROWN, Dan 2004. *A Da Vinci-kód*. Fordította: Bori Erzsébet. Gabo Kiadó, Budapest
- GÉCZI, János 2011. *The Rose and its Symbols in Mediterranean Antiquity*. Narr Francke Attempto Verlag, Tübingen
- GERŐCS László 1988. *A Fibonacci-sorozat általánosítása*. Tankönyvkiadó, Budapest
- NÉMETH Regina 2013. *Nevezetes számok a matematikában*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Matematikai Kar, Budapest
- https://www.cs.elte.hu/blobs/diplomamunkak/bsc_matelem/2013/nemeth_regina.pdf (2014. 11. 10.)
- N. N. 2014. *Exprofit tananyag. Technikai-elemzés. Fibonacci*. <http://www.fxprofit.hu/index.php?fx=fibonacci> (2014. 11. 10.)
- N. N. 2014. *Fibonacci Numbers and the Golden Section*. <http://www.maths.surrey.ac.uk/hosted-sites/R.Knott/Fibonacci/fib.html> (2014. 11. 10.)
- N. N. 2014. *Fibonacci sorozat*. www.bethlen.hu/matek/mathist/forras/Fibonacci_sorozat.htm (2014. 10. 1.)
- N. N. 2014. *Fibonacci számok*. trader.portfolio.hu/tozsdeszotar/technikai-elemzes/fibonacci-szamok (2014. 10. 1.)
- UBORNYÁK Katalin–ERDÉLYI Ferenc 2007. Az arany metszés története = *Kagylólkürt*, 45. <http://kagylolkurt.hu/80/tarsadalomtudomany/az-arany-metszes-tortenete.html>

Fibonacci Sequence in Literature

The Example of the Novel by Ferenc Kontra, *Angyalok regénye*

[Novel of Angels]

The *Fibonacci sequence* is in fact the introductory text to Ferenc Kontra's *Angyalok regénye* [Novel of Angels] published in 2014, a novella shaped work – or if the genre features are seen from a different angle, one organized out of

novellas. The famous theory i.e. formula of Leonardo Fibonacci (1170–1250), the renowned Italian mathematician, is topical in Kontra's text. On the one hand, it is part of the narration, on the other, it is a genre-creating element, and thirdly it is a metaphor referring to the mode of existence of literature. The book agent appearing in the novella offers a book, among others, on housekeeping, illustrating rabbit breeding with the example of the Fibonacci sequence, while the reference to the formula functions as a metaphor for human existence. The notional organization of the entire novel also displays the Fibonacci sequence in action, just like in the intricate pattern of literary mode of existence. The study examines these interdisciplinary assimilations and transgressions on the example of Ferenc Kontra's *Angyalok regénye*.

Key words: Kontra Ferenc, *Angyalok regénye*, Fibonacci sequence, genre, notion, mode of existence

*Fibonačijev niz u književnosti, na primeru dela Angyalok regénye
(Roman anđela) Ferenca Kontre*

Fibonačijev niz je zapravo uvodni tekst novelistički izvedenog, odnosno – iz aspekta žanra – od pripovedaka sazdanog romana Ferenca Kontre *Angyalok regénye*, koji je objavljen 2014. godine. Poznata teorija, to jest formula italijanskog matematičara Leonarda Fibonačija (1170–1250), tematizovana je u više značenja u Kontrinom tekstu. S jedne strane, ona je deo naracije, dalje predstavlja element konstrukcije žanra romana, a ujedno je i metafora koja upućuje na način egzistiranja književnosti. Akviziter knjiga koji se pojavljuje u pripovesti, između ostalog nudi jednu knjigu o privređivanju u domaćoj ekonomiji, koja svoje informacije o gajenju kunića ilustruje primerom Fibonačijevog niza, dok s druge strane, ukazujući na formulu u tekstu niz funkcioniše u vidu metafore ljudskog postojanja. Funkcionisanje Fibonačijevog niza je istovremeno prepoznatljivo i u semantičkoj organizaciji romana u vidu isprepletenih figura egzistencijalne forme književnosti. Studija kroz primer knjige *Angyalok regénye* Ferenca Kontre istražuje interdisciplinarna preusvajanja i transfere u romanu.

Ključne reči: Ferenc Kontra, *Angyalok regénye*, Fibonačijev niz, žanr, značenje, oblik života

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.
Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.

Kocsis Lenke

A PLENÁRIS ELŐADÁSOK

*Plenary lectures**Plenarna predavanja*

A tudományos diskurzust két plenáris előadás nyitotta meg. Dr. Németh Ferenc *Az asztrofizika magyarországi úttörője. Szathmári Ákos (1855–1927) munkásságáról* című tudomány- és művelődéstörténeti előadásának bevezetőjében a vajdasági tudománytörténet feldolgozatlanságára hívta fel a figyelmet, és rávilágított egy részletes és átfogó tudománytörténeti feltérképezés szükségességére. Szathmári Ákos munkásságának ismertetését 32, főleg a 19. században a mai Vajdaság területén élt, onnan származó vagy csak egy ideig azon a területen munkálkodó természettudósok tudományos eredményeinek, felfedezéseinek és találmányainak áttekintése előzte meg. A tudománytörténeti arcképcsarnokban tett vázlatos séta végén, a Bánát kulturális és tudományos központjában, Nagybecskereken munkálkodó, illetve az onnan származó tudományterületeiken jelentős eredményeket elérő tudósok munkássága állt, akik közül négyen az 1846 és 1920 között működő Piarista Gimnázium tanárai voltak. A nagybecskereki tudományos élet egyik központja pedig az a Piarista Gimnázium, melynek Szathmári Ákos 1878 és 1883 között volt tanára. Fizikát, mennyiségtant, természettant és magyar nyelvtant tanított, továbbá a tanári könyvtár kezelője és a természettani szertár őre. A gimnáziumban eltöltött idő alatt Szathmári kitűnő munkát végzett a természettani szertár karbantartásában, jelentősen gyarapította is annak állományát. Részt vett a város közeletében, kísérletekkel egybekötött tudomány-népszerűsítő előadásokat tartott, melyből annak a négynek a bevétele, amit a gimnázium fizika szertárában tartott, a természettani szertár felszerelésére fordította. 1882-ben jelent meg saját kiadásában *A Spectralanalysis és alkalmazásai* című könyve, az első magyar nyelvű spektroszkópiakönyv, mely korában több méltatást is kiérdemelt, amit egy, 1880-ban a gimnázium *Értesítő* című lapjában megjelentetett tanulmány előzött meg, címe: A spectralanalysisről. Szathmári csak Nagybecskereken töltött éve alatt foglalkozott csillagászattal, miután 1883-ban visszatért szülővárosába, Kolozsvárra, érdeklődése elsősorban a fizika felé fordult.

Dr. Mészáros Szécsényi Katalin *Koordinációs kémiai kutatásaink legújabb eredményei* című előadásában egy, az Újvidéki Egyetem Természettudományi-

Matematikai Karának Biokémiai és Környezetvédelmi Tanszékén közel fél évszázada működő kutatócsoport 2011 és 2014 között elért eredményeiről számolt be, melynek vezetését 2011-ben vette át az akkor nyugdíjba vonuló dr. Vukadin M. Leovactól. A 19. században felfedezett koordinációs vagy komplex vegyületek széles körű alkalmazhatóságuknak köszönhetően ígéretes kutatási területnek bizonyultak, jelentős szerepet töltenek be biokémiai és gyógyszer-kutatásokban; a 20. század második felében engedélyezték koordinációs kémiai vegyületek gyógyhatású készítményekben való alkalmazását. Dr. Mészáros Szécsényi Katalin előadásában is a koordinációs vegyületek gyógyhatású készítmények fejlesztésében betöltött szerepébe nyерhetett betekintést a hallgatóság. A kutatócsoport egyik újabb kutatása során egy már jó ideje ismert, vérnyomáscsökkentő gyógyszer, a hidralazin (Hydralazine©, Hz) származéka szolgált ligandumként. Először az előállítás módszerének kérdése került előtérbe, ezek után a kutatási és különböző vizsgálati módszerek ismertetése következett. Összetett vegyületekről lévén szó, az előállítási folyamatok alapos tanulmányozást igényelnek, az összetételben felmerülő legapróbb eltérések is teljesen eltérő biológiai, fiziológiai és biokémiai folyamatok lejátszódását eredményezhetik.

Pósa Mihály

AZ ELSŐ SZEKCIÓ ELŐADÁSAI ÉS DISZKUSSZIÓI

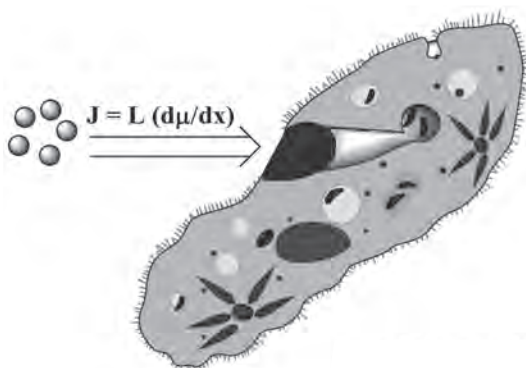
Discussions and lectures of the 1st Section

Predavanja i diskusije I. sekcije

Az első szekció tartalmilag felölelte a fizikai kémiát – termodinamikát, a szervetlen kémiát – technológiát, mint az élettelen természettudományokat és az orvosi kémiát (biokémiát), mint az élő természettudományok részét.

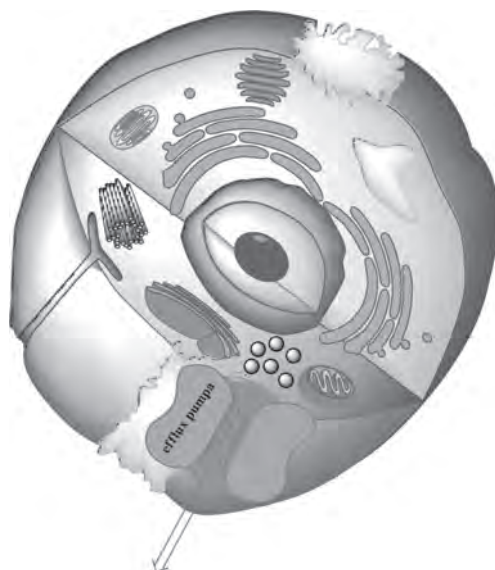
Dr. Kiss Ernő előadása a termodinamika (hőtan) törvényeit taglalta. Zárt egyensúlyi rendszerben bemutatta a termodinamika első törvényét – az energiamegmaradás törvényét és a hőtan második törvényét, amely a spontán folyamatok irányát mutatja. Rámutatott, hogy valamely termodinamikai folyamat spontaneitásának a könnyebb meghatározására a szabadentalpia (Gibbs-energia: p , T állandó) és a szabadenergia (Helmholtz-energia: V , T állandó) szolgál. Bevezette a kémiai potenciált mint a nyílt egyensúlyi termodinamika

fontos paraméterét. A XIX. századi egyensúlyi termodinamika mellett a XX. században megjelent az irreverzibilis folyamatok termodinamikája, amely Onsager szerint az entrópia produkció sebességével hozható kapcsolatba. Végül dr. Kiss Ernő professzor rámutatott a nem egyensúlyi termodinamika jelentőségére a biológiai folyamatok jellemzésénél (1. ábra). Kitért a termodinamika és a közgazdaság kapcsolatára is. Az előadás utáni vitába bekapcsolódott dr. Molnár József szegedi orvosprofesszor, aki méltatta az előadást, és felhívta a figyelmet a termodinamika jelentőségére a neoplazmatikus transzformáció leírásában, modellezésében.



1. ábra. A papucsállatka létezésekor az irreverzibilis termodinamika szerint entrópia produkciónak kellett lennie

Az első szekció második előadását dr. Molnár József tanítványa, Csonka Ákos doktorandusz tartotta. Csonka Ákos megmagyarázta, a kemoterápiás szerek miért veszítenek a hatékonyságukból. Rámutatott a tumorsejtekben lévő különböző multidrog-rezisztencia mechanizmusokra. Kitért az efflux pumpák fokozott expressziójára, amelyek a gyógyszermolekulákat a sejtből kijuttatják, csökkentve azok intraceluláris koncentrációját (2. ábra). Részletesen beszámolt a szegedi kutatócsoport által szintetizált szteroid molekulák promotor hatásáról a Doxorubicin gyógyszer tekintetében.



2. ábra. Cél az efflux pumpák blokkolása vagy expressziójának a csökkentése

Végezetül Hunyadi Dávid PhD-hallgató beszámolt az ammónia-paravolftramát ipari alapanyag tradicionális többlépcsős nedves kémiai előállításáról. Majd rátért az általa kifejlesztett alternatív szilárd-gázfázisú heterogén reakcióban előállított nanoszemcsés ammónia-paravolftramát bemutatására, amit eddig senkinek sem sikerült előállítani. Az előadás utáni vita során dr. Mécsáros Szécsényi Katalin professzor asszony érdeklődött a nedves eljárásnál az ammónia-paravolftramát kristályosodásakor felszabaduló hő hasznosítási lehetőségéről.

Pásztor Kicsi Mária

A MÁSODIK SEKCIÓ MUNKÁJÁNAK ÉRTÉKELÉSE

Evaluation of the work of the 2nd Section

Vrednovanje rada II. sekcije

A konferencia második szekciójának három előadója volt: dr. Czékus Géza, az Újvidéki Egyetem szabadkai Magyar Tannyelvű Tanítóképző Karának rendes tanára, dr. Molnár József, a Szegedi Tudományegyetem Orvosi Karán működő Orvosi Mikrobiológiai és Immunbiológiai Intézetének emeritus professzora, valamint dr. Szilágyi Imre Miklós, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszékének tudományos munkatársa.

Dr. Czékus Géza *Az urbánus környezetek biodiverzitása* címen tartotta meg gazdagon illusztrált prezentációját, amelyből a hallgatóság egyrészt tudomást szerezhetett a növényi fajok veszélyeztetettségi tényezőiről, a biodiverzitás csökkenésének veszélyéről, majd pedig bepillantást nyerhetett Szabadka mai növényvilágának létkörülményeibe magában a városközpontban és a temetőben. Az előadó kiemelte, hogy urbánus környezetben sokkal kevesebb faj lelhető fel, mint természetes körülmények között, mivel itt az embernek jelentős befolyása van a növényi fajok kiválasztására és ápolására (vagy elhanyagolására, megrongálására).

Dr. Molnár József *A kemoterápia új lehetőségei* című előadásában a baktériumok és a ráksejtek multidrog-rezisztenciájára hívta fel a figyelmet, majd rámutatott egy új típusú kezelési lehetőségre, amelynek lényege egyfajta kombinált kemoterápia alkalmazása. A terápia folytán a rezisztens baktériumok és ráksejtek ismét érzékennyé lesznek a hatástalanná vált kemoterápiás szerekekkel szemben. Az előzetes vizsgálatok eredményei ígéretesnek bizonyultak ilyen tekintetben.

Dr. Szilágyi Imre Miklós *Atomréteg-leválasztás a nanotechnológiában* címmel tartott prezentációt, amelyben az ALD vékonyfilm-növesztési technikát mutatta be, amelynek segítségével elérhető, hogy az alapfelületre rávitt anyagrészecskék atomi felbontással szabályozhatóak legyenek. Az előadásból a hallgatóság értesülhetett a különböző nanorendszerek előállításának lehetőségéről.

Mindhárom előadás értékes információkat közvetített a közönségnek, a beszámolók után feltett kérdések és kialakult beszélgetés viszont tovább mélyítette az egyes témákat.

Összességben tehát megállapítható, hogy a szekció munkája egyértelműen pozitívan értékelendő.

Halupka Rešetar Szabina

A HARMADIK SZEKCIÓ KERETÉBEN ELHANGZOTT ELŐADÁSOKRÓL

On the lectures given within the work of the 3rd Section

O predavanjima u III. sekciji

Ebben a szekcióban három előadás hangzott el. Először dr. Takács Márta *Fuzzy kognitív térképek* című előadását hallottuk, melyben a közönség e statikus gráffal ábrázolt térképek hasznosságáról értesült. Ugyanis ezek a térképek a rendszerelemek kölcsönhatásának kimutatásában bizonyulnak különösen hasznosaknak, mivel egyaránt mutatnak ki kvalitatív és kvantitatív eredményeket, ugyanakkor lehetséges változtatni a vizsgált állapotok kölcsönhatásán. Az előadó egy esettanulmányt is bemutatott: az egyetemi hallgatók eredményeit vizsgálták fuzzy kognitív térképek segítségével, azzal a céllal, hogy összefüggésbe hozzák a különböző tényezőket (pl. átlag, felvett és teljesített kreditek száma, ösztöndíj-index stb.), és előre tudják jelezni az adatokat. Az ellenőrzés során kiderült, hogy bizonyos tényezők kifejezetten jó eredményt adtak. Kb. 80%-os biztonsággal lehetett előrelátni a sikert, ugyanakkor a főlöszleges éleket (szélsőséges helyzeteket) ki lehet/kell hagyni a fuzzy kognitív térképek alkalmazása során.

A második előadó dr. Pásztor Kicsi Mária volt, aki *A nyelvészet matematikája* című előadásában a matematika és a nyelvtudomány határtudománnyá válásának folyamatát vizsgálta. A két tudománynak legalább három érintkezési területe körvonalazódott az előadásban: (a) a nyelvstatisztika, mely segítségével vizsgálhatóak a nyelvi jelenségek gyakorisági relációi, és ezáltal megállapíthatóak a nyelv szabályszerűségei (törvényei), (b) a formális modellek, illetve az absztrakt matematikai modellek alkalmazása a nyelvészetben a nyelvi jelenségek magyarázhatóvá, előreláthatóvá és kimutathatóvá tévése céljából, valamint (c) a nyelvi technológiák, pl. a mesterséges, illetve gépi fordítás, gépi beszéd-előállítás stb., melyek a számítógépes ipar fejlődésével egyre nagyobb teret hódítanak.

A szekciót dr. Bence Erika *A Fibonacci-sor az irodalomban* című előadása zárta, melyben az előadó egy matematikai elmélet, illetve képlet alkalmazását vizsgálta Kontra Ferenc *Angyalok regénye* című kötetében. Kontra művén túl is felismerhető a Fibonacci-sor az élet szinte minden terén. A regény példáján Bence Erika kimutatta, hogy az irodalom szövegvilága hogyan szerveződik – az elvont gondolkodás az irodalmi összefüggések vizsgálatával csak azt bizonyítja, hogy az irodalom létformája is egy Fibonacci-sor.

A három előadást egy rövid vita követte, mely csak megerősítette azt a benyomást, hogy mindhárom előadás színvonalas volt, hiszen érdekes, aktuális témával foglalkozott, és sikerült felébresztenie a túlnyomórészt természettudományokkal foglalkozó közönség érdeklődését.

E SZÁMUNK SZERZŐI

Dr. Bence Erika egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem,
BTK, Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, a Létünk főszerkesztője, Újvidék

Dr. Czékus Géza egyetemi rendes tanár, dékánhelyettes, Újvidéki Egyetem,
Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka

Dr. Csonka Ákos ortopéd-traumatológus szakorvos,
Szegedi Tudományegyetem, ÁOK, Traumatológiai Klinika, Szeged

Dr. Halupka Rešetar Szabina egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem,
BTK, Anglisztika Tanszék, Újvidék

Hunyadi Dávid doktorandusz, Budapesti Műszaki
és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar,
Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, Budapest

Dr. Kiss Ernő nyugalmazott egyetemi tanár, Újvidék

Kocsis Lenke doktorandusz, Újvidéki Egyetem, BTK,
Nyelv- és Irodalomtudományi Doktori Iskola, Újvidék

Dr. Mészáros Szécsényi Katalin egyetemi rendes tanár,
Újvidéki Egyetem, Természettudományi-Matematikai Kar, Kémiai,
Biokémiai és Környezetvédelmi Tanszék, Újvidék

Dr. Molnár József emeritus professor, Szegedi Tudományegyetem, Orvosi,
Mikrobiológiai és Immunbiológiai Intézet, Szeged

Dr. Németh Ferenc egyetemi docens, dékánhelyettes, Újvidéki Egyetem,
Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka

Dr. Pásztor Kicsi Mária egyetemi docens, Újvidéki Egyetem, BTK,
Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, Újvidék

Dr. Pósa Mihály egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem,
Orvostudományi Kar, Gyógyszerészeti Tanszék, Újvidék

Dr. Zoran Primorac egyetemi rendes tanár, intézetvezető,
Mostari Tudományegyetem, Természettudományi-Matematikai és
Neveléstudományi Kar, Környezetvédelmi Intézet, Mostar

Dr. Takács Márta egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem,
Magyar Tannyelvű Tanítóképző Kar, Szabadka

RECENZENSEK

Dr. Berényi János tudományos tanácsos,
Mezőgazdasági Kutatóintézet, Újvidék

Dr. Dujmovics Ferenc egyetemi rendes tanár, Újvidéki Egyetem,
Orvostudományi Kar, Újvidék

Dr. Guzsvány Valéria egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem,
Természettudományi-Matematikai Kar, Kémia Tanszék, Újvidék

Dr. Halupka Rešetar Szabina, Újvidéki Egyetem, BTK,
Anglisztika Tanszék, Újvidék

Dr. Ispánovics Csapó Julianna egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem,
BTK, Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, Újvidék

Dr. Katona Edit egyetemi rendes tanár, Újvidéki Egyetem, BTK,
Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék

Dr. Lengyel László címzetes docens, Corvinus Egyetem, Budapest

Dr. Pap Endre egyetemi rendes tanár, Singidunum Egyetem, Belgrád

Dr. Pósa Mihály egyetemi rendkívüli tanár,
Újvidéki Egyetem, Orvostudományi Kar, Gyógyszerészeti Tanszék, Újvidék

Dr. Rajsli Ilona egyetemi rendes tanár, Újvidéki Egyetem, BTK,
Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, Újvidék

Dr. Boris Stojkovski egyetemi docens, Újvidéki Egyetem, BTK,
Történelem Tanszék, Újvidék

Dr. Toldi Éva egyetemi rendkívüli tanár, Újvidéki Egyetem, BTK,
Magyar Nyelv és Irodalom Tanszék, Újvidék

Dr. Tóthné Laufer Edit adjunktus, Óbudai Egyetem, Budapest

Dr. Vincze István egyetemi rendes tanár, Belgrádi Egyetem,
Természettudományi-Matematikai Kar, Fizika Tanszék, Belgrád

KÖVETKEZŐ SZÁMAINK TARTALMÁBÓL

AKTÍV ÉS INAKTÍV EGYETEMISTÁK TÁRSAS HÁLÓZATAI

A PFEIFFER CSALÁD

RÓZSA SÁNDOR ALAKJA A XXI. SZÁZADI
ÉSZAK-BÁNSÁGI PARASZTSÁG KÖRÉBEN

BALÁZS LAJOS, BARCSI TAMÁS, NEBOJŠA MAJSTOROVIĆ,
RAFFAI JUDIT ÉS MÁSOK KÖNYVEIRŐL



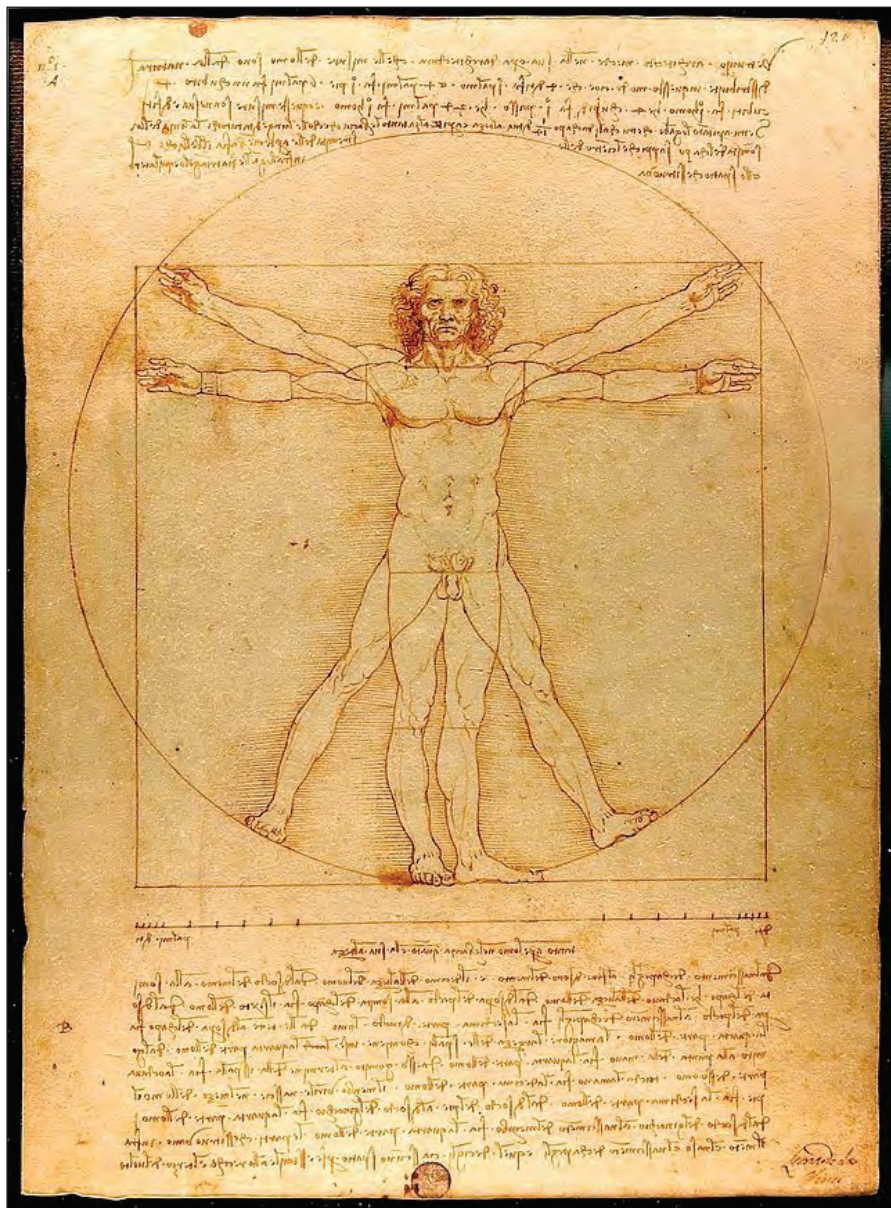
Jan Vermeer van Delft: Csipkeverőnő

<http://www.amilapunk.hu/eozin/vankepem/reneszansz/vermeer/30csipkevero.jpg>



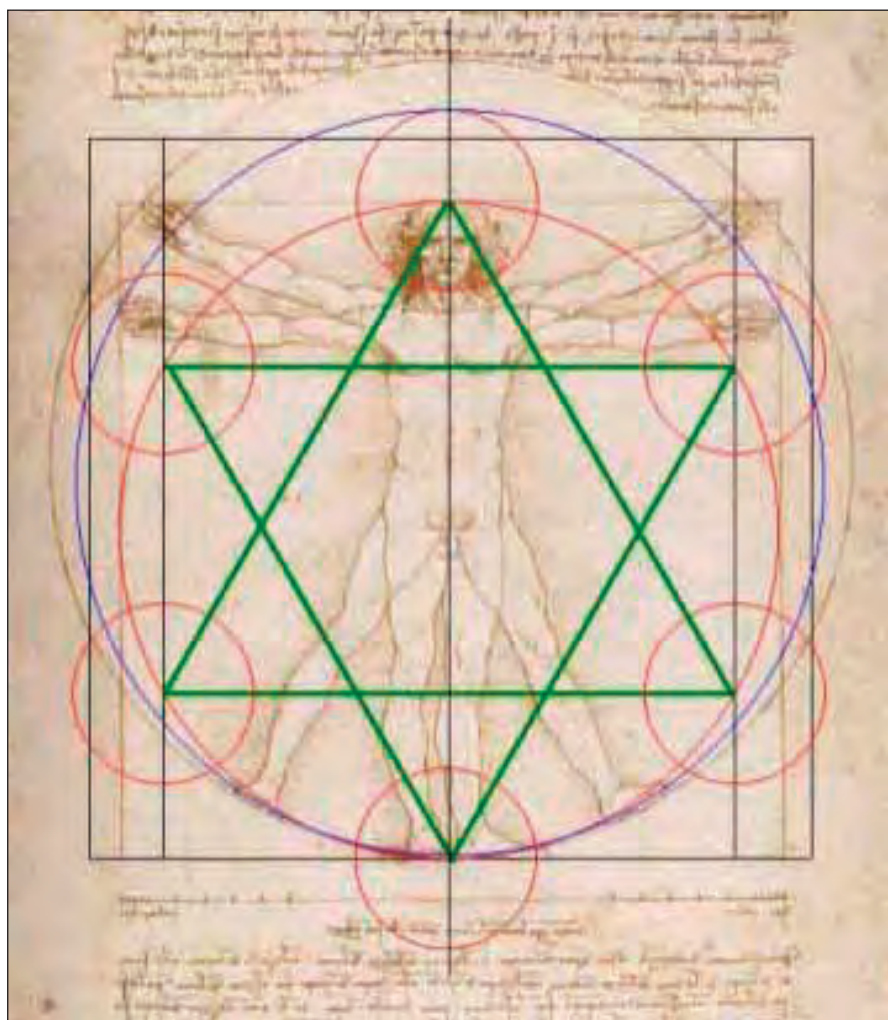
Albrecht Dürer: Nyúl

<http://cultura.hu/wp-content/uploads/2012/04/albrecht-durer-nyul.jpg>



Leonardo da Vinci: Vitruvius-tanulmány

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/22/Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour.jpg/640px-Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour.jpg



A Da Vinci-kód

<http://www.crystalinks.com/sgvitruvian2.jpg>



Benvenuto Cellini: Perseus

http://cache.graphicslib.viator.com/graphicslib/media/1c/perseus-by-benvenuto-cellini-photo_997148-770tall.jpg



Bandinelli: Hercules és Cacus

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSDgeHyklPciYX4epwGTMeChvxdgYAa3vtZK7D6nnlhnxZq31sQiA>