



SZEGEDI EGYETEMI  
TUDÁSTÁR 5.

Élettelen természettudományok



Szegedi Egyetemi Kiadó  
2014

SZEGEDI EGYETEMI TUDÁSTÁR 5.  
Élettelen természettudományok

Szerkesztette:  
HANNUS ISTVÁN

SZEGEDI EGYETEMI TUDÁSTÁR sorozat

1. Szent-Györgyi Albert szellemi öröksége
2. The intellectual heritage of Albert Szent-Györgyi
3. Szent-Györgyi Albert a Délmagyarországban és a New York Timesban
  4. Élő természettudományok
  5. Élettelen természettudományok
  6. Bölcsészettudományok
  7. Bölcsészet- és társadalomtudományok
  8. Egyetemtörténeti fotóalbum

Sorozatszerkesztők:

DUX LÁSZLÓ, HANNUS ISTVÁN, PÁL JÓZSEF, ÚJSZÁSZI ILONA

A sorozat elkészítésében közreműködött:

SZTE Klebelsberg Könyvtár

Készült:

a Szegedi Tudományegyetem megbízásából, a „TÁMOP-4.2.3.-12/1/KONV – 2012-0035, Tudományos eredmények elismerése és disszeminációja a Szegedi Tudományegyetemen” pályázat keretében.



# SZEGEDI EGYETEMI TUDÁSTÁR 5.

Élettelen természettudományok



Szerkesztette:  
HANNUS ISTVÁN

Szegedi Egyetemi Kiadó  
Szeged, 2014

Szerkesztette:  
HANNUS ISTVÁN

© Szegedi Tudományegyetem  
© Szerzők, szerkesztők  
© Szegedi Egyetemi Kiadó

Minden jog fenntartva.

A kiadásért felel:  
a SZEGEDI EGYETEMI KIADÓ  
vezetője

Borító, műszaki szerkesztés:  
LOSJAK LÁSZLÓ

Korrektúra:  
SINKOVICS BALÁZS

Nyomdai kivitelezés:  
GENERÁL NYOMDA KFT.

ISBN 978-963-306-350-7

# Tartalomjegyzék

FIZIKA .....	7
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNY .....	46
INFORMATIKA .....	62
<i>Képfeldolgozás és mesterséges intelligencia</i> .....	62
<i>A számítástudomány matematikai alapjai</i> .....	79
<i>Optimalizálás</i> .....	89
<i>Szoftverfejlesztés és műszaki informatika</i> .....	100
KÉMIA .....	114
<i>A Kémiai Tanszékcsoport kutatásai</i> .....	116
<i>A kolloidkémia a nanokémiáig</i> .....	134
<i>Orvosi kémia</i> .....	141
<i>Gyógyszerkémia</i> .....	158
<i>Gyógyszer-technológia</i> .....	169
KÖRNYEZETTUDOMÁNY .....	195
MATEMATIKA .....	221
Utószó .....	279



GYÉMÁNT IVÁN\*

## *Fizikai kutatások Szegeden. Portrék szegedi fizikusokról*

### **Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék kutatói**

1989. július 1-ji hatállyal alakult meg az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék a Kísérleti Fizikai tanszék kettéválásával. Az új tanszék vezetője Bor Zsolt (1949–) egyetemi tanár lett, oktatók és kutatók: Ketskemény István (1927–2007), Dombi József, Rácz Béla, Gáti László docensek, Szörényi Tamás, Heszler Péter tudományos munkatársak, Farkas Éva, Hebling János, Klebniczki József, Farkas Zsuzsanna, Szabó Gábor, Hilbert Margit, Hopp Béla adjunktusok, demonstrátorok: Benkő Zsolt és Osvay Károly. A két Tanszék között megosztásra kerültek a Dóm téri és a Béke-épületben lévő oktatási és kutatói helyiségek. Az MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoportnak is Bor Zsolt lett a vezetője, mellette tudományos tanácsadóként dolgozott Ketskemény István nyugalmazott egyetemi tanár (professzor emeritus). A Kutatócsoport és a Tanszék szorosan együttműködött a lézerek fejlesztésére és alkalmazására irányuló kutatásokban.

A tanszék megalakulásakor az oktatási feladat főleg a fizikus (10–12 fő) és a fizikatanár (70–80 fő) szakos hallgatók képzésében való részvétel volt a Mechanika, Hullámtan és Optika, Rendszerelmélet, Kísérleti Spektroszkópia főtárgyak és speciális kollégiumok oktatásával, továbbá laboratóriumi gyakorlatok tartásával. Emellett a vegyész szakos hallgatóknak a tanszék oktatói Kísérleti fizika és a Kísérleti fizikai laboratóriumi gyakorlatok kurzust tartottak. A Kémiai Tanszékcsoporthoz által a 90-es évek végén indított új szakok – környezettan tanár, vegyész-fizikus laboratóriumi operátor, klinikai kémikus és az igen népszerű környezettudományi szak – esetében egyrészt a „szokásos” alapozó kísérleti fizika kurzusok oktatása volt a feladat, de több, a környezettudományhoz kapcsolódó új kurzus oktatása is elkezdődött. Ezen hallgatóknak Szabó Gábor Spektroszkópia a környezetkutatásban, Fizika mérnököknek, és Kísérleti fizika informatikusoknak című kurzusokat indított.

Az ezredforduló tájékán felmerült az igény alkalmazott tudományokra épülő szakok indítására. Ennek megfelelően a Fizikus Tanszékcsoporthoz 2001-ben a fizika alkalmazásaihoz kapcsolódó új szakokat indított: biofizikus,

---

\* Szerkesztette Gyémánt Iván.



csillagász, informatikus-fizika, és alkalmazott fizikus szak. Mindegyik szakon évente átlagosan 10 hallgató kezdte meg a tanulmányait.

2006-tól bevezetésre került a bolognai rendszer, így a fent említett szakok oktatása felmenő rendszerben befejeződik. Az új, két lépcsős képzésben mind BSc szakok (fizika, kémia, környezettan, anyagmérnök, biomérnök, környezetmérnök és mérnökinformatikus), mind MSc szakok (fizikus, csillagász, fizikatanár, környezettudomány, vegyészmérnök) oktatása folyik. A fizika BSc szakon a képzés bevezetése óta eleinte emelkedett a hallgatói létszám (40 fő–60 fő), az utóbbi években viszonylag alacsony. Az MSc képzés fokozatosan indult be. Fizikus MSc szakon az első meghirdetéskor, 2009-ben 9 fő, 2010-től 20 körüli a hallgatói létszám. A fizikatanár MSc szakon alacsony a jelentkezők száma (2009: 4 fő, 2010: 3 fő). A fent említett szakok szinte mindegyike esetében a nappali tagozat mellett nagyszámú hallgatót képviselő levelező tagozaton is oktatjuk a hallgatókat.

Az új tanszék dolgozói és a kutatócsoport tagjai a Kísérleti Fizikai Tanszéken megkezdett kutatási témák folytatásán dolgoztak. A 70-es évektől a festéklézerek, majd festéklézerek gerjesztésére használható kellően gyors, kellően intenzív impulzusüzemű N<sub>2</sub> és excimer lézerek előállítására valósult meg (Ketskeméty István, Rác Béla, Bor Zsolt, Kozma László, Szabó Gábor, Német Béla, Hebling János, Sánta Imre, Klebniczki József). A 80-as években a vizsgálatok a lézerekből kijövő energia és teljesítmény növelésére, valamint az impulzusok hosszának csökkentésére irányultak és jártak eredménnyel. Ezekre a kutatásokra épült a Magyar Tudományos Akadémia és a Deutsche Forschungsgemeinschaft közötti együttműködés, amelynek köszönhetően 1980 és 1989 között Bor Zsolt hat és fél, Rác Béla három és fél, és Szabó Gábor négy és fél évet dolgoztak Göttingenben a Max Plank Institut für Biophysikalische Chemie Lézerfizikai Osztályán.

Az anyagtudományok terén is kiemelkedő eredmények születtek a mikroméretekre lokalizált lézeres felületmegmunkálásban. A linzi Johannes Kepler Egyetem Alkalmazott Fizikai Intézetével együttműködve jelentős eredmények születtek a lézeres kémiai gőzfázisú leválasztás kinetikájának kísérleti vizsgálatában (Szörényi Tamás, Tóth Zsolt, Kántor Zoltán).

A lézerkutatások mellett, a klasszikus lumineszcencia-vizsgálatok keretei között a Tanszék kutatói foglalkoztak az ún. lumineszcens napkollektorok tanulmányozásával is (Farkas Éva, Hilbert Margit, Farkas Zsuzsanna), 1995-től sejtbioológiai kutatások is folytak az SZTE Mikrobiológiai Intézetével közösen (Bálint Erzsébet).

A tanszék eredményes működését jelzik a kutatók, oktatók tudományos fokozatszerzései, a sikeres kutatói pályázatok, illetve a társadalmi elismerések nagy száma.

- Bor Zsolt 1990-ben az MTA levelező, majd 1994-ben rendes tagja lett.
- Szabó Gábor 2004-től az MTA levelező, majd 2010-től rendes tagja lett.
- Fizikai tudomány doktora címet szerzett 1993-ban Rácz Béla és Szabó Gábor, melyet követően egyetemi tanári kinevezést kaptak. 2009-ben Hopp Béla, 2013-ban Bozóki Zoltán szerzett tudományok doktora tudományos címet. Többen habilitáltak fizikából.
- 1995-ben kandidátusi fokozatot szerzett Osvay Károly, Hopp Béla, Farkas Éva és Bálint Erzsébet (Biofizikai Tanszék). Farkas Éva több éven keresztül tanszékvezető-helyettesként dolgozott, az 1995-ben bekövetkezett haláláig. Munkáját Bálint Erzsébet folytatta a „Lumineszcencia alkalmazása humán sejtek vizsgálatára” c. témával a SZOTE Mikrobiológiai Intézetével való kooperációban.
- PhD-fokozatot szerzett Geretovszky Zsolt, Kovács Attila, Horváth Zoltán, Mechler Ádám, Tóth Zsolt, Kántor Zoltán, Vinkó József, Farkas Zsuzsanna, Hilbert Margit, Varjú Katalin, Mohácsi Árpád, Szakáll Miklós, Erdélyi Miklós, Smausz-Kolumbán Tamás, Balog Zoltán, Fűrész Gábor, Mészáros Szabolcs és Dombi Péter.
- Bor Zsolt több rangos kitüntetés mellett 1998-ban megkapta Szeged Pro Urbe díját, 2004-ben kiemelkedő tudományos és iskolateremtő munkásságáért Bolyai-díjat, 2012-ben Magyar Corvin Láncot, 2013-ban Prima díjat kapott.
- Rácz Béla és Szörényi Tamás 2006-ban Magyar Köztársasági Érdemrend tisztikeresztje állami kitüntetést kapott.
- Szabó Gábor 2000-ben Akadémiai díjat, 2004-ben Gábor Dénes-díjat, 2009-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend tisztikeresztjét és Szeged város Pro Urbe díját kapta, 2010-ben megkapta a Szegedért Alapítvány Szőkefalvi-Nagy Béla-díját.
- A TTIK Tudományos díját kapták: Csete Mária (2012) és Smausz Kolumbán Tamás (2013), Erdélyi Miklós (2014). TTIK Nívódíját kapta Németh Olga (2014).

A tanszék oktatói a kari és egyetemi feladatok ellátásából is kiveszik részüket vezetőként és különböző bizottságok tagjaként. Rácz Béla 1994 és 2000 között általános, majd 2003–2013 között stratégiai rektorhelyettesként dolgozott. Szabó Gábor 2010-től a Szegedi Tudományegyetem rektora. Osvay Károly kezdetektől részt vett a nemzetközi ELI-ALPS (Extrem Light Infrastructure Attosecond Light Pulse Source) projekt kutatási programban: először a magyar résztvevői oldalról a WP4A munkacsoport vezetőjeként, majd a hazai ELI-ALPS programot 2010 óta segíti tudományos projektmenedzseri beosztásban. 2012-től az ELI-Hu Nonprofit Kft. tudományos munkacsoport vezetője, 2013 októberétől kutatási technológiai igazgatója.

2006-tól Bor Zsolt hosszú külföldi tanulmányútja miatt az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vezetője Rácz Béla professzor, majd 2011 szeptemberétől Osvay Károly docens. 2013. február 1-től Hopp Béla docens vezeti a tanszéket, helyettesei: Kovács Attila és Vinkó József.

A tanszék kutatási témáinak a fejlődés következtében szerteágazóvá válása tette szükségessé kutatócsoportok létrehozását, melyek, mint az alábbi beszámolókból is kiderül, jelenleg is eredményesen működnek a különböző szakterületeken.

## Fizika ultrarövid lézerimpulzusokkal

Magyarországon a fotonika és azon belül a lézerek és az azokon alapuló tudományos kutatások részaránya az összes tudományterülethez képest jelenleg messze elmarad a nemzetközi trendektől. A lézerekkel és optikával, valamint felhasználásukkal kapcsolatos K+F tevékenység az egyetemeken és az akadémiai kutatóintézeteken zajlik, valamint a velük együttműködő szervezeteknél, összesen néhány száz főt foglalkoztatva. A hazai, e területen tevékenykedő vállalkozások száma néhány tucat, melyek jellemzően az egyetemekhez és kutatóintézetekhez kötődő innovatív mikro-, illetve kisvállalkozások. A lézerek ipari szintű hazai felhasználása mára a járműiparra koncentrálódik.

A hazai lézeres és lézereken alapuló alap- és alkalmazott kutatás – a viszonylag kis méret ellenére – ugyanakkor nemzetközileg elismert és sikeres, olyannyira, hogy az ELI nemzetközi előkészítő konzorciuma a magyar helyszínpályázatot támogatta, és Szegedet jelölte ki az ELI-ALPS (attoszekundumos kutatóintézet) helyszínéül.

A szegedi helyszínen felépülő, a világon a legnagyobb fényerővel rendelkező attoszekundumos lézerforrás, illetve egy 10–20 PW teljesítményű beamline rendszer amellet, hogy eddig példátlan kísérleti lehetőségeket fog biztosítani a lézeres részecskegyorsítás, a lézer generált röntgensugarak területén, extrém intenzitású, attoszekundumos pumpa-próba kísérleteket is lehetővé fog tenni.

Mivel Magyarország kulcsszereplővé lépett elő az ELI projektben, a magyar lézerfizikus társadalom két jelentős kihívás előtt áll. Elsőként a lézerfizikus társadalom tudományos potenciálját szükséges úgy fejleszteni, hogy teljes értékű partnerként vehessen részt az ELI technológiai kihívásainak megoldásaiban. Másodsorban igen fontos, hogy a magyar lézertudósok hozzáegítsék a magyar tudományos társadalom egészét és a különféle vállalkozásokat, hogy a számukra legkedvezőbb módon tudjanak élni az ELI magyarországi megvalósításából adódó lehetőségekkel.

A Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéke és a hozzá tartozó TeWaTi laboratórium az ELI kutatóközpont számára képez tudósokat. Osvay Károly alapította a TeWaTi lézer laboratóriumot a célból, hogy rövid impulzusú, nagy energiájú lézereket és alkalmazásaikat lehessen tanulmányozni. A munka vázlatok készítésével kezdődött, majd megépítették a laboratóriumot és a lézerrendszereket is. A TeWaTi laboratórium elsőként adott helyet az akkori új EU tagállamokban egy multiterawatt osztályú femtoszekundumos lézernek, ami 35 mJ, 20 fs lézerimpulzusokat bocsátott ki 800 nm-en, 10 Hz ismétlési értékben.

### *TeWaTi és hELIos femtoszekundumos lézerlaboratórium és kutatócsoport*

Vezető: Dr. Osvay Károly

A bennünket körülvevő világ fizikai, biológiai és kémiai elemi folyamatainak nagy része femto-, illetve attoszekundumos ( $10^{-15}$  s –  $10^{-18}$  s) időskálán játszódik le. A mai lézertechnikában azonban már előállíthatóak olyan ultrarövid lézerimpulzusok, amelyek segítségével ezen elemi folyamatok kísérleti vizsgálata is lehetséges. Lézerlaboratóriumunkban femtoszekundumos impulzusokat állítunk elő, erősítjük őket, s az így felerősített ultrarövid impulzusokkal végzünk kísérleteket, valamint ezek tulajdonságait vizsgáljuk. Megfelelő paraméterű femtoszekundumos impulzusokat nemesgázba fókuszálva pedig már attoszekundumos impulzusok keltésére is lehetőségünk van. További információk: [www.tewati.eu](http://www.tewati.eu)

Kutatási módszerek, főbb kutatási területek

Femtoszekundumos impulzusok előállítása, erősítése: fázismodulált-impulzus erősítésen alapuló rendszer

Attoszekundumos fizika: magasharmonikusok generálása, attoszekundumos impulzusok keltése

Impulzusdiagnosztikai rendszerek fejlesztése: spektrálisan bontott interferometriai módszerek; vivő-burkoló fázis vizsgálata és stabilizálása

Biológiai, biokémiai minták időbontott spektroszkópiai vizsgálata pumpa-próba kísérletekkel

Oldatok, gázok, bevonatos tükrök, prizmák, fotonikus szálak és egyéb optikai elemek diszperziójának mérése

Optikai elemek sérülésküszöbének lézeres vizsgálata különböző tulajdonságú lézerimpulzusokkal

hELIos hallgatói labor: oktatás és felkészítés a lézerekkel kapcsolatos kutatómunkára pl. az ELI-ALPS-ban



Femtosekundumos  
lézéroszcillátor



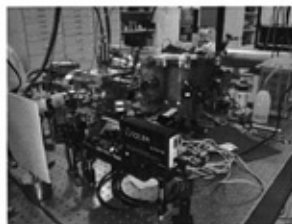
Nagy intenzitású lézererősítő rendszer



Kriogenikus kamra, nagy  
teljesítményű lézerek



Optikai spektrométerek és  
interferométerek



Magasharmonikus keltő  
rendszer és diagnosztika

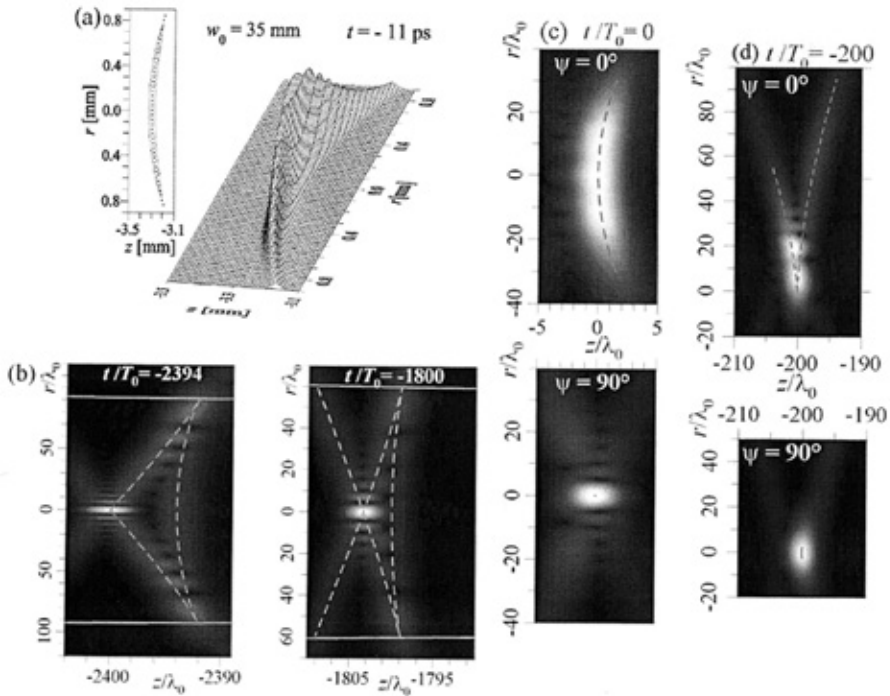


Repülési Idő Elekt-  
ron-spektrométer

1. ábra. Eszközpark

Elméleti optikai kutatások:

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéken már évtizedek óta folynak az ultrarövid lézerimpulzusok kísérleti alkalmazásaihoz szorosan kapcsolódó elméleti kutatások is. Az elsősorban dr. Bor Zsolt és dr. Horváth Zoltán nevéhez fűződő vizsgálatok arra kívánnak válaszokat keresni, hogy a lézernyalábok fókuszálása, amely a kísérletekben szükséges fényintenzitások eléréséhez elengedhetetlen, milyen hatással van a lézerimpulzusok jellemzőire. Fontos kérdést jelent például a fényképészet világából is ismeretes leképezési hibák ultrarövid fényimpulzusok alakjára gyakorolt torzító hatásainak precíz elméleti úton történő vizsgálata. A kutatások rámutattak, hogy a leképezési hibák, amelyek egy fókuszáló lencse vagy tükör tökéletlenségeiből vagy egyszerűen csak normál jellemzőiből adódnak, a kísérletek és alkalmazásaik szempontjából jelentős befolyással bírnak a fókuszált lézerimpulzusok alakjára. A korábban vizsgált színi hiba mellett a legújabb eredmények megmutatták a hibamentes esettől (2. a) ábra) való eltéréseket a gömbi hiba (2. b) ábra), az asztigmatizmus (2. c) ábra) és a kóma (2. d) ábra) esetén is, amelyek kiküszöbölése a fotótechnológiai mérnökök számára is sokszor fejtörés okoznak, és amelyek eredmények óvatosságra intik az ilyen technológiával dolgozó kutatókat.

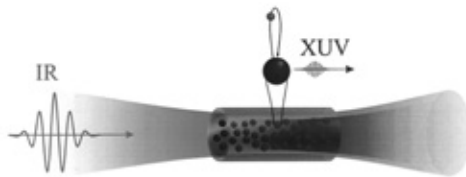


2. ábra

### Attoszekundumos fizika kutatócsoport

Vezető: Dr. Geretovszkyné Varjú Katalin

A lézertechnológia rohamos fejlődése, az egyre növekvő intenzitások elérése új tudományterületek felé nyit utat. Ma már egyetemi laboratóriumokban rutinszerűen előállíthatóak olyan intenzív lézerterek, melyek esetében az elektromos térerősség eléri, sőt meghaladja az atomok, molekulák elektronjait kötő (Coulomb-) tér nagyságát. A nagy intenzitású ( $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>) lézertér képes atomok vagy molekulák elektronjainak kiszakítására (optikai ionizáció), és a szabaddá vált elektronok gyorsítására.



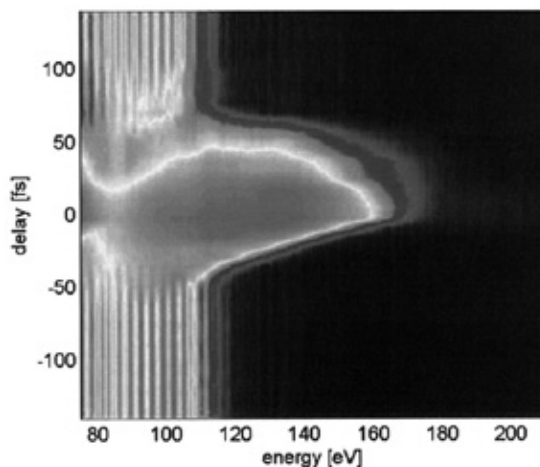
3. ábra

Ha az elektron visszajut az iontörzs közelébe, ott befogódhat, és energiája egy nagy energiájú (magas harmonikus, XUV) foton formájában kibocsátódik. Ez a sugárzás attoszekundumos ( $10^{-18}$  s) impulzusokat tartalmaz. Az attoszekundumos impulzusok a jelenleg előállítható legrövidebb fényimpulzusok, melyek segítségével fizikai folyamatok az elektronok dinamikája szintjén vizsgálhatók.

A kutatócsoport fő érdeklődési területe az attoszekundumos impulzusok keltésének vizsgálata, optimalizációja. A vizsgálatokat elméleti modellekkel és kísérleti módszerekkel végzik.

Legfrisebb kutatási eredményeik:

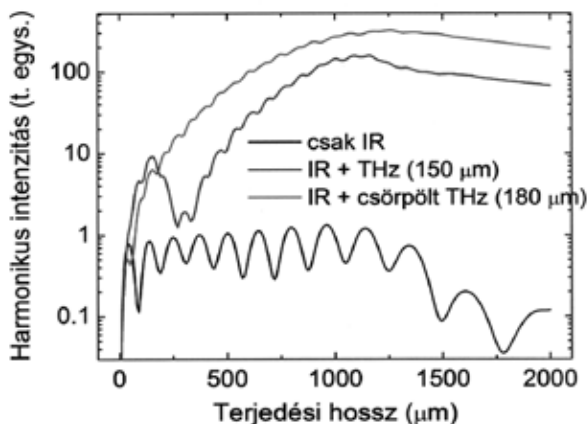
Kiterjedt vizsgálatokat folytattak annak meghatározására, hogy ha a lézermimpulzussal ( $800\text{ nm}$ ,  $6 \times 10^{14}\text{ W/cm}^2$ ,  $672\text{ MV/cm}$ ) együtt – vele azonos irányban terjedő – hosszabb hullámhosszú, kisebb intenzitású ( $1,3 - 10\ \mu\text{m}$ ,  $100 - 300\text{ MV/cm}$ ) MIR vagy THz-es impulzus hogyan befolyásolja a keltett magas harmonikus sugárzás intenzitását, sáv szélességét, illetve az attoszekundumos impulzusok számát.



4. ábra

Elméleti és kísérleti eredményekkel igazolták, hogy a szinkronizált hosszú hullámhosszú segédter lényegesen megnöveli az elérhető spektrális sáv szélességet, és lehetővé teszi egyetlen attoszekundumos impulzus izolálását.

Az attoszekundumos impulzusok keltésének hatásfoka meglehetősen alacsony ( $10^{-5} - 10^{-6}$ ), ezért a tématerületen komoly erőfeszítéseket tesznek a keltendő sugárzás intenzitásának növelésére. A szegedi kutatócsoport vizsgálatokat végzett hosszú hullámhosszú fényimpulzus alkalmazására ezen területen is.



5. ábra

A gáz targetben a keltő lézertér terjedési irányára merőlegesen haladó (néhány száz mikrométer hullámhosszúságú) THz-es impulzus lokálisan modulálva a lézertér impulzus térfogatát, lehetővé teszi a gázcella különböző pontjaiban keltett elemi harmonikus komponensek erősítő interferenciáját (kvázi-fázisillesztés), így a keltett sugárzás intenzitásában több nagyságrendnyi növekedés érhető el.

Extrém széles sávú keltő lézertér precíz hangolásának hatását genetikus algoritmus alkalmazásával vizsgálták a kelthető attoszekundumos impulzusok időbeli struktúrájának optimalizálása céljából. Sikerült a rendszert optimalizálni minimális impulzushossz, illetve kettős impulzusok elérésére. További vizsgálataik között szerepel XUV tartományban kis veszteséggel működő impulzus alakformáló elrendezés kompresszálo hatása, illetve a gáz target makroszkopikus paramétereinek (nyomás, hossz) hatása a keltett attoszekundumos impulzusok alakjára.

A kutatást hazai és az FP7 Marie Curie Initial Training Network (ITN) ATTOFEL elnevezésű konzorcium partnereivel végeztük. További információk, hivatkozások a <http://titan.physx.u-szeged.hu/~atto> oldalon találhatóak.

## Irodalom:

- Borzsonyi, A. P. Kovacs, K. Osvay: What We Can Learn about Ultrashort Pulses by Linear Optical Methods, *Appl. Sci.* 3, (2013) 515.
- M. Mero, F. Frassetto, P. Villoresi, L. Poletto, K. Varjú: Compression Methods for XUV Attosecond Pulses, *Optics Express* 19, (2011) 23420.



- L. Fábíán, Z. Heiner, M. Mero, M. Kiss, E.K. Wolff, P. Ormos, K. Osvay, A. Dér: Protein-based ultrafast photonic switching, *Opt.Express* 19, (2011) 18861–18870.
- Z. Horvath, B. Major, A. Kovacs, Zs. Bor: Pulse front distortions caused by primary aberrations, *J. Opt. Soc. Am. B*, 30 (2013) 1853–1863.

## Lézeres anyagmegmunkálás

### *Nano- és mikromegmunkálási csoport*

Vezető: Dr. Geretovszky Zsolt

Az MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoportjában az 1980-as években dr. Szőrényi Tamás szakmai irányításával kezdődtek a lézeres anyagtudományi kutatások. A munkát, amelynek az alábbiakban csak egy szűk metszetét van lehetőségünk bemutatni, az alapvető folyamatok megértésének szándéka és az alkalmazási területek feltárása egyaránt motiválta.

A céltárgyra eső nagy energiájú lézerimpulzusok a céltárgy anyagának eltávozását eredményezik, amit a szakirodalom ablációnak nevez. Ez a folyamat a felület mintázására, illetve az eltávolított anyag felfogásával vékonyréteg építésre egyaránt lehetőséget nyújt. Vékonyréteg céltárgy esetében a lézerparamétereket lehetséges úgy megválasztani, hogy a megmunkált terület egészben, döntően mechanikai folyamatok révén távolítsuk el. Ezen folyamat mechanizmusát kutatva a mikroelektronikai maszkok lézeres másolással (LIFT) kivitelezett javítása és a lézerekkel történő vékonyréteg napelemstruktúrálás területén értünk el nemzetközileg is elismert eredményeket (Buzás A. és Geretovszky Zs., 2012).

Ha az intenzitás olyan nagy, hogy az anyag plazma formájában távozik, a komponenseket a céltárggyal szemközt elhelyezett hordozón felfogva különleges tulajdonságú vékonyrétegeket építhetünk. Magyarországi meghonosítása után ezen klasszikus PLD-technika alkalmazásában nemzetközi visszhangot keltő eredményeket értünk el. Észrevéve, hogy a lézerrel keltett plazmából nem csak a hordozó, hanem a céltárgy irányában is áramlik anyag, kidolgoztunk és szabadalmaztattunk egy új, inverz PLD-nek nevezett technikát, mellyel a klasszikus elrendezésben épülő vékonyrétegeknél jobb (homogénebb) tulajdonságú filmek hozhatók létre (Égerházi L. és mtsai., 2005).

A 2000-es évek közepétől a csoport érdeklődése – már Geretovszky Zsolt vezetése alatt – a nanovilág felé fordult. Kihhasználva azt, hogy az ultragyors lézerek szub-pikoszekundumos impulzusai a fény-anyag kölcsönhatás koráb-

ban nem ismert mechanizmusait nyitják meg, jelentős eredményeket értünk el nanorészecskék közvetlen lézeres előállítása területén is. Ezzel együtt, ma már a lézerek nem kizárólagos eszközeink a nanostruktúrált anyagi rendszerek előállítása és kutatása során.

## Irodalom:

- Buzás and Zs. Geretovszky: Nanosecond laser-induced selective removal of the active layer of CIGS solar cells by stress assisted ablation, *Physical Review B*, 85, 245304 [14 pages], 2012
- L. Égerházi, Zs. Geretovszky, and T. Szörényi: Thickness distribution of carbon nitride films grown by inverse pulsed laser deposition, *Applied Surface Science* 247, 182–187, 2005

## Fény-anyag kölcsönhatási csoport

Vezető: Dr. Hopp Béla

A tanszék 1989-es megalakulása után a csoport munkatársai, kezdetben Ablációs kutatócsoport néven, elsősorban polimerek és biológiai szövetek excimer lézeres ablációját vizsgálták. Bor Zsolt, Szabó Gábor és Rác B. Béla professzorok vezetésével tanulmányozták a főbb maratási paramétereket, az anyageltávolítási folyamatokat, illetve azok időbeli lefutását. Az excimer lézeres besugárzás segítségével különböző felületi struktúrákat, felületkémi változásokat hoztak létre a mintákon. Szemészeti törőerő korrekciós beavatkozások biztonságos és hatékony elvégzése szempontjából az SZTE Szemészeti Klinikájának munkatársaival együttműködve vizsgálták szaruhártya lézeres alakíthatóságát, magát a maratási mechanizmust, illetve az azt kísérő egyéb érdekes jelenségeket. Fogászati kutatásaik során bebizonyították, hogy az excimer lézeres besugárzás alkalmas fogkő és szuvas rész eltávolítására egyaránt. Az abláció jelenségét kihasználva vékonyrétegeket választottak le elsősorban polimerekből, bioanyagokból, orvosi, diagnosztikai alkalmazási lehetőségek felderítése céljából. Ennek a projektsorozatnak a keretében fogvékonyréteggel vontak be titán felületet, melynek célja az volt, hogy elősegítsék az ebből a fémből készült fogimplantátumok szervezetbe való beépülését, megtapadását. Az eljárással Teflon vékonyrétegeket választottak le allergén fém tárgyak felületére. Bebizonyították, hogy ezek alkalmasak lehetnek az emberi szövet és az allergén fémek egymástól való

elszigetelésére és ezáltal a fémallergiás reakciók elkerülésére. Egy új lézeres eljárás segítségével dr. Nógrádi Antal egyetemi docens segítségével élő humán sejtek kontrollált átvitelét valósították meg, amelynek a szövetépítés, sérült szövetek javítása területén lehet nagy jelentősége a jövőben (Hopp B. és mtsai., 2005).

Az utóbbi években az egyik fő kutatási területük átlátszó anyagok indirekt lézeres finommegmunkálása. Az általuk kidolgozott hátoldali száraz maratási eljárás lehetővé teszi nanotechnológiai struktúrák kialakítását, mikrooptikai elemek, mikrocatornák előállítását. Jelenleg az Institute of Electronic Structure and Laser (I.E.S.L.), Foundation for Research and Technology – Hellas (F.O.R.T.H.) (Heraklion, Crete, Greece) és a Leibniz-Institut für Oberflächen-modifizierung e.V. (Leipzig, Germany) intézetek kutatóival együttműködve azt vizsgálják, hogyan lehet különböző fém felületeken lézeres besugárással olyan nanostruktúrát kialakítani, melynek eredményeképpen az amúgy jól reflektáló minta reflexióképessége 5% alá csökken. Eddigi kísérleteik kimutatták, hogy a femtoszekundumos titán-zafír lézer alkalmas nem-reflektáló felületek létrehozására réz, ezüst és arany céltárgyakon. A kialakuló struktúrák jellege nagymértékben függött az alkalmazott céltárgy anyagától (Hopp B. és mtsai., 2013).

A lézerek orvosi alkalmazásainak területén a csoport munkatársai többek között a lézeres véráramlásméréssel kapcsolatban végeznek fontos vizsgálatokat az Orvosi Fizikai, Orvosi Informatikai és Élettani Intézetek munkatársaival, Bari Ferenc professzor és Domoki Ferenc egyetemi docens csoportjával együttműködve. Erre a feladatra ígéretes megoldást jelent a lézeres szórás interferencia kontraszttelemzésen (Laser Speckle Contrast Analysis, LASCA) alapuló eljárás. A csoportban egy olyan, közel valós idejű méréseket végrehajtó LASCA mérőrendszer fejlesztésén dolgoznak, amely alkalmas nagyobb szövetterületek vérellátásának gyors, hatékony és megbízható vizsgálatára (Zölei D. és mtsai., 2012).

## Irodalomjegyzék:

- B. Hopp, T. Smausz, N. Kresz, N. Barna, Zs. Bor, L. Kolozsvári, D.B. Chrisey, A. Szabó and A. Nógrádi: „Survival and proliferation ability of various living cell types after laser-induced forward transfer”, *Tissue Engineering* vol. 11, November 11/12 1817–1823 (2005)
- B. Hopp, T. Smausz, T. Csizmadia, Cs. Vass, Cs. Tápai, B. Kiss, M. Ehrhardt, P. Lorenz, K. Zimmer: „Production of nanostructures on bulk

- metal samples by laser ablation for fabrication of low-reflective surfaces”, Appl. Phys. A DOI 10.1007/s00339-013-7913-y, 113, 291–296 (2013)
- D. Zölei, T. Smausz, B. Hopp, F. Bari: „Multiple Exposure Time Based Laser Speckle Contrast Analysis: Demonstration of Applicability in Skin Perfusion Measurements” Photonics and Optoelectronics 1(2) 28–32 (2012)

## Lézeres strukturálási csoport

Vezető: Dr. Vass Csaba

Napjainkban számos területen alkalmaznak átlátszó, optikailag kiváló minőségű, kémiaiailag stabil, semleges és ellenálló anyagokat, melyek a hagyományos felhasználási területek mellett (pl. nagy teljesítményű lézeroptikák) számos új területen is hódítanak. Alapanyagai lehetnek például a mikrofluidikában alkalmazott eszközöknek, valamint a megmunkálási technikák fejlődésével egyre inkább előtérbe kerülő mikrooptikai elemeknek is (magas roncsolási küszöbvel rendelkező transzmissziós ultraibolya rácsok, szenzorikai elemek, polarizátorok, nyalábhomogenizátorként működő Fresnel- és mikrolencsesorok, mikroprizmák stb.).

Kutatócsoportunk célja, hogy optikai és szenzorikai alkalmazásokhoz mikro- és szubmikrométeres felbontású periodikus mintázatokat (rácsokat) készítsen különféle anyagokba, lézereken alapuló eljárásokkal. A csoport legjelentősebb eredményei:

Különböző periódusú (104 nm–4  $\mu$ m) transzmissziós rácsokat készítettek ömlesztett kvarc felszínébe, mely rácsok diffrakciós hatásfokainak mérésével bizonyították, hogy a mikrométeresnél nagyobb periódusúak kiválóan alkalmazhatók transzmissziós rácsként látható fényre. Az általuk immerziós technikával előállított 104 nm-es periódusú rács jelenleg is a legkisebb rácsállandóval rendelkező lézeres technikával készített ömlesztett kvarc rács, mely ma is világrekordnak számít (Cs. Vass és mtsai., 2007). Átlátszó vékonyrétegek strukturálásával becsatoló rácsokat készítettek optikai hullámvezető spektroszkópiában és a szenzorikában való felhasználásra (B. Kiss és mtsai., 2013). Méréseik szerint az elkészített rácsok kiválóan használhatók optikai hullámvezető szenzorokban a fény becsatolására. Az ömlesztett kvarcra csatoló ’öntőformaként’ használva, azokat speciális technikával ’lemásolva’ reflexiós ónrácsokat készítettek, melyeket szintén eredményesen teszteltek. Optikai szálvégek indirekt lézeres megmunkálásával 50-150 nm-es struktúrát alakítottak ki, mely alkalmas felületerősített Raman spektroszkópiára felhasználásra (Cs. Vass és mtsai., 2013).

Jelenleg a megmunkálási folyamat időbeli követésével foglalkozik a csoport, melyhez méréseket és numerikus szimulációkat végeznek. Céljaik között szerepel a látható és közeli infravörös hullámhossztartományban működő polarizátor készítése. Az eddig leggyakrabban használt nanoszekundumos megmunkáló lézert igénylő, közvetett eljárások mellett vizsgálják az ultrarövid impulzusok interferenciájával létrehozható közvetlen struktúrákésztést is.

## Irodalomjegyzék:

- Cs. Vass, K. Osvay, B. Hopp, Zs. Bor, Appl. Phys. A 87 (2007), 611–613.
- B. Kiss, F. Ujhelyi, Á. Sipos, B. Farkas, P. Dombi, K. Osvay, Cs. Vass, JLMN – Journal of Laser Micro/Nanoengineering Vol. 8, No. 3 (2013) 271–275.
- Cs. Vass, B. Kiss, J. Kopniczky, B. Hopp, Applied Surface Science (2013) 278 241–244.

## Mikro- és nanooptikai fejlesztések és alkalmazások

### *Optikai mikroszkópia csoport*

Vezető: Dr. Erdélyi Miklós

Az optikai leképezés klasszikus elmélete szerint a térbeli feloldás nem növelhető minden határon túl. A fény diffrakciója miatt, egy pontszerűnek tekinthető fényforrás (pl. távoli csillag, fluoreszcens molekula stb.) képe egy, az optikai rendszer paramétereitől függő kiterjedt folt. Akkor mondjuk, hogy két objektum megkülönböztethető, ha a diffrakciós foltjaik egymástól szétválaszthatóak. A feloldás a leképezésben szerepet játszó fény hullámhosszának csökkentésével, vagy a lencse numerikus apertúrájának növelésével javítható. Ez az oka annak, hogy az optikai mikrolitográfiában egyre rövidebb hullámhosszúságú lézereket, az optikai mikroszkópiában pedig egyre nagyobb numerikus apertúrájú objektíveket alkalmaznak. Ezen „hagyományos” módszerekkel a feloldást a hullámhossz feléig tudják növelni. A szuperfeloldás eléréséhez, azaz a diffrakciós határ átlépéséhez további trükkökre van szükség.

A kilencvenes évek elejétől a houstoni Rice Egyetemmel együttműködve Bor Zsolt, Szabó Gábor és Frank Tittel professzorok irányításával és Erdélyi

Miklós közreműködésével folytak litográfiai kutatások. Célunk olyan szuperrezolúciós eljárások kifejlesztése és kísérleti tesztelése volt, amelyek a kép mélységelességét az egy mikronos határ felett tartották. Az interferometrikus fázistoláson alapuló eljárásban a maszkot két oldalról világítjuk ki, és egy időben hozzuk létre annak transzmissziós és reflexiós képét. Ekkor nincs szükségünk a fázistolásos eljárások során használt drága, komplikált technológiával előállítható, sérülékeny fázistoló maszkokra. Később a módszert továbbfejlesztettük, és a maszkot oldalról (off-axis) világítottuk ki, hogy a módszer könnyebben integrálható legyen a létező litográfiai leképező rendszerekbe. Ezen, a két kép koherens összeadásán alapuló eljárás továbbgondolásával született meg a koherens többszörös leképezés technikája, ami egy Fabry–Perot-szűrőt használ a maszk és a leképező lencserendszer között. A szűrő a többszörös tükröződés miatt számos virtuális tárgyat hoz létre az optikai tengelyen egymástól egyenlő távolságra. A leképező lencse ezen virtuális tárgyak együttes, koherens képét hozza létre, jelentősen megnövelve a mélységelességet és a térbeli feloldást. A módszert a Texas Instruments támogatásával izolált kontaktusok és vonalak leképezésén eredményesen teszteltük. A kutatások eredményeit számos cikkben (Erdélyi és mtsai., 1997), szabadalomban és doktori disszertációban publikáltuk.

A fluoreszcens mikroszkópiában a gerjesztő fény hullámhosszának csökkentése nem lehetséges. A biológiai folyamatok molekuláris szintű megértéséhez és követéséhez <10 nm térbeli feloldásra van szükség. 2006-ban egymástól függetlenül, három kutatócsoport egy új módszert javasolt, amely során a fluoreszcens molekulák időben kapcsolhatók. A képtérben csak kevés számú aktív molekulát képezünk le, amelyek diffrakciós képe így időben és térben szétválasztódnak. Az egyes diffrakciós foltok középpontjait illesztéssel meghatározva lokalizálhatjuk a fluoreszcens molekulák helyét. A folyamatot sokszor megismételve, és az egyes lokalizációkat egymáshoz regisztrálva kapjuk a végső, szuperfeloldású képet. A lokalizációs mikroszkópia jelenleg még gyerekcipőben jár. Széleskörű elterjedéséhez számos optikai, festékdinamikai és számítástechnikai problémát kell megoldani. A Cambridge egyetemmel együttműködve lokalizációs mikroszkóppal elsőként nekünk sikerült sejten belül az Alzheimer-kór kialakulásában döntő szerepet játszó amyloid-beta fehérje leképezése. Az AdOptIm (Advanced Optical Imaging) kutatócsoport a Nemzeti Agykutatási és egy Marie Curie pályázat támogatásával jelenleg egy lokalizációs mikroszkóp megépítésén dolgozik (Erdélyi és mtsai., 2013). Célunk egy olyan mikroszkóp kifejlesztése és alkalmazása, amely sűrűn festett minták esetén is képes a lokalizációs elvet alkalmazva polarizáció érzékenyen detektálásra.

## Irodalom:

- M. Erdelyi, Z. L. Horvath, G. Szabo, Zs. Bor, F. K. Tittel, Joseph R. Cavallo, Michael C. Smayling: Generation of Diffraction-Free Beams for Applications in Optical Microlithography, *J. Vac. Sci. Technol. B* 15(2), 287–292, 1997.
- M. Erdelyi, E. Rees, D. Metcalf, G. S. Kaminski, L. Dudas, J. Sinko, A. Knight, and C. F. Kaminski: Correcting Chromatic Offset in Multi-color Super-resolution Localization Microscopy, *Optics Express* 21(9), 10978–10988, 2013.

## Nanoplazmonika csoport

Vezető: Dr. Csete Mária

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéken nagy hagyománya van a különböző spektroszkópiai kutatásoknak. Ezen irányvonal szerves folytatásaként kezdődtek el 2000-tól a felületi plazmon rezonancia spektroszkópia vizsgálatok, elsődlegesen a lézerrel strukturált vékonyrétegek tanulmányozása céljából. A kutatások a hullámhossznál lényegesen kisebb objektumok hatásának tanulmányozásával folytatódtak, 2008-tól a nanoplazmonikai és nanofotonikai jelenségek vizsgálatára alkalmas elméleti és numerikus modellezési eljárások meghonosításával, majd 2010-től a Nanoplazmonika Kutatócsoport megalapításával (<http://titan.physx.u-szeged.hu/~nanoplasmonics/>).

A felületi plazmon polaritonok (továbbiakban plazmonok) a fém-szigetelő határfelületen fényvel gerjeszthető, a határfelület mentén terjedő elektromágneses hullámok. A plazmonok keltése során az energia- és impulzus megmaradás egyidejű teljesüléséhez a gerjesztő fény hullámvektorának megnövelése szükséges. Ennek egyik módja a hullámhosszal összemérhető periódusú rácsok alkalmazása a felületen. A felépülő plazmon-mező a határfelület mentén a legerősebb, attól távolodva exponenciálisan lecseng. A keletkező plazmonok jellemzői érzékenyen függenek a felületet határoló közegek törésmutatójától, a felületen jelenlevő struktúrák alakjától, méretétől és elrendezésétől. Ennek köszönhetően a felületre kerülő molekulák érzékelhetőek, továbbá mennyiségük is meghatározható a gerjeszthető plazmonok jellemzőinek monitorozásával. A különböző biomolekulák detektálásánál a cél a lehető legnagyobb érzékenység elérése, amely a felületi struktúra, valamint a kivilágítási irány együttes optimalizálásával megvalósítható. Első kísérleti plazmon rezonancia spektroszkópiai projektjeink keretén belül különböző (modulációs mélység-

gel, kitöltési faktorról, törésmutatóval jellemezhető) szinuszos és négyszöges vonalprofilú rácsokat tartalmazó multirétegek biszenzorizációra való alkalmazhatóságát vizsgáltuk. Jelenleg az optimális paraméterek meghatározásán dolgozunk, célunk olyan újszerű biodetektlási módszer kifejlesztése, amely a felületi plazmon rezonancia spektroszkópia és a nagyfeloldású atomi erő és lokalizációs mikroszkópia kombinálásán alapul. Ezen eljárással lehetővé válik a biomolekulák jelenlétének kimutatása és a vizsgált felületről történő egyidejű képalkotás.

A plazmonokon alapuló bioszenzorizáció másik fontos területe a lokalizált felületi plazmonok rezonanciájának tanulmányozása. Hullámhossz nagyságrendű, és annál lényegesen kisebb fém nanoobjektumok körül lokalizált, azaz az objektumhoz kötött plazmonmező alakul ki, amely függ az objektum alakjától, méretétől, törésmutatójától. Az egymás közelében elhelyezett objektumokon (dimereken, trimereken, tetramereken...) gerjesztett plazmonok csatolódni képesek egymással, a kivilágítással kontrollálható módon erősítve vagy gyengítve a teret az egyes objektumokon. A fém nanorészecske aggregátumokon, valamint a periodikus architektúrákban elhelyezett objektumokon kialakuló csatolt plazmonmező ideális bioszenzorizációra.

A lokalizált felületi plazmon rezonancián alapuló szenzorizáció előnye, hogy a nagy intenzitású elektromágneses térben megkötött molekulák nagy érzékenységgel kimutathatóak. Csoportunk ciszteinnel funkcionizált ezüst és arany nanorészecskékből álló, lineáris és hullámos aggregátumokon mutatta ki a plazmoncsatolás jelenségét, a saját és terjedő módusok kontrollálhatóságát.

Nanostruktúrák periodikus mintázatainak előállítására fontos a plazmonika számos felhasználási területe szempontjából. A direkt lézeres eljárások egy lépéses technikák, amelyek során nagy felület munkálható meg egy lépésben, azonban összetett mintázatok kialakítása nehézkes. A lézeres kolloidgömb litográfiával létrehozható hullámhossznál lényegesen kisebb struktúra, azonban a homogén megvilágítás a gömbök szorosan illeszkedő hatszöges elrendezését örökíti tovább a kivilágítás. Az általunk kidolgozott ún. KGMIK (kolloidgömb monorétegek interferometriás kivilágítása) kombinált litográfias eljárás, amely az előbbi két módszer előnyeit egyesíti. A kolloidgömb monoréteget laterálisan modulált intenzitás-eloszlású nyalábbal világítjuk ki, amelyet precíziós eljárással hozzáillesztünk a kolloidgömbök kiválasztott mintázataihoz. A mintafelületen csak az intenzíven megvilágított felületrészek alá eső kolloidgömbök fókuszáló hatására történik anyagmegmunkálás. A kétnyalábos KGMIK módszerrel létrehozható lineáris összetett mintázat négy karakterisztikus tulajdonsága (objektumok mérete, alakja, periódusa, egymástól mért távolsága) kontrollálható a kivilágító lézernyaláb hullámhosszának,



polarizációjának, a beesési szöggel kontrollálható laterális intenzitás-eloszlásának, valamint a kolloidgömbök anyagának és méretének megfelelő megválasztásával. A struktúrák felsorolt paramétereiktől való függését végelesemes modellezéssel (FEM) és kísérleti úton vizsgáljuk. Kimutattuk, hogy a létrehozható felületek alkalmasak kis mennyiségű biológiai anyag kimutatására (Sipos és mtsai., 2014).

A csillagászat és a telekommunikáció területén is nélkülözhetetlenek az egyfoton detektorok, ezek között az egyik legfontosabb az infravörös tartományban működő, szupravezetésen alapuló ún. SNSPD (superconducting nanowire single photon detector). Az SNSPD-ben az egyik leggyakrabban használt abszorbeáló anyag a szupravezető nióbbium-nitrid (NbN). Az MIT-val kooperáció keretén belül 2008-ban elkezdett kutatásaink célja különböző plazmonikus struktúrákkal integrált SNSPD-k hatásfokának és polarizáció kontrasztjának növelése. Ehhez végelesemes módszeren alapuló szimulációs program segítségével vizsgáljuk a távol-térbeli optikai jelet és közel-térbeli intenzitás-eloszlást. Meghatározzuk a hullámhossznál lényegesen kisebb és azzal összemérhető periódusú abszorbeáló szupravezető mintázatok lineárisan polarizált fénnel való kivilágítása esetében az optimális orientációt.

## Irodalom:

- M. Csete, Á. Sipos, A. Szalai, F. Najafi, G. Szabó, K.K. Berggren: Improvement of infrared single-photon detectors absorptance by integrated plasmonic structures, *Scientific Reports* 3, art. no. 2406, 2013.
- Á. Sipos, A. Somogyi, G. Szabó, M. Csete: Plasmonic Spectral Engineering via Interferometric Illumination of Colloid Sphere Monolayers, *Plasmonics*, DOI 10.1007/s11468-012-9420-y, 1–13, 2014.

## Fotoakusztikai kutatások Szegeden

### *Fotoakusztikus kutatócsoport*

Vezető: Szabó Gábor akadémikus

A fotoakusztikus jelkeltés alapja, hogy ha egy gáz halmazállapotú közeget olyan fénnel világítunk meg, amely egyrészt időben modulált, másrészt a megvilágított közeg ezt a fényt részben vagy egészben elnyeli, akkor a megvilágított mintában akusztikus jel (hanghullám) keletkezik, melyet megfelelő

érzékelőkkel (pl. mikrofonnal) detektálni lehet. A fotoakusztikus jelenséget Abraham Graham Bell fedezte fel 1880-ban. A fotoakusztikus módszer legfontosabb előnye a mérendő gáz koncentrációja és a keletkező akusztikus jel közötti lineáris kapcsolat, amely összefüggés rendkívül széles koncentráció-tartományban érvényes. A fotoakusztikus rendszer főbb részegységei egy modulált fényű fényforrás, amelynek hullámhosszát a mérendő komponens elnyelési vonalára kell hangolni; egy fotoakusztikus mérőkamra, amelyben a fotoakusztikus jel keletkezik oly módon, hogy a kamrát a fényforrás fényével átvilágítjuk, miközben a vizsgálandó gázt keresztüláramoltatjuk a kamrán; és egy mérőelektronika, amely a lézer vezérlésére, a fotoakusztikus kamrába beépített mikrofon jelének mérésére és feldolgozására, illetve a mért fotoakusztikus jelből a vizsgált komponens koncentrációjának kiszámolására szolgál.

Az Optikai és Kvantumelektronikai tanszék vezetése az 1990-es évek elején felismerte, hogy a Tanszék kutatási profiljában a lézerek kutatása és fejlesztése mellett egyre hangsúlyosabban kell, hogy megjelenjen a lézerek gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek kutatása is. Miután Szabó Gábor szakmai kapcsolatba került Miklós Andrással, az MTA Izotópkutató Intézet munkatársával, felmerült, hogy egy ilyen kutatási terület lehetne a gázok összetételének, a szennyező komponensek koncentrációjának lézeres (ezen belül az ún. fotoakusztikus elvű) mérése. Részben az új tanszéki stratégiát, részben a fotoakusztikus módszer előnyös tulajdonságait figyelembe véve, amikor Bozóki Zoltán, aki Miklós András témavezetésével fotoakusztikus kutatásokat végzett az MTA Izotópkutató Intézetben, állást keresett 1994-ben, Szabó Gábor állást, sőt kutatási pénzt ajánlott neki. Tette ezt annak ellenére, hogy, egyrészt ez volt az ún. „Bokros-csomag” időszaka, ami komoly terheket rótt az egyetemekre, másrészt ebben az időszakban a fotoakusztika már nem számított „menő” tudománynak. Valóban, a fotoakusztika hőskora a múlt század hetvenes-nyolcvanas éveire esett, amikor világszerte rengeteg tudományos publikáció jelent meg, amelyekben rendkívül érzékeny (ppt /azaz egy részecske per ezermilliárd részecske/ nagyságrendű érzékenységgű) fotoakusztikus rendszerekről számoltak be. Azonban a fotoakusztika iránti kiemelt érdeklődés a kilencvenes évek elejére szinte teljesen alábbhagyott, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy az ilyen „világbajnok” érzékenységek eléréséhez olyan rendkívül bonyolult lézerek alkalmazására van szükség, melyek akár egy teljes kamiont is megtöltenek, és folyamatos üzemeltetésükhöz 2-3 tudós munkájára van szükség. Szabó Gábor, Bozóki Zoltán és Miklós András közös gondolkodása révén született meg az a később rendkívül sikeresnek bizonyuló koncepció, hogy olyan fotoakusztikus rendszereket kell fejleszteni, melyek olcsók, robusztusak és hosszú időn keresztül teljesen automatikus módon üzemeltethetők,

még azon az áron, is, hogy ezeknek a rendszereknek az érzékenysége nem éri el a korábbi rendszerek extrém érzékenységét. Ezért került előtérbe a telekommunikációs iparban rutinszerűen alkalmazott szobahőmérsékletű diódalézerek használata a tanszék fotoakusztikus rendszereiben, hiszen e fényforrások olcsók, nagy megbízhatóságúak, teljesen automatikus módon üzemeltethetők, és élettartalmuk eléri vagy meg is haladja a 10 évet.

Innentől a fotoakusztikus módszer kutatása és fejlesztése két szálon futott tovább a tanszéken. Egyrészt kiemelt cél volt a fotoakusztikus rendszerek megbízhatóságát növelő eljárások kifejlesztése, a fotoakusztikus mérések pontosságának növelése. Másrészt meg kellett keresni azokat az alkalmazásokat, ahol a dióda lézerekkel elérhető ppm (azaz egy részecske per millió részecske) nagyságrendű érzékenység mellett is előnyösen használható a fotoakusztikus módszer.

A fotoakusztikus módszer megbízhatóságát és érzékenységét növelő eljárások kidolgozásában a tanszéki kutatók rövid időn belül komoly eredményeket értek el:

- Miután nyilvánvalóvá vált, hogy a diódalézerek jellemző hullámhossz-stabilitása, ami a telekommunikációs alkalmazásokban elegendő, nem megfelelő a fotoakusztikus mérésekhez, újfajta hullámhossz-stabilizálási eljárásokat dolgoztak ki .
- Újfajta, nagy érzékenységű és rövid válaszidejű fotoakusztikus mérőkamrákat terveztek, és mérésekkel igazolták ezek előnyös tulajdonságait.
- Eljárást dolgoztak ki, melynek segítségével a lézer modulációs frekvenciája gyorsan és nagy pontossággal a fotoakusztikus kamra (gázösszetételtől függő) rezonanciafrekvenciájára hangolható.

Ami pedig a lehetséges gyakorlati alkalmazások felkutatását illeti, a következő években Szabó Gábor, Bozóki Zoltán és kollégáik „nyakukba vették az országot”, a nyíregyházi hulladékteleptől, a komlói szennyvíztelepen, a gödöllői Mezőgazdasági Gépesítési Intézetten keresztül a győri Audi gyárig keresték azokat a területeket, ahol a fotoakusztikus módszer előnyösen alkalmazható.

Hamar nyilvánvalóvá vált, hogy a gyakorlati alkalmazások szempontjából a földgázipar a legígéretesebb, ennek megfelelően a kilencvenes évek második felétől intenzív és rendkívül gyümölcsöző K+F kapcsolat alakult ki fotoakusztikus témában a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt. társasággal. A tanszék által sikeresen megvalósított első kutatás-fejlesztési projekt eredményeként egy olyan fotoakusztikus elvű berendezés jött létre, amely a földgáz vízgőzszennyezettségét méri folyamatos módon. Ezt a műszert újabbak követték, amelyek már a vízgőz mellett, illetve helyett a szintén nagyon kritikus szennyező komponens, a kén-hidrogén-koncentráció mérésére is alkalmasak voltak. Ezek a műszerek különböző magyarországi gázüzemekben kerültek telepítésre. A fotoakusztikus módszer ipari alkalmazása világviszonylatban is

újdonságnak számított, a módszert ezt megelőzően csak laboratóriumokban tudták sikeresen alkalmazni.

A fotoakusztikus rendszerek egy további, szintén igen sikeres alkalmazása 2001-ben kezdődött, amikor a CARIBIC projekt keretében egy fotoakusztikus elvű, a tanszék által kifejlesztett műszer került telepítésre egy utasszállító repülőgép poggyászerében, ahol több mint 10 éve működik problémamentesen. A Contitech Rubber Industrial Kft.-vel együttműködve végzik műanyagok és gumik gázáteresztő-képességének mérését. Szintén sikeres területeknek bizonyultak a módszer orvosi alkalmazásai: elsősorban a kilélegzett gázok analízise. Továbbá a fotoakusztikus módszert egyéb területeken is sikeresen alkalmazták, mint pl. a levegő aeroszol- és ammóniatartalmának mérése, folyadékok szennyezettségének mérése, kőzetek gázáteresztő- és gázmegtartó-képességének mérése.

A fotoakusztikus mérési elvre alapozva a tanszék számos hazai és nemzetközi K+F projektben, együttműködésben vett részt, továbbá nagyszámú szakdolgozat és diplomamunka, OTDK-dolgozat és PhD-dolgozat is született. A tanszék munkatársai által írt, nemzetközi tudományos folyóiratokban publikált cikkek száma meghaladja az ötvenet. A fotoakusztikus kutatások sikerességét jelzi, hogy 2013-ban a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával megalakult az MTA-SZTE Fotoakusztikus Kutatócsoport Szabó Gábor vezetésével.

## Orvosi fényterápiát fejlesztő kutatások Szegeden

A csoport vezetője: Prof. Szabó Gábor, akadémikus

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék – Ignác Ferenc tudományos munkatárs folyamatos közreműködésével – az 1990-es évek elejétől dolgozik együtt a jelenleg prof. Kemény Lajos által vezetett Bőrgyógyászati és Allergológia Klinikával, kutatások, illetve orvostechnikai eszközök műszaki fejlesztése terén. A kezdeti időszakban elsősorban a psoriasis (pikkelysömör) – addig a világon sehol nem alkalmazott-lézeres kezelésének kidolgozására került sor módosított XeCl excimer lézerrel (308 nm) (Béla Bónis és mtsai., 1997). Ez a mai napig a legkorszerűbb, legeredményesebb kezelés világszerte. A későbbiekben ez a módszer alkalmasnak bizonyult vitiligo és atopias dermatitis hatásos kezelésére is. Közben azt is kutattuk, hogyan indukál sejtapoptózist T-sejteken a XeCl lézer. A 2000-s évek elejétől a kutatási terület tovább szélesedett. A pollenallergia hatalmas méreteket ölt világszerte. Ennek kapcsán végrehajtottunk ez irányban vizsgálatokat lézerrel, de mivel annak ára miatt nem terjedhet el annyira, hogy a rengeteg allergiás beteg számára elérhető legyen, így más fényforrás felé

irányultak a kísérletek. Sikerült egy olyan fényterápiás, nemzetközi szabaddal védett orvostechnikai berendezést (Rhinolight) kifejleszteni, amivel a szénanátha kezelésében minden addig alkalmazott gyógyszernél jobb hatást ér el (Andrea I Koreck és mtsai., 2005). Ezt a világ több klinikáján elvégzett tanulmányok is bizonyítják. (Detlef Brehmer, 2010). A pollenszezonban tünetmentesíti a beteget, 3–4 szezonban alkalmazott kezelés után pedig az esetek döntő többségében végleg meggyógyul a beteg. Óriási érdeklődést váltott ki nemzetközileg, hiszen az allergiás betegek száma szinte exponenciálisan növekszik. A berendezést a székesfehérvári Videoton gyárban szerelik össze. A készülék orvostechnika CE1011 tanúsítvánnyal rendelkezik, amely folyamatosan megújításra kerül. A világ 23 országában (Japán, Törökország, Ausztrália stb.) használják jelenleg is orvosi rendelőkben, kórházakban, klinikákon évről évre növekvő számban. A kezeléssel kapcsolatban külön biztonságossági vizsgálatok is történtek. Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, illetve a Bőrgyógyászati Klinika szoros együttműködésébe később a Füll-Orr-Gégészeti Klinika is bekapcsolódott. Ott jelenleg is folyik egy, az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék továbbfejlesztett berendezés klinikai kipróbálása, ami az orrpolip kezelésére ad alternatívát a műtéttel szemben az esetek egy jelentős részében.

## Irodalom:

1. Béla Bónis, Lajos Kemény, Attila Dobozy, Zsolt Bor, Gábor Szabó, Ferenc Ignác: “308 nm UVB excimer laser for psoriasis” *The Lancet*, N.9090, Vol. 350, 1522. (1997)
2. Andrea I Koreck, Zsanett Csoma, Laszlo Bodai, Ferenc Ignacz, Anna Sz. Kenderessy, Edit Kadocsa, Gabor Szabo, Zsolt Bor, Anna Erdei, Barnabas Szony, Bernhard Homey, Attila Dobozy, Lajos Kemeny: Rhinophototherapy: a new therapeutic tool for the management of allergic rhinitis. *J. Allergy Clin. Immunol.* 2005, 115(3): 541–47.
3. Detlef Brehmer: Endonasal phototherapy with Rhinolight® for the treatment of allergic rhinitis. *Expert Rev. Med. Devices* 2010, 7(1): 21–26.

## A Kísérleti Fizikai Tanszék vezetője, a nagy intenzitású lézer laboratórium létrehozója: Szatmári Sándor

*Szatmári Sándor* egyetemi tanulmányait Szegeden, a *József Attila Tudományegyetemen* (a JATE-n) végezte, fizikus szakon (1975–1980). A *Kísérleti Fizikai*

*Tanszéken* (KFT-en) folyó lézerfizikai kutatásokba már egyetemi éveit alatt bekapcsolódott. Diplomamunkáját „*Keskenysávú festéklézerek vizsgálata*” címmel készítette el, és kiváló minősítéssel védte meg. Egyetemi tanulmányai alapján 1981-ben *Felsőoktatási Tanulmányi Érdemérem* kitüntetését kapott.

Az egyetemi doktori cím megszerzése (1982) után – kisebb megszakításokkal, Max Planck ösztöndíjasként – a *göttingeni Max Planck Institut für Biophysikalische Chemie Lézerfizikai Osztályán dolgozott* (1982–1991), ahol excimer lézeres kutatásokat végzett. Tanulmányútja alatt kifejlesztett egy nagyteljesítményű szub-pikuszekundumos excimer lézerrendszert, továbbá részt vett az intézetben folyó röntgen-lézeres kutatásokban is. Később nagy teljesítményű UV impulzusok erősítésével foglalkozott. Az elért kutatási eredményeire alapozva 1987-ben megvédte kandidátusi, majd 1989-ben akadémiai doktori értekezését. 1991 és 1994 között kutatásait a *göttingeni Laser-Laboratorium Göttingen (LLG) intézetben* folytatta, amelynek megalapításában aktív szerepet vállalt. Mindkét intézetben 5-6 fős munkacsoport irányításával is megbízták. 1994-ben a JATE Kísérleti Fizikai Tanszékére egyetemi tanári kinevezést kapott, és egyben megbízták a *Kísérleti Fizikai Tanszék (KFT)* vezetésével. Ezt a funkciót azóta is folyamatosan ellátja.

Több évre kiterjedő külföldi tanulmányútjáról visszatérve a KFT-re – kiemelkedő kutatási eredményeit, tapasztalatait és kapcsolatait felhasználva – megalapította a *Nagyintenzitású Lézer Laboratóriumot* (HILL). Ez a – kutatás és oktatás céljait egyaránt szolgáló – laboratórium lehetővé tette nagy intenzitású lézerek kutatásával, fejlesztésével és alkalmazásával kapcsolatos kísérletes tevékenység magyarországi meghonosítását. A ma már nemzetközileg is elismert, „felhasználó központú” HILL laboratórium folyamatos fejlesztésének és fenntartásának finanszírozása elsődlegesen a *Szatmári Sándor* által vezetett kutatás-fejlesztési projektekből történik.

### *A HILL laboratórium*

A laboratóriumban folyó egyik fő tevékenység: az excimer lézerek kutatása, illetve fejlesztése, nagy intenzitású és igen rövid UV lézer-impulzusok előállítására céljából. A kutatások alapjául egy – *Szatmári Sándor* által kifejlesztett – femtoszekundumos festék/excimer lézer szolgál, amellyel  $\sim 10^{19}$  W/cm<sup>2</sup>-es fókuszált intenzitás érhető el az UV tartományban, viszonylag alacsony teljesítmény szint mellett.

A HILL megalapításakor számos kutatási projekt vette kezdetét és jelenleg is folynak ilyen projekt munkák a plazmafizika, a szilárdtestfizika és

a mikroanyagmegmunkálás területén, belevonva a kutatásokba a tanszéken, illetve más intézetben dolgozó (köztük külföldi) kutatókat is.

A lézerplazmában keletkező gyors elektronok és sugárzások tulajdonságai – a nagy intenzitásnak ( $\sim 10^{19}$  W/cm<sup>2</sup>) köszönhetően – a HILL-ben hatékonyan tanulmányozhatók. Ezen kutatásokat a KFT munkatársai szoros együttműködésben végzik az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet munkatársaival. A laboratóriumban folyó dinamikai vizsgálatok keretében főként szilárd testeknek (félvezetőknek, szigetelőknek) és femtoszekundumos impulzusoknak a kölcsönhatását vizsgálják.

*A HILL laboratórium számos hazai és nemzetközi tudományos együttműködés kialakítását tette lehetővé.*

A HILL laboratórium a *németországi LLG*-vel a nagy intenzitású lézerek kutatása, nagy felbontású dinamikai vizsgálatok, mikrostruktúrák létrehozása területén tart fenn szoros kapcsolatot.

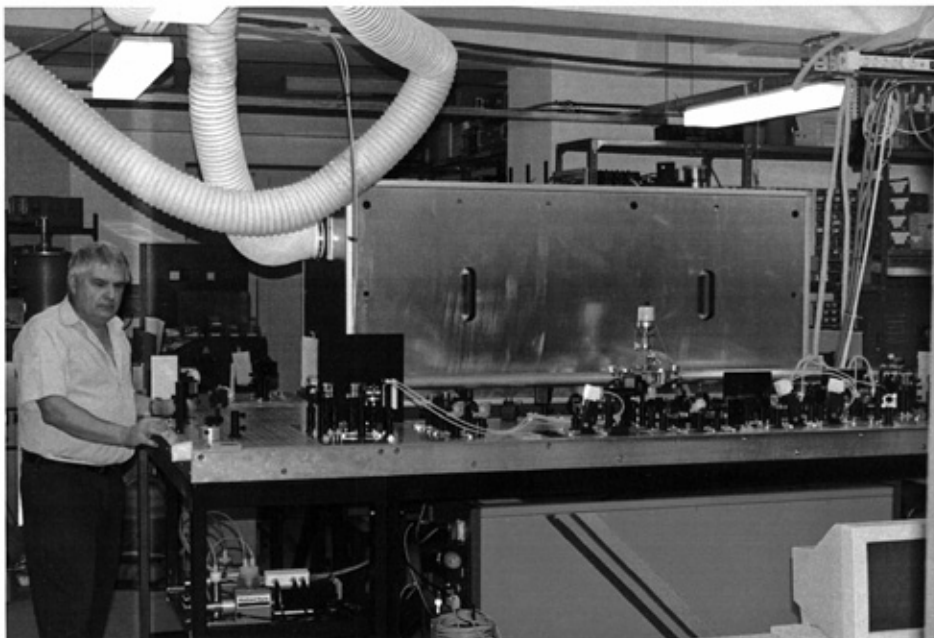
A HILL és a *Kínai Atomenergia Kutató Intézet (CIAE) Nagy Energiájú Excimer Lézer Laboratóriuma* között több mint 15 évre visszatekintő sikeres együttműködés alakult ki. Ennek az együttműködésnek az alapja a speciális excimer lézerrendszerek kutatása, fejlesztése, illetve plazmafizikai alkalmazása. Ez az együttműködés – a *Magyar–Kínai Kormányközi Együttműködések* keretében – az elmúlt évtizedben szinte folyamatos pályázati támogatást élvezett. A CIAE felkérésére, kutatás-fejlesztési megállapodások keretében a KFT-n kifejlesztésre került több (5 db) speciális paraméterű excimer lézer is.

*A chicagói Illinois Egyetem 'X-ray Microimaging and Bioinformatics'* laboratóriumával együttműködve, a HILL laboratóriumban nagy specifikus intenzitású UV-, illetve röntgensugárzás generálásával foglalkozunk.

A permanens együttműködések sorába tartozik a *Pécsi Tudományegyetem Fizika Intézetével*, a *Nyugat-magyarországi Egyetemmel* és a *Dunaújvárosi Főiskolával* fenntartott szakmai kapcsolat.

A HILL laboratórium *Nagyintenzitású Csoportja* aktív pályázati tevékenységet folytat, számos nemzetközi (NATO, FP6, FP7) és hazai (OTKA, NKFP, TÉT, TÁMOP stb.) pályázatot nyert el és valósított meg sikeresen. Tevékenységének elismerését jelenti, hogy a Nagyintenzitású Lézer Laboratórium 2004 és 2008 között tagja volt az *európai XTRA* elnevezésű *Marie Curie Kutató Képzési hálózatának*, valamint 2009-től az európai lézeres laboratóriumokat tömörítő, *LASERLAB-EUROPE hálózatának* is tagjává vált, amelyben a – Magyarországot, ill. a Szegedi Tudományegyetemet képviselő – csoportvezetői tisztséget *Szatmári Sándor* látja el. Fontos megemlíteni, hogy a *LASERLAB-EUROPE hálózatának* rangos laboratóriumai többségükben nemzeti pénzügyi forrásokból felépített és fenntartott infrastruktúrák, míg a hasonló színvonalat

képviselő Nagy Intenzitású Lézerlaboratórium megalapításának, folyamatos fejlesztésének és fenntartásának finanszírozása elsődlegesen a *Szatmári Sándor* által vezetett kutatás-fejlesztési projektekből történik. Egy kínai kutatóintézettel – speciális lézerrendszer kifejlesztésére és elkészítésére – pl. 650 000 Euro értékű szerződést kötött.



6. ábra

A felvételen (6. ábra) egy kutatás-fejlesztési szerződés keretében, a HILL laboratóriumban készülő femtoszekundumos festék-excimer lézerrendszer látható. A képen a készülék tesztelését Szatmári Sándor professzor végzi.

Az *Extreme Light Infrastructure (ELI)* Szegedre kerüléséhez kötődően kiemelt jelentőségűek a HILL laboratórium excimer lézerével elvégezhető, ELI-hez köthető kísérletek.

### *Fontosabb tudományos eredmények*

Új módszereken alapuló nagy intenzitású excimer lézerrendszer kidolgozása és felépítése; az excimerek erősítésének dinamikai vizsgálata, erősítési jellemzőinek meghatározása; a kvantumlebegés kényszerített emisszióban történő első



kísérleti demonstrációja; direkt erősítéssel a mai napig legrövidebb impulzusok keltése az ArF és KrF hullámhosszán; a mai napig legrövidebb impulzusidejű impulzusok keltése impulzusüzemű festéklézereken alapuló lézerekkel; speciális erősítési módszerek (térben fejlődő fázismodulált erősítés, off-axis erősítés, illetve interferometrikus multiplexelés) kidolgozása az excimerek fizikai okokból limitált erősítési határfokának javítására. Rövid impulzusok diszperzív közegben való speciális terjedési viszonyainak vizsgálata, új típusú, haladó hullámú gerjesztő elrendezés kifejlesztése nagy intenzitású lézer-szilárdtest kölcsönhatások vizsgálatára. A Fourier-síkban bevezetett nemlinearitásokon alapuló, újszerű tér- és időszűrési technikák vizsgálata/alkalmazása nagy intenzitású lézerek kontrasztjának javítására. A rövid impulzusok excimerekben történő erősítésének követelményeire illesztett speciális KrF erősítők kutatás-fejlesztése.

A legfontosabb tudományos eredményeket tartalmazza a mellékelt válogatott publikációk.

*Szatmári Sándor* eddigi tevékenysége során kiemelkedő, nemzetközileg is elismert kutatási eredményeket ért el. Ezt bizonyítja: az eddig megjelent 229 tudományos publikáció, melyek jelentős része elszerezős (34), neves külföldi folyóiratokban megjelentetett tudományos cikkek (100), illetve nemzetközi konferenciákon meghívott előadások (28). Szabadalmainak száma 20. Tudományos közleményeire érkezett független hivatkozások száma 1424, amelyből az első szerzős publikációira érkezett hivatkozások száma meghaladja az 1000-et. Tudományos tevékenysége eredményéhez kötődő, nagy intenzitású femtoszekundumos excimer lézerrendszer a világ számos (~20) rangos laboratóriumában működik, s szolgál fényforrássul különböző fizikai kísérletekhez.

## Oktatás

A hosszabb ideig tartó külföldi tanulmányútjai során külföldi egyetemeken is oktatott és kutatott. Ez a tevékenység a többi között lézeres témakörben speciális kollégiumok tartásában (Recent advances of femtosecond laser technology, University of Hannover; Physikalisches Kolloquium, Universität Essen), diplomamunkát készítő hallgatók, ill. PhD-ösztöndíjasok munkájának irányításában nyilvánult meg. 1994-től aktívan bekapcsolódott a Kísérleti Fizikai Tanszék oktatómunkájába (Atomfizika alapkollégiumi előadás, *Nagy intenzitású elektromágneses terek* 1–2. speciális kollégium, *Femtoszekundumos gázlézerek és alkalmazásaik* speciális kollégium, számolási és laboratóriumi gyakorlatok vezetése, speciális kollégiumok tartása). Jelenleg az SZTE Kísérleti Fizikai

Tanszékén *BSc kurzust* (Atomfizika előadás), *MSc és PhD-kurzusokat* (*Sugárzáselmélet és lézerek* előadás, *Nagy intenzitású lézerek és alkalmazásaik I–II.* előadás, *Nagyfeszültségű elektromos áramkörök* előadás) tart. Angol nyelvű előadást (High Intensity Lasers) is tartott az ERASMUS program keretében.

Részt vesz az egyes fizika szakok és szakirányok hálóterveinek összeállításában, valamint a *fizika tanárképzés és a lézertechnikus szakirányú képzés* szakfelelősi feladatának ellátásában is.

Szakmai vezetéséhez egy egyetemi doktori, egy kandidátusi, valamint 7 PhD fokozat megszerzése kötődik. Szegeden, az általa létrehozott tudományos műhelyhez kötődően, egy munkatársa akadémiai doktori fokozatot szerzett.

Kezdeményezésére 1998-tól a KFT évente versenyt hirdet meg középiskolai tanulók részére, amely hozzájárulást jelent az egyetem beiskolázási tevékenységéhez.

### *Tudományos közéleti tevékenysége*

Aktív szerepet vállal a hazai és nemzetközi tudományos közéletben: tagja az European Physical Societynek, az Optical Society of Americának (OSA), az MTA Lézerfizikai Bizottságának, az MTA Fizika Doktori Bizottságnak, az SZTE Habilitációs Bizottság Fizikatudomány Szakbizottságának, az SZTE TTIK Tudományos Tanácsának, az MTA Bolyai Szakértői Kollégiumnak. 1996-tól az MTA köztestületi tagja. Tagja volt az SZTE Egyetemi és a TTIK Doktori Tanácsnak; ellátta az ELFT Atom-, Molekulafizikai és Kvantum-elektronikai Szakcsoportjának elnöki feladatait is. 2010-ben az MTA Fizikai Tudományok Osztályának köztestületi képviselőjének választották. Jelenleg másodízben látja el az SzTE TTIK Fizikus Tanszék csoport vezetői feladatot.

2002-ben a Kínai Atomenergiai Kutatóintézet tiszteletbeli professzorának, illetve az intézet tanácsadó testületének tagjává választottak.

2009-től a LASERLAB-EUROPE hálózatában Magyarországot, ill. a Szegedi Tudományegyetemet képviselő csoport vezetője (a General Assembly tagja, National Contact Point), továbbá a LASERLAB-EUROPE Access Boardjának tagja.

Eddigi eredményes kutató- és oktatómunkájáért, sokoldalú tudományos közéleti tevékenységéért számos kitüntetésben és elismerésben részesült. *Pl. Selényi Pál-díj, Gábor Dénes-díj, Szent-Györgyi Albert-díj, Széchenyi professzori ösztöndíj, Szentágothai János kutatói ösztöndíj.*

Végül kiemelendő, hogy *Szatmári Sándor* excimer lézerekre irányuló – kutatás-fejlesztési tevékenysége technikai hátterének biztosítása érdekében magas színvonalon működő elektromos és mechanikai műhelyt hozott létre, amely speciális kísérleti elemek mérőegységek tervezésén, elkészítésén,

javításán és karbantartásán keresztül kiváló technikai háttérrel biztosít egyéb kísérletes jellegű kutatásokhoz és az oktatáshoz is.

### *Fontosabb publikációi*

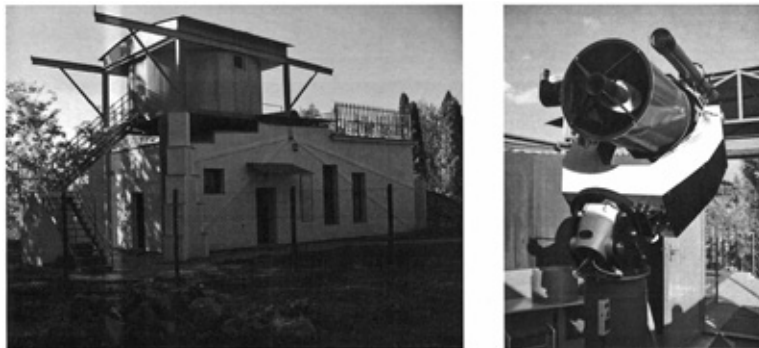
1. S. Szatmári, F.P. Schäfer, E. Müller-Horsche, W. Mückenheim: *Hybrid dye-excimer laser system for the generation of 80 fs, 900 GW pulses at 248 nm*, Opt. Commun. **63**, 305–309 (1987)
2. S. Szatmári, F.P. Schäfer: *Comparative study of the gain dynamics of XeCl and KrF with subpicosecond resolution*, J. Opt. Soc. Am. **B4**, 1943–1948 (1987)
3. S. Szatmári, F.P. Schäfer: *Simplified laser system for the generation of 60 fs pulses at 248 nm*, Opt. Commun. **68**, 196–202 (1988)
4. R. Fedosejevs, R. Ottmann, R. Sigel, G. Kühnle, S. Szatmári, F.P. Schäfer: *Absorption of femtosecond laser pulses in high-density plasma*, Phys. Rev. Lett. **64**, 1250–1253 (1990)
5. S. Szatmári: *High-brightness ultraviolet excimer lasers*, Appl. Phys B Feature Issue: Recent Advances in Ultrashort Optical Pulse Generation From Terahertz Frequencies to X-Rays **58**, 211–223 (1994)
6. S. Szatmári, G. Almási, M. Feuerhake, P. Simon: *Production of intensities of 1019 W/cm<sup>2</sup> by a table-top KrF laser*, Appl. Phys. **B63**, 463–466 (1996)
7. S. Szatmári, G. Marowsky, P. Simon: *Femtosecond Excimer Lasers and their Applications*, Landolt-Börnstein New Series VIII/1B1 215–253 (2007)

### **Szatmáry Károly, a szegedi csillagászati kutatások reprezentánsa**

Dr. Szatmáry Károly a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikus Tanszékcsoport Kísérleti Fizikai Tanszékének egyetemi docense 1956. december 21-én született Szegeden, ott járt általános- és középiskolába. Egyetemi tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetemen végezte csillagász és matematika–fizika tanár szakon, 1981-ben diplomázott, azóta a tanszék oktatója. 1982-ben 4 hónapos tanulmányúton volt az Odesszai Egyetem Csillagászati Observatóriumában. 1988-ban egyetemi doktori, 1995-ben kandidátusi fokozatot szerzett. 2002-ben habilitált. 2013-ban védte meg az MTA doktora értekezését.

2001 óta tanszékvezető-helyettes. A Fizikus Tanszékcsoport TDK felelőse, 2005–2011 között a TTIK Kari Tudományos Diákköri Tanácsának elnöke

volt. Az SZTE TTIK Kari Tanács, a Fizikus Tanszékcsoport Tanács és a Fizikus Doktori Tanács tagja. A Szegedi Csillagvizsgáló alapítója és vezetője, működésének szervezője, honlapjának szerkesztője (<http://astro.u-szeged.hu>). 14 tudományos diákköri dolgozat, 72 szakdolgozat és diplomamunka, valamint 4 PhD-értekezés (Kiss L. László, Szabó M. Gyula, Székely Péter, Simon Attila) témavezetője volt. Alapvető szerepe volt abban, hogy Szegeden beindult a csillagász szak. Előadásokat tart a csillagászat minden témakörében.



7. ábra. A Szegedi Csillagvizsgáló épülete és a 40 cm-es tükrös távcső.

Kutatási területe a pulzáló változócsillagok, különösen a mira és félszabályos vörös óriások, valamint a más csillagok körül keringő exobolygók és holdjaik. A fényességváltozás periodicitásának vizsgálatában a Fourier-analízis mellett idő-frekvencia módszereket alkalmaz és fejleszt. A Szegedi Csillagvizsgálóban korszerű fotometriai mérőrendszert hozott létre. Publikációinak száma 177, ebből angol nyelvű 79, orosz nyelvű 1, magyar tudományos 48, oktatási, ismeretterjesztő 49. Független hivatkozásainak száma: 660 +46 magyar, kumulatív impakt faktor: 91, h-index: 15.

6 OTKA valamint 39 más elnyert kutatási és oktatási pályázat témavezetője volt. Számos szakmai szervezetben vállal szerepet, tagja a Magyar Csillagászati Egyesületnek, az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, a Magyar Asztronautikai Társaságnak, az MTA Csillagászati és Űrfizikai Bizottságának és a Nemzetközi Csillagászati Uniónak. Kétszer volt tagja az OTKA Fizika Zsűrinek. Számos alkalommal kérték fel szakértőnek, bírálónak országos szervezeteknél, minősítési eljárásoknál.

Oktatási és kutatási eredményeiért 1986-ban Miniszteri Dicséretet, 1997-ben Iskolateremtő Mestertanár kitüntetést, Széchenyi Professzori Ösztöndíjat, 2001-ben Detre László-díjat, Széchenyi István-ösztöndíjat, 2006-ban Öveges József kutatói támogatást, 2011-ben OTDT Jubileumi emlékérmét kapott.

## Válogatott publikációi

- Szatmáry K., Vinkó J.: Periodicities of the light curve of the semiregular variable star Y Lyncis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 256, 321–328. (1992)
- Szatmáry K., Vinkó J., Gál J.: Applications of wavelet analysis in variable star research. I. Properties of the wavelet map of simulated variable star light curves, *Astronomy and Astrophysics Suppl. Ser.* 108, 377–394. (1994)
- Szatmáry K., Gál J., Kiss L.L.: 1996, Applications of wavelet analysis in variable star research. II. The semiregular star V Bootis, *Astronomy and Astrophysics* 308, 791–798. (1995)
- Kiss L.L., Szatmáry K., Cadmus R.R., Jr., Mattei J.A.: Multiperiodicity in semiregular variables. I. General properties, *Astronomy and Astrophysics* 346, 542–555. (1999)
- Szatmáry K., Kiss L.L., Bebesi Zs.: The He-shell flash in action: T Ursae Minoris revisited, *Astronomy and Astrophysics*, 398, 277–282. (2003)
- Simon A., Szatmáry K., Szabó Gy.M.: Determination of the size, mass, and density of “exomoons” from photometric transit timing variations, *Astronomy and Astrophysics*, 470, 727–731. (2007)
- Bányai E., Kiss L.L., Bedding T.R., Bellamy B., Benkő J.M., Bódi A., Callingham J.R., Compton D., Csányi I., Derekas A., Dorval J., Huber D., Shrier O., Simon A.E., Stello D., Szabó Gy.M., Szabó R., Szatmáry K.: Variability of M giant stars based on Kepler photometry: general characteristics, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.*, 436 (2), 1576–1587. (2013)
- Szatmáry K.: Idősorok analízise csillagászati alkalmazásokkal, in: PhD Doktori kurzusok fizikából (B rész), szerk. Hevesi Imre, JATE Press Kiadó (ISBN 978-963-315-163-1), Szeged, 133–213. o. (2014)

## A matematikai fizika szegedi kutatója, az Elméleti Fizikai Tanszék vezetője, Fehér László

1957. november 14-én született Békéscsabán. Általános iskolába Csanádapácán, gimnáziumba Orosházán járt, ahol 1976-ban érettségizett. Katonai szolgálat után 1977-ben beiratkozott a JATE biológus szakára, majd 1 év elvégzése után ugyanott fizikus szakra iratkozott át, és 1983-ban kitüntetéses fizikus oklevelet szerzett. „Z(N) szimmetrikus mértékelméletek fázisszerkezete” című diplomamunkáját az RMKI Elméleti Főosztályán Szlachányi Kornél irányí-

tásával készítette, és rokon témában OTDK-dolgozatot írt. Egyetemi tanulmányai alapján 1984-ben Felsőoktatási Tanulmányi Érdemérem kitüntetést kapott.

1983. szeptembertől 1988. márciusig az MTA TMB tudományos továbbképzési ösztöndíjasa volt a JATE Geometriai Tanszékén. Az ösztöndíj elnyerésének alapjául az szolgált, hogy fizikus hallgatóként matematikusok számára kötelező és speciális kurzusokat is sikeresen teljesített a Bolyai Intézetben. Nagy Péter segítő felügyelete mellett önállóan dolgozott „Differenciálgeometriai módszerek a matematikai fizikában” című témáján, és közben részt vett a tanszék oktatási munkájában. A TMB ösztöndíjat megszakítva 7 hónapig katona volt, az 1986-87-es tanévet pedig az Oxfordi Egyetem Matematikai Intézetében töltötte vendéghallgatóként a Soros Alapítvány ösztöndíjával.

1988 szeptemberében védte meg „Pontszerű részecskek mozgásegyenletei és dinamikai szimmetriái” című matematikai kandidátusi értekezését. Ebben a témában összesen 13 referált cikke született, részben három külföldi társszerzővel közösen. Az említett munkák fő eredményének bizonyos adott külső Yang–Mills–Higgs-mezőben mozgó tesztészecskek, geodetikus mozgások és monopólus kölcsönhatások klasszikus és kvantummechanikai vizsgálatában Kepler–Coulomb-típusú  $O(4)$ ,  $O(3,1)$ ,  $O(4,2)$  szimmetriák kimutatása és azok részletes analízise tekinthető. Ennek egy összefoglaló leírása található [1]-ben. Ekkoriban foglalkozott a kvantummechanikai Berry-fázis geometriai vonatkozásaival is, Benedict Mihállyal és Horváth Zalánal együttműködve.

1988. áprilistól 1995. decemberig alkalmazásban állt a JATE Geometriai, illetve 1994. júliustól az Elméleti Fizikai Tanszékén mint tanársegéd, adjunktus, majd docens. Ugyanakkor ezen időszak nagy részében különböző ösztöndíjak és meghívások alapján külföldön folytatott kutatómunkát. 1988 és 1991 októbere között 2 és fél évet Írországból dolgozott, a Dublin Institute for Advanced Studies posztdoktori ösztöndíjasaként. Ezután 1 évig posztdoktor a Montreáli Egyetem Magfizikai Laboratóriumában és Matematikai Intézetében, majd másfél évig Humboldt-ösztöndíjas Bonnban az egyetem fizikai intézetében. 1994 májusától fél évig vendégprofesszor az ENS-en Lyonban, ezután posztdoktor Swansea-ban, majd 1995 szeptemberétől 1 évig a Tokyo University vendégprofesszora volt. 1996 októberétől 1997 augusztusáig ismét Bonnban és Dublinban volt ösztöndíjas.

A fenti időszakban változó összetételű nemzetközi együttműködések keretében sikeres kutatásokat folytatott a kétdimenziós konform térelmélet szimmetria algebraival, valamint a részben ezekhez kapcsolódó egzaktul megoldható („integrálható”) redszerekkel (főként az ún. Wess–Zumino–Novikov–Witten- és Toda-modellek, KdV hierarchiák, általánosított

Drinfeld–Sokolov-rendszerek) foglalkozó témában [2–5]. Kutatásait összegezve 1993 telén elkészítette “Extended conformal algebras and integrable systems from a Hamiltonian reduction viewpoint” című doktori disszertációját, amelynek 1996 decemberi megvédése után 1997-ben elnyerte a „fizikai tudományok doktora” címet.

1997. szeptemberben 8 és fél éves külföldi kutatómunka után hazatért, és azóta tanít és kutat az SZTE Elméleti Fizikai Tanszéken. Az Elméleti Fizikai Tanszéken 1997 őszén habilitált, és 1998 júliusától lett egyetemi tanár. Ezt a tevékenységét 2003 szeptemberétől 2012 decemberéig egyéb jogviszonyban („félállásban”) végezte, főállásban pedig a KFKI RMKI (újabb nevén Wigner FK RMI) tudományos tanácsadója volt. Félévenként általában két kurzust oktatott, melyek között megtaláljuk a „Kvantumtérelmélet”, „Szimmetriák a fizikában”, valamint az „Analitikus mechanika” és a „Bevezetés az elméleti fizikába” (matematikusoknak) jellemzően MSc szintű tárgyakat, továbbá a „Válogatott fejezetek a matematikai fizikából” című speciális kollégiumot, és 5 matematikai fizika tárgyú doktori kurzust. 2013 januárjától kezdve az SZTE Elméleti Fizikai Tanszékének vezetője főállásban, de „negyedállásban” tovább dolgozik a Wigner FKI RMI-ben is.

Kutatásai az MTA doktori cím megszerzése óta is a matematikai fizika területéhez tartozó integrálható rendszerekkel, azok szimmetriastruktúráival, illetve konkrét integrálható modellek (minden numerikus vagy közelítő módszertől mentes) vizsgálatával foglalkoznak. Egzaktnak megoldható modellek fontos szerepet játszanak a fizika szinte minden ágában. A megoldhatóság hátterében általában valamilyen szimmetria áll, amely ezen problémák extrém matematikai szépségét is garantálja. Fehér László munkái gyakran a szimmetriastruktúrákat használják és elemzik. Cikkeinek jellemző vonása a Lie-elmélet és a szimplektikus geometria modern redukciós módszereinek alkalmazása, de alkalmanként pl. a funkcionálanalízis és a Riemann-geometria eszközei is bevetésre kerülnek. Munkája a matematika olyan friss területeit is érinti, mint a vertex operátor algebrák és a kvantumcsoportok elmélete, valamint utóbbiak kvázi-klasszikus analógjai: a Poisson–Lie-csoportok és a dinamikai Yang–Baxter-struktúrák [6–9].

Az utóbbi évek munkáinak legfontosabb témája az úgynevezett Calogero–Moser–Sutherland és Ruijsenaars–Schneider típusú egydimenziós sokrészecske rendszerek dualitásainak leírása. Ezek a modellek a fizika számos területén megjelennek és sok szálon kapcsolódnak a matematika érdekes fejezeteihez. Két integrálható sokrészecske-rendszer dualitása azt jelenti, hogy az egyik rendszer részecskekoordinátái a másik rendszer hatásváltozóit adják, és ez a reláció szimmetrikus a rendszerek felcserélésére nézve. A dualitási

relációt a 90-es évek közepén S. Ruijsenaars fedezte fel, nehéz és körülményes direkt módszerek alkalmazásával. Fehér László és munkatársainak cikkei a dualitási relációik egységes csoportelméleti értelmezését célozzák. A dualitásban álló rendszereket olyan magas dimenziós fázistereket redukálva kapják, melyek „szabad” Hamilton-függvények két családját hordozzák. Redukció után a szabad Hamilton-függvények adják a duális rendszerek hatásváltozóit és részecskekoordinátáit. Szerepük felcserélése mögött a redukált fázistér két ekvivalens leírása áll, melyek megfelelnek a duális rendszereknek. Ebben a képben magától értetődővé vált az az alapvető állítás, hogy a dualitást egy kanonikus transzformáció reprezentálja, és a Poisson–Lie-csoportok kvantálása révén adódó kvantumcsoportok trigonometrikus Ruijsenaars-rendszerekben játszott szerepe is természetes magyarázatot nyert [10, 11].

Az SZTE fizika doktori iskola törzstagjaként eddig három hallgatója szerzett PhD-fokozatot: Pusztai Béla Gábor (2003), Gábor András (2004) és Ayadi Viktor (2013). Az említett hallgatói és jelenlegi PhD-hallgatója (Görbe Tamás Ferenc) sikeres OTDK-dolgozatokat (2., 3. illetve különdíjak) is írtak. Eddig megjelent 72 referált cikkére és 21 konferencia közleményére az MTMT-ben jelenleg összesen 1735 független idézet található, ami viszonylag magas szám a matematikához közeli kutatási területén. Szakmai elismertséget jelez a „SIGMA” (Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications) és a „Journal of Nonlinear Mathematical Physics” nemzetközi folyóiratok szerkesztőbizottsági tagsága és az MTA XI. Osztályától 2009-ben elnyert „Fizikai Díj” is.

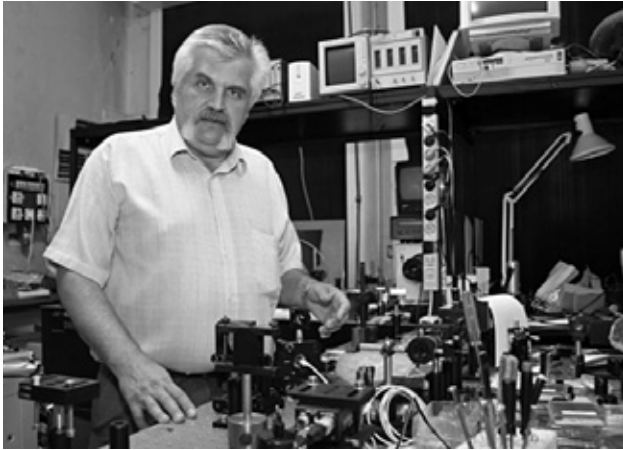
## Válogatott publikációi

1. B. Cordani, L. Fehér, P.A. Horváthy: *Kepler-type dynamical symmetries of long-range monopole interactions*, J. Math. Phys. 31, 202–211 (1990).
2. J. Balog, L. Fehér, L. O’Raifeartaigh, P. Forgács, A. Wipf: *Toda theory and W-algebra from a gauged WZNW point of view*, Ann. Phys. (N. Y.) 203, 76–136 (1990).
3. L. Fehér, L. O’Raifeartaigh, P. Ruelle, I. Tsutsui, A. Wipf: *On Hamiltonian reductions of the Wess-Zumino-Novikov-Witten theories*, Phys. Rep. 222, 1–64 (1992).
4. L. Fehér, J. Harnad, I. Marshall: *Generalized Drinfeld-Sokolov reductions and KdV type hierarchies*, Commun. Math. Phys. 154, 181–214 (1993).
5. F. Delduc, L. Fehér: *Regular conjugacy classes in the Weyl group and integrable hierarchies*, J. Phys. A: Math. Gen. 28, 5843–5882 (1995).



6. J. de Boer, L. Fehér: *Wakimoto realizations of current algebras: an explicit construction*, Commun. Math. Phys. 189, 759–793 (1997).
7. J. Balog, L. Fehér, L. Palla: *Chiral extensions of the WZNW phase space, Poisson-Lie symmetries and groupoids*, Nucl. Phys. B 568, 503–542 (2000).
8. L. Fehér, I. Tsutsui, T. Fülöp: *Inequivalent quantizations of the three-particle Calogero model constructed by separation of variables*, Nucl. Phys. B 715, 713–757 (2005).
9. L. Fehér, B.G. Puzsai: *Hamiltonian reductions of free particles under polar actions of compact Lie groups*, Theor. Math. Phys. 155, 646–658 (2008).
10. L. Fehér, C. Klimcik: *Poisson-Lie interpretation of trigonometric Ruijsenaars duality*, Commun. Math. Phys. 301, 55–104 (2011).
11. L. Fehér, T.J. Kluck: *New compact forms of the trigonometric Ruijsenaars-Schneider system*, Nucl. Phys. B 882, 97–127 (2014).

## Interjú Szabó Gábor akadémikussal



*Gyémánt Iván:* Szabó Gábor akadémikus, a Szegedi Tudományegyetem rektora, a TTIK Fizikus Tanszékcsoportban az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék professzora, a Magyar Innovációs Szövetség elnöke, volt kutatás-fejlesztési helyettes államtitkár. 2010-ben, rektori köszöntőjében megfogalmazta, hogy milyennek látja, milyennek szeretné látni a szegedi egyetemet.

*Szabó Gábor:* A Szegedi Tudományegyetem dinamikus és a változásokhoz alkalmazkodó szereplője a magyar felsőoktatásnak. Egy óriási intézmény

rugalmissága olyan erény, amely mögött jól felépített rendszerek biztosítják a stabilitást és a folytonosságot. Az egyetem hosszú távú stratégiája, az oktatás-kutatás-innováció között létrehozott kapcsolat, a különböző képzési területek összehangoltsága együtt a kihívásoknak megfelelni képes egyetemi világot alkotnak. Az oktatók odaadó munkájának és a hallgatók tehetségének köszönhetően a Szegedi Tudományegyetem nagy presztízsű, elismert intézmény. Amikor a jót jobbra kívánjuk tenni, a még ki nem használt lehetőségeket kell megtalálni. Az integrált egyetem sokoldalúsága és átjárhatósága nagyszerű adottság. Az integrált, szinte minden képzési területet magáénak mondó Szegedi Tudományegyetem Magyarország egyik vezető kutatóegyeteme, ahol a karok közti együttműködésnek köszönhetően a különböző tudományterületek hatékonyan egészíthetik ki egymást. Ez az egyetemi belső munkamegosztás a jövő felsőoktatásában a siker kulcsa, mely korszerű, a változásokat követni képes oktatást, a kutatásban és az innovációban vezető szerepet ígér. Nemcsak remélem, hanem hiszem is, hogy a Szegedi Tudományegyetem jó hírét sokoldalúságában rejlő lehetőségei és ezen lehetőségek kihasználása messzire viszi hazánkban és az országhatáron túl.

*Gy. I.:* Amikor 2010 márciusában önnek ítelték a Szegedért Alapítvány Tudományos Kuratóriumának díját, az ELI uniós kutatóközpont szegedi megépítésének jelentőségéről nyilatkozott.

*Sz.G.:* Az ELI legalább egy évtizedig meghatározó lesz a világ lézerkutatásában. A magyar lézerfizikusok munkájának köszönhető siker hatalmas lehetőséget nyit meg a Szegedi Tudományegyetem előtt is. A központ üzemeltetése 150-200 jól képzett szakembert igényel, és ugyanennyi kutató végzi majd itt munkáját. A gazdasági haszon mellett óriási tudományos presztízst jelentene a szuperlézer, amely képes lenne extrém nagy teljesítményű attoszekundumos impulzusokat is előállítani. Lehetővé válna igen rövid időtartamú – pl. molekuláris biológiai folyamatok – nyomon követése, de profitálhatna belőle többek között az anyagtudomány és a felülettudomány is. Fontos, hogy elinduljanak a témához kapcsolódó idegen nyelvű képzések. Valószínűleg nagy számban jelennek meg Szegeden a fizika e területével foglalkozó külföldi diákok. Nem nagyon kell majd annál jobb ajánlólevél a világ bármely kutatóintézetébe, minthogy valaki itt készítette a doktoriját.

*Gy. I.* 2010. november 24-én tartotta akadémiai székfoglaló előadását, amelyet a levezető elnök rendkívülinek nevezett, mert nem elsősorban alapkutatási, hanem alkalmazott kutatási eredményeit foglalta össze. Az akadémia hírlevelében a következő méltatással tudósítottak a rendes taggá választásról: Szabó Gábor fizikus, a Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének egyetemi tanára. Az 56 éves kutató szűkebb

szakterülete az optika, a kvantumelektronika, a spektroszkópia és az orvosi fizika. Az MTA-nak 2004 óta levelező tagja. Az utóbbi években kutatásainak középpontjában a fotoakusztikus spektroszkópia környezetvédelmi és ipari alkalmazásai állnak. Ennek keretében munkatársaival kifejlesztett egy felső légköri mérésekre alkalmas vízgőzmérőt, szub-ppb érzékenységű ammónia-mérőt, földgáziparban alkalmazható kénhidrogénmérőt, illetve a levegőben lebegő korom spektroszkópiái azonosítására alkalmas műszert.

Sz. G.: A hetvenes évek közepétől a nyolcvanas évek elejéig-közepéig tizenegynéhány lézerrendszert adtunk el Magyarországon. Itt szoktam meg, hogy a vevő mindig kifizeti a termék árát. Abban az időben mindig azt mondogattuk egymásnak, ha valaki nem kellően gondos munkát végzett, hogy „Képzeld el, hogy ezért a lézerért annyit fizetett valaki, hogy abból a pénzből tizenkét Ladát ide lehetne állítani az épület elé!” A fiataloknak ez valószínűleg nem sokat mond, de a 70-es évek végén a Lada volt a luxus alapegysége. Tehát a lézernek működni kell, nincs olyan, hogy nem működik, nem teljesíti a paramétereit. Ott szoktam hozzá ahhoz, hogy az életnek ezt az oldalát is látni kell, és ez még mindig fontos hajtóerő számomra. Meglepő módon nagyon sok közös van az alapkutatásban és alkalmazott kutatás, illetve ipari tevékenység között: a kettő nagyon mély kapcsolata abban áll, hogy van egy alapvető kihívás, és van egy probléma, amit meg kell oldani. Az igazi különbség csupán annyi, hogy az egyik esetben én vetek föl egy problémát, mert a tudomány logikájából kiindulva úgy gondolom, hogy ez érdekes kérdés lehet. Eddig bizonyos dolgokat már megválasztak vele kapcsolatban a kollégáim, de erre a részletére még senki sem tudja a választ. Az utóbbi esetében valaki más veti fel a problémát, amit meg kell oldani. A lényeg az, hogy a problémát mindkét esetben meg kell oldani, és a problémamegoldás, az alapkutatás és az alkalmazott kutatás logikája, eszközei, módszerei nagyon hasonlítanak egymásra.

Gy. I.: 1954-ben Nagykanizsán született egy sokgyermekes családban. Köztudott, hogy testvérei is pályájuk sikeres képviselői. Édesapja szegedi kötődése is szerepet játszott abban, hogy a fizikus szakot a szegedi József Attila Tudományegyetemen végezte el. 1978-ban a Kísérleti Fizikai Tanszék oktatója lett, 1981–1989 között mintegy öt évet a göttingeni Max Planck Intézetben, majd 1990–1996 között három évet a houstoni Rice Egyetemen dolgozott vendégkutatóként, ill. vendégprofesszorként, közben számos akadémiai, alapítványi és állami kitüntetést kapott. Itthon közben zajlott a felsőoktatás permanens reformja, amelyben ön is aktívan részt vett. Emlékszem, hogy 1996-ban Rácz Béla professzorral közösen kitalálták és kidolgozták a Tanulmányi és Informatikai Központ koncepcióját, tárgyaltak a Világbank, majd a magyar kormány képviselőivel.

Sz. G.: A külföldön tapasztaltak és az itthoni változások alapján látható volt, hogy a felsőoktatás nálunk is tömegesedni fog. Hogy a bekövetkező minőségi csökkenés mellett megmaradjon egy magas minőségű képzés is, a szegedi egyetemet több szempontból versenyképessé kell tenni: ide kell vonzani tehetséges diákokat, pl. jó infrastruktúrával, valamint magas színvonalú, a világban versenyképes képzést kell nyújtani. Éppen ezért ugyanilyen fontosnak tekintetem a fizika doktori képzés megszervezését is, amelynek keretében 1993 óta legalább százan szereztek PhD-fokozatot. Közülük sokan a világ különböző egyetemein, kutatóintézeteiben dolgoznak, többen vezető tisztségekben.

Gy. I.: Szeged város 2009-ben Pro Urbe kitüntetéssel ismerte el tevékenységét.

Sz. G.: A képzés színvonalának magasán tartása mellett a környezettel: a várossal és a gazdaság szereplőivel is élő, hasznosítható kapcsolatot kell kiépíteni, hiszen mérésekkel igazolt tény, hogy a szegedi régió tudáspotenciáljának gazdasági hatása nem arányos annak tudományos méreteivel. Úgy is mondhatjuk, hogy a szegedi tudományos potenciál adása környezetének. Ahhoz azonban, hogy adósságát törleszteni tudja, feltétlen segítséget kell kapnia környezetétől.

## Interjú Bor Zsolt akadémikussal



*Gyémánt Iván:* Amikor 2004-ben Bor Zsoltnak ítelték a Bolyai-díjat, Roska Tamás állította össze a Díjbizottság méltatását. Ez így kezdődik: Bor Zsolt 1949-ben született. Nagyon korán jelét adta kivételes képességeinek:

középiskolás korában már korosztálya kiemelkedő tehetségének számított. Kapott-e családi támogatást és útmutatást tehetsége kibontakoztatásához?

*Bor Zsolt:* A tehetségek nehezen ismerhetők fel és könnyen összetéveszthetők a hiperaktív rosszcsontokkal. Csak a legkiválóbb tanárok képesek arra, hogy különbséget tegyenek köztük. Ők a tehetséggondozás fizetetlen köz-katonái, a szellemi kincskereső tanárok. Én ismertem egy ilyen kincskereső tanárt Szegeden. Legendás hírű középiskolai fizika szakkörei ontották a felfedezett tehetségeket. Tanítványai közül többen fizikai diákolimpiát nyertek, ma pedig a magyar és külföldi egyetemek fizikaprofesszorai és a Magyar Tudományos Akadémia tagjai. Ő édesapám volt, Bor Pál, a Szegedi Tanárképző Főiskola Fizika Tanszékén főiskolai tanár, fizikatanárok nemzedékei tanulták tőle a szakmát, és ismerkedtek meg látás- és gondolkodásmódjával. Magával ragadó, hiteles személyiség volt, igazi szellemi kincskereső tanár. Bolyai-díjamat az ő emlékének ajánlottam.

*Gy. I.:* 1977-ben Göttingenben új módszert talált fel rendkívül rövid (piko- és femtoszekundumos) lézerimpulzusok generálására. El tudná magyarázni felfedezésének fő elemeit?

*B. Zs.:* A rövid lézerimpulzusokat ún. elosztott visszacsatolású festéklézerekkel sikerült előállítani. Ezeknek a lézereknek az aktív, a fényt erősítő anyaga a spektrum látható tartományában erősen abszorbeáló anyag, vagyis festék, amelyben a visszacsatolás a közegben folyamatosan fellép, és nincsen valahol lokalizálva, mondjuk, mint egy tükör segítségével. A lézer működését modellező differenciálegyenleteket a göttingeni laboratóriumban számítógéppel elemezve azt tapasztaltam, hogy a megoldások épp úgy viselkednek, ahogyan azt előre megsejtettem.

*Gy. I.:* Ennek a sikernek köszönhető, hogy a göttingeni Max Planck Institut für biophysikalische Chemie Lézerfizikai Részlegében létrehozott állandó laborban szegedi munkatársaival, Rácz Béla, Szabó Gábor és Szatmári Sándor professzorokkal, akkor még tudományos segédmunkatársakkal, alapvető sikereket ért el az ultragyors lézerfizika területén.

*B. Zs.:* A femtoszekundumos lézerimpulzusok jelentősége az, hogy segítségükkel még az olyan gyors folyamatok is fényképezhetővé és folyamatukban követhetővé válnak, amelyek az egymilliomod másodperc egymilliomod részénél is gyorsabban játszódnak le.

*Gy. I.:* 1989-ben, 40 éves korában a szegedi egyetemre visszatérve kinevezték az újonnan alapított Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vezető professzorának.

*B. Zs.:* A tanszék fő kutatási profilja a modern optika új ága, a femtoszekundumos optika megalapozása lett, amely az extrém rövid lézerimpulzusok

tér- és időbeli viselkedését írja le. Munkatársaim, Szabó Gábor, Horváth Zoltán és Osvay Károly kimutatták, hogy a rövid lézerpulzusok korlátozott térbeli tartományban fénysebességet meghaladó sebességgel képesek terjedni. Emellett számos univerzális érvényű fénytani alapösszefüggést ismertek fel.

*Gy. I.:* 1995-től közel tíz évet töltött az Egyesült Államok különböző kutatóintézeteiben. A houstoni Rice Egyetemen kidolgozott egy új módszert az ún. nemdiffraktáló nyalábok előállítására.

*B. Zs.:* Ezek a nyalábok úgy terjednek a térben, mintha nem engedelmesséknének az optika alaptörvényeinek. Szabó Gáborral, Horváth Zoltánnal és Erdélyi Miklóssal közösen kitaláltunk egy optikai trükköt, amellyel sikerült az optikai feloldóképességet úgy megnövelni, hogy eközben egy másik optikai értékmérő paraméter, a mélységélesség is javult. A nemdiffraktáló nyalábok felhasználásával megnövelhető a litográfiai eljárások feloldóképessége. A fotolitográfia a számítógépcsipek előállításának technológiája, az elektronikai ipar legbonyolultabb és egyben legfontosabb eljárása.

*Gy. I.:* 1990-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező, 1994-ben rendes tagjává választotta, 1993 óta az Academia Europaea (London) tagja, Széchenyi-díjas, 1998-ban megkapta Szeged város Pro Urbe díját és még számos egyéb díj és kitüntetés birtokosa. Mit üzen a szegedi fizikai kutatásokat bemutató kötet olvasói számára?

*B. Zs.:* A jövőben a tudományos kutatás és fejlesztés lesz a legfőbb értékteremtő és legfontosabb fegyver az egyes országok és régiók közötti harcban. A történelemben arra még nem volt példa, hogy egy ország az oktatási és kutatási kiadások miatt ment volna tönkre. Az ellenkezőjére viszont igen. Aki a tudománnyal foglalkozik, azért teszi, mert érdekesnek találja, mert kíváncsi, mert örömet szerez neki, ha rájön valamire, amit addig nem tudott. A tudomány mégsem a tudósok magánügye, hanem a jólét forrása. Az igazán ugrás-szerű fejlődést minősze egy-két kiemelkedő képességű egyén intellektuális teljesítménye szokta létrehozni. A tudós nemcsak önmagáé, hanem népéé is.

## *Földrajz- és földtudomány*

A Szegedi Tudományegyetem *Földrajzi és Földtani Tanszékcsoportján* folyó földrajz- és földtudományi képzés és kutatás története átíveli az első világháború befejezése óta eltelt kilenc évtizedet. A kezdetben még egy intézet keretei között folyó munka az idő múlásával egyre kiterjedtebb, differenciáltabb lett, és az egymás után létrejövő tanszékek folyamatosan bővülő oktatási-kutatási profillal szereztek hírnevet és helyet maguknak a magyar földrajz- és földtudomány múltjában, jelenében és jövőjében.

Az 1986-ban – mai szerkezeti formájában – megalakult, Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport öt tanszéknek az egységes konglomerátuma. A tanszékcsoport erőssége oktatási (földrajz, földtudományi, környezettan, környezetmérnök alapképzés, valamint geográfus, földtudomány, környezettudomány mesterképzés) tevékenysége mellett a tudományos (szerves és környezeti geokémiai, repedezett fluidum rezervoár, hidrogeológia és geotermia, kőzettani és vulkanológiai, régészeti geológiai és negyedidőszaki, geomatematikai, városklimatológia, légszennyezettség, településföldrajzi, turizmusföldrajzi és területfejlesztési, táj- és környezetkutató, alkalmazott geomorfológiai, geoinformatikai, környezet-földtudományi tudományos műhely) sokszínűségében rejlik.

Mint látható a tanszékcsoport tudományos teljesítménye a földtudományok széles körét fedi le. Az egyes tanszékek kutatási stratégiája, akárcsak az oktatás esetében, nem választható szét a tanszékcsoporti kutatási elképzelésektől. A kutatási irányok tanszékcsoporti koordinálása, a közös működtetésű, nagyobb hatékonyságú laboratóriumok kialakítása, esetleg új kutatóközpontok létrehozása növeli mind a tanszékek, mind a tanszékcsoport pályázati lehetőségeit. Az alap és alkalmazott kutatások mellett a tanszékcsoport széles teret enged a tudományos szolgáltatásoknak is.

A Földrajzi és Földtani Tanszékcsoporti egységek elavult laboratóriumi berendezéseinek és kellékeinek folyamatos és intenzív cseréje 2006-ban indult el. A laboratóriumok struktúrája a tanszékek jelenlegi kutatási igényeit szolgálja ki. Minden labor és a hozzá tartozó kiszolgáló helyiségek a modern követelményeknek megfelelő infrastruktúrával került kiépítésre. A 2006–2010-ben elvégzett beruházások során az egyes tanszékeken különálló laboratóriumi blokkok jöttek létre, amelyekben helyett kapott egy geokémiai, egy analitikai, egy szedimentológiai, egy bioarcheológiai, egy előkészítő, szerves-geokémiai, egy röntgen-fluoreszcens és egy Raman-spektrometriai, egy röntgen-diffraktometriai, egy hidrológiai,

egy dendrológiai, egy pollenanalitikai, egy geoinformatikai, egy OSL, egy talaj- és vízvizsgáló, egy kőzet-előkészítő laboratórium, mérlegszoba, valamint egy minta- és vegyszerraktár. Az egyes laboratóriumok kiépítése és felszerelése természetesen az adott kutatócsoport, tanszék munkájának köszönhető, a tanszék-csoport az infrastruktúra kialakításában, egy-egy műszer beszerzésében, vagy a pályázati önerő biztosításában vállalt nagyobb szerepet. A tanszékek elavult analitikai műszereinek cseréje folyamatos, minden, a tanszékek kutatási profiljához szükséges és a tanszék-csoport humánerő-kapacitásához rendelhető, modern analitikai nagyműszer beszerzése, cseréje megtörtént, illetve folyamatban van.

A Földrajzi és Földtani Tanszék-csoport a közelmúltban végrehajtott beruházásoknak köszönhetően a 21. század igényeinek megfelelő oktatási és kutatási infrastruktúrát alakított ki. Az új laboratóriumok, a teljesen felszerelt, multimédiás tantermek, a komoly számítógépparkkal rendelkező hallgatói kabinetek az országban egyedülálló módon biztosítják a legmagasabb színvonalú oktató- és kutatómunkát. A tanszék-csoport három szakmai folyóirattal (*Acta Climatologica et Chorologica*, *Journal of Environmental Geography*, *Central European Geology* – *Acta Mineralogica Petrographica*) és két tudományos könyvsorozatával (Földrajzi tanulmányok, *GeoLitera*) széleskörű nemzetközi fórumot biztosít az egyes tanszékeken, a különböző hazai és nemzetközi szakmai műhelyekben, valamint a doktori iskolákban született tudományos eredmények publikálására is.

A tanszék-csoport kutatási aktivitását a földrajztudomány és a földtudomány köré csoportosuló intézetek és tanszékek történetén és jelenén keresztül mutatjuk be.

## Földrajztudomány

*Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék*  
*Gazdaság- és Társadalomföldrajz Tanszék*  
*Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék*

1952-ben kettévált a Földrajzi Intézet: Prinz Gyula vezetésével megalakult az I. számú Földrajzi Intézet, Wagner Richárd pedig a II. számú Földrajzi Intézet vezetője lett. A Wagner Richárd vezette II. számú Földrajzi Intézetben (1954-től Éghajlattani Tanszéken) elindultak a légkörtani kutatások, így az 5. szinten elkészülhetett az egyetemi meteorológiai állomás is.

1964-ben Jakucs László vezetésével megalakult a Természeti Földrajzi, Krajkó Gyula irányításával pedig a Gazdasági Földrajzi Tanszék. Jelentős változás állt be a kutatómunkában. A Természeti Földrajzi Tanszéken elsősorban



a karsztos területek morfogenetikájával és a Délkelet-Alföld természetföldrajzi kérdéseivel foglalkoztak. A Gazdasági Földrajzi Tanszéken körzetkutatás, közlekedésföldrajz, illetve a mezőgazdasági termőfeltételek, valamint a falvak átalakulásának kérdései álltak a vizsgálódások középpontjában. A 70-es években a Dél-Alföld mikro- és mezokörzeteinek kutatása folyt, illetve elkészült a régió megyéinek gazdaságföldrajzi leírása.

Az 1983/84-es tanévtől az Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, valamint a Földtani és Őslénytani Tanszék megalakította a Földtani Tanszékcsoporthoz, a Természeti Földrajzi Tanszék, a Gazdasági Földrajzi Tanszék és az Éghajlattani Tanszék pedig a Földrajzi Tanszékcsoporthoz. Az 1986/87-es tanévtől, a két tanszékcsoporthoz összevonásával megalakult az egységes Földrajzi és Földtani Tanszékcsoporthoz, amelynek első vezetője Grasselly Gyula egyetemi tanár volt.

A *Természeti Földrajzi Tanszéken* Jakucs László nyugdíjazását követően – az 1994-ben egyetemi tanárrá kinevezett – Mezősi Gábor lett a tanszék vezetője. 2003-tól a tanszék új elnevezése *Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék*.

A tanszéken a szakmai tevékenység két, együttműködő csoport köré szerveződik. Az egyik kutatási profilt az (alkalmazott) geoinformatika, a másikat pedig az (alkalmazott) geoökológia–geomorfológia jelenti. Az elsónél a jellemző projektek a térinformatikával és távérzékeléssel kapcsolatosak (pl. multi- és hiperspektrális RS adatok értékelése, LIDAR adatok alapján domborzatmodell készítése), a másikonál pl. a belvizek kialakulásának kutatása, a klímaváltozás hatása a tájra, a fitoremediáció talajtani adottságainak elemzése vagy a felszíni formák kormeghatározása lehet jellemző. A kutatási projektek fejlesztésével két fontos törekvés emelhető ki: egyrészt az alap kutatások szerepének növelése, másrészt a hazai és nemzetközi tudományos együttműködések erősítése (pl. Debrecen, OMSZ, Karlsruhe, Dortmund, Durham, Novi Sad egyetemeinek kutatóival).

A projektek lehetőséget biztosítanak a kutatási célú laborok eszközállományának fejlesztésére is. E körbe tartozik többek között az akkreditált Talaj- és Vízvizsgáló Laboratórium műszerparkjának továbbfejlesztése feltárási készülékkel, az OSL laborot további új alapgéppel, a Fotogrammetriai Laborot termokamerával, a környezeti laborot georadarral. A megnövekedett kutatási humán erőforrás-igény költségét nagyobb részt a projektekből fedezik. A tanszék bevételeinek mintegy felét kutatási projektek elnyert támogatásai képezik, mintegy 20%-át a tudományos szolgáltatás, egyharmadát pedig az oktatási célú állami támogatás adja.

A *Gazdasági Földrajzi Tanszéken* Krajkó Gyula professzor nyugdíjazását követően Mészáros Rezső lett a tanszék vezetője, majd 2000–2003 között Becsei

József professzor vette át a Gazdasági Földrajzi Tanszék, új nevén *Gazdaság- és Társadalomföldrajz Tanszék* vezetését. 2003–2007 között ismét Mészáros Rezső a tanszék vezetője, majd 2007-től Kovács Zoltán professzor irányítja a *Gazdaság- és Társadalomföldrajz Tanszék*et.

A tanszék a Szegedi Tudományegyetem egyetlen olyan egysége, melynek fő profilja a társadalomföldrajz, emellett azonban regionalitással és területfejlesztéssel kapcsolatos oktató és kutató tevékenységet is folytat. A tanszék ezzel összeköttetést teremt a természettudományi és társadalomtudományi képzési, ill. kutatási területek között.

A társadalomföldrajz sokrétűségéből adódóan oktatóinak kutatási témái szerteágazóak. Az utóbbi évtizedben a tanszék tradicionális kutatási témái mellett (pl. gazdasági körzetek, vidéki terek, agrárgazdaság, stb.) számos új irány is megjelent. Igen fontos közülük – a teljesség igénye nélkül – az urbanizáció térfolyamatainak vizsgálata, a határ menti térségek kutatása, az etnikai földrajzi vizsgálatok (elsősorban a roma kisebbségre vonatkozóan), az egészségföldrajzi kutatások, a „kibertér” földrajzi aspektusainak vizsgálata, a depriváció térbelisége, valamint a földrajz egyes aktuális elméleti kérdéseinek, megközelítéseinek gyakorlati alkalmazhatósága (pl. gravitációs és potenciálmódellek, behaviorista geográfia, kritikai földrajz), illetve a turizmushoz kapcsolódó kutatások. A tanszék hallgatói rendszeresen sikerrel szerepelnek az Országos Tudományos Diákköri Konferenciákon, 21 európai egyetemen vehetnek részt részképzésben és választhatnak az évente megszervezett 6-8 hazai és külföldi terepgyakorlat és tanulmányút közül.

A tanszék jelenleg részt vesz a Metropolisation and Polycentric Development in Central Europe (POLYCE) című ESPON kutatásban, amely öt közép-európai ország kutatócsoportjainak részvételével a policentrikus városfejlődés lehetőségeit vizsgálja a térségben, valamint az INTERREG program keretében a RE-TURN nemzetközi projektben, ami a magasan képzett szakemberek visszavándorlásának lehetőségeit kutatja a posztszocialista országokban.

1986 nyarától – 1995-ös nyugdíjazásáig – Koppány György volt az *Éghajlattani Tanszék* vezetője. Az ő vezetése során új kutatási irányokként jelentkeztek a történeti klimatológia, a sztratoszférikus ózon tanulmányozása, valamint az aszályelőjelzési vizsgálatok, és elkezdődtek az átfogó városklimatológiai kutatások.

1995–2006 között Kevei Ferencné Bárány Ilona volt az *Éghajlattani*, majd új nevén az *Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék* vezetője. Vezetésével bővült a tanszék kutatási területe a tájföldrajzi vizsgálatokkal. 2007-től Unger János vette át a Tanszék irányítását.

A városklímakutatás a mesterséges városi környezet klímamódosító hatásait, ezen belül elsősorban a hőmérsékleti többletet és annak kialakító tényezőit vizsgálja. Humán komfort szempontú elemzéseket végeznek különböző városi mikrokörnyezetekben, mind mérések, mind modellezések segítségével. A jövőben ezeket a termikus komfortviszonyokra irányuló elemzéseket kiterjesztik: bővített műszerparkra alapozva párhuzamos méréseket és humán monitoringot végeznek a város számos rekreációra, kikapcsolódásra alkalmas területén, valamint szimulálják a komfortviszonyokat a különböző klímaváltozási scenáriók szerint.

A légszennyezőanyag-koncentrációk meteorológiai aspektusai keretében azonosítják a helyi PM10 koncentrációkat módosító hosszú távú transzportrendszereket különböző európai városokra, a HYSPLIT modell alkalmazásával; a jövőben új eljárásokat dolgoznak ki a parlagfűpollen jellemzőinek előrejelzésére; továbbá elemzik a légúti megbetegedések kapcsolatát a meteorológiai elemekkel, valamint a kémiai és biológiai légszennyező anyagokkal.

A tájökölógiai kutatások a karsztökölógiai indíttatású témákhoz kapcsolódnak. Közöttük a karsztos erdőgazdálkodás dinamikai folyamatainak, a karsztos tavak eutrofizációs folyamatainak és az ökoszisztéma-szolgáltatások értékelésének modellezése jelenti a fő irányokat. A jövőben a fő feladat az adatok további gyűjtése, illetve a folyamatok monitorozása karsztos mintaterületeken. A közeljövőben megkezdik egy adatbázis kiépítését is a karsztos folyamatok hosszabbtávú feltárása érdekében. Az ökoszisztéma-szolgáltatások kutatása a jövőben alföldi mintaterületekre is ki fog terjedni.

## Földtudomány

### *Ásványtani, Geokémiai és Közöttani Tanszék*

Az Ásványtani, Geokémiai és Közöttani Tanszék története az egyeteméhez hasonlóan 1921-ben kezdődött. A kezdetekben Ásvány- és Földtani Intézet és Gyűjteménytár nevet viselő egység szervezési feladataival Gaál Istvánt és Szentpétery Zsigmondot bízták meg. Az oktató- és kutatómunkát az 1921/22-es tanévben Gaál István vezetésével Szegeden kezdte meg az intézet. Gaál Istvánt 1924-ben Szentpétery Zsigmond követte az igazgatói tisztség betöltésében. Igazgatása alatt már lehetőség nyílt mind az oktatói, mind a kutatói munka magas szintű művelésére, az intézet tárgyi fejlesztésére, valamint a korábban igen szegényesnek mondható ásvány-közöttani gyűjtemény körültekintő megszervezésére. Szentpétery alatt alapították meg az egyetem folyóiratának *Acta Chemica*,

*Mineralogica et Physica* című sorozatát, mely lehetőséget biztosított a tanszéken folytatott munkák tudományos fórumon való megjelentetésére.

Az egyetem és a tanszék életében új időszámítás kezdődött az 1940-es esztendővel. Az intézet élére ekkor nevezték ki Koch Sándort, aki először az oktatás zavartalan folytatását tűzte ki célul, majd az intézeti ásványgyűjtemény korszerűsítésének nagyarányú fejlesztésének látott neki. Ennek során a mai napig is egyedülálló ásványgyűjteményt hozott létre. A kutatómunka is lassan megindult, ennek eredményeit az újjáalakult egyetemi folyóirat, az *Acta Universitas Szegediensis* egyik sorozatában, az *Acta Mineralogica Petrographica*-ban jelentették meg.

A tanszék életében a következő jelentős évszám 1968 volt. Ekkor nevezték ki tanszékvezetővé Grasselly Gyulát, aki még az 1941/42-es tanévben került az intézethez megbízott díjas gyakornokként. Az intézet nemcsak új vezetőt, hanem új nevet is kapott, s 1967-től *Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék*nek nevezik. A geokémiai jelző nem véletlenül ekkor került a tanszék nevébe, hiszen Grasselly ekkorra már jelentős eredményeket tudhatott a geokémia területén. Később vezetésével az intézet világszerte elismert, vezető szerepre tett szert a mangánkutatás, valamint bizonyos szerves geokémiai kutatások terén. A munka sikerét több tudományos szervezet létrehozása, számos alapvető szakkönyv megírása, az *Acta Mineralogica Petrographica* szaklap hazai és nemzetközi elismertsége és Grasselly Nemzetközi Geológiai Unióban (IUGS) betöltött alelnöki tisztsége fémjelzett.

Grasselly Gyulát 1986-os nyugdíjba vonulását követően Szederkényi Tibor követte a tanszékvezetői tisztség betöltésében, aki 1977-től fogva dolgozott a tanszéken. Vezetése alatt a kutatási tevékenységek közé bekerült a metamorf kőzettan, a paleozoós képződmények geológiája és a környezetföldtan. Vezetése alatt kezdődött az Alföld aljzatát reprezentáló, jelenleg közel 5000 darabos fúrómaggyűjtemény szisztematikus összeállítása. 2000-től 2009-ig a tanszéket Hetényi Magdolna vezette, aki már 1967 óta oktat és kutat a tanszéken és szervesgeokémiai kutatásai kapcsán jelentős nemzetközi elismerésnek örvend. 2009-ben Pál-Molnár Elemér rövid ideig megbízott tanszékvezetőtől M. Tóth Tivadar vette át a vezetést, akinek fő kutatási területe a metamorf kőzettan és a repedezett fluidum tárolók komplex elemzése, matematikai modellezése.

Jelenleg az Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszéken folyó alap és alkalmazott kutatások négy kutatócsoportban zajlanak. A *Szerves és Környezeti Geokémia Kutatócsoport*ban (vezetője Pál-Molnár Elemér) több mint 30 éve folyik a fosszilis energiahordozók képződésének elméleti és módszertani kutatása. A geológiai szerves anyag képződésének, biogeokémiai transzformációjának, a kőolaj- és földgázképződési folyamatok mechanizmusának,

kinetikájának vizsgálata, a részfolyamatok laboratóriumi modellezése mellett az utóbbi évtizedben fontos kutatási terület a talajban és a recens üledékekben raktározódott szerves anyag makro- és molekuláris szintű elemzése is. Az Alföld metamorf aljzatának kőzettani felépítésével, fejlődésével kapcsolatos hagyományos tanszéki kutatások az elmúlt évtizedekben kiegészültek további repedezett kőzettestek vizsgálatával, s ezzel párhuzamosan az alkalmazott módszerek köre is bővült. A *Repedezett Fluidum Rezervoár Kutatócsoport* (vezetője M. Tóth Tivadar) feladata a különböző fluidum tároló képződmények komplex kőzettani, szerkezetföldtani matematikai és paleohidrogeológiai elemzése. A kutatócsoport folyamatosan részt vesz magmás, metamorf és karbonátos kőzetekből álló aljzati szénhidrogén-tárolók értelmezésében, a radioaktív hulladéklerakó kutatásában, valamint a nagyentalpiájú geotermikus rezervoárok vizsgálatában. A *Hidrogeológia és Geotermia Kutatócsoport* (vezetője Szanyi János) tevékenysége felöleli az üledékes medencék hidrogeológiai, hidrodinamikai vizsgálatát, az alföldi felszín alatti vizek eredetének, kémiai evolúciójának komplex elemzését, a kitermelhető vízkészletek meghatározását, a vízáadó képződmények szennyeződés-érzékenységének, a szennyező anyagok migrációjának vizsgálatát. A kutatócsoport aktívan részt vesz az Alföld geotermikus potenciáljának kutatásában, szerepet vállal a geotermikus energia felhasználás elterjesztésében, a szerteágazó geotermikus kutatási tevékenységek koordinálásában, a víz-visszasajtolás metodikájának és a kútvizsgálatok szabványosításának kidolgozásában. A „*Vulcano*” *Kutatócsoport* (vezetője Pál-Molnár Elemér) munkája elsősorban magmás kőzetek petrográfiai, petrológiai célú alapkutatását célozza. Kiemelkedő kutatási témák a Ditrói Alkáli Masszívum komplex értelmezése, valamint az alföldi és az erdélyi granitoid kőzettestek korrelációjának vizsgálata.

A tanszékcsoport szerteágazó kutatási aktivitását az egyik legkarakteresebb kutatási aktivitással rendelkező tanszék, a Földtani és Őslénytani Tanszéken keresztül mutatjuk be részletesebben.

## *Földtani és Őslénytani Tanszék*

### **A kolozsvári előzmények (tanszéki archaikum)**

A Szegedi Tudományegyetem, így vele együtt a földtan- és őslénytanoktatás eredete 1581-re vezethető vissza, amikor *Báthory István* erdélyi fejedelem academiá-t alapított a jezsuiták kolozsvári kollégiumán belül. Bár a jezsuita rendet feloszlatták, de a kolozsvári piarista rendiek folytatták az universitas jellegű képzést a XVIII. században még akkor is, amikor II. József líceummá fokozta le 1784-ben a kolozsvári egyetemet. Ebben az időben, 1786-ban jelentette meg a magyar földtani oktatás egyik első magyar nyelvű, a *Magyar mineralógia, az az a kövek és értzek tudománya* című könyvét Kolozsváron *Benkő Ferenc*, a későbbi nagyenyedi tanár. Ebben a könyvben történt az első tudományos említése a tanszékünk XX. századi vizsgálati nyomán védetté tett kiskunsági réti mészkőnek és építésköként való felhasználásának. A kolozsvári tudományegyetem gondolata 1848-ban az Erdély és Magyarország közötti unió május 30-i kimondása után vetődött fel, de csak a kiegyezést követően 1872-ben valósulhatott meg. Itt a kolozsvári *Ferenc József* egyetemen rakták le a szegedi földtani és őslénytani képzés és kutatás alapjait, amelynek első képviselője, a kolozsvári egyetemen 25 éven át oktató *Koch Antal* professzor volt, és akit *Szádeczky-Kardoss Gyula* követett a professzori székben. *Szádeczky-Kardoss Gyula* Trianont követően is Erdélyben maradt, igaz nem oktatóként, hanem a Román Földtani Intézet főgeológusaként folytathatta életművét, Erdély geológiai feltárását.

### **A szegedi kezdetek (tanszéki óidő)**

A szegedi egyetemi földtani képzés 1921-ben kezdődött el, mikor trianoni országvesztést követően a kolozsvári egyetemről Magyarországra átmene-  
kült tanárok segítségével a magyar kormány a Szegedre áttelepített *Ferenc József Tudományegyetem* keretein belül létrehozta a Földtani Intézetet, *Szentpétery Zsigmond* professzor által vezetett Ásvány- és Földtani Tanszék-  
ket. Bár a Földtani és Őslénytani Tanszék közvetlen jogelődjét csak 1941-ben alapították meg hivatalosan, de az 1921-ben megalakult Ásvány- és Földtani

Tanszéken belül megjelentek azok a tanár- és kutatóegyeniségek, akiknek munkája, kutatásai révén a később kialakított Földtani és Őslénytani Tanszék irányvonalát és küldetését, valamint oktatási szerkezetét már ekkor hordozták.

Ilyen alapító és meghatározó egyéniségnek tekinthető *Sümeghi József* földrajz–természetrész szakos tanár, geológus, aki tanársegédként dolgozott Szegeden 1921–1926 között, valamint *Miháltz István* földrajz–természetrész szakos tanár, geológus, aki gyakornokként kezdte 1922-ben, majd az egyetemi ranglétra minden lépcsőfokát végigjárva a Földtani és Őslénytani Tanszék kutatási és oktatási irányvonalának meghatározó professzora lett a második világháború után. Mindketten a Pannon-medence, valamint a Magyar Alföld geológiai megismerésének úttörői voltak, bár eltérő irányból és módszerekkel, eltérő életúton járva, de mindketten ennek a célnak szentelték életpályájukat az 1920-as évektől kezdődően.

A Földtani és Őslénytani Tanszék konkrét kialakítása 1941-ben történt, amikor az eredeti egyetem – a második bécsi döntés lehetőségeivel élve – visszaköltözött Kolozsvárra, és a Szegeden 1921-ben kialakított eredeti Ásvány- és Földtani Tanszékből két egységet, a *Koch Sándor* professzor vezette Ásvány- és Kőzettani Tanszéket, valamint *Ferenczi István* professzor vezette Földtani Tanszéket alakították ki. Ez utóbbi tanszéket nevezték át *Balogh Kálmán* professzor javaslatára Földtani és Őslénytani Tanszéknek 1972-ben. Így a tanszék a jogelőd intézmény révén 93 éves, de konkrét kialakítása 73 éve történt.

A Földtani (és Őslénytani) Tanszék sohasem volt egy jelentős létszámú intézmény, így a tanszékvezető egyénisége, kutatási területe alapvetően meghatározó volt a tanszék egészének munkájára nézve. Így a tanszéket alapító professzor, a Kolozsváron 1914-ben doktori fokozatot szerzett, majd a Magyar Királyi Földtani Intézetben és a debreceni Tisza István Tudományegyetemen dolgozó *Ferenczi István* professzor tanszékvezetése idején az erdélyi, kárpátaljai, kárpáti területek földtani térképezése, valamint a vízföldtani térképezés jelentette a fő kutatási irányt. A II. világháborút követően 1946 és 1950 között *Horusitzky Ferenc* természetrész – vegytan szakos tanár, geológus professzor vezetésével a hidrogeológia, rétegtan, elsősorban miocén rétegtani, közte őslénytani kérdések kerültek előtérbe.

1950 végétől alakult ki a Földtani (és Őslénytani) Tanszék hosszú távú kutatási és oktatási szerkezete, a harmadidőszak végi és negyedidőszaki képződmények kialakulásával, térbeli és időbeli kifejlődésével, alkalmazott földtani megközelítésével foglalkozó, üledékföldtanra, őslénytannra, geomatematikára alapozódó tudományos műhelymunka, amely mind a mai napig meghatározó

jellegű. Ekkor fejlődött ki a tanszékünk modern, európai szinten is kiemelkedő laza üledékek széles körű és összehasonlító jellegű földtani és őslénytani anyagvizsgálatára alapozódott medenceelemzési iránya, amely területen mindmáig kiemelkedő kutatási és oktatás eredményeket érnek el a tanszék munkatársai.

Kialakításában alapvető szerepet játszott Miháltz István professzor, aki 1950 és 1964 között volt tanszékvezető. Ezzel párhuzamosan alakult át a tanszék oktatási szerepe is, mert a budapesti központosítás következtében a szegedi geológusképzés lezárult 1949-ben, és csak 1951-ben járultak hozzá, hogy földrajz–földtan tanárképzés induljon. Ez utóbbi lehetőség kialakításában kiemelkedő szerepet játszott a korábban Szegeden tanító és az Alföld térképezését vezető Sümeghy József, a Magyar Állami Földtani Intézetének főgeológusa, mert felkérése nyomán a Földtani Tanszék is létrehozhatott egy Miháltz István vezette földtani térképező csoportot, amelyben olyan egyéniségek dolgoztak, mint Dobos Irma, Kriván Pál, Moldvay Lóránt, Ungár Tibor, Urbancsek János. Kiemelkedő eredményeik nyomán a minisztérium előbb engedélyezte, majd 1955-ben (Sümeghy József halála után) azonnali hatállyal megszüntette a földtan–földrajz szakos tanárképzést és csak 1959-től engedélyezték elsősorban biológia, földrajz szakos hallgatónak, hogy speciális szakosodás során elvégezzék a földtan szakot. Ez az oktatási helyzet csak 2005-ban oldódott meg, mikor Mezősi Gábor a Természeti Földrajzi Tanszék vezető professzorának, a Természettudományi Kar akkori dékánjának hatékony közreműködése mellett a földtudományi BSc, majd MSc szak szegedi alapítását engedélyezték.

A szegedi Földtani és Őslénytani Tanszék alapító egyénisége, Miháltz István professzor az erdélyi Árpástó községben született 1897. május 9-én. Az elemi iskoláit Magyarvalkón végezte. Gimnáziumi tanulmányait Marosvásárhelyen kezdte el és Szentesen fejezte be. Egyetemi tanulmányait Debrecenben kezdte el majd Kolozsváron folytatta, és trianoni békediktátumokat követően Budapesten és Szegeden fejezte be 1921-ben, ahol természetrajz–földrajz szakos tanári diplomát szerzett. 1922-től a szegedi egyetemen a Földtani Intézetben lett gyakornok, 1924-től tanársegéd, 1939-től adjunktus, 1947-től intézeti tanár, 1952-től tanszékvezető egyetemi docens, majd 1956-tól tanszékvezető egyetemi tanár volt. 1926-ban doktorált földtan, ásványtan–közettan és természeti földrajz tárgyakból summa cum laude fokozattal Szentpétery Zsigmond intézetvezető professzornál. 1933-ban Berlinben volt ösztöndíjas. 1946-ban „Az Alföld geológiája” tárgykörből szerzett egyetemi magántanári címet. 1952-ben munkái és publikációi nyomán a földtudományok kandidátusa címet nyerte el. Legfontosabb kutatási



eredményei közé tartozik a kiskunsági futóhomok területek átfogó ásványtani vizsgálata, az édesvízi karbonátos képződmények első felismerése és leírása 1938-ban, a Duna–Tisza-csatorna nyomvonalának földtani feltárása 1942–1943-ban, a Tisza-öki Duzzasztómú helyének földtani tervezése 1948-ban. Ugyancsak munkásságához kötődik az Alföld, pontosabban a Duna – Tisza közének földtani újratérképezése 1950–1953 között, valamint a tervezett szegedi vízlépcső hidrogeológiai feltárása 1952-ben. Miháltz professzor úr vezetésével indul meg az alföldi régészeti lelőhelyek, valamint a kiskunsági eolikus és az infúziós löszök földtani vizsgálata 1935-ben, a karbonátos tavak elemzése 1944-ben. Miháltz István professzor igen jelentős alapkutatásokat végzett szedimentológia területén és igyekezett geomatematikai módszerek bevezetésével mérhető eredményeket felmutatni a laza üledékes kutatások területén. Ezen a területen kiemelkedő nemzetközi kapcsolatokkal is rendelkezett, és ennek nyomán tett az akkori időkben igencsak egyedülálló látogatást Szegeden a nemzetközi laza üledéktan egyik kiemelkedő egyénisége, a francia szedimentológus, *André Cailleux*. Kutatási eredményei mellett kiemelkedő jelentőségű tudománypolitikai, tudományszervező tevékenységet végzett, a malakológus *Horváth Andor*, a botanikus *Greguss Pál*, a palinológus *Kedves Miklós* professzorokkal, és feleségével, a pollenfeldolgozásokat végző *Faragó Máriával* dolgozott együtt a Kárpát-medencei negyedidőszaki képződmények minél teljesebb megismerésén. A kiemelkedő kutatási eredmények mellett Miháltz professzor igen jelentős oktatási tevékenységet folytatott, a szegedi földtani iskola második és harmadik generációjának kialakításában alapvető szerepet játszott. Olyan neves hallgatóknak és tanítványoknak tartott órát, mint *Árokszállás Zoltán*, *Faragó Mária*, *Dávid Péter*, *Dank Viktor*, *Dobos Irma*, *Kriván Pál*, *Moldvay Lóránt*, *Molnár Béla*, *Mucsi Mihály*, *Révész István*, *Szabó Pál*, *Szónoky Miklós*, *Ungár Tibor*, *Urbancsek János*, akik a XX. század második felében negyedidőszaki és harmadidőszak végi üledékes képződmények feldolgozásában Magyarországon alapvető szerepet játszottak. Kiemelkedő jelentőségű, hogy feleségével *Faragó Máriával* és tanítványaival megkezdett komplex, tömeges és statisztikai alapú nehézasványtani, szedimentológiai, malakológiai és pollenanalitikai vizsgálatok halálát követően töretlenül folytatódtak a tanszékünkön, és Miháltz professzor által elért földtani eredmények közül több halála után jelent meg feleségének és tanítványainak munkájában.

Miháltz István 1964-ben bekövetkezett váratlan halála nyomán *Jakucs László* professzor a Természeti Földrajzi Tanszék vezetője ideiglenesen megbízott tanszékvezető lett a Földtani Tanszéken, egészen 1966-ig, *Balogh Kálmán* professzor tanszékvezetői kinevezéséig.

## A tanszéki középítő

Balogh Kálmán vezetésével az észak-magyarországi képződmények kutatása került a tanszéki kutatások előterébe, de ezzel párhuzamosan megkezdődtek a dél-alföldi szénhidrogén feltárásával kapcsolatos ipari megbízások, valamint folytatódtak az alföldi képződmények feltárásai is, elsősorban Molnár Béla és Szónoky Miklós munkái nyomán. Ekkor került sor a tanszéki szedimentológiai gyűjtemény kialakítására, amely az egyetlen ilyen jellegű és védett magyarországi gyűjtemény. Sőt nemzetközi téren is rendkívül ritka az ilyen üledéktípusokat, üledékszerkezeteket, üledékes környezeteket testközelből bemutató kontakt, az oktatásban az oktatók és a hallgatók, érdeklődő középiskolások, általános iskolások, tanárok által nap mint nap használt élő gyűjtemény. Az 1970-es években kialakított gyűjteménybővítést napjainkban is folytatjuk, több százezer negyedidőszaki Mollusca héjanyaggal bővítettük az őslénytári részt, és Kárpát-medencei, alföldi földtani, őslénytani, régészeti geológiai lelőhelyekről készített digitális vagy digitalizált fotógyűjtemény kialakításába kezdtünk az elmúlt 15 évben. Balogh Kálmán nyugdíjba vonulását követően 1977-től Molnár Béla professzor vezette a tanszéket, és az alföldi negyedidőszaki geológiai képződmények vizsgálata vált újra a tanszéki műhelymunka központi elemévé. Több kiemelkedő jelentőségű tankönyv készült ebben az időszakban, és a tanszéki gyűjtemény őslénytani anyaga jelentősen kibővült. Az alföldi tavi, folyóvízi és eolikus geológiai képződmények kiemelkedő vizsgálata, valamint a természetvédelmi területek részletes földtani feldolgozása kezdődött el ebben a periódusban.

*Molnár Béla* professzor emeritus 1934-ben született Kiskunfélegyházán. Általános iskolai és gimnáziumi tanulmányait szülővárosában végezte el, és 1952-ben iratkozott be a szegedi egyetemre, így több mint 60 éve egyetemünk polgára. Ugyanis 1957-ben Miháltz professzor visszahívta a tanszékünkre a későbbi tanszékvezető professzort, előbb gyakornok, majd tanársegédi munkakörben alkalmazta. Molnár professzor 1961-ben védte meg summa cum laude fokozattal a „*Duna–Tisza közti eolikus üledékek felszíni és felszín alatti kiterjedése*” című egyetemi doktori értekezését, 1964-ben nevezték ki egyetemi adjunktusnak, majd 1974-ben védte meg a „*Nagyalföld negyedkori üledékkomplexumának genetikája*” című kandidátusi dolgozatát, és ezután nyerte el az egyetemi docensi kinevezését. 1977-ben Balogh Kálmán nyugdíjba menete után lett tanszékvezető, majd 1984-ben „*A Duna–Tisza közti tavak keletkezése, fejlődéstörténete és hasznosítása*” című akadémiai doktori értekezésének védését követően lett tanszékvezető egyetemi tanár. 2004-ben, hetvenévesen ment nyugdíjba, és ekkor kapta meg a professzor emeritus címet, amelyet most ebben az évben is

meghosszabbítottunk. Molnár professzor vezetésével folytatódtak az Alföld földtani és őslénytani feltárását célzó kutatások, a folyóvízi képződmények nehézasvány-elemzései, különböző löszös képződmények elemzései, a tőzeges tavak és az édesvízi karbonátok elemzései. Kiváló munkatársakat épített be a tanszékünkre, és kiemelkedő tanítványai voltak, mint *Iványosi-Szabó András*, akivel ragyogó elemzéseket végzett az édesvízi karbonátokon, és aki a Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóságán betöltött vezető szerepénél fogva döntő szerepet játszott az első alföldi védett földtani feltárás, a csölyospálosi édesvízi mészkő védelmében. Hasonlóan fontos és tanszéki kutatások szempontjából kiemelkedő jelentőségű tanítvány-mester kapcsolatot alakított ki *Kuti Lászlóval*, a MÁFI osztályvezető főgeológusával, *Krolopp Endrével*, a MÁFI tudományos főmunkatársával, tanszékünk egykori címzetes egyetemi tanárával, *Tóth Ágnes* természetvédővel, *Fényes József* egyetemi adjunktussal, *Hum László* egyetemi adjunktussal, *Szónoky Miklós* egyetemi docenssel, *Jenei Máriával*, a Környezetvédelmi Felügyelőség munkatársával. Igen kiemelkedő szakdolgozati és tudományos diákköri témavezetői feladatokat látott el oktatóként. Több, később igen jelentős nemzetközi és hazai karriert befutott földtudományi szakember témavezetője volt. Köztük a tanszékünk jelenlegi szedimentológiai és geomatematikai irányvonalát vezető szakemberének, dr. *Geiger János* tanszékvezető-helyettes egyetemi docens diplomadolgozati és egyetemi doktori témavezetője volt. Oktatóként kimagasló színvonalú egyetemi tankönyveket, közte az országos szinten is kiemelkedő jelentőségű, nívódíjas *Föld és élet fejlődése* tankönyvet és a *Szedimentológiai, Természetvédelem földtani alapjai* egyetemi jegyzeteket készítette el.

Kutatóként is kiválólt alkotott, a folyóvízi és az eolikus homokrétegek nehézasványtani vizsgálatától, a különböző löszfajták komplex szedimentológiai és őslénytani elemzésén keresztül egészen a karbonátos és tőzeges tavak genetikájáig a legszélesebb értelemben üledékes rendszerekkel foglalkozott és ezekben a témakörökben több mint 130 hazai és nemzetközi publikációt jelentetett meg. Kiemelkedő jelentőségű tanszékünk jelenlegi kutatásainak szempontjából, hogy nemzetközileg is jelentős szinten publikálták az édesvízi dolomitképződéssel kapcsolatos munkáik eredményeit, amelynek genetikai eredetét a tanszéki kollektívának sikerült feltárni.

Talán a csölyospálosi édesvízi mészkőfeltárás feldolgozása mutatja meg legjobban, hogy a tanszék különböző generációi és a különböző generációk által elvégzett feldolgozások között milyen folyamatos, szoros és szerves kapcsolat alakult ki az elmúlt évtizedekben. Az édesvízi mészkőképződményt az 1930-as években Miháltz István és felesége, Faragó Mária ismerte fel, majd az 1940-es években publikálták az édesvízi mészköveken végzett vizsgálataik kutatási eredményeit. Munkájukat tanítványaik, Mucsi Mihály, Molnár Béla

folytatták a tanszékünkön, majd Molnár professzor kutatócsoportja, benne Szónoky Miklóssal, Fényes Józseffel, Kovács Sándorral, Iványosi-Szabó Andrással, Kuti Lászlóval, Tóth Ágnessel közösen tisztázták az édesvízi karbonát, köztük dolomitok képződési körülményeit. A 1990-es években megindítottuk az édesvízi karbonátok, köztük a csólyospálosi mészkőfeltárás radiokarbon elemzését és izotópgeokémiai vizsgálatát, amelyet mind a mai napig folytatunk Molnár professzor úrral és tanítványaival, munkatársaival, köztük Jenei Máriával párhuzamos kutatásban. Hasonló, az 1930-as évekig Miháltz professzor és felesége Faragó Mária munkájáig visszanyúló folyamatos kutatásokat végzünk a Duna–Tisza (eredeti népi nevén Két folyó) közi löszös képződményeken, futóhomok rétegeken, tőzegek és karbonátos tavakon.

Molnár professzor 70 évesen bekövetkezett nyugdíjazását követően, professzor emeritusként is folytatja munkáját, mind a mai napig PhD szakmai vizsgákon, PhD-védéseken aktív szerepet tölt be, és megjelenés alatt áll a munkásságát átfogó, a Kiskunsági Nemzeti Park fejlődését bemutató monografikus könyve is.

## A tanszéki újkor

Molnár professzor nyugdíjazását követően a debreceni egyetemen végzett *Sümegei Pál*, ennek az összefoglalásnak a szerzője került a tanszék élére, ahol *Geiger János* MOL Nyrt-nél dolgozó geológus tanszéki munkába történő bekapcsolásával a szénhidrogének, fluidumok kutatásához kapcsolódó szedimentológiai, geomatematikai elemzések a negyedidőszaki és régészeti geológiai kutatásokkal párhuzamosan előtérbe kerültek. Az elmúlt 15 év során a tanszék fennállása óta megjelent publikációkat meghaladó mennyiségű angol nyelvű tanulmányköteteket, monografikus munkákat, nemzetközi és hazai cikkeket, egyetemi tankönyveket jelentettünk meg a tanszékünkön.

Új oktatói szerkezetet, a földtudományi képzésben részt vevő társtanszékkel együtt földtudományi BSc, földtudományi MSc, régész MA szakokat alakítottunk ki, köztük új szakot, posztgraduális MSc *geoarcheológiai* képzést alapítottunk, és az MTA kutatóintézményeivel összefogva közös szaklaboratóriumokat hoztunk létre a tanszéken.

Tanszékcsoporthi és saját bevételből felújítottuk a teljes tanszéket, emellett üledékföldtani laboratóriumot alakítottunk ki, modern izzítókemencével, új AAS műszerrel, modern lézerszedigráffal, valamint egy Bartington típusú mágneses szuszceptibilitás mérővel. Mérőszobát, feltáró laboratóriumot, mikroszkóp szobát, PhD-szobát, a régészeti és őslénytani vizsgálatoknál használatos iszapoló berendezéseket alakítottunk ki, új kutató és oktató

mikroszkópokat szereztünk be, még a több évtizede tönkrement, tanszéken kallódó kutatómikroszkópok is felújításra kerültek, és ez utóbbiak digitális feltétellel kibővítve ismét megfelelnek korunk kutatási követelményeinek.

Megkezdtük egy modern üledékcsiszolatot kialakító, feldolgozó és értelmező laboratórium kialakítását is. A tanszék teljes számítógépparkját kétszer is felújítottuk az elmúlt évtizedben, és a modern oktatásban alapvető számítógépes oktatótermet alakítottunk ki Geiger János tanár úr vezetésével a Mihály István professzorról elnevezett tanszéki tanteremben.

## Tanszéki legújabb kor – napjaink kihívásai nyomán fejlődő irányai

Két, a tanszék kialakulásától jelenlévő kutatási és oktatási irány fejlődött márkáns tudományos iskolává az elmúlt évtizedekben. Ezekben a tudományos iskolákban 15 PhD-hallgató végzett az elmúlt 15 év során. A Geiger János vezette MOL Nyrt. és az INA, valamint a pécsi GEOCHEM Laboratórium által is támogatott geomatematikai – szénhidrogének, fluidumok – kutatáshoz kapcsolódó szedimentológiai, geomatematikai elemzések, valamint a Bodai Aleurolit Formáció minősítését célzó középtávú program jelentik a XXI. század legmodernebb földtudományi irányzatát tanszékünkön. Ez a terület igen sok szállal kapcsolódik a szegedi Földtudományi Tanszékcsoporton kialakított geoinformatikai–geomatematikai irányokhoz, oktatókhoz és kutatókhoz és az egész tanszékcsoportot, szegedi földtudományt átfogó, nemzetközi szinten is kiemelkedő jelentőségű irányzathoz. Ezen iskola vezetője Geiger János négy angol és magyar nyelvű egyetemi jegyzetet, 2 egyetemi tankönyvet készített geomatematikai és geostatistikai témakörökben az elmúlt évek során. 2008-tól kezdődően az impakttal rendelkező *Geologica Croatia* szerkesztőségi bizottságának és az International Association of Matematical Geoscience (IAMG) szervezet tagja, 1985-től a *Magyarhoni Földtani Társulat Geomatematikai Szakosztályának* titkára, majd 2000-től elnöke. 2001-től a *Journal of Hungarian Geomathematics* interneten megjelenő lap főszerkesztője, 2003-tól az egyetemünkön működő *Alkalmazott Geomatematikai Kutatócsoport* elnöke. Az egyetemi elitképzésben és a nemzetközi–hazai tudományos kapcsolatok kiépítése szempontjából kiemelkedő jelentőségű, hogy Geiger János és a Magyarhoni Földtani Társulat közös szervezése mellett valósult meg kiváló kutatók részvételével és remek hangulatban 17 magyar és 6 nemzetközi horvát–magyar geomatematikai kongresszus.

A tanszék másik kiemelkedő jelentőségű, több mint kilenc évtizedes múltra visszatekintő oktatási és kutatási iskolája a negyedidőszaki képződmények

– környezetföldtani-természetvédelmi területek, valamint régészeti lelőhelyek–földtani és őslénytani elemzéséhez kapcsolódik. Ezen a területen a tudományos és oktatási projektek támogatásával igen széleskörű (angliai, német, lengyel, észt, kínai, horvát, szerb, amerikai, új-zélandi, ausztrál) nemzetközi kutatási kapcsolatrendszert építettünk ki. Jelenleg a löszképződmények negyedidőszaki paleoklimatológiai és biogeográfiai elemzése révén horvátországi, szerbiai, új-zélandi, romániai lelőhelyeket dolgozunk fel, és évente ezen a területen 2 kiemelkedően hivatkozott nemzetközi cikket jelentetünk meg. A negyedidőszaki eolikus képződmények elemzése mellett a Kárpát-medencei üledékgyűjtő rendszerek, tavak – lápok – mocsarak elemzése emelkedik ki. Ehhez a területhez kapcsolódóan komplex őslénytani, környezettörténeti elemzéseket végzünk, és az itt elért eredményeink révén az európai erdő- és sztyeppterületek refúgiumainak térképezésében, modellezésében kiemelkedő szerephez jutottunk. Ez utóbbi feladathoz kapcsolódnak a legfontosabb természetvédelmi célú földtani és őslénytani vizsgálataink, amely nyomán a Magyar Nagyalföldön egyedülálló módon geológiai védett területeket alakítottak ki Csólyospáloson, édesvízi mészkőképződményen, Szeged–Öthalomban, Madarason, Katymáron löszös rétegeken védett területeket alakítottak ki a Kiskun-sági Nemzeti Park munkatársai. Hasonlóan fontosak ennek a tudományos iskolának a Hortobágyon elért kutatási eredményei, amely nyomán egyértelműen bizonyítani lehetett a jégkorban elkezdődött, emberi hatásoktól mentes szikesedést, és annak fajkészletét is rekonstruálni lehetett. Eredményeink nyomán a világörökséggé nyilvánított Hortobágyi Nemzeti Park besorolását és támogatási kategóriáját is megváltoztatták. Ezen eredményeink mellett a legkiemelkedőbb kutatási és oktatási eredményeinket a régészeti geológia, geoarcheológia, környezettörténet területén érte el a tanszék. 5 angol nyelvű és 3 magyar nyelvű könyvet, 2 egyetemi tankönyvet jelentettünk meg ezen a területen, és németországi, romániai, ausztriai, horvátországi, szlovéniai lelőhelyeken végeztünk vizsgálatokat. Régészeknek kialakított Geoarcheológiai szakirányunkat 12 régész végezte el eddig, doktori irányzatunkban pedig 4 régész és 6 földtudományi szakember végzett eddig. Valamennyien a szakmában helyezkedtek el a PhD-fokozat megszerzését követően.

## *Képfeldolgozás és mesterséges intelligencia*

### **Képfeldolgozás**

A számítógépes képfeldolgozás alapvető feladata képi jellegű (leggyakrabban 2 vagy 3 dimenziós) adatok feldolgozása, elemzése. Egyebek mellett feladatai közé tartozik a képszegmentálás (a képen ábrázolt objektumok régióinak elkülönítése, körülhatárolása), a képregisztráció (a térben és/vagy időben elkülönülten felvett képek közötti térbeli/geometriai megfeleltetés), a képeken ábrázolt objektumok tulajdonságainak meghatározása, az objektumok és/vagy az ábrázolt színtér jellemzése. Képfeldolgozással ma már gyakorlatilag az élet szinte minden területén találkozhatunk az orvosi diagnosztikai rendszerektől az ipari gyártási és minőségbiztosítási folyamatokon át a biztonságtechnikai rendszerekig, az autonóm robotoktól a kamerákkal felvértezett okostelefonokig.

A képfeldolgozás szegedi története majdnem fél évszázados múltra tekint vissza, és egy orvosi diagnosztikai rendszer alapjainak lefektetésével indult.

### *A SEGAMS nukleáris medicinai rendszer*

1969-ben Csernay László kérésére Kalmár László professzor Csirik Jánost ajánlotta segítségül radioaktív izotóp segítségével nyert képek számítógépes feldolgozásához. A feldolgozás kezdetben nagyon nehézkes volt: a szkener által nyomtatott beütésszámokat először lyukszalagra kellett lyukasztani, a lyukszalag tartalmát mágnesszalagra írni, majd az így összegyűjtött anyagot a MINSZK-22 számítógépen lehetett feldolgozni. Az így nyert képeket a sornymaton kinyomtatva lehetett láthatóvá tenni.

1974-ben a Gamma Művek hozzákezdett egy orvosi diagnosztikai célú számítógépes gammakamera-rendszer hardverének kidolgozásához, a szoftver tervezésével és kivitelezésével a SzOTE Központi Izotópdiaosztikai Laboratóriumában alakult munkacsoportot bízta meg Csernay vezetésével, aki a Kibernetikai Laboratóriumban frissen megalakult Képfeldolgozási kutatócsoport bevonásával vállalta a feladatot. Még nem volt kész a TPAi számítógépen működő rendszer (SEGAMS) első változata, amikor a Nemzet-

közi Atomenergia Ügynökség által meghirdetett versenyen Los Angelesben a SEGAMS-szal világvizonylatban harmadik helyezést értünk el.

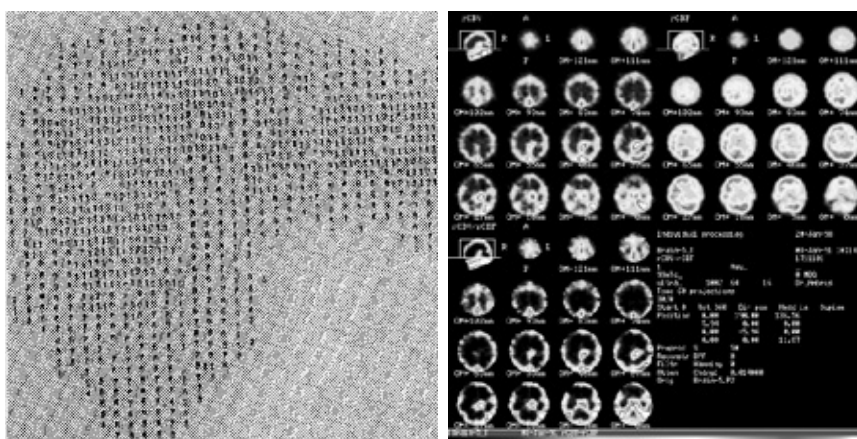
A Segams-80 volt az első olyan nukleáris medicinai rendszer a világon, amely lehetőséget adott arra, hogy a felhasználó anyanyelvén „társaloghasson” a rendszerrel. Csak a rendszer szövegbökönyvtárának lefordítása volt szükséges egy újabb nyelvi változat elkészítéséhez. A standardizált rutinvizsgálatok előre definiált felvételi módként beépíthetők a rendszerbe, így elvégzésük rövidített beszélgetéssel kezdeményezhető. A vizsgálatok kiértékeléséhez „orvos barát” komplex programozási lehetőséget is biztosítottunk.

A TPAi alapú rendszerünk legfejlettebb változata a SUPER-SEGAMS már FORTRAN programozási lehetőséget is biztosított, lehetővé téve a rendszer valamennyi funkciójának egyszerű aktiválását. A SUPER-SEGAMS segítségével az EKG-val vezérelt szívvizsgálatok is elvégezhetőek voltak, és alkalmas környezetet biztosított az emmissziós tomográfias rendszer kísérleti megvalósítására is (Csernay és mtsai., 1982).

1987-ben kezdtük meg az Amiga alapú microSEGAMS fejlesztését. A rendszer biztosította a nukleáris medicinai vizsgálatok – többek között tomográfias vizsgálatok – elvégzését és komplett klinikai programokkal való kiértékelését. A SEGAMS változataiból több mint 300 darabot értékesített a GAMMA Művek a különböző országokban.

A munka vezetője, koordinátora prof. Csernay László (SzOTE Központi Izotópdiaosztikai Laboratórium).

A hardver a Gamma Művek Nukleáris Osztályán készült, vezető tervező: dr. Billing Ádám és dr. Kári Béla.



1. ábra: Bal oldalon egy MINSZK-22-n, jobb oldalon egy microSEGAMS-szal végzett feldolgozás eredménye látható.



A szoftvert a JATE Kibernetikai Laboratórium Képfeldolgozási munkacsoport készítette, vezető programfejlesztők: dr. Csirik János, dr. Makay Árpád†, dr. Máté Eörs, dr. Kuba Attila†.

A rendszer 1977-ben és 1983-ban BNV nagydíjat nyert, 1981-ben az MTA Akadémiai Díjban részesült prof. Csernay László, dr. Csirik János, dr. Makay Árpád† és dr. Máté Eörs.

A rendszer fejlesztése alapján 1 MTA doktori, 5 kandidátusi és 1 egyetemi doktori értekezés született. A rendszer használatához ezres nagyságrendű tudományos publikáció köthető.

## A SZOTE-PACS

A FEFA III. és IV. (1994–1995) pályázatok elnyerésével közös fejlesztés indult Csernay László professzor vezetésével a SzOTE Központi Izotópdiaosztikai Laboratórium, az Orvosi informatikai intézet, a Radiológiai Klinika és a Kuba Attila igazgatásával, önálló egységként működő JATE Alkalmazott Informatikai Tanszék munkatársainak közreműködésével. A digitális képalkotó technikák térhódításával szükségessé vált ugyanis egy olyan rendszer kifejlesztése, amely a különféle képalkotó berendezések által előállított vizsgálati képanyagot egységes formában tárolja és lehetővé teszi alkalmazásukat oktatási, kutatási és diagnosztikai célokra. A kifejlesztett SZOTE-PACS (Kuba és mtsai., 1996) volt az ország egyik első képparchiváló és továbbító rendszere, amely a nagy tárolókapacitású központi kiszolgálót, valamint megjelenítő munkaállomásokat kötött össze szabványos adatformátumok és kommunikációs protokollok alkalmazásával az egyetemi számítógép-hálózaton keresztül. A szerveren Oracle adatbázis segítette az archívumban történő gyors keresést, a tárolási fájlformátum és az eszközök kommunikációjának alapját pedig az akkor még csak születő DICOM nemzetközi szabvány biztosította. Ez utóbbi azóta a PACS rendszerek alapvető szabványává vált. A hazánkban a maga korában egyedülálló SZOTE-PACS 2005-ig üzemelt. Feladatát egy évtizeddel később a Radiológiai Klinikán egy későbbi, „gyári” PACS rendszer vette át.

## *3D orvosi képek szegmentálása és regisztrációja*

A szegedi universitas megalakulása után a képfeldolgozó csapat az SZTE Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszéken belül tevékenykedett tovább. Ekkor kezdődött az a gyümölcsöző kutatás-fejlesztési együttműködés, melyben a tanszék kutatói, a Radiológiai Klinika orvosai, valamint a GE Medical

Systems klinikai szoftvereket fejlesztő csapata fogott össze. A feladat szervek szegmentációja 3 dimenziós CT-képeken, azaz az egyes szerveket ábrázoló képi régiók meghatározása. Algoritmusokat dolgoztunk ki több hasi és kismedencei szerv (vese, máj, lép, prosztatata, húgyhólyag), a gerinccsatorna, valamint a látószervi objektumrendszer komponenseinek szegmentálására CT-felvételekből, elsődlegesen sugárterápia-tervezési alkalmazáshoz.

A modell alapú szegmentálási technikák, valamint az időbeli elemzések elengedhetetlen feltétele, hogy ismert legyen a különböző felvételek közötti térbeli megfelelés. Ennek a meghatározásához automatikus képregisztrációs módszereket dolgoztunk ki, elsősorban a kismedencei régióhoz.

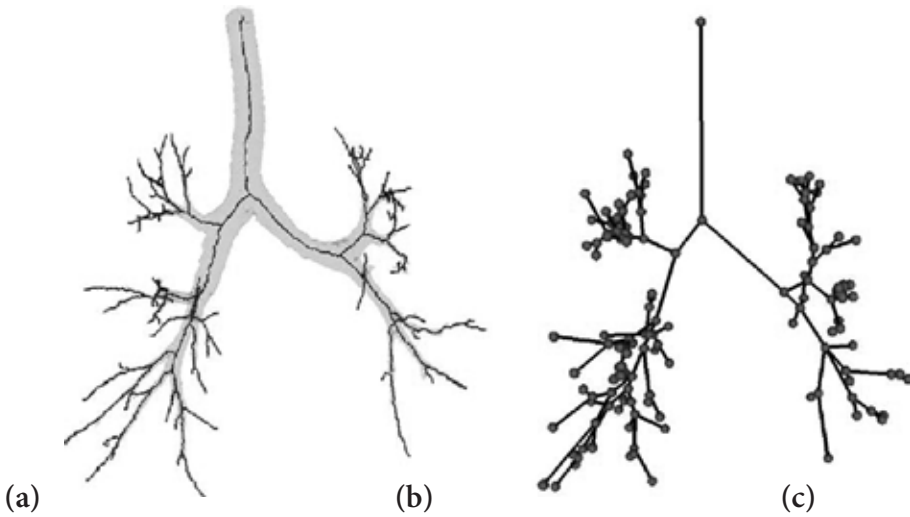
A szegmentációs és regisztrációs módszereink, melyekből több nemzetközi szabadalom is született (Fidrich és mtsai., 2008; Tanács és mtsai., 2007), beépítésre kerültek a GE termékeinek szoftverrendszerébe. A kutatás-fejlesztési munkákba egyetemi és PhD-hallgatók is bekapcsolódtak, és később erre a bázisra építve alakult meg a GE HealthCare szegedi szoftverfejlesztő részlege.

### *Vékonyítás, vázkijelölés, strukturális jellemzők*

A képszegmentáció és képregisztráció valójában csak eszközök, és az igazi cél a képeken ábrázolt objektumok, szervek, régiók jellemzése, diagnosztikai célú leírása. Az egyszerű térfogati mérések mellett nagyon fontosak az alaki jellemzők is, mint pl. a csöves szerkezetű objektumok középvonala, mely fontos bizonyos mérésekhez (pl. lumen meghatározására), de ugyanúgy elengedhetetlen bizonyos megjelenítési technikákhoz is (pl. virtuális endoszkópia).

A vékonyítás (mint iteratív redukció) alkalmas bináris objektumok középvonalának meghatározására. Az általunk kifejlesztett, bizonyítottan topológia-megőrző 3-dimenziós vékonyító algoritmusokat (Palágyi és mtsai., 2012) főleg orvosi képekből szegmentált objektumok elemzésére alkalmazták. Sikeres együttműködést alakítottunk ki pl. a Medical University of Graz (Ausztria) és a The University of Iowa (USA) kutatóival (Sorantin és mtsai., 2002; Palágyi és mtsai., 2006).





2. ábra: (a) Légcsőszűkület elemzés. A CT-vizsgálatból szegmentált légcső átmérőjét a vékonyítással kapott középvonalra merőleges 2D képszeleteken becsüljük. (b-c) Légútfák kvantitatív kiértékelése. (b) A CT-vizsgálatokból szegmentált légútfák középvonala, valamint (c) a középvonal alapján kapott formális struktúra, mely valamennyi ágra tartalmazza annak térfogatát, felszínét, hosszát és átmérőjét. A formális struktúrák illesztése lehetővé teszi az anatómiai címkézést, a légzés elemzését és számos tüdőbetegség automatikus diagnosztizálását.

### Diszkrét tomográfia

A *tomográfia* a görög „*tomos*” (szelet) és „*grapho*” (írni) szavakból származik, és általánosságban szeleteken alapuló képalkotást értünk alatta. Egy háromdimenziós objektum szeleteit úgy képezzük, hogy azt egy tetszőleges kétdimenziós síkkal elmetsszük, ezáltal egy kétdimenziós keresztmetszetet kapunk. Gyakorlati szempontból a szeletek elkészítését nemroncsoló módon végezzük, leggyakrabban röntgensugarak segítségével. A vizsgált objektumon ezen sugarak áthatolnak, miközben a sugárnyaláb fotonjainak egy része elnyelődik. A foton sugar kezdeti és az áthaladás után mért gyengült intenzitásából következtetni lehet arra, hogy a sugár milyen anyagon és milyen hosszan haladt át. Az egy irányból nyert intenzitásgyengüléseket leíró adatot az objektum egy *vetületének* nevezzük. A tomográfia feladata az, hogy ezen vetületekből összeállítsuk (rekonstruáljuk) az eredeti objektum leírását, azaz minden pontjában meghatározzuk az objektum anyagát.

A számítógépes tomográfia (CT) legrégebb és mai napig leggyakoribb alkalmazási területe az orvosi diagnosztika. A képalkotáshoz jelenleg legelterjedtebben

alkalmazott eljárás az úgy nevezett *szűrt visszavetítés*, mely több száz vetületet igényel a megfelelő minőségű kép előállításához.

Újabban az ipari roncsolásmentes vizsgálatokhoz is használnak CT-berendezéseket. A módszer segítségével felderíthetők a tárgyak belsejében keletkezett légbuborékok, repedések, vizsgálhatók a korrózió hatásai, de akár lerakódások vagy idegen anyag jelenléte is. A vetületképzés egyik korlátja az ipari objektum nagy kiterjedése lehet, azaz ha nem minden irányból helyezhető el a tárgy a CT-szkennelvényben, így nem minden irányból készíthető róla vetület. Hasonló a helyzet akkor is, ha a tárgy olyan anyagból van, amely elnyeli a röntgensugárzást. Ebben az esetben neutronsugárzás segítségével még mindig átvilágítható az objektum, az ilyen sugarak előállítása azonban költséges, amely szintén gátja lehet a megfelelő minőségű képalkotáshoz szükséges számú vetület kinyerésének.

Az ipari vizsgálatok esetében tehát sokszor csak kevés vetület áll rendelkezésünkre, vagy azok nem egyenletesen minden irányból adódnak. A szűrt visszavetítés ilyen esetekben ritkán alkalmazható sikeresen. Mégis van remény jó minőségű kép előállítására, ha az előállítandó képről rendelkezünk előzetes információkkal. Ez lehet például a vizsgált tárgy megközelítő alakja, belső szerkezetének strukturáltsága (például műanyaghabok vagy golyókat tartalmazó tárgyak vizsgálata esetén), vagy az azt felépítő általában kevés számú anyag ismerete. Orvosi alkalmazások esetében is elvárás, hogy a páciens lehetőleg minél kevesebb sugárzás érje, így itt is jelentős igény van olyan matematikai modellek és számítógépes módszerek kidolgozására, melyek minél kevesebb vetületből az előzetes információ felhasználásával tudnak a diagnózis felállításához még megfelelő minőségű képet előállítani. Ezen modellek és számítógépes algoritmusok tervezésével és elemzésével foglalkozik a *diszkrét tomográfia*.

A SZTE Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszékén a tudományterület születésével lényegében egy időben, az 1980-as évek közepén kezdődött meg a diszkrét tomográfia elméletének és gyakorlati alkalmazhatóságainak vizsgálata. Tanszékünkéről az első cikk Kuba Attila nevéhez kötődik, mely egy speciális geometriai tulajdonság, a *hv-konvexitás* feltételezésével ad hatékony rekonstrukciós technikát abban a szélsőséges esetben, amikor csak két vetület áll rendelkezésre, és az előállítandó kép bináris (Kuba, 1984). Kuba Attila vezetésével a szegedi diszkrét tomográfiai iskola az ezredforduló környékére a terület nemzetközileg is elismert csapatává nőtte ki magát. A szakterület két alapvető összefoglaló irodalmán túl (Herman és Kuba, 1999; Herman és Kuba, 2007) számos nemzetközi folyóirat- és konferenciapublikációnk jelent meg. Az általunk legintenzívebben kutatott területek a hv-konvex bináris képek

elmélete, a diszkrét tomográfia alkalmazása az ipari nemroncsoló tesztelésben, valamint a különböző irányú vetületek hasznosságának, információtartalmának vizsgálata (Varga és mtsai., 2014).

Tanszékünkön a diszkrét tomográfia területén jelenleg egy fiatal kutatókból és PhD-hallgatókból álló lelkes csapat dolgozik az újonnan felmerülő elméleti és gyakorlati problémák megoldásán. A kutatási területen az elmúlt években több doktori disszertáció készült, a cikkeinkre kapott független hivatkozások pedig azt mutatják, hogy eredményeink nemzetközileg is ismertek és elismertek.

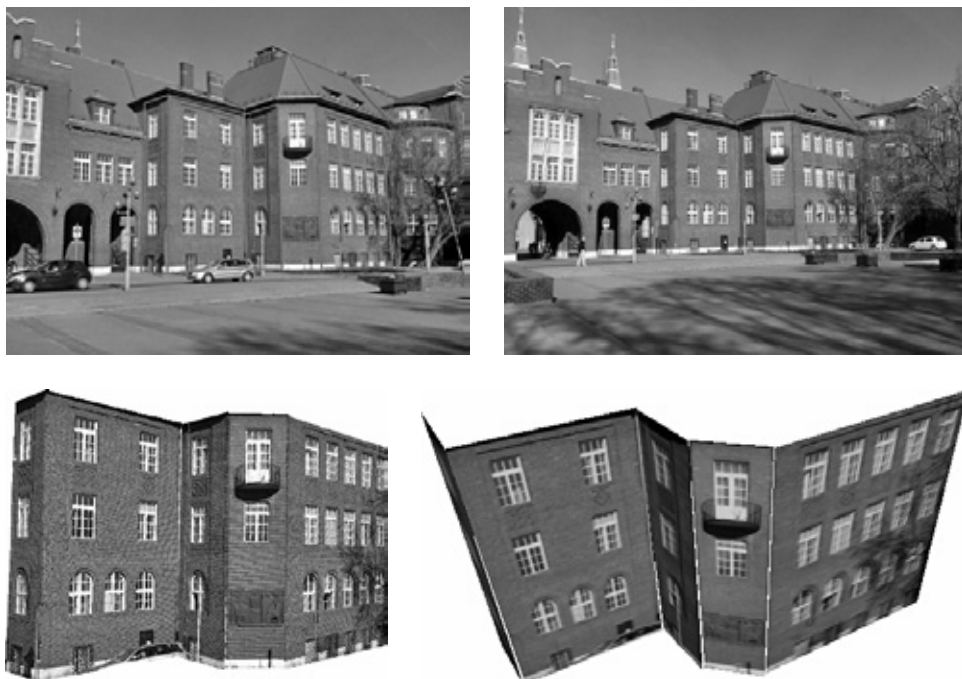
### *Kollaboratív mobil vizuális számítások*

Az utóbbi években a *kamerával felszerelt okostelefonok* robbanásszerű elterjedésének lehetünk szemtanúi, amelyek új lehetőségeket nyitnak a számítógépes látás tudományterület kutatásában és gyakorlati alkalmazásában is. Ezek az eszközök egyre jobb képalkotó képességekkel, folyamatosan növekvő számítási kapacitással, lokalizációs szenzorokkal, hálózati kapcsolódási lehetőségekkel, valamint felhasználók milliárdjaival rendelkeznek. Figyelembe véve ezeket a képességeket, az egy területen jelenlévő felhasználók és készülékek egy *ad-hoc kamerahálózat* tagjainak tekinthetők. A készülékek közötti kommunikációval eloszthatók az elkészült képeken alapuló számítások, valamint új vizuális információk állíthatók elő, amelyek aztán megosztásra kerülhetnek a résztvevők között.

A számítógépes látás számos klasszikus és új problémája átültethető ebbe az új környezetbe. Ezek egyike a *térbeli rekonstrukció*, amelynek feladata fotók alapján a felhasználót körülvevő színtér térbeli modelljének előállítás. Alapját a mobil eszközökkel a színtérről készült fotók és szenzoradatok alkotják. Mivel a készülékek – kisebb-nagyobb hibával – képesek földrajzi pozíciójuk és földfelszínhez viszonyított orientációjuk kiszámítására, egy *láthatóság gráf algoritmus* (Kovács, 2013) segítségével meghatározhatóvá válik, mely kamerák azok, amelyek átfedő látómezővel rendelkeznek. Vizuális számítások elvégzéséhez rendszerint szükségünk van annak pontos ismeretére, hogy az adott készülék hogyan képezi le a 3D világot a vetítési síkra (*belső kalibráció*), valamint hogy a készülékek a térben hogyan helyezkednek el egymáshoz képest (*kamerahálózat külső kalibrációja*).

Az általunk javasolt rekonstrukciós megoldás nagyobb kiterjedésű, sík felületek felhasználását igényli, amely igen gyakori városi környezetben, épületekről készült fotók esetén. A megoldáshoz a kalibrációs paraméterek mellett

szükségünk van a sík felületek közötti megfeleltetés-keresésekre is a képeken (Domokos és mtsai., 2012). A rekonstrukció alapja, hogy ugyanazt a sík felületrészt a kamerák más nézőpontból látják, így az perspektív torzulást szenved. A torzulás ismeretében meghatározható a sík felület orientációja és kamerától vett távolsága.



3. ábra: Példa 3D rekonstrukcióra. A két eredeti kép (felső sor), valamint a rekonstrukció eredménye két nézőpontból (alsó sor). Az első képen vörös körvonal jelzi a kijelölt sík területek határát.

## Irodalom:

- Csernay László, Makay Árpád, Csirik János, Máté Eörs: SUPER-SEGAMS kézikönyv, I–II kötet (magyar, német, angol, orosz nyelven), Budapest, 1982, p. 1–256.
- Kuba Attila, Alexin Zoltán, Nagy Antal, Nyúl László, Palágyi Kálmán, Nagy Marianna, Csernay László, Almási László: DICOM based PACS and its application in the education. In: Proc. of the 14th EuroPACS Meeting, Heraklion, Crete, pp. 46–49, 1996.

- Fidrich Márta, Makay Géza, Máté Eörs, Balogh Emese, Kuba Attila, Nyúl László G., Kanyó Judit: Systems and methods for segmenting an organ in a plurality of images. US Patent US7388973 B2, 2008.
- Tanács Attila, Máté Eörs, Kuba Attila: Method and system for automatically transforming CT studies to a common reference frame. US Patent US7259762 B2, 2007.
- Palágyi Kálmán, Németh Gábor, Kardos Péter: Topology Preserving Parallel 3D Thinning Algorithms. In: Brimkov V.E., Barneva R.P. (szerk.): Digital Geometry Algorithms. Theoretical Foundations and Applications to Computational Imaging, Springer, pp. 165–188, 2012.
- Kálmán Palágyi, Juerg Tschirren, Eric A. Hoffman, Milan Sonka: Quantitative analysis of pulmonary airway tree structures. *Computers in Biology and Medicine* 36, pp. 974–996, 2006.
- Erich Sorantin, Csongor Halmai, Balázs Erdőhelyi, Kálmán Palágyi, László G. Nyúl, Krisztián Ollé, Bernhard Geiger, Franz Lindbichler, Gerhard Friedrich, Karl Kiesler: Spiral-CT-based assessment of tracheal stenoses using 3-D-skeletonization. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 21, pp. 263–273, 2002.
- Gabor T. Herman, Attila Kuba (szerk.): Discrete Tomography: Foundations, Algorithms, and Applications, Applied and Numerical Harmonic Analysis. Birkhauser, 1999.
- Gabor T. Herman, Attila Kuba (szerk.): Advances in Discrete Tomography and Its Applications, Applied and Numerical Harmonic Analysis. Birkhauser, 2007.
- Kuba Attila: The reconstruction of two-directionally connected binary patterns from their two orthogonal projections. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 27, pp. 249–265, 1984.
- Varga László G., Nyúl László G., Nagy Antal, Balázs Péter: Local and global uncertainty in binary tomographic reconstruction. *Computer Vision and Image Understanding*, megjelenés alatt, 2014.
- Domokos Csaba, Nemeth Jozsef, Kato Zoltan: Nonlinear Shape Registration without Correspondences. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34, pp. 943–958, 2012.
- Kovács Levente: Processing Geotagged Image Sets for Collaborative Compositing and View Reconstruction. In: Proc. of ICCV Workshop on Computer Vision for Converging perspectives, pp. 460–467, 2013.

## Mesterséges intelligencia

### *Teljesen elosztott adatbányászat*

A személyi számítógépek és az internet elterjedésével a 90-es évek végén egy forradalom zajlott le, amelynek során előtérbe kerültek azok az informatikai alkalmazások és fejlesztések, amelyek a személyi számítógépeket kihasználva nagyszámú felhasználóra épülő alkalmazásokat hoztak létre. Először központosított (elsősorban webes), később a közvetlen kommunikációra épülő ún. peer-to-peer (tipikusan fájlcsereelő vagy internetes telefon) alkalmazások jelentek meg. A 2000-es évek második felétől egy második forradalom vette kezdetét, ami a személyi számítógépek új generációjára, az egyre terjedő tabletekre és okostelefonokra épül. Ezek rengeteg adat gyűjtését teszik lehetővé a felhasználójukról és annak környezetéről, ami a korábbinál sokkal gazdagabb élményt és több alkalmazást tesz lehetővé. Ezek az adatok származhatnak az eszközökben található számos érzékelőből, vagy keletkezhetnek különböző alkalmazások használata során, mint amilyenek pl. a böngészők vagy kapcsolattartásra szolgáló alkalmazások. A jelenlegi gyakorlat szerint ezeket az adatokat az egyes alkalmazások központi helyen tárolják (a felhőben), és itt végzik el a statisztikai elemzést és adatbányászatot. Ez a gyakorlat azonban számos problémát vet fel. Ide tartozik, hogy a központi adattárolás nagyon költségessé válik egy bizonyos adatmennyiség felett, ami kizárja a közcélú vagy kísérletező jellegű nonprofit alkalmazásokat. Ezen kívül jelenleg szinte lehetetlen több különböző alkalmazásból származó adatokat egyesíteni és közös modellben elemezni, holott ezek magán az eszközön együtt vannak jelen, míg a központi tárhelyen már elválnak.

Kutatásaink során azt vizsgáljuk, hogy a legfontosabbnak tekinthető, tipikusan felhőben végzett, számítási és adatfeldolgozási funkciókat hogyan lehetne a központi komponensek kikerülésével, vagy nagyon korlátozott bevonásával, megvalósítani, tisztán az egyes eszközök közötti közvetlen kommunikációra építve. Ez a ma már hagyományosnak tekinthető asztali gépek platformján is túlmutat az ott ismert alkalmazásokon, amik gyakran nem jelentenek számítási feladatokat, csak tárolási vagy kommunikációs problémákat oldanak meg. Emellett természetesen a modern okostelefonok platformján rengeteg új alkalmazást tenne lehetővé a jelenleg elérhető technológiánál sokkal olcsóbban és rugalmasabban.

Az általános adatbányászati problémák vizsgálatától eltekintve, az elosztott probléma vizsgálata is immár évtizedes múlttal rendelkezik a kutatócsoportban.



A kezdeti eredmények Jelasity Márk nevéhez fűződnek, aki pletykaalapú algoritmusokat javasolt néhány egyszerű statisztikai feladat elosztott megoldására, mint amilyen pl. az átlagszámítás (Jelasity és mtsai., 2004). Az ilyen algoritmusok alapötlete, hogy az egyes eszközök közösen egy diffúzióra emlékeztető folyamatot valósítanak meg, amelynek során kiegyenlítődnek az egyes eszközök közelítései.

Az évek során sokkal általánosabb problémákat is sikerült megoldanunk, megtartva a pletyka-algoritmusok hatékonyságát és robusztusságát. Itt az alapötletünk az ún. sztochasztikus gradiens módszerek adaptálása, amelynek során az adatokat leíró statisztikai modellt (pl. legegyszerűbb esetben az egy átlag, bonyolultabb esetben akár egy nemlineáris döntési felület) véletlen sétát végez az eszközök felett, és minden eszközön az ott található adatokat felhasználva egy gradiens lépést hajt végre (Ormándi és mtsai., 2013). Természetesen az alapötletnek és magának a problémának számos vonatkozását vizsgáljuk, kezdve az okostelefonok használatának, hálózati kapcsolatának, energiaszintjének stb., modellezésétől egészen olyan kurrens algoritmusok megvalósításáig mint amilyen pl. az ún. boosting algoritmus vagy az ún. többkarú bandita algoritmusok. Számos kapcsolódó témát is vizsgáltunk, mint amilyenek a magánjellegű adatok védelme, ami egyre fontosabb kutatási terület, és az algoritmusaink adaptivitása abban az esetben, ha dinamikusan változik az adathalmaz, amin dolgozunk.

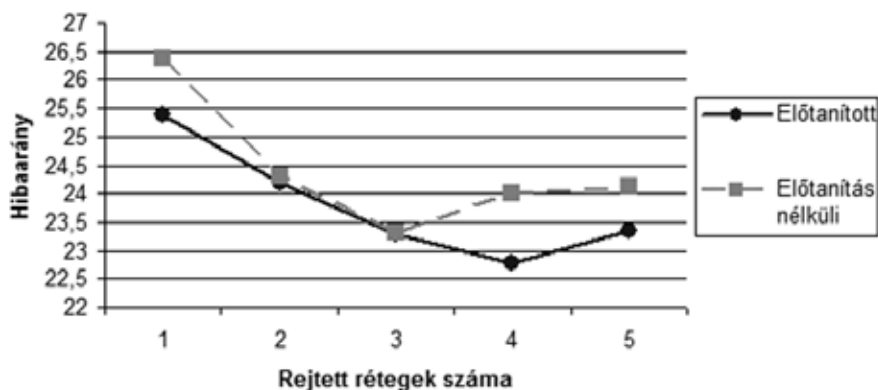
A témában számos nemzetközi kapcsolattal rendelkezünk, többek között egy EU FP7-es projektet (QLectives) is sikeresen lezártunk, ahol az algoritmusainkat peer-to-peer hálózatokban alkalmaztuk ajánlórendszerek és spamszűrés megvalósítására.

### *Beszéd felismerés mély neuronhálókkal*

A gépi beszéd felismerés technológiájának matematikai alapjai 30 éve lényegében változatlanok. Ekkor vezették be a rejtett Markov-modelleket, amelyek egy egységes matematikai keretet adnak a sorozatok – így pl. a beszédjelek – statisztikai alapú felismeréséhez. Azóta természetesen rengeteg apró finomítást javasoltak a technológiához, és ezáltal az eredmények is sokat javultak, de általánosságban elmondható, hogy a beszéd felismerés területén mindeddig a kis lépésekben való előrehaladás volt jellemző. A 2006-os évben azonban megjelent egy új gépi tanulási algoritmus, melyet feltalálói „mély neuronhálónak” neveztek el. A módszert eleinte képi alakfelismerési feladatokon

tesztelték, az első beszédfelismerési kiértékelésre 2009-ben került sor. A mély neuronháló már ebben az első kísérletben minden korábbi eredményt megdöntött, nagy visszhangot váltva ki a kutatók körében.

Az első cikk óta a terület rohamosan fejlődik, a kiugróan jó eredmények miatt egyre többen fordulnak ehhez a technológiához, és így a megjelenő publikációk száma is exponenciálisan nő. Az MTA-SZTE Mesterséges Intelligencia Kutatócsoportnál már több mint egy évtizede foglalkozunk a beszédfelismerés neuronhálókat használó irányzatával, így szerencsés módon viszonylag gyorsan be tudtunk kapcsolódni a mély neuronhálók kutatásába. Legelső lépésként természetesen a külföldi eredményeket próbáltuk reprodukálni. A 4. ábra azt mutatja, hogy a neuronháló rétegszámának növelésével hogyan csökken a felismerő rendszer hibája:



4. ábra: Beszédfelismerő rendszer hibájának alakulása a mély neuronháló rétegszáma és az alkalmazott tanítási algoritmus függvényében.

Mint látható, a mély neuronhálók hatékonyságának egyik forrása maga a „mélység”, azaz hogy sok rétegből állnak (ezzel szemben egy hagyományos neuronháló csak egyetlen rejtett réteget tartalmaz). A sok réteg azonban magában nem elég, hanem szükség van egy új tanító algoritmusra is, amelyet „előtanítás” névvel illet az irodalom. Amint az ábrán is látható, az előtanítás különösen sok réteg esetén fontos, ilyenkor az ily módon tanított hálózat lényegesen jobb eredményeket ad, mint a hagyományos, nem előtanított háló. Habár a Hinton és munkatársai által javasolt előtanítási algoritmus nagyon hasznosnak bizonyult, a gyakorlati alkalmazása nehézkes és időigényes. Ezért hamar megindult a kutatás a hasonló hatású, de egyszerűbb és gyorsabb megoldások iránt. Ebbe a kutatásba már csoportunk is be tudott kapcsolódni, így a beszédfelismerésben az elsők között próbáltuk ki az ún. „egyenirányított”

(rectified) neuronokból felépülő hálózatokat. Másokkal párhuzamosan azt kaptuk, hogy ez a hálótípus az előtanított hálózatokkal egyenértékű felismerési pontosságra képes, de az implementációja sokkal egyszerűbb, tanítása pedig gyorsabb (Tóth, 2013a).

A képi alakfelismerési algoritmusok hatékonyságát le szokta rontani, ha a felismerendő alak (például betű) nincsen a kép közepén, hanem valamelyik irányban elcsúszik. Ennek elkerülésére hagyományosan különféle „normalizálási” technikákat szoktak bevetni, de ennél hatékonyabb megoldás a neuronháló átalakítása oly módon, hogy a kép eltolt változatait is fel tudja ismerni. Ezt a technológiát konvolúciós modellezésnek hívják, és a képfelismerésben régóta kísérleteznek vele, de a beszédfelismerés eszköztárába csak mostanában került be. Mivel a képfeldolgozással ellentétben a beszédjel esetében a két ábrázolási tengelynek – idő és frekvencia – különböző szerepe van, ezért a konvolúciós technikát a két tengelyen eltérő módon kell alkalmazni. Mi elsőként az idő-tengely mentén való konvolúció technológiáját dolgoztuk ki, és megmutattuk, hogy a sztenderd mély neuronhálókhöz képest ezzel a módszerrel akár 10%-os hibacsökkenés is elérhető (Tóth, 2013b). Legújabban pedig kombináltuk módszerünket az Abdel-Hamid és mtsai. által alkalmazott, frekvenciatengely mentén működő konvolúcióval. Jelenleg ez a kombinált modell tartja a legkisebb felismerési hiba rekordját a széles körben vizsgált TIMIT adatbázison (Tóth, 2014).

Habár a publikálhatóság szempontjából az angol nyelvű tesztek a fontosak, természetesen igyekszünk az újonnan feltalált módszereket a magyar nyelv felismerésére is bevetni. Kísérleteink alapján úgy látjuk, hogy a mély neuronhálók a magyar nyelvű felismerésben is lényeges eredményjavulást tudnak hozni (Grósz és Tóth, 2014). Jelenleg is folyamatban vannak azok a Budapesti Műszaki Egyetemen közösen futó kísérletek, amelyekben a mély neuronhálóinkat az ő nagyszótáras magyar nyelvű felismerőrendszerükbe építve értékeljük ki. A kezdeti eredmények azt mutatják, hogy mély neuronhálókval akár 10-30%-os hibacsökkenés is várható a hagyományos felismerési technológiához képest.

### *Számítógépes nyelvészet*

A mesterséges intelligencia egyik ága, a számítógépes nyelvészet vagy más néven a nyelvtechnológia az emberi nyelv számítógépes eszközökkel történő megértését és feldolgozását célzó tudományterület. A Szegedi Tudományegyetemen az 1990-es évek vége óta zajlanak nyelvtechnológiai kutatások

informatikus és nyelvész kollégák együttműködésében, továbbá a kutatómunkában részt vesznek egyetemi és PhD-hallgatók is. A folyó kutatások három fő pillér köré csoportosíthatók: nyelvi adatbázisok létrehozása, nyelvi elemző eszközök fejlesztése és információkinyerő alkalmazások fejlesztése. A műhely magyar és angol nyelvű szövegek feldolgozásával is foglalkozik, céljuk, hogy az egyes kifejlesztett technológiák nyelvfüggetlenek vagy legalább könnyen adaptálhatóak legyenek.

Gépi tanuló algoritmusok segítségével nagymértékben csökkenthető a szövegek feldolgozásához szükséges emberi munkaerő-ráfordítás. A gépi tanuláson alapuló módszerek alkalmazása azonban megköveteli nagyméretű, kézzel annotált szöveges adatbázisok, úgynevezett korpuszok meglétét. A csoport aktív közreműködője volt a magyar nyelvre kifejlesztett Szeged Korpusz és Treebanknek, amely 82 000 mondatot és 1,2 millió szövegszót tartalmaz, ezzel a legnagyobb méretű, kézzel annotált, magyar nyelvű adatbázis. A Szeged Korpusz és Treebankben megtaláljuk minden egyes szövegszó lehetséges morfológiai elemzését, az aktuális kontextusnak megfelelő morfológiai elemzését, valamint minden mondatához szintaktikai elemzés is tartozik (Csendes és mtsai., 2005). A magyar wordnet lexikális adatbázis létrejöttében szintén fontos szerepet vállalt a kutatócsoport: az adatbázis a magyar szavakat a köztük húzódó jelentéstani kapcsolatok szerint rendezi csoportokba (Miháltz és mtsai., 2008). Mindemellett számos kisebb, adott feladatra kifejlesztett angol és magyar nyelvű korpuszt is létrehoztak a munkatársak.

A magasabb rendű nyelvtechnológiai alkalmazásoknak előfeltétele a szövegek előelemzése, azaz mondatra és szövegszóra bontása, valamint a szavak szófaji egyértelműsítése és a mondatok szintaktikai elemzése. A csoport által létrehozott *magyarlanc* nevű programcsomag magyar nyelvű szövegek előelemzését teszi lehetővé mondat- és szószegmentáló, szófaji elemző és függőségi (szintaktikai) elemző moduljaival (Zsibrita és mtsai., 2013). A csoport ezen túl rendelkezik tulajdonnév-felismerő és -kategorizáló, illetve jelentés-egyértelműsítő technológiákkal is mind angol, mind magyar nyelvre.

Az alap szintaktikai és szemantikai elemző szoftvercsomagokra építve számos nyelvtechnológiai alkalmazás került kifejlesztésre a csoportban (egy részük ipari megrendelésre). Ilyen alkalmazás például a vásárlási események kiemelése üzleti hírekből, az [origo] hírportál archívumának (400 ezer hír) automatikus címkézője, fehérje-interakciós információkinyerő biológiai publikációkból, betegségek és tüneteik azonosítása orvosi zárójelentések folyó szöveges részeiben, illetve önéletrajzok automatikus feldolgozása. A fentiek mellett a csoport munkatársainak érdeklődési területe többek között a többszavas kifejezések számítógépes kezelésére, a bizonytalanság és tagadás gépi

felismerésére, az automatikus kulcsszókinyerésre és a webes szövegek feldolgozására terjed ki.

A szegedi nyelvtechnológiai csoport 16 magyar pályázatban vett részt az elmúlt években, és a témában több mint 100 nemzetközi publikációval rendelkezik, valamint igen szép eredményeket ért el nemzetközi számítógépes nyelvészeti versenyeken (automatikus BNO-kódolás: 1. helyezés; orvosi rekordok anonimizálása: 1. helyezés; metonímiafeloldás: 1. helyezés, tweetek polaritásának elemzése: 1. helyezés). A csoport tagjai írták a 2007 nyarán megjelent *Szövegbányászat* című könyv információkinyeréssel foglalkozó fejezetét is. Kutatócsoportunk alapító tagja a magyarországi nyelv- és beszédtechnológiai műhelyeket tömörítő nyelv- és beszédtechnológiai platformnak, melynek keretében aktív szerepet vállal a tudományág eredményeinek minél szélesebb körben való közérthető ismertetésében és népszerűsítésében.

2003 óta minden évben Szegeden rendezik meg a Magyar Számítógépes Nyelvészeti Konferenciát, mely napjainkra a hazai nyelvtechnológiai kutatások legfőbb szakmai fórumává vált. A csoport nemzetközi konferenciák szervezéséből is kiveszi a részét: a csoport kutatóinak szervezésében valósult meg a CoNLL-2010 konferenciához kapcsolódó nemzetközi verseny, továbbá a 2008-as Global WordNet Conference-nek is Szeged adott otthont.

### *Fuzzy halmazok, többtényezős döntések és a genetikus algoritmusok*

A fuzzy (elmosódott határú) halmaz a humán, „nem egzakt” fogalmak formális leírását valósítja meg, egyfajta bizonytalanság (uncertainty) leírása. A nem egzakt fogalmak matematikai leírására szolgáló halmazhoz tartozási függvény helyett a karakterisztikus függvény approximációjaként előálló elemi preferencia függvényt vezettük be, amivel az elvárési szint, döntési küszöb és a preferencia élessége is megadható. Megmutattuk, hogy a halmazhoz tartozási függvény mindig előállítható két függvény kompozíciójaként. Segítségével a szubjektív faktor leválasztható a fuzzy elméletről. A fuzzy elmélet kutatások másik célja a folytonos logikai operátorok vizsgálata.

A természetes nyelvű módosító szavak az unáris operátorokkal modellezhetők, itt megadtuk ezek általános alakját. A többtényezős döntéseknél meghatározó, hogy az egyes tényezők milyen fontossággal szerepelnek az értékelés során. Megmutattuk, hogy a súlyozási eljárás is operátorfüggő transzformáció és linearizálható a súlyokra nézve.

A fenti eredmények alapján létrehoztunk egy új folytonos logikai rendszert (rugalmas rendszert), ahol a döntési szint változtatható (Dombi 2013,

Dombi 2012, Dombi 2011). Így egy olyan logikát kaptunk, amelyik jól közelítik a klasszikus kétértékű logikát. A rugalmas rendszer segítségével a gépi tanulás neurális hálózatai leírhatók, illetve tovább általánosíthatók. Így a tanuló algoritmusok egy új osztályát hoztuk létre. A rugalmas rendszer segítségével adatbázisok természetes nyelvű leképezése valósítható meg.

Big Data projektekben a folytonos logikai operátorok segítségével diszkrét változók vizsgálata gyorsan elvégezhető. Optimalizálásnál a szigorú korlátok feloldása folytonos logikai operátorok segítségével kezelhető. Genetikus algoritmussal pedig nehéz feladatok optimalizálása végezhető el, ahol az optimumot fokozatosan közelítjük.

Új típusú tanuló algoritmusok: neurális hálózatok csomópontjainak folytonos logikai operátorokkal való helyettesítésével a robotikához kapcsolódó feladatok hatékonyan oldhatók meg.

## Irodalom:

- Márk Jelasity, Alberto Montresor, Ozalp Babaoglu: Gossip-based aggregation in large dynamic networks. *ACM Transactions on Computer Systems*, 23 (3): 219–252, August 2005. (doi:10.1145/1082469.1082470)
- Ormándi Róbert, Hegedűs István, Jelasity Márk: Gossip learning with linear models on fully distributed data. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 25(4):56–571, 2013. (doi:10.1002/cpe.2858)
- Tóth László: Phone Recognition with Deep Sparse Rectifier Neural Networks, Proc. ICASSP 2013, 6985–6989, 2013.
- Tóth László: Convolutional Deep Rectifier Neural Nets for Phone Recognition, Proc. Interspeech 2013, 1722–1726, 2013.
- Tóth László: Combining Time- and Frequency-Domain Convolution in Convolutional Neural Network Based Phone Recognition, Proc. ICASSP 2014, 190–194, 2014.
- Grósz Tamás, Tóth László: Új eredmények a mély neuronhálós magyar nyelvű beszédfelismerésben, *Proc. MSZNY 2014*, 3–13, 2014.
- Csendes Dóra, Csirik János, Gyimóthy Tibor, Kocsor András: The Szeged Treebank. In: *Proceedings of TSD 2005*, Karlovy Vary, 123–131, 2005.
- Miháltz Márton, Hatvani Csaba, Kuti Judit, Szarvas György, Csirik János, Prószéky Gábor, Váradi Tamás: Methods and Results of the Hungarian WordNet Project. In: *Proceedings of the Fourth Global WordNet Conference*, Szeged, 310–320, 2008.

- Zsibrita János, Vincze Veronika, Farkas Richárd: magyarlanc: A Toolkit for Morphological and Dependency Parsing of Hungarian. In: *Proceedings of RANLP 2013*, Hissar, 763–771, 2013.
- Dombi József: *On a certain class of aggregative operators* Information Sciences (2013) ISSN 0020-0255
- Dombi József: *Pliant operator system* In *Studies in computational intelligence*, Recent Advances in Intelligent Engineering Systems Ed. by J. Fodor, R. Klemous, C.P. Suárez Araujo: *Springer* 31–58, 2012.
- Dombi József: *Fuzziness measure in the Pliant system: The Vagueness measure* Acta Technica Jaurinensis; Series Intelligentia Computatorica Vol.4. No.1, 3–11, 2011

## *A számítástudomány matematikai alapjai*

Ebben a cikkben a teljesség igénye nélkül szeretnénk betekintést nyújtani az 1970-es évek elejétől a Szegedi Tudományegyetemen a számítástudomány matematikai alapjaiban folytatott kutatás eredményeibe.

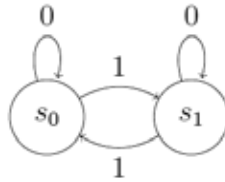
Az (elméleti) számítástudomány a matematikában, ezen belül a matematikai logikában alakult ki az 1950-es években. Kezdetben olyan neveket említhetünk, mint Stephen C. Kleene, Noam Chomsky vagy Neumann János, de a gyökerek visszanyúlnak az 1930-as évekre, Kurt Gödel, Alonzo Church, Alan Turing munkásságára. Ebben az időszakban fogalmazták meg először matematikai pontossággal azt, hogy mit értsünk algoritmuson, mely problémákat nevezünk algoritmikusan megoldhatónak. Ez utat nyitott olyan matematikai tételek bizonyításához, amelyek azt mondják ki, hogy valamilyen probléma, feladat, algoritmikusan (és ezért számítógéppel) megoldhatatlan. Ilyen feladat az is, hogy egy adott kijelentés, mint pl. „végtelen sok ikerprím van” (amelyet az elsőrendű logika nyelvén is megfogalmazhatunk), érvényes-e a nemnegatív egész számokra. Itt arról van szó, hogy nem létezik olyan eljárás, amely tetszőleges kijelentésre alkalmazva mindig pontosan válaszolja meg azt a kérdést, hogy az adott kijelentés érvényes-e. Kalmár László munkásságának egy részében ehhez a problémakörhöz csatlakozott, pl. új bizonyítást adott az elsőrendű logika algoritmikus eldönthetetlenségére.

Az automaták és formális nyelvek elmélete az 1950-es, 60-as években alakult ki, Stephen C. Kleene és Noam Chomsky munkásságát követően, és a számítástudomány egyik alappillére. Az automatákat Kleene idegi folyamatok modellezésére vezette be, míg Chomsky az általa bevezetett fogalmakat a természetes nyelvek szintaxisának leírására használta. Az automaták és formális nyelvek elméleti eredményei azóta számos más területen is alkalmazásra kerültek: programozási nyelvek, szerkesztőprogramok, fordítóprogramok, szekvenciális áramkörök, hardver- és szoftverrendszerek tervezése és verifikációja, kommunikációs protokollok, gének elemzése, digitális képfeldolgozás, természetes nyelvek feldolgozása stb.

Nagyon általánosan megfogalmazva az automaták olyan diszkrét működő rendszerek modellezésére szolgálnak, amelyek minden pillanatban véges sok lehetséges belső állapot valamelyikében vannak, és amelyek bemenő jelek hatására állapotot váltanak előre adott átmeneti függvény szerint. Ennek megfelelően az automaták ábrázolhatóak olyan véges irányított gráfokkal, melyek csúcsai az állapotoknak felelnek meg, a lehetséges átmeneteket megadó



élek pedig bemenő jelekkel címkézettek. Az ábra egy olyan automatát mutat be, amelynek két állapota van,  $s_0$  és  $s_1$ , és két bemenő jel hatására válthat állapotot. Ezek a 0 és 1 jelek. Ha az automata az  $s_0$  állapotban a 0 jelet kapja, akkor új állapota az  $s_0$  lesz (vagyis marad az  $s_0$  állapotban), míg az 1 jel hatására az  $s_1$  állapotba kerül (átmegy az  $s_1$  állapotba).



1. ábra

Az automataelméleti vizsgálatokat Csákány Béla, Gécseg Ferenc és Peák István indították el Szegeden az algebrai kutatásokhoz kapcsolódóan. Az automaták tekinthetők ugyanis olyan véges algebrai struktúrákként, amelyekben egyváltozós műveletek értelmezettek, és így vizsgálatukra alkalmazható az univerzális algebra eszköztára. Egy másik kapcsolódási pontot adnak az automaták és az algebra közt a (véges) félcsoportok. Minden véges félcsoport tekinthető automataként, másrészt minden automatához hozzárendelhető egy véges „transzformáció félcsoport”, mely fontos információkat ad az automata tulajdonságairól. Ez a kapcsolat megtermékenyítően hatott mindkét terület fejlődésére. A kezdeti szegedi eredmények összefoglalása, pl. az automaták és a félcsoportok kapcsolatáról, megtalálható a [9] könyvben.

Ezt követően az a terület, ahol a legmélyebb eredmények születtek, az automaták kompozíciója és dekompozíciója volt. Itt egyrészt az volt a kérdés, hogy hogyan lehet felépíteni egy összetett automatát egyszerűbb komponensekből, másrészt mely automatákat lehet felépíteni automaták egy adott készletéből. Vagy létezik-e az automatáknak olyan véges készlete, ún. teljes rendszere, amelyből mindegyik automata felépíthető, legalábbis lényegében, azaz bizonyos „viselkedési ekvivalencia” erejéig. A viselkedési ekvivalencia hagyományos definíciója azt veszi figyelembe, hogy az automatában mely nyelvek ismerhetők fel. Tekintsük az ábrán szereplő automatát. Amennyiben az  $s_0$  állapotból egy irányított úton az  $s_1$  állapotba jutunk, akkor az útnak megfelelő címkesorozat, bináris szó, páratlan számú 1-est tartalmaz. Az ilyen szavak az  $s_0$  állapotból az  $s_1$  állapotba vezetnek. Így ha az  $s_0$  állapotot választjuk kezdőállapotnak és az  $s_1$  állapotot az elfogadó állapotnak, az automata azon bináris jelsorozatokat (szavakat) „fogadja el”, vagy „ismeri fel”, amelyek páratlan

számú 1-est tartalmaznak. A kezdőállapot és az elfogadó állapotok különböző megválasztásai mellett az automata 4 lehetséges nyelvet ismerhet fel: az üres nyelvet (nincs elfogadó állapot), az összes bináris szavak nyelvét (mindkét állapot elfogadó), valamint a páros, ill. páratlan számú 1-est tartalmazó szavakból álló nyelveket. Az automaták által felismerhető, vagy röviden „felismerhető nyelvek”, robusztus tulajdonságokkal és számos jellemzővel rendelkeznek. Ezek egyike Kleene klasszikus tétele, mely szerint egy nyelv akkor és csak akkor felismerhető, ha a véges nyelvekből megkapható a reguláris műveletekkel. Ezek az egyesítés, az összefűzés (konkatenáció) és az iteráció. Például a páros számú 1-et tartalmazó bináris szavak nyelve megkapható  $(0^*10^*)^*0^*$  alakban. Itt  $0^*$ , a 0 egyetlen egybetűs szót tartalmazó nyelv iteráltja, az összes csak 0-t tartalmazó szavak nyelve.  $0^*10^*$  konkatenációval áll elő a  $0^*$  nyelv és az 1 felhasználásával, és az összes olyan bináris szóból áll, amely pontosan két 1-est tartalmaz, a másodikat a szó végén. A  $(0^*10^*)^*$  nyelv az összes olyan szóból áll, amely páros sok 1-est tartalmaz, és ha a szó nem üres, 1-re végződik. A páratlan számú 1-est tartalmazó bináris szavak nyelve felírható  $(0^*10^*)^*0^*10^*$  alakban.

Az automaták kompozíciójának legáltalánosabb formáját Victor Glushkov vezette be. Ez a komponens automaták tetszőleges kapcsolatát megengedi. A.A. Letichevskii egy korai eredménye szerint az általános szorzattal minden automata felépíthető egy olyan automatából, mely irányított gráfja tartalmaz egy olyan erősen összefüggő részt, amely nem egyetlen irányított kör. Az ábra egy ilyen automatát mutat be. A kompozíció egy másik formája az, amikor a komponens automaták úgy függhetnek csak egymástól, hogy nem alakul ki függőségi kör. Ezt hurokmentes kompozíciónak nevezzük. A hurokmentes kompozíció szoros kapcsolatban van a félcsoportok koszorú szorzatával. A hurokmentes kompozícióra vonatkozóan teljes rendszerekről sok fontos információt ad a Krohn–Rhodes-féle felbontási tétel, amely a véges automaták és félcsoportok elméletének egyik híres eredménye. A Krohn–Rhodes-tétel szerint ha egy rendszer teljes a hurokmentes kompozícióra, akkor valamilyen módon minden véges csoport megjelenik a rendszer egy tagjában. Így nem létezik véges teljes rendszer sem. Továbbá jelen van a rendszer valamely tagjában egy bizonyos 3 elemű „egység félcsoport” is. Ugyanakkor megadható automaták olyan rendszere is, amely a Krohn–Rhodes-féle feltételeknek eleget tesz, mégsem teljes. A hurokmentes szorzatra teljes rendszerek leírását a [2] cikkben sikerült megadni.

Automaták hurokmentes kompozíciójában a komponens automaták sorba rendezhetők úgy, hogy minden egyes komponens működését csak a sorrendben megelőző automaták befolyásolják. A Glushkov-féle általános kompozíció

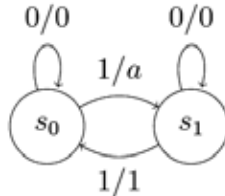
és a hurokmentes kompozíció közt vezetett be egy hierarchiát Gécseg Ferenc 1974-ben. Minden egyes  $i$  nemnegatív egész számhoz tartozik egyfajta kompozíció, az ún.  $\alpha$ -szorzat. Automaták egy  $\alpha$ -szorzatának komponensei sorba rendezhetőek úgy, hogy minden egyes komponens működését a sorrendben megelőző automatákon kívül az azt követő  $i - 1$  automata befolyásolhatja. Amennyiben  $i = 0$ , akkor a hurokmentes kompozíciót kapjuk. Ha  $i = 1$ , akkor minden egyes komponens önmagához és a sorrendben megelőző automatákhoz van visszacsatolva. Az  $\alpha_1$ -szorzat visszavezethető az  $\alpha_0$ -szorzatra. Ezt felhasználva a teljes rendszerek leírását Ésik Zoltán adta meg. A [4] cikkben pedig bebizonyította, hogy  $i \geq 2$  esetén az  $\alpha$ -szorzatra teljes rendszerek éppen azok, amelyek teljesek a Glushkov-féle általános kompozícióra, és amelyeket Letichevskii már jellemzett. Ez az eredmény felvetette annak lehetőségét, hogy  $i \geq 2$  esetén az  $\alpha$ -szorzat ekvivalens az általános kompozícióval. Azt, hogy ez valóban így van, Horváth Gyulával közösen igazolták. Akárhogy is vesszük automatáknak egy készletét, és akárhogyan is rögzítjük az  $i \geq 2$  számot, az általános kompozícióval ugyanazokat az automatákat állíthatjuk elő az adott készletből, mint az  $\alpha$ -szorzattal. A bizonyítás egyben egy eldöntési algoritmushoz is elvezetett arra nézve, hogy automaták véges készletéből mely automaták állíthatók elő. Számos kérdés nyitva maradt, ezek közül az egyik legfontosabb az, hogy létezik-e olyan algoritmus, mely automaták egy tetszőleges véges halmazára és egy további automatára eldönti, hogy az előállítható-e  $\alpha_0$ -szorzattal az adott készletből. (Az  $\alpha_1$ -szorzatra ez a kérdés algoritmikusan eldönthető.)

Az automaták olyan véges algebrák, amelyekben egyváltozós műveletek értelmezettek. Ezzel szemben a J.E. Doner, valamint J.W. Thatcher és J.B. Wright által bevezetett faautomaták olyan véges algebrák, amelyek tetszőleges (véges) változós számú műveletekkel rendelkeznek. Az elnevezés onnan származik, hogy a faautomaták az univerzális algebrában termeknek nevezett kifejezésekből álló nyelveket ismernek fel, a termeket pedig reprezentálhatjuk címkézett irányított fákkal. Amennyiben csupa egyváltozós műveletünk van, akkor a fának csak törzse van, és így felfoghatjuk szóként is. A faautomaták a fákat kétféle módon dolgozhatják fel, a gyökértől a levelek felé haladva, vagy fordítva, a levelektől a gyökér felé haladva. Mivel a számítástudományban a fákat megfordítva, gyökértől lefelé ábrázoljuk, az előbbit leszálló, az utóbbit felszálló faautomatának nevezzük. Megkülönböztetünk determinisztikus és nemdeterminisztikus faautomatákat is aszerint, hogy adott művelet eredménye egyértékű vagy esetleg többértékű.

Az 1970-es évek második felében Gécseg Ferenc kezdeményezte Szegeden a faautomaták vizsgálatát. Az első Magnus Steinbyvel közös cikkben a deter-

minisztrikus leszálló faautomaták minimalizálásával foglalkozott. Nevükhöz fűződik a faautomatákról szóló első monográfia [10] megírása is.

Szegeden a legtöbb eredmény a kimenettel ellátott faautomatákra, az ún. fatranszformátorokra, ill. az általuk megvalósított fát fába képező transzformációkra születtek. A fatranszformátorok a fordítóprogramokban elterjedten használt szintaxisvezérelt fordítási módszer matematikai modelljét alkotják. Automatákra az egyik legalapvetőbb kérdés az ekvivalencia eldöntése. Klaszikus, kimenet nélküli determinisztikus automaták esetében az ekvivalencia eldönthető, sőt, determinisztikus automaták esetében polinomidejű algoritmus is létezik. Kimenettel ellátott automaták esetében összetettebb a kép. Determinisztikus esetben az ekvivalencia eldönthető, míg nondeterminisztikus esetben algoritmikusan eldönthetetlen (legalábbis abban az esetben amikor egyetlen jel képe egy hosszabb szó is lehet.) Egy kimenettel ellátott automatát mutat be a második ábra. Ha az automata az  $s_0$  állapotban a 0 bemenő jelet kapja, akkor marad az  $s_0$  állapotban és a 0 jelet bocsátja ki. Ha az  $s_0$  állapotban az 1 bemenő jelet kapja, akkor átmegy az  $s_1$  állapotba, és az  $a$  jelet bocsátja ki. Az  $s_0$  állapotból indulva egy bináris szót úgy alakít át, hogy az 1 jel minden páratlan sorszámú helyébe az  $a$  jelet írja.



2. ábra

Fatranszformátorokra az eldönthetőségi kérdések vizsgálatát Ésik Zoltán kezdeményezte 1978-ban. Egyik eredménye szerint algoritmikusan eldönthető a determinisztikus leszálló fatranszformátorok ekvivalenciája, és az is, hogy egy nondeterminisztikus leszálló fatranszformátor által indukált transzformáció egyértékű-e, azaz minden bemenő fához csak egy kimenő fát rendel-e. A determinisztikus felszálló fatranszformátorok ekvivalenciájának problémája visszavezethető a determinisztikus leszálló fatranszformátorok ekvivalencia problémájára, az eldönthetőséget ebben az esetben közvetlenül Zachar Zoltán igazolta.

A fatranszformátorokra és fatranszformációkra vonatkozó szegedi eredmények másik nagy része a fatranszformációk kompozíciójával és dekompozíciójával foglalkozik. Joost Engelfriet az 1970-es évek végén bebizonyította, hogy

a fatranszformátorokkal indukálható transzformációk nem zártak a kompozícióra, és a kompozíció iterálásával végtelen hierarchiák nyerhetők. Engelfriet nyomán Fülöp Zoltán és Vágvolgyi Sándor vizsgálták a fatranszformátorok és ezek egyes részosztályai által indukálható fatranszformáció-osztályok kompozícióra való lezárását, és több esetben az így nyerhető osztályok teljes leírását adták meg. Eredményeik összefoglalása megtalálható a [8] monográfiában. Vágvolgyi Sándor, részben Fülöp Zoltánnal több eredményt ért el a termátíró rendszerek vizsgálatában is, amelyek a fatranszformátorok általánosításaként is tekinthetők. A termátíró rendszerek a formális algebrai számításokat modellezik, és fontos szerepet játszanak a szimbolikus számítási programcsomagokban és a funkcionális programozási nyelvek értelmező (interpreter) programjaiban. Fülöp Zoltán újabb eredményeiben megjelennek a súlyozott faautomaták és fatranszformátorok is. Egy közönséges fatranszformátor egy bemenő fához kimenő fákat rendel, determinisztikus esetben ez egyértelműen meghatározott. Amennyiben a bemenő fa egy nyelv egy mondatát határozza meg (annak szintaxis fája), akkor a kimenő fák a lehetséges fordításokat adják meg valamilyen nyelven. De sokszor nem elegendő csak a lehetséges fordítások meghatározása, hanem azok közt sorrendet kell meghatározni, vagy a legvalószínűbb fordítást kell kiválasztani. Az ilyen és hasonló kérdések megválaszolására vezették be a súlyozott (fa)automatákat és fatranszformátorokat, melyekre számos eredmény született Szegeden. A súlyozott faautomaták minden bemenő fát valamilyen súllyal fogadnak el, a súlyozott fatranszformátorok pedig minden lehetséges fordításhoz egy súlyt rendelnek. A súlyok egy absztrakt algebrai struktúrát, ún. félgűrűt alkotnak. A terület eredményeit összefoglaló [3] kézikönyvhöz Ésik Zoltán két, Fülöp Zoltán pedig egy fejezettel járult hozzá. A félgűrű feletti automaták központi helyet foglalnak el a [6] monográfiában is.

Kleene említett nevezetes tétele a felismerhető nyelvek algebrai jellemzését adja, a felismerhető nyelveket úgy azonosítja, mint a reguláris műveletekkel nyerhető ún. reguláris nyelveket. A felismerhető nyelvek számos más jellemzése is ismert, köztük egy logikai jellemzés, amely J. Richard Büchi, Calvin C. Elgot és Boris Trakhtenbrot nevéhez fűződik. Egymástól függetlenül igazolták azt, hogy szavak felett a monadikus másodrendű logika (az elsőrendű logika monadikus relációváltozókkal való kiterjesztése) ekvivalens az automatákkal: egy nyelvet alkotó szavak tulajdonságai pontosan akkor fogalmazhatóak meg monadikus másodrendű logikában, ha a nyelv felismerhető. Egyben egy eljárást is adtak arra, hogyan lehet automatákat logikai formulákká, ill. logikai formulákat automatává alakítani. (Módszerük katonai célt is szolgált abban az időben a szekvenciális áramkörök tervezésében és gyártásában.)

Mely nyelvek definiálhatóak a monadikus másodrendű logika frágmenseiben? Az elsőrendű logika esetében a választ McNaughton és Papert adták meg: azok a nyelvek, amelyek felismerhetőek olyan (determinisztikus) automatával, amely előállítható hurokmentes szorzattal az egység félcsoportnak megfelelő automatából. A Krohn–Rhodes-tétel szerint ezek ugyanazok az automaták, amelyekben egyetlen bemenő szóra sem képezhető nemtriviális kör, vagy más-képp kifejezve, az automata nem tartalmaz nemtriviális csoportot. A monadikus másodrendű logika további speciális eseteit kapjuk akkor, ha az elsőrendű egzisztenciális és univerzális kvantorok helyett reguláris Lindström kvantorokat tekintünk. A McNaughton–Papert-féle jellemzés általánosításaként beláttuk, hogy kölcsönösen egyértelmű kapcsolat létesíthető a monadikus másodrendű logika reguláris Lindström-frágmensei és az automaták bizonyos olyan osztályai közt, amelyek zártak a hurokmentes szorzatra, ld. [7]. Hasonló algebrai jellemzést adtunk a hardver- és szoftverrendszerek verifikálásában használt lineáris temporális logikák kifejező erejére. A vizsgálatokat a 2000-es években Ésik Zoltán és Iván Szabolcs kiterjesztették faautomatákra, fanyelvekre és elágazó temporális logikákra.

Egy függvény fixpontja egy olyan pont, amelyhez a függvény önmagát rendeli. A fixpontok fontos szerepet játszanak a matematikában és a számítástudományban is, az utóbbiban elsősorban azért, mert a rekurzív definíciók szemantikáját függvények, funktorok vagy egyéb konstruktorok fixpontjaiként adjuk meg. A számítástudományban leggyakrabban használt fixpont tételek Kleene és Tarski bizonyos részben rendezett halmazokon értelmezett monoton, ill. rendezésfolytonos függvényekre vonatkozó fixponttételei, melyek szerint ilyen függvényeknek létezik legkisebb fixpontja; a teljes metrikus terek feletti valódi kontrakciókra vonatkozó Banach-féle fixpont tétel, mely szerint ezen függvényeknek létezik egy és csakis egy fixpontja; ill. ezen tételek kategóriaelméleti általánosításai.

Említsünk néhány példát a fixpontok számítástudományi felhasználására. Minden automatához és a kezdőállapot és a végállapotok tetszőleges megválasztásához megadható olyan függvény, amely nyelvekből álló vektorokat képez le nyelvvektorokba, úgy, hogy az automata által felismert nyelv a tartalmazására nézve legkisebb fixpont valamely komponense. Hasonlóan, minden környezetfüggetlen nyelvtanhoz megadható olyan függvény, hogy a nyelvten által meghatározott nyelv a függvény legkisebb fixpontjának valamelyik komponense. Rendezzük egy halmaz feletti parciális függvényeket gráfjaik tartalmazási relációja szerint, és terjesszük ki ezt a rendezést parciális függvények vektoraira komponensenként. Ekkor minden, valamely funkcionális programozási nyelven megírt rekurzív programhoz megadható olyan funkcionál, azaz parciális függvényeken értelmezett függvény, hogy a program szemantikája, vagyis

a program által leírt függvény a funkcionál legkisebb fixpontjának valamelyik komponense. Egy további példával élve, a programozási nyelvekben kiterjedten használt rekurzív adattípusok, mint pl. fák, listák, megkaphatók úgy, mint a halmazok és függvények kategóriája bizonyos funktorainak iniciális fixpontjai. Egy adott abc feletti végtelen szavak a szokásos első eltérésen alapuló metrikával teljes metrikus teret alkotnak, így valódi kontrakciók fixpontjaival definiálhatunk végtelen szavakat, mint pl. a Thue–Morse szót:

01101001100101101001011001101001...

(Az Olvasóban bizonyára felvetődik a képzési szabály megfejtése.)

Fixpontokra és fixpontműveletekre talán az egyik legfontosabb eredmény annak igazolása volt, hogy számítástudományban leggyakrabban használt fixpontműveletek ugyanazoknak az azonosságoknak tesznek eleget. Ezen azonosságok modelljei az iterációs elméletek, melyeket egymástól függetlenül Stephen L. Bloom, Calvin C. Elgot és Jessie B. Wright, valamint Ésik Zoltán vezettek be 1980-ban. (Első cikkében Ésik Zoltán az általánosított iteratív elmélet elnevezést használta.) Bár nem létezik véges azonosságbázis, sikerült az azonosságok teljes leírását adni végtelen sok azonosság segítségével. Ezzel szemben az azonosságelmélet polinomidőben eldönthető, hatékony algoritmust adtunk annak eldöntésére, hogy egy azonosság teljesül-e. Az 1990-es évek elejéig elért eredményeket foglalja össze az [1] monográfia. Azt követően is számos eredmény született, az iterációs elméletek axiómáit is sikerült jelentősen egyszerűsíteni [5], bár valószínűleg további egyszerűsítés is lehetséges. Azt is sikerült megmutatni, hogy ún. kvázi-azonosságok segítségével az iterációs elméletek azonosságai végesen leírhatóak.

Az iterációs elméletek széles körűen felhasználásra kerültek axiomatikus kérdések megoldására. Az eredmények kiterjednek a matematika és a számítástudomány több ágára, pl. az automatákra és formális nyelvekre, relációalgebrákra, részben rendezett halmazokra és kategóriákra, processzus algebrákra, programozási logikákra stb.

Csak néhány eredményt említve, beláttuk, hogy a reguláris nyelvek azonosságai, a binér relációk Kleene algebráinak azonosságai a relációs inverz képzéssel vagy anélkül, a racionális hatványsorok azonosságai, a felismerhető (reguláris) fanyelvek azonosságai, a processzusok biszimulációs és szimulációs ekvivalenciaosztályainak azonosságai, mind relatíven végesen axiomatizálhatóak az iterációs elméletek azonosságainak felhasználásával. Sikerült lényeges haladást elérni az automaták és formális nyelvek és a processzus algebrák axiomatikus alapokra való helyezésében. Pl. Kleene klasszikus tétele és általánosí-

tásai, a környezetfüggetlen nyelvekre vonatkozó nevezetes normálforma tételek (Chomsky, Greibach), vagy Rohit Parikh híres tétele, mely szerint minden környezetfüggetlen nyelv betűekvivalens egy regulárisal, mind levezethetők az iterációs elméletek azonosságából. Sikertült megmutatni, hogy a programok helyességének bizonyítására szolgáló Hoare-kalkulus helyessége és ún. expresszív struktúrákon való teljessége is származtatható az iterációs elméletek azonosságából. A legutóbbi években sikerült általánosítani Tarski és Kleene fixpont tételeit is, és megmutatni azt, hogy a logikai programok szemantikája (negáció esetén is) jellemezhető az új fixpontművelettel.

Néhány könnyen érthető eredménnyel zárjuk a Szegedi Tudományegyetemen elért, a számítástudomány alapjait illető matematikai kutatások eredményeinek bemutatását. Bár ezek először meglehetősen speciálisnak tűnnek, mégis sokkal tovább mutatnak, mivel hozzájárulnak egy új aktív terület, a „hatékony modellelmélet” kialakulásához. Látszólag nagyon egyszerű dologról van szó. Tekintsük egy (véges abc feletti) nyelv szavainak lexikografikus rendezését. Milyen rendtípusok lépnek fel?

Pl. a  $1^*0$  nyelv lexikografikus rendezése

$$0 < 10 < 110 < \dots,$$

megegyezően a nemnegatív egész számok rendezésével. Tekintsük a  $0^*1$  nyelvet. Ennek rendezése

$$1 > 01 > 001 \dots,$$

a negatív egészek szokásos rendezése. Végül tekintsük a  $(00+11)^*01$  reguláris nyelvet, melyben minden szó  $u01$  alakú, ahol  $u$  felbontható  $x_1 \dots x_n$  alakban úgy, hogy minden egyes  $x_i$   $00$  vagy  $11$ . Könnyű megmutatni, hogy a nyelv lexikografikus rendezésében nincs első vagy utolsó szó, és bármely két szó között van egy harmadik. Így a rendezés ugyanaz, mint a racionális számok rendezése. Sikertült jellemezni a reguláris és környezetfüggetlen nyelvek lexikografikus rendezéseit, és megmutatni azt, hogy minden reguláris vagy determinisztikus környezetfüggetlen nyelv elsőrendű, ill. monadikus másodrendű elmélete algoritmikusan eldönthető. Speciálisan, a nemnegatív egészek, vagy a racionális számok rendezésének elmélete eldönthető – ezek Büchi és Rabin híres eredményei. Ugyanakkor van olyan környezetfüggetlen nyelv, amely lexikografikus rendezésének elsőrendű elmélete algoritmikusan eldönthetetlen.

Az 1970-es évektől az eredmények mintegy 400 referált cikkben és 6 könyvben kerültek ismertetésre. A kutatást több mint egy tucat OTKA-pályázat, egy ESF-pályázat és számos bilaterális pályázat (USA, Japán, Ausztria, Németország, Franciaország, Görögország, Finnország) támogatta. Gécseg Ferencet a Magyar és Finn Tudományos Akadémia, Ésik Zoltánt az Európai Akadémia tagjává választották.



## Hivatkozások

1. S.L. Bloom, Z. Ésik: Iteration theories, The equational logic of iterative processes, EATCS Monograph Series in Theoretical Computer Science, Springer, 1993.
2. P. Dömösi, Z. Ésik: Critical classes for the  $\alpha_0$ -product, *Theoretical Computer Science* 61(1988), 17–24.
3. M. Droste, W. Kuich, H. Vogler (szerk.): Handbook of weighted automata, Monographs in Theoretical Computer Science, an EATCS series, Springer, 2009.
4. Z. Ésik: Homomorphically complete classes of automata with respect to the  $\alpha_0$ -product, *Acta Sci. Math. (Szeged)*, 48(1985), 135–141.
5. Z. Ésik: Group axioms for iteration, *Information and Computation*, 148(1999), 131–180.
6. Z. Ésik, W. Kuich: Modern automata theory, available online, <http://www.dmg.tuwien.ac.at/kuich/>
7. Z. Ésik, K.G. Larsen: Regular languages definable by Lindström quantifiers, *Theoretical Informatics and Applications*, 37 (2003), 179–241.
8. Z. Fülöp, H. Vogler: Syntax-directed semantics – Formal models based on tree transducers, Monographs in Theoretical Computer Science, an EATCS series, Springer, 1998.
9. F. Gécseg, I. Peák: Algebraic theory of automata, Akadémiai Kiadó, 1972.
10. F. Gécseg and M. Steinby: Tree automata, Akadémiai Kiadó, 1986.

## *Optimalizálás*

A Számítógépes Optimalizálás Tanszék ilyen néven 2008 óta szerepel, korábban az Alkalmazott Informatika Tanszék nevet viselte. Ilyen szervezeti egység több is volt, kissé eltérő profillal. Az Informatika Tanszékcsoport kialakulása során a főként a korábbi Kibernetikai Laboratórium kutatási feladatokat végző munkatársaiból állt. A 2008-as névadás annak a következménye volt, hogy eddigre kialakult és letisztult az oktatási és kutatási profil, amely a leginkább a numerikus módszerek és az operációkutatás tárgyainak tanítását jelentette az oktatók saját kutatási érdeklődésének megfelelő részterületek művelésével.

A bemutatandó néhány kutatási terület az utóbbi 1-2 évtized munkáját jellemzi. Erre az időszakra esik néhány kollégánk PhD-értekezésének megvédése, kettő kivételével mind az egyetemünkön történt:

- a) Bánhelyi Balázs: Dinamikus rendszerek kaotikusságának és stabilitásának vizsgálata megbízható számítógépes módszerekkel, 2007
- b) Blázsik Zoltán: Domináló csúcsok szerepe hálózati folyamatok tervezésében, 2008
- c) Kovács Zoltán: Szétválasztási rendszerek szintézise: matematikai modell algoritmikus generálása, 2000, Pannon Egyetem
- d) Pluhár András: Positional Games on the Infinite Chessboard, Rutgers, 1994
- e) Szabó Péter Gábor: Egybevágó körök pakolásai négyzetben – korlátok, ismétlődő minták és minimálpolinomok, 2005
- f) Vinkó Tamás: Globális optimalizálási módszerek továbbfejlesztése, tesztelése és alkalmazása atomklaszter feladatokra, 2006
- g) Született egy MTA doktora fokozat is: Csendes Tibor: Reliable optimization, methods and applications, 2007.

## **Módszertani fejlesztések az optimalizálásban**

Talán ez a kutatási téma volt a legnagyobb volumenű, és a tanszéki kutatások nagy része besorolható ide. Nagyon gyakori gyakorlati feladatok megoldása során, hogy a vizsgált rendszer működését szabályzó föltételek teljesülése mellett a valamilyen szempontból legkedvezőbb viselkedés paraméterezését

keressük. Amennyiben a főtételi függvények vagy a célfüggvény valamelyike nemlineáris, akkor nemlineáris optimalizálási feladatról beszélünk. Gyakran a nemlinearitás nem az egyetlen gond, de a megoldások között számos helyi optimum is lehet. Ebben az esetben globális optimalizálási feladatot kell megoldanunk. Évtizedekkel ezelőtt ez a feladat olyan nehéznek számított, hogy a nemlineáris optimalizálási monográfiák föl sem vetették az összes vagy a legjobb helyi szélsőérték meghatározásának problémáját.

Az utóbbi évtizedek nagy fejlődéséhez a tanszékünk is hozzájárult. Így kidolgoztunk egy olyan sztochasztikus globális optimalizálási eljárást GLOBAL néven, amely hatékonyan képes jó közelítést adni a globális szélsőértékre és a globális minimumpontra. Ennek jelenleg elérhető FORTRAN C és Matlab implementációja. Az algoritmust több cikkben is összehasonlítottuk, korszerű hasonló módszerekkel, és dokumentáltuk azon feladatok körét, amelyekre eredményesen és jó hatékonysággal használható. A programcsomagot több ezren letöltötték már, többek között vezető kutatóhelyekről, és neves ipari alkalmazók is. A 80-as években fejlesztett algoritmus legutóbb 2008-ban igazolta, hogy a tartja a lépést megbízhatóság és hatékonyság terén a közben kifejlesztett módszerekkel.

A másik nagy fejlesztési irány az intervallum aritmetikán alapuló megbízható globális optimalizálási eljárás fejlesztése volt. Ezek a módszerek valós függvények kiértékelése helyett úgynevezett befoglaló függvényeket használnak, amelyek az argumentumokat egy többdimenziós intervallumon értelmezve korlátot tudnak adni a vizsgált függvény értékkészletére. A módszer használhatósága nyilván a korlátok minőségén múlik. Az utóbbi évtizedek fejlődésére támaszkodva olyan algoritmust dolgoztunk ki, amely általános problémaosztályon képes a globális optimum meghatározására kivárható számítási idő alatt. A függvények kiértékelése 4–35-ször több időbe kerül intervallumos formában, mint a hagyományos valós függvény kiszámítása lebegőpontos számokkal. A megbízható optimalizálás ugyan általában nagyobb műveletigényű, mégis vannak olyan feladatok, amiket ezzel a fejlettebb módszertannal gyorsabban lehet megoldani. A fejlesztés során tisztáztuk az intervallumok fölosztási irányának legkedvezőbb megválasztási módját, valamint azt, hogy a földolgozás alatt álló részintervallumokból melyiket érdemes ahhoz kiválasztani a további földarabolás céljából, hogy a teljes módszer hatékonysága a lehető legjobb legyen.

Vinkó Tamás a Bécsi Egyetemen dolgozó kollégáinkkal összeállított egy olyan nagy méretű nemlineáris optimalizálási tesztrendszer, amelynek segítségével megbízhatóbban lehet a korlátozás nélküli, a korlátozott optimalizálási feladatokat megoldó, és a tisztán adott korlátokat kielégítő pontokat megkereső algoritmusokat összevetni.

## Káoszkeresés

A káosz hétköznapi jelenségek körében a kiszámíthatatlanságot, a rendezetlenséget jelenti. A differenciálegyenletekkel leírt dinamikus rendszerek esetében akkor beszélünk káoszról, ha a kezdőpont tetszőlegesen kis megváltoztatása is eredményezhet bármilyen kimenetelt a megoldásban később. Numerikus szempontból ez épp a kezelhetetlenség szinonimája. Számos dinamikus rendszer volt ismert, amelynek a kaotikus viselkedésére jeleket lehetett fölismerni, de a kaotikusságot mégsem igazolták. Ilyen volt például a nagyon egyszerű Hénon leképezés:  $H(x,y) = (1+y-1,4x^2, 0,3x)$ . A káosz léte bizonyításához az úgy nevezett Smale-patkót kellett megkeresni: egy egyszerű geometriai tulajdonságokat fölmutató halmazt a vizsgált tartományban. A keresésre az általunk korábban fejlesztett sztochasztikus globális optimalizálási eljárásra és az intervallum aritmetikán alapuló korlátozás és szétválasztás módszerre is szükség volt. Ezekkel sikerült igazolni az Hénon leképezés számos iteráltjának kaotikusságát, és egyfajta katasztert, általános leírást tudtunk adni a leképezés viselkedésére.

A káosz keresése során virtusból minél egyszerűbbnek ismertről érdekes kimutatni a kaotikusságot. J.H. Hubbard 1999-ben az American Mathematical Monthlyban közölt cikkében a kényszerrezgéses fékezett inga viselkedésének kaotikusságára utalt, de bizonyítani nem tudta. Garay Barnával és Hatvani Lászlóval teljes körű bizonyítást adtunk 2008-ban erre. Az új eredmény a napilapokba is belekerült, többek között az Index és a Frankfurter Rundschau is említette.

## Dinamikus rendszerek megbízható módszerei

A káosz keresése és igazolása céljából kidolgozott megbízható számítógépes eljárásoknak késleltetett differenciálegyenletek megoldására is alkalmas változatát adta meg Bánhelyi Balázs. Ezt közvetlenül az  $y'(t) = -\alpha (e^{y^{(t-1)}} - 1)$  késleltetett differenciálegyenletre vonatkozó, E.M. Wrighttól származó közel 60 éves sejtés igazolására használtuk föl. Hardy és Wright híres számelméleti könyvével szokták matematikai könyvtárak minőségét mérni (ha megvan a kötet, akkor jó). A bizonyítás szétválaszthatatlanul egy elméleti eredmény és egy garantált megbízhatóságú számítógépes becslési séma együttes alkalmazása révén vált lehetővé. A sejtés maga egy számelmülethez és közgazdasági alkalmazásokhoz kapcsolódó késleltetett dinamikus rendszer, amire Wright

azt sejtette, hogy a modell  $\alpha$  paramétere 1.5 és  $\pi/2$  közti értékeire is nullához tart a megoldás. Wright ezen intervallum kis részére igazolta az állítást, egy további szakaszra sejtette, hogy a módszere működik, de a zöme az intervallumnak évtizedekig nyitott volt.

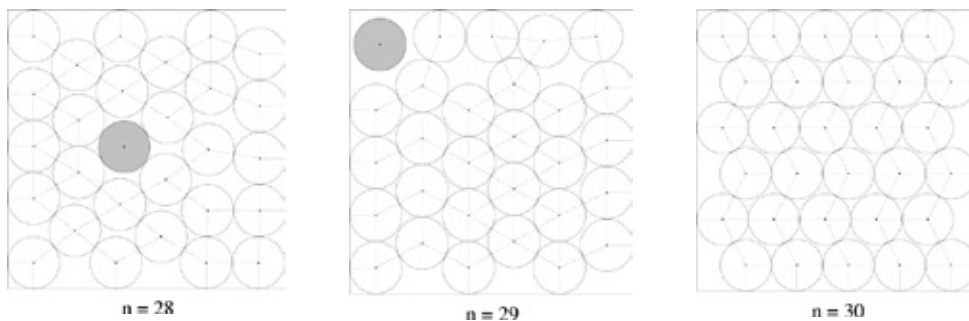
A sejtésben szereplő nyitott intervallum több mint 99%-ára sikerült igazolni a sejtést. Ugyan további számítások árán tovább javítható ez az arány, de sajnos az összeállított módszer láthatóan nem lehet képes a teljes intervallumon igazolást adni. A dinamikus rendszerek matematikai bizonyító erővel való megoldhatóságát illetően mégis nagyon biztató az eredmény, hiszen a késleltetett rendszerek végtelen dimenziós közönséges differenciálegyenleteknek felelnek meg. Az is a számítógépes eljárás kifinomultságát jelzi, hogy az eredeti sejtésnek van olyan megfogalmazása, amelyben olyan végtelen elemszámú összegek, sorok nulla voltának bizonyítását jelenti, amelyeknek tagjai váltakozó előjellel, de exponenciálisan nőnek. Ez a szokásos számítógépes architektúrákon nyilvánvalóan kezelhetetlen.

## Körpakolás

Egyszerűen megérthető feladat adott számú egybevágó körnek a legsűrűbb elhelyezése az egységnégyzetben. Nyilván nem engedjük meg a körök átlapolását, és a négyzet határát is csak érinthetik a körök, de nem érhetnek azon túl. A probléma a diszkrét geometriai feladatok közé tartozik. Már a kilencvenes évek elején kísérletet tettünk sztochasztikus, majd intervallum aritmetikára alapozott megbízható módszerrel is a legkedvezőbb konfigurációk meghatározására. Az első megközelítés viszonylag gyorsan jó közelítő eredményt tud szolgáltatni, számos tudományos közlemény jelent meg e témában, és egy internetes adatbázis is elérhető a Packomania oldalain. Az első megbízható, matematikai bizonyítóerővel rendelkező eredményeinkre viszont sokat kellett várni. A feladat természetes megfogalmazási formája reménytelenül nehéz volt az ilyen korlátozás és szétválasztás típusú módszereknek. Az áttörést a 2000-es évek elején ismert legkorszerűbb trükkök (mint az ún. csempézés) bevetése és ezek gondos implementálása hozta meg. A 28–30 kör elhelyezésére vonatkozó eredményünket elsőként értük el, és azóta sem sikerült az ennél nehezebb, magasabb körszámmal járó esetek megoldása – bár a módszertant is leíró könyvünkhöz mellékeljük a programjaink kódját.

A körpakolási feladatokkal kapcsolatban számos részeredményt is publikáltunk, így az ún. rácspakolásokról (amelyek jól szerkeszthetők, és így köny-

nyebben alkalmazhatók), valamint a körpakolási feladatok és egyes egész együtthatós magas fokszámú polinomok gyökei közti összefüggésről. Később Bánhelyi Balázs és Lévai Balázs sikeresen foglalkozott a körökkel való leg-ritkább fedéssel is.



1. ábra. 28, 29 és 30 egybevágó, maximális sugarú kör pakolása a négyzetbe.

A szürke színnel jelzet körök szabadok, tehát ezek kis mozgatása mellett is megmarad az optimalitás.

Az 1. ábrán is látható szabad körök az amúgy is reménytelenül nehéz feladat megoldásának további keménységét jelzik, hiszen ezek létezése azt jelenti, hogy globálisan optimális pontból nemcsak hogy végtelen sok van, de ezek mértéke pozitív is.

## Gráfmenti adatbányászat

A fő cél a komplex pénzügyi modellek felépítésnek a támogatása volt. A predikció egy megfelelően felparaméterezett tranzakciós (fraud esetén metszet) gráf fertőzési modelljén történhet. Ehhez a következő problémákat vizsgáltuk, illetve oldottuk meg: a ritka gráfszerkezetre kiterjesztett regularitási vizsgálatok, mely felhasználható a különböző módszerekkel generált véletlen gráfok felbontására. A gráfok felépítése (az OTP és Complex adatbázis szűrése, transzformációja). A megfelelő paraméterek kinyerése, statisztikák és főként a közösségkeresés algoritmikus vonatkozásai. A közösségkereső algoritmusok egyéb (nyelvészeti) alkalmazása. A fertőzés szimulációkon és approximációkon alapuló hatékony kiszámítása. Ezen belül a részleges és teljes szimulációk a teljes kezdeti eloszlás transzformálására és a lineáris algebrai modell sebességének/pontosságának a vizsgálata a különböző modellekre. Tanuló algoritmus kifejlesztése, amely a múltbeli adatok alapján meghatározza az élfertőzési

valószínűségek értéket a relevánsnak ítélt paraméterek függvényében (inverz fertőzési modell). A fenti eredmények módszertanná alakítása, esettanulmány az OTP KKV szektor cégeinek kredit default valószínűségek becslésére, amely felülmúlja/kiegészíti a korábbi egyedi statisztikán alapuló módszereket.

## Folyamatszintézis

Friedler Ferenc és L.T. Fan egy speciális páros gráffal modellezte a vegyipari folyamatokat. Ennek alkalmazási területei szélesítésében, valamint elméleti vizsgálataiban több szegedi kutató vett részt, a tanszékünkéről Blázsik Zoltán és Kovács Zoltán. A leírás lényege, hogy a folyamatokban részt vevő anyagok egy-egy bemeneti részhalmazából feldolgozó egységek előállítanak egy-egy kimeneti részhalmazt. Szegeden főleg a gyártani kívánt anyagok, nyersanyagokból történő optimális előállítását vizsgáltuk, csak a feldolgozó egységek működési költségeit tekintve. Kiderült, hogy a PNS ezen speciális formája egy fontos NP-teljes probléma, így számos egészen eltérő tudományterületen is sikerrel alkalmazható. A kombinatorikus bonyolultság miatt heurisztikus algoritmusokat terveztünk és jól-megoldható probléma osztályokat definiáltunk.

## Hálózatos optimalizálás

Az utóbbi évek divatos kutatási területe a nagy méretű hálózatok vizsgálata, és ezen belül is a hálózati jellegű rendszerek működésének optimalizálása. Ide tartoznak a pletykaalapú teljesen elosztott számítási rendszerek és a peer-to-peer rendszerek, amelyekkel hatékony és eredményes adattárolás valósítható meg. Ilyen a BitTorrent közösség rendszere, amelynek belső jutalmazási rendszerének optimális beállításával foglalkozott Vinkó Tamás. Tekintettel az ilyen jellegű szolgáltatások gyors terjedésére, a nyitott vezérlési, befolyásolási kérdések megválaszolása fontos. A hálózati alapú optimalizálás drámai hatással rendelkezhet az érintett szolgáltatás hozzáférési sebességére, a letöltések sebességére.

Lazán ide köthetők azok a vizsgálataink is, amelyek keretében a gráffal megadott összefüggések segítségével a minőség kimutatására tettünk kísérletet tudományometriai, illetve borkóstolási adatokra alapozva. Az első esetben az összefüggést nyilván a cikkek hivatkozásai adták. A borkóstolás esetén pedig a természetesen adódó páros gráfra alkalmazott ésszerű súlyozással adódó hálózatra alkalmaztunk PageRank, illetve HITS típusú algoritmuso-

kat. Az első empirikus eredményeink kifejezetten biztatók: sikerült Egerváry Jenő híres magyar nyelvű cikkének fontosságát alátámasztani, illetve több borfesztivál adatai alapján plauzibilis, a vártnak megfelelő rangsort sikerült találni a tesztekben résztvevő szakértők között.

## Szimbolikus módszerek az optimalizálásban

Optimalizálási feladatok megoldása során gyakran érdemes a feladat kedvező ekvivalens alakjait megkeresni, mert a megoldás minősége, megbízhatósága és műveletigénye szempontjából lényegesen jobb formák is lehetnek. Egy 1993-as ötlet alapján Antal Elvira doktorandusz és Virágh János megadta egy olyan implementációját az eredeti javasolt algoritmusnak, amely Maple számítógépes algebra rendszerre támaszkodva képes volt egyszerűsíthető optimalizálási feladatok automatikus átalakítására. Az eredeti módszer ugyan olyan lépésekkel dolgozott, amelyek mind megoldhatók voltak ilyen szimbolikus számítási környezetben, de számos technikai részlet nyitott volt. Ez a magyarázata annak is, hogy a Maple implementációban jelentkező olyan hibákat, amelyeket a Maple hibás vagy nem teljes eljárásai okoztak, a hasonló Mathematica rendszerben való újratelepítés meg tudta szüntetni. Az átalakítás képes kimutatni a képletekben meglévő redundanciát, megadva azt az összefüggést, amelynek a behelyettesítésével a feladat dimenziója csökkenthető – miközben az eredetivel ekvivalens problémát kapunk, tehát a helyi minimumhelyek egymásnak egyértelműen megfeleltethetők a régi és az új alakra vonatkozóan.

Jelenleg olyan eljárásunk van, amely lényegében minden olyan feladatot tud egyszerűsíteni, amelyre az eredeti algoritmust tervezték. Van lehetőség további kiterjesztésre is, és előttünk áll még a hálózati változat kidolgozása, és olyan átíró rendszer kifejlesztése, amely képes az intervallum aritmetikán alapuló befoglaló függvények közül azt javasolni, amely a legkisebb túlbecslést adja az értékkészlethez képest.

## Ipari projektek

A Számítógépes Optimalizálás Tanszék alkalmi jelleggel korábban is foglalkozott ipari, illetve gazdasági problémák megoldásával. Ez a fejlesztési, alkalmazott kutatási vagy innovációs munka az utóbbi években megerősödött. Az első fázisban közvetlen megkeresések nyomán kerültünk kapcsolatba a megbízókkal, később zömében a KNRET által szervezett munkákat végeztünk részben



az innovációs járulékok, részben a GOP pályázatok támogatásával. Ezen lehetőségek háttérbe szorulásával, illetve lényegében az eltűnésükkel a megbízások darabszáma is és volumene is csökkent. Ennek ellenére számos korábbi megbízónk keresett meg bennünket ismételten. Erre külön büszkék vagyunk, és persze minden projekt esetén gondot fordítottunk arra, hogy a vállalkozások elégedettségéig vigyük az adott megbízás teljesítését.

Az ilyen alkalmazott kutatási projektek szerződés-kötését, a kapcsolódó eljárások tervezését, a munka irányítását, valamint a megbízóval való egyeztetést oktatók végezték; az implementálást, az adatok előkészítését, az algoritmusok tesztelését és alkalmazását pedig hallgatók. Ez a szerkezet nagyon sikeresnek bizonyult, volt időszak, amikor a tanszékcsoporthoz köztársasági ösztöndíjas hallgatói egy kivételével mind a tanszékünk ipari projektjein dolgoztak. Ennek nyilvánvaló oka az volt, hogy a kapott feladatok sokrétűek voltak, érdekes matematikai modellezési és algoritmusfejlesztési részfeladatokat jelentettek.

*LED alapú közvilágítás.* Az egyik legérdekesebb feladatunk olyan világítótest tervezése volt, amely kihasználva a LED-es világítótestek hatékonyságát, a közvilágítás számára olyan összetett világítótestet ad meg, amely az érvényes törvényi szabályozásnak megfelelő, gazdaságilag és a működés szempontjából kedvező megoldást kínál. A kapcsolódó nemlineáris optimalizálási feladat ijesztőnek tűnt, hiszen 2–300 változós térben erősen nemlineáris célfüggvényt kellett minimalizálni súlyos korlátozó föltételek mellett. A megoldásra talált kombinált eljárás háztartási laptop számítógépen kb. fél óra alatt adott a véglegeshez nagyon közeli minőségű megoldást, fél nap alatt pedig tovább már más eszközzel sem javítható közelítést lehetett vele kapni. Vizsgáltuk a grafikus processzorok kínálta párhuzamosítás előnyét (tetemes), és érzékenységvizsgálattal biztosítottuk, hogy az ajánlott megoldások kissé eltérő feladatra is jó eredményt szolgáltatnak. A fejlesztés eredményét a megbízó szabadalmaztatta is, az eredetiség-vizsgálat arra jutott, hogy az alkalmazott eljárások közül a mi optimalizálási módszerünk volt eredeti. Az első világítótesteket legyártották, ezeket Tatabányán üzembe is helyezték. Az elvégzett munkából díjazott tudományos diákköri dolgozat is született.

*Időalapú villamosjegy hatásvizsgálata.* A Szegedi Közlekedési Társaságtól kaptuk a megbízást, hogy tisztázzuk az időalapú menetjegyek bevezetésének hatását a vállalat fő eredményességi mutatóira. A megoldáshoz mikroszimulációt alkalmaztunk a szegedi tömegközlekedés előzetesen kidolgozott, és 2 utasszámlálási vizsgálat eredményéhez igazított modelljére. A város szociológiai modelljét és részletes menetrendjét fölhasználva megadtunk olyan

sztochasztikus modellt, amely az elvárható pontossági határon belül helyesen volt képes szimulálni egy-egy nap bekövetkező tömegközlekedési terhelését. Az alkalmazott mikroszimulációs eljárás ezután meg tudta mutatni a hatását a különböző ésszerűnek tűnő időalapú jegyek alkalmazásának. Az eredményünk tömören összefoglalva az lett, hogy tudtunk olyan konstrukciót mutatni, amellyel mind az utasok száma, mind a megtett utaskilométer, mind a bevétel nőtt. A szegedi tömegközlekedés meglévő jegyérvényesítő eszközei különben azonnali bevezetést is lehetővé tesznek: bízunk benne, hogy hamarosan sor kerülhet az időalapú jegyek bevezetésére. Az elvégzett munkából OTDK II. díjas dolgozat is született.

*Minimális szenzorrendszer hiba előrejelzéséhez.* Az Antarktisz Kft. megbízásából kritikus alkalmazási környezetben (pl. műtőkben) működő klíma- és szellőztető rendszerek időben való karbantartásához dolgoztunk ki olyan érzékelő rendszert, amely minimális számú érzékelő alkalmazásával képes helyes korai előrejelzésre, és így az üzemkiesések időtartamát és az okozott kárt érdemben lehet csökkenteni. A projektet a Műszaki Informatika Tanszékkel közösen valósítottuk meg. A munka első fázisában egy tesztrendszert alakítottunk ki, számos érzékelőegységgel típus és elhelyezés szempontjából. Meghatároztuk a jellemző hibatípusokat, és megvalósítottuk azok mesterséges kiváltását. Ezután vizsgáltuk az érzékelők jeleinek olyan értelmes tömörítési formáit, amelyek alkalmasnak tűntek a keresett jelenségek korai fölismerésére. Miután sikerült elérni az elvárható érzékenységet és korai előrejelzési képességet, a szenzorok olyan részhalmozait kerestük, amelyek képesek maradnak az elvárt tucatnyi hiba előrejelzésére, de a lehető legkisebb darabszám és alkalmas elhelyezés révén hatékonyan használhatók. Az elvégzett munkából díjazott tudományos diákköri dolgozat is született.

*Mobiltelefonos alkalmazás NFI alapú azonosítók fölismerésére.* Értékes termékek, értékpapírok eredetiségének igazolására egy új technológia természetes módon kialakított egyedi azonosítót használ (Natural Feature Identification): homogén festékbe kevert csillámló részecskék véletlen elhelyezkedése ad erre lehetőséget. Ezeknek a címkéknek a profi fölismerése persze megoldott, de a módszertan elrettentő erejét lényegesen lehet növelni azzal, ha egy egyszerű mobiltelefon kamerája segítségével is lehet adni egy kevésbé megbízható, de a figyelmeztetésre alkalmas eredményességű jelzést. Ezt a módszert dolgoztuk ki a Képfeldolgozás és Számítógépes Grafika Tanszékkel közösen. A megbízó által kitűzött célt sikerült elérni, a továbbfejlesztés ügyében épp a napokban kerestek meg ismét.

*Vállalatirányítási rendszer és termelésütemezés.* A leghosszabb ideig tartó együttműködésünk egy autóiipari beszállító multival volt. Az első feladatunk a gyártósor ütemezésének optimalizálása volt. A különféle gyártmányok előállítási sorrendje az átállás ideje és költsége miatt fontos. A kidolgozott algoritmusunk valós időben volt képes a művezető döntéseit jó minőségben támogatni, kritikus esetben akár kiváltani is. A teljes gyártást szimuláló modellünkkel lehetővé vált havária helyzeteket előre tanulmányozni, és a gépsorok kiegészítését ennek megfelelően tervezni. A kifejlesztett algoritmus kiválóan alkalmas volt az üzem auditálása során való használatra is. A legnagyobb volumenű munkánk több részüzem gyártásirányítási munkáit támogató vezetői információs rendszer volt. A korábbi esetleges, több program formátumát alkalmazó módszertan helyett a folyamatirányítás korszerű módszereit figyelembevevő, autentikált, naplózott, a jogosultságoknak megfelelően fölépített rendszer a vállalatirányítás minőségét érdemben tudta javítani. A munka által megkívánt adatszolgáltatás sokat jelentett a cég középvezetőinek is a tényleges információáramlás megismerésével és a korábbi hibák elkerülésével.

Az itt leírt újabb projektjeinken túl a korábbiakról tömör leírás érhető el a cikkünk végén megadott internetes linkek között.

## Irodalom:

- B. Bánhelyi, T. Csendes, B.M. Garay, and L. Hatvani: A computer-assisted proof for Sigma<sub>3</sub>-chaos in the forced damped pendulum equation. *SIAM J. on Applied Dynamical Systems* 7(2008) 843–867
- B. Bánhelyi, T. Csendes, T. Krisztin, and A. Neumaier: Global attractivity of the zero solution for Wright's equation. *SIAM J. on Applied Dynamical Systems* 13(2014) 537–563
- Z. Blázsik, Cs. Holló, B. Imreh, Cs. Imreh, and Z. Kovács: On bottleneck and k-sum versions of the Process Network Synthesis problems. *Novi Sad Journal of Mathematics* 30 (2000) 11–19
- T. Csendes and D. Ratz: Subdivision direction selection in interval methods for global optimization, *SIAM J. Numerical Analysis* 34(1997) 922–938
- I. Heckl, Z. Kovacs, F. Friedler, L.T. Fan, and J. Liu: Algorithmic synthesis of an optimal separation network comprising separators of different classes. *Chemical Engineering and Processing* 46(2007) 656–665

- A. Neumaier, O. Shcherbina, W. Huyer, and T. Vinkó: A comparison of complete global optimization solvers. *Mathematical Programming* 103(2005) 335–356
- A. Pluhár: Greedy colorings of uniform hypergraphs. *Random Structures and Algorithms* 35(2009) 216–221
- P.G. Szabó: Optimal substructures in optimal and approximate circle packings, *Beiträge zur Algebra und Geometrie* 46(2005) 103–118
- P.G. Szabó, M.Cs. Markót, T. Csendes, E. Specht, L.G. Casado, and I. García: *New Approaches to Circle Packing in a Square – With Program Codes*. Springer, Berlin, 2007.
- T. Vinkó, F. Santos, N. Andrade, and M. Capotă. On swarm-level resource allocation in BitTorrent communities. *Optimization Letters*, 7(2013) 923–932

## Kapcsolódó internetes linkek

- Packomania: [www.packomania.com](http://www.packomania.com)
- Ismertető hír a Wright-sejtés igazolásáról: [http://www.inf.u-szeged.hu/~csendes/szegedi\\_hirek\\_131206.avi.mp4](http://www.inf.u-szeged.hu/~csendes/szegedi_hirek_131206.avi.mp4)
- Egy szabadegyetemi előadás a megbízható számítógépes eljárásokról: <http://www.u-szeged.hu/szabadegyetem-szeged/vii-szemeszter/megbizhato-szamitogepes?objectParentFolderId=16164>
- És egy másik érdekes optimalizálási problémáról: <https://www.u-szeged.hu/szabadegyetem-szeged/xiii-szemeszter/erdekes-optimalizalasi?objectParentFolderId=24714>
- Egy körpakolási applet: <http://www.inf.u-szeged.hu/~csendes/pack.html>
- A Számítógépes Optimalizálás Tanszék ipari projektjeinek egy kicsit régi ismertetője: [http://www.inf.u-szeged.hu/tanszekek/alkalmazott-informatika/inf\\_ipari\\_proj.xml](http://www.inf.u-szeged.hu/tanszekek/alkalmazott-informatika/inf_ipari_proj.xml)
- A kényszerrezgéses inga kaotikusságáról szóló rádióinterjú: <http://www.inf.u-szeged.hu/~csendes/Hatvani.mp3>
- A sztochasztikus GLOBAL és egy intervallum aritmetikán alapuló korlátozás és szétválasztás algoritmus letölthető több nyelven: <http://www.inf.u-szeged.hu/~csendes/Reg/regform.php>

## *Szoftverfejlesztés és műszaki informatika*

### **Szoftverfejlesztés**

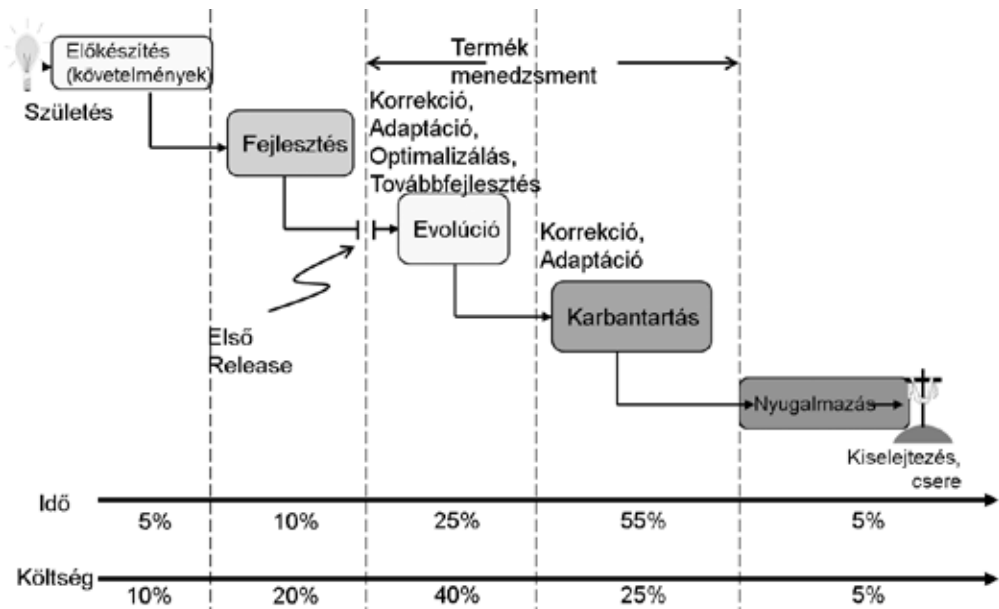
A számítógépek, a számítástechnika rendkívül látványos fejlődésének lehetünk tanúi az elmúlt évtizedekben. A XX. század második felében létrehozott elektronikus számítógép megjelenését követően olyan eszközök és technológiák kerültek kifejlesztésre, amelyek alapvetően befolyásolták, sőt megváltoztatták a modern társadalmak életét. Ennek a mélyreható változásnak az egyik, könnyebben észrevehető aspektusa a számítógépek alkatrészeinek, a hardvernek a fejlődése, amelyet a miniatürizálás egyre magasabb foka és a teljesítmény folyamatos növekedése jellemez. A másik aspektus a szoftver, mely legalább annyira fontos, de nehezebben érhető tetten, hiszen jelenléte nem annyira nyilvánvaló. A kezdeti hatalmas méretű, csak képzett személyzet által működtethető számítógépeket először felváltották a személyi számítógépek, majd az egyre kisebb méretű számítástechnikai eszközök. A méretcsökkenést az internet kialakulása és elterjedése is elősegítette, napjainkban mindennapi használati tárgyaink nagy részét el sem tudnánk képzelni hálózati funkciók nélkül. A számítástechnikai eszközök működését vezérlő szoftverek fejlesztésének módszertana, technológiája együtt fejlődött a hardvereszközökkel. Kezdetben a hardver értéke határozta meg az eszközök piaci értékét, de ez az arány mára sok esetben megfordult, vagyis a működést vezérlő szoftverek az értékesebbek. Mindez annak köszönhető, hogy a felhasználók által elvárt és megszokott színvonalú funkciók megvalósításához rendkívül összetett szoftverre van szükség. A szoftverfejlesztés mára egy nagyon szerteágazó, világ-gazdasági szempontból is meghatározó iparággá fejlődött. A szoftverfejlesztéssel foglalkozó kutatók és szakemberek célja, hogy ezt a diszciplínát a többi mérnöki tudományhoz hasonlóan olyan szintre emelje, amely lehetővé teszi, hogy szabványosított módszerek és módszertanok alkalmazásával megbízható, a felhasználói igényeknek minél jobban megfelelő termékeket állíthasson elő.

#### *A szoftverfejlesztési folyamat*

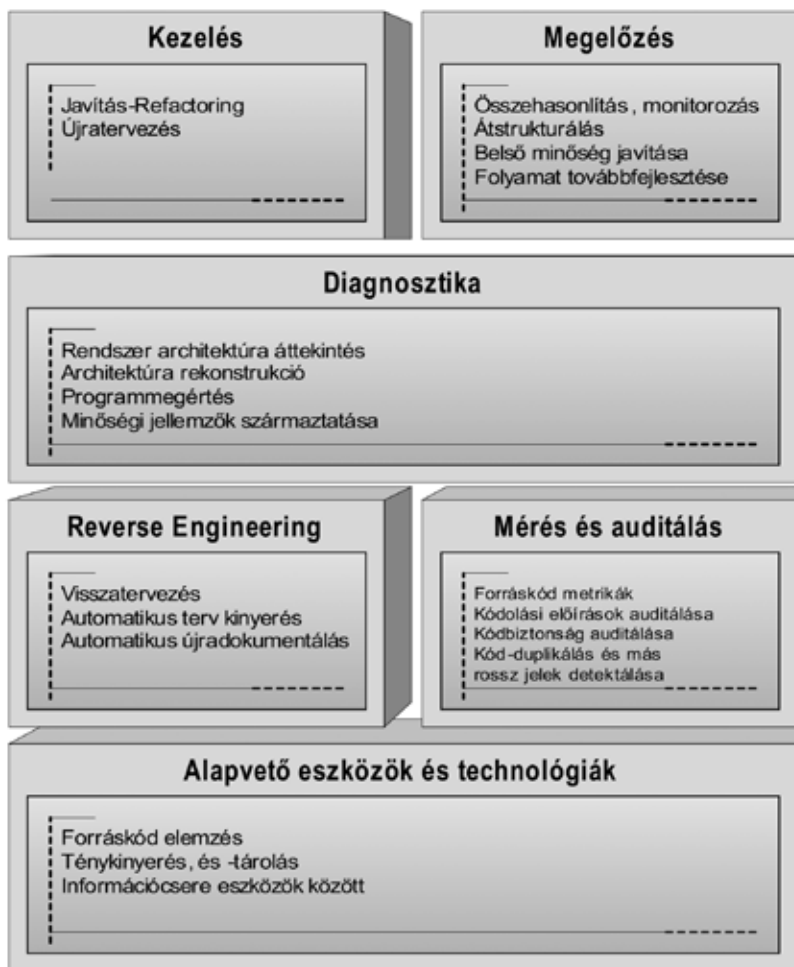
A szoftverfejlesztés széles körben elterjedt, ún. agilis módszertana szerint a fejlesztés egymást követő rövid fejlesztési ciklusokra tagolódik, amelyek

során a szoftverrendszer fokozatosan nyeri el végső formáját. A rövid fejlesztési ciklusok, a gyors változtatási igények és gyorsan változó környezet sok szempontból megváltoztatták a fejlesztési gyakorlatokat, ezért az egyes fejlesztési fázisokban végzendő tevékenységek új megközelítéseket követelnek meg. A szoftverfejlesztési folyamat fő fázisai:

- **Követelménymenedzsment:** a készítendő szoftverrel szemben támasztott követelmények meghatározása és dokumentálása, a fejlesztés alapját képező specifikáció elkészítése.
- **Tervezés:** a szoftver architektúrájának, komponenseinek és a komponensek közötti kapcsolatoknak a megtervezése. A legelterjedtebbek az objektumorientált, modell alapú tervezési módszerek.
- **Implementáció:** A szoftver forráskódjának előállítás. A fejlesztők számos integrált programfejlesztő rendszer közül választhatnak.
- **Validáció:** Annak ellenőrzése, hogy az elkészített szoftver megfelel-e a specifikációnak. Ebben a fázisban elsősorban nyomkövetés és tesztelés történik, amelyek együtt a teljes fejlesztési költség jelentős hányadát tehetik ki. Korábban a fejlesztés többi fázisánál kevesebb figyelmet kapott a tesztelés, a jelenlegi trendek szerint a tesztelési folyamatok kutatása, és megfelelő, szabványosított elvek szerinti alkalmazása egyre nagyobb hangsúlyt kap.



1. ábra. Tipikus ráfordítások a szoftverfejlesztés során



2. ábra. Forráskódalapú minőségbiztosítás

### *Szoftverevolúció, minőségbiztosítás*

A szoftverfejlesztési fázisokon, illetve az egyes fejlesztési módszertanokon túl beszélhetünk szoftverevolúcióról, amely a kifejlesztett termékkel kapcsolatos hosszú távú továbbfejlesztési és karbantartási tevékenységek összefoglaló neve. Az evolúció során kerülnek előtérbe azok a tevékenységek, amelyek a minőség szinten tartására, a minőségromlás megakadályozására hivatottak. Az 1. ábrán az evolúciót középpontba állítva láthatjuk egy tipikus fejlesztési projekt esetén az egyes kapcsolódó tevékenységekre fordított időt és költséget.

A szoftver minőségének folyamatos mérése lehetővé teszi a hibák korai felfedezését, ezzel együtt a költségek alacsonyan tartását. A 2. ábrán csoportosítva láthatjuk a minőség javítására irányuló tevékenységeket, ezek közül az alábbiakat emelhetjük ki:

- Minőségmérés és monitorozás, amely mögött a szoftvermetrikák és minőség modellek állnak. Mindez monitorozó eszközök bevezetésével valósul meg a gyakorlatban, ezek állhatnak különálló komponensekből (architekturális vizsgálatok, kódolási szabálysértésellenőrző, klóndetektáló, ellenminta-detektáló, alacsony-, illetve magas szintű metrikák kimutatására alkalmas eszközök), vagy végezhető integrált megoldások segítségével is.
- Refaktoring, amelynek során a program szerkezetén úgy hajtanak végre változtatásokat, hogy az jobb minőségű kódot eredményezzen, miközben a funkcionalitást ne befolyásolja. A nem megfelelő minőségű programkód javítása során ezzel a módszerrel biztosítható, hogy egyes hibák javítása ne okozza új hibák megjelenését a rendszerben.

A fejlesztési folyamat csak akkor eredményez jó minőségű szoftvervégterméket, ha a minőségre a teljes folyamat során hangsúlyt fektetünk. A szoftverminőséggel, illetve az ezt megalapozó technológiákkal kapcsolatos kutatások több évtizedes múltra tekintenek vissza. A minőségbiztosítás alapja a minőségmérés, amelyhez a szoftverrendszerek elemzésére, belső szerkezetük részleteinek feltárására van szükség. A programok belső szerkezetének reprezentálására előszeretettel alkalmaznak gráfokat, ezekben a csúcsok a programok egyes részegységeit, míg a csúcsok között futó élek a részegységek között fennálló valamilyen kapcsolatot jelentenek.

A szoftverfejlesztés tanszéki kutatási témái több ponton is kapcsolódnak a fentebb ismertetett fejlesztési fázisokhoz, főleg a szoftver kezdeti fejlesztésének lezárása utáni evolúciós szakaszra koncentrálnak.

### *Forráskód elemzésen alapuló módszerek*

A fejlesztési folyamat validációs fázisában végzett nyomkövetés és hibajavítás hatékony támogatására alkalmasak a különböző *programszeletelési* módszerek, melyek kutatásában a tanszék munkatársai is jelentős érdemeket szereztek [1,2]. A szeletelési technika felhasználásával nagyméretű programok kezelése is lehetővé válik azáltal, hogy ki lehet jelölni a program egy adott probléma szempontjából releváns részét, így a hibák megtalálása és javítása is sokkal könnyebbé válik.



Az utóbbi évtizedekben az objektumorientált nyelvek (például C++, Java, C#) lettek a legelterjedtebb programozási nyelvek. Komoly nemzetközi elismerést vívott ki a tanszék kutatói által kidolgozott *Columbus technológia* [3], amely az objektumorientált programozási nyelven írt programok evolúciója során hasznosítható. Az eredményeket ismertető tudományos cikk 10 évvel a publikálása után, az ICSM2012 konferencián (ez a szoftverkarbantartás vezető nemzetközi konferenciasorozata) megkapta a legnagyobb hatású közleménynek járó nivós díjat. A Columbus technológia hatékony módszert ad nagyméretű programok gráfalapú reprezentációjának létrehozására és feldolgozására. Ennek azért van nagy jelentősége, mert a szoftveriparban a programok méretének – és ezzel együtt komplexitásának – növekedése komoly nehézségek elé állítja a fejlesztőket. Csak úgy lehetnek képesek megfelelő minőségű terméket előállítani, ha a fejlesztés alatt álló rendszert átlátják, a komponenseket egyértelműen azonosítani tudják, a közöttük lévő kapcsolatokat pedig ismerik és a kívánt cél érdekében fel tudják használni, vagy tervezett módon át tudják alakítani.

A Columbus technológia képezi az alapját sok olyan megoldásnak, amely a szoftverfejlesztés evolúciós fázisában alkalmazható a minőség javítására. Ezek között első helyen említhetjük a szoftver metrikák meghatározását, vagyis a szoftverek mennyiségi és minőségi jellemzőinek mérését. E jellemzők mérése fontos információkat szolgáltat a programok állapotáról. Ennek köszönhetően definiálásuk, meghatározásuk, illetve e *metrikák validációja* [4] aktív kutatási terület maradt napjainkig is.

A szoftvermetrikák fontos kiindulási alapot jelentenek a minőséggel kapcsolatos vizsgálatokban, alkalmasak következtetések levonására, ugyanakkor önmagukban csak meglehetősen alacsony szinten jellemzik a programokat. Ebből a felismerésből kiindulva indultak meg a kutatások olyan magasabb szintű, aggregált metrikák irányába, amelyekkel a szoftver minőségét magasabb szinten lehet számszerűen jellemezni. Ezeknek a magasabb szintű metrikáknak egy jól körülhatárolt célból definiált koherens rendszerét *minőségi modellnek* nevezik, melyek kutatása a Columbus technológiára alapozva szintén a tanszék kutatóinak érdeklődési körébe esik [5]. Ennek során megalkottak egy új irányba mutató valószínűségi minőségi modellt, amely nem egyetlen számértékkel próbálja jellemezni a minőséget, hanem egy valószínűségi függvényvel. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a minőség jellemzése során olyan aspektusokat is figyelembe lehessen venni, amelyeket más modellek nem tudnak kezelni, mint például a szakértői vélemények.

A szoftverrendszerek minőségének mérése mellett – de attól nyilvánvalóan nem elválaszthatóan – komoly erőfeszítések történnek a minőség javítását

célzó módszerek kidolgozására is. Ezek között említendő az ún. *hatásanalízis*, melynek célja a programokban végrehajtott módosítások hatásának körülhatárolása abból a célból, hogy a módosítás utáni helyes működés ellenőrizhető legyen. A hatásanalízissel kapcsolatos kezdeti kutatások a korábban említett szeleltetés módszerből indultak ki, azonban ez a megközelítés valós programrendszereken túlságosan erőforrás-igényesnek bizonyult. Emiatt szükség volt olyan függőségi relációk definiálására, amelyek a programban fellelhető szerkezeti függőségeknek csak egy – a feladat szempontjából releváns – részét veszik figyelembe. Az egyszerűsítés hatékonyságnövelő hatásával párhuzamosan elkerülhetetlenül csökken a pontosság is, lehetséges azonban olyan megoldást találni, amely elfogadható kompromisszumot jelent. A tanszék kutatói is aktívak ezekben a kutatásokban, ennek keretében kidolgozták a Static Execute After (SEA) relációt, és kimutatták, hogy hatékonyan alkalmazható automatikus hatásanalízis elvégzésére [6].

A minőség javításával kapcsolatban egyre nagyobb figyelmet kap a tesztelési folyamat, melynek során szisztematikusan ellenőrzik, hogy a szoftverrendszer funkciói az elvárásoknak megfelelően működnek-e. A tesztelés legfontosabb céljai közé tartozik, hogy kimutassa a rendszerben esetleg meglévő hibák létezését, illetve – ha lehetséges – okát. A tanszék kutatásai ezen a területen arra összpontosulnak, hogy hogyan lehet minél kevesebb számú teszt végrehajtásával minél jobb hibadetektálási és hibalokalizálási eredményt elérni [7].

### *Beágyazott rendszerek, nyílt forráskódú fejlesztések*

Napjaink meghatározó trendje a mobil számítástechnikai eszközök terjedése, amelyekhez a felhasználóknak minőségileg új szolgáltatásokat nyújtó alkalmazások és szolgáltatások is tartoznak. A mobil eszközök informatikai szempontból kihívást és új lehetőségeket egyaránt jelentenek. A beágyazott rendszereket célzó, illetve a mobil alkalmazások fejlesztési folyamata eltér a hagyományostól, melynek során figyelembe kell venni a céleszközök korlátozott erőforrásait, az újszerű felhasználói felületeket, felhasználási módokat. Ehhez kapcsolódva a tanszék kutatási területeihez tartoznak a beágyazott rendszerek korlátozott erőforrásainak minél optimálisabb kihasználását célzó fejlesztések, mint például olyan programkód-tömörítő eljárás megvalósítása, amellyel a korábbiakhoz képest közel 20%-os helymegtakarítást is el lehet érni [8]. Hasonlóan eredményes volt a UBIFS flash fájlrendszer kifejlesztése, amelynek eredményeképpen a korábbiakhoz képest 90% feletti művelet-megtakarítás vált lehetővé [9]. E fejlesztések eredményei bekerültek a legelterjedtebb nyílt

forráskódú operációs rendszerbe, a Linuxba is. A tanszék aktív tevékenységet fejt ki egyéb erőforrás-optimalizálást célzó kutatásban [11], illetve nyílt forrású szoftverekkel kapcsolatos fejlesztésekben is. Több projekt kapcsolódik például a WebKit böngészőmotorhoz, vagy a GCC fordítóprogramot is tartalmazó fejlesztői eszközkészlethez [10].

### *Mobil hálózatok*

A számítógéphálózatok megjelenése és az internet kialakulása az informatikai eszközök fejlődésének további irányait is jelentősen befolyásolta. Az egymással kommunikáló számítógépek által nyújtott lehetőségek olyan funkciókat megvalósító alkalmazások kifejlesztése előtt nyitotta meg az utat, amely a korábbi technológiákkal nem volt lehetséges. A felhasználói igények kielégítése érdekében az informatikai kutatások részben új problématerületek felé fordultak, mint például a hálózati kommunikáció biztonsági kérdései, vagy a hálózati forgalom által generált nagy mennyiségű adat tárolása, gyors visszakereshetősége és feldolgozása.

A mobil eszközökkel és a hálózatokkal kapcsolatos kutatásokba a Szoftverfejlesztés Tanszék munkatársai is bekapcsolódtak. Ennek keretében vizsgálták a P2P (Peer-To-Peer) hálózatok működését. Ezek olyan hálózatok, amelyek egyenrangú komponensekből állnak, a döntések meghozatala elosztott módon történik, nincs olyan központi elem, amelynek esetleges kiesése zavarokat okozhatna a hálózat működésében. A P2P hálózatok előnyei sajnos rossz célokra is felhasználhatók, így ez a technológia felkeltette a kártékony szoftverek (malware) készítőinek figyelmét is. A P2P hálózatokban üzemelő kártékony programok felderítésének ez idáig ismert leghatékonyabb módja a hálózati forgalomban megfigyelhető mintázatok azonosítása. Ez a technika azért alkalmazható, mert a felderíteni kívánt programok természetüknél fogva jelentős adatforgalmat generálnak. Fontos kérdés, hogy az ilyen jellegű kártékony programok mekkora potenciális veszélyt jelentnek a jövőben, van-e olyan módszer, aminek felhasználásával felderítésük nehezebbé válik. A tanszék kutatói által elért eredmények alapján azt állapíthatjuk meg, hogy a P2P hálózatokban működő programok működése szervezhető úgy, hogy az egyes komponensek csak kevés számú más komponenssel kommunikáljanak [12]. Ez sajnos azt jelenti, hogy a rosszindulatú programok újabb generációja elleni védekezés még nagyobb kihívás elé állíthatja az informatikai biztonsággal foglalkozó szakembereket.

Ahogy korábban említettük, az informatika ma már egyre inkább életünk szerves részévé kezd válni, napjaink minden időszakában számítógépekkel vagyunk körülvéve otthonunkban, munkahelyünkön, utazás vagy éppen szórakozás közben. Ennek a jelenségnek a leírására született meg a ubiquitous („mindenütt jelenlévő”) computing kifejezés, melynek szerves részét képezi az a törekvés is, hogy a felhasználókat minél inkább bevonja a rendszerek vezérlésébe anélkül, hogy informatikai szakemberekké kellene válniuk. Ez a törekvés több tudományterületet is érint, kihívást jelent az egyes részterületeken meglévő eredmények adoptálása, integrálása, illetve a legmodernebb eszközök és technológiák képességeinek minél teljesebb kihasználása [13].

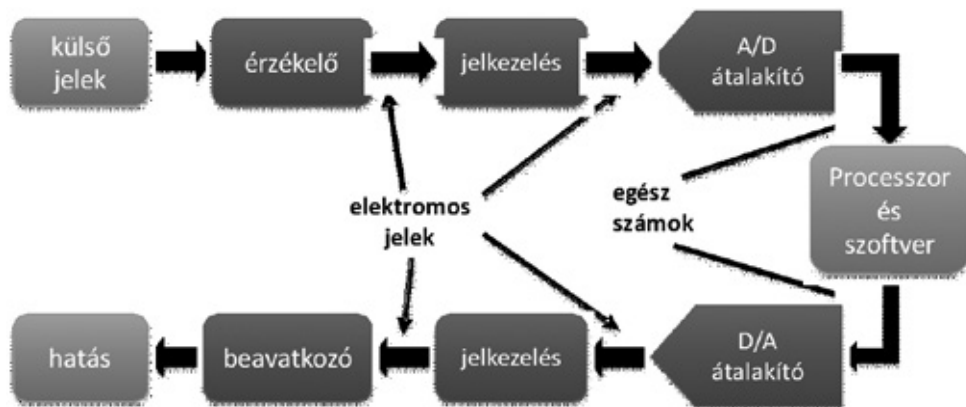
A tanszéken folyó munka eredményességét jelzi az 50 feletti sikeresen befejezett nemzetközi kutatás-fejlesztési projekt, valamint a több mint 200 referált tudományos közlemény. Hatot ezek közül legjobb cikk díjjal ismertek el rangos nemzetközi konferenciákon. Külön megemlítendő, hogy a szoftverfejlesztéssel foglalkozó jelentős nemzetközi konferenciák közül néhány a tanszék szervezésben valósult meg Szegeden, mint például az ICSM 2005, az ESEC/FSE 2011 és a CSMR 2012.

## Informatikai megoldások valós rendszerekben

### *Valódi jelek, hardverek és szoftverek*

A számítógépek hardverei régebben leginkább csak a szoftverek futását, az adatok tárolását, továbbítását és a felhasználóval való kapcsolattartást biztosították. Az elektronika fejlődése és a rendkívüli mértékű miniaturizálás ma már ennél sokkal többre képes: egy komplett számítógép akár lehet milliméteres nagyságú, mérhet és előállíthat valódi jeleket is. Az emberiség régóta készít eszközöket és gépeket saját munkájának megkönnyítésére, ma már rengeteg ilyen találunk a környezetünkben a mosógéptől a telefonokig, a ventilátortól, a légkondicionálótól, az autótól a repülőgépekig. Az ilyen eszközöknek, gépeknek a környezetüket érzékelniük kell, az információt fel kell dolgozniuk, majd szükség esetén hatást kell gyakorolniuk. Így működik a fűtésszabályozás is: a hőmérséklet mérésének eredményétől függően bekapcsol vagy kikapcsol a fűtés. Ezek a megoldások lényegében olyanok, mint az élőlények esetében is: a külvilág jeleit érzékelik, ezek a jelek átalakulnak feldolgozható formába, majd a feldolgozás eredményeként beavatkozás

történik. Ha fázunk, pont azt tesszük, mint egy fűtési rendszer: az alacsony hőmérséklet hidegérzetet vált ki, ez az agyba jut, ami parancsot ad a mozgásra, azaz hő fejlesztésére. Azt is egyszerűen láthatjuk, hogy a leghatékonyabbá akkor tehetünk egy eszközt, ha az információ feldolgozását a lehető legjobbra választjuk – erre pedig ma a számítógép és a szoftver képes. A kérdés tehát az, hogyan juthatnak a valódi jelek egy számítógépbe és hogyan kelthet a számítógép különböző hatásokat?



3. ábra. A megoldás egyszerűen látszik a fenti ábrán

A külső jelek – például hőmérséklet, elmozdulás, fényintenzitás – érzékelők segítségével elektromos jelekké – például feszültséggé, árammá, ellenállássá – alakítható érzékelők vagy más néven szenzorok segítségével. Az elektronikában az információt megfelelő nagyságú feszültség hordozza, így szükséges még egy jelkezelés is. Ezen a ponton számokká alakíthatjuk a feszültséget (analóg-digitál átalakítás) és processzorokra és szoftverekre bízhatjuk a feldolgozást. A folyamat megfordítható, ez látszik az alsó ágban. Érzékelőre példa a mikrofon, a fotocella, a termoelem, beavatkozóra pedig a hangszóró, a LED, a motor. Egyszerűen láthatjuk, hogy a zsebünkben is ilyen eszköz, a mobiltelefon van.

A műszaki alkalmazások mellett a kutatásoknak is nagy lendületet adott ez a rendkívüli hatékonyság. A természettudományok a külvilág jeleinek mérésére és elemzésére, speciális hatások keltésére, egyedi kísérletezésre alapulnak. A Műszaki Informatika Tanszék kutatási területei is ennek megfelelően épültek ki az informatikai, villamosmérnöki, fizikai, kémiai, orvostudományi diszciplínák összekapcsolása révén. Részletes információk: <http://www.inf.u-szeged.hu/dti/research/>.

### *Szoftverdefiniált műszerek és kísérletezés*

A kísérletezésekhez sok esetben szükséges egyedi műszerek fejlesztését teszi lehetővé a szoftverdefiniált műszerezés, amikor a műszerfunkciók legnagyobb részét szoftverek végzik el. A tanszék kutatói számos hardvert fejlesztettek ki, melyek kellően univerzálisak, sokféle mennyiség mérését teszik lehetővé és processzorokat is tartalmaznak. A szoftverek egy része a műszerben fut, a másik pedig a vezérlő számítógépen. Pusztán a szoftver cseréjével ugyanaz a műszer más mérésekre alkalmassá tehető.

### *Véletlenszerű jelek elemzése és hasznosítása*

A véletlenszerű jeleket – más néven zajokat – legtöbbször károsnak, az információszerzést gátlónak tartják. Ugyanakkor a véletlenszerű jelek szinte mindenhol előfordulnak: a hőmérséklet a részecskék véletlenszerű mozgásának intenzitásával arányos, az oldódás, folyadékok keveredése véletlen jelenségekre épül, és a gazdasági és társadalmi folyamatok mellett a biológiai evolúcióban is meghatározó szerepe van a véletleneknek. A véletlenszerű jelek épp ezért gyakran információforrásnak is tekinthetők, sőt, akár hasznosíthatók rendszerek jobb működtetésére is. Mindehhez igen sok számítási kapacitásra, gyakran kisméretű eszközökre van szükség, amit a mai technika már lehetővé tesz.

Számos eredményt értünk el különféle zajfajták tulajdonságainak megismerésében, különösen a mai napig rejtélyes 1/f-zaj vizsgálatával. Példákat adtunk rá, hogy bizonyos rendszerekben elég hihetetlen módon kevésbé zajos jeleket lehet kapni zaj hozzáadásával, és olyan hardvereket és szoftvereket is készítettünk, melyek zaj segítségével képesek hatékonyan titkosítani az adatátvitelt. Az Alkalmazott Kémiai Tanszék kutatóival, köztük dr. Kónya Zoltánnal és dr. Kukovecz Ákossal nemzetközi együttműködésben vettünk részt, melynek egyik eredmény szerint lehetséges gázszenzorok zajának mérésével hatékonyabb információszerzést megvalósítani. Részletes információk: <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/Research/>.

### *Multidiszciplináris kutatások*

Fizikai és műszaki kutatásaink mellett 1994 óta végzünk közös munkát az Általános Orvostudományi Kar számos munkatársával, többek közt dr. Rudas Lászlóval, dr. Zöllei Évával, dr. Pap Róberttel. Az egyik fontos terület

a szív működés vizsgálata, amihez EKG, vérnyomás, légzés és ezek összefüggéseinek számítógép-vezérelt méréséhez és elemzéséhez fejlesztettünk ki hardvereket és szoftvereket, illetve jelfeldolgozási módszereket. Az eredmények közel 60 publikációban jelentek meg, melyek jól mutatják a multidiszciplináris együttműködés hasznát. Legújabb területként légzésmechanikai kutatásokba kapcsolódtunk be, ahol a tüdő mechanikai impedanciájának valós idejű méréséhez fejlesztünk precíz mérésekre alkalmas kísérleti rendszert és elemzési módszereket dr. Hantos Zoltán irányítása mellett. Orvostudományi kutatásaink mellett szoftverdefiniált műszereinket használják lézerfizikai, biofizikai és kémiai területeken is. Részletes információk: <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/med/>.

### *Szoftverdefiniált műszerek az oktatás modernizálásához*

Nagy szükség van ma az oktatás fejlesztésére, a diákok sokszor úgy érzik, hogy amit tanulnak, az túl elméleti, távol áll a hétköznapjaiktól. Sokat segíthet ezen is a műszaki informatika: a fentebbi ábrának megfelelően parányi USB portra köthető műszereket fejlesztettünk, melyekkel rendkívül hatékony kísérletezés végezhető el, egyszerre akár több diák is gyakorolhat. Példákat mutattunk arra, hogy számos mérésre megbízhatóan használhatjuk akár a minden gépen elérhető hangkártyát is, így a diákok akár otthon, saját ötleteik alapján is kísérletezhetnek, eredményeiket megoszthatják a közösségi oldalakon is. Részletes információk: <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/>.

### *FPGA áramkörök alkalmazása*

A nagy sebességű műveletvégzés különösen fontos, ha egy olyan eszközre van szükség, ami igen gyorsan változó valós idejű jelekkel dolgozik, és a számítások eredményére is azonnal szükség van. Ilyen például a valós idejű képfeldolgozás, amikor a kameráról érkező nagy mennyiségű képpontot kell igen gyorsan elemezni azért, hogy az eszköz gyorsan válaszolhasson, és megfelelő döntéseket hozhasson. Mindezt gyakran a lehető legkisebb méretben kell megvalósítani. Ezeknek a követelményeknek a mai processzoroknál akár több százszor nagyobb számítási sebességgel rendelkező néhány centiméter méretű úgynevezett FPGA áramkörök tökéletesen megfelelnek. Az FPGA áramkörökkel megvalósítható az elvégzendő számítási feladatok nagyfokú párhuzamosítása. A tanszéken folyó kutatások egyik iránya a különböző képfeldolgozási felada-

tok FPGA alapú megvalósítása és gyorsítása. Az egyik ilyen feladat például a képfeldolgozó rendszerek (csillagászati vagy nagy hatótávolságú katonai távcsövek) hatékonyságának javítása a fényhullám hullámfrontját torzító hatások valós idejű kiküszöbölésével. Ennek a feladatnak a megoldásához az FPGA áramkörnek 715 Mbyte adatot kell feldolgoznia másodpercenként. Egy másik képfeldolgozási feladat olyan FPGA alapú rendszer kifejlesztése mely segítheti a látássérült emberek tájékozódását. A tanszék FPGA alapú kutatásainak másik iránya olyan rendszer kifejlesztése, mely a végtagamputált betegek művégtagvezérlésében nyújthat segítséget. Részletes információk: <http://www.inf.u-szeged.hu/dti/research/fpga/>

### *Vezeték nélküli szenzorhálózatok*

Az ujjhegynyi mikroszámítógépek és különféle szenzorok mellé ma már vezeték nélküli adó-vevőket is integrálnak. Ilyen megoldás például a Bluetooth vagy a ZigBee. Ezek a kicsi, komplett áramkörök különböző jeleket – például mozgás, hőmérséklet, fény, páratartalom – képesek mérni és továbbítani azokat valamilyen vezeték nélküli kapcsolaton keresztül, akár egymással is kommunikálva. Így az ilyen parányi eszközökből, úgynevezett vezeték nélküli szenzormodulokból (angolul mote, azaz porszem) hálózatokat is építhetünk, melyek rendkívül sok helyen alkalmazhatóak a gyógyásztól a robothelikopterek vezérléséig, az autókban a terepen vagy az épületekben való adatgyűjtésig. Mindezeket a feladatokat akár több évig is önállóan és megbízhatóan kell végezni úgy, hogy csupán egy korlátozott kapacitású elem vagy akkumulátor biztosítja az energiaellátást. Az ilyen hálózatok esetében több probléma is felmerülhet, mint például, hogy a szenzorok maguk meg tudják állapítani egymáshoz képesti pozíciójukat, akár mozgásukat, vagy az időszinkronizáció, mely során a hálózat minden egyes elemének szinkronizálni kell az „óráját”. Ezen problémák mellett azonban a legfontosabb az eszközök energiahatékony működtetése. A tanszéken folyó kutatások egyik fő célja a módszerek tökéletesítése, optimalizálása különböző alkalmazási területeken, környezeti feltételek mellett. Részletes információk: <http://www.inf.u-szeged.hu/dti/research/wsn/>

### *Robotika*

A műszaki informatika egyik klasszikusa a robot, melyből rendkívül sokféle létezik, és intenzíven használják is ezeket gyártósoroknál, veszélyes vagy



nehezen megközelíthető terepek felderítésénél, precíziós sebészethez és sok más helyen is. A robot ötvöz három fontos területet: a mechanikát, az elektronikát és az informatikát – szokták az ilyen rendszereket mechatronikainak is nevezni. Sokféle nagyon jól kidolgozott elv, a gyakorlatban működő robotok mellett is szükség van újabb ötletekre az optimalizálás, a hatékonyság növelése és a költségek csökkentése érdekében. Tanszékünkön a robotika fontos területe az oktatásnak, de kutatási feladatok is kapcsolódnak hozzá elsősorban a mobil robotok pályakövetési módszereinek tökéletesítése, aktuátorok átviteli függvényének meghatározása, valamint áttételek optimalizálása területén. Részletes információk: <http://www.inf.u-szeged.hu/robotics/>

## Hivatkozások

1. T. Gyimóthy, Á. Beszédes, I. Forgács: An efficient relevant slicing method for debugging, Proceedings of the Joint 7th European Software Engineering Conference and 7th ACM SIGSOFT International Symposium on the Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE99), pp. 303–321, 1999
2. D. Binkley, S. Danicic, T. Gyimóthy, M. Harman, Á. Kiss, B. Korel. A Formalisation of the Relationship between Forms of Program Slicing. Science of Computer Programming, Volume 62(3), pp.: 228–252, 2006.
3. R. Ferenc, Á. Beszédes, M. Tarkainen, T. Gyimóthy: Columbus – Reverse Engineering Tool and Schema for C++, 18th International Conference on Software Maintenance (ICSM), IEEE Computer Society, pp. 172–181, 2002
4. T. Gyimóthy, R. Ferenc, I. Siket: Empirical Validation of Object-Oriented Metrics on Open Source Software for Fault Prediction, IEEE Transactions on Software Engineering, Volume 31, pp. 897–910, 2005
5. T. Bakota, P. Hegedűs, P. Körtvélyesi, R. Ferenc, T. Gyimóthy: A probabilistic software quality model, 27th IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM), 2011
6. L. Schrettner, J. Jász, T. Gergely, Á. Beszédes, T. Gyimóthy: Impact analysis in the presence of dependence clusters using Static Execute After in WebKit, Journal of Software: Evolution and Process, 2013
7. L. Vidács, Á. Beszédes, D. Tengeri, I. Siket, T. Gyimóthy: Test suite reduction for fault detection and localization: A combined approach, IEEE Conference on Software Maintenance, Reengineering, and Reverse Engineering CSMR-WCRE, pp. 204–213, 2014

8. T. Gergely, F. Havasi, T. Gyimóthy. Binary Code Compression Based on Decision Trees, Proceedings of the Estonian Academy of Sciences – Engineering, Volume 11, pp. 269–285, 2005
9. F. Havasi: An improved B+ tree for flash file systems. SOFSEM 2011: Theory and Practice of Computer Science – 37th Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, Novy Smokovec, Slovakia, pp. 297–307, 2011
10. Á. Beszédes, T. Gyimóthy, G. Lóki, G. Diós, F. Kovács: Using Backward Dynamic Program Slicing to Isolate Influencing Statements in GDB, GCC Developers’ Summit, 2007
11. Z. Herczeg, D. Schmidt, Á. Kiss, N. Wehn, T. Gyimóthy. Energy Simulation of Embedded XScale Systems with XEEMU. Journal of Embedded Computing, Volume 3(3), pp. 209–219, 2009
12. M. Jelasity, V. Bilicki: Scalable Stealth Mode P2P Overlays of Very Small Constant Degree. In ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, Volume 6, pp. 27:1–27:20, 2011
13. V. Bilicki, Z. Rak, M. Kasza, Á. Végh, R. Béládi, T. Gyimóthy: End User Programming in Smart Home. Patterns, Programming and Everything. DOI 10.1007/978-1-4471-2350-7\_3. Springer London, pp. 19–29, 2012

# *A kémia oktatása és kutatása a Szegedi Tudományegyetemen*

## **Történet**

A Szegedi Tudományegyetemen folyó kémikus képzés gyökerei az egyetem jogelődjéig (az 1872-ben Kolozsvárott alapított Ferencz József Tudományegyetemig) nyúlnak vissza. Itt jelent meg hazánkban először magyar nyelvű kémiai folyóirat, melyet Fabinyi Rudolf szerkesztett „Vegyteni lapok” címmel. A kolozsvári egyetem 1921-ben Szegedre történt áttelepítését követő első években sanyarú körülmények között, kevés hallgatóval indult meg a kémia oktatása a Tisza Lajos krt. 6. sz. alatt, a mai Radnóti Miklós Gimnázium épületében. Oktatók és laboratóriumok hiánya, valamint a működéshez szükséges költségek elégtelensége jellemezte ezt az időszakot.

Az oktatás minőségi javulását eredményezte, hogy gróf Klebelsberg Kuno miniszter ösztönzésére nemcsak a klinikák, hanem a Dóm téri épületegyüttes is elkészült. Ez az átgondoltan tervezett és igényesen kivitelezett épület a Rockefeller Alapítvány nagyvonalú támogatásával felszerelve alkalmas otthont biztosított a kémia oktatásához és kutatásához. 1935-től Szerves és Gyógyszerészvegytani, valamint Általános és Szervetlen Vegytani Intézet név alatt működtek itt tovább a korábban csak sorszámmal jelölt intézetek.

A Szegeden folyó kémiaoktatás szempontjából ösztönzően hatott az az 1946-ban kelt kormányrendelet, amely lehetővé tette, hogy a tudományegyetemen megindulhasson az okleveles vegyészek képzése is a kémiatanári képzés mellett. Ennek eredményeként még ebben az évben egy új oktatási egység létesült Szabó Zoltán vezetésével a szervetlen kémia és az analitikai kémia oktatására.

A kémiaoktatás felfutásának újabb állomása volt a Béke-épület 1952-ben történt átadása. Ez enyhítette a szorongató helyhiányt, amely a hallgatói és oktatói létszám gyors növekedéséből származott. Nem sokkal később a Dugonics András Piarista Gimnázium Aradi Vértanúk terén lévő épületének a Természettudományi Kar számára történt átadása biztosított további területeket a kémiai intézetek számára is.

A kémiaoktatás tematikája tovább bővült azzal, hogy a kémiai technológia tárgy oktatására 1950-ben létrehozták az Alkalmazott Kémiai Tanszéket, míg 1956-ban Kolloidkémiai Laboratórium létesült, amelyet 1966-ban

Kolloidkémiai Tanszékké minősítették át. Az 1959-ben szervezett Központi Izotóp Laboratórium mint hatodik kémiai oktatási egység 1967-ben Radiokémiai Tanszékké szerveződött. Ez utóbbi profilja a '80-as években kibővült, Szilárdtest és Radiokémiai Tanszék néven működött tovább. A hat tanszéki egység oktatómunkáját 1964-től a Kémiai Szakbizottság koordinálta. A tanszékek szerveződése 1983-tól Kémiai Tanszékcsoporthoz tartozott. Az évek óta napirenden lévő szorosabb együttműködés, az integráció irányába tett lépésként 2009-ben három tanszék (Fizikai Kémia, Kolloidkémiai, Szilárdtest- és Radiokémiai) egyesült, jelenleg Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék néven dolgozik az Alkalmazott és Környezeti Kémiai, Szervetlen és Analitikai Kémiai és Szerves Kémiai Tanszék mellett.

2006-tól a kar kémiaoktatása a Bologna-elvek követelményeit figyelembe véve alakult át, természetesen több évi előkészítést követően. Így egységes, 6 szemeszteres kémia alapszakot indítottunk, vegyész, analitikus és mérés-technológus, illetve kémiatanári szakirányokkal nappali és levelező szakos hallgatóknak.

A Kémiai Tanszékcsoporthoz tevékenyen vesz részt (kb. 1/3 arányban) a környezettan és anyagmérnök alapszakok oktatásában, valamivel kisebb részben tartoznak hozzánk a 2007-ben indított környezetmérnök és a 2010-ben induló molekuláris bionika alapszakok. Oktatásunk részét képezik továbbá a biológia, biomérnöki és fizika alapszakok kémiai tárgyai is.

Az alapszakokra építve 2008-ban sikeresen akkreditáltuk a vegyész, illetve a kémiatanár mesterszakokat, amelyek 2009-ben el is indultak. Sajnos megállapítható, hogy az országos tendenciákhoz hasonlóan a kémiatanár szak iránti hallgatói érdeklődés nagymértékben csökkent.

Mester diplomát szerzett hallgatóink a Kémia Doktori Iskolában és a Környezettudományi Doktori Iskolában szerezhetnek tudományos fokozatot.

A tudományos színvonalat az intézetek kialakulásától kezdve olyan nagy tudósegéniségek jellemezték, mint Kiss Árpád, Széki Tibor, Bruckner Győző, Szabó Zoltán, Gerecs Árpád, Fodor Gábor, Márta Ferenc. Közülük is kiemelkedik Szent-Györgyi Albert, aki 1937-ben Nobel-díjat kapott. Jelenleg is négy akadémikus (Bartók Mihály, Solymosi Frigyes, Penke Botond, Dékány Imre) dolgozik a kémia oktatása és kutatása területén.

A kémikusok az egyetem és a kar vezetéséből is mindig aktívan kivetkék a részüket, több rektort (Széki Tibor, Fodor Gábor, Szabó Zoltán, Márta Ferenc) és dékánt (Széki Tibor, Kiss Árpád (5 alkalommal), Bruckner Győző, Szabó Zoltán, Bartók Mihály (6 évig), Varga Károly, Hernádi Klára (6 évig) is kiállítottak.

## *Az utóbbi évek főbb kutatási irányai a Kémiai Tanszékcsoportban*

*Bartók Mihály, Erdőhelyi András, Gajda Tamás, Hannus István, Hernádi Klára, Janáky Csaba, Kiss János, Kónya Zoltán, Körtvélyesi Tamás, Horváth Dezső, Kukovecz Ákos, Pálinkó István, Sipos Pál, Solymosi Frigyes, Tasi Gyula, Tóth Ágota, Visy Csaba, Wölfling János*

### *Az elektrokémiától a reakciókinetikáig*

A Vegytan II. Intézet jogutódjaként, Kiss Árpád vezetése alatt létrejött Általános és Fizikai Kémiai Tanszék – később Fizikai Kémiai, jelenleg Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék – elektrokémiai jellegű kutatásai kezdetben a korrózió területén folytak, majd a szerves elektrokémiai folyamatok iránnyal bővültek. A nem-vizes közegű szerves elektrokatalízis terén szerzett tapasztalatok lehetővé tették, hogy a 90-es évektől az azidótájt világszerte nagy lendülettel folyó, elektromos vezetésre képes szerves polimerek tanulmányozása előtérbe kerüljön, és egyéb önrendeződő struktúrák elektrokémiai előállítására és vizsgálatára is kiterjedjen. Visy Csaba professzor vezetésével, a fokozatosan bővülő nemzetközi kapcsolatokban szerzett tapasztalatok felhasználásával, pályázati források elnyerésével rövidesen olyan műszerpark és infrastruktúrális háttér alakult ki, mellyel ezek az új anyagok – szintetikus fémek – szintézise és redoxi aktivitásuk elektrokémiai vizsgálata mellett, az ezekkel a folyamatokkal párhuzamosan lejátszódó jelenségek – spektrális, vezetés- és tömegváltozások – *in situ* követése is lehetővé vált, és a kutatások bio-elektrokémiai iránnyal is bővültek. Így elektrokémiai gázérzékelők, valamint enzimatis bioszenzor előállítására is sor került, utóbbiból bejegyzett szabadalom is született.

- *Tóth, P.S., Samu, G.F., Endrődi, B., Visy, C.:*  
Hyphenated in situ conductance and spectroelectrochemical studies of polyaniline films in strongly acidic solutions  
Electrochimica Acta 110: pp. 446–451. (2013)
- *Tóth, P.S., Peintler-Kriván, E., Visy, C.:*  
Fast redox switching into the conducting state, related to single monocationic/polaronic charge carriers only in cation exchanger type conducting polymers  
Electrochemistry Communications 18: pp. 16–19. (2012)

A 2000-es évek közepén induló, jelentős támogatást élvező, tudományterületeket átfogó pályázatok alkalmazási lehetőségek irányába mutató jellege folytán előtérbe került új tulajdonságú elektródok előállításának, optimalizálásának igénye. Az ilyen irányú kutatások során olyan összetett, hibrid anyagok előállítására került sor, melyek egyszerre mutatták a két komponens kedvező tulajdonságait. A vezető polimerek és szervesetlen félvezetők kombinációjaként előállított hibridek komoly érdeklődésre tartanak számot, alkotórészei lehetnek napelemeknek, superkondenzátoroknak, szenzoroknak, stb. Az alkalmazási lehetőségek kiaknázása érdekében a kompozitok összetételének és szerkezetének finomhangolása, valamint a szerkezet-tulajdonság összefüggések felderítése egyaránt fontos feladat. A következő fontosabb anyagcsaládok területén folynak eredményes kutatások: ferrit-tartalmú vezető polimer nanokompozitok, fotoaktív vezetőpolimer kompozitok, termoelektromos tulajdonságú vezetőpolimer hibridek.

- *Endrődi, B., Kormányos, A., Janáky, C., Berkesi, O., Visy C.:*  
Fixation of laccase enzyme into polypyrrole, assisted by chemical interaction with modified magnetite nanoparticles: A facile route to synthesize stable electroactive bionanocomposite catalysts  
*Electrochimica Acta* 122: pp. 282–288. (2014)
- *Janáky, C., de Tacconi, N.R., Chanmanee, W., Rajeshwar, K.:*  
Bringing conjugated polymers and oxide nanoarchitectures into intimate contact: Light induced electrodeposition of polypyrrole and polyaniline on nanoporous WO<sub>3</sub> or TiO<sub>2</sub> nanotube arrays  
*Journal Of Physical Chemistry C - Nanomaterials And Interfaces* 116: pp. 4234–4242. (2012)

A kutatócsoportban szerezte doktori fokozatát Janáky Csaba, aki az USA-ban töltött Marie Curie-ösztöndíjából hazatérve, az idei év júliusától a Magyar Tudományos Akadémia Lendület programjának nyerteseként, egy modern fotoelektrokémiai laboratórium kialakítását kezdi meg, melynek célja tüzelőanyagok előállítása napenergia felhasználásával.

### *Önszerveződő rendszerek nemlineáris dinamikai és kinetikai vizsgálata*

Önrendeződésnek vagy önszerveződésnek nevezzük azokat a folyamatokat, amelyekben az anyag rendezettsége spontán növekszik. Az önrendeződés egyensúlyhoz közeli rendszerekre jellemző, és a képződő struktúra mérete,

szimmetriája az egyedi alkotó elemek tulajdonságától függ (pl. micellaképződés vagy kristályosodás). Az önszerveződés azonban kizárólag egyensúlytól távoli rendszerekben valósul meg, és döntő szerepet játszanak benne az extenzív mennyiségek térbeli gradiensei, valamint a kialakuló struktúra mérete nem az alkotóképtől, hanem a köztük levő kölcsönhatástól függ. Léteznek olyan, a környezetünkben is megfigyelhető kémiai rendszerek, amelyekben makroszkopikus önszerveződés jön létre, és időben vagy térben periodikus struktúrák alakulnak ki. A folyamatok hajtóereje lehet az egyes komponensek diffúziósebességének a különbsége, valamint a folyamatok során az oldat sűrűségének, viszkozitásának vagy felületi feszültségének a térbeli változása. A Kémiai Tanszékcsoport Nemlineáris Dinamika és Kinetika Csoportjának célja az ilyen rendszereket vezérlő fizikai és kémiai mozgástörvények megismerése, továbbá a fenti hajtóerőkkel vezérelt újabb önszerveződések keresése, valamint a létrejövő mintázatok minőségi és mennyiségi jellemzése. Az ilyen jellegű reakciókinetikai kutatások az egyetemünkön Nagypál István professzor kezdeményezésére indultak be a 80-as évek második felében. Ezeket a hagyományokat folytatva a csoport a kísérleti munkákat kiegészítő, új jelenségeket előrevetítő, illetve magyarázó modellek felállításával és sík-, valamint térbeli modellezésével teszi teljessé. Ilyen, a csoport által vizsgált rendszerek a következők: a klorit-tetrathonát savra autokatalitikus reakció; a jodidionra és a hidrogénionra is autokatalitikus jodát-arszenessav reakció; gócnövekedés révén a fázisátalakulással járó csapadékképződési reakció (kalcium-klorid reakciója-oldat betáplálása adott pH-ra állított nátrium-oxalát-oldatba adott pH-n jól kevert, áramlásmentes, illetve áramlásos rendszerben).

- *Tóth-Szeles, E., Tóth, Á., Horváth, D.:*  
Diffusive fingering in a precipitation reaction driven by autocatalysis  
Chemical Communications 50: pp. 5580–5582. (2014)
- *Bohner B., Schusztar G., Berkesi O., Horváth D., Tóth Á.:*  
Self-organization of calcium oxalate by flow-driven precipitation  
Chemical Communications 50: pp. 4289–4491. (2014)
- *Rica, T., Schusztar, G., Horváth, D., Tóth, Á.:*  
Tuning density fingering by changing stoichiometry in the chlorite-tetrathionate reaction  
Chemical Physics Letters 585: pp. 80–83. (2013)
- *Pópity-Tóth, É., Pimienta, V., Horváth, D., Tóth, Á.:*  
Hydrodynamic instability in the open system of the iodate-arsenous acid reaction  
Journal Of Chemical Physics 139:(16) Paper 164707. 6 p. (2013)

## *Zeolitok és zeolitszerű mezopórusos anyagok kémiája*

A zeolitok mikropórusos anyagok, néhány tízed nm-es pórusátmérővel, ami az egyszerű molekulák átmérőjének felel meg. A mezopórusos anyagok pedig olyanok, amelyekbe a nagyobb szerves molekulák, pl. gyógyszerek is beférnek.

A „zeolit-sztori” 1756-ban kezdődött, amikor *Axel Frederik Cronstedt* svéd geológus szépen formált kristályokat gyűjtött Svédország északi részének egy rézbányájában. Az új ásványcsaládot *zeolit*nak, magyarul „*forró kő*”-nek nevezte el a szavak görög megfelelője alapján. Azt tapasztalta ugyanis, hogy ezek a kövek lángba téve megduzzadtak, megolvadás előtt pedig felhabzottak. A zeolitok kezdetben mint a bazaltképződmények üregeiben, réseiben előforduló ásványi ritkaságok keltették fel a geológusok figyelmét. A 20. század első harmadában a vegyészek kezdték tulajdonságaikat tanulmányozni. Észrevették ugyanis a dehidratált kristályok szelektív adszorpciós képességét, ekkor született a *molekulaszűrés* elnevezés is. A zeolitok első katalitikus alkalmazására 1959-ben került sor, amikor a Union Carbide Co. kutatói izomerizációs reakciókban tesztelték az Y-zeolitot. 1960-ban javasolták az alakszelektív katalízis elnevezést annak a váratlan katalitikus aktivitásnak a megjelölésére, amelyet kalcium ioncserélt A zeolit (5A) esetében tapasztaltak. A 4–5 Å pórusátmérőjű zeoliton szelektíven krakkolódtak az egyenes szénláncú n-paraffinok, ugyancsak egyenes láncú termékeket adva. A hatvanas évek végén és a hetvenes években jelentős előrelépést jelentett a zeolitok szintézise területén új, nagy szilíciumtartalmú, közepes pórusméretű anyagok (főleg a Mobil cég ZSM sorozata) előállítására. Ezek az anyagok addig nem ismert, alakszelektív átalakulásokra kifejlesztett technológiák megvalósításához vezettek.

Magyarország nemcsak természetes zeolit-előfordulásban gazdag, hanem a zeolit szintézise és alkalmazása területén is bővelkedik itthon és külföldön élő szakemberekben. *Rabó Gyula* Amerikában él, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, a UOP volt kutatási igazgatója, akinek neve összeforrott a zeolitok katalitikus alkalmazásával, elsősorban a petrokémiai iparban. *Csicsery Zsigmond*, aki a zeolitikatalizátorok alakszelektív hatásának első rendszerezője, a Chevron Co. volt munkatársa. *B. Nagy János* belgiumi professzor a zeolitok szintézisének és NMR spektroszkópiás tanulmányozásának nemzetközi hírű kutatója. A hazai zeolitikutatás úttörői *Beyer Hermann*, *Fejes Pál* és *Kalló Dénes* voltak.

Egyetemünkön a zeolitokkal foglalkozó kutatásokat *Fejes Pál*, majd *Kiricsi Imre* vezette. A csoport főleg a zeolitszerkezetek módosításában, és a zeoliton lejátszódó reakciók karbénium ionszerű intermediereik kimutatásában és jellemzésében ért el fontos eredményeket. Fémek és fém-oxidok beépítésével,



új dealuminálási technikák kidolgozásával, folyadék- és szilárdfázisú ioncserével, mint a szintézist követő legfontosabb módosításokkal sikerült jelentősen befolyásolni a zeolitok aktivitását és szelektivitását. Főként rezgési spektroszkópai módszerek alkalmazásával sikerült az izomerizációs, alkilezési, stb. reakciók intermedierjeinek szerkezeti jellemezése. A későbbiekben a repertoár kibővült a mezopórusos anyagok katalitikus tulajdonságainak vizsgálatával.

- Pálinkó, I., Kónya, Z., Kukovecz, Á., Kiricsi, I.:  
Zeolites: Chapter 22, in: Vajtai R (szerk.), Springer Handbook of Nanomaterials., Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. pp. 819–858 (ISBN:978-3-642-20594-1)
- Kónya, Z., Zhu, J., Szegedi, Á., Kiricsi I, Alivisatos, P., Somorjai, G.A.:  
Synthesis and characterization of hyperbranched mesoporous silica SBA-15  
Chemical Communications (3) pp. 314–315. (2003)
- Fejes, P., Kiricsi, I., Lázár, K., Marsi, I., Rockenbauer, A., Korecz, L., Nagy, J.B., Aiello, R., Testa, F.:  
Attempts to produce uniform Fe(III) siting in various Fe-content ZSM-5 zeolites – Determination of framework/extra-framework ratio of Fe(III) in zeolites by EPR and Mössbauer spectroscopy,  
Applied Catalysis A-General 242:(2) pp. 247–266. (2003)
- Kiricsi, I., Förster, H., Tasi, G., Nagy, J.B.:  
Generation, characterization, and transformations of unsaturated carbenium ions in zeolites  
Chemical Reviews 99: pp. 2085–2114. (1999)

### *Réteges szerkezetű anyagok kémiája*

A zeolitokkal szerzett tapasztalatok inspirálták a kutatómunka kiterjesztését réteges szerkezetű anyagok vizsgálatára. A választás egy vízben (és más oldószerekben is) duzzadó kationcserélő sajátosságú anyagra a montmorillonitra, valamint a vízben nem duzzadó, de más módon a rétegtávolság változtatására készíthető anioncserélő anyagcsoportra, a réteges kettős hidroxidokra esett. A kutatások magukban foglalták az anyagok szintézisét, köztük eddig nem ismert réteges kettős hidroxidok előállítását is, a szerkezetek módosítását egyszerű és összetett, szervetlen és szerves kationok, illetve anionok beépítésével a rétegek közé (interkalálás), a kapott szerkezetek kimerítő jellemzését, valamint katalitikus hasznosításukat egyaránt. Sikeres volt sokféle szervetlen ion, köztük összetett nagyméretű, savas és redoxi tulajdonságokkal is rendelkező Keggin-ionok beépítése montmorillonit rétegek közti terébe, a nyert kité-

masztott rétegszilikátok sokoldalú jellemzése, és a kapott anyagok alkalmasak voltak sav-bázis, redoxi, valamint a mindkét fajta reakciót magában foglaló összetett reakciók katalizálására. Mind a hőkezelt, mind a hőkezelés nélküli réteges kettős hidroxidok sokféle kémiai átalakulás alkalmas katalizátorainak bizonyultak. Az aminosavak sikeres interkalálását – kationos formában montmorillonitba, anionosban réteges kettős hidroxidokba – tárgyaló munka a vonatkozó kutatási irány egyik alapművévé vált.

- *Mészáros, Sz., Halász, J., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I.:*  
Reconstruction of calcined MgAl- and NiMgAl-layered double hydroxides during glycerol dehydration and their recycling characteristics  
*Applied Clay Science* 80–81: pp. 245–248. (2013)
- *Srankó, D., Pallagi, A., Kuzmann, E., Canton, S.E., Walczak, M., Sági, A., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Sipos, P., Pálinkó, I.:*  
Synthesis and properties of novel Ba(II)Fe(III) layered double hydroxides  
*Applied Clay Science* 48:(1–2) pp. 214–217. (2010)
- *Fudala, Á., Pálinkó, I., Kiricsi, I.:*  
Preparation and characterization of hybrid organic-inorganic composite materials using the amphoteric property of amino acids: Amino acid intercalated layered double hydroxide and montmorillonite  
*Inorganic Chemistry* 38:(21) pp. 4653–4658. (1999)
- *Pálinkó, I., Molnár, Á., Nagy, J.B., Bertrand, J.C., Lázár, K., Valyon, J., Kiricsi, I.:*  
Mixed-metal pillared layer clays and their pillaring precursors  
*Journal Of The Chemical Society-Faraday Transactions* 93:(8) pp. 1591–1599. (1997)

### *Hordozós és szabályos szerkezetű fémkatalizátorok valamint organokatalizátorok kémiája*

A Kémiai Tanszékcsoportban folyó alapkutatás jellegű katalitikus vizsgálatok az új energiaforrások ( $H_2$ ) lehetőségének kidolgozását, a környezetvédelmi problémák megoldását és értékesebb vegyületek előállítását célozzák.

A Fizikai Kémia és Anyagtudományi, az Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszéken, valamint az MTA-SZTE Reakciókinetikai és Felületkémi Kutatócsoportjában az utóbbi két évben elsősorban a  $CO_2+H_2$ , a  $CH_4+CO_2$  és az etanol átalakulási reakcióival foglalkoztak oxidhordozós és modell fémkatalizátorokon. A reakciók során termikus, de néhány esetben látható és UV-fénnyel való gerjesztést is alkalmaztak. Minden esetben kiterjedten vizsgálták

a katalizátorok szerkezetét a katalitikus reakció előtt és, lehetőség szerint, a reakció alatt. A széleskörű elektron-, ion- és fotoelektron spektroszkópiai módszerek (AES, XPS, LEIS), valamint a morfológiai vizsgálatok (TEM, SEM, STM) együttes alkalmazása módot nyújtott a katalizátor hatásossága és szerkezete közötti összefüggés feltárására. A reakciók és azok részlépéseit jól definiált, orientált filmekben, strukturált nanofázisokon (szálak, csövek) és pórusos oxidokon, illetve ezekre leválasztott fém nanorészecskéken történtek.

- Ferencz, Zs., Baán, K., Oszkó, A., Kónya, Z., Kecskés, T., Erdőhelyi, A.: Dry reforming of CH<sub>4</sub> on Rh doped Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts Catalysis Today 228: pp. 123–130. (2014)
- Ferencz, Zs., Erdőhelyi, A., Baán, K., Oszkó, A., Óvári, L., Kónya, Z., Papp, C., Steinrück, H.-P., Kiss, J.: Effects of support and Rh additive on Co-based catalysts in the ethanol steam reforming reaction Acs Catalysis 4: pp. 1205–1218. (2014)
- Sarusi, I., Fodor, K., Baán, K., Oszkó, A., Pótári, G., Erdőhelyi, A.: CO<sub>2</sub> reforming of CH<sub>4</sub> on doped Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts Catalysis Today 171:(1) pp. 132–139. (2011)

Az MTA-SZTE Reakciókinetikai és Felületkémiai Kutatócsoport Katalitikus Csoportjában behatóan foglalkoztak az oxigéntartalmú szerves vegyületek (metanol, etanol, hangyasav, dimetil-éter) fotokatalitikus bomlásának vizsgálatával. Az elsődleges cél a lehetőleg tiszta, CO-mentes hidrogén előállítás volt, amely az üzemanyagcellák számára elsődleges fontosságú. A korábbi kutatási eredmények szerint számos katalizátor (Pt-fémek, Mo<sub>2</sub>C, Au nanoméretben alkalmas hordozókon) hatásos a fent felsorolt vegyületek bontásában, azonban CO-mentes hidrogént csak a hangyasav katalitikus bomlása során kaptak.

A metanol és az etanol fotolízisének vizsgálatok kiderítették, hogy a bomlás iniciáló lépése az adszorbeált metoxi-, illetve etoxicsoportok átalakulása adszorbeált formiáttá, illetve acetaldehiddé. Az alkalmas fotokatalizátornak a nitrogénnel adalékolt TiO<sub>2</sub> bizonyult. Átmenetifémek (Rh, Pt, Ir, Ru) rávitele a tiszta és a dotált TiO<sub>2</sub>-ra jelentősen megnöveli az alkoholok fotoindukált bomlásának a mértékét, még látható besugárzás esetén is.

A hangyasav fotobomlásának vizsgálatok felismerték, hogy nemesfémek rávitele a tiszta és nitrogénnel dotált TiO<sub>2</sub>-ra jelentősen megnövelte a molekula fotokatalitikus bomlásának mértékét. Ebben a folyamatban a Pd/TiO<sub>2</sub> volt a legaktívabb katalizátor. Ezen a katalizátoron sikerült CO-mentes hidrogént előállítani.

- *Gazsi, A., Schubert, G., Bánsági, T., Solymosi, F.:*  
Photocatalytic decomposition of methanol and ethanol on Au supported by pure or N-doped TiO<sub>2</sub>  
Journal Of Photochemistry And Photobiology A-Chemistry 271: pp. 45–55. (2013)
- *Gazsi, A., Schubert, G., Pusztai, P., Solymosi, F.:*  
Photocatalytic decomposition of formic acid and methyl formate on TiO<sub>2</sub> doped with N and promoted with Au. Production of H<sub>2</sub>.  
International Journal Of Hydrogen Energy 38:(19) pp. 7756–7766. (2013)
- *Schubert, G., Bánsági, T., Solymosi, F.:*  
Photocatalytic decomposition of methyl formate over TiO<sub>2</sub>-supported Pt metals  
Journal Of Physical Chemistry C – Nanomaterials And Interfaces 117:(44) pp. 22797–22804. (2013)

Az MTA-SZTE Sztereo-kémiai Kutatócsoport szerves kémiai tanszéki részlege a heterogén katalitikus aszimmetrikus szintézisek kutatásában az utóbbi két évben – a korábbiakban végzett kutatásokra alapozva – az enantioszelektív hidrogénezések és az aszimmetrikus aldol reakciók terén az alábbi eredményeket érte el.

A Pd-tartalmú grafének aktív katalizátornak bizonyultak prokirális alifás  $\alpha,\beta$ -telítetlen karbonsavak enantioszelektív hidrogénezésében cinkonidin királis módosító és benzilamin nem-királis adalék jelenlétében. A hagyományos hordozós Pd-katalizátoroktól eltérően a nem-királis adalék növelte a hidrogénezés sebességét, ami feltételezéseink szerint a grafén különleges tulajdonságainak köszönhető.

Új módszert dolgoztak ki 3-hidroxi-3,4-dihidrokinolin-2(1*H*)-on származékok enantioszelektív előállítására, a jól ismert cinkona alkaloidokkal módosított Pt-katalizátor alkalmazásával. A reakció felhasználható a fenilgyűrűn szubsztituált származékok előállítására is: a nitrocsoport melletti szubsztituensek növelik a kívánt termék szelektivitását, így a 8-szubsztituált hidrokínolonok nagyobb hozammal nyerhetők ki.

Cinkonidinnel módosított Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-katalizátort használva a 2-metil-2-buténsav enantioszelektív hidrogénezésére megmutatták, hogy a nem-királis amin adalékok, amelyek jelentősen növelhetik az enantioszelektivitást, részt vesznek a királis indukcióért felelős felületi átmeneti komplex kialakításában.

Aminosavak, di- és tripeptidek sokféle szerves kémiai reakció sztereoszzelektív kivitelezésére használhatók. A szerves katalizátorok rögzítése szilárd

hordozóra nemcsak a termékek tisztítását könnyíti meg, hanem a körülményesen előállítható peptidek visszanyerését és újbóli használatát is lehetővé teszi. Három szerves polimerhez (polisztrirol) kötött peptidkatalizátort állítottak elő, amelyeket aceton és ciklohexanon keresztaldol dimerizációjában teszteltek. Eredményeik irányt mutattak újabb, nagyobb hatékonyságú királis kompozitanyagok kifejlesztéséhez.

Királis katalizátorok rögzítése szerves hordozókon tovább növelheti az eljárások előnyeit, elsősorban a hordozó kedvező tulajdonságainak hatására. Ezért vizsgálatokat folytattak oxidra rögzített prolinkatalizátorokkal. Ciklohexanon esetében a felületen adszorbeált aminosavakkal katalizált reakciókban a homogén reakcióval megegyező konfigurációjú optikai izomerek keletkeztek nagyobb mennyiségben, azonban jobb enantioszelektivitás elérése vált lehetővé. Ezek az eredmények kiindulópontot jelenthetnek olyan oxid felületekre adszorbeált aminosav-katalizátorok előállításához, amelyek hatékonysága jelentősen meghaladhatja a homogén katalizátorként használt aminosavakét.

- Szöllősi, G., Csámpai, A., Somlai, C., Fekete, M., Bartók, M.:  
Unusual enantioselectivities in heterogeneous organocatalyzed reactions: Reversal of direction using proline di- versus tri-peptides in the aldol addition  
Journal Of Molecular Catalysis A-Chemical 382: pp. 86–92. (2014)
- Makra, Z., Szöllősi, G.:  
Hydrogenation of (E)-2-methyl-2-butenic acid over cinchona-modified Pd catalyst in the presence of achiral amines: Solvent and modifier effect  
Catalysis Communications 46: pp. 113–117. (2014)
- Szöllősi G., Fekete, M., Gurka, A.A., Bartók M.:  
Reversal of enantioselectivity in aldol reaction: New data on proline/g-alumina organic-inorganic hybrid catalysts  
Catalysis Letters 144:(3) pp. 478–486. (2014)
- Szőri, K., Puskás, R., Szöllősi, G., Bertóti, I., Szépvölgyi, J., Bartók, M.:  
Palladium nanoparticle-graphene catalysts for asymmetric hydrogenation  
Catalysis Letters 143:(6) pp. 539–546. (2013)
- Szöllősi, G., Makra, Z., Kovács, L., Fülöp, F., Bartók, M.:  
Preparation of optically enriched 3-hydroxy-3,4-dihydroquinolin-2(1H)-ones by heterogeneous catalytic cascade reaction over supported platinum catalyst  
Advanced Synthesis & Catalysis 355:(8) pp. 1623–1629. (2013)

*Elméleti és számítási kémiai kutatások*

*Tasi Gyula* és munkacsoportja egyaránt foglalkozik kvantumkémiai módszerek és programok fejlesztésével, valamint alkalmazott kvantumkémiai számításokkal az SZTE Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszékén. Az utóbbi kategóriába elsősorban magas szintű *ab initio* termokémia számítások tartoznak légkörkémiai szempontból fontos molekulákra és reakciókra. Azonban olyan kérdésekkel is foglalkoznak, mint a szénatom és a kénatom képződéshője, valamint a bután konformerek relatív stabilitása. Alkánok konformációs flexibilitásának tanulmányozása során kifejlesztették a konformációs analízis végrehajtásához szükséges teljes eszköztárat. Ennek segítségével tetszőleges flexibilis molekula esetén elvégezhető a konformációs analízis.

A csoportban sokféle módszert és az azokhoz tartozó programot hoztak létre, illetve fejlesztenek. Ilyenek a világ egyik leggyorsabb közelítő kvantumkémiai módszere (SEOEM) és programja (a módszer a molekula összes elektronját figyelembe veszi, s visszaadja az összetett *ab initio* termokémiai módszerekkel számítható teljes energiát); egy *ab initio* kvantumkémiai program, amely képes térben szétszlatott Gauss-pályákkal (DGB) is számolni; egy vektoralgebrai módszer pontcsoportok és vázcsoportok meghatározására; Monte-Carlo programok kémiai reakciók formálkinetikai tanulmányozására.

- *Tasi, G., Nagy-Gyevi, L., Tóbiás, R., Tasi, T.S.:*  
Vector algebra and molecular symmetry: a tribute to Professor Josiah Willard Gibbs  
Journal Of Mathematical Chemistry 51:(8) pp. 2187–2195. (2013)
- *Barna, D., Nagy, B., Csontos, J., Császár Á.G., Tasi, G.:*  
Benchmarking experimental and computational thermochemical data: A case study of the butane conformers  
Journal Of Chemical Theory And Computation 8:(2) pp. 479–486. (2012)
- *Nagy, B., Szakács, P., Csontos, J., Rolik, Z., Tasi, G., Kállay M.:*  
High-accuracy theoretical thermochemistry of atmospherically important sulfur-containing molecules  
Journal Of Physical Chemistry A 115:(26) pp. 7823–7833. (2011)
- *Tasi, G., Barna, D.:*  
Energy decomposition based on the extended virial theorem: Hartree-Fock and second-order Moller-Plesset results  
International Journal Of Quantum Chemistry 109:(11) pp. 2599–2605. (2009)

- Tasi, G., Mizukami, F., Pálinkó, I., Csontos, J., Györffy, W., Nair, P., Maeda, K., Toba, M., Niwa, S., Kiyozumi, Y., Kiricsi, I.: Enumeration of the conformers of unbranched aliphatic alkanes Journal Of Physical Chemistry A 102:(39) pp. 7698–7703. (1998)

Körtvélyesi Tamás és együttműködő partnerei kvantitatív szerkezet–aktivitás (QSAR), kvantitatív szerkezet–tulajdonság (QSPR) és kvantitatív szerkezet–kromatográfiás retenció összefüggéseket (QSRR) tanulmányoznak kvantumkémiai és statisztikai módszerekkel. A módszert alkalmazták ligandum alapú gyógyszertervezésre is, amikor a ligandum molekulák biológiai aktivitása ismert volt, de a célmolekula nem.

Hatékony számítógépes eljárásokat fejlesztettek fehérjék kötőhelyeinek felderítésére, és a kis molekulák energetikailag/alakilag legkedvezőbb elhelyezkedési lehetőségeinek feltárására. A gyógyszereszerű molekulák kötődését és a kötődés erősségét fehérje–fehérje, fehérje–ligandum és fehérje–DNS dokkolási eljárásokkal és molekuladinamikai módszerekkel vizsgálják.

Kvantumkémiai módszerekkel számították a DNS, PNS és triplexek szerkezetét és szerkezeti változásait, valamint kölcsönhatását fehérjékkel.

Szerves molekulák konformációanalízisét és reakcióinak lehetőségeit szempiempirikus és *ab initio/sűrűségfüggő* módszerekkel vizsgálták, a kísérleti eredmények értelmezésének érdekében.

A kristályszerkezetek kialakulásakor fellépő erőket molekulamechanikai, kvantumkémiai és elektrosztatikát leíró módszerekkel tanulmányozták/tanulmányozzák.

- Keglevich, G., Kiss, N.Z., Drahos, L., Körtvélyesi, T.: Direct esterification of phosphinic acids under microwave conditions: extension to the synthesis of thiophosphinates and new mechanistic insights Tetrahedron Letters 54:(6) pp. 466–469. (2013)
- Nagy, G., Gyurcsik, B., Hoffmann, E.A., Körtvélyesi, T.: Theoretical design of a specific DNA-Zinc-finger protein interaction with semi-empirical quantum chemical methods Journal Of Molecular Graphics And Modelling 29:(7) pp. 928–934. (2011)
- Hoffmann, E.A., Fekete, Z., Rajkó, R., Pálinkó, I., Körtvélyesi, T.: Theoretical characterization of gas-liquid chromatographic molecular stationary phases with quantum chemical descriptors Journal Of Chromatography A 1216:(12) pp. 2540–2547. (2009)

- *Silberstein, M., Dennis, S., Brown, L., Körtvélyesi, T., Clodfelter, K., Vajda, S.:* Identification of substrate binding sites in enzymes by computational solvent mapping  
Journal Of Molecular Biology 332:(5) pp. 1095–1113. (2003)

### *Nanotechnológiai kutatások*

A SZTE Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszékén működő, *Hernádi Klára* által vezetett Alkalmazott Nanocső Technológia (Applied Nanotube Technology, ANT) kutatócsoport – hazai és külföldi partnerekkel kiegészülve – már lassan 20 éve foglalkozik különböző formájú szén nanocsövek szintézisével, valamint szén nanocsőalapú kompozitanyagok előállításával és azok széleskörű felhasználási lehetőségeinek vizsgálatával. A csoport munkája felöleli a különféle szén nanocsövek szintézisét, elsősorban a katalitikus kémiai gőzlecsapás (catalytic chemical vapour deposition – CCVD) technikájával, azok tisztítási módszereinek fejlesztését, különféle szén nanocső–szervetlen vagy szerves anyag kompozitok készítését, valamint a kompozitok felhasználási lehetőségeinek kutatását. A csoportban kidolgoztak különféle nanocső-bevonási technikákat és tesztelték a kapott nanokompozitok szenzorikus, valamint polimererősítő tulajdonságait. A kutatócsoportban többfalú szén nanocsövekkel alkotott, valamilyen  $\text{TiO}_2$  alapú kompozit fotokatalizátorok előállításával, jellemzésével és fotokatalitikus aktivitásuk vizsgálatával is foglalkoznak.

- *Keccsenovity, E., Fejes, D., Réti, B., Hernádi, K.:*  
Growth and characterization of bamboo-like carbon nanotubes synthesized on Fe–Co–Cu catalysts prepared by high-energy ball milling  
Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics 250:(12) pp. 2544–2548. (2013)
- *Aroutiounian, V.M., Adamyán, A.Z., Khachatryan, E.A., Adamyán, Z.N., Hernádi, K., Pállai, Z., Németh, Z., Forró, L., Magrez, A., Horváth, E.:*  
Study of the surface-ruthenated  $\text{SnO}_2$ /MWCNTs nanocomposite thick-film gas sensors  
Sensors And Actuators B-Chemical 177: pp. 308–315. (2013)
- *Pap, Z., Karácsonyi, E., Baia, L., Pop, L.C., Danciu, V., Hernádi, K., Mogyorósi, K., Dombi, A.:*  
 $\text{TiO}_2$ / $\text{WO}_3$ /Au/MWCNT composite materials for photocatalytic hydrogen production: Advantages and draw-backs  
Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics 249:(12) pp. 2592–2595. (2012)



- *Németh K., Réti, B., Pósa, M., Belina, K., Hernádi, K.:*  
SiO<sub>2</sub>/MgO coated multiwalled carbon nanotubes in polymer composites  
Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics 249:(12) pp. 2333–2336.  
(2012)
- *Fejes, D., Hernádi, K.:*  
A review of the properties and CVD synthesis of coiled carbon nanotubes  
Materials 3:(4) pp. 2618–2642. (2010)

Szintén az Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszéken működnek *Kónya Zoltán* és *Kukovecz Ákos* kutatócsoportjai, melyekben a nanostrukturált anyagok széles körének szintézisét és alkalmazásait fejlesztik. Dolgoznak mezopórusos anyagokkal, szén- és szilikahabokkal, továbbá nemesfémekből, vasból, félvezető oxidokból és kalkogénidekből készült nanorészecskékkel, valamint szén, oxid és kalkogénid nanocsövekkel, nanoszálakkal és ezek kompozitjaival is. Kiemelkedően fontos a trititanát nanocsövek/nanoszálak kémiájának kutatása: több nemzetközileg is magasan hivatkozott alapcikket írtak ezeknek az anyagoknak a képződési és egymásba alakítási mechanizmusairól, fázistérképről, nedvesedéséről és fotokatalitikus felhasználásukról.

Alaputatási szinten az MTA-SZTE Reakciókinetikai és Felületkémiai Kutatócsoport főként szilárd/gáz határfelületi kémiával és katalízissel, az MTA-SZTE „Lendület” Pórusos Nanokompozitok Kutatócsoport pedig a fluidumok és a nanopórusos anyagok kölcsönhatásainak vizsgálatával és szenzorfejlesztéssel foglalkozik. Azonosították például a trititanát nanoszálakban vízadszorpció során lezajló relaxációs és töltésátviteli folyamatokat, és vizsgálták ezek változását az adszorbatum mennyiségével és a hőmérséklettel. Végül olyan elméleti modellt állítottak fel, mely a vezetési válasz delokalizált-ságát – először a szakirodalomban – is számításba vette.

Kiemelendők még a csoportok ipari szereplőkkel közösen megvalósított munkái, különösen a szegedi gyufagyárral ápolt szoros K+F együttműködés, valamint a zéró vegyértékű vas nanorészecskékkel történő talajvízkezelő technológia kifejlesztése, méretnövelése és sikeres terepi alkalmazása.

- *Buchholcz, B., Haspel, H., Kukovecz, Á., Kónya, Z.:*  
Low temperature conversion of titanate nanotubes into nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles  
Crystengcomm 2014, nyomdában, DOI: 10.1039/C4CE00801D
- *Óvári, L., Berkó, A., Gubó, R., Rác, Á., Kónya, Z.:*  
Effect of a gold cover layer on the encapsulation of rhodium by titanium oxides on titanium dioxide(110)

- Journal Of Physical Chemistry C – Nanomaterials And Interfaces  
118:(23) pp. 12340–12352. (2014)
- *Kukovecz, Á., Kozma, G., Kónya, Z.:*  
Multi-walled carbon nanotubes: Chapter 5  
In: Springer Handbook Of Nanomaterials, Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. pp. 147–188 (ISBN: 978-3-642-20594-1).
  - *Haspel H., Bugris V., Kukovecz Á.:*  
Water sorption induced dielectric changes in titanate nanowires  
Journal Of Physical Chemistry C – Nanomaterials And Interfaces  
117:(32) pp. 16686–16697. (2013)
  - *Xiang, C.S., Cox, P.J., Kukovecz, Á., Genorio, B., Hashim, D.P., Yan, Z., Peng, Z.W., Hwang, C. C., Ruan, G., Samuel, E.L.G., Sudeep, P.M., Kónya, Z., Vajtai, R., Ajayan, P.M., Tour, J.M.:*  
Functionalized low defect graphene nanoribbons and polyurethane composite film for improved gas barrier and mechanical performances  
Acs Nano 7:(11) pp. 10380–20386. (2013)
  - *Kukkola, J., Mohl, M., Leino, A.R., Mäklin, J., Halonen, N., Shchukarev, A., Kónya, Z., Jantunen, H., Kordás, K.:*  
Room temperature hydrogen sensors based on metal decorated WO<sub>3</sub> nanowires  
Sensors And Actuators B-Chemical 186: pp. 90–95. (2013)
  - *Darányi, M., Csesznok, T., Kukovecz, Á., Kónya, Z., Kiricsi, I., Ajayan, P.M., Vajtai, R.:*  
Layer-by-layer assembly of TiO<sub>2</sub> nanowire/carbon nanotube films and characterization of their photo-catalytic activity  
Nanotechnology 22:(19) Paper N°195701. 9 p. (2011)

### *Szervetlen kémia hiperalkalikus közegben*

A 2009-ben létrehozott Anyag és Oldatszerkezeti Kutatócsoport, Sipos Pál és Pálinkó István vezetésével, sok minden más mellett tanulmányozza a Ca, Al, Ga, és Sn ionjainak viselkedését extrém tömény (egészen 16 mol/dm<sup>3</sup>-ig) NaOH-oldatokban. Különleges körülmények között különleges kémia történik, és valóban, ilyen feltételek mellett a Ca(II)-ionok komplexálódnak cukorsavak anionjaival, szokatlan szerkezetű komplexeket alkotva. A csoport eredményei rámutattak arra, hogy az Sn(II)-, Sn(IV)- és a Ga(III)-ionok is a szokásostól eltérően viselkednek hiperalkalikus közegben.

- Radnai, T., Bálint, Sz., Bakó, I., Megyes, T., Grósz, T., Pallagi, A., Peintler, G., Pálinkó, I., Sipos, P.:  
The structure of hyperalkaline aqueous solutions containing high concentrations of gallium – a solution X-ray diffraction and computational study  
Physical Chemistry Chemical Physics 16:(9) pp. 4023–4032. (2014)
- Pallagi, A., Bajnóczi, É.G., Canton, S.E., Bolin, T.B., Peintler, G., Kutus, B., Kele, Z., Pálinkó, I., Sipos, P.:  
Multinuclear complex formation between Ca(II) and gluconate ions in hyperalkaline solutions relevant to radioactive waste disposal  
Environmental Science & Technology 48:(12) pp. 6604–6611. (2014)
- Pallagi, A., Tasi, Á.G., Peintler, G., Forgo, P., Pálinkó, I., Sipos, P.:  
The complex forming between the Al(III) and gluconate in alkaline solutions  
Dalton Transactions 42:(37) pp. 13470–13476. (2013)
- Pallagi, A., Csendes, Z., Kutus, B., Czeglédi, E., Peintler, G., Forgo, P., Pálinkó, I., Sipos, P.:  
Multinuclear complex formation in aqueous solution of Ca(II) and heptagluconate ions  
Dalton Transactions 42:(23) pp. 8460–8467. (2013)

### *Bioszervetlen kémiai kutatások*

A Szegedi Tudományegyetemen folyó bioszervetlen kémiai kutatásokat a néhai Burger Kálmán akadémikus indította útjára 1983-ban. Az elmúlt 30 évben azonban a vizsgált rendszerek terén jelentős eltolódás következett be a makromolekulák irányába. A Bioszervetlen Kémiai Kutatócsoportban jelenleg folyó kutatások három nagyobb terület, a gyógyhatású fémkomplexek kifejlesztése, a metalloproteinek szerkezeti és funkcionális modellezése, valamint a mesterséges metallonukleázok előállítására kiterjed.

A potenciálisan gyógyhatású fémkomplexekkel kapcsolatos munka során döntően az új fejlesztésű fémkomplexek biotranszformációs folyamatait és biospeciálitását vizsgálják. Az ilyen folyamatok megismerése alapvetően fontos azért, hogy meg tudják jósolni a gyógyszerjelölt fémkomplex sorsát az emberi szervezetben és azért is, hogy hozzá tudjanak járulni a hatásmechanizmus megértéséhez, és a sikeres gyógyszerfejlesztéshez is. Az *in vitro* vizsgálati adatok birtokában pedig (matematikailag és kémiailag) modellezni tudják a fémkomplexek viselkedését biológiai releváns koncentrációviszonyok között, bioligandumok jelenlétében.

Munkájuk érinti a klinikai fázisban lévő rákellenes anyagok (pl. Triapine fém-komplexei, a Ga(III) és Ru(II/III) komplexek), inzulinutánzó VO(IV) komplexek, valamint az Alzheimer-kór kezelésében alkalmazható kelátok vizsgálatát is.

A metalloproteinek funkcionális és szerkezeti modellezésével kapcsolatos munkáik egy része a natív enzimekhez hasonló aktivitással, szelektivitással és működési mechanizmussal rendelkező, kis molekulatömegű fém-komplexek kifejlesztését célozzák meg, melyek mind elméleti (a működés jobb megismerése), mind gyakorlati szempontból (bioutánzó katalizátorok kifejlesztése) értékes eredményeket szolgáltatathat. Másrészt vizsgálják számos metalloprotein fémkötő sajátosságait működésük jobb megértése céljából, de a vizsgált fehérjék szabályozása terápiás felhasználást is nyerhet. Így például azonosították a humán ZnT3 cink-transzporter fehérje cinkkötő szekvenciáját, ami a feltételezések szerint kapcsolatban áll az Alzheimer-kórra jellemző  $\beta$ -amiloid plakkok kialakulásával.

Munkájuk harmadik részében részletesen vizsgálják a colicin E7 bakteriális toxin nukleáz doménjét. Ez a fehérje ugyanis a C-terminális részén található Zn(II)-iont tartalmazó aktív központja révén katalizálja a DNS foszfodiészter kötéseinek hidrolitikus hasítását, de e folyamat lejátszódásához elengedhetetlen a fehérje N-terminális végének jelenléte, amely intramolekuláris allosztérikus szabályozást biztosít az enzim működéséhez. Ezt kihasználva olyan biztonságos mesterséges nukleázok kifejlesztésén dolgoznak, amelyek nemcsak az *in vitro* molekuláris biológiai kutatásokat segíthetik, hanem segítségükkel sejteken belül gének alakíthatók át (javíthatók, változtathatók, vagy kiüthetők), ami számos ma még gyógyíthatatlan betegség esetén jelenthetne megoldást.

- Dömötör, O., Hartinger, C.G., Bytzek, A.K., Kiss, T., Keppler, B.K., Enyedy, É.A.:

Characterization of the binding sites of the anticancer ruthenium(III) complexes KP1019 and KP1339 on human serum albumin via competition studies

Journal Of Biological Inorganic Chemistry 18:(1) pp. 9–17. (2013)

- Árus, D., Dancs, Á., Nagy, N.V., Gajda, T.:

A comparative study on the possible zinc binding sites of the human ZnT3 zinc transporter protein

Dalton Transactions 42: pp. 12031–12040. (2013)

- Czene, A., Németh, E., Zóka, I., Jakab-Simon N.I., Körtvélyesi, T., Nagata, K., Christensen, H.E.M., Gyurcsik B.:

The role of the N-terminal loop in the function of Colicin E7 nuclease domain

Journal Of Biological Inorganic Chemistry 18:(3) pp. 309–321. (2013)

- *Milunovic, M.N.M., Enyedy, É.A., Nagy, N.V., Kiss, T., Trondl, R., Jakupec, M.A., Keppler, K.B., Krachler, R., Novitchi, G., Arion, V.B.:*  
L- and D-proline thiosemicarbazone conjugates: coordination behavior in solution, and the effect of copper(II) coordination on their antiproliferative activity  
*Inorganic Chemistry* 51:(17) pp. 9309–9321. (2012)

### *Szteroidkémiiai kutatások*

Az SZTE Szerves Kémiai Tanszékén a természetes eredetű szerves vegyületek kutatása több évtizedes múltra tekint vissza. A korábban folyó peptidkémiiai, alkaloidkémiiai és heterociklusos molekulákkal folytatott intenzív kutatások a múlt század hatvanas éveitől kezdve a szteránvázis vegyületekkel végzett kísérletes munkákkal egészültek ki, és ez utóbbi tématerület a mai napig is a tanszék egyik fő kutatási profilját képezi. A Szteroidkémiiai Kutatócsoport különböző alapvázú szteroidszármazékok (elsősorban természetes nemihormon analogonok) szintetikus szerkezetmódosításával foglalkozik, melynek célja az eredeti biológiai hatás háttérbe szorítása és egy új főhatás előtérbe helyezése.

Napjaink szteroidkutatásának fő célja a már meglévő, ismert származékoknál szelektívebb hatású vegyületek szintézise. A főhatás növelésére és a mellékhatások háttérbe szorítására a vázon végrehajtott módosítások, a különböző funkciós csoportok bevitele, és újabban, a heterociklusokat is tartalmazó szteroidok előállítására ad lehetőséget. Az utóbbi évek kutatási eredményei alátámasztották, hogy számos szteránvázis vegyület összetett hatásmechanizmussal közvetlenül és szelektív módon képes a ráksejtekre hatni, melynek eredményeként azok burjánzása megakadályozható, ugyanakkor az egészséges sejtosztódás érintetlen marad. Így a heterociklusos szteroidok alkalmazása a célzott rákterápia kiváló lehetőségét kínálja. Terápiás jelentőségük mellett a szteránvázis vegyületek kutatása szintetikus szempontból is érdekes kihívás, hiszen a viszonylag merev alapváz miatt számos ismert kémiai reakció az egyszerűbb molekulákhoz képest más hozammal, eltérő szelektivitással játszódik le, valamint a vázhoz kondenzált, vagy ahhoz kapcsolódó új heterogyűrű konformációs mozgási lehetőségei is módosulnak.

A szegedi szteroidkémiiai kutatások manapság főleg a különböző heterociklusokat tartalmazó vegyületek előállítására irányulnak. Ennek okai abban keresendők, hogy az egyszerűbb szubsztituált származékok farmakológiai vizsgálata nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, és zömében megmaradt

a vegyületek elsődleges hormonális aktivitása. A különböző heteroatomokat tartalmazó gyűrűk szteránvázon történő kiépítésére ugyanakkor számos szintetikus lehetőség áll rendelkezésre, és az ilyen molekularészek jelentősen befolyásolhatják a vegyület biológiai célmolekulához való kötődését, és ezáltal a hatását is.

- Kovács, D., Wölfling, J., Szabó, N., Szécsi, M., Kovács, I., Zupkó, I., Frank, É.: An efficient approach to novel 17-5'-(1',2',4')-oxadiazolyl androstenes via the cyclodehydration of cytotoxic O-steroidacylamidoximes, and an evaluation of their inhibitory action on 17 $\alpha$ -hydroxylase/C<sub>17,20</sub>-lyase *European Journal Of Medicinal Chemistry* 70: pp. 649–660. (2013)
- Kovács, D., Mótyán, G., Wölfling, J., Kovács, I., Zupkó, I., Frank, É.: A facile access to novel steroidal 17-20-(1',3',4')-oxadiazoles, and an evaluation of their cytotoxic activities in vitro *Bioorganic And Medicinal Chemistry Letters* 24:(5) pp. 1265–1268. (2014)
- Frank, É., Kovács, D., Schneider, G., Wölfling, J., Bartók, T., Zupkó, I.: Synthesis of novel steroidal 16-spiroisoxazolines by 1,3-dipolar cycloaddition, and an evaluation of their antiproliferative activities in vitro *Molecular Diversity* 18:(3) pp. 521–534. (2014)
- Mernyák, E., Szabó, J., Bacsa, I., Huber, J., Schneider, G., Minorics, R., Bózsity, N., Zupkó, I., Varga, M., Bikádi, Z., Hazai, E., Wölfling, J.: Syntheses and antiproliferative effects of D-homo- and D-secoestrones *Steroids* 87: pp. 128–136. (2014)

DÉKÁNY IMRE

## *A kolloidkémiaiától a nanokémiáig*

### **A kolloidkémia oktatásának rövid története**

Szántó Ferenc az 1951. év őszén kapott megbízást a kolloidkémia oktatására Szegeden. Ebben az évben indította el az oktatást a vegyész- és kémia tanár szakos, majd 1964-től biológus, 1968-tól pedig a gyógyszerészhallgatók számára is. Vezetésével 1953-ban létrejött az Általános és Fizikai Kémiai Tanszékhez tartozó Kolloidkémiai Laboratórium, majd 1966-ban 6 fő oktatóval a JATE TTK Kolloidkémiai Tanszéke, melynek 1989-ben bekövetkezett haláláig vezetője volt. A tanszék vezetését ekkor tanítványa, Dékány Imre vette át. 1993 és 1999 között érte el a tanszék a maximális 7 fős oktatói létszámot, majd 2009-re fokozatosan 4 főre csökkent az oktatók száma. 2009 nyarán az önálló tanszék megszűnt, és Dékány Imre kezdeményezésére három kémiai tanszék (Fizikai Kémiai, Kolloidkémia, Szilárdtest és Radiokémiai Tanszékek) integrálásával létrehozott Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék keretében működő kolloidkémiai csoportokban folyik tovább az oktató és a kutatómunka. Az új – az oktatásban és kutatásban integrált – tanszék vezetésére Dékány Imre akadémikus kapott 2 évre megbízást. A kolloidkémia oktatása az 1980-as években már jól elhatárolt területekre tagolódott, úgy mint a *Kolloidika* alapkollégiumra, ill. a *Határfelületek és diszperz rendszerek*, *Polimerek*, *Környezeti kolloidika* főkollégiumokra. Lényeges feladata a tanszéknek a gyógyszerészhallgatók *Kolloidika* c. tárgyának oktatása, amely 1987-től angol nyelven is folyik. A tanszék kutatási témáinak szélesedésével folyamatosan bővült a speciálkollégiumok köre is. A kezdetektől fogva előadásra kerülő *Agyagásványok*, *Diszperz rendszerek reológija*, illetve *Agyag- és talajkémia* mellett 1993-tól további kurzusok alakultak ki: *Környezetvédelem kolloidkémiai alapjai*, *Agyagásványok és nanorészecskék*, *Micellás és folyadékkristályos rendszerek*, *Nanoszerkezetű anyagok*. 2006-tól a BSc képzés megindulásával lényegesen átalakult az oktatás szerkezete, a kötelező tárgyak köre nagyon leszűkült, a választhatóké kissé bővült, a laboratóriumi gyakorlatokat a tanszéki integráció miatt a fizikai kémiaival összevonták.

## Kolloidkémiai alap és alkalmazott kutatások Szegeden: út a nanoszerkezetű anyagok kutatásának megalapozásához

A kutatások a Buzágh-iskola szellemiségét követték. Szántó Ferenc és Várkonyi Bernát állították elő az első hazai organofil bentonitot, amelyet később Dékány és Szántó professzorok az elegy- és oldat adszorpció termodinamikai összefüggéseinek elemzéséhez találtak kiváló modelladszorbensnek. Ezzel megalapozták a szabályozott felületi energiájú (hidrofil/hidrofób) funkcionizált felületek kutatási profilját, amely napjainkban a nanoszerkezetű anyagkutatások alapjait képezi. A módosított felületű rétegszilikátok szelektív folyadékadszorpció és mikrokalorimetriás jellemzése, a 70-es évek közepétől a Budapesti Műszaki Egyetemen a hazai adszorpció iskola megteremtőjével, Schay Géza akadémikussal és Nagy Lajos György professzorral szoros együttműködésben, majd német kutatókkal Münchenben és Kielben kooperációban történt.

Az agyagok kolloidkémiai tulajdonságainak és alkalmazási területeinek kutatásában elért eredmények is hazai együttműködésben jöttek létre. Az olajbányászat, a lakk-, festék-, papír- és növényvédőszeriparral közös kutatómunka 34 szabadalmat eredményezett. A hetvenes években a tanszéken dolgoztak még Balázs János, Gildéné Farkas Mária, Patzkó Ágnes adjunktusok is. Témájuk elsősorban az agyagásványok kolloidkémiai tulajdonságainak jellemzése, ill. a kőolajipari emulziók alkalmazása különböző rétegekörülmények között. Az oxidfelületek jellemzése, az agyagásvány-huminanyagok kölcsönhatásainak, valamint a talajok környezetkémiai tulajdonságainak kutatása (Tombác Etelka) terén amerikai, német és japán együttműködésben. A 90-es években indult el a félvezető oxidok és nemesfém nanorészecskék kutatása Dékány professzor és Király Zoltán docens irányításával, angol és amerikai együttműködésben. 1992-től Dékány Imre csoportja amerikai kooperációban a félvezető fém-oxid nanorészecskék és agyagásvány kompozitjaik, elsősorban környezetszennyező anyagok bontását célzó fotokatalitikus kutatásokkal kezdett foglalkozni. A téma folytatása lehetővé tette az MTA Nanoszerkezetű Anyagok Kutatócsoport megalapítását, amely jelenleg nemzetközileg elismert eredményeket ért el. A tanszék vezetőjét 2001-ben levelező, majd 2007-ben az MTA rendes tagjává választották.

Az elmúlt évtizedben Király Zoltán az önként rendeződő amfifil molekulákkal, az utóbbi években pedig a ciklodextrint is tartalmazó rendszerek adszorpció és kalorimetriás kutatásaival foglalkozott. Az utóbbi években Tombác Etelka kutatásait a környezeti rendszerekről fokozatosan a főleg orvosi biológiai célra fejlesztendő mágneses folyadékokra irányítja román, szlovák és francia együttműködőkkel.



Szántó Ferenc alapító tagja az MTA Kolloidkémiai Munkabizottságának, 1985–1989 közötti években pedig elnöke volt. Ezt a tisztséget Dékány Imre 1991 és 2005 között, később pedig Tombácz Etelka töltötte be 2006–2012 között. A tanszék vezető oktatói nemzetközi szervezetekben (IUPAC Kolloid- és Felületkémiai Bizottsága, Kémia és Környezet Divízió, IACIS, ECIS, IHSS, Német Kolloidkémiai Társaság) tagok, éveken át azok vezetőségének, elnökségének választott vagy delegált tagjai. A tanszéken folyó kutatások elismerését mutatja, hogy a tanszék oktatói (DI és TE) vezető szakmai folyóiratok (Colloid and Polymer Science, Applied Clay Science, Colloids and Surfaces A.) szerkesztőségi bizottságainak tagjai. A tanszék vezetője Dékány Imre 6 éven át (2000–2006) az MTA Szervetlen és Fizikai Kémiai Bizottságának elnöke, ill. 2000–2003 között az OTKA Kémia I. zsűrijének elnöke volt. Dékány Imre a tanszékvezető feladatok mellett 1993–1995 és 2003–2009 között az egyetem tudományos és nemzetközi kapcsolatok rektorhelyettesi tisztségét is betöltötte.

A kolloidkémia és a nanoszerkezetű anyagok kutatása az elmúlt 15 évben számos új tematikával bővült. Dékány Imre csoportja a napfény hatására számos félvezető fém-oxid (például: titán-dioxid, cink-oxid) fotooxidációs tulajdonságait tanulmányozta, mivel ezek a nanorészecskék fény segítségével felhasználhatók a környezetünkben lévő káros anyagok lebontására. Előnyös a tisztítási folyamatban az is, hogy a fotooxidációs lebontás során kizárólag a napfény energiáját használják. A fotooxidációs folyamatban a katalizátor is öntisztuló tulajdonsággal rendelkezik, ezért használata az eddigi kísérletek szerint tartósnak bizonyult.

A fotokatalizátor felhasználását, alkalmazását tekintve fontos, hogy a fotokatalitikus aktivitás látható fény hatására is jelentős legyen, ezáltal lényegesen nagyobb hatékonysággal lebonthatók vagy átalakíthatók a szerves szennyeződések és fertőző anyagok. Ez utóbbi arra ösztönözte a szakembereket, hogy a  $\text{TiO}_2$  optikai tulajdonságait oly módon változtassák meg, hogy a látható fény hullámhossztartományában is mutakozzon fényelnyelés. Ennek egyik módja a  $\text{TiO}_2$ -részecskék módosítása fémes (például: Cu, Ag) nanorészecskékkel. Léteznek már olyan ezüst vagy réz-oxid nanorészecskékkel módosított titán-dioxid fotokatalizátorok, amelyek a látható fény mellett is jelentős fotokatalitikus aktivitással bírnak. Így lehetővé vált olyan bevonatok készítése, amelyek hatékony öntisztuló felületek kifejlesztését tették lehetővé.

A fotokatalizátor rétegek öntisztító, illetve antimikrobiális tulajdonságainak kutatása kapcsán vizsgálták a General Electric Hungary Kft.-vel együttműködve a polimerrel lámpatestre rögzített Ag- $\text{TiO}_2$  fotokatalizátor réteg alkalmazását a levegő fertőtlenítésére is.

A kolloidika, ill. a nanotechnológia kialakulása és fejlődése szempontjából a makromolekulás rendszerek meghatározó szerepet játszottak, így a kezdetektől fogva foglalkoztak polimerekkel, ill. makromolekulás rendszerekkel. Az egyik orvosi vonatkozású projektünk kapcsán pl. olyan duzzadó hidrogél kopolimerek és kompozitok előállítását tűztük ki célul, melyek előnyösen alkalmazhatók a bőrgyógyászatban szövetek tágitására és ezáltal élő bőrrnyésre. Ugyanezen hidrofil, vízdoldékony polimerek csoportjából kerültek ki azok a pH-érzékeny makromolekulák, melyek felhasználásával szabályozott hatóanyagleadó rendszereket dolgoztak ki a nőgyógyászati fertőzések kezelésére. Ha a megfelelően megválasztott polimerekből a nanométeres nagyságrendbe eső részecskéket (ún. latexeket) alkalmaznak, akkor ezen polimer részecskék alkalmasak arra, hogy fotokatalizátor részecskéket rögzítsenek különböző felületeken. Végül, ha olyan kis energiájú (ún. fluor-szubsztituált) polimereket szintetizálunk, melyek mindamelllett jó filmképző tulajdonságokkal és érdes felülettel is rendelkeznek, akkor ezek felhasználásával a lótuszlevélhez hasonló tulajdonságokkal rendelkező ún. szuper hidrofób felületek állíthatók elő. Az ilyen felület tehát nem nedvesedik, nem jegesedik, nem korrodál, öntisztuló és antibakteriális tulajdonságokat mutat.

A kolloidanyag alkalmazási köre napjainkban egyre inkább szélesedik, ezek között számos biodiagnosztikai felhasználási módot fejlesztettek ki az elmúlt néhány évtizedben. Arany nanorészecskékkel kapcsolatos, orvosi felhasználást célzó fejlesztések alapvető része a részecskék és az élő szervezetben található sejtek közötti kölcsönhatások megértése, azok befolyásolása. Langmuir-mérlegben folyadék/levegő határfelületen kialakított egy molekula vastagságú lipid filmek kiválóan alkalmasak sejtmembránok modellezésére. Az általunk előállított arany nanorészecskék orvosbiológiai motivációjú tanulmányozásához lipid filmeket állítottunk elő Langmuir-mérlegben, és különböző mérési megvalósításban jellemeztük a részecskék kölcsönhatását a modell membrán felszínnel. Vizsgálatainkhoz vizes közegben szintetizált arany nanorészecskék felületét különböző, biológiailag aktív molekulákkal (aminosavak, kisebb peptidek) módosítottuk. Az eredményeink a részecskék méretének hatása mellett rámutattak a felületükre kapcsolt aminosavak és peptidmolekulák fontos szerepére is. Korábbi kísérletek során szilikarészecskék esetén már kimutatták, hogy megfelelően nagy térerősség mellett a részecskék felülethez közeli vegyértékelektronjai nagyon rövid időre képesek elhagyni a részecskéket, amelynek következtében a nemesfém nanorészecskékhez hasonló, úgynevezett kvázi-plazmonikus viselkedést mutatnak.

Monodiszperz, arany és cink-oxid nanorészecskék plazmonikus viselkedésének jellemzését attoszekundumos lézerforrás által keltett erős elektromágneses

terekben a Münchenben dolgozó német kutatócsoporttal (Max Plank Institute for Optic and Qantumelectronic, prof. Mathias Kling és prof. Ferenc Krausz) együttműködésben végeztük.

Aggregációs folyamat vagy a diszperzitási fok változása révén a nanorészecskék közötti átlagos távolság olyan mértékben csökkenhet, hogy lehetőség nyílik a plazmonikus terek „átlapolására”. Az említett jelenség(ek) a plazmonikus spektrumban jól mérhető változást okoznak, így megvalósítható a nemesfém nanodiszperziók szenzorikai alkalmazása. A nagyfokú tudományos érdeklődés elsősorban az említett nemesfém nanorészecskék orvosi diagnosztikában és rákterápiában való alkalmazása felé irányul. Néhány kutatócsoport már figyelemre méltó eredményt ért el biofunkcionalizált arany nanorészecskék felhasználásával a daganatos sejtek célzott jelölésében, illetve a fototermiás rákterápiás eljárás során. Mivel az egészséges és daganatos sejtek eltérő fehérjeszerkezettel rendelkeznek, lehetőség nyílik olyan célirányosan megtervezett nano-biokonjugátum előállítására, melyek szelektíven csak a daganatos sejtekhez képesek kapcsolódni. Mivel az arany nanorészecskék nagyobb határfokkal nyelik el a közeli infravörös színek tartományba eső sugarakat. A nanorészecskék felmelegedése következtében a daganatos sejtek hőmérséklete is emelkedik, ezáltal lehetőség nyílik a daganat lokalizált és termikus úton történő megsemmisítésére. Amennyiben a szférikus arany nanorészecske helyett nanorudakat alkalmaznak, a felmelegedésen túl longitudinális rezgés is fellép, ami mechanikai úton is képes roncsolni a rákos sejteket. Ezen nemesfém nanorudak előállítása nagyobb kihívást jelent a szférikus részecskékhez képest. A 650–900 nm tartományban való gerjesztés különösen fontos, ugyanis a hemoglobin abszorpciós együtthatója e tartományban a legkisebb, így a testszövetek nem károsodnak lényegesen.

A nemesfém nanorészecskék gyógyászatban történő tényleges felhasználásának feltétele, hogy alaposan feltérképezzük és értelmezzük a nanorészecskék, illetve azok biofunkcionalizált származékainak kolloid stabilitását fiziológiás körülmények között. Kitüntetett cél a megfelelő összetételű vizes diszperziós közeg, a funkcionizált aminosavak, peptidek és fehérjék kémiai szerkezetének és koncentrációjának vizsgálata. Kiemelt figyelmet igényel annak vizsgálata is, hogy a nanorészecskék funkcionizálásának hatására, különösen a biofunkcionalizált nanorészecskék között esetlegesen fellépő első- és másodrendű kölcsönhatások eredményeképpen, az egyedi plazmonikus tulajdonságok milyen irányban változnak. Mindemellett a kísérleti rezonancia spektrumok elméleti úton történő közelítése további hasznos információt adhat a kialakuló kölcsönhatásokról. Ezen kutatási koncepciókra alapozva, nemzetközi szinten is számos kutatóintézet/kutatócsoport, köztük a Szegedi

Tudományegyetem ÁOK Orvosi Vegytani Intézetében lévő csoportunk is, alap kutatás szintjén foglalkozik többek között nemesfém nanorészecskék előállításával, szerkezetanalízisével, valamint ezen *részecskék különböző biológiailag aktív molekulákkal* (pl. *L*-cisztein, *L*-glutation, *L*-lizozim, BSA/HSA, illetve gyógyszermolekulák, mint ibuprofen, dopamin, kinurénsav stb.) való kölcsönhatásának feltérképezésével. Raman és <sup>1</sup>H-NMR technikák alkalmazásával sikeresen igazoltuk a nanofém-biomolekula *közötti kovalens* kötés(ek) kialakulását. Megállapítottuk, hogy a ciszteinnelmódosított arany és ezüst nanorészecskék között fellépő másodrendű kölcsönhatások kialakulása/megszűnése jó összhangban van az aminosav protonálódási/deprotonálódási folyamataival. Elméleti számolásokkal közelítettük a kísérleti plazmon rezonancia spektrumokat, mely során a pH változásának hatására bekövetkező aggregációs folyamatok mértékére, a biofunkcionalizált nanorészecskék egymással való kapcsolódásának lehetőségére (pl. geometria) tettünk javaslatokat.

A nanokapszulák alkalmazása gyógyszermolekulák csomagolására igen széles körben vizsgált terület. Szabályozott és célzott hatóanyag-leadás megvalósítása manapság mag-héj kompozitok használatával válik lehetségessé. A gyógyszerhatóanyagok szállítására, illetve a megfelelő hatás eléréséhez kutatócsoportunkban számos nanokompozit előállításával és vizsgálatával foglalkoztunk. Különböző polimerekkel burkolva állítottunk elő szerves, illetve szervetlen alapú kompozitokat a paraméterek változtatásával. Szintéziseink nagy előnye, hogy szobahőmérsékleten, pusztán elektrosztatikus kölcsönhatások révén felépíthetőek a mag-héj kompozitok. A mag-héj kompozitok másik típusában egy természetes alapú, szerves, biokompatibilis és biológiailag lebomló fehérjét, a bovine serum albumint (BSA) használtuk ibuprofen, valamint a terápiás alkalmazásokban rendkívül gyakran használt kinurénsav (KYNA) kapszulázására. A hatóanyag véragy-gáton történő átjuttatása jelenti a kutatás legnagyobb kihívását, amely számos paraméter együttes meglétével valósítható meg. Az általunk kifejlesztett módszer alapján egy olyan egyrétegű BSA-alapú, megfelelő koncentrációjú KYNA-t tartalmazó mag-héj kompozitot sikerült előállítanunk, amely az állatkísérletek szempontjából is pozitív eredményeket mutatott a jövőbeli alkalmazhatóság szempontjából.

A vékonyrétegek alkalmazása a gyakorlatban számos előny nyújt a tömbfázisú anyagokhoz képest. Kisebb anyagmennyiség, nagyobb felület környezetvédelmi szempontból is kedvezőek, hiszen felhasználás után könnyebben eltávolíthatóak, újrahasznosíthatóak. Egy hordozón több módszerrel is létrehozhatunk vékonyrétegeket, pl. terítéses, merítéses, porlasztásos technikával. Ezek közül egyszerűen kivitelezhető, viszonylag homogén, reprodukálható és szinte tetszőleges vastagságú, anyagi minőségű rétegek kialakíthatóak

bemerítéses önrendeződő, (layer-by-layer, LbL) technikával. Az eltérő töltésű kolloidok lehetnek akár nanorészecskék, polielektrolitok, tenzidek, agyagásványok, így oldatokból, szolokból és szuszpenziókból is alkothatunk a későbbi felhasználás szempontjából kedvező anyagokat. Kutatócsoportunkban különböző alakú, méretű, töltéssűrűségű komponensekből építettünk vékonyrétegeket, melyeket pl. szenzorként alkalmaztunk gőzök érzékelésében.

A nanotechnológia és a miniaturizálás fejlődése az utóbbi évtizedekben egyre szélesebb teret nyit a különböző optikai elven működő szenzorok, bioszenzorok fejlesztésének és alkalmazásának. Kutatócsoportunk is sok évre visszatekintő múlttal rendelkezik különböző típusú vékonyrétegeket, ún. „chip”-eket alkalmazó szenzorok használatát, ill. fejlesztését illetően. Ennek három főbb csapásiránya az optikai hullámvezető (Optical Waveguide Light-mode Spectroscopy, OWLS) és felületi plazmon rezonancia (Surface Plasmon Resonance, SPR) készülékek alkalmazása, valamint egy reflektometriai elven működő szenzor (Reflectometric Interference Spectroscopy, RIfS) fejlesztése.

Előbbi kettő alkalmazása széles körben elterjedt az orvosi kémiai és gyógyszeripari kutatásokban, elsősorban rendkívüli érzékenységük és minimális anyagszükségletük miatt. Az optikai hullámvezető érzékelő felülete egy optikai rács mintázattal ellátott, néhány 10–100 nm vastagságú dielektrikum réteg, melyben a megfelelő szögben beeső polarizált monokromatikus fény becsatolódás után teljes visszaverődések által a rétegben terjed tovább (az optikai szállal azonos elv szerint). Kutatócsoportunk ezen készülékek használatával sikeresen jellemezte számos aminosav (cisztein, glutation, hisztidin stb.), fehérje (lizozim, szérum albuminok stb.) és polimer kölcsönhatását különböző félvezető, ill. nemesfém nanorészecskékkel. A fentebb említett harmadik módszerrel (RIfS) kapcsolatosan egy optikai mérési és számítási elvet dolgoztak ki, mely néhány száz nanométer vastagságú rendezett félvezető vékonyrétegről visszaverődő fény (reflexió) spektrumának analízisén alapszik. Az interferencia szélsőértékekkel modulált reflexió spektrum a felületi adszorpció következtében eltolódik a nagyobb hullámhosszak irányába. Az eltolódás mértékéből számítással és kalibrációval meghatározható a fajlagos adszorbeált mennyiség. A módszer előnye az OWLS és SPR technikákkal szemben, hogy nem igényel polarizált fényt, valamint költséges nagyműszeres technológiát az érzékelő felület kialakítása céljából.

## *A magyar peptid- és fehérjekutatás Dóm téri születése és a közelmúlt kutatási irányai*

A 19. század második felében vált nyilvánvalóvá, hogy az élő rendszereket felépítő legfontosabb molekuláknak, a fehérjéknek az alapegységei az aminosavak, és ugyancsak aminosavak építik fel a peptideket is. A peptidek aminosavakból felépülő, az alfa-amino- és karboxilcsoport között kialakuló savamidkötéssel összekapcsolt vegyületek. A peptidkötés az élő szervezetekben megtalálható egyik legfontosabb kovalens kapcsolat. Mind kialakítása, mind elbontása alapvető jelentőségű akár biológiai, akár kémiai szempontból. A peptidek legkézenfekvőbb csoportosítása az őket felépítő aminosavak száma alapján történhet, két aminosavból egy peptidkötéssel dipeptid, három aminosavból két peptidkötéssel tripeptid, négy aminosavból tetrapeptid és így tovább. A számozás a görög számnevek alapján folytatódik, és néhányszor tízes nagyságig tart. 50–100 aminosav felett már fehérjékről kezdünk beszélni. A néhány aminosavból felépülő peptideket oligopeptideknek, a nagyobb tagszámúakat polipeptideknek nevezzük.

A peptidek jellemzésének legelső kérdése az őket felépítő aminosavak minősége. Azonban már két aminosav is legalább két különböző módon tud összekapcsolódni, három aminosavnál minimum hatféle lehetőség van, ami a tagszám növekedésével exponenciális növekedésnek indul. A peptideket tehát a felépítő aminosavak milyensége mellett kapcsolódási sorrendjükkel is jellemeznünk kell. Ezt az információt a peptid szekvenciájának nevezzük. A peptidek felírás módja mindig attól az aminosavtól kezdődik, amelynek szabad aminocsoportja van, ez az első aminosav. Az utolsó aminosav karboxilcsoportja nem vesz részt peptidkötés kialakításában, ez a C-terminális aminosav, míg az előzőt N-terminálisnak nevezzük. Mivel a peptidek tulajdonképpen aminosav heterooligomerek, így kémiai-fizikai tulajdonságaik nagymértékben hasonlítanak az aminosavakéhoz. Az aminosavak izolálása, szerkezetfelderítése egyébként a 19. század elején kezdődött és egészen a 20. század közepéig tartott.

### **Kémiai peptidszintézis:**

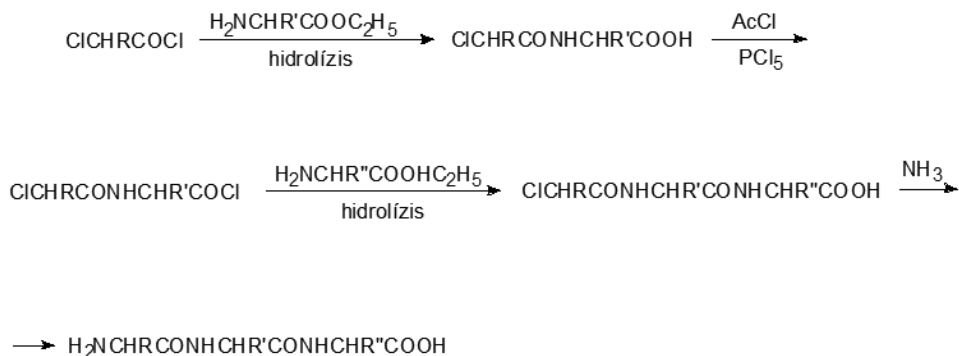
A kémiai peptidszintézis során az alábbi fő problémákat kell megoldanunk:

1. A peptidkötés nem önként végbemenő folyamat, az aminocsoport és a karboxilcsoport közötti, a vízkilépéssel járó kondenzációs reakció létrejöttéhez vagy az amino-, vagy a karboxilcsoportot aktiválnunk kell.

2. Biztosítanunk kell az egyértelmű reakciót, ezért a reagáltatni nem kívánt csoportokat védőcsoportokkal kell ellátnunk.
3. A szintézis végén a többé már nem szükséges védőcsoportokat el kell távolítanunk.
4. A kapott peptidet izolálnunk kell, és megfelelő módon bizonyítanunk kell a szerkezetet és a homogenitást.



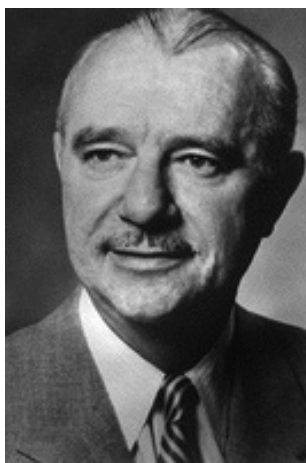
Hermann Emil Fischer  
(1852. október 9.–1919. július 15.)



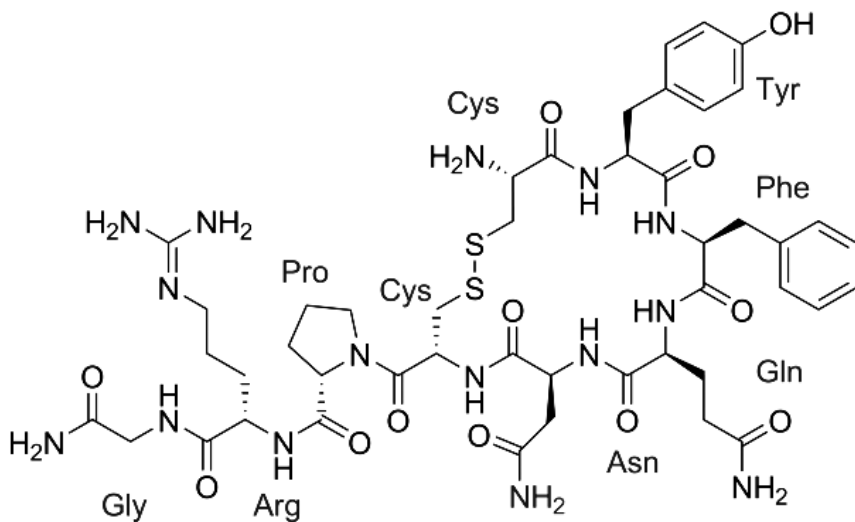
1. ábra

A fenti problémák miatt, annak ellenére hogy Fischer és Abderhalden már a 19. sz. végén leírta az első kémiai peptidszintézist (1. ábra) és az első, még ma is használatos védőcsoportot már 1932-ben leírta Bergmann és Zervas,

az igazán teljesítőképesnek tekinthető „modern” peptidkémia csak az ötvenes években duVigneaud 1953-as, később Nobel-díjjal jutalmazott munkájával kezdődött (oxitocin- és vazopresszinszintézis, 2. ábra) és végül a szilárdfázisú szintézis bevezetésével (R.B. Merrifield, Nobel-díj 1984, 3. ábra), valamint számos más újítással (pl. natív kémiai ligáció, S.B.H. Kent, 4. ábra) a 20. sz. vége felé vált kellően hatékonnyá.



Vincent du Vigneaud  
(1901. május 18.–1978. december 11.)

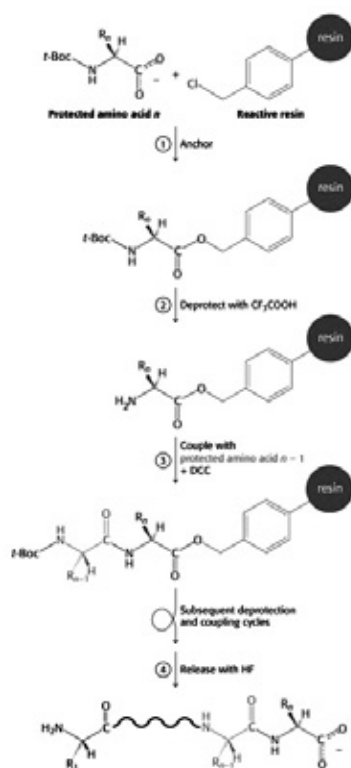


2. ábra





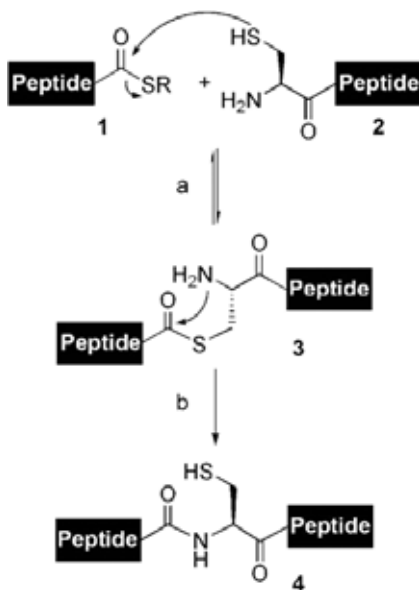
Robert Bruce Merrifield  
(1921. július 15.–2006. május 14.)



3. ábra



Stephen Brian Henry Kent  
(1945. december 12.-)



4. ábra

A 20. század első felében csak a világ néhány legfejlettebbnek tartható országában foglalkoztak peptid- és fehérjekutatással. Fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy Szent-Györgyi Albert Nobel-díjával azonos évben, részben éppen Szent-Györgyi egyik intézetéből jelent meg az a közlemény, amelyet a magyar

peptid- és fehérjekutatás elindítójának tekinthetünk. Így azt is kijelenthetjük, hogy a magyar peptid- és fehérjekutatás Szegeden, a Dóm téren született, és ez a születési idő az 1937-es év. Bruckner és Ivanovics úttörő munkája (5. ábra) a lépfene bacillus tokanyagának rendhagyó szerkezetére vonatkozott. Korábbi tudásunk szerint ugyanis a fehérjék kizárólag L-alfa-aminosavakból és alfa-kötéssel épülnek fel, és a lépfene tokanyaga pedig D-aminosavat tartalmazott, ráadásul ez egy gamma-kötéssel felépülő monoton polimer. Bruckner Győző 1949-ben az ELTE-re nyert tanszékvezetői kinevezést, és ezzel a szegedi ilyen irányú kutatások 1964-ig Kovács Kálmán professzor Szegedre kerüléséig szüneteltek. Természetesen ebben az időben Budapesten számos fontos eredmény született, többek között oxitocin és ACTH-szintézis, enkefalin és LHRH-kutatások stb. Ezekben a munkákban fontos szerepet játszott Bodánszky Miklós, Medzihradzky Kálmán, Kisfaludy Lajos, Bajusz Sándor, Teplán István.

250

Kurze Original

**Ober die chemische Natur der immunspezifischen Kapselsubstanz der Milzbrandbazillen.**

Nach Beobachtungen von GRUBER und FUTAKI (Münch. med. Wochr. 1927, 249), weiterhin von PREIS [Zbl. Bakter. 46, 209 (1907)] wurde es bekannt, daß die Virulenz der Milzbrandbazillen mit ihrer Kapselbildungsfähigkeit eng verknüpft ist. TOSCANI und Mitarbeiter (Bericht über die „Wissenschaftliche Woche zu Frankfurt 1934“) konnten später zeigen, daß nur solche Milzbrandsera Tiere gegen die Infektion zu schützen vermögen, die auch antikapsuläre Immunkörper enthalten. Vor kurzem gelang es IVÁNOVIC [Zbl. Bakter. 198, 211 (1937)], die spezifische Kapselsubstanz der Milzbrandbazillen auch als Produkt verschiedener, aerober, sporentragender Saprophyten nachzuweisen, wodurch erst die Möglichkeit ihrer verhältnismäßig leichten Gewinnung und ihres eingehenderen Studiums geschaffen wurde.

Die immunspezifische Kapselsubstanz konnte durch verdünnte Alkalien herausgelöst werden. Da sie eine kolloidal wasserlösliche, nicht dialysierbare, organische Säure darstellt, konnte sie in Form ihrer schwerlöslichen Schwermetallsalze abgeschieden und aus diesen wiederum in Freiheit gesetzt werden. Durch systematisches Verfolgen dieses Reinigungsprinzips, dem auch noch eine andauernde Dialyse angeschlossen wurde, ließ sich die spezifische Substanz in ziemlich hoher Reinheit abtrennen. Durch Eindampfen ihrer wässrigen Lösung wurde sie in Form amorpher, leimartiger Lamellen gewonnen, die noch einen kleinen Aschengehalt aufwiesen. Ihre wichtigsten Merkmale waren: Äquivalentgewicht = 147,7. Gesamtstickstoff = 10,4%, Aminostickstoff = 0,18%, Aschengehalt = 2,3%, Optisches Drehungsvermögen  $[\alpha]_D^{20} = -21^\circ$ ; sie zeigte keine Eiweißreaktion.

Auf ihre chemische Konstitution konnte man aus ihrem, durch salzsaure Hydrolyse gewonnenen Abbauprodukt schließen. Aus 1,8 g Substanz wurden nämlich 2,2 g l-Glutaminsäurechlorhydrat gewonnen, woraus — wenn auch ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften in Betracht gezogen werden — mit Recht geschlossen werden konnte, daß die spezifische Kapselsubstanz eine aus l-Glutaminsäureresten aufgebaute, hochmolekulare, polypeptidartige Verbindung ist.

Dieser Befund ist um so mehr beachtenswert, da l-Glutaminsäure bisher weder als Baustein nativer Produkte, noch in freier Form, in der Natur aufgefunden wurde, ferner aus einer einzigen Aminosäure aufgebaute polypeptidartige Naturprodukte — unseres Wissens nach — bisher nicht bekannt waren.

Es drängt sich uns unwillkürlich die Vermutung auf, daß die spezifische Kapselsubstanz die gegen die proteolytischen Enzyme der höheren Organismen empfindlichen Bakterienzentren als fermentresistenter Schild zu schützen vermag. Denn — wie bekannt — wirken proteolytische Enzyme höherer Organismen nur auf solche Polypeptide ein, die aus in nativen Eiweißstoffen auffindbaren Aminosäuren aufgebaut sind. Durch diese Vermutung lassen sich die über die Virulenzbedingungen der Anthraxstämmen gemachten Beobachtungen theoretisch gut begründen.

Eine ausführliche Mitteilung erscheint demnächst an anderer Stelle.

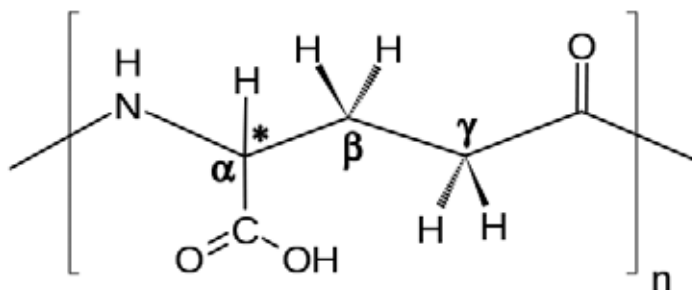
Szeged (Ungarn), Hygien. u. Allg. Path. Institut; Organ. u. Pharmazent. Chem. Institut der Universität, den 18. März 1937. G. IVÁNOVIC. V. BECKNER.



Ivánovics György  
(1900. november 1.–1980. március 8.)



Bruckner Győző  
(1904. június 11.–1980. szeptember 1.)



5. ábra. Az anthrax polipeptid szerkezete

## Nem természetes, ill. béta-aminosavak szintézisei

A Szerves Kémiai Tanszéken 1964-ben induló peptidkutató csoport első jelentős témája volt a  $\beta$ -aminosavak előállításának kidolgozása. A fentiek szerint a természetben elterjedt aminosavak ugyan többségükben alfa-aminosavak, de elméleti és gyakorlati jelentőségű, a szerkezeti és konformációs viszonyokban kissé különböző  $\beta$ -aminosav polimerek vizsgálata. Erre a célra dolgoztuk ki a  $\beta$ -aminosavak kémiai szintézisének új módszerét: az  $\alpha$ -aminosavakból kiindulva diazoketon-képzés után lánchosszabbító szintézissel beépítettünk az aminosavba egy új  $-\text{CH}_2-$  csoportot. Az így előállított  $\beta$ -aminosavak megőrizték az eredeti  $\alpha$ -aminosav konfigurációját, tehát optikailag aktívak maradtak. Ezzel a módszerrel egy sorozat  $\beta$ -aminosavat állítottunk elő és

alkalmaztuk ezeket peptid analógok szintézisére. (A  $\beta$ -aminosavakból felépülő peptidek ellenállóak a fehérjebontó enzimekkel szemben, ezért gyógyszeripari alkalmazásuk előnyös).

A  $\beta$ -aminosavak kutatása most a reneszánszát éli: számos kutatócsoport foglalkozik a szintetikus  $\beta$ -aminosavakból felépülő polipeptidek téralkati (konformációs) és térszerkezeti viszonyainak vizsgálatával, pl. a foldamer kémia keretein belül.

## Gasztrin és kolekisztokinin szintézisek

Az 1970-es években több új peptidhormont izoláltak az emésztőcsatornából, többek között a gyomor nyálkahártyájában képződő gasztrint és az epehólyag összehúzódását és a hasnyálmirigy enzimtermelését serkentő kolekisztokinint. Ezek a szöveti hormonok több molekuláris formában fordulnak elő: a gasztrin 4, illetve 17 aminosavat, a kolekisztokinin különböző formái 8, illetve 33 aminosavat tartalmaznak. (Később kiderült, hogy ezek a peptidhormonok az agyban is előfordulnak: mint neurohormonok az étvágy szabályozásában vesznek részt).

Intézetünk kutatói az I. Belgyógyászati Klinika és a Kóréletani Intézet kutatóival együttműködve dolgoztak ezen a területen. Kémiai szempontból nagy kihívás volt a gasztrin és a kolekisztokinin szintézise: mindkét hormonnak van olyan (aktív) alakja, amelyben a tirozin aminosav hidroxilcsoportja egy kénsavészter (szulfátcsoportot) tartalmaz. A sejtjeinkben ez a szulfatálás rendkívül egyszerűen, egy enzim katalízisével valósul meg. Kémiailag, in vitro megközelítve sokkal bonyolultabb problémát kell megoldani: egy olyan reagenst kellett találnunk, amelyik szelektív módon építi be a szulfátészter csoportot a peptidláncban lévő tirozinba. Az irodalomban elsőként mi írtunk le ilyen reagenst (acetyl-pyridinium-sulfate). Ennek segítségével szintetizáltuk a gasztrin és a kolekisztokinin, a 33 aminosavból álló CCK-33 szulfátészterét is.

## Neuropeptidkutatások

Az aktív népesség körében a neurológiai (sclerosis multiplex, amiotrófiás laterál szklerózis, migrén), a hangulati (szorongás, depresszió) és addiktív betegségek, míg az idősek esetében az Alzheimer-kór az egyik legfontosabb morbiditási tényező. Munkánk során elsősorban olyan neuropeptidek vizsgálatára koncentráltunk, amelyek antidepresszáns, szorongásoldó vagy a memória és a tanulási folyamatokat befolyásoló hatással rendelkeznek. A központi

idegrendszer szabályozásban számos neuropeptid vesz részt, ennek ellenére azonban csak nagyon kevés peptidalapú gyógyszer került kifejlesztésre. Az okok között szerepelhetnek az ADMET problémák, valamint, hogy számos olyan új neuropeptidet fedeztek fel mostanában, amelyek hatásmechanizmusát még nem ismerjük. Az is ismert, hogy a jelenleg használt antidepresszáns kezelésre az ezek kb. 1/3-ában rezisztencia alakul ki, és támadáspontjukat tekintve elsősorban a központi idegrendszeri klasszikus neurotranszmittereket érintik. Ezek a munkák az SZTE Kórélettani Intézetével kooperációban készülnek.

Egy másik vizsgált molekula a szervezetben is nagy mennyiségben előforduló PACAP (Pituitary adenyl cyclase activating polypeptide). Ennek vizsgálata azért is fontos, mert ez a fehérje erőteljesen csökkenti a szöveti károsodást olyan gyakori, sok embert érintő betegségekben, mint például a stroke, a Parkinson-kór, illetve a retina károsodása. A munkákat a PTE Anatómiai Intézetével együtt végezzük.

## Peptidimmunológiai kutatások

A peptid-, illetve fehérjefoszforiláció a sejt folyamatok talán legfontosabb szabályozó lépése. Az ELTE Immunológiai Tanszékével együttműködve évek óta vizsgáljuk az immunrendszer működésében fontos szerepet játszó néhány fehérjekomplex (pl. a Grb2/Gab1) asszociációjának mechanizmusát. A biológiai vizsgálatok megkövetelik a foszforilált származékok oly módon történő sejtbejuttatását, amely nem károsítja a sejtfunkciókat. A Gab1 (Grb2-asszociált kötő fehérje 1) egyike a sejten belüli kapcsoló fehérjéknek, melyek részt vesznek a különböző növekedési faktorok, citokinek és antigén receptorok által közvetített jelátviteli folyamatokban. A Gab kapcsoló fehérjék PH doménje megköti az inozitol trifoszfátot (PIP3-at) a membránban, tirozin aminosavai pedig az SH2 doménal rendelkező jelátviteli molekulákhoz kapcsolódnak. A Gab1 beavatkozhat a B-sejtek jelátviteli folyamataiba, befolyásolva ezzel a B-sejtek aktivációját. Fő célunk olyan sejtpermeabilis foszfopeptidok létrehozása, melyek a B-sejt aktivációt befolyásolva meggátolhatják a B-sejtes tumorok proliferációját. A fenti kutatások az ELTE Immunológiai Tanszékével kooperációban történtek.

## Neurodegenerációs kutatások

Intézetünk az 1990-es évek óta foglalkozik az Alzheimer-kór kutatásával. Ennek az egyre gyakoribb, elsősorban időskori memóriavesztéssel járó

betegségnek olyan tragikusak az egészségügyi mutatói, hogy kutatók tízezrei dolgoznak ma is a megfelelő kezelés vagy gyógyszer megtalálásán. A szakirodalomban ma már kb. 100 000 publikáció, jelentés, összefoglaló jelent meg, amelyek Alzheimer-kórral foglalkoznak. A gyógyszerkutatókat különösen megnehezíti, hogy maga a kór nem egységes eredetű, a betegség indításának számos pontja van (pl. agyi kapillárisok működési zavarai, oxigén- és glükózhány az agyban, a mikroglia alulműködése, mechanikus agyi sérülések, genetikai okokból az ún.  $\beta$ -amiloid polipeptid túltermelése stb.).

Racionális gyógyszertervezés nem indulhat el a betegség biológiai alapjainak, patomechanizmusának megismerése nélkül, ezért intézetünkben több biológiai laboratóriumot alakítottunk ki az alapok tisztázására, részben egy regionális tudásközpont pályázati támogatásával (Dél-Alföldi Neurobiológiai Tudásközpont).

Az Alzheimer-kór patomechanizmusának tisztázására a kísérleteinkben toxikus humán  $\beta$ -amiloidot túltermelő transzgenikus egértörzset használtuk. Kutatásainkat az Európai Unió is nagymértékben támogatta, és 14 európai kutatócsoporttal működtünk együtt a projektekben.

Azt találtuk, hogy a betegség patomechanizmusában döntő szerepet játszik az idegsejt belsejében lévő, a fehérjék bioszintézisében és térszerkezetének kialakításában kulcsszerepű sejtservecske, az endoplazmás retikulum. Az Alzheimer-kór gyógyszereinek lehetséges támadáspontja a sejt belsejében képződő  $\beta$ -amiloid, ennek képződését, ill. toxikus hatásait kell megakadályozni. (Az eddigi gyógyszerkísérletek valószínűleg azért voltak eredménytelenek, mert az idegsejteken kívüli extracelluláris amiloid-plakkokat távolították el). Két olyan vegyületcsoportot találtunk, amelyek valamilyen mechanizmussal megakadályozzák a  $\beta$ -amiloid toxicitását, mind *in vitro*, mind az Alzheimer-kór modell transzgenikus egerekben. Ezek a vegyületek enzimrezisztens peptidek ill. peptidmimetikumok. Mindkét vegyületcsoportra szabadalmi védelmet kértünk.

## Többszörös diszulfidhidat tartalmazó peptidek szintézise

A cisztein az egyik legérdekesebb fehérjealkotó aminosav. Merkaptocsoportja számos egyedi tulajdonsággal ruházza fel, így fontos szerepet játszik fémionok komplexálásában, biológiai redox rendszerek (pl. glutation), acil donor vegyületek (koenzim A) képzésében. A fentiek mellett a cisztein-cisztin rendszer a fehérje-konformáció stabilizálásában fontos szerepet játszó diszulfidhidak miatt is alapvető jelentőségű. V. du Vigneaud 1955-ben Nobel-díjjal jutalmazta

zott munkássága is diszulfidhidas peptidek szintézise volt, amelyek azonban csak egyetlen diszulfidhidat tartalmaztak. Még ez az egy is kétféleképpen alakulhat ki, intra- és intermolekuláris módon. Annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedekben számos előrelépés történt a peptidkémiaiában, a szabad tiolfunkciók kontrollált módon a megfelelő diszulfidhiddá történő alakítása továbbra is kihívás maradt. Ennek fő oka a többszörös regioszelektív diszulfidképzés nehézsége. Napjainkban már számos olyan fontos biológiailag aktív peptid ismert, amelyek többszörös diszulfidhidakat tartalmaznak (peptid toxinok, endotelinek, inzulinok, defenzinek, miniproteinek). E peptideknél nemcsak a regioszelektív szintézis, hanem a szerkezetigazolás is kihívásnak tekinthető. Célunk volt új szintézisek kidolgozása, többszörös diszulfidhidat tartalmazó peptidek (farmakológiailag fontos peptid toxinok) racionális előállítás, és a kapott diszulfidhidak helyzetének igazolása.

A többszörös diszulfidhidat tartalmazó peptidek népes családjából kétféle vegyülettel foglalkoztunk: peptid toxinokkal és antifungális miniproteinekkal. Az előbbi képviselői például a skorpiótoxinok, míg az utóbbiak közé tartoznak a gombák által termelt defenzinszerű kis fehérjék. E peptidek szintézisére két fő megközelítés adódik:

1. Azonos védőcsoportok használata a szulfhidril csoportok védelmére, majd ezek után alkalmas körülmények keresése a természetesnek megfelelő diszulfidhid mintázat elérésére.
2. Ortogonális védőcsoportok alkalmazása a ciszteinoldalláncok védelmére, és a diszulfidhidak egymás utáni kiépítése.

Amennyiben azonos védőcsoportokat használunk a ciszteinok szulfhidril-csoportjainak védelmére, akkor az oxidatív folding a kérdéses. Minden egyes peptidre meg kell találni azokat a körülményeket, amelyek között a természetes diszulfidhid mintázat alakul ki. Ha ortogonális stratégiával próbálkozunk, akkor két probléma okoz nehézséget. Az egyik a rendelkezésre álló szulfhidril védőcsoportok viszonylag szűk köre, amely Boc kémiát és natív kémiai ligációt alkalmazva különösen igaz. A másik pedig az a tény, hogy egyes védőcsoporteltávolítási módszerek felbonthatják az előzetesen kialakított diszulfid hidakat. Ez utóbbi esetben elveszítjük az ortogonális stratégia előnyét: a diszulfidhidak irányított kialakításának lehetőségét. Az általunk vizsgált esetekben, néhány toxin (charybdotoxin, iberiotoxin és anuroctoxin), valamint a PAF antifungális peptid szintézise során a ciszteinoldalláncok azonos védőcsoporttal való ellátása vezetett jobb eredményre. A fenti kutatások során a térszerkezet-vizsgálati és biológiai munkák részben a DE kutatásaival kooperációban történtek.



## Mesterséges építőkövek, foldamerek tervezése, szintézise és vizsgálata

Az első „foldamert” 1937-ben írták le magyar kutatók (Ivánovics és Bruckner). Ez az antrax tokanyaga, amely gamma-peptidkötéseket tartalmaz – így tulajdonképpen kielégíti az utóbbi 1-2 évtizedben intenzíven kutatott terület, a foldamer kémia kritériumait. Intézetünk az SZTE Gyógyszerészi Kémiai Intézetével együttműködve több mint tíz éve foglalkozik olyan módosított peptidek szintézisével és vizsgálatával, amelyek szabályozott módon vesznek fel magasabb hierarchiájú szerkezeteket. A biológiai felismeréshez azonban a megfelelő gerincszerkezet mellett szükségesek lehetnek az építőköként szereplő aminosavak oldalláncai, az itt található funkciós csoportok, módosítások. Jelenleg hidroxilált foldamer molekulák foszforilált- ill. glikozilált származékainak előállításán dolgozunk.

### Peptid-foszfatésztetek szintézise

Annak ellenére, hogy a peptid-, ill. fehérjefoszforiláció az egyik legfontosabb sejtfolyamat-szabályozó elem, érdekes módon hosszú ideig nem foglalkoztak ilyen módosított peptidszármazékok szintézisével. Csak az 1980-as években jelentek meg az első úttörő közlemények. Ennek oka részben a foszfátbeépítés problémáiban, részben a foszfopeptidszintézis során fellépő melléreakciókban keresendő. Ezek a problémák aminosavfüggők: tirozin esetében inkább a foszforiláció jelent problémát a fenolos hidroxil nem kielégítő nukleofilicitása miatt, míg a szerin és treonin esetében a könnyebb kiépítés után a kapott származék instabilitása okoz gondot. Munkánk során mind a szilárd fázison, mind az oldatfázisban történő foszfátbeépítést alkalmaztunk. A peptidek szintézisére általában Fmoc technikát használtunk, a megfelelő, szabad hidroxil csoportot tartamazó aminosav beépítése után foszfit csoportot építettünk be, majd ezt foszfáttá oxidáltuk, és a peptidláncot tovább építettük. Kidolgoztuk a Boc módszerrel szintetizált peptidek utólagos foszforilezését foszforamidit reagens felhasználásával. Kipróbáltuk a synthon módszert is – ezt azonban kevésbé hatékonynak találtuk.

Összefoglalva: alkalmas módszereket dolgoztunk ki, ill. adaptáltunk foszfopeptidek szintézisére, izolálására, szerkezetbizonyítására és jellemzésére. CD és FTIR spektroszkópiai vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy ezekben az esetekben a foszfát csoport beépülése általában a rendezettség növekedése, és ezen belül is a  $\beta$ -szerkezetek arányának növekedése arányába tolja el a konformációs egyensúlyokat.

## Glikozilált peptidek szintézise

Napjainkban a glikozilált peptidek előállítása az egyik legnagyobb kihívás a peptidkémiaiában. Ezt részben a szénhidrát-rész előállítási problémái, az összekapcsolás nehézségei, másrészt a szénhidrát-rész érzékenysége okozzák. Két fő stratégia ismeretes a glikopeptidek előállítására: a *synthon* néven ismert retroszintetikus eljárás, valamint a globális (konvergens) módszer, amikor a megfelelően védett polipeptidet utolsó lépésként glikozilálják, majd a többé már nem szükséges védőcsoportokat eltávolítják. Mindkét módszer megvalósítható szilárd, illetve folyadékfázisban. Mivel a glikoziláció az aminosav oldalláncában található O, illetve N atomon is lejátszódhat, ezért különböző szintézisstratégiák kidolgozása szükséges. Munkánk során több különböző szintézisstratégiát vizsgáltunk meg különböző modell-peptidek glikozilációjára. A szintézisek során kitobióz, galaktozil-xilóz, mannozil-N-acetil-glikozil-N-acetil-glükózamin mono-, di- és triszacharidot használtuk, és egyes alkalmazott stratégiák sikeresnek bizonyultak a glikokonjugátumok előállítására.

## Biokonjugátumok szintézise

Biokonjugátumok alatt értjük azokat a molekulákat, amikor egy vagy több biológiai aktivitással rendelkező molekulát (ezek lehetnek természetes anyagok, gyógyszerek) egymással vagy valamilyen jelző vagy hordozó anyaggal kapcsolunk össze abból a célból, hogy felszívódási, transzport vagy metabolikus sajátágaikat, immunogencitásukat, mellékhatásaikat nyomonkövethetőségüket megváltoztassuk. Munkánk során elsősorban transzporterfehérjék modulálásával és nem szteroid gyulladáscsökkentők nem kívánt mellékhatásainak csökkentésével foglalkoztunk.

A humán genom szekvenciájának proteomikai kutatások meghatározása után a figyelem a gének által kódolt fehérjék felé fordult, mert az élő szervezetben molekuláris szinten a biokémiai folyamatokat legfőképpen fehérjék szabályozzák. A fehérjék „high throughput” analízisével a posztgenom éra tudománya, a proteomika foglalkozik. Analitikai laboratóriumunk megalakulása óta aminosavak és peptidek kromatográfiás, elektroforetikus és tömegspektrometriás analízisével foglalkozott. Ilyen infrastrukturális és humán erőforrás háttérrel alakítottuk meg Magyarország első Proteomikai Laboratóriumát. A proteomika területén végzett munkáink egyrészt módszerfejlesztési jellegűek, másrészt orvosi és biológiai problémák felderítéséhez járulnak hozzá.

## *Módszerfejlesztések*

A biológiai mintákból származó komplex fehérjekeverékek elválasztására egyik legalkalmasabb módszer a poliakrilamid gélelektroforézis. Az 1D és 2D poliakrilamid-gélelektroforézissel elválasztott fehérjék korrekt mennyiségi meghatározása nem megoldott. Egy-egy biológiai mintában több 10 000, de akár 100 000 különböző fehérje is lehet, azonban a legnagyobb 2D-gélen ennek csak töredéke, a legnagyobb mennyiségben jelenlévő fehérjék láthatók. A többi fehérje mennyisége a detektálás érzékenységi szintje alatt van, vagy egy megfestett látható foltban több fehérje is található. Egy olyan „label-free” tömegspektrometriás módszert fejlesztettünk ki, ill. fejlesztünk tovább, ami lehetőséget teremt a gélben elválasztott fehérjék relatív és abszolút mennyiségének kvantitatív analizésére. Módszerünk nagy jelentőségű, mert megkönnyíti a biológusok részére a kísérleti fehérje-expressziós különbségek megállapítását.

A „bottom-up” fehérjeazonosítás alapvető lépése a fehérjék enzimatis vagy irányított kémiai reagensekkel történő feldarabolása. A proteomikában leggyakoribb a tripszin alkalmazása, mert specifikusan a Lys és az Arg aminosavak C-terminálisánál hasítja el a peptidláncot. A szerkezetmeghatározáshoz gyakran szükség van azonban olyan reagensekre is, amik specifikusan egy-egy aminosav előtt, vagy után hasítják el a kötéseket. A 2-nitro-5-tiocianobenzoesav (NTCB) és 1-ciano-4-dimetilamino-piridinium tetrafluoroborát (CDAP) cianilezés után a Cys aminosav N-terminálisán hasítja a kötést. Tömegspektrometriás vizsgálataink során azt tapasztaltuk azonban, hogy a reakciókörülmények változtatásával előtérbe kerülnek a Ser és Thr aminosavak N-terminálisán történő hasítások. A módszerünk továbbfejlesztésével peptidek, fehérjék szerkezetének pontosabb feltérképezése válik lehetővé.

## *Orvostudományi kutatások támogatása*

Proteomikai módszerek segítségével meghatározható pl. betegségek hatására fehérjeszinten bekövetkező minőségi és mennyiségi változások, melynek eredményei a pl. betegségek diagnosztikájában és a gyógykutatásban alkalmazhatók. Az elmúlt években két pszichiátriai betegség, a depresszió és a szorongás során az agyban bekövetkező változások molekuláris szintű felderítésén dolgoztunk. Módszereket dolgoztunk ki az agyi fehérjeösszetétel kvalitatív és kvantitatív meghatározására. 1D-, 2D-elektroforetikus, ill. kromatográfiás elválasztásokkal vizsgálva a pszichiátriai betegségek állatmodelljeiben fellépő agyi fehérjeösszetétel-változást megállapítottuk, hogy az egyes agyterületeken

(amygdala, cortex) különböző folyamatok játszódnak le. Az eredményekből bioinformatikai módszerekkel következtetéseket vontunk le a szorongás által érintett molekuláris folyamatokról. Így változásokat találtunk az oxidatív stressz-válaszban, a szinaptikus dokkolás és a metabolikus útvonalakban. A kifejlesztett szorongásos állatmodellel további kísérleteket tervezünk a betegség mélyebb megismerése céljából.

A biológiai rendszerek működésének jobb megismerése érdekében kutatási területünket néhány évvel ezelőtt kiegészítettük a **lipidomika** módszereivel. Módszert fejlesztettünk ki foszfolipidek biológiai folyadékokból és szövetekből történő meghatározására: folyadék-folyadék extrakció után az egy- és kétdimenziós HPLC elválasztást követő tömegspektrometriás detektálással nyert adatokat speciális lipidomikai-metabolomikai szoftverrel tudjuk kiértékelni. A módszer alkalmazásával szerb–magyar kooperációban lipidomikai biomarker-kutatásokat végzünk petefészekrák korai diagnosztikájához. A szorongás mint pszichiátriai betegség molekuláris szintű értelmezéséhez a korábban proteomikai vizsgálatokhoz használt állatmodelben lipidomikai vizsgálatokat végzünk.

## Irodalomjegyzék:

- Emil Fischer: Synthese von Polypeptiden, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 36 (3), 2982–2992, 1903
- Fülöp Ferenc, Martinek Tamás A, Tóth Gábor K: Application of alicyclic beta-amino acids in peptide chemistry, Chemical Society Reviews, 35:(4), 323–334, 2006
- Fülöp Lívia, Penke Botond, Zarándi Márta, Bozsó Zsolt, Virók Dezső, Janáky Tamás, Vedier Yann, Datki Zsolt, Szegedi Viktor, Busa-Fekete Róbert, Soós Katalin, Kasza Ágnes, Kocsor András, Borbély Emőke: Small peptide inhibitors of  $\beta$ -amyloid toxicity, Reg. P1300317, 2013. május 17., PCT 1400042
- Fülöp Lívia, Penke Botond, Zarándi Márta, Bozsó Zsolt, Berkecz Róbert, Janáky Tamás, Martinek Tamás, Datki Zsolt, Szegedi Viktor, Soós Katalin, Penke Zsuzsa, Borbély Emőke: Peptides and peptidomimetics for the therapy of neurodegenerative diseases and use thereof, P1400207, 2014. április 17.
- Ivánovics György, Bruckner Viktor: Über die chemische Natur der immunspezifischen Kapselsubstanz der Milzbrandbazillen, Naturwissenschaften, Vol. 25 16, 250, 1937

- Kerékgyártó János, Kalmár László, Szurmai Zoltan, Hegyi Orsolya, Tóth Gábor K: Synthesis of N-Glycopeptides by Convergent Assembly, *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 18:(1), 1–5, 2012
- Kertész Ákos, Váradi Györgyi, Fajka-Boja Roberta, Tóth Gábor K, Monostori Éva, Sármay Gabriella: Optimization of the cellular import of functionally active SH2-domain-interacting phosphopeptides, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 63:(22), 2682–2693, 2006
- Kupihár Zoltán, Kele Zoltán, Tóth Gábor K: The H-phosphonate approach to the synthesis of phosphopeptides on solid phase, *Organic Letters*, 3:(7), 1033–1035, 2001
- Medzihradzky Kálmán: Peptidkémiai kutatások Magyarországon, 1937–1993, *Magyar Kémiai Folyóirat*, 100. évfolyam, 235–247, 1994. június
- Philip E. Dawson, Tom W. Muir, Ian Clark-Lewis, Stephen Brian Henry Kent: Synthesis of proteins by native chemical ligation, *Science*, Vol. 266 no. 5186, 776–779, 1994
- Rákosi Kinga, Szolomájer-Csikós Orsolya, Kalmár László, Szurmai Zoltán, Kerékgyártó János, Tóth Gábor K: Synthesis of N-glycopeptides applying glycoamino acid building blocks with a combined Fmoc/Boc strategy, *Protein and Peptide Letters*, 18, 679–683 (2011).
- Robert Bruce Merrifield: Solid Phase Peptide Synthesis. I. The Synthesis of a Tetrapeptide, *Journal of the American Chemical Society*, 85 (14), 2149, 1963
- Stephen B. H. Kent: Total chemical synthesis of proteins, *Chemical Society Review*, 38, 338–351, 2009
- Tanaka Masaru, Rákosi Kinga, Tóth Gábor K, Telegdy Gyula: Antidepressant-like effects of urocortin 3 fragments, *Brain Research Bulletin*, 84, 414–418, 2011
- Telegdy Gyula, Kádár Kinga, Tóth Gábor K: Anxiolytic action of urocortin 3 fragments in mice, *Behavioural Brain Research*, 222, 295–298, 2011
- Tóth Gábor K, Kele Zoltán, Váradi Györgyi: Phosphopeptides – Chemical Synthesis, Analysis, Outlook and Limitations, *Current Organic Chemistry*, 11:(5), 409–426, 2007
- Tóth Gábor K, Penke Botond, Zarándi Márta, Kovács Kálmán: Comparison and optimization of synthetic methods for preparing cholecystokinin peptides, *International Journal of Peptide and Protein Research*, Volume: 26 Issue: 6, 630–638, 1985
- Váradi Györgyi, Tóth Gábor K., Kele Zoltán, Galgóczy László, Fizil Ádám, Batta Gyula: Synthesis of PAF, an Antifungal Protein from *P. chrysogenum*, by Native Chemical Ligation: Native Disulfide Pattern

and Fold Obtained upon Oxidative Refolding, Chemistry-A European Journal, 19:(38), 12684–12692, 2013

- Varga Zoltán, Panyi György, Tóth Gábor, Rákosi Kinga: Modified Anuroctonus peptide toxins for treatment of autoimmune and metabolic disease., Lajstromszám: WO2013061106A1, 2013
- Vincent Du Vigneaud, Charlotte Ressler, John M. Swan, Carleton W. Roberts, Panayotis G. Katsoyannis: Oxytocin: synthesis, Journal of the American Chemical Society, 76. (12), 3115–3118, 1954

## *Oktatás és kutatás az SZTE Gyógyszerésztudományi Kar Gyógyszerkémiai (korábban Gyógyszerészi Vegytani) Intézetében*

A Gyógyszerésztudományi Karon a kémia oktatásának bázisintézete, a Gyógyszerészi Vegytani Intézet (jelenleg Gyógyszerkémiai Intézet) 1951 óta működik önálló tanszékként. A kémiai oktatás is büszke kolozsvári gyökereire, ahol a Vegytani Intézetben Fabinyi Rudolf, majd 1917-től Széki Tibor egyetemi tanárok oktatták a gyógyszerészhallgatókat.



1. ábra. Fabinyi Rudolf



2. ábra. Széki Tibor

A gyógyszerészhallgatók kémiai oktatását végző tanszék 1921 óta az alábbi neven és karokon működött.

- Vegytani Intézet (Matematikai és Természettudományi Kar (1921–1924)
- I. Vegytani Intézet (Matematikai és Természettudományi Kar (1924–1933)
- Szerves és Gyógyszerészvegytani Int. (Mat. és Természettudományi Kar) (1934–1940)
- Szerves és Gyógyszerészi Vegytani Int. (Mat. és Természettudományi Kar) (1940–1947)
- Gyógyszerészi Vegytani Intézet (Általános Orvostudományi Kar) (1947–1957)
- Gyógyszerészi Vegytani Intézet (Gyógyszerésztudományi Kar) (1957–1995)
- Gyógyszerkémiai Intézet (Gyógyszerésztudományi Kar (1995–)

A tanszéket Szegeden is Széki Tibor vezette egészen 1935-ig, amikor meghívást kapott Budapestre, a Pázmány Péter Tudományegyetem Szerves Kémiai Intézetének vezetésére. Az új tanszékvezető kinevezéséig Szent-Györgyi Albert volt az intézet felügyelő tanára, tehát a világhírű tudós felügyelete alatt folyt a gyógyszerészhallgatók kémiai képzése.



3. ábra. Kőszegi Dénes

1947-ben vált ki a Szerves Vegytani Intézetből az önálló Gyógyszerészi Vegytani Intézet, amely 1951-től az önálló kar megalakulásáig az Általános Orvosi Karhoz tartozott. Az Intézetet *Kőszegi Dénes* vezette, 1947-től 1963-ban bekövetkezett nyugdíjazásáig.

Kőszegi professzor 1888. augusztus 2-án született Nagylakon, és 1970. szeptember 14-én hunyt el Szegeden. Kolozsváron, a Matematikai és Természettudományi Karon (1908–1912) végezte tanulmányait, és szerzett diplomát, 1914-ben nyerte el a doktori fokozatot kémiából, 1933. óta magántanár, 1950 óta nyilvános rendes tanár, 1952-ben kandidátus lett, 1944–45 között megbízott intézetvezető, 1947–1963 között tanszékvezető egyetemi tanár.

Kolozsváron a nagynevű Fabinyi Rudolf professzor tanársegéde, majd adjunktusa volt. Fabinyi a híres Bunsennél tanult, és Kőszegi mindig büszkén emlegette, hogy másodfokon, közvetve ő is Bunsen tanítvány. 1918-ban gyógyszerészgyakornoki vizsgát tett, majd gyógyszerészi egyetemi tanulmányokat is folytatott. (Akkor még kétlépcsős gyógyszerészképzés volt.)

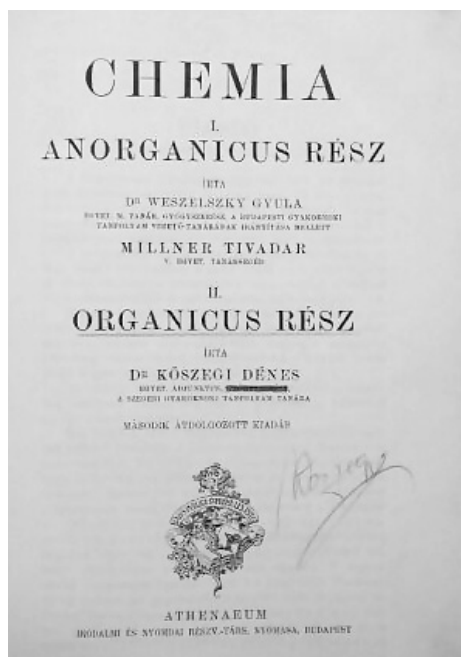
A vezetése alatt álló intézet oktatta az I. éves hallgatóknak a Kvalitatív kémiai analízis c. tárgyat, és III–IV. évben a képzés egyik főtárgyát,



a Gyógyszerészi Kémiát. Ezt egészítette ki a IV. év II. szemeszterében oktatott Gyógyszeranalízis c. tárgy.

Kőszegi kiváló munkatársakat gyűjtött maga köré. Salgó Éva, Vinkler Elemér, Morvay József, Szabó János, Klivényi Ferenc, Lázár János, Gaizer Ferenc, Stájer Géza, Varga István nevét kell megemlíteni. A felsorolt munkatársai – egy kivétellel – kandidátusi fokozatot szereztek. Szabó és Stájer professzorok gyógyszer-kémiai témából készített akadémiai doktori disszertációjukat sikerrel védték meg.

Kőszegi Dénes tudományos munkássága középpontjában az analitikai kémia állt. Ez nem tekinthető véletlennek, mivel nagy példaképe, Bunsen is alapvetően analitikus volt. (Bunsen a göttigeni, a kasseli, a marburgi, majd a heidelbergi egyetemen tevékenykedett, és őt tekintik a spektroszkópia egyik atyjának, Emellett jelentős a gázanalitikai és elektrokémiai munkássága is.). Az intézet kutatási tevékenysége nem korlátozódott a gyógyszer-analitikára, az analitikával foglalkozó munkatársak mellett organikus kémiával foglalkozó munkacsoport is működött, Vinkler Elemér vezetésével.

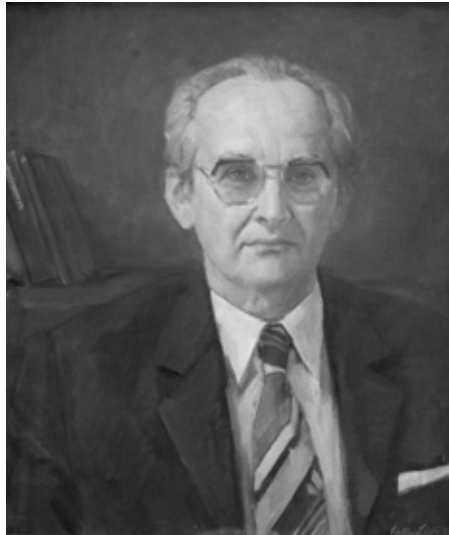


4. ábra.

Kőszegi Dénes analitikai kutatásai közül említést érdemel a szulfátmeghatározás, a kalcium és magnézium egymástól való elválasztása, a dikálium-merkuri-tetrarodanid alkalmazása alkaloida- és amin-reagensként, térfogatoss ammó-

nia-meghatározás kálium-bromát mérőoldattal. Kiváló érzékkel ismerte fel hogy az ország papír- és cellulóz hiányát jelentősen enyhítené a cirokfélék hazai termesztése, az édescirok ipari feldolgozása. E munkásságáért a „Könnyűipar kiváló dolgozója” kitüntetésben részesült. Összesen 67 közleménye jelent meg hazai és külföldi szaklapokban. Számos doktorandusznak volt témavezetője.

Munkatársai az ő előadásai alapján egyetemi jegyzeteket készítettek, amelyek megkönnyítették a hallgatóság kémiai tanulmányait. A *Chemia c.* egyetemi tankönyv II. részét, az organikus részt Kőszegi jegyezte szerzőként. (Az anorganikus rész szerzője Millner Tivadar volt.)



5. ábra. Vinkler Elemér

Több rangos hazai és külföldi tudományos egyesület tagjai sorába választotta.

Kőszegi Dénes nyugdíjazása után egyik legkiválóbb munkatársa, *Vinkler Elemér* követte a tanszékvezetői poszton. Vinkler Elemér 1909. szeptember 20-án született Szabadkán, és 1996. január 23-án hunyt el Szegeden. Egyetemi tanulmányait a Ferenc József Tudományegyetemen folytatta, itt szerzett gyógyszerészi diplomát (1932), majd vegyészdoktori címet (1935). 1943-ban magántanárrá habilitálták Szerves kémiai módszertan témakörben. 1933–1951 között a tudományegyetem Szerves és Gyógyszerészi Vegytani Intézetében, 1953-tól a Gyógyszerészi Vegytani Intézetében tevékenykedett. A kandidátusi fokozatot 1952-ban, az akadémiai doktori fokozatot 1963-ban szerezte meg. 1964 óta egyetemi tanár. A Gyógyszerészi Vegytani Intézetet 1963–64 között megbízott tanszékvezető docensként, 1964–1979 között egyetemi tanárként vezette.

Kétéves tanulmányúton vett részt (1938–39) a berlini egyetem Gyógyszerészeti Intézetében, Klebelsberg által alapított Rockefeller-ösztöndíjjal.

Számos tudományos egyesületnek és társaságnak volt tagja. Részt vett a VI. és VII. Magyar Gyógyszerkönyv szerkesztési munkálataiban. Kitüntetései, elismerései közül említést érdemel a Kiváló Gyógyszerész kitüntető cím (1969), Gyógyszerész Aranydiploma (1982), a vegyész Aranydiploma (1985) és a Schulek Emlékérem (1979). A Dóm téri oktatási épületben lévő hallgatói laboratóriumot Vinkler Elemérről nevezte el az intézet 2001-ben.

Jelentős szemléletváltozás következett be tanszékvezetése idején, mind az oktatásban, mind a kutatásban. Felismerte, hogy az addig analitikai központú gyógyszerészi kémia helyett vagy inkább mellett súlyuknak megfelelően kell oktatni a szerves gyógyszervegyületeket. A gyári készítmények hatóanyagai kizárólag ebbe a csoportba tartoznak, és ezek közül számos vegyület (még) nem hivatalos a gyógyszerkönyvekben, Felismerte, hogy a gyári készítmények hatóanyagait és farmakológiai hatásukat együtt célszerű oktatni. A gyógyszerészi kémiában Magyarországon újnak számító szerves kémiai szemléletű és tudású gyógyszerészek képzése Vinkler professzor tudatos elve volt, amit elsőként ismert fel és alkalmazott. Oktatói mentalitására jellemző, hogy a teljes gyógyszerészi kémiából jegyzetet készített Varga István adjunktussal, hogy a hallgatók pontos és hiteles forrásból tanulhassanak.

A vezetése alatt folyó kutatómunkának két iránya volt: egyrészt folytatta a már Kőszegi időkben megkezdett kénorganikus vegyületek szintézisét és vizsgálatát, másrészt egy új területet igyekezett meghódítani. A szerves molekulák színreakciókon alapuló azonosítását és kvantitatív mérését tanulmányozta munkatársaival. A kénorganikus vegyületek kutatása során vizsgálták a szulfokloridokat, amelyek redukciójával tiolokat és tiofenolokat állítottak elő. Egy másik fontos kénorganikus vegyületcsoport a szulfénsavak, amelyek szulfínil-kloridokkal tioszulfonátokat képeznek, ezek aszimmetrikus szerkezetűek. Ezt az érdekes sztereo-kémiai tényt több módszerrel is bizonyították. A szerves molekulák színreakciókon alapuló analitikájával a német *Auterhoff* és munkatársai foglalkoztak, így Vinkler Elemér és csoportja a világon másodikként kezdte művelni ezt a területet. Egy sor olyan reakciót dolgoztak ki, amelyekkel a vegyületek egzakt módon azonosíthatók és más szubsztanciáktól megkülönböztethetők. Emellett felderítették több régebben ismert színreakció részleteit. Ezekhez a kutatásokhoz a preparatív módszerek mellett műszeres szerkezetigazolást alkalmazott a kutatócsoport, pl. infravörös spektroszkópiát, mágneses magrezonancia spektroszkópiát, ultraibolya spektroszkópiát és tömegspektrometriát. Összesen 120 tudományos dolgozata jelent meg, a legtöbbjük rangos külföldi folyóiratokban.



5. ábra. Vinkler professzor és munkatársai  
(Balról jobbra, 1. sor: Stájerné Szabó A. Enikő, Vinkler Elemér,  
Simonné Talpas Gizella, Varga István, 2. sor: Pintye János, Szabó János, Stájer Géza,  
Németh Pál, Lázár János, Klivényi Ferenc, Mód László, Simon Lajos)

Vinkler professzor nyugdíjba menetele után négyen pályázták a tanszéket. Közülük *Bernáth Gábor* professzor lett a nyertes, aki a pályázás előtt a JATE Szerves Kémiai Tanszékének egyetemi tanára volt.



6. ábra. Bernáth Gábor

*Bernáth Gábor* 1933. szeptember 19-én született Kunszentmiklóson, és 2009. október 1-jén hunyt el Szegeden. Egyetemi tanulmányait a Szegedi Tudományegyetemen végezte (1952–1957 között), itt szerzett vegyész oklevelet (1957), egyetemi doktori fokozatot (1962), a kémiai tudományok kandidátusa címet (1967) és a kémiai tudományok doktora fokozatot (1974). 1977 óta egyetemi tanár, 1979 óta vezeti a Gyógyszerészi Vegytani Intézetet, melynek neve – Bernáth Gábor javaslatára – Gyógyszerkémiai Intézetre változott (1995. nov. 1.), 2003. október 1-jén vonult nyugalomba, és haláláig emeritus professzorként tevékenykedett.

Tanszékvezetői működésének kezdetén meghívta az intézetbe két fiatal munkatársát, *Fülöp Ferencet* és *Dombi Györgyöt*, akik tehetségük és szorgalmuk révén szép tudományos pályát futottak be, mindketten egyetemi tanárok lettek. Fülöp Ferenc lett Bernáth professzor tanszéki utóda, Dombi György pedig a Gyógyszerészi Vegytani Intézetből kivált új tanszék, a Gyógyszeranalitikai Intézet vezetője lett.

Bernáth Gábor több rangos intézetben volt tanulmányúton (Szófia, Prága), posztdoktori ösztöndíjjal 8 hónapot töltött Ottawában, illetve 1 évet a Turku Egyetemen, ahol 1992-ben visiting professor is volt. Számos tudományos társaságnak és egyesületnek volt tagja. Kitüntetései közül meg kell említeni az Akadémiai Díjat (1989), a Sassari Egyetem emléklakettjét, a Salamancai Egyetem emléklakettjét és a Kunszentmiklós város emléklakettjét. 1997-ben Szent-Györgyi Albert-díjban és Than Károly-emlékérem kitüntetésben részesült, 1998-ban Szent-Györgyi emlékérmeket kapott. 2003-ban a Szegedi Akadémiai Bizottság emléklakettje és a Batthyány-Strattman László-díj, 2004-ben az Eötvös-koszorú, 2007-ben a Náray Szabó István-díj elnyerése fémjelzi szakmai kiválóságát. 1994-ben – Sohár Pállal és Kálmán Alajossal megosztva – elnyerte a legnagyobb hazai tudományos kitüntetést, a Széchenyi díjat.

Gazdag és szerteágazó oktató- és kutatómunkáját, tudományos szervező tevékenységét, szakmai közéleti aktivitásának eredményeit nehéz feladat néhány bekezdésben összefoglalni. Csak a legfontosabb eredmények kiemelésére szorítokozom.

24 éves tanszékvezetői működése alatt az intézet a dél-alföldi régió legjelentősebb szerves kémiai kutatóbázisává fejlődött. A telített heterociklusos kémia, sztereokémia és gyógyszerkutatás terén az intézet nemzetközi hírnevet és tekintélyt szerzett. E kutatásokhoz a műszereket, felszerelést és személyzetet fáradhatatlan szervezőmunkával és pályázatokkal biztosítani tudta.

A gyógyszerkémia oktatását korszerűvé fejlesztette, a tananyagból színvonalas jegyzeteket írt. Bevezette a *Kémiai gyógyszerkutatás alapjai* című tárgyat. Munkatársai szakmai fejlődését folyamatosan segítette, közülük

hárman megszerezték a tudomány doktora fokozatot. Külföldi intézetekkel és gyógyszeripari centrumokkal eredményes együttműködést alakított ki. Vezetésével akadémiai kutatócsoport létesült.

1993-ban akkreditálták a *Bioaktív vegyületek kémiája* c. doktori (PhD-programot, melynek alapítója és első vezetője Bernáth Gábor volt. 1997–2003 között, Bernáth professzor aktív vezető tevékenysége alatt 21 PhD-hallgató nyerte el ezt a tudományos fokozatot.

Kutatási területei: szintetikus gyógyszerkémia, biológiailag aktív vegyületek kémiája, telített heterociklusok szintézise és konformációanalízise, karbociklusokkal kondenzált hattagú N, N-, N, O és N, S tartalmú telített 1,3-heterociklusok szintézise és kémiája.

Bernáth professzornak közel 400 tudományos közleménye jelent meg nemzetközi tekintélyes folyóiratokban, neve 300, többnyire külföldön megtartott előadásban szerepel. 25 összefoglaló közlemény és könyvfejezet szerzője, 24 gyógyszer szabadalom társszerzője.



7. ábra. Bernáth professzor és munkatársai az 1997-ben készült csoportképen Balról jobbra, 1. sor: Kállay György, Simon Lajos, Bernáth Gábor, Fülöp Ferenc, Forró Enikő, Koza Mária, 2. sor: Vargáné Loykó Anikó, Szabó József, Csiszárné Makra Erzsébet, Térenné Tar Éva, Juhász Edit, Csamangó Károlyné, Péter Mária, 3. sor: Miklós Ferenc, Lázár László, Pálinkásné Kulcsár Gizella, Simon István, Pelikán Szilvia, Csomós Péter, Gedey Szilvia, Buttásné Kiss Ágota, Hegedűs Jánosné, Kálmán Judit, Szakonyi Zsolt, Batai Lászlóné, Arva Judit

Bernáth professzor nyugalmába vonulása után, tanítványa, *Fülöp Ferenc* nyerte el pályázat útján a tanszékvezetői megbízatást.



8 ábra. Fülöp Ferenc

*Fülöp Ferenc* 1952. február 23-án született a Bács-Kiskun megyei Szankon. Egyetemi tanulmányait a József Attila Tudományegyetem Természettudományi Karának vegyész szakán végezte, 1975-ben vegyész diplomát, 1978-ban egyetemi doktori fokozatot szerzett. 1983-ban a kémiai tudomány kandidátusa, 1990-ban a kémiai tudomány doktora lett. A Magyar Tudományos Akadémia kémiai osztálya 2007-ben levelező taggá választotta, 2013 óta az Akadémia rendes tagja. Ezt a kitüntetető címet gyógyszerésztudományi kari egyetemi oktatók közül elsőként és eddig egyetlenként nyerte el.

Oktató pályafutása ismertetésekor megemlítenéd, hogy 1975-től 1980-ig a Chinoin Gyógyszergyár doktorandusza, 1981 és 1983 között tanársegéd a Szerves Kémiai Intézetben, 1983–1990 között adjunktus, 1990–91 között docens, 1991–2003 között egyetemi tanár a Gyógyszerésztudományi Karon. 2003-tól tanszékvezető egyetemi tanár. 1996–97 között az újonnan alakult Gyógyszeranalitikai Intézet vezetője, 2005–2006 között a SZTE TTK Szerves Kémiai Intézet megbízott vezetője volt. 2000–2006 között a kar dékánhelyettese, 2006–2012 között a Gyógyszerésztudományi kar dékáni tisztségét töltötte be.

Vezetője a három kari PhD-programból létrejött *Gyógyszertudományok* Doktori Iskolának, ahol eddig 19 PhD-hallgatója szerzett tudományos fokozatot.

Fontos megemlíteni jelentősebb külföldi tanulmányútjait. 1986–1995 között a Finn Tudományos Akadémia ösztöndíjával összesen 9 alkalommal vett részt 1–6 hónapos tanulmányúton, a Turku Egyetem Kémiai Tanszékén. Az Európai Közösség ösztöndíjával 1994-ben 3 hónapos tanulmányúton volt

a Bonni Egyetem Szerves és Biokémiai Intézetében. 1997-ben 2 hónapot töltött tudományos kutatással a Skóciai St. Andrews Egyetem Kémiai Intézetében.

A Karon végzett oktatói tevékenységének területei a következők. Előadója a gyógyszerészi kémia főtárgynak, amely a III. év mindkét szemeszterében heti 4 órában kerül előadásra., oktatja a Bevezetés a gyógyszerkutatásba c. tárgyat. Számos diplomamunkát készítő és diákkörös hallgatónak volt témavezetője, és jelenleg is sok hallgató kutatómunkáját irányítja.



9. ábra. Fülöp professzor munkatársai körében, 2011-ben készült felvételen  
Balról jobbra 1. sor: *Martinek Tamás, Fülöp Ferenc, Forró Enikő, Csúri Mihályné, Kiss Lóránd, Beke Ferenc-László, Mándity István, Simon István*, 2. sor: *Horváth Katinka, Cherepanova Mária, Csillag Kinga, Szolnoki Éva, Csütörtöki Renáta, Dinyáné Juhász Edit, Bagi Ágnes, Polyák Aranka, Nonn Melina*, 3. sor: *Eötvös Sándor, Térenné Tarr Éva, Somlóné Laczkó Marianna, Csiszárné Makra Erzsébet, Schönstein László, Buttásné Kiss Ágota, Szatmári István, Wéber Edit, Magyar Timea, Schuster Ildikó, Palkó Márta, Arnold József, Koza Mária, Lázár László, Miklós Ferenc*

Kutatási tevékenysége az alábbi területekre terjed ki: telített heterociklusok konformációi, gyűrű-lánc tautoméria vizsgálatok, ciklusos  $\beta$ -aminosavak szintézise, önszerveződő  $\beta$ -peptidek szerkezete, alkalmazásai, enzimkatalizálta kinetikus és dinamikus rezorválások, enantioszelektív szintézisek, felfedező gyógyszerkutatás.

Kutatási együttműködései: a Turku Egyetem oktatói közül prof. K. Pihlájával, prof. L.T. Kanevával végez közös kutatásokat. Kooperál prof. N. Sillanpaával a Jyväskyläi Egyetemen és prof. P. Vainiotaloval (Joensuu Egyetem). Belgiumi kutatási partnerei prof. N. De Kimpe és prof. F. G. Eycken (Gent), prof. De Witte (Leuven). Közös kutatómunka kapcsolja F.G. Riddellhez (Skócia) és prof. E. Kleinpeterhez (Potsdam, Németország).



Eredeti, idegen nyelvű közleményeinek száma eléri a 450-et, 16 összefoglaló és 79 magyar nyelvű publikáció vezető szerzője. 19 szabadalom társfelfedezője. Nemzetközi konferenciákon 150 előadás és poszterprezentáció fűződik a nevéhez. 15 konferencián volt felkért plenáris előadó. Külföldi egyetemen 30 alkalommal volt előadó.

Számos rangos külföldi folyóirat szerkesztőbizottsági tagja és több vezető kémiai lap megbízásából végez rendszeres lektori tevékenységét.

Kitüntetései, elismerései is gazdag listája van: 1975: OTDK Veszprém, fődíj; 1975: MKE, Diplomamunka Országos Nívódíj; 1977: Chinoin; Kiváló Ifjú Mérnök díj; 1983: Zemplén Géza-díj; 1988: „Kiváló Munkáért” Miniszteri Kitüntetés; 1991: Miniszteri Dicséret a TDK oktatómunkáért; 1997–2000 Széchényi Professzori Ösztöndíj; 1998, 1999, 2000, 2003 az „Év legjobb oktatója” hallgatói díj; 2002: OTKA Tudományos Iskola vezető; 2002: Charles Simonyi-díj; 2002: Gábor Dénes-díj; 2004: Ipolyi Arnold-díj; 2005: Than Károly-díj, Akadémiai Szabadalmi Nívódíj. 2006: Bruckner Győző-díj, 2008: Hevesy György-díj, 2009: Khwarizmi-díj.

## Irodalom

- Péter H. Mária: Az Erdélyi gyógyszerészet magyar vonatkozásai. Kolozsvár, 2013
- A Szegedi Gyógyszerészképzés és a Gyógyszerésztudományi Kar (szerk.: Prof. Novák I.) Studia Medica Szegediensia sorozat, Szeged, 1976.
- A Szegedi gyógyszerészképzés és a Gyógyszerésztudományi Kar története. (Szerk. Erős István), Szeged, 2007
- 90 éves a Szegedi Gyógyszerészképzés (szerk. Erős István), Szeged, 2011.
- Szegedi Egyetemi Almanach (1921–1996) II. kötet (Szerk. Papp K. és Marton J.) Szeged, 1997
- Szegedi Orvostudományi Egyetem Évkönyveiben, a Szent-Györgyi Orvostudományi Egyetem Évkönyveiben, Szegedi Tudományegyetem Évkönyveiben a Gyógyszerészi Vegytani, ill. a Gyógyszerkémiai Intézet adatai
- MTA Kémiai Osztálya honlapja: Fülöp Ferenc rövid szakmai életrajza

## ***Oktatás és kutatás a SZTE Gyógyszerésztudományi Kar Gyógyszertechnológiai (korábban Gyógyszerészeti) Intézetében***

A Szegedi Tudományegyetem Gyógyszertechnológiai Intézete 2014-ben több jeles jubileumot ünnepelhet. 130 éve kezdte meg működését a kolozsvári egyetemen a *tangyógyszertár*, amely a mai intézet jogelődjének tekinthető, és ugyancsak ebben az évben kezdődtek a *Gyógyszerészi műtan* c. tárgy (a mai gyógyszer-technológia) előadásai.

125 éve született *Dávid Lajos* az intézet alapítója és első igazgatója. 110 éve emelte a tanpatikát *Egyetemi Gyógyszertár* rangra a kolozsvári egyetem szenátusa, ez volt Magyarországon az első Egyetemi Gyógyszertár. (1931-től az Egyetemi Gyógyszertár neve *Gyógyszerészeti Intézet* és *Egyetemi Gyógyszertár*.) 100 éve született *Kedvessy György*, akinek tanszékvezetői működése az intézet aranykorát jelenti. Jövőre, 2015-ben lenne 85 éves *Selmeczi Béla*, az intézet harmadik igazgatója, az ő tanszékvezetői működése idején számos fontos reform történt a gyógyszerészképzésben. Ezek a kerek évfordulók jó alkalmat adnak arra, hogy áttekintsük az intézet történetét, felmutassuk azokat az értékeket, amelyek megőrzésre és továbbfejlesztésre érdemesek.

### **Kolozsvári gyökerek**



1. ábra. Bókay Árpád



2. ábra. Hintz György

A kolozsvári gyógyszerészképzésben kulcsszerepet játszik *Bókay Árpád* (1856–1919), az általános kór-, gyógy- és gyógyszer-tan professzora, akinek sikerült az orvosi kar vezetését meggyőzni arról, hogy a kornak megfelelő orvos- és gyógyszerészképzéshez elengedhetetlenül szükséges egy tanpatika, ahol a gyógyszerkészítés és a gyógyszerrendelés tudományát egyetemi szinten oktatni lehet. Ebben a törekvésében jó segítőtársra talált *Hintz György* (1840–1890) személyében, aki az egyetemet Bécsben végezte, itt szerzett doktori címet és 1883-ban habilitált. A tanpatika berendezése *Hintz* tervei alapján nagyon gyorsan elkészült, szép kivitelű laboratóriumi asztalokból, állványzatból, finom porcelán- és üvegedényzetből, valamint korszerű eszközökből állt. A tanpatika (népszerű nevén „*receptúrai dolgozda*”) és a gyógyszerészeti műtan költségeit az Orvosi Kar fedezte, majd 1896-tól a Vallás és Közoktatási Minisztérium rendes évi átalányt biztosított. Az 1884/85. tanév folyamán *Hintz György* megkezdi a Gyógyszerészeti műtan c. előadásait, amely tudománytörténeti esemény. Az Osztrák–Magyar Monarchia területén elsőként Kolozsváron hangzott el egyetemi előadás a mai értelemben vett gyógyszer-technológia témaköréből.

*Hintz* halála és *Bókay* Budapestre távozása után *Lőte József* vezette megbízottként a Gyógyszer-tani Intézetet, és a műtan előadásaira, valamint a recepturái gyakorlatok vezetésére *Issekutz Hugó* gyógyszerészt kérte fel, miután *Issekutz* megszerezte a habilitációt.

1903-ban a tanpatika egyetemi gyógyszer-tárrá alakult, de megmaradt a Kór- és Gyógyszer-tani Intézet keretében. Személyzete az alábbi volt: dr. *Issekutz Hugó* magántanár, vezető gyógyszerész, dr. *Ferencz Áron* gyógyszerész, tanársegéd, *Lukinich Dezső* II. éves hallgató, gyakornok. *Issekutz Hugó* 1915-ben elhunyt, utóda *Ferencz Áron* lett.

*Dávid Lajos* neve mint a gyógyszer-tár munkatársa először az 1910-es egyetemi évkönyvben olvasható. *Dávid* ekkor még hallgató volt, az egyetemet 1911-ben fejezte be. 1911-től intézeti gyógyszerész, 1913-ban szerezte meg a doktori fokozatot. Karrierjének további lépcsői már Szegedhez kötődnek.

## **Dávid Lajos, a Gyógyszerészeti Intézet első igazgatója. Az intézet hőskora**

*Dávid Lajos* Kézdivásárhelyen született, 1889. október 16-án. Édesapja, *Dávid Antal* jómódú örmény polgár, aki 4 gyermeket nevelt fel. Gyermekéveit részben Kézdivásárhelyen, részben Kolozsváron töltötte. A gimnáziumi tanulmányai után a kézdivásárhelyi *Jancsó Miklós* patikájában volt gyakornok,

1907 és 1909 között. A két év gyakornoki idő után 1909-ben iratkozott be a Ferenc József Tudományegyetemre, tanulmányait 1911-ben fejezte be. 1910-től az egyetemi gyógyszerészgyakornoka. Első publikációja 1911-ben jelent meg. Az egyetemi doktori fokozatot 1913-ban nyerte el, a *Hydrastis canadensis* L. gyökértörzse és kivonata hidrastin tartalmának a különböző gyógyszerkönyvek metódusa szerint való meghatározásáról és a kivonat berberin tartalmának mennyileges meghatározási módjáról c. értekezésével.



3. ábra. Dávid Lajos

1921–1925 között Szegeden az Egyetemi Gyógyszerészgyakornok vezetője mint gyógyszerészgyakornok, 1925–58 között az Egyetemi Gyógyszerészgyakornok vezetője, majd 1931-től Gyógyszerészet Intézet és Egyetemi Gyógyszerészgyakornok igazgatója, 1922-ben magántanárrá habilitálták, 1930-tól egyetemi címzetes rendkívüli tanár, 1944-től nyilvános rendes tanár. Az 1947/48. tanévben az Általános Orvosi Kar dékánja, a következő tanévben prodeán. 1952-ben életműve alapján „honoris causa” kandidátusi fokozattal tüntették ki. 1958-ban vonult nyugalomba. 1962-ben hunyt el. A Magyar Gyógyszerésztudományi Társaság, a Magyar Kémikusok Egyesülete, az American Chemical Society, a The American Advancement of Science, a berlini Deutsche Chemische Gesellschaft, valamint a Fédération Int. Pharmaceutique tagja volt.

## Dávid Lajos és tanszéke oktató- és kutatómunkája

### *Az Egyetemi Gyógyszertár ideiglenes elhelyezése a Kálvária téren*

Az egyetem Szegedre településekor Dávid Lajos nehéz helyzetben volt. A gyógyszertár kinevezett vezetője, Ferencz Áron nem jött Szegedre, és nem is adott információt további terveiről. (Az Egyetem 1921/22-es évkönyvében Ferencz Áron neve van feltüntetve a gyógyszertár vezetőjeként. Az 1922/23. tanév tanrendjében már Dávid Lajos neve szerepel a gyógyszerészeti műtan előadójaként és a gyógyszertár megbízott helyettes vezetőjeként.

Ebben a felemás helyzetben Dávid Lajos igyekezett a legjobb tudása szerint helytállni, szervezte a klinikák gyógyszerellátását, és megkezdte a Kolozsvárról Szegedre települt hallgatók oktatását. Az 1921/22. tanév I. szemeszterében 95 gyógyszerészhallgató tanult az egyetemen, a II. félévre 86 hallgató iratkozott be. Ez a szám az 1922/23. tanév során emelkedett 122, illetve 117 főre.

Az Egyetemi Gyógyszertár átmeneti helye a Kálvária tér 5/b alatti fémipari iskola épületében volt. Itt nyert elhelyezést a belgyógyászati és sebészeti klinika és öt intézet, a közegészségtani, a gyógyszereseti és gyógyszerismereti, az élettani, az orvosi vegytani intézetek, valamint a gyógyszertár. A zsúfoltság ellenére a gyógyszertár officinájában rend és tisztaság uralkodott. Állandó gondot okozott a gyúlékony anyagok biztonságos elhelyezése



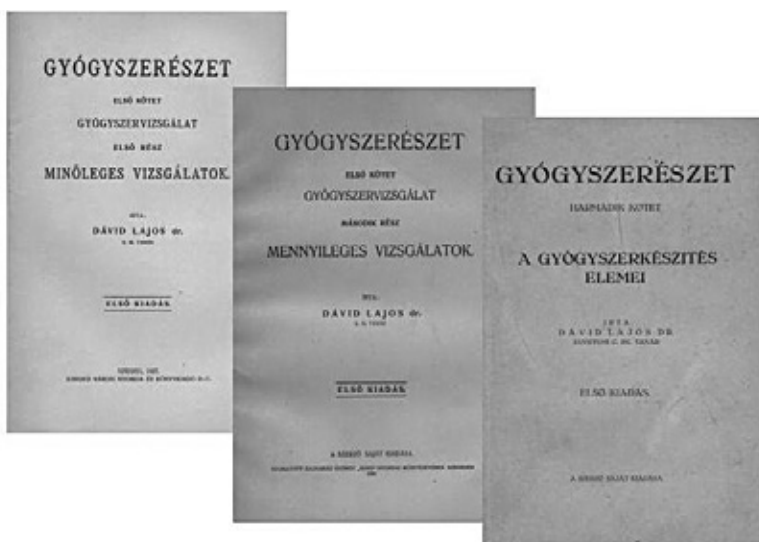
4. ábra. Dávid professzor munkatársaival a Kálvária téri Gyógyszertár officinájában (Bari Zsigmond, Dávid Lajos, Huttkay Margit és Mikó István)

## A gyógyszerertár és az intézet a Dóm térre kerül

1928. január 10-én döntött Klebelsberg Kuno elnökletével egy erre a feladatra alakított bizottság a fogadalmi templom környékének rendezésére kiírt pályázatról. A pályázatot *Rerrich Béla* terve nyerte meg a Dómot három oldalról körülvevő árkaDOS palotasorának tervével. A Dóm téri épületegyüttes keleti szárnyában kapott helyet az Egyetemi Gyógyszertár, és ekkor jelent meg az intézmény nevében a *Gyógyszerészeti Intézet*. A korabeli szaksajtó örömmel és büszkeséggel adott hírt a gyógyszerészképzés új otthonáról, *Novák Ernő* és *Horváth Jenő* mutatták be az új intézetet és gyógyszerertárat a *Gyógyszerészi Hírlap* hasábjain.

Az intézet és a gyógyszerertár az épület földszintjén és I. emeletén rendezkedett be. A földszinten volt a tágas, galériával ellátott officina, iparművész tervezte gyönyörű bútoraival. Innen nyílt az ügyeletes szoba. Itt helyezték el a tablettázó laboratóriumot, a raktárakat és a desztilláló helyiségét. Az I. emeleten volt a professzor és a munkatársak dolgozószobája, a steril készítmények előállítására szolgáló laboratórium, a gyógyszervizsgáló laboratórium és a hallgatók tangyógyszertára. (Itt kapott helyet a professzori lakás is.)

Az oktatást kiemelten fontos feladatnak tekintette *Dávid Lajos*. Ennek bizonyítéka, hogy saját kiadásában tankönyvet jelentetett meg *Gyógyszerészet* címmel (I–II kötet: Gyógyszervizsgálat, első rész: Minőleges vizsgálatok, második rész: Mennyileges vizsgálatok, III. kötet: A gyógyszerkészítés elemei



5. ábra. Dávid Lajos Gyógyszerészet c. tankönyve

Az 1940-ben életbe lépett új rendszerű négyéves gyógyszerészképzés fő tárgya lett a gyógyszerészet (mai nevén gyógyszer-technológia). Ez a tárgy 4 szemesztert kapott, a III. év két szemeszterében a galenikumok előállításával és vizsgálatával, a IV. éven a receptúrai (gyógyszertári) gyógyszerkészítés feladataival, elméletével és gyakorlatával ismerkedtek meg a hallgatók.

A III. kötet, *A Gyógyszerkészítés elemei* c. könyv alapján ismertetem Dávid professzornak a gyógyszerészetről és a gyógyszerkészítésről vallott „*ars poetica*”-ját. A gyógyszerészet fogalmát és tárgyát a következőkben határozta meg: a gyógyszerészet gyakorlati tudomány, melynek feladatai: (i) receptúrai gyógyszerek készítése a kor tudományos eredményeinek felhasználásával, (ii) galenikumok készítése és vizsgálata, (iii) gyógyszeres összeférhetetlenségek (inkompatibilitások) gyógyszertári megoldásai, (iv) a gyógyszerkészítmények eltartása és stabilitásuk biztosítása.

Előadásainak vezérfonala és a legfontosabb témakörök az alábbiak voltak: (i) gyógyszerészeti művelettan ismertetése, (ii) gyógyszeralakok ismertetése, (iii) stabilis készítmények elkészítésének irányelvei, (iv) gyógyszeranyagok és gyógyszerkészítmények eltartása, gyógyszerek kiszolgáltatása, expedálása a betegeknek.

Dávid Lajos első tudományos publikációja 1911-ben egyetemi tanulmányai befejezésének évében jelent meg (*A Hyperolról*–társszerző Ferencz Áron). Kutatói érdeklődése igen széleskörű volt, de mindig a gyakorlat számára fontos és hasznos feladatból indult ki. Az általa kutatott legfontosabb témák az alábbiak (i) alkaloid kutatások, e fontos növényi hatóanyagok izolálása, kvalitatív és kvantitatív meghatározása. Különösen érdekesek az általa kidolgozott színreakciók és az izomer alkaloidok egymás melletti meghatározása, (ii) gyógynövényekből hatékony és stabil készítmények formulálása (pl. az ipekakuána gyökér és gyökértörzs sósavas kivonó folyadékkal történő extrahálása), (iii) új gyógyszerformák fejlesztése (pl. emulziók, korszerű kenőcsök, stabil vizes oldatok, tabletták, kloramfenikol szemcsepp), és gyógyszerforma vizsgálati módszerek bevezetése a készítmények minősítésébe, (iv) klinikai laboratóriumi vizsgálatokhoz módszerek és reagensek kifejlesztése.

Publikációinak száma 76, ezek közül 29 idegen nyelven (németül) jelent meg vezető német gyógyszerési szaklapokban. Irányítása alatt 33 egyetemi doktori értekezés készült el 1925–1948 között. (1948-tól a doktori cím megszerzése átmenetileg szünetelt.) Disszertánsai között 27 férfi és 6 nő volt. Az első disszertációt *Bary Zsigmond* készítette és védte meg 1925-ben, az utolsó disszertánsa *Frankó András* volt, aki 1948-ban védett. A disszertációk témák szerint megoszlását a következő ábra szemlélteti:

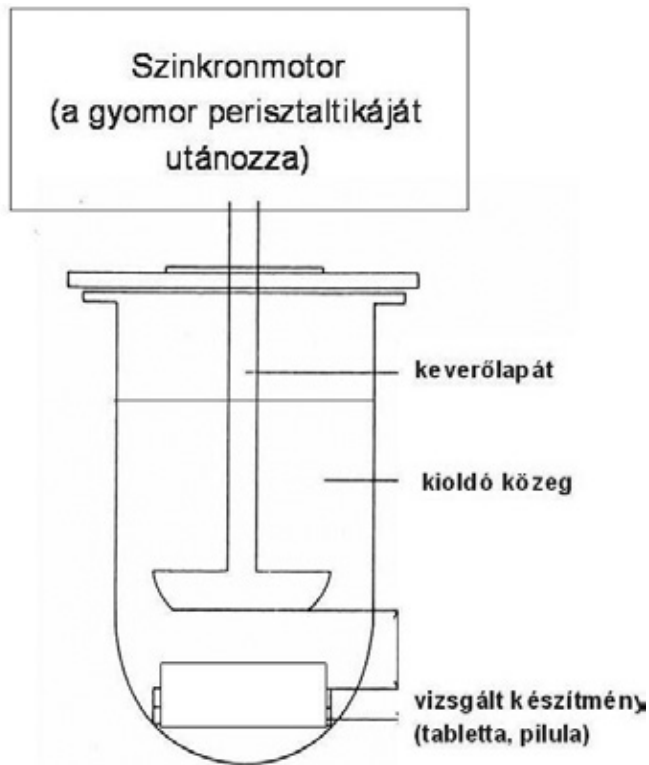


6. ábra.

## Dávid Lajos kutatómunkájának tematikája

A szegedi professzorok esténként, a munkájuk befejeztével ún. professzori sétákon vettek részt a Tisza-parton. Ez igen jó alkalom volt a szakmai kérdések megvitatására, kooperáció kialakítására. Az egyik séta alkalmával vetette fel az egyik klinikus orvosprofesszor Dávid Lajosnak, hogy baj van több tablettával (a klinikus pilulát mondott), mert nem hatnak. Dávid professzor fejébe szöveget ütött ez a felvetés, és megszerkesztette a – bizonyára a világon első – kioldó készüléket, évtizedekkel megelőzve a biofarmácia kutatóit és a modern gyógyszerkönyveket. Dávid rögtön felismerte a hatástalanság okát, a hatóanyag valószínűleg nem oldódott ki a tablettából. A csiszolatos üveglombikot *Schlott János* üvegtechnikus mester készítette, a szinkron motorral a gyomor mozgását szimuláló mechanikát pedig *Jenei úr*, a Fizikai Intézet műszerésze szerkesztette. Sajnos, ezt az új korszakot jelentő készüléket Dávid nem publikálta.





7. ábra. Készülék szilárd készítmények (tabletták, pilulák) hatóanyag-tartalma kioldódásának vizsgálatára.

## Kedvessy György, az intézet második igazgatója. Az intézet aranykora

A Szegedi Orvostudományi Egyetemen a Gyógyszerészi (1963-tól Gyógyszerész-tudományi) Kar 1957-ben alakult meg. A karnak négy intézete volt: a Gyógyszerészeti, a Gyógyszerészi Vegytani, a Gyógynövény- és Drogismereti, valamint a Gyógyszerhatástani Intézet. Közülük a legrégebbi, a legnagyobb és legtekintélyesebb a *Gyógyszerészeti Intézet* volt. (A kolozsvári gyökereket és a szegedi intézet megszervezését az előző oldalakon olvashatjuk.) Bár mindegyik tanszék a szakma műveléséhez nélkülözhetetlen ismeretanyagot oktatót, a Gyógyszerészeti Intézet közvetlenül készítette fel a hallgatókat a praxisra, és ez az intézet szervezte a hallgatók nyári gyógyszerári gyakorlatait, valamint bonyolította a tanulmányokat megkoronázó államvizsgát. Ezért a többi tanszék is elismerte a Gyógyszerészeti Intézet vezető szerepét.

A Gyógyszerészeti Intézet alapító igazgatója, *prof. dr. Dávid Lajos* 1958-ban 48 évi egyetemi szolgálat és 37 évi tanszékvezetés után nyugdíjba vonult. Az intézetvezetői posztra négyen pályáztak: A pályázók közül a tanszékvezetői megbízást *Kedvessy György*, kandidátus, a BOTE Gyógyszerészeti Intézetének habilitált docense nyerte el. Kedvessy professzor nagy lendülettel kezdett hozzá az oktatás reformjához és a kutatómunka megszervezéséhez a szegedi intézetben. Javaslataira a minisztérium 1962-ban hozzájárult, hogy az intézet neve *Gyógyszertechnológiai Intézet* legyen.



8. ábra. Kedvessy György

Kedvessy György 1914. május 25-én született Budapesten, értelmiségi-polgári családban. Gimnáziumi tanulmányait a budai ciszterci gimnáziumban végezte. Kitűnő eredménnyel érettségizett 1932-ben.

Középiskolás éveit jogásznak készült, de unokabátyja rábeszélésére a gyógyszerészi tanulmányokat választotta. A gyakornoki éveket *Magyari-Kossa Gusztáv* budapesti gyógyszertárában teljesítette, és a gyakornoki tanfolyamot kitűnő eredménnyel végezte el, 1934-ben. 1935-ben kezdte meg tanulmányait a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen. Ebben az időben még csak két éves volt az egyetemi képzés. Az I. éven a hallgatók természet-tudományokkal – természettannal, növénytannal, vegytannal – foglalkoztak (ezeket Budapesten a Bölcsészettudományi Kar, Szegeden a Matematikai

és Természettudományi Karon oktatták), és Kedvessy mindhárom tárgyból kitűnő eredményű vizsgát tett. A II. évben az Orvostudományi Kart látogatták, és gyógyszerismerettel, az egészségügyre vonatkozó törvényekkel és jogszabályokkal, valamint közegészségtannal foglalkoztak. A diplomát 1936. június 18-án szerezte meg, *summa cum laude* eredménnyel.

Az egyetem elvégzése után Mozsonyi Sándortól, a Pázmány Péter Tudományegyetem Gyógyszerészeti Intézetének igazgatójától meghívást kapott intézeti állásra és doktori tanulmányok folytatására. Kezdetben fizetéstelen gyakornok volt, majd másfél évi munka után Mozsonyi professzor fél fizetéssel honorálta munkáját és szorgalmát. 1938 februárjától Horthy Miklós-ösztöndíjban részesült. 1936-ban avatták doktorrá, *summa cum laude* minősítéssel, az *Adatok a negyedik magyar gyógyszerkönyv „Extracta” c. fejezetéhez, figyelemmel a hivatalos extractumok leghelyesebb előállítási és hatóanyagtartalmi meghatározási módjaira* című értekezése alapján. Intézeti tevékenysége igen sokrétű volt, az egyetemi gyógyszerészeti kémiai laboratóriumát vezette, a hallgatóknak gyakorlatot tartott, és nagy szorgalommal merült el a kutatómunkába, főként összetett készítmények kémiai vizsgálatával, tartalmi meghatározásával foglalkozott. Kiváló érzékkel ismerte fel, hogy mely korszerű fizikai kémiai eljárásoknak lesz szerepe a gyógyszerkészítmények analitikájában. Eredményeit hazai és külföldi szaklapokban publikálta, neve csakhamar ismertté vált nemzetközi relációban is.

1944 tavaszán a Pázmány Péter Tudományegyetem magántanárrá habilitálta *Galenusi készítmények ellenőrző vizsgálata* témakörben. Ő volt az egyetem legfiatalabb magántanára.

1947-ben jelent meg első könyve – *Gyógyszervizsgálat, különös tekintettel a galenusi gyógyszerkészítményekre* –, amely nemcsak eddigi kutatómunkájának színvonalas összefoglalása, hanem a gyógyszerkészítmények fizikai kémiai és kémiai vizsgálatának nélkülözhetetlen kézikönyve lett, évekkel megelőzve a hasonló témakörű német és amerikai szakkönyveket.

1952-ben „honoris causa” kandidátus lett. 1956-ban docensi előléptetésben részesült. 1959-től 1984-ig, 25 évig vezette a Szegedi Orvostudományi Egyetemen a Gyógyszertechnológiai Intézetet. 1963–67 között a SZOTE rektorhelyettese, 1967–79 között a kar dékánja volt. Tagja volt az ETT Gyógyszerészeti és Gyógyszerkönyvi Bizottságának (1954–66), az MTA Gyógyszerészeti Bizottságának (1957–67), a MOTESZ elnökségének (1970–76): Részt vett az V. és a VI. Magyar Gyógyszerkönyv szerkesztőbizottsági munkálataiban, az utolsó hazai Gyógyszerkönyvünk, a Ph.Hg. VII Galenusi Albizottságának elnöke volt. A II–V. FoNo szerkesztőbizottsági tagja, a VI. FoNo szerkesztőbizottságának elnöki funkcióját töltötte be. A *tudományok doktora* akadémiai fokozatot 1981-ben szerezte meg. 1984. június 30-án vonult nyugalomba.

1984-től haláláig az egyetem emeritus professzora volt. 2002. december 29-én hunyt el Szegeden.

Mind Budapesten, mind Szegeden a gyógyszer-technológiát III. és IV. éven, 4 szemeszteren keresztül oktatták. A gyakorlati oktatás óraszama kiemelkedően nagy volt a többi szaktárgyhoz viszonyítva. Ebben is kifejezésre jutott a gyógyszer-technológia főtárgy jellege.

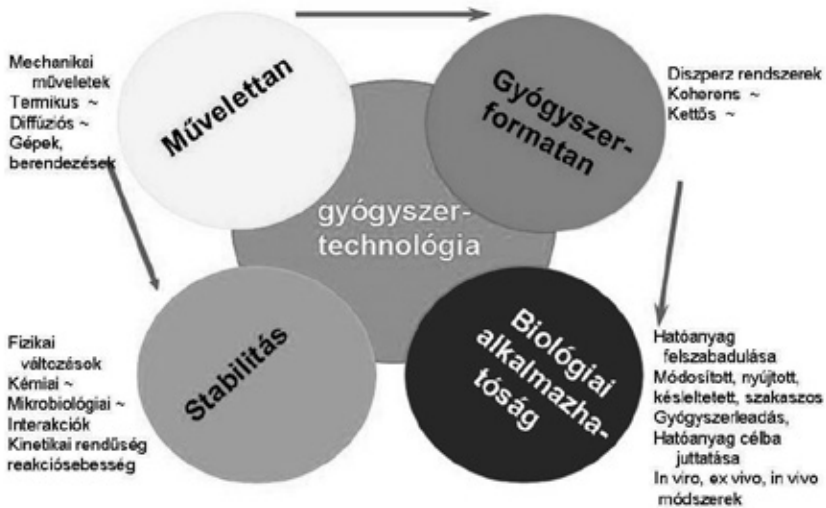
A gyógyszer-technológia tárgynak – mint már említettük – két nagy egysége volt: a *galenikumok* előállítása és vizsgálata, valamint a *receptúrai készítmények* előállítása. A tárgy oktatásának keretében Szegeden – mint ezt az előzőekben olvashattuk – Dávid professzor tanszékvezetése alatt a III. év programjában szerepelt a galenikumok oktatása és IV. éven a receptúra, Budapesten ezt fordított sorrendben oktatták. Kedvessy professzor a sorrenden nem kívánt változtatni, elfogadta a szegedi modellt. A klasszikus gyakorlati feladatok mellett új gyakorlati típusot vezetett be: a *középzemeli és ipari gyógyszerkészítés* elemeit (tablettázás, drázsírozás, steril- és aszeptikus gyógyszerkészítés, galenikumok előállítása félüzemi méretben). Kedvessy professzor komoly erőfeszítéseket tett, hogy ezekhez a gyakorlatokhoz a szükséges gépeket és eszközöket beszeresse. Sikerült megvásárolni a teljes Erweka gépsorozatot. Jó ipari kapcsolatai révén a gyárak segítették az oktatást, leselejtezett, de még jó állapotú gépekkel, pl. Manesty és Diaf tablettázó gépek, drázsírozó üst, Sabária kenőcskeverő, félüzemi háromhengermű állt rendelkezésre az üzemi, ill. félüzemi gyógyszergyártás oktatásához. A steril és aszeptikus munkát autokláv, manipulátor és Strunck-féle ampullatöltő -záró szolgálta. Mivel egy-egy csoport 6-8 főből állt, minden hallgató minden műveletet elvégzett.



9. ábra.

## A gyógyszer-technológia helye a tudományok rendszerében, és alapozó tudományai

A fenti ábra szemlélteti Kedvessy felfogását a gyógyszerkészítés tudományának helyéről és tudományos alapjairól.



10. ábra. A gyógyszer-technológia feladatai és alkotórészei

Ez az ábra rámutat arra, hogy mely kérdések és témák álltak Kedvessy vezetése alatt álló intézet kutatásainak homlokterében. A vezetése alatt álló intézet kutatásai kiterjedtek a *művelettan* területére (öntéses kúpgyártás, szűrés, porlasztó szárítás, tablettapréselés erőviszonyai, bevonás újabb megoldásai), a *formatan* (szilárd és félszilárd gyógyszerformák), a *stabilitás* kutatására (oldatok, emulziók, szuszpenziók, krémek, polimer térhálók fizika, fizikai kémiai, morfológiai és reológiai változásai). Az intézet legfontosabb témájává vált a *hatóanyag felszabadulásának vizsgálata*, in vitro módszerekkel különböző diszperz és koherens rendszerekből.

Az ötvenes évektől kezdődtek a gyógyszer-technológia „nagy” évtizedei. Ekkor indultak azok a célirányos kutatások, melyek a gyógyszergyártás tudományát elméletileg megalapozták, korszerű fizikai kémiai módszerekkel felszerelték, és kiemelték az empiria területéről. E kutatások révén vált a gyógyszer-technológia a múlt század 80-as, 90-es éveiben a gyógyszerkutatás „húzó ágazatává”, amiben jelentős érdemei vannak Kedvessy Györgynek és az irányítása alatt működő szakmai műhelynek. A vezetése alatt kialakult iskola

tudományos tevékenységére a *tematikus gazdagság*, az *új módszerek keresése* és alkalmazása, valamint a *gyakorlati hasznosíthatóság* igénye volt jellemző. Négy kutató csoportot hozott létre és irányított negyedszázados kutatószervező, iskolateremtő tanszékvezetése során. Időben első kutatócsoportja a *rektális gyógyszerformákkal* foglalkozott, számos új alap- és segédanyag bevezetésre tett javaslatot, feltérképezte a hatóanyagok szabaddá válásának folyamatát, a liberációt befolyásoló tényezőket. A második munkacsoport a *szilárd gyógyszerformákat*, főként a tablettákat és bevont tablettákat (drazsékat) kutatta. (E kutatások jelenleg is folynak.) A harmadik csoport a *kolloid gyógyszerformák*, kenőcsök, krémek, gélek, szuszpenziók, emulziók szerkezetével, tulajdonságaival, valamint biofarmáciai aspektusaival foglalkozott. A negyedik csoport témája a *porok keverése*, a homogén eloszlás feltételrendszerének megismerése volt, majd ez kiegészült a csoport későbbi témájával: a vízben rosszul oldódó hatóanyagok oldékonyságának növelésével.

*A tematikus gazdagság.* Az intézetben eredményes anyagszerkezeti kutatások folytak, pl. a polimorfia vizsgálata, a kristályok deformációs viselkedése, koherens szerkezetek letörése és regenerációjának tanulmányozása területén. Figyelemre méltó eredmények születtek a művelettanban is. Kiemelten fontos témaként szerepelt a kolloidikai stabilitás: szerkezetszilárdulás, utókeményedési folyamatok tanulmányozása. A 70-es években biofarmáciai kutatások indultak. Számos gyógyszerforma *in vitro* hatóanyag-leadását vizsgálták meg az intézetben, és technológiai megoldásokat dolgoztak ki a biológiai hasznosíthatóság optimalására.

*Új módszerek bevezetése.* A Kedvessy névéhez fűződik Magyarországon a gyógyszerészeti *reológiai* kutatások megindítása. Először alkalmazott *páztázó elektronmikroszkópot* a szilárd gyógyszerformák vizsgálatában. Hazai vonatkozásban az elsők között volt, akik felismerték a *termikus analízis*, a *röntgendiffrakció* és az *elektrondiszperziós mikroanalízis* helyét és fontosságát a technológiai kutatásokban.

*Gyakorlati alkalmazás.* Kedvessy professzor vezette intézetben elsősorban elméleti alapkutatások folytak. Emellett számos gyakorlati feladat megoldása is szerepelt az intézet kutatási programjában. A gyakorlattal való szoros kapcsolatot bizonyítja, hogy Kedvessy jó és eredményes együttműködést épített ki valamennyi hazai gyógyszergyárral. Ez az együttműködés később külföldi cégekre is kiterjedt. Az intézet irányításának 25 éve alatt több mint 70 kutatási-fejlesztési szerződésben foglalt megbízási feladatot oldott meg.

Kedvessy György munkássága tudományometriai mutatók tükrében is tiszteletre méltó. Három könyve jelent meg. A *Gyógyszervizsgálat* és az öt kiadást megért *Gyógyszertechnológia* mellett, Selmeczi Bélával közösen írt *Tablettázás*

*gyógyszertechnológiája* a harmadik fontos monográfia. Tudományos publikációinak száma meghaladja a 300-at.

Munkáinak összesített impakt faktora 200 felett van. (Ezt az értéket a folyóiratok jelenlegi, ill. az időközben megszűnt vagy átalakult folyóiratok utódainak impakt faktora alapján számoltuk.) Az eredményeire kapott hivatkozások száma eléri az ezret. Számos újítás és több szabadalom fűződik a nevéhez. A vezetése alatt álló intézetben 100-nál több egyetemi doktori disszertáció készült el. Témavezetője volt 11 kandidátusi értekezésnek. Két munkatársa akadémiai doktori fokozatot szerzett. E kiemelkedő tudományos eredmények alapján, nagy hazai és nemzetközi elismertsége, tudományos tekintélye okán, iskolateremtő munkássága következményeként Akadémiánk tagjai között lenne a helye. Elgondolkodtató, hogy ezt az elismerést miért nem kapta meg.

Élénk és gyümölcsöző külföldi kapcsolatokat szervezett. Német, lengyel, szlovén egyetemi tanszékekkel intézetekkel volt szerződéses együttműködése. Közös kutatásokat folytatott a moszkvai Össz-szövetségi Gyógyszerkutató Intézettel is.

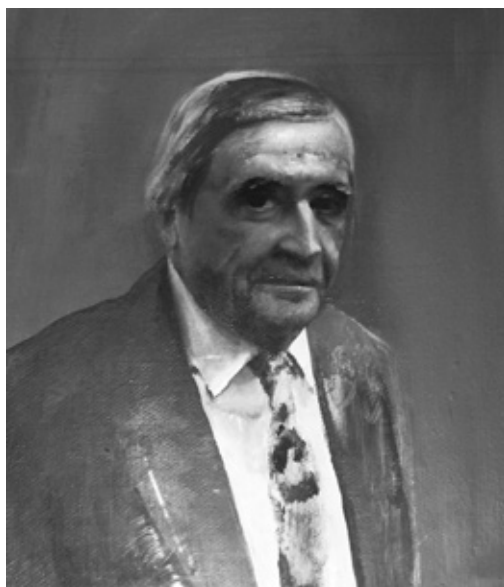


11. ábra. Kedvessy professzor és munkatársai a 60-as években

Balról jobbra 1. sor: *Selmeczi Béla, Horpácsy Frigyesné, Kedvessy György, Ferenczi Ilona, Kovács László, Regdon Géza*; 2. sor: *Krizsán Lászlóné, Gyetvai Andorné, Teiszl Istvánné, Regdon Gézáné, Szentessy Istvánné. Wayer Mária, Mayer Adél, Keresztes Anna, Ezüst Dorottya Mária*, 3. sor: *Erős István, Kohajda Mária, Mészáros Józsefné Csóti Katalin, Szauer Erzsébet, Horváth György, Farkas Mihály, Takácsy Imre, Kata Mihály*

## *Selmezi Béla, az intézet harmadik igazgatója. Az intézet reformkora*

*Selmezi Béla* 1930. április 23-án született Szegeden, és 2004-ben hunyt el. Gyógyszerészcsaládból származott. 1955-ben szerzett gyógyszerészi oklevelet, ezután öt évig dolgozott közforgalmú gyógyszertárban, Debrecenben, majd Makón. A közforgalmi gyógyszertári munkát 1960-ban cserélte fel egyetemi oktató- és kutatómunkára, Kedvessy professzor ekkor hívta meg az intézetébe, egy megüresedett tanársegédi állásra. 1962-ben szerzett doktori fokozatot, 1973-ban szakgyógyszerész lett. A tudományok kandidátusa fokozatot 1976-ban nyerte el. 1984-ben kapott egyetemi tanári kinevezést, és egyben tanszékvezetői megbízást, amikor a nyugalomba vonult Kedvessy professzor utóda lett. A tanszékvezetői tisztet 11 évig, 1995-ig látta el. 1984–1990 között két cikluson át volt a Gyógyszerésztudományi Kar dékánja.



12. ábra. Selmezi Béla

A 60-as évek elején a Gyógyszerészeti (1962-től Gyógyszertechnológiai) Intézet – felépítés és munkaszervezés tekintetében – két osztályra tagolódott. A Gyógyszertechnológia I. osztály a III. éves hallgatók oktatását látta el, vezetője *Kovács László* adjunktus (1961-től docens) volt. Az osztályvetető-helyettes *Selmezi Béla* volt. Ezen az osztályon 4 tanársegéd dolgozott. (A Gyógyszertechnológia



II. osztály munkatársai – 5 oktató – a IV. éves hallgatók receptúra oktatását végezték.)

Az előzőekben már olvashattuk, hogy Kedvessy professzor egy új gyakorlat-típust, a középüzemi és ipari gyógyszergyártás témakörű gyakorlatot vezetett be. A tablettázó gyakorlatok irányítója Selmeczi Béla lett, ő állította össze a gyakorlatok tematikáját. Selmeczi és munkatársa, *Keresztes Anna* tanársegéd kreativitását dicséri, hogy érdekes gyakorlati feladatokat dolgoztak ki, és folyamatosan beszerezték a tabletták vizsgálatához szükséges eszközöket és műszereket.

Oktatómunkájának középpontjában az az elv állt, hogy a hallgatók biológiailag és szellemileg felnőtt emberek, akik néhány év múlva kollégák lesznek. A hallgatóság ezért a szemléletért tisztelte és szerette, egyik legnépszerűbb gyakorlatvezetőként tartották számon. 1967-ben került bevezetésre a *gyógyszerészeti etika* oktatása. Az etika tárgy első előadója a karon Selmeczi Béla lett. Ezt a megbízást nagyon komolyan vette. Sok energiát fektetett a tematika összeállításába, az előadásokra és szemináriumokra való felkészülésre. Tanszékvezetőként, vizsgáztatóként humánus és igazságos volt. Előadásain pl. soha nem tartott katalógust, ezt „kisiskolás” módszernek tekintette. A vizsgákon igyekezett jó légkört teremteni, nem tartotta sokra azokat a vizsgáztatókat, akik félelmet gerjesztettek. Jó vezetői képességeihez, erényeihez tartozott a türelem, empátia és a határozottság.

Selmeczi tanszékvezetői és dékáni periódusát joggal nevezhetjük az intézet *reformkor*ának. Számos fontos reform került bevezetésre, közülük a legfontosabb, hogy a főhatóság a gyógyszerészképzés idejét 5 évre (9 szemeszter egyetemi képzés+1 szemeszter gyakorlat.) emelte. Több új tárgy került bevezetésre (biofarmácia, klinikai gyógyszerészet, gyógyszerészeti gondozás), ezáltal erősödött a képzés orvosbiológiai jellege. Az egységes írásbeli tesztvizsga és a szakdolgozat készítésének bevezetése is erre az időszakra esik.

36 éven át a *tabletták és dragsék* gyógyszertechnológiájának fejlesztésén dolgozott. A 70-es évek közepén, amikor Kedvessy professzor – a kutatás hatékonyságának fokozására – az intézet oktatóit kutatócsoportokba szervezte, Selmeczi Béla lett a *tablettázó munkacsoport* vezetője. A tablettázás folyamatának és tabletták szerkezetének és tulajdonságainak vizsgálata gyógyszeripari szempontból a legfontosabb témák közé sorolandó. Nem véletlen, hogy a nagy hazai gyógyszergyárak számos kutatási-fejlesztési megbízással keresték meg az intézetet. A Richter Gedeon (akkor még Kőbányai) Gyár megbízta a tablettázó csoportot valamennyi tablettázási előiratának elemzésével, kritikai értékelésével és korszerűsítésével.

Selmeczi Béla egyetemi doktori disszertációjának témája a *tabletták dragsírozása*. A gyógyszertechnológiai fejlesztő munka a 60-as években még

zömmel tapasztalaton alapult. A kutató több összetételt állított elő és vizsgált, majd ezek közül választotta ki a legjobbát, minden komolyabb elméleti megfontolás nélkül. Selmeczi Béla disszertációjában először megalkotta a technológiai jelenség – drazsémagok és a bevonó folyadék kölcsönhatása — fizikai kémiai modelljét, és megállapította, hogy a folyadék nedvesítő hatása a felületi feszültségtől, a magokhoz való adhéziója pedig a folyadék (makromolekulás oldat + szirup) viszkozitásától függ. Az összetételeket szisztematikusan változtatva, megkereste a legjobb felületi feszültséget és az optimális viszkozitást. Szellemes, félkvantitatív módszert dolgozott ki az adhézió mérésére. Hazai technológusok közül ő foglalkozott először a cukormentes drazsírozással. A cukorral bevont drazsék ugyanis – általában szülői gondatlanság miatt – több halálos kimenetelű gyermekmérgezést okoztak. Ezért kiemelten fontos a cukormentes bevonás megoldása. E témával foglalkozó publikációja, mely a *Deutsche Apotheker Zeitung* hasábjain jelent meg 1962-ben, ismertté tette nevét az európai szakemberek körében.

A tablettázás területén végzett kutatómunkájának két nagy fejezete van. 1) a tablettapréselés folyamatának és a préseléstől függően a tabletták textúrájának, fizikai állandóinak (pl. porozitás, nyomási szilárdság, kopási veszteség, dezintegráció) vizsgálata, 2) a közvetlen tablettapréselés megoldása alkalmas segédanyaggal, és a tablettázás korszerű segédanyagainak minősítése. Ezeket az eredményeit kandidátusi értekezésében (*A tabletták szerkezetét és fizikai sajátságait, valamint a drazsébevonat kialakulását befolyásoló tényezők tanulmányozása*, Szeged, 1975) foglalta össze.

A szerkezetvizsgálatot szerencsésen katalizálta, hogy egyik fiatal munkatársa, *Hódi Klára* elsajátította az elektronmikroszkópos preparátum-készítést és az elektronmikroszkópos felvételek értékelését, és e terület nemzetközi rangú szakembere lett. Egy másik fiatal munkatársa, *Takácsy Imre* pedig olyan egyszerű és pontos porozitásvizsgáló módszert dolgozott ki, amely nem igényelt drága, akkor beszerezhetetlen nagyműszert.

Szólni kell Selmeczi tudományos utánpótlást nevelő munkájáról. Számos diákkörös hallgatót gyűjtött maga köré: *Szima Aranka*, *Somogyi Judit*, *Pelle Márta*, *Lénárd Gyula*, *Mozsgay Katalin*, *Lipták Margit*, *Rápó Jolán* nevét kell megemlíteni. Fiatal munkatársai – *Hódi Klára*, *Garamvölgyiné Horváth Mária*, *Szabóné Révész Pirokska*, *Miseta Mária*, ifj. *Kása Péter* az ő irányításával váltak e terület jó nevű, ismert szakembereivé.

Élen járt a külföldi kapcsolatok szervezésében is. Kiváló együttműködést szervezett a hallei Martin Luther Egyetem Gyógyszertechnológiai Intézetével, a *Moldenhauer* és *Kala* professzorok irányítása alatt működő tudományos műhellyel. E kooperáció eredményeit 20-nál több közös dolgozat tartalmazza.

Az Oslói Egyetemen eltöltött négy hónapos tanulmányútjának eredményeit 4 közleményben foglalta össze. Kapcsolat fűzte a Moszkvai Össz-szövetségi Gyógyszerkutató Intézethez is.



13. ábra.

216 közleménye jelent meg. Ezek túlnyomó többsége olyan kísérletes munka, amelyet tekintélyes külföldi szaklapok közöltek.

A tudományos kutatás értékmérő számainak sorából érthetetlen módon hiányzik a tankönyvek és monográfiák szerzőinek elismerése, pedig egy színvonalas monográfia összeállításához legalább annyi energia, szorgalom és kreativitás kell, mint tucatnyi impakt faktoros közlemény előállításához. A tankönyvíráshoz ezen felül még jó pedagógiai érzék is szükséges. Valószínű, hogy a hiányos elismerés miatt vállalkoznak olyan kevesen monográfia, illetve tankönyv, kézikönyv írására. Selmeczi Béla ezen a területen kivételnek számít. Három monográfiája jelent meg: *A tablettázás technológiája* (Medicina, 1981), *A gyógyszerkészítés segédanyagai* (társszerzők: Kovács Béla és Szepesy Angéla, Gyógyszerész-továbbképzés, 1983), valamint *A magnézium forrásai és jelentősége az élővilágban* (szerkesztő és az egyik fejezet szerzője).

Rácz Istvánnal, illetve a budapesti és a szegedi intézet munkatársaival közösen megírták a gyógyszerészeti tankönyvek egyik legterjedelmesebbikét, a háromkötetes *Gyógyszer-technológia kézikönyvet*. Az I-II. kötet Budapesten,

Rácz professzor szerzőségével, illetve irányításával készült, a III. kötetet Selmeczi Béla irányításával a szegedi tanszék munkatársai írták.



14. ábra.

## Szakmai közéleti tevékenysége, elismerései

Selmeczi Béla az MGYT Gyógyszertechológiai Szakosztályának alelnöke volt 1992–1996 között, dolgozott a SzAB Gyógyszerészeti Szakbizottságában és az MTA Gyógyszerésztudományi Szakbizottságában. Az *Acta Pharmaceutica Hungarica* szerkesztőbizottsági tagja volt. Oktatómunkájáért, tudományos eredményeiért az alábbi kitüntetések kapták: a SZOTE Kiváló Nevelője (1975), Kiváló Gyógyszerész (1980), *Societas Pharmaceutica Hungarica* Emlékérem (1991), MTA Nívódíj (1994).

Egyik dédelgetett terve volt, hogy a gyógyszerészek számára is kiharcolja az ún. *foglalkozási doktorátust*, tehát, hogy az orvosokhoz, állatorvosokhoz és a jogászokhoz hasonlóan a gyógyszerészek is a diplomával automatikusan kapják meg a doktori címet. Sajnos, ennek kivitelezése akkor nem sikerült.

## Az intézet negyedik igazgatója, Erős István

Selmeczi Bélát *Erős István* követte a tanszékvezetői poszton. 1940. december 8-án született Kaposváron. Egyetemi tanulmányait a Szegedi Orvostudományi Egyetem Gyógyszerésztudományi Karán végezte 1960–1965 között. A doktori fokozatot 1968-ban, a kandidátusi minősítést 1976-ban nyerte el. 1994-ban szerezte meg a tudomány doktora (MTA doktora) fokozatot. 1995-ben habilitált. Szakgyógyszerészi végzettsége van gyógyszer-technológiából (1973) és minőségbiztosításból (2014). A tanszékvezetői megbízást 1995–2005 között töltötte be. 1994–1997 között dékánhelyettes, 1997–2000 között a kar dékánja volt.



15. ábra. Erős István

Tanszékvezetői periódusa alatt – pályázati forrásokból, a Gyógyszertári Központok és gyógyszergyárak támogatásából – közel 100 millió Ft-ot fordított az intézet felújítására, új, korszerű eszközök beszerzésére. Az ő nevéhez fűződik a *Gyógyszertechnológia* PhD-program összeállítása és akkreditálása, valamint a Szakképzési és Továbbképzési Tagozat létrehozása.

**Oktatási feladatai (1995–2010 között):** Gyógyszertechnológia előadások, és gyakorlatok tartása III. és IV. évf. gyógyszerészhallgatók részére magyar és angol nyelven, (ii) Gyógyszerészeti alapismeretek kötelező kurzus, magyar

és angol nyelven, (iii) kötelezően, ill. szabadon választható kurzusai: *Holnap gyógyszerei* (új gyógyszer-technológiai megoldások), *biokozmetikumok*, *gyógyszerészeti reológia*, a XX. század híres gyógyszerészei, (iv) Egészségügyi Felsőfokú Záróvizsga Írásbeli (teszt) Bizottság Gyógyszerészeti Albizottságának titkára, az első gyógyszerészeti záróvizsga tesztgyűjtemény (*Gyógyszerészeti alapismeretek*) szerkesztője, (v) államvizsga, ill. záróvizsga bizottság tagja 1985-től 2010-ig. (vi) Az intézet TDK szervezetének oktató vezetője (1974–1995), 50 diákkörös hallgató témavezetője, (vii) 67 szakdolgozatot készítő hallgató konzulense, munkájuk irányítója, (viii) SZTE Gyógyszerésztudományi Karon a Szakképzési és Továbbképzési tagozat megszervezése és vezetése (2000–2007), (ix) A gyógyszer technológia szakirány mentora (2000–2008), (x) A rezidensképzésben és a szakgyakorlati programban előadások tartása és konzulensi feladatok ellátása, (xi) szakvizsgabizottság elnöke 2004-től. (xii) A régió szinten tartó továbbképzéseinek szervezése („*Hét csillagos gyógyszerész*”), előadások tartása az MGYT *Klasszikus gyógyszerészeti ismeretek újabb eredményei* továbbképző programjában, a Phoenix Zrt. továbbképzéseiben, a MOSZ továbbképzéseiben és a Richter Gedeon Vegyészeti Gyár Rt. továbbképző programjában, (xiii) A Gyógyszer-technológia c. PhD-program létrehozása, akkreditáltatása és a program vezetése, ill. a Gyógyszers tudományok c. program és a Kari Doktori Iskola létrejötte után a Gyógyszer-technológia program vezetése (2010-ig), (xiv) a SZTE Gyógyszerésztudományi Kar Doktori Iskolájának alapító tagja (2000). Irányítása alatt 14 PhD-hallgató szerzett fokozatot 1994–2014 között.

**Kiemelkedő teljesítményt nyújtó tanítványai:** Hunyadvári Éva (Kari TDK Konf., 1. helyezés, egyetemi doktori cím, kandidátusi fokozat), Bán István (Kari TDK Konf. 2. helyezés, egyetemi doktori cím), ifj. Regdon Géza (Kari TDK Konf. 1. helyezés, egyetemi doktori cím), Bihari Piroska (Apáthy I. emlékérem), Theisz Gyöngyi (Kari TDK Konf. 1. helyezés, Apáthy I. emlékérem, egyetemi doktori cím), Zöld Valéria (Apáthy I. emlékérem, egyetemi doktori cím), Csóka Ildikó (Kari TDK Konf. 1. helyezés, Apáthy I. emlékérem, Pro Scientia kitüntetés, egyetemi doktori cím, PhD-fokozat), Illyés Ferenc (Kari TDK Konf. 3. helyezés), Czirok Katalin (Kari TDK Konf. 3. helyezés), Papy Zsuzsanna (egyetemi TDK Konf. 2. helyezés), Mednyánszki Ágnes, (Kari TDK Konf. 2. helyezés, egyetemi doktori cím), Mórocz Magdolna (Kari TDK Konf. 2. helyezés, egyetemi doktori cím), Aponyi Ildikó (Kari TDK Konf. 2. helyezés, egyetemi doktori cím), Disztl Rita (Kari TDK Konf. 2. helyezés, egyetemi doktori cím), Sánta Zsuzsanna (Kari TDK Konf. 2. vegyészkonf. 1. helyezés, egyetemi doktori cím), Oláh Péter (Kari TDK Konf. 1. helyezés, Orsz. TDK Konf. 2. helyezés), Pinkavölgyi Csilla (Kari TDK Konf. 2. helyezés),

*Orosz Krisztina* (Kari TDK Konf. 1. helyezés, kitüntetéses diploma, Apáthy I. díj, Köztársasági gyűrű várományosa), *Kónya Magdolna* (Kari TDK Konf. 1. helyezés, PhD-fokozat).

**Kutatási területe, ill. témái:** új gyógyszerformák tervezése, a gyógyszerformák szerkezetének, stabilitásának és gyógyszerleadásnak kutatása: Ezen belül: (i) vízdékony polimerek, főként biopolimerek gélképzésének vizsgálata, (ii) polimerekből gyógyszer tartalmú mikro- és nanorészecskék előállítás, (iii) makro-, mikro-, összetett és gélemulziók kutatása, (iv) nioszómák és egyéb tenzid asszociátumok előállítás, stabilizálása és a hatóanyagleadás vizsgálata, (v) bőrgyógyászati gyógyszerformák terápiás hatásának optimalizálása, (vi) rossz vízdékonyságú hatóanyagok szolubilizálása és mikrokapszulázása.

**Publikációs tevékenysége:** 7 könyv, 5 könyvfejezet, 259 eredeti dolgozat idegen nyelven, ún. impakt faktoros folyóiratokban, 268 dolgozat magyar nyelvű szaklapokban, 235 teljes szövegű előadás-kivonat, 257 előadás országos és nemzetközi tudományos rendezvényen (ebből 24 plenáris előadás, felkérésre), 3 egyetemi jegyzet magyar nyelven, 2 egyetemi jegyzet angol nyelven, 57 ipari kutatási-fejlesztési tervtéma, 2 szabadalom, 1 ún. medical device.

**Elismerései, kitüntetései:** Rektori dicséretetek tudományos diákköri téma-vezetésért, Kiváló Gyógyszerész (népjóléti miniszter, 1990), Szeged Városért aranyérem – a kar 40 éves fennállása alkalmából (városi képviselőtestület, polgármester, 1997), Mestertanár (oktatási miniszter, 1999), Gyógyszerésztért-életműdíj (Magán-gyógyszerészek Országos Szövetsége, 2000), Magyar Köztársasági Érdemrend Tiszti Keresztje (2002), Szebellédy László-émlékérem (2004, MGYT), Szegedi Akadémiai Bizottság emlékérmé (2004), Hintz György-émlékérem (2006, MGYT Gyógyszertechnológiai Szakosztály), Batthyány-Strattmann László Díj (2007, egészségügyi miniszter), A Szegedi Gyógyszerészképzés Fejlesztéséért Alapítvány életmű díja, (Alapítvány Kuratóriuma, 2008), Kazay Endre-émlékérem, (2009, MGYT), Tantus Amor Operis Pharmaciae (2010, Magyar Gyógyszerészi Kamara), Nikolits Károly-émlékérem (MGYT, 2011).

**Szakmai közéleti megbízások, tisztségek:** A Magyar Gyógyszerész Kamara alapító tagja, a Kamara elnökségi tagja 1998–2002 között, a Kamara Országos Felügyelő Bizottságának elnöke, 2011-től, Magyar Gyógyszerészeti Társaság tagja, a Gyógyszertechnológiai Szakosztály mb. elnöke (2004), a Magyar Gyógyszerésztudományi Társaság tudományos és továbbképzési alelnöke (2004–2006), Magyar Gyógyszerésztudományi Társaság elnöke (2006–2008), A Magyar Gyógyszerésztudományi Társaság tiszteletbeli elnöke 2008-tól.

## Az Intézet ötödik igazgatója, Révész Piroska

*Révész Piroska* Rétközberencsen született 1951. augusztus 19-én. Egyetemi tanulmányait a Szegedi Orvostudományi Egyetem Gyógyszerésztudományi Karán végezte 1970–1975 között. Egyetemi doktori fokozatot és szakgyógyszerészi minősítést 1979-ben, szerzett. Kandidátusi fokozatot 1992-ben, a tudomány doktora (MTA doktora) fokozatot 2008-ban nyerte el. 1996 óta habilitált doktor. 2004. szeptember 1-jével egyetemi tanár, 2005. július 1. óta vezeti a Gyógyszertechnológiai Intézetet.



16. ábra. Révész Piroska

A tanszék élén kiemelkedő pályázati tevékenységet folytat. *Nyertes pályázatai:* OTKA pályázat Kristályos gyógyszeranyagok amorfizálásának tanulmányozása (2004–2005), Magyar–szlovén Tét pályázat: Gyógyszeranyagok fizikai kémiai sajátságainak módosításával a feldolgozhatóság és a kívánt biológiai hatás elérése céljából (2007–2008), Magyar–német DAAD-projekt: Gyógyszeranyagok tervezése kristályosítási technológiák alkalmazásával, 2011–2012), TÁMOP-pályázatok.

Tanszékvezetőként átdolgozta az elméleti előadások tematikáját, az utolsó szemeszterben bevezette az *alkalmazott biofarmácia* oktatását.

*Oktatási tevékenysége, felsőoktatási megbízásai, tisztségei:* Gyógyszertechnológia előadások, szemináriumok és gyakorlatok tartása III. és IV. évf. gyógyszerészhallgatók részére magyar és angol nyelven, záróvizsga bizottság tagja 2000-től, TDK-s hallgatók (13 fő) és szakdolgozati (23 fő) témák



vezetése, Gyógyszertechnológiai Intézet tanulmányi felelőse (1996–2003), szakképzésben előadások tartása és konzulensi feladatok ellátása, szakvizsgabizottság tagja 2004-től, Részvétel gyógyszerész-továbbképzésben (SZTE Gyógyszerésztudományi Kar, Phoenix Pharma Rt., MGYT, UNIDO-MEDITOP, EGIS Rt., Richter Rt.), SZTE Gyógyszerésztudományi Kar Doktori Iskolájának alapító tagja (2000), Gyógyszerésztudományi Kar jegyzője 2000–2003, Gyógyszerésztudományi Kar oktatási dékánhelyettese 2003. július 1-től.

***Kiemelkedő teljesítményt elért tanítványai:***

- *Kiss Ildikó* (1978): TDK Konferencia, Szeged, Biogal Gyógyszergyár különdíj (Eudragit filmbevonatú drazsék előállítására és vizsgálata).
- *Schirm Ágota* (1988): TDK Konferencia, Szeged, 1. helyezés (Implantációs készítmények előállítására és vizsgálata)
- *Bognár Judit* (1994): 1. helyezést ért el a Rozsnyai Mátyás Emlékversenyen, (Ludipress alkalmazása a tablettagyártásban).
- *Göcző Hajnalka* (1999): 2. díjat nyert a Szegedi Akadémiai Bizottsághoz benyújtott pályamunkájával (Magnézium-aszparaginát rágótabletták fejlesztése).
- *Pallagi Edina* (2000): elnyerte a németországi Sachsen-Anhalt Tartományi Kulturális Minisztérium 3 hónapos ösztöndíját. Kiváló tanulmányi és TDK munkájáért elnyerte Szeged város ösztöndíját. 2001-ben a TDK konferencián (Szeged) 1., az OTDK Konferencián (Pécs) 2. helyezést ért el (Vas-tartalmú beágyazatok előállítása olvadékból történő konfekcionálással).
- *Laczkovich Orsolya* (2002): 1. díjat nyert a Szegedi Akadémiai Bizottsághoz benyújtott pályamunkájával (Vas(II)-szulfát hőstabilitásának vizsgálata).
- *Szepes Anikó* (2002): elnyerte a németországi Sachsen-Anhalt Tartományi Kulturális Minisztérium 3 hónapos ösztöndíját. Kiváló tanulmányi és TDK munkájáért elnyerte Szeged város ösztöndíját. 2003-ben a TDK konferencián (Szeged) 1., az OTDK Konferencián (Debrecen) szintén 1. helyezést ért el (Mikrohullám alkalmazása a keményítő minőségjavításában). Kiváló tanulmányi és kutatómunkáért DISCIPULI PRO UNIVERSITATE díjat kapott az SZTE rektorától (2003). PRO SCIENTIA aranyérmét nyert kiváló TDK munkáért (2003), – adományozta az OTDK Tanács elnöke, az MTA elnöke és az Oktatási Miniszter.
- *Szűts Angéla* (2005): 3. helyezést ért el a TDK Konferencián (Szeged), (Kristályos ibuprofen amorfizálása gyógyszerformulálási céllal).

*Kutatómunkájának* kezdetén szilárd gyógyszerformákkal foglalkozott, Selmeczi Béla kutatócsoportjának tagjaként. Kristályos anyagok szerkezetét, az amorfizálás módszereit, lehetőségeit és következményeit kutatta.

Kutatócsoportot szervezett mikro és nanopartikuláris rendszerek, valamint pulmonáris és nazális gyógyszerbevitel vizsgálatára, ez az intézet negyedik kutatócsoportja. (A rektális gyógyszerformák kutatása az előző tanszékvezető működése alatt megszűnt.)

**Publikációs tevékenységének mutatói:** 128 közlemény, ebből 94 nemzetközi folyóiratban jelent meg, 36 előadáskivonat, 134 előadás országos és nemzetközi tud. rendezvényeken, 1 szabadalom társhelfalálója, 22 ipari kutatási-fejlesztési témában részvétel, 1 könyv szerkesztése, 2 könyvfejezet, 3 egyetemi jegyzet.

**Kutatói ösztöndíjai, tanulmányúttjai:** Martin Luther Egyetem, Halle, Wittenberg, Gyógyszerészeti Kar, Gyógyszertechnológiai és Biofarmáciai Tanszék, 1980–1995, 1–2 hetes tanulmányutak, DAAD-MÖB kutatói ösztöndíj, 2 hónap (1999), Martin Luther Egyetem, Halle, Wittenberg, Mérnöki Kar, Eljárástechnikai Tanszék, Németország.

**Elismerések, kitüntetések:** Rektori dicséret (1981, 1983, 1985, 1986), Miniszteri dicséret (1985), SZOTE Kiváló Oktatója (1994), Rektori dicséret oktató és oktatásszervező munkáért (2002), Elismerő oklevelek TDK témavezetésért (1978, 1988, 1999, 2001, 2002, 2003), Elismerő oklevél „Pro Scientia” aranyérmel nyert hallgató témavezetéséért (2003).

## Irodalom:

- Péter H. Mária: Az Erdélyi gyógyszerészet magyar vonatkozásai. Kolozsvár, 2013
- A Szegedi Gyógyszerészképzés és a Gyógyszerésztudományi Kar (szerk.: Prof. Novák I.) Studia Medica Szegediensis sorozat, Szeged, 1976
- A Szegedi gyógyszerészképzés és a Gyógyszerésztudományi Kar története. (Szerk. Erős István), Szeged, 2007
- 90 éves a Szegedi Gyógyszerészképzés (szerk. Erős István), Szeged, 2011.
- Szegedi Egyetemi Almanach (1921–1996) II. kötet (Szerk. Papp K. és Marton J.) Szeged, 1997
- Szegedi Orvostudományi Egyetem Évkönyveiben, a Szent-Györgyi Orvostudományi Egyetem Évkönyveiben, a Szegedi Tudományegyetem Évkönyveiben a Gyógyszer-technológiai Intézet adatai
- Minker Emil: Gyógyszerészet, 46, 229–230 (2002)

- Minker Emil: Ez a Bókay, úgy látszik intelligens ember? Gyógyszerésztudományi. Kar kiadványa, Szeged, 2004.
- Minker Emil: Gyógyszerészet 46, 536–538 (2002)
- Dávid Ádám Zoltán: Dávid Lajos élete és munkássága. Pályamunka a Szegedi Tudományegyetem Orvostudományi és Gyógyszerésztudományi Karai Öregdiák Szövetségének pályázatára (Öregdiák Szövetség Emlékkönyve, Szeged, 2006, 75–100.
- Novák István: Dávid Lajos. Gyógyszerészet, 7, 390 (1962)
- Emlékezés Dr. Dávid Lajos születésének 100. évfordulója alkalmából. Gyógyszerészet, 34, 227–232 (1990)
- Péter H. Mária. Megemlékezés dr. Dávid Lajos gyógyszerészről, Kézdivásárhely neves szülöttéről. EME Orvostudományi Szakosztályának tudományos ülése, Kézdivásárhely, 1992.
- Zallár Andor: Gyógyszerészet, 40, 797–798 (1996)
- Erős István: Oktatás és kutatás Dávid Lajos Intézetében. 9. Szent-Györgyi Napok, 2002. nov. 7.
- Erős I.: Gyógyszerészet, 47, 75–78 (2003)
- Az egyén és a társadalom szolgálata. *Brandtner Antal* és *Hankó Zoltán* interjúja Kedvessy György professzorral. Gyógyszerészet, 36, 285–295 (1992)
- Erős I.: Kedvessy György élete és munkássága (in: Szent-Györgyi Albert Orvos- és Gyógyszerésztudományi Centrum Öregdiák Szövetségének 10 éve. Szerk. Erős István, Szeged, 2006.)
- Kata Mihály: Kedvessy. JATE Press, Szeged, 2013

## Környezettudomány

A 2000-ben létrehozott Környezettudományi Intézet a Kar legfiatalabb tan-székcsoporthoz tartozó szervezeti egysége. Az intézet jelenlegi működése több szempontból is sajátosnak tekinthető a karon belül. Egyrészt még nincs önálló személyi állománya, másrészt tevékenysége részben túl is nyúlik a kar működési területén, hiszen alapvető feladata a Szegedi Tudományegyetemen folyó környezettudományi képzés összefogása, szervezése.

A környezettudomány viszonylag fiatal tudományterület. Egyetemünkön 1968-ig nyúlnak vissza oktatásának csírái (a földrajz-földtan és a biológia szakterületen elindult speciális kollégiumokkal), amit az 1980-as évektől jelentős gyakorlati kutatásokra alapozva már szervezett környezettudományi és környezetvédelmi képzés követett. Ezeket a kutatásokat és oktatási elképzeléseket Burger Kálmán fogta össze, akinek a vezetésével megalakult a Környezet- és Természettudományi Kutatási és Oktatási Regionális Centrum (KÖTKORC) az akkori József Attila Tudományegyetem, a Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem és a Juhász Gyula Tanárképző Főiskola 12 intézetének közreműködésével. A centrumhoz később társult a Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar és Szegeden működő kutatóintézetek (MTA Szegedi Biológiai Központ, Gabonatermesztési Kutatóintézet, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Biotechnológiai Intézete). A szervezett oktatás első fázisában a környezetvédelmi posztgraduális képzés (4 féléves, második diplomát adó) indult el. Ezen képzési formát a Magyar Akkreditációs Bizottság akkreditálta, és a szakon összesen több mint 700 hallgató szerzett oklevelet. Ezzel mintegy párhuzamosan a Juhász Gyula Tanárképző Főiskolán kidolgozott környezetvédelem szakos tanárképzés alaptanterve is országos engedélyezésre került és 1992-től megkezdődött a környezetvédelem főiskolai szintű oktatása.

### *Burger Kálmán (1929–2000)*

*Aszódon született és ugyanabba a gimnáziumba járt, ahová Petőfi Sándor is. Apjának patikája volt, így a családi példát követve érettségi után tanulmányait a budapesti orvosegyetem gyógyszerészeti karán folytatta. 1954-ben szerezte meg a gyógyszerész oklevelet. Hallgatóként elsősorban a kémia iránt érdeklődött, és egyetemi oktatói és kutatói pályáját az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Schulek Elemér vezette Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén kezdte. Diszertációit analitikai témákból készítette, és 1968-ban kapott egyetemi tanári*

kinevezést. Ekkor már Szabó Zoltán vezette a tanszéket, aki nem sokkal korábban foglalta el ezt a pozíciót, felcserélve a szegedi testvértanszék vezetői posztját, ahol viszont Burger Kálmán lett 1983-ban tanszékvezető. Ezt 1996-ig töltötte be, miközben 1987–1990 között a József Attila Tudományegyetem tudományos rektorhelyettesi teendőit is ellátta. Már 1983-ban elindította a tanszéken a biokoordinációs kémiai kutatásokat. 1991-ben Burger Kálmán tanszékének kezdeményezésére a szegedi felsőoktatási intézmények (Tudományegyetem, Orvosegyetem, Tanárképző Főiskola, Élelmiszeripari Főiskola) 12 tanszékének részvételével megalakult a Környezet- és Természetvédelmi Kutatási Oktatási Regionális Centrum (KÖTKORC). 1992-ben megindult a 4 szemeszteres, önköltséges posztgraduális környezetvédő képzés. Burger Kálmán volt a centrum elnöke, titkára Galbács Zoltán, együtt koordinálták az évente induló kurzusokat.



1. ábra. Burger Kálmán (1929–2000)

Mind oktatói, mind kutatói és közéleti tevékenységében sokat tett a kémiai tudományok fejlődéséért és a gyakorlatba való átültetéséért. Fő oktatási területei: analitikai kémia, szerves kémia és koordinációs kémia. „**A mennyiségi analízis alapjai: kémiai és műszeres elemzés**” című tankönyve több kiadást is megért. Céltudatos tevékenysége eredményeként alakult meg a Környezettudományi Doktori Iskola, amelynek ő volt az első vezetője. Számos tudományos tisztséget betöltött az egyetemen és a Magyar Tudományos Akadémia testületében. A Magyar Tudományos Akadémia 1990-ben választotta levelező tagnak, 1993-tól volt rendes tag.

*Ismert volt, hogy nagyon szeret kirándulni, gyalogolni. Egy interjúban arra a kérdésre, hogy mi volt a legnagyobb nyilvános sikere egy Japánban (ahol a női emancipáció még nem tart ott, mint nálunk) történt esetet mesélt el. Előadása előtt a japán kolléga a bemutatás végén ezt mondta: „És ami legérdekesebb, Burger professzor minden hétvégén sétál a feleségével két, két és fél óra hosszat. És beszélgetnek.” Erre úgy megtapsolták, mint se azelőtt, se azóta soha. (Sulyok Erzsébet: Aranymosás, Beszélgetések szegedi akadémikusokkal, Délmagyarország Könyv-, Lapkiadó és Nyomdaipari Kft., Szeged, 1995)*

Az egyetemi szintű környezettanár nappali képzés a József Attila Tudományegyetemen 1996-ban kezdődött el. Két évre rá nappali és levelező szakon beindult a környezettudományi képzés. Az érdeklődés az évek során folyamatosan nőtt, így a kezdeti 35 fős felvételi keretszám folyamatosan emelkedett, és az utolsó öt éves képzésben részt vevő évfolyam létszáma már meghaladta a hetvenet.

A megnőtt hallgatói létszám a sok szakterületet összefogó képzésben szükségessé tette az oktatás koordinációját. Ennek érdekében hozta létre 2000 novemberében a Természettudományi Kar a Környezettudományi Intézetet, melynek tevékenysége kezdetben csak a karra korlátozódott, de az oktatási szerkezet átszervezése (kétszintű képzés bevezetése), illetve a bővülő oktatási profil az intézet tevékenységét karok közötti szintre emelte.

A kétszintű képzésre való átállás (2006/2007) során a környezettan alapszak (szakfelelőse Kiricsi Imre) továbbra is népszerű maradt, a felvett hallgatói létszám rendszeresen 80–100 fő körül alakult. A 2007/2008-as tanévtől elindult a (7 féléves) környezetmérnök képzés is (szakfelelőse Dombi András), a szakterületen az első évben ötven, majd a következőben már közel száz fős létszámmal.

### *Kiricsi Imre (1948–2010)*

*Ifjúkorát Szombathelyen töltötte. 1966-ban nyert felvételt a József Attila Tudományegyetem vegyész szakára. Már diákévei alatt aktív tudományos tevékenységet folytatott, munkáját 1971-ben az Országos Tudományos Diákköri Konferencián kiemelt első díjjal jutalmazták. 1972-ben az Alkalmazott Kémiai Tanszéken kezdte egyetemi pályafutását, ahol élete végéig dolgozott. A zeolit-kémia izgalmas kérdéseit vizsgálta Fejes Pál professzorral. Eljárást dolgoztak ki a zeolitok savas centrumainak módosítására, az alumínium eltávolítására. Ezekből az eredményekből írt kandidátusi értekezését 1982-ben védte meg.*

*1986-tól a Humboldt Alapítvány ösztöndíjasaként 15 hónapot a Hamburgi Egyetemen töltött. A karbéniumionok spektroszkópiás tanulmányozásában elért eredményei alapján kapta meg a tudomány doktora fokozatot 1992-ben. Ezután két évig Milánóban az **Eniricerche SpA** tanácsadójaként dolgozott. Itt a petrolkémiai iparban alkalmazott savas, zeolitbázisú, ill. más, rendezett pórusos vagy réteges szerkezetű szervesetlen anyagok szintézisével, módosításával és katalitikus alkalmazásaival foglalkozott.*



2. ábra. Kiricsi Imre (1948–2010)

*1995-től érdeklődése a nanoszerkezetű anyagokra irányult. Értékes eredményeket ért el az egyfalú szén nanocsövek szintézisének területén, amelyből kiindulva a szervesetlen nanocsövek, nanostrukturák világa felé fordult a figyelme.*

*2000 októberétől egy évet töltött **Somorjai Gábor** professzor laboratóriumában (**University of California, Berkeley**). Együtt tervezték meg a nagyszelektivitású fémkatalizátorok szintézisének egy teljesen új módszerét: a fémrészecskéket nm-es méretben előre elkészítve építik be a mezopórusos szilikátokba.*

*Kiricsi Imre a tudományos közéletben is aktívan vett részt. A Magyar Tudományos Akadémia Katalízis Munkabizottságának elnöki tisztét két cikluson keresztül (1999–2005) töltötte be, haláláig elnöke volt az Akadémia Környezeti Kémiai Bizottságának, kezdeményezője volt a Magyar Zeolit Társaság megalapításának (1992), ennek első titkára volt (1992–98), majd elnöke lett.*

*1993-ban nevezték ki egyetemi tanárrá, 1996-ban választották meg az Alkalmazott (és Környezeti) Kémiai Tanszék vezetőjének, amit 4 ciklusban töltött be. Munkatársait kemény munkára készítette, segítette őket a tudományos és*

oktatói előmenetelben, amit két sikeresen megvédett és egy benyújtott MTA doktori értekezés is bizonyít. Vezetésével a tanszék sikeres pályázati tevékenységet folytatott, jelentős ipari kapcsolatokat épített ki.

Három ciklusban volt vezetője a Kémiai Tanszékcsoporthoz, majd a Környezettudományi Intézetnek (2004–09). A doktori képzésben a kezdetektől (1993) fogva részt vett, oktatóként, témavezetőként és 2000-tól a Környezettudományi Doktori Iskola vezetőjeként. 2007-től a Szegedi Tudományegyetem kutatásfejlesztési és innovációs rektorhelyettesi tisztségét is betöltötte.

Mindezek mellett tanított is, főképp kollégiumként **Kémiai technológiát** és **Környezetvédelmi technológiát** tartott, speciális kollégiumként **Nanotechnológia, Zeolitikémia, Petrolkémia** és **Heterogén katalízis** című kurzusokat oktatott. Hat egyetemi jegyzet társszerzője.

Munkáját számos elismeréssel, kitüntetéssel méltányolták: 1997-ben Széchenyi professzori ösztöndíjat, 2003-ban Mestertanári kitüntetést, 2006-ban a Magyar Köztársasági Arany Érdemkeresztjét, 2010-ben pedig Szent-Györgyi Albert-díjat vehetett át.

Kiricsi Imre őszinte, tréfálkozó, jókedvű ember volt, tele életkedvvel, sportszeretettel. Büszke volt a röplabdában elért ifjúkori sikereire, az egyetemi asztalitenisz bajnokságában nyert három első helyezése, a focipályán lött góljaira, az úszóteljesítményére, és az utolsó években az unokáira. Hirtelen távozása megdöbbentő.

(Forrás: Halász János, Kónya Zoltán, *Magyar Kémikusok Lapja*, 305, 65 (2010).

A Szegedi Tudományegyetem az elsők között sikeresen akkreditáltatta a környezettudományi mesterszakot, így az alapképzéshez kapcsolódva a 2009/2010-es tanévtől el is indult (szakfelelőse Rakonczai János). A környezetmérnök mesterszak akkreditációja is megtörtént 2012-ben, így teljessé vált ezen terület oktatási spektruma is.

A Környezettudományi Intézet tevékenységét az Intézet Tanácsa irányítja. A Tanács a Természettudományi és Informatikai Kar négy, a képzésben szorosabban érintett tanszékcsoporthoz (Biológus, Fizikus, Földrajz-Földtani és Kémiai), valamint három, a képzésekbe bekapcsolódó további egyetemi kar (Általános Orvostudományi Kar, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar és Mérnöki Kar) képviselőiből áll. Az intézet gyakorlati munkáját az intézet igazgatója irányítja, akit a képzésben legnagyobb súllyal résztvevő három tanszékcsoporthoz (Biológus, Földrajz-Földtani és Kémiai) képviselői közül választanak egy ciklusra, rotációs elvet követve. Az intézet alapító vezetője Gallé László (Biológus Tanszékcsoporthoz) volt, akit



a rotációs elvnek megfelelően Kiricsi Imre (Kémiai Tanszékcsoporthoz), majd Rakonczai János (Földrajz-Földtani Tanszékcsoporthoz) követett. A jelenlegi vezető, már második ciklusban Rákhely Gábor (Biológus Tanszékcsoporthoz). Az intézetnek önálló oktatói gárdája nincs, a képzések személyi állományát a Természettudományi és Informatikai Kar és a társkarok biztosítják felkérésre.

A környezettudományi képzés szerves része a doktori képzés. A 2001-ben történt átszervezések során megalakult a Szegedi Tudományegyetemen is a *Környezettudományi Doktori Iskola*, melynek vezetője Kiricsi Imre egyetemi tanár lett. Utóda, korábbi helyettese, Dombi András egyetemi tanár volt, jelenleg pedig Kónya Zoltán egyetemi tanár tölti be ezt a funkciót.

Az elmúlt évtizedben a környezetvédelmi képzés szinte teljes vertikuma kiépült a Szegedi Tudományegyetemen. Az ezen időszak során megszerzett tapasztalataink, illetve a Környezettudományi Intézetet alkotó magasan képzett kutató- és oktatógárda kiváló biztosítékul szolgál a változatos képzési formáinkat választó hallgatóink színvonalas képzésére.

### *Környezettudományi Diákkör*

Az Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferenciát (OFKD) 1988-ban alapították, és két évente rendezik meg azokban az években, amikor nincs OTDK (Országos Tudományos Diákköri Konferencia). A környezettan, környezetmérnök hallgatóink számára kitűnő lehetőséget nyújt kutatómunka végzésére. Rajtuk kívül természetesen a kar más szakos hallgatói is indulhatnak környezettudományi jellegű témákkal. Az országos konferencia előtt helyi konferencián történik a kiválasztás, de az OFKD abban különbözik az OTDK-tól, hogy nemcsak a helyi konferencián túljutva, hanem megvédett szakdolgozattal/diplomamunkával is lehet indulni.

Hallgatóink szép számmal és sikeresen szerepelnek az országos konferenciákon. Példaként három, az Egerben (2006), Nyíregyházán (2008) és Sopronban (2010) rendezett konferenciát nézve a következő adatokat találjuk: 23 hallgató, 8 díj; 37 hallgató, 19 díj és 28 hallgató, 18 díj. Hasonlóak voltak az eredmények a Veszprémben (2012) és Pécsen (2014) rendezett konferencián is. Eredményeink elismerése, hogy 2016-ban Szeged adja a helyszínt intézetünk szervezésében.

A következőkben a Környezettudományi Intézet szerteágazó kutatási irányairól és eredményeiről adunk áttekintést.

## Környezetmérnöki kutatások a Szegedi Tudományegyetem Környezettudományi Intézetében

*Programvezető: dr. Hodúr Cecília egyetemi tanár*

Az intézet munkatársainak kutatás-fejlesztési és innovációs tevékenysége, részben önálló témák gondozásában teljesül ki, részben pedig a Szegedi Tudományegyetem kiemelt kutatási területeihez kapcsolódó és más hazai, illetve nemzetközi intézetekkel folytatott együttműködés keretében valósul meg.

Alkalmazkodva a felfedező és alkalmazott kutatási trendekhez, az intézetünk létrehozta a **Hulladékhasznosítás és Megújuló Energiák Kutatócsoportját** (HUMEK) dr. Hodúr Cecília egyetemi tanár vezetésével.

Ezen keretek között számos pályázat eredményeként olyan infrastruktúrát, laboratóriumi háttérrel alakítottunk ki, amely alkalmas a hulladékhasznosítás és a megújuló energiák témakörök széles területén végzett kutatás-fejlesztési, innovációs feladatok magas színvonalú megoldására.

A HUMEK egyik fontos kutatási területe az élelmiszer-ipari hulladékokból történő bioaktív vegyületek kinyerését célzó eljárások fejlesztése, valamint a mezőgazdasági és élelmiszer-ipari hulladékok bioenergetikai hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata. Kutatásaink során hazai és nemzetközi együttműködés keretében számos kutatóintézettel vagyunk kapcsolatban és végzünk eredményes fejlesztéseket.

Nemzetközi együttműködés keretében az MTT Agrifood Research Finland intézettel közösen új módszert fejlesztettünk ki az antioxidáns vegyületek kinyerésére növényi eredetű melléktermékekből mikrohullámmal intenzifikált extrakciós (MAE) eljárással.

Kutatócsoportunk a Veszprémi Egyetem Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutatóintézetével együttműködve vizsgálta a hagyományos és a MAE módszerrel történő pektin-extrakció alkalmazhatóságát bogyós-gyümölcsök préselési maradványai esetében. A mikrohullámú kutatásaink kiterjednek az élelmiszeriparban és a biohajtóanyag előállításban alkalmazható enzimes folyamatok intenzitásának növelésére.

Kutatásaink egyik legfontosabb, a gyakorlatban jól hasznosítható eredménye az élelmiszer-ipari szennyvíziszapok biológiai lebonthatóságának fokozására és a biogáz produktum növelésére alkalmas mikrohullámú kondicionálási módszer kidolgozása. A mikrohullámmal kapcsolatos kutatások a karon dr. Keszthelyi-Szabó Gábor egyetemi tanár tudományos tevékenységéhez kötődnek. Legújabb eredményeink alapján a folytonos kezelést lehetővé tevő mikrohullámú kezelő- és mérőrendszer fejlesztését végezzük.

A HUMEK másik fontos kutatási területe a membrános eljárások vizsgálata. A nyomáskülönbségen alapuló membránszeparációs eljárások (mikroszűrés–MF; ultraszűrés–UF; nanoszűrés–NF és fordított ozmózis–RO) alkalmazása napjainkban laboratóriumi és ipari körülmények között is egyre szélesebb körben terjed. Kutatásaink során vizsgáljuk a különböző membrános eljárások környezetvédelmi alkalmazását a víz- és szennyvíztisztításban. Kutatásaink másik fókuszpontja a különböző ipari (pl. élelmiszer-ipari) szennyvizek UF, NF és RO eljárásokkal történő tisztíthatóságának vizsgálata.

A termo-plasztikus anyagok hőkárosodásból eredő minőségi romlása elkerülhető NF és RO eljárások alkalmazásával. Élelmiszer-ipari hulladékokból (pl. préslepenyek) kinyert anyagok és melléktermékek (pl. savó) értékes, hőérzékeny komponenseit a folyékony halmazállapotból NF és RO eljárásokkal sűrítjük. Ez irányú fejlesztéseinket hazai élelmiszer-feldolgozó vállalatokkal együttműködve végezzük.

A kutatócsoport jelentősebb publikációi:

1. Szabolcs Kertész, Ádám Veszprémi, Zsuzsanna László, József Csanádi, Gábor Keszthelyi-Szabó, Cecilia Hodúr: Investigation of module vibration in ultrafiltration, *Desalination And Water Treatment*: pp. 1–7. (2014)
2. Bélafi-Bakó, Katalin; Cserjési, Petra; Beszédes, Sándor; Csanádi, Zsófia; Hodúr, Cecilia.: Berry Pectins Microwave-Assisted Extraction and Rheological Properties. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 1100–1105., 2012
3. Sándor Beszédes, Zsuzsanna László, Zsuzsanna H. Horváth, Gábor Szabó, Cecilia Hodúr: Comparison of the effects of microwave irradiation with different intensities on the biodegradability of sludge from the dairy- and meat-industry. *Bioresource Technology*, 102, 814–820. 2011
4. Sz. Kertész; Zs. László; E. Forgács; G. Szabó; C. Hodúr: Dairy wastewater purification by vibratory shear enhanced process. *Desalination and Water Treatment* 35: pp. 195–201. (2011)
5. Kertész Szabolcs, Landaburu-Aguirre Junkal, García Veronica, Pongrácz Éva, Hodúr Cecilia, Keiski Ritta; A statistical experimental design for the separation of zinc from aqueous solutions containing sodium chloride and n-butanol by Micellar-enhanced ultrafiltration; *Desalination and Water Treatment* 9, 221–228 (2009).

**A Membrán- és Környezettechnikai Kutatócsoportunk (MEKÖKUT) dr. László Zsuzsanna egyetemi docens irányításával, vezetésével végzi munkáját. Egyik fontos kutatási területe a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások és a membrántechnika alkalmazásának kombinált vizsgálata.**

Bár a vízkezelési feladatok megoldásában a membránszűrés nagyon jó hatásokkal használható, széleskörű elterjedésének gátat szab néhány ma még megoldatlan probléma, mint a membránok eltömődése, amely a vízfluxus csökkenéséhez, a működtetési költségek növekedéséhez, végső soron a membrán gyors elhasználódásához, élettartamának csökkenéséhez vezet. A másik probléma a szűrés során visszamaradó, magas szennyezőanyag-tartalmú koncentrátum sorsa, további hasznosításának lehetősége.

Kutatócsoportunk vizsgálja, hogy a nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokon (pl. ózon, hidrogén-peroxid, UV-fény, Fenton-reakció, illetve ezek kombinációi) alapuló előkezelések hogyan befolyásolják a membránszűrések során a membránok eltömődését, illetve azok fluxus és visszatartási értékeinek változását. Ezen eljárásokat eredményesen alkalmaztuk pl. tejipari, illetve húsipari szennyvizek szűrése esetében. Bizonyítottuk azt is, hogy az előkezelések eredményeképpen nő a visszamaradó koncentrátum biológiai bonthatósága, amely lehetővé teszi biológiai tisztítóban való hatékony semlegesítését is.

Kutatásaink egyik iránya a nagy szervesanyag-, elsősorban szénhidrogéntartalmú vizek szűrésének, szűrhetőségének vizsgálata, amelynek eredményei hasznosíthatók lehetnek a mélységi vizek, termálvizek felhasználás előtti előkezelése során is.

Kutatócsoportunk vizsgálja továbbá a membránok eltömődésének csökkentési lehetőségeit is. Fizikai eljárásokat alkalmazunk, ultrahangos kezeléseket és/vagy membrán modul vibrációt, hogy vizsgáljuk, hogy további hozzáadott kémiai anyagok nélkül is hatékony eredményeket tudunk-e elérni. Vibráció nélküli és vibráció melletti membránszűréseket végzünk azonos pórusméretű és anyagú membránokkal azonos paraméterek mellett a fluxusok és membránvisszatartások meghatározása és összehasonlítása céljából. Membránok jellemzése érdekében kontaktszög-méréseket és elektronmikroszkópos felületi és keresztmetszeti képek jellemzését végezzük, mind a kezeletlen alapmembránokra, mind az eltömődött membránokra vonatkozóan, annak érdekében, hogy a membránok felületi tulajdonságait vizsgáljuk. Eredményeinket a membráneltömődés előrejelzésében és modellezésében alkalmazzuk.

A különböző, fentebb említett eljárások membránszeparációs eljárásokkal történő kombinálása, akár előkezelésről, akár utókezelésről van szó, napjainkban ígéretes kutatási téma. A hatékonyság növelése érdekében (mint amilyen a magasabb fluxus, membránvisszatartás, illetve alacsonyabb ellenállási értékek kialakulása) kutatócsoportunk számos eljárást és módszert dolgozott ki. Eredményeinket rangos hazai és nemzetközi tudományos folyóiratokban közzétettük és publikáljuk folyamatosan.

A kutatócsoport jelentősebb publikációi:

1. Zsolt László Kiss; Lajos Kocsis; Gábor Keszthelyi-Szabó; Cecilia Hodúr; Zsuzsanna László: Treatment of oily wastewater by combining ozonation and microfiltration, *Desalination and Water Treatment* pp. 1–8. (2014)
2. Kiss Zsolt László; Szép Angéla; Kertész Szabolcs; Hodúr Cecilia; László Zsuzsanna: Treatment of waste thermal waters by ozonation and nanofiltration, *Water Science and Technology* (ISSN: 0273–1223) 67: (6) pp. 1272–1279. (2013)
3. Zs. László; Sz. Kertész; S. Beszédes; Zs. H Hovorka; G. Szabó; C. Hodúr: Effect of preozonation of the filterability of model dairy waste water in nanofiltration. *Desalination* 240: pp. 170–177. (2009)
4. S. Beszédes; Sz. Kertész; Zs. László; C. Hodúr: Biogas production of ozone and/or microwave pretreated canned maize production sludge. *Ozone-Science & Engineering* 31: pp. 257–261. (2009)
5. Zsuzsanna László; Szabolcs Kertész ; Edit Mlinkovics; Cecilia Hodúr: Dairy waste water treatment by combining ozonation and nanofiltration. *SEPAration Science And Technology* (7) pp. 1627–1637. (2007)

A kutatócsoportok munkájából származó szabadalmi bejelentések:

- P0800157 alapszámú magyar szabadalmi bejelentés: Biogáztermelés és biogáz-lebonthatóság (aerob és anaerob) növelése bogyós gyümölcsök présleányának mikrohullámú kezelésével
- P0800488/5 Bejegyzés alatt álló magyar szabadalmi bejelentés: Eljárás antioxidáns hatású színezékeket tartalmazó pektin kinyerésére hagymányos és mikrohullámmal intenzifikált

## **Környezeti biokémiai és biotechnológiai kutatások a Szegedi Tudományegyetem Környezettudományi Intézetében**

*Programvezető: dr. Rákhely Gábor, egyetemi docens*

A Környezettudományi Intézet biológiai folyamatokkal foglalkozó kutatócsoportjai teremtik meg a kapcsolatot az élő és élettelen tudományok között, az ún. „környezeti biológia” – az élettudományok ipari és környezetvédelmi – kérdéseit célozva meg.

## Alternatív energiahordozók biológiai előállítására

A kimerülő fosszilis energiaforrások miatt megkerülhetetlen megújuló energiahordozók (biohidrogén, biogáz) biotechnológiai úton történő hatékony termelését segítő alap- és alkalmazott kutatások vizsgálják a technológiák biokémiai, mikrobiológia alapjait.

A biohidrogén, melyet a világ nagyhatalmai is a jövő energiahordozójának tartanak (elégetése, az energia visszanyerése során nem képződik más melléktermék, csak víz), bio-előállításának környezeti jelentősége, hogy a teljes üzemanyag előállítási és felhasználási ciklusból a szénkörforgás kihagyható, nincs üvegházhatást okozó melléktermék. A napfény energiájának közvetlen konverziójával is nyerhető fotoszintetikus mikroorganizmusok (algák, cianobaktériumok, bíbor baktériumok) alkalmazásával, illetve alternatív megoldásként, hidrogén fejleszthető biomasszából is, ebben az esetben fermentatív mikrobákat alkalmaznak oxigénmentes körülmények között. Az egyik kutatócsoport tagjai alkalmazott kutatási projektjeiben többféle biomassza (cukor-, illetve fehérjealapú) alapanyagot kipróbálva keresik a leghatékonyabb biokonverziós eljárást a megújuló energiahordozók előállítására.

Fotoszintetizáló mikroorganizmusok redox rendszereinek vizsgálatával foglalkozó kutatócsoport célja a fotoszintetikus baktériumok részletes megismerése és környezetvédelmi biotechnológiai célokra való alkalmazása. E mikroorganizmusok bioenergetikai folyamatainak feltérképezéséhez genetikai, biokémiai, funkcionális genomikai, proteomikai és bioinformatikai megközelítéseket alkalmaznak.

A gáznemű alternatív energiahordozók közül a biogáz technológiája a legfejlettebb. A biogáz biomasszából mikrobiális konzorcium által előállított gáz, mely mintegy 60–70% metánból 30–40%  $\text{CO}_2$ -ből áll. A biogázképződés tehát egy természetes biológiai folyamat, melynek ipari szintű megvalósítása részben megoldott. A jelenleg folyó kutatás-fejlesztési projekteknek a célja, a megfelelő biomassza alapanyag és a leghatékonyabban működő mikrobiális konzorcium megtalálása a legjobb metánkihozatal érdekében.

## Bioremediáció/biofinomítás

A környezetvédelem jegyében zajló kutatások a környezetünkre ártalmas hulladékok biológiai alapú ártalmatlanításával foglalkoznak. A környezetidegen anyagok ipari hasznosításának, illetve lebontásának két módja lehetséges: abiotikus és biotikus. A biotikus módszerek alapját a mikroorganizmusok

jelentik, melyek rendkívüli adaptációs képességüknek következményeként a szennyezett környezetben is megjelennek, s egy speciális mikrokörnyezetet kialakítva képesek a szennyező szerves vegyületeket szén- és/vagy energiaforrásként felhasználni, illetve az ember számára hasznos terméké alakítani. A biotechnológiai eljárásokhoz olyan irányított egyedi törzset vagy sejtkeverékeket terveznek, melyek egyes tagjait külön-külön ismerjük, és külön-külön vagy együttesen alkalmazva hatékony szennyezőanyag-eltávolítást vagy -hasznosítást érhetünk el. Kutató-fejlesztő projektekből szénhidrogének, klórozott-alifás, aromás, szulfonált aromás és heterociklusos vegyületeket tartalmazó szennyezett minták mikrobiális bonthatóságának vizsgálata zajlik.

Biofinomító eljárások molekuláris alapjainak és gyakorlati megvalósításának kidolgozása során vizsgálják fehérje-, illetve cukoralapú polimerek biokonverziós lehetőségeit, melynek jelentősége, hogy a bomlástermékek (aminosavak, peptidok, illetve monoszaharidok, oligoszaharidok) alternatív energiaforrásként előállításához alkalmas szubsztrátok.

A tiszta technológiák fejlesztéséhez elengedhetetlen az enzim katalizálta reakciók vizsgálata, optimalizálása, hatékony, stabil enzimek kutatása. Az ipari szintű mikrobiális konverziók fejlesztéséhez alapvető feladat a megfelelő mikroorganizmusok keresése, melyhez komoly segítséget nyújt a modern molekuláris biológiai, biotechnológiai, bioinformatikai eszköztár. A tiszta technológiák fejlesztéséhez végzett kutatások célja olyan környezetbarát hatóanyagok, enzimek keresése, melyek egészségkárosítás nélkül kényelmesebbé és biztonságosabbá tehetik életünket, és a fenttartható környezet, fejlődés, a jövő szolgálatába állítani ezeket.

## **Fágterápia-patogén baktériumok bioremediációja**

Új kutatási területként bakteriális fertőzések, elsősorban növénypatogének ellen fejlesztenek terápiás eljárásokat bakteriofágok alkalmazásával. A bakteriofágok kizárólag baktériumokat fertőzni képes vírusok. Mint a baktériumok természetes ellenségei sokoldalú felhasználással rendelkeznek. Az egyre terjedő antibiotikum-rezisztenciák fényében a bakteriofágok az antibiotikumok potenciális alternatívái lehetnek a jövőben, de ígéretesek élelmiszer-biztonsági vagy növényvédelmi alkalmazásuk is. A fágterápiában használni kívánt bakteriofágoknak sok követelményt kell teljesíteniük, ezért a már korábban, illetve az újonnan izolált bakteriofágokat jellemezni kell. Az ezzel a témával foglalkozó kutatócsoport meghatározza az adott bakteriofág gazdaspecifitását, továbbá genomikai és proteomikai vizsgálatokat is végez. Együttműködésben, új potenciális terápiás felhasználhatósággal rendelkező bakteriofágok izolálá-

sát és jellemzését végzi, illetve a fágfehérjék, enzibiotikumok antimikrobiális szerként való hasznosíthatóságát vizsgálja.

## **Szabadgyökképződés/Oxidatív stressz/Antioxidáns védekező rendszerek**

A nem-kedvező életkörülmények az élővilág tagjaiban sokszor különféle stresszválaszokat indukálnak. Az egyik tudományos műhely kutatási területe a környezeti stresszorok indukálta szabadgyökképződés, az oxidatív stressz és a stresszválaszban résztvevő védekező mechanizmusok molekuláris hátterének vizsgálata hal és patkány modell rendszereken, valamint humán szövetmintákon.

Valamennyi élő szervezet számára nagy kihívást jelentenek azon kémiai, biokémiai és fizikai faktorok melyek fokozott jelenléte a sejtek integritását, a homeosztázis fenntartását befolyásolhatják. Az evolúció során az aerob élőlényekben például komplex antioxidáns védelmi rendszer alakult ki a szabadgyökök eliminálására, illetve az általuk okozott „károk” mentésére. A reaktív oxigén szabadgyökök (ROS) az aerob anyagcsere melléktermékeként normál fiziológiás körülmények között is folyamatosan termelődnek és esszenciális szerepet játszanak bizonyos sejtfunkciók szabályozásában. Környezeti tényezők, mint például a radioaktív és UV-sugárzás, a nehézfémterhelés, a hirtelen hőmérséklet-változás, illetve egyes patológiás folyamatok fokozott ROS termelődést indukálnak, és ez a sejtek prooxidáns/antioxidáns egyensúlyának felbomlásához, oxidatív stresszhez vezet. Az oxidatív stressz során olyan degeneratív folyamatok indukálódhatnak, mint a DNS-károsodás, a fehérjék oxidációja/denaturációja vagy a lipidek peroxidációja, melyek apoptózishoz, illetve nekrozishoz vezethetnek.

A gyors stresszválasz, a sejtek adaptációja kritikus lépés a sejtek túlélése érdekében. A stresszt követő válaszreakciók során a sejt szintű védekezésben és a molekuláris szintű kármentésben részt vevő enzimek és nem enzimikus fehérjék expressziója jelentősen megnő. Ezek a változások sokszor jellemzőbbek, érzékenyebbek és nem utolsósorban, mérhetőbb paraméterek, mint a toxicitás maga. Ezért a mért változások alkalmas biomarkerek lehetnek a környezetszennyezés jellemzésére.

Munkájuk során pl. a különböző nehézfémek stresszor- és szövetspecifikus hatásmechanizmusát a képződő szabadgyökök meghatározásával, a védekező rendszer elemeinek komplex vizsgálatával és a makromolekulák károsodásának kimutatásával követik halakban, rágszálókban. Vizsgálják az anyai életmód (pl. dohányzás) következményét, az embrionális fejlődésére; választ



keresnek arra, hogy mi a Cd<sup>2+</sup> akkumuláció következménye a placentára, a köldökzsinór ereire, illetve az erek endothel sejtjeinek Zn<sup>2+</sup> háztartására nézve.

### *Válogatott publikációk:*

- Tengolics R., Meszeros L., Gyori E., Doffkay Z., Kovacs K. L. and Rakhely G.: Connection between the membrane electron transport system and Hyn hydrogenase in the purple sulfur bacterium, *Thiocapsa roseopersicina* BBS *Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics* 1837 (10), pp. 1691–1698. (2014)
- Acs N., Kovacs E., Wirth R., Bagi Z., Strang O., Herbel Zs., Rakhely G., Kovacs K. L.: Changes in the Archea microbial community when the biogas fermenters are fed with protein-rich substrates. *Bioresources technology* 131: pp: 121–127. (2013)
- Pekgoz G., Gunduz U., Eroglu I., Yucel M., Kovacs K., Rakhely G.: Effect of inactivation of genes involved in ammonium regulation on the biohydrogen production of *Rhodobacter capsulatus*. *International journal of hydrogen energy* 36: (21) pp. 13536–13546. (2011)
- Kovács, K. L., Maróti, G., Rákhely, G.: A novel approach for biohydrogen production  
*International Journal of Hydrogen Energy*, 31 (11), pp. 1460–1468. (2006)
- Rakhely G., Kovacs A. T., Maroti G., Fodor B. D., Csanadi G., Latinovics D., Kovacs K.L.: Cyanobacterial-type, heteropentameric, NAD(+)-reducing NiFe hydrogenase in the purple sulfur photosynthetic bacterium *Thiocapsa roseopersicina*. *Applied and environmental microbiology* 70: pp. 722–728. (2004)

## **Természetvédelmi ökológiai kutatások a Szegedi Tudományegyetem Környezettudományi Intézetében**

*Programvezető: dr. Pénzes Zsolt, egyetemi docens*

Az Alföld jelentős részének eredeti, természetes növényzete az erdősztyepp. Nagy kiterjedésű szikes, lösz- és homokpuszták váltakoztak ligetes erdőkkel, a folyók mentén kiterjedt ártéri élőhelyek területek el. Erdőtelepítések

hatására jelenleg a Kiskunság közel 20%-át őshonos és idegenhonos fajokból álló erdőültetvények borítják, a 19. századi folyószabályozást követően a folyóvölgyek szerkezete is jelentősen átalakult. A szabályozás után kialakult hullámterek keskenyek, nagyobb folyóinkról a szigetek néhány kivételtől eltekintve hiányzanak. Vizsgálataink célja, hogy feltárjuk, mely tényezők határozzák meg a jelentősen zavart másodlagos élőhelyek és a természetközeli területek ízeltlábú faunájának – elsősorban poloska, egyenesszárnyú, pók, hangya és futóbogár – diverzitását és faji összetételét.

A folyóvölgyek esetén a táj kompozíciós heterogenitása és az élőhelyeket jellemző paraméterek együttesen hatnak az ízeltlábúakra, a hullámtéri és mentett oldali gyepek, erdők faunája az élőhelyek strukturális hasonlósága ellenére jelentősen eltérő. A pókok, poloskák és egyenesszárnyúakon végzett vizsgálatok alapján a legnagyobb hatású táji változó és lépték, az 500 méter sugarú körön belül található elemek kompozíciós heterogenitása. A folyószigetek esetén az élőhely jellemzői erőteljesebben befolyásolják az ízeltlábú-együtteseket, mint a táj szerkezete, feltételezhetően a folyó szintjének változásából adódó rendszeres zavarás következtében; a szigetek természetvédelmi szerepe jelentős, mert antropogén zavarásuk minimális. A folyóvölgyek faunájának megőrzése szempontjából a hullámtéri és mentett oldali élőhelyek diverzitásának fenntartása szükséges. Mozaikos szikes gyepeken, a növényzeten élő ízeltlábúak diverzitását elsősorban a vegetáció fajkompozíciója határozza meg, bár hatása a ragadozók esetén kevésbé jelentős, mint a herbivóroknál. A fragmentáció és izoláció lényeges hatását nem mutattuk ki, a lokális kezelés változása és a vegetáció degradációja veszélyeztetheti a természetvédelmi szempontból igen értékes faunát. Telepített kiskunsági erdők esetén a fajaj és az élőhely struktúrája határozza meg az ízeltlábú-diverzitást. A növényzeti struktúra kialakításában döntő szerepet játszik az inváziós selyemkóró. Míg az erdő korának, a táj erdőszültségének hatását nem mutattuk ki. A tájléptékű vizsgálatok jelentős része a fragmentációt jellemző változók, az élőhelyméret és az izoláció hatásával foglalkozott. Az élőhelymennyiség hipotézis ezt a két változót helyettesíti egyetlen változóval, az élőhely mennyiségével. Eltérő élőhelyek határán, sajátos, külön élőhelyek a szegélyek, találhatóak. A szegélykölcsönhatás hipotézis szerint a táji szegélydenzitás és a legközelebbi szegély távolsága a vizsgált szegély biotájára jelentősen hat. A fenti két hipotézist teszteljük jelenleg a kiskunsági erdőssztyeppen és a Turjánvidéken.

Egy élőhely faunájának változatossága az ökológiai tényezők mellett az azt alkotó fajok populációi történetének is függvénye. A populációk eredetére, elterjedésének térbeli és időbeli változására molekuláris markerek elemzésével következtethetünk. Több, elsősorban természetvédelmi szempontból kiemelt

gerinctelen csoport (több csigafaj, gyalogcincérek, futóbogarak, lepkék, hangyák) populációinak szerkezetét (genetikai diverzitás, populációk közötti különbségek) és leszármazási kapcsolatait vizsgáltuk DNS-szekvenciák és mikroszatellit markerek segítségével. Előfordulhat, hogy a fajok taxonómiai helyzete is bizonytalan, ez különösen igaz a kizárólag erre a régióra jellemző taxonokra. Ennek tisztázására a DNS-szekvenciákon alapuló molekuláris filogenetika egy hatékony eszköz. A fenti csoportokon kívül sikerrel alkalmaztuk különböző hártvászárnyú taxonok leszármazási kapcsolatainak tisztázására is, betekintést nyerve ezáltal gazdakapcsolataik evolúciójába.

### *Néhány reprezentatív publikáció:*

- Torma, A., Gallé, R., Bozsó, M. (2014). Effects of habitat and landscape characteristics on the arthropod assemblages (Araneae, Orthoptera, Heteroptera) of sand grassland remnants in Southern Hungary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 196, 42–50.
- Gallé, R., Maák, I., Szpisjak, N. (2014) The effects of habitat parameters and forest age on the ground dwelling spiders of lowland poplar forests (Hungary). *Journal of Insect Conservation*, DOI 10.1007/s10841-014-9686-9
- Csósz, S., Wagner, H.C., Bozsó M., Seifert, B., Arthofer, W., Schlick-Steiner, B.C., Steiner F.M., Péntes, Zs. (2014) *Tetramorium indocile* Santschi, 1927 stat. rev. is the proposed scientific name for *Tetramorium* sp. C sensu Schlick-Steiner et al. (2006) based on combined molecular and morphological evidence (Hymenoptera: Formicidae). *Zoologischer Anzeiger*, 253, 469–481.

## **A JGYPK környezetközpontú kutatásai a Környezettudományi Intézetben**

*Programvezető: dr. Gálfi Márta, főiskolai tanár*

Az SZTE JGYPK Környezet-biológiai és Környezeti Nevelés Tanszékén működő kutatócsoport elsősorban a környezet mint feltételtevényező által értelmezett biológiai rendszervizsgálatokkal foglalkozik a Boole-logika szerint. Ennek megfelelően a vizsgálandó biológiai rendszer komplexitásokat – bio-makromolekuláristól az egyed és ezek feletti rendszerszintekig – a vonzási tartományok

(környezeti és háttér események) hatásai szerint tanulmányozzuk, elemezzük és értelmezzük. Amikor kísérleteinkkel alátámasztottan olyan hatásokat észlelünk, melyekhez nem tudunk jól definiálható ok-okozati összefüggést rendelni, akkor az adott rendszerszint alap biológiai mechanizmusait, akár az alapkutatói szinteken értelmezett követelményeknek megfelelően tárjuk fel. Ezután a megismert mechanizmusokkal összefüggésben vizsgáljuk a feltételváltozások hatásait, melyeket követve próbálunk a konzekvens homeosztatikus összefüggésekre következtetni. Ilyen módon lehetőségünk nyílik a környezeti potenciál biológiai rendszerekre vonatkoztatható mélyebb összefüggéseinek feltárására.

Másrészt munkacsoportunk olyan adaptációs kutatásokat is folytat, melyekkel a kapott experimentális eredményeink innovációba vonását alapozzuk meg. Ebben az összefüggésben a hazai és közösségi szabványkövetelmények adott kutatási protokollra való kiterjesztése is megvalósítandó céljaink közé került. Monitoring eszközök fejlesztését, adaptálását, valamint környezetbiztonsági szempontból jelentős eljárások kidolgozását és alkalmazását sikerült eddig megoldani.

További feladataink között szerepel, hogy kutatási (experimentálási és adaptálási területekről egyaránt) eredményeinket bevonjuk az oktatásba, annak reguláris és irreguláris megvalósításával. Szisztematikusan felépített munkánk során törekszünk a tacit és explicit tudástartalmak életkori, valamint a felhasználói igényt megfogalmazó sajátságoknak megfelelő módszerek kidolgozására, a vállalt disszeminációs missziónk sikere érdekében.

/Mustafa A., Cseke I., Cseri J., Daragó L., Fábíán G., Gálfi M., Hajnal B., Horváth B., Kovács Z., Papp I., Szabó E. J., Szigeti F., Szilágyi B., Zagyi B. (2006) Minőségi oktatás hatékony vezetéssel európai dimenzióban (Képzési segédanyag I.). Nemzeti Fejlesztési Terv keretén belül Humánerőforrás-fejlesztési Operatív Program támogatásával. [HEFOP/2004/3.3 1-P.-2004-09-0113/1.0]; Mustafa A., Cseke I., Cseri J., Daragó L., Fábíán G., Gálfi M., Hajnal B., Horváth B., Kovács Z., Papp I., Szabó E. J., Szigeti F., Szilágyi B., Zagyi B. (2006) Minőségi oktatás hatékony vezetéssel európai dimenzióban (Képzési segédanyag II.) Munkafüzet; Nemzeti Fejlesztési Terv keretén belül Humánerőforrás-fejlesztési Operatív Program támogatásával. [HEFOP/2004/3.3 1-P.-2004-09-0113/1.0]/

Experimentális munkacsoportunk konkrét formában, az adott rendszer szinten homeosztatikus tulajdonságokat határoz meg (pl. madár és főemlős) egyed szinten: (pszicho-)neuro-endokrino-immunológiai kontextusban. Majd az adott egyensúlyi funkciót jellemző mechanizmusok változásait követjük a feltételek, azaz a lokális és/vagy egyre tágabb környezet egy és/vagy több elemének változásai során. Így kutatási protokolljainkban pl. homeosztatikus szerepű mediátorok (pl. orexin, ghrelin, galanin, monoaminok által aktivált vagy modulált stresszhormonok: VP; ACTH, stb.)

szintézisének és elválasztásának tekintetében történő mechanizmus-módosulásokat vizsgáljuk.

Tanulmányozzuk a vázolt homeosztatikus rendszereltolódásokat a környezet kémiai (pl. halogénezett szénhidrogének: klórbenzolok, uronok, klórpromazin és származékai, prometazin és származékai, stb.), továbbá fizikai (pl. elektromágneses energiaközlések: intermittáló elektromágneses erőterek:  $\mu\text{T}$ - $\text{mT}$  tartományokban) terheléseit modellező experimentális hatásvizsgálatainkban akut és krónikus kezelési protokollokban.

A fizikai energiaterhelések hatásainak vizsgálatait eleinte modellszinten, később terápiás felhasználási, majd alapkutatási eredményeket prezentáló céllal egészítettük ki a GaAlAs lágy lézer hatásainak vizsgálatában. Eredményeink hatására új területeken való alkalmazás – mikrocirkulációs zavarok kezelése, sport, stb. – bevezetése kezdődött el. (Hegedus B., Viharos L., Gervain M., Gálfi M. (2009): The effect of low-level laser in knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Photomedicine and laser surgery* 4: 577–84.)

Szisztematikus kutatásaink során az organizmusok (egyedszint) nagy homogenitási halmazainak viselkedésében követhető, fent leírt kémiai, és/vagy fizikai inger(ek) által kiváltott hatások és a következményes biológiai rendszerválaszok közötti összefüggéseket követjük. Kutatásaink során elsősorban a szubtoxikustól az extrém alacsony dózisz terhelési tartományokban (pl.  $\mu\text{g}/\text{tskg}$ ;  $\mu\text{T}$ ) lezajló feltételváltozásokat modellezzük az akuttól a krónikus hatás-időszakokban történő detektálással. Viselkedésmintázatok (agresszió, társas viselkedés, figyelem stb.), etológiai jellemzők (táplálkozási szokások, versengés a forrásért, agresszió stb.) mellett követjük az immunrendszer sejt- és humorális reakcióit, továbbá a neuroendokrin válaszokat (esszenciális hormon és neurotranszmitter) az adott kezelési sémákban, elsősorban *in vivo* (egyedszintű) és *in vitro* (sejtszintű) modellekben. Kutatásaink során a kísérletbe vont biológiai rendszerek struktúr jellemzőit is követjük (hisztológiai és citológiai vizsgálatokkal) azzal a céllal, hogy koherens összefüggést prezentálhassunk a környezeti terhelések kiváltotta kis- és strukturális zavarainak rendszerállapot megítélésében. Ennek következtében a tumorbiológiai kutatásokhoz kapcsolódtunk, mert a modellezett kémiai és/vagy fizikai energiaterhelések kapcsán kiváltott sejtproliferációs változások követésekor a malignus és benignus folyamatok megismeréséhez (extracelluláris milieuo, expresszált szintetizátumok és excitált anyagok, sejtpusztulás, morfológiai eltérés stb.) járult hozzá. Nemcsak adatokat tudtunk szolgáltatni, hanem a korábban statikus diagnózisok kiegészítésére dinamikus jellegű megoldások bevezetését is kezdeményeztük.

Kutatásaink finanszírozása önálló és kooperációs keretek között (pl. az SZTE Környezettudományi Intézetével együtt a ZENFE projektben) elnyert pályázatok: OM, OTKA, COST, ETT, TŰT, TAMOP, KEOP GOP stb. támogatásával történik.

### *Cikkek:*

- Molnar Z., Palfoldi R., Laszlo A., Radacs M., Laszlo M., Hausinger P., Tiszlavicz L., Razga Z., Valkusz Z., Galfi M., The Effects of Hypokalaemia on the Hormone Exocytosis in Adenohypophysis and Prolactinoma Cell Culture Model Systems. *Experimental and clinical endocrinology & diabetes* (2014)
- Palfoldi R., Radacs M., Csada E., Molnar Z., Pinter S., Tiszlavicz L., Molnar J., Valkusz Z., Somfay A., Galfi M., Pulmonary epithelioid haemangioendothelioma studies in vitro and in vivo: new diagnostic and treatment methods. *In vivo* 27:(2) pp. 221–225. (2013)
- Valkusz Z., Nagyeri G., Radacs M., Ocsko T., Hausinger P., Laszlo M., Laszlo F. A., Juhasz A., Julesz J., Palfoldi R., Galfi M., Further analysis of behavioral and endocrine consequences of chronic exposure of male Wistar rats to subtoxic doses of endocrine disruptor chlorobenzenes. *Physiology and behavior* 103:(5) pp. 421–430. (2011)
- Radacs M., Molnar A. H., Laszlo F. A., Varga C., Laszlo F., Galfi M., Inhibitory Effect of Galanin on Adrenaline- and Noradrenaline-Induced Increased Oxytocin Secretion in Rat Neurohypophyseal Cell Cultures. *Journal of molecular neuroscience* 42:(1) pp. 59–66. (2010)
- Radacs M., Galfi M., Nagyeri G., Molnar A. H., Varga C., Laszlo F., Laszlo F. A., Significance of the adrenergic system in the regulation of vasopressin secretion in rat neurohypophyseal tissue cultures. *Regulatory peptides* 148:(1–3) pp. 1–5. (2008)

## **Környezetfizikai kutatások a Szegedi Tudományegyetem Környezettudományi Intézetében**

*Programvezető: dr. Bozóki Zoltán*

A Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén a múlt század kilencvenes éve óta folyó fotoakusztikus kutatások az idő folyamán egyre szerteágazóbbá váltak és ezzel párhuzamosan a fotoakusztikus módszer környezetfizikai alkalmazásai egyre nagyobb hangsúlyt kaptak

a szintén sikeres ipari alkalmazások (mint pl. a földgáz vízgőz-, kénhidrogén- és széndioxidtartalmának monitorozása, illetve műanyagok és gumik gázáteresztő-képességének mérése) mellett. A környezetfizikai alkalmazások során ugyanis jól kihasználható a fotoakusztikus gáz- és aeroszoldetektálási módszer számos előnye, mint pl. a nagy érzékenység, szelektivitás, a gyors válaszidő és nem utolsósorban a robosztus konstrukció, ami lehetővé teszi a fotoakusztikus rendszerek alkalmazását akár extrém terepi körülmények között is. Az alábbiakban néhány sikeres környezetfizikai alkalmazását soroljuk fel az általunk kifejlesztett fotoakusztikus műszereknek. Fontos hangsúlyozni, hogy ezekben az alkalmazásokban nemcsak annyi történt, hogy ugyanazt a fotoakusztikus műszert alkalmaztuk különböző célokra, hanem alapvető fontosságú volt a fotoakusztikus alaplétszernak az adott alkalmazáshoz történő átalakítására, optimalizálására.

A fotoakusztikus módszerünk és mérőrendszerünk első jelentős környezetfizikai alkalmazása 2001-ben vette kezdetét, amikor a CARIBIC projekt keretében egy fotoakusztikus elvű, a tanszék által kifejlesztett műszer került telepítésre egy utasszállító repülőgép poggyászáterébe. A műszer két mérőcsatornás kivitelű és a repülőgép megtett útja során szimultán méri a légköri vízgőz-koncentrációt és légkör ún. teljes víztartalmát (azaz a gázfázis mellett a vízcseppekben, illetve a jégkristályokban található vízgőzmolekulák koncentrációját is). E fotoakusztikus rendszer része egy olyan mérőkonténernek, ami a repülőgép poggyászáterében kerül szakaszosan telepítésre, és nagyszámú mérőrendszert tartalmaz a légkörösszetevők és a meteorológiai paraméterek mérésére. A fotoakusztikus műszerünk alapvető szerepet játszik e mérőkonténerrel végzett mérések értelmezésében, hiszen nagy pontossággal jelzi, hogy mikor halad a repülőgép felhőkön keresztül (ilyenkor a teljes vízkoncentráció nem egyenlő a vízgőz-koncentrációval, mint felhőmentes légtömegeken történő áthaladás esetén, hanem meghaladja azt).

Egy másik sikeres alkalmazása a fotoakusztikus rendszereinknek a légköri aeroszol (magyarul szálló por, azaz kisméretű, a levegőben lebegő szilárd vagy folyadék részecskék) mennyiségi és minőségi analízise. Egy több hullámhosszon működő fotoakusztikus rendszert fejlesztettünk ki, amelynek segítségével bizonyos körülmények között nagy megbízhatósággal beazonosítható, hogy a légkörben található aeroszolrészecskék milyen arányban származnak különböző forrásokból (azaz elsősorban a dízelautók, illetve a háztartási tüzelés mint a koromrészecskék fő kibocsátó forrásai azonosíthatók be). Sikeres terepi méréseket végeztünk, ahol szoros összefüggést találtunk a fotoakusztikus jel hullámhosszfüggését leíró hatványfüggvény kitevője (azaz az úgynevezett aeroszol Angström exponens, rövidítve AAE) és a fényelnyelő aeroszol-for-

rások erőssége között, azaz az AAE méréséből meghatározható a közlekedési és a fűtési korom aránya a szálló por szennyezettségben. Ha a további kutatásaink is igazolják ezen összefüggések általános érvényességét, akkor egy olyan eszköz fog a szakemberek rendelkezésére állni, amelynek segítségével egy szmogriadó során azonnal megállapítható, hogy a szálló por szennyezettség a közlekedésből vagy a háztartási tüzelésből vagy esetleg egyéb forrásokból származik. Ily módon e műszer segítségével azonnali beavatkozás keretében a mostaninál lényegesen hatékonyabban, szelektíven lehetne a fő aeroszolki-bocsátó források kibocsátását csökkenteni.

A felsoroltakon kívül jelentős eredményeket értünk el a fotoakusztikus módszernek a különböző forrásokból származó légkörszennyező gázok légköri terjedésének vizsgálatában, illetve a szennyező források környezetében történő mérésekből a források pontos lokalizálásában és a forraserősségek meghatározásában. Fotoakusztikus készüléket fejlesztettünk ki, amely nagypontossággal (ppb szinten) méri az ammóniakoncentrációt, és egyik változata alkalmas a talaj által kibocsátott vagy elnyelt ammónia kvantitatív mérésére is. Terepi méréseket végeztünk különböző talajtípusok felett, ahol mértük, és ezzel párhuzamosan modelleztük az ammónia-fluxus időbeli változásait. Jelenleg hasonló, akár pontforrásból, akár elosztott forrásból származó metán mérésére alkalmas mérőrendszerek kifejlesztésén dolgozunk.

A fotoakusztikus műszereken alapuló környezetfizikai kutatásaink sikerességét jelzi, hogy 2013-ban a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával megalakult az MTA-SZTE Fotoakusztikus Kutatócsoport prof. Dr. Szabó Gábor akadémikus vezetésével.

### *Fontosabb kapcsolódó publikációink:*

- N. Utry, T. Ajtai, Á. Filep, M. Pintér, Z. Török, Z. Bozóki, G. Szabó: Correlations between absorption Angstrom exponent (AAE) of wintertime ambient urban aerosol and its physical and chemical properties *Atmospheric Environment* **91** 52–59 (2014)
- N. Utry, T. Ajtai, Á. Filep, M. Pintér, A. Hoffer, Z. Bozóki and G. Szabó: Mass specific optical absorption coefficient of HULIS aerosol measured by a four-wavelength photoacoustic spectrometer at NIR, VIS and UV wavelengths. *Atmospheric Environment* **69** 321–324 (2013).
- Á. Filep, T. Ajtai, N. Utry, M. D. Pintér, T. Nyilas, Sz. Takács, Zs. Máté, A. Gelencsér, A. Hoffer, M. Schnaiter, Z. Bozóki, G. Szabó: Absorption spectrum of ambient aerosol and its correlation with size distribution



in specific atmospheric condition after the red mud accident. *Aerosol and Air Quality Research* **13** 49–59 (2013)

- T. Ajtai, Á. Filep, M. Schnaiter, C. Linke, M. Vragel, Z. Bozóki, G. Szabó, T. Leisner: A novel multi-wavelength photoacoustic spectrometer for the measurement of the UV–vis–NIR spectral absorption coefficient of atmospheric aerosols. *Journal of Aerosol Science* **41** 1020–1029 (2010)
- A. Pogány, Á. Mohácsi, A. Varga, Z. Bozóki, Z. Galbács, L. Horváth and G. Szabó: A compact ammonia detector with sub-ppb accuracy using near-infrared photoacoustic spectroscopy and preconcentration sampling. *Environmental Science and Technology* **43** 826–830 (2009).

## Környezetföldrajzi kutatások a Környezettudományi Intézetben

*Programvezetők: dr. Rakonczai János, dr. Farsang Andrea*

A környezetföldrajzi kutatások a TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoportján belül leginkább két tanszék (Természeti Földrajzi és Geoinformatikai illetve az Éghajlattani és Tájföldrajzi) keretében folynak. A kutatások magas színvonalú folytatását komoly műszerpark (pl. akkreditált laboratórium) és informatikai háttér biztosítja. A főbb szakmai területek a következők.

### *1. Tájváltozás – klímaváltozás*

Hosszú időn keresztül a földrajzi kutatások egyik fontos területe a tájak antropogén hatásokra (pl. ármentesítés, területhasználat) bekövetkező változásainak értékelése volt. Mintegy másfél évtizede azonban nyilvánvaló lett, hogy a változásokban a klímaváltozásnak kiemelt szerepe van. A folyamat következményeinek feltárására érdekében új módszereket dolgoztunk ki, és számos mintaterületen végeztünk részletes elemzéseket, így talán kijelenthető, hogy a tanszékcsoport a klímaváltozás-kutatás legjelentősebb hazai műhelye lett (szakmai irányítója Rakonczai János). Sikerült bizonyítanunk a klímaváltozás tájváltozásokban játszott összetett szerepét. Fontos megemlítenünk, hogy ezek a változások nem egyformán jelentkeznek tájainkon, és mivel erősen keverednek az antropogén hatások következményeivel, kimutatásuk hosszabb kutatást igényel. Tapasztalataink szerint ugyanakkor találhatóak olyan indikátorok, amelyek alkalmasak a klímaváltozás következményeinek feltárására. Nem hagyható viszont figyelmen kívül, hogy a természeti elemek nem minden kellemetlen változása mögött kell a klímaváltozást keresni végső „bűnösként”, még ha eset-

leg azzal valamilyen kapcsolatba is hozható. (A kutatások fontosságát mutatja, hogy a téma a legutóbbi „kutatóegyetemi” program kiemelt területe volt.)

*Néhány fontosabb publikáció:*

- Ladányi Zs. 2011: A természeti és társadalmi környezet hatása egy Duna–Tisza közti kistájra: az Illancs környezetállapota és tájváltozásai az elmúlt évszázadban. In: Rakonczai J. (szerk.). Környezeti változások és az Alföld. Békéscsaba: Nagyalföld Alapítvány, 2011. pp. 295–306.
- Ladányi, Zs. – Deák, J.Á. – Rakonczai, J. 2010: The effect of aridification on dry and wet habitats of Illancs microregion, SW Great Hungarian Plain, Hungary. *AGD Landscape & Environment* 4 (1) pp. 11–22.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Deák, Á. J. 2011: A Hungarian landscape under strong natural and human impact in the last century. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6 (2), 35–44.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – van Leeuwen, B. (2011): Evaluation of precipitation-vegetation interaction on a climate-sensitive landscape using vegetation indices. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5, 053519, doi:10.1117/1.3576115.
- Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Pál-Molnár E. (szerk.) 2012: Sokarcú klímaváltozás. Leolitera kiadó, Szeged. 159 p.
- Rakonczai J. 2007: Global change and landscape change in Hungary. *Geografia fisica e dinamica quaternaria* 30:(2) pp. 229–232.
- Rakonczai J. (szerk.) 2011: Környezeti változások és az Alföld. Békéscsaba: Nagyalföld Alapítvány, 2011. 396 p. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei; 7.
- Rakonczai J. 2006: Klímaváltozás – aridifikáció – változó tájak. In: Kiss A., Mezősi G., Sümeghy Z. (szerk.): Táj, környezet és társadalom: ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. Szeged: SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék – SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 2006. pp. 593–601.
- Rakonczai J. 2011: Az Alföld tájváltozásai és a klímaváltozás. In: Rakonczai J. (szerk.). Környezeti változások és az Alföld. Békéscsaba: Nagyalföld Alapítvány, 2011. pp. 137–148.
- Rakonczai J. 2013: A klímaváltozás következményei a dél-alföldi tájon. MTA doktori értekezés. 164 o.
- Rakonczai, J. – Bozsó, G. – Margóczy, K. – Barna, Gy. – Pál-Molnár, E. 2008: Modification of salt-affected soils and their vegetation under

the influence of climate change at the Szabadkígyós steppe (Hungary). *Cereal Research Communications* 36:(5) pp. 2047–2050.

- Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds) 2012: Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). Szeged, 128 p.
- Rakonczai, J. 2011: Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. In: Blanco, J. A. – Kheradmand, H. (eds.): *Climate Change. Geophysical Foundations and Ecological Effects*. Intech 297–322.

## *2. Alkalmazott talajtan*

Az alkalmazott talajtani kutatások számos részterületet ölelnek fel. Valamennyi talajtani kutatási irányunkat átszövi azonban az a törekvés, hogy az egyes talajszelvényekben tapasztalt, a helyszínen és a laboratóriumban mért eredményeket térben kiterjesszük, a mikroléptékről a mezoléptékre váltva térbeli változásokra, összefüggésekre következtessünk. A talajeróziós és deflációs folyamatokat, ill. ezek következtében fellépő tápanyag-átrendeződési tendenciákat kezdetben parcellaszinten mértük és modelleztük, majd jelentős eredmények születtek több mintaterületen kisvízgyűjtő léptékben is. A városi talajokat, az antropogén hatásokat, ill. ezek indikátorait részletesen szelvény mentén vizsgálva nagyobb léptékű, szegmens menti, ill. a város egészére kiterjedő megállapításokat tettünk. Értékeljük a használt termálvízszikkadás talajdegradációs hatásait. Kutatásokat folytattunk a szennyezett talajok fitoremediációs tisztítására. Kiemelt figyelmet fordítunk a belvizek és az aszályok talajtani következményeinek feltárására.

### *Néhány fontosabb publikáció:*

- Zs. Szolnoki, A. Farsang: Evaluation of Metal Mobility and Bioaccessibility in Soils of Urban Vegetable Gardens Using Sequential Extraction. *Water air and soil pollution* 224:(10) Paper 1737. 16 p. (2013)
- Zs. Szolnoki, A. Farsang, I. Puskás: Cumulative impacts of human activities on urban garden soils: Origin and accumulation of metals. *Environmental pollution* 177: pp. 106–115. (2013)
- Gál N., Farsang, A.: Weather extremities and soil processes: Impact of excess water on soil structure in the Southern Great Hungarian Plain. In: Lóczy Dénes (szerk.): *Geomorphological Impacts of Extreme Weather: Case Stu-*

dies from Central and Eastern Europe. 373 p. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2013. pp. 313–325.

(Springer Geography) (ISBN:978-94-007-6300-5 (print); 978-94-007-6301-2 (online))

- Mezősi G., Blanka V., Bata T., Kovács F., Meyer B.: Estimation of regional differences in wind erosion sensitivity in Hungary. *Natural hazards and earth system sciences* 1: pp. 4713–4750. (2013)
- Farsang A., Bartus M., Szatmári J., Barta K., R. Duttmann: In situ determination of the wind erosion caused nutrient loss on Chernozems by portable wind channel experiments. *Journal of earth science and climatic change* 4:(Spec. Iss.) p. 67. (2013) 2nd International Conference on Earth Science & Climate Change. Las Vegas, Amerikai Egyesült Államok: 2013.
- Andrea Farsang, Rainer Duttmann, Máté Bartus, József Szatmári, Károly Barta, Gábor Bozsó: Estimation of Soil Material Transportation by Wind Based on in Situ Wind Tunnel Experiments. *Journal of environmental geography* 6:(3–4) pp. 13–20. (2013)
- Andrea Farsang, Gergely Kitka, Károly Barta, Irén Puskás: Estimating element transport rates on sloping agricultural land at catchment scale. (Velence Mts., Nw Hungary) *Carpathian journal of earth and environmental sciences* 7:(4) pp. 15–26. (2012)
- Boudewijn Van Leeuwen, Gábor Mezősi, Zalán Tobak, József Szatmári, Károly Barta: Identification of inland excess water floodings using an artificial neural network. *Carpathian journal of earth and environmental sciences* 7:(4) pp. 173–180. (2012)
- Rakonczai J., Farsang A., Mezősi G., Gál N.: A belvízképződés elméleti háttere. *Földrajzi Közlemények* 135:(4) pp. 339–349. (2011)
- Farsang A., Szatmári J., Négyesi G., Bartus M., Barta K.: Csernozjom talajok szélrózió okozta tápanyag-áthalmozódásának becslése szélcsatorna-kísérletekkel. *Agrokémia és Talajtan* 60:(1) pp. 87–102. (2011)
- Balog K., Farsang, A., Puskás, I.: Characterization of the soil degradation impact of waste thermal waters on the Southern Great Hungarian Plain (Case study about the risk of sewage thermal water seepage on soil medium). *Carpathian journal of earth and environmental sciences* 6:(1) pp. 229–240. (2011)
- I. Puskás, A. Farsang: Diagnostic indicators for characterising urban soil of Szeged, Hungary *Geoderma* 148:(3–4) pp. 267–281. (2009)
- Puskás I., Prazsák I., Farsang A., Maróy P.: Antropogén hatásra módosult fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok értékelése Szeged és környéke talajaiban. *Agrokémia és Talajtan* 57:(2) pp. 261–280. (2008)

- Farsang A., Cser V., Barta K., Mezősi G.: Indukált fitoextrakció alkalmazása extrémén szennyezett földszerű anyagon. *Agrokémia és Talajtan* 56: pp. 317–332. (2007)
- Farsang A., Kitka G., Barta K.: Talajerózió és foszforátrendeződési folyamatok térképezése kisvízgyűjtőn. *Talajvédelem különszám*: pp. 170–184. (2006)

### 3. Alkalmazott környezetvédelem

Egy oktatási intézmény számára nagy megtiszteltetés, de emellett az elmélet és a gyakorlat kapcsolatának igazi próbaköve, amikor gyakorlati feladatokra kap felkérést. Az 1995. évi LIII. törvény (a környezet védelmének általános szabályairól) előírja az önkormányzatok számára környezetvédelmi programok készítését. Megyei és települési önkormányzatok, kistérségek felkérésére számos ilyen programot, illetve ezek felülvizsgálatát készítettük el.

Fontosnak tartjuk, hogy amit hallgatóinknak tanítunk az gyakorlatorientált és hiteles legyen, így a feladatokba gyakran bevonjuk a diákokat is, akik igazi komoly kihívásnak érzik az „éles” feladatot. A nagyobb volumenű munkákat megbízásuként végezzük, de számos program készül/készült el hallgatók diplomadolgozataként is. Több önkormányzat is élt felajánlásunkkal (illetve keresett meg bennünket), hogy diákjaink (oktatói irányítással és ellenőrzéssel) segítenek (segítsenek) elkészíteni környezetvédelmi programjukat. Ez az, amikor mindenki jól jár: a szűkös forrással rendelkező településnek nem kerül költségbe, a diák pedig megmutathatja, hogy képes önálló feladat megoldására. A környezetvédelmi programok készítése során sok (az alapjogszabály lényegét érintő) gyakorlati tapasztalatra is szert tettünk.

#### *Néhány elkészült program, tanulmány:*

- Csongrád megye környezetvédelmi programja (2001)
- Csongrád megye környezetvédelmi programjának felülvizsgálata (2007)
- Békés megye környezetvédelmi programja (2000)
- Békés megye környezetvédelmi programjának felülvizsgálata (2008)
- Szegedi kistérség környezetvédelmi programja (2005)
- Szegedi kistérség környezetvédelmi programjának felülvizsgálata (2010)
- Rakonczai J. 2008: A környezetvédelmi programok készítésének tapasztalatai. In: Orosz – Fazekas (szerk.): *Települési környezet*. 98–103.

## *Matematika*

### A Szegedi Matematikai Iskola bölcsője: Kolozsvár

1872-ben megnyílt a kolozsvári egyetem, de nagy gondot okozott, hogy kik legyenek a matematikai tanszékek vezetői, ugyanis a század második felében egyetlen számottevő matematikus volt Erdélyben, **Brassai Sámuel** (1800–97). Ő is leginkább arról volt nevezetes, hogy magyarra fordította Euklidesz *Elemek* c. könyvét. Brassai – aki az Erdélyi Múzeum-Egylet igazgatója és a Természettár őre volt – már 1870-ben egyetemi tanári címre pályázott Pesten. Arra számított, hogy ő lesz a szanszkrit nyelv tanára. A tanügyekért felelős miniszter, Eötvös József azonban az újonnan alapítandó kolozsvári egyetemen kínált neki professzori állást, a tárgy kiválasztását rá bízva. Brassai egyaránt vállalta volna a filozófia, a növénytan, a pedagógia, a művelődéstörténet, a nyelvtudományok és valamely matematika tanszék vezetését. Végül a miniszter az Elemi Mennyiségtan Tanszék élére nevezte ki nyilvános rendes tanárnak. Irodalmi források szerint ő maga a legkevésbé e tudományágra számított.

Brassai sokat tett a magyar matematikai szaknyelv kialakításában, amiről számos műve tanúskodik. Sajnálatos azonban, hogy nem ismerte föl Bolyai János új geometriájának korszakalkotó jelentőségét. Számos nyilvános fölépésével még akadályozta is annak magyarországi elismerését.

A másik matematikai tanszék, a Felsőbb mennyiségtan élére **Martin Lajos** (1827–97) nyert nyilvános rendes tanári kinevezést. Ő az akadémia tagja volt 1859 óta, elsősorban mérnök, és fő érdeklődési területe a repülés.

A szó igazi értelmében egyikük sem volt matematikus, nem végeztek kutatásokat ebben a tudományban. Viszont mindketten élénken érdeklődtek a matematika alkalmazásai, alkalmazott matematikai kérdések iránt. Brassainál ez csillagászati kérdésekben nyilvánult meg, míg Martin repüléstani dolgozatai támasztják alá ezen állításunkat.

---

<sup>1</sup> A jelen összeállítás igen jelentős mértékben támaszkodik Csákány Béla és segítő munkatársai, Vargáné Fekete Piroska és Varga Antal hasonló céllal készült írására, amely 2009-ig tartalmazza az intézet történetét, valamint Kolumbán Józsefnek a kolozsvári matematikai iskola kezdeteivel foglalkozó írására. A szerző ezek rendelkezésére bocsátását hálásan köszöni.

A harmadik matematika tanszék, a Mennyiségtani Fizika Tanszék vezetői posztját csak két évvel az alapítás után töltötték be. Erre a posztra az osztrák és német egyetemeken pallérozódott, Heidelbergben doktorált **Réthy Mórt** (1848–1925) nevezték ki. Ő az elméleti fizika egyik első magyarországi professzora volt. Nemzetközileg is elismert kutatója volt a matematikai fizikának, de emellett tevékeny részt vállalt a Bolyaiak munkásságának elismertetésében. Sajtó alá rendezte Bolyai Farkas egy, területekkel foglalkozó művét – és König Gyulával együtt – Bolyai Farkas Tentamenje második kiadása első kötetét. Ő tartotta Magyarországon az első előadást a Bolyai-geometriáról. Bolyai János Appendixének tanulmányozását segítő annak több definícióját könnyebben érthetővé fogalmazta át. Fölhasználta azt, hogy Bolyai abszolút geometriájában a végtelen kis térrészekre a klasszikus euklideszi geometria tételei érvényesek. Rámutatott arra is, hogy az állandó görbületű felületek trigonometriája független Euklidesz V. posztulátumától. Külön érdeme, hogy az Appendixben található szerkesztéseket legelőbb ő méltatta és dolgozta ki részletesen.

Réthy azon gondolatnak is harcosa volt, hogy a hazai matematikai kutatásoknak a két Bolyai eredményeire kell támaszkodniuk: „hazánkban, ahol eddig a két Bolyain kívül számottevő matematikus nem élt, ezen két férfiú működéséből kell minden további tudományos törekvésnek kiindulnia.”

Ami egy kísérletes diszciplínában a laboratórium, az egy matematikai intézet számára a könyvtár, de természetesen könyv minden tudományágban kell. A kezdetekben az egyetem könyvtári állománya katasztrofális volt. Ebben a helyzetben az Erdélyi Múzeum-Egylet adta bérbe az egyetemnek 30 000 kötetes könyvtárát 50 évre, de továbbra is nagy gond volt az igen csekély állami támogatás.

A nehézségek ellenére az oktatás mellett a kutatás is beindult. A profeszszorok számos speciális kurzust is hirdettek a legtehetségesebb hallgatóiknak. A következő diszciplínákat művelték ebben az időben: számelmélet, a differenciálegyenletek elmélete, komplex függvénytan, vektoralgebra, analízis, elliptikus függvények, a Bolyai-geometria. E témakörökben számos tudományos közleményt jegyeztek az oktatók.

A századforduló jelentős változásokat hozott az egyetem életében, ami erősen hatott a matematika oktatására és kutatására is. A hallgatói bázis kiszélesítésében alapvető szerepe volt 1893-ban az egy fiatal győri tanár, Arany Dániel által elindított Középkiskolai Matematikai Lapoknak, amely a mai napig megjelenik immár KöMal címen. Ez a világ leghosszabb életű ilyen kiadványa. Arany csak rövid ideig szerkesztett a lapot, '96-ban átvette tőle a legendás híró Rácz László, a Budapesti Evangélikus Gimnázium tanára. Ezen a folyóiraton

és az általa fémjelzett feladatmegoldó versenyen tudósgenerációk nevelkedtek és nevelkednek a mai napig.

A századforduló körüli förlívelő korszak professzorai részben Réthy tanítványai közül kerültek ki. Közülük talán leghíresebb az erdélyi származású Vályi Gyula (1855–1913). Kolozsvári tanulmányai befejeztével az egyetem támogatásával Berlinben a kor nagy hírű matematikusai és fizikusai, Weierstrass, Kirchoff, Kronecker és Kummer előadásait látogatta. Hazatérve védte meg másodrendű parciális differenciálegyenletekkel foglalkozó doktori értekezését 1880-ban. 1881-től magántanár, 1884-től a mennyiségtani természettan, majd két évvel később az elemi mathesis tanára lett. Népszerű kollégiumokat vezetett a Bolyai-geometriáról, előadásai később litografált változatban is megjelentek. Neki köszönhető, hogy Kolozsvár a Bolyai-kultusz fellelőjére lett.

Rövidesen újabb két nagy hírű professzonnal gazdagodott az egyetem. Farkas Gyula (1847–1930) pesti tanulmányai és magántanárkodása után lett 1887-ben magántanár, majd a következő évtől rendes tanár Kolozsvárott. Kezdetben Bolyai Farkasnak a Tentamenben közölt eredményei továbbfejlesztésével foglalkozott. Nevéhez fűződik az ott vázlatosan közölt gyökközelítő algoritmussal kapcsolatos vizsgálatai alapján kidolgozott, ma Bolyai-algoritmusnak nevezett eljárás, és a kapcsolatos konvergenciaproblémák vizsgálata. Fő érdeklődési területe azonban az elméleti fizika volt. Kutatásait nagyfokú matematikai igényesség jellemezte, eredményei egy része matematikai érdekességgel is rendelkezett. Nevéhez fűződik egy lineáris egyenlőtlenségekre vonatkozó eredmény, amely ma Farkas-lemmaként ismert. Ezzel a modern optimalizálás-elmélet megalkotóinak egyikévé vált.

A századfordulón a kolozsvári egyetem külföldön legismertebb professzora Schlesinger Lajos (1864–1933), aki egyetemi tanulmányait Heidelbergben és Berlinben végezte. Az utóbbi egyetemen magántanár is volt. Amikor 1897-ben a Kolozsvári Egyetem nyilvános rendes tanára lett, már híres tudós volt, a komplex függvénytan alapokra épített differenciálegyenletek elméletének meghatározó szaktekintélyének tartották. Oktatómunkáját az is fémjelzi, hogy a kolozsvári könyvtárban ma is föllelhető 15 egyetemi jegyzete, és két differenciálegyenletekkel foglalkozó könyvét is kiadták német kiadók. Sokat tett a matematikai élet föllendítése érdekében, Farkas Gyulával és Vályi Gyulával döntő szerepe volt abban, hogy Kolozsvárott kitűnő matematikai könyvtár jött létre.

Farkas Gyula – máig ható tudományos munkássága mellett – meghatározó szerepet játszott abban, hogy a XX. század első évtizedeire a nemrégén, szinte a semmiből induló kolozsvári Matematikai Intézet egy negyed század múltán az Osztrák–Magyar Monarchia legkiválóbb tudományos műhelyei



sorába emelkedett. A tudomány iránti elhivatottsága, nagyszerű emberi értékei révén mind tanártársai, mind tanítványai közt nagy tekintélynek örvendett. Befolyását arra használta, hogy az egyetemi oktatás-kutatás anyagi és személyi föltételei a lehető legjobbak legyenek. Hét alkalommal volt dékán, és egy alkalommal a rektori tisztséget is betöltötte. Alapvető érdemei voltak abban, hogy olyan kiváló tudósok kerültek a tanári karba, mint Fejér Lipót (1905), Riesz Frigyes (1911) és Haar Alfréd (1912). Ők hárman a XX. század matematikájának géniuszai voltak.

**Fejér Lipót** (1880–1959) győri középiskolás éveit a Matematikai Lapok egyik legkiválóbb feladatmegoldója volt. A két budapesti egyetemen König Gyula, Kürschák József és Rados Gusztáv előadásait hallgatta. Egy évig a berlini egyetemen tanult, többek közt L. Fuchs, G. Frobenius és H. A. Schwarz előadásait látogatta. Az 1899/1900-as tanévet ismét Pesten töltötte és ekkor publikálta a Comptes Rendus-ban (Párizs) azon cikkét a Fourier-sorok összegzéséről, amely egy csapásra világhírűvé tette. 1902-ben doktorált Pesten. Ezután Göttingenben és Párizsban töltött néhány évet, ahol a kor legnagyobb német és francia matematikusaival dolgozott. 1905-ben Kolozsvárott habilitált, majd tanítani kezdett ott. Karrierje gyorsan ívelt fölfelé, 1911-ben nyilvános rendkívüli tanár lett. Közben 1908-ban a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává választotta. 1911-től a budapesti egyetem nyilvános rendes tanára lett. Rövid, de igen nagy hatású kolozsvári ténykedése alatt 30 tudományos közleményt jelentetett meg a kor vezető folyóirataiban.

1919-ben Kolozsvár és így egyeteme is román főnnhatóság alá került. A professzorok nagy része nem tett hűségesküt a román kormánynak, ezért kiutasították őket. Az egyetem e része rövid budapesti tartózkodás után Szegedre költözött, és itt lett az újonnan alapított tudományegyetem magja. Ekkor került Szegedre Riesz Frigyes és Haar Alfréd is. Munkásságukat a következő fejezetben ismertetjük.

## **A Szegedi Egyetem Matematikai Intézetének első korszaka: az első „triumvirátus”**

Az 1919-ben átmenetileg Budapestre került egyetem az 1921/22. tanévtől véglegesen Szegeden talált otthonra. Matematikai tanszékeit, a Felsőbb Mennyiségtani, Elemi Mennyiségtani és Matematikai Fizikai Intézetet (akkori gyűjtőnevükön a Matematikai Szemináriumot) és az Ábrázoló Geometriai Intézetet a Dugonics téri központi épület földszintjén helyezték el három szobában. Közös szobában kaptak helyet Riesz, Haar, és Ortway Rudolf professzorok,

mint a Matematikai Szeminárium igazgatói; Haar ezen felül az Ábrázoló Geometria Intézet ideiglenes igazgatója volt. A további két szoba egyike a könyvtár és az asszisztencia (azaz Radó Tibor, az egyetlen tanársegéd) elhelyezésére szolgált, a másik „olvasó szoba” a folyóiratok szobája lett. Az oktatás lehetőségét egyetlen tanterem – az „I. számú matematika tanterem” – biztosította.

**Radó Tibor** 1924-től adjunktus volt Riesz mellett. Az Ábrázoló Geometriai Intézet tanársegédje ugyanekkor Kudar János lett, aki ilyen minőségben Ortvyhoz is be volt osztva. Kudar, kitűnő elméleti fizikus, később Schrödinger mellett is dolgozott (ő volt a relativisztikus Schrödinger-egyenlet egyik első levezetője). Amikor Riesz és Haar elérkezettnek vélte az időt az Ábrázoló Geometriai Intézet korábbi vezetője, Klug Lipót nyugalomba vonulása (1917) óta üres professzori állás betöltésére, egyúttal javasolták az intézet nevének megváltoztatását Geometriai Intézetre. Ez ellenkezést váltott ki a karon. Gelei József, az állattan professzora az addigi névhez való ragaszkodást azzal magyarázta, hogy ez fejezi ki a tárgy alapvető fontosságát, a professzori állás betöltésére pedig Szmodits Hildegárd műegyetemi adjunktust, az ábrázoló geometria magántanárát javasolta. Riesz és Haar **Kerékjártó Bélának** a kinevezését támogatta, aki már egyetemi hallgató korában nemzetközileg elismert topológusnak számított, és 1922 óta az egyetem magántanára volt. Végül kari tanácsi határozattal a tanszék neve Geometriai és Ábrázoló Geometriai Intézet lett, de az állásra Szmoditsot terjesztették fel. Riesz és Haar a kompromisszumért cserében kieszközölt egy újabb tantermet (a II. számú matematikai tantermet) és két szobát, egyet az intézet professzorának, egyet pedig az asszisztenciának. Kifejezve egyszersmind elégedetlenségüket, a minisztériumhoz különvéleménnyel éltek Kerékjártó Béla kinevezése érdekében. Ennek hatására 1925-ben Kerékjártó lett az egyetem ny. rk. (nyilvános rendkívüli) tanára. Említést érdemel, hogy Egerváry Jenő, akit a tudománytörténet az operációkutatásban használt „magyar módszer” egyik megalkotójaként tart számon, a húszas években ugyancsak a szegedi egyetem magántanára volt, e fokozatot azonban – az ismert adatokból nem világos, milyen okból – megvonták tőle.

Kudar, az Ortvy által kieszközölt németországi ösztöndíja lejártával nem kívánt visszatérni Szegedre, Ortvy Kürschák József műegyetemi professzor ajánlására **Kalmár Lászlót**, a VATEA Elektroncsőgyár kutató fizikusát hívta meg tanársegédjének. Kalmár kapva kapott az ajánlaton, bár nem hallgatta el, hogy őt elsősorban a matematika érdekli. Ortvy kifejtette, hogy ez nála előny, mivel az elméleti fizika matematikailag jól képzett szakembereket igényel. Így került 1927-ben Kalmár a Matematikai Fizika Tanszékre, ahol az elméleti fizikai feladatok ellátása mellett teljes intenzitással matematikával foglalkozott. A Kalmár Lászlóval kiegészült hatfős csapat lett a szegedi matematikai

iskola magja. Ez az iskola egy kitűnően megtervezett és megépített szerkezet módjára működött. Riesz, Haar és Kerékjártó mellett Radó, Kalmár és Lipka mint asszisztencia nem csupán kiszolgálta a minőségi munkát; tehetségük, felkészültségük alkalmassá tette őket arra, hogy a legújabb (esetenként akkor még lenézett) diszciplínákat is befogadják és műveljék.

A kialakult szegedi iskola szakmai krédóját Riesz, a mester mondta ki. (Professzortársai Rieszét egymás között mesternek szólították. Mások részéről Szegeden a „professzor úr” megszólítás volt megszokott és elvárt – ez is kolozsvári örökség. Ha egy-egy Pestről Szegedre jött munkatárs vagy Szegedre látogató vendég „méltóságos uramnak” szólította Rieszét, ami az idő tájt a professzoroknak kijárt, ő ezt mindig tapintatosan elhárította és a szegedi szokásokra hívta fel a figyelmet.) Ez így hangzott: „Az egyetemi tanár kötelessége, hogy a tiszta tudományt a nívóból semmit sem engedve sugározza, mint az antenna, akár felfogja valaki, akár nem; az már nem az ő dolga.” Riesz ezt teljesítette is: tudományos kisugárzása, hatása világszerte óriási volt. Szegedi évtizedei során azonban csak három közvetlen tanítványa volt: Radó Tibor után a harmincas években Szőkefalvi-Nagy Béla és az amerikai Edgar R. Lorch. Ez abból eredt, hogy Riesz alkatától távol állt a témaosztás. Többször hangoztatta: ha valaki doktorálni akar nála, válasszon maga témát, vázolja elképzelését, mert már ebből megítélhető, milyen matematikus vénával van megáldva az illető. Riesz keményen megfogalmazott hitvallása ma már archaikusnak tűnik, inkább Kalmár szavait fogadjuk el: „Én... azt tartom a legmagasabb tudmánynak, úgy megmagyarázni a dolgokat, hogy mindenki, akit érdekel, megérthesse.”



1. ábra. Riesz Frigyes

*Riesz Frigyes 1907-ben tette közzé nevezetes munkáját, amelyben lényegében azt mutatta meg, hogy a Lebesgue-értelemben négyzetesen integrálható függvények tere izomorf a véges négyzetösszegű végtelen számsorozatok terével. Ez a felismerés vezetett a 20. század elméleti fizikájában döntő szerepet játszó absztrakt Hilbert-tér fogalmának kialakulásához. A topologikus tér fogalmát teljes általánosságában ugyancsak Riesz vezette be 1908-ban a római nemzetközi matematikai kongresszuson. Ugyanebben az időszakban vette észre, hogy a Lebesgue-integrálható függvények a Lebesgue-féle mértékfogalom előzetes kiépítése nélkül, lépcsős függvények majdnem mindenütt konvergens sorozatainak határfüggvényeiként is definiálhatók.*

*Szegedi éveit során dolgozott a szubharmonikus függvények elméletén. Alapvető tétele a szubharmonikus függvényeket mint a negatív tömegeloszlások potenciáljait jellemzi, amivel új távlatokat nyitott meg a potenciálmélet előtt. Ugyancsak itt támadtak azok a gondolatai, amelyeket először az 1928. évi bolognai nemzetközi kongresszuson, majd továbbfejlesztett formában akadémiai székfoglaló beszédében fejtett ki, s amelyek a később Riesz-tereknek nevezett féligrendezett lineáris terekre vonatkozó kutatásokat indították el. Szőkefalvi-Nagy Bélával közös funkcionálanalízis-könyve, az 1952-ben francia nyelven megjelent *Leçons d'Analyse fonctionnelle*, jelentős mértékben másfél évtizedes szegedi együttműködésük terméke. Lefordították angol, német, orosz, japán, kínai, végül pedig magyar nyelvre [!] is. Nemzedékek számára szolgált és szolgál a valós függvénytan és a funkcionálanalízis tankönyvéül.*

A tudományos fokozatok első lépcsőjét akkor a doktori cím, a másodikat a (habilitációval szerzett) magántanári fokozat jelentette; az utóbbi megközelítőleg a későbbi kandidátusi fokozatnak felelt meg. Radó 1926-ban az „Analízis és geometria”, Kalmár 1932-ben az „Aritmetika és analízis”, Lipka 1933-ban az „Algebra” magántanára lett.

1928-ban Budapestről Szegedre helyezték át a Paedagogiumot, az állami Polgári Iskolai Tanárképző Főiskolát. Mivel ennek a matematikus tanárai nem kívántak Szegedre költözni, a matematika előadásával Riesz az 1928–29. tanév első félévében Radót, Kalmárt és Lipkát bízta meg. A kíséret félévig tartott; ezután a főiskola meghívta üres matematika-professzori állására Szőkefalvi Nagy Gyulát, a kolozsvári Marianum női felsőkereskedelmi iskola igazgatóját, aki 1915-től a kolozsvári egyetem magántanára volt „Algebra és függvénytan” tárgykörből. Az egyetem és a főiskola (ma hivatalosan az egyetem pedagógusképző kara) között azóta is élő oktatási és tudományos kapcsolat van, amely szervezeti együttműködés is volt 1949-ig a következők folytán. A tanárképzést akkor mind polgári iskolai, mind középiskolai szinten az Országos

Tanárképző Intézet irányította és adminisztrálta; a tanárjelölteknek tanárvizsgáló bizottság előtt kellett szakvizsgát tenniük. Az egyetemi tanszabadság elve lehetővé tette, hogy a professzor azt adjon elő, ami neki tetszik; ebbe senkinek nem volt beleszólása. Az Országos Tanárképző Intézet azonban a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium által jóváhagyott tematika szerinti oktatást is követelt a tanárokat képező intézményektől, és ezt kellőképpen külön megfigyelték. Ezért az egyetemen kétfajta matematika-előadásokat tartottak: egyrészt olyanokat, amelyek a tanári végzettség megszerzéséhez voltak szükségesek, másrészt pedig olyanokat, amelyek a „felső tudományos képzettség” megszerzését szolgálták. Az egyetemi előadásokat a polgári iskolai tanárképzősök is hallgathatták.

1929 a matematikai tanszékek életében nagy változást hozott. Klebelsberg Kuno Németországba látogatva egy göttingeni fehérasztali beszélgetés alkalmával a neves matematikus Richard Courant vacsoraszomszédja lett. A német tudós nemcsak a 20. századi matematika eredményeiről, fejlődéséről tudott lebilincselően szólni tudományok iránt érdeklődő és fogékony miniszterünknek, hanem lelkesedéssel mondta el azt is, hogy mindezekhez a szegediek, név szerint Riesz, Haar, Kerékjártó, Radó, Kalmár, Lipka milyen mértékben és milyen módon járultak hozzá. Klebelsberg nemcsak örömmel nyugtázta a hallottakat, hanem hazatérve el is rendelte a szegedi matematikai tanszékek külön pénzügyi támogatását körülményeik rendezésére. Az egyetem tanácsának határozata alapján 1929-től a Matematikai Szeminárium és a Geometriai és Ábrázoló Geometriai Intézet együttes neve: **Bolyai Intézet**. Az intézet az egykori Baross Gábor (ma Egyetem) utca 2. szám alatti (más néven: Szukováthy téri) épület második emeletén nyert méltó elhelyezést. A Bolyai Intézet elnevezés először a tudományos levelezésben vált használatossá. Az intézet folyóirata a 9. kötettől viseli ezt a nevet a borítóján. 1932-ben a Matematikai Fizika Intézet, amelyet 1929-től Bay Zoltán vezetett, kivált a Matematikai Szemináriumból, ezáltal a Bolyai Intézetből is, és Elméleti Fizikai Intézet névvel önálló tanszékké alakult.

Kalmár 1930-ban Riesz és Haar közös adjunktusa lett. 1931-ben a budapesti Eötvös József Kollégium mintájára Szegeden megszervezték az Eötvös Loránd Kollégiumot. A Bolyai Intézet részéről az Eötvös Kollégiumban mellékfoglalkozásként Kalmár tartott matematikai szakórákat, sok esetben a hallgatók által kért témákból.

1933 elején 48 éves korában elhunyt Haar Alfréd. Ezzel lezárult a szegedi matematikának az első nagy „triumvirátus”, Riesz, Haar és Kerékjártó nevével fémjelzett aranykora. Az 1932/33. tanév végéig Riesz javaslatára a kar Kalmár Lászlót bízta meg az Elemi Mennyiségtani Intézet igazgatói teendőinek

ellátásával. A minisztérium ezután takarékoságból Haar tanszékére nem nevezett ki professzort, ami gyakorlatilag az intézet megszűnését jelentette. Szőkefalvi-Nagy Béla 1933-ban Riesz díjtalan gyakornoka, Lipka István pedig 1935-ben Kerékjártó adjunktusa lett.



2. ábra. Haar Alfréd

*Haar Alfréd 24 évesen lett a göttingeni egyetem magántanára, David Hilbert tanítványaként. Előtte doktori értekezésében vezette be azt az ortogonális függvényrendszert, amely az ő nevét viseli. Alkotó tevékenysége Szegeden teljesedett ki. A variációszámítás egyik alapvető megállapítását, az egyváltozós esetekben alkalmazható Du Bois-Reymond-féle lemmát kiterjesztette a többváltozós esetre; ez a nevezetes Haar-lemma. A variációszámítás terén elért eredményeit, azok alkalmazásait és a további feladatokat 1929-ben Hamburgban tartott előadás-sorozatában foglalta össze.*

*Legnagyobb eredménye a róla elnevezett mérték létezésének bizonyítása, amelyről akadémiai székkfoglaló előadását is tartotta 1931-ben, s amely tételnek egyik lehetséges megfogalmazása a következő: bármely olyan lokálisan kompakt csoporton, amelyben az egységelemnek van megszámlálható környezetbázisa, létezik olyan nemtriviális mérték, amely invariáns a csoportelemekkel balról történő szorzásokkal szemben. Ezzel Haar hatalmas lépést tett David Hilbert 1900-ban feltett kérdésének, a nevezetes V. problémának a megoldása felé, ami végül 1952-ben született meg.*



3. ábra. Kerékjártó Béla

*Kerékjártó Béla a húszas években szegedi magántanári habilitációja után Göttingenben, majd két évig Princetonban volt vendégprofesszor, és már 25 évesen ismertté tette nevét **Vorlesungen über Topologie** című nagyhatású könyvével. Hermann Weyl, a 20. század egyik univerzális nagy matematikusa ezt írta Kerékjártó könyvéről: „...Míg korábban a topológia tudományában a szemlélet alapján történő szigorú bizonyítás kimondottan fáradságos volt, és az ember tízet tehetett egy ellen, hogy ritkán sikerült, Kerékjártó révén ez az út elegyengetődött, a gondolat és a szemlélet szoros kapcsolatba került. Ezután én is az ő felfogása és elképzelései alapján fogom a topológiát tanítani...”.*

*Szegeden készült el **A geometria alapjairól** című, később franciául is megjelent hatalmas monográfiájának első kötete, amelynek hazai publikálásáról így írt a szerző: „...azt a célt kívánom szolgálni, hogy a középiskolai tanár megismerje az általa a középiskolában tanított tételeknek a geometria tudományos rendszerében való helyét ...”. Könyvei mellett Kerékjártó nevét mély eredményei is őrzik. A felületek topológiájára vonatkozó vizsgálatain kívül kiemelkedő megállapításokat tett a Jordan-görbékről: megmutatta, hogy két Jordan-görbe közötti homeomorf megfeleltetés az egész síkra folytatható, továbbá bebizonyította a klasszikus Jordan-féle görbetétel megfordítását.*

Kerékjártó Béla 1938 nyarán Budapestre távozott. Intézetének vezetését a következő tanévben Riesz Frigyes látta el, majd 1939 nyarán Szőkefalvi Nagy Gyulát nevezték ki az egyetem ny. r. (nyilvános rendes) tanárává, a Geometria és Ábrázoló Geometria Intézet igazgatójává. Főiskolai helyére fia, Szőkefalvi-Nagy Béla, a Bolyai Intézet későbbi professzora került.

A szegedi matematika helyét a hazai matematikai életben jól mutatja, hogy a két háború közötti időszak legmagasabb matematikai kitüntetését, a König Gyula-jutalmat (pontosabban az eredeti alapítványi összeg elértéktelenedése

miatt helyébe lépett Kőnig Gyula-érmes) Szőkefalvi Nagy Gyula, Kalmár László és Lipka István, az időszak végén pedig Szőkefalvi-Nagy Béla is megkapta.

A szóban forgó két évtizedben egyetemünkön folyó matematikaoktatás adataiból kitűnik, hogy Szeged nemcsak a matematika művelésében haladt a világ egyetemeinek első sorában, hanem e tudománynak átadásában is a következő nemzedék számára. Mai szemmel visszatekintve talán fellengzősnek látszik ez az értékelés egy mindössze hat tanárból álló intézményről, ám a látszat csalóka: akkoriban a kiemelkedő hírű és teljesítményű külföldi egyetemeken is csekély volt a „státuson levő” tanárok száma.

A matematikusok az említett kezdeti konfliktusok ellenére az egyetem és a kar respektált részlegét alkották, olyannyira, hogy a szegedi indulás első éveiben a kari dékáni székben sorban Riesz, Haar és Ortway váltotta egymást, majd a harmincas évek elején Kerékjártó is betöltötte ezt a tisztséget. Az 1925–26. tanévben pedig az akkor szokásos egy évig Riesz Frigyes volt az egyetem rektora. A nagy tisztességgel járó egyetemi megbízatások mellett az országos megbecsülés ideje is eljött, ha nem is sietősen: a harmincas évek elején Haar Alfrédot, majd Kerékjártó Bélát és Szőkefalvi Nagy Gyulát levelező tagjává, Riesz Frigyest pedig húszévi levelező tagság után, 1936-ban rendes tagjává választotta a Magyar Tudományos Akadémia.

A Ferenc József Tudományegyetem 1940-ben visszatért Kolozsvárra, ahol működése négy év múltán az újabb történelmi sorsforduló következtében véget ért. A kormányzat Szegeden 1940-ben megalapította a Magyar Királyi Horthy Miklós Tudományegyetemet. A matematika professzorok közül Szőkefalvi Nagy Gyula – akkor éppen a matematikai és természettudományi kar dékánja – vállalta a kolozsvári kinevezést. Helyére 1940 októberében Rédei Lászlót (aki középiskolai tanárként abban az esztendőben nyerte el a Kőnig Gyula-érmes) nevezték ki a Geometriai Intézet ny. rk., majd a következő évben ny. r. tanárává. Az új egyetemen az intézet nevéből már kimaradt az „ábrázoló geometria”.

A háborús évek megpróbáltatásai a szegedi matematikusokat is sújtották. Kalmár László magántanári fokozatát a Horthy Miklós Tudományegyetem nem ismerte el. A Sztójay-kormány fájldöző rendelete alapján 1944 tavaszán felmentették adjunktusi állásából és szakóraadói tevékenységéből. Riesz Frigyest svéd menlevele védte, de kötelezték a sárga csillag viselésére, aminek tünetőleg tett eleget.

A front áthaladása után újrakezdődött az egyetemi és a matematikai élet. Riesz Frigyest – a hivatalos felszólítás ellenére Szegeden maradt hat egyetemi tanár egyikét –, mint húsz évvel korábban, megint rektorra választották. Az egyetemi munka újbóli megindításának sok bölcsességet igénylő munkáját sikeresen végezte el. A matematikai élet feltámasztása Kalmár feladata lett, akit 1944 októberében ismét megbíztak az adjunktusi teendőik ellátásával. A front áthaladása



után egy ideig számos kiváló budapesti matematikus tartózkodott Szegeden, köztük Péter Rózsa, Turán Pál és családja, Vincze István, Surányi János, valamint Rényi Alfréd és későbbi felesége. Közülük Turánt Riesz tanársegédjévé fogadta. Soós Paula és Surányi János Kalmár segítségével Szegeden indította újra a Középiskolai Matematikai Lapokat. Az 1944–45. tanévben, amikor az egyetem Ady téri épületében katonai kórház volt, a Bolyai Intézetet a fizikus és vegyész tanszékek fogadták be. Lipka Istvánnak 1945-ben politikai okból távoznia kellett az egyetemről. Korábban értékes eredményeket ért el az algebrai egyenletek elméletében, későbbi élete során a műszaki matematika megbecsült tudósává vált Budapesten.

### A Szegedi Egyetem Bolyai (Matematikai) Intézetének második korszaka: a második „triumvirátus”.

*Kalmár László* 1945-ben visszakapta magántanári címét. A Kolozsvárról visszatérni kényszerült Szőkefalvi Nagy Gyula 1945-ben beosztott, de tanszékvezetői címmel felruházott ny. r. egyetemi tanár, Szőkefalvi-Nagy Béla pedig 1946-ban címzetes ny. rk. tanár lett. Kalmárt 1946-ban intézeti tanárrá, majd kevéssel később ny. rk. tanárrá nevezték ki.

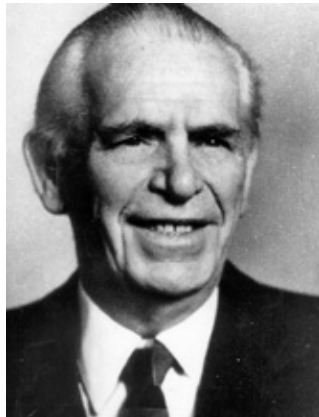


4. ábra. Kalmár László

*Kalmár László első oktatói éveiben néhány függvénytani és számelméleti eredménye mellett úttörő dolgozatot tett közzé játékelméletről (mai terminológia szerint a kombinatorikai játékok elméletéről), továbbá, mint Edmund Landau megjegyzi az analízis alapjairól írt klasszikus könyvecskéjének előszavában, kijavította a természetes számok axiomatikus felépítésének egy rejtett fogyatékosságát. Alkotó*

erejét két olyan területen fejtette ki igazán, amelyeknek még a létjogosultságáért is meg kellett küzdenie. Ezek egyike a matematikai logika, a másik pedig a hozzá – mint később kiderült – szorosan kapcsolódó, de a harmincas években, a matematikai logika egyik fénykorában még nem is létező számítástudomány volt.

Amikor Kalmár első matematikai logikai közleménye megjelent, maga Riesz sem tekintette a matematika részének ezt a tudományágát (és negyedszázaddal később sem fogadta osztatlan lelkesedés Kalmár első számítástudományi dolgozatát). A matematikai logika akkor újdonságnak számító, azóta közkinccsé vált nagy eredményeire Kalmár egyszerűbb bizonyítást adott, s mindenki másnál élesebben ismerte fel összefüggéseiket. Ennek az éleslátásnak köszönhetően, amikor a rekurzív függvények és algoritmusok szakértőjeként találkozott a számítógépi programokkal, a számítástudomány elkötelezett hívévé és művelőjévé vált. Az ötvenes években, amikor az informatika – akkor népszerű nevén kibernetika – hivatalosan még áltudománynak számított, Kalmár szemináriumain meg lehetett ismerkedni e terület legújabb eredményeivel. Az ő kezdeményezésére és vezetésével jött létre 1963-ban az egyetem önálló egységként a Kibernetikai Laboratórium, amelyben 1965-ben már számítógép működött. Ez az intézmény és Kalmár László tanszéke, amely még hosszú időn át a Bolyai Intézet része maradt, alkotta az egyetem jelenlegi Informatikai Tanszékcsoportjának elődjét és alapját. Ő kezdeményezte alkalmazott matematikusok, majd programtervező és programozó matematikusok képzését a szegedi egyetemen. A világ legnagyobb számítógép-tudományi társasága, az IEEE Computer Society Kalmárt a számítástudomány nagy úttörői között tartja számon.



5. ábra. Rédei László

*Rédei László* már közel húszéves középiskolai tanári működése során is nemzetközileg ismertté tette nevét a másodfokú számtestek osztálycsoportja invariánsaira

vonatkozó, Gauss klasszikus vizsgálatait kiegészítő eredményeivel. Absztrakt algebrai látásmódját, amely már számelméleti eredményeiben is megmutatkozott, mintegy aktivizálta egyrészt – a sors által sajnálatosan rövidre szabott – együttműködése Szele Tiborral, másrészt pedig találkozása Kalmár László absztrakt gondolkodásmódjával. Így Rédei lett a szerzője az első olyan algebrai összefoglaló tankönyvnek, amely túlmutatott a Van der Waerdentől eredő ún. modern algebrai szemléleten, s az algebrát, mint a műveletekkel felszerelt halmazok általános elméletét tekintette (az *Algebra I.* könyve három nyelven jelent meg, az *Algebra II.* sajnos soha sem). További monográfiái: *Theorie der endlich erzeugbaren kommutativen Halbgruppen, Lückenhafte Polynome über endlichen Körpern.* A véges geometriák napjainkban intenzívvé vált vizsgálata az utóbbi könyvben található eredményekre támaszkodik. *Begründung der euklidischen und nicht-euklidischen Geometrien* című könyve és említett monográfiái angol nyelven is megjelentek. *Endliche p-Gruppen* című posztumusz művét Pálfy Péter Pál rendezte sajtó alá. Rédei másodfokban nemkommutatív véges egyszerű csoportokra vonatkozó, 1950-ben közzétett dolgozata adta az első impulzust a véges egyszerű csoportok sok évtizeden át szünetelő vizsgálatának felélesztéséhez, amelynek eredményeként a hetvenes évek végén, még Rédei életében, a helsinki matematikai világtalálkozón bejelentették a véges egyszerű csoportok teljes leírását.

Döntő szerepe volt a hazai algebrai iskola létrehozásában: az ötvenes évektől kezdve a legtöbb magyar algebrai kutató valamilyen értelemben az ő szellemi leszármazottja. És még egy színfolt: a világ matematikai központjaiban mindenütt terjednek legendák és anekdoták szórakozott tudósokról; Szegeden ezeknek hőse rendszerint Rédei László. Itt csupán egy tréfás mondását idézzük: „A matematikához csak egy gömbre és két félgömbre van szükség.”



6. ábra. Szőkefalvi-Nagy Béla

Szőkefalvi-Nagy Béla hírnevét *Spektraldarstellung linearer Transformationen des Hilbertschen Raumes* című monográfiája alapozta meg (1942). Számos mély eredményt ért el az approximáció-elméletben, az ortogonális függvényrendszerek elméletében, a Fourier-analízisben és a geometriában is, alkotó munkájának legfontosabb területe azonban a Hilbert- és Banach-térbeli lineáris operátorok elmélete. Szállóigévé vált az a jellemzése, mely szerint „ő tudja a világon a legtöbbet abból, amit egy lineáris operátorról tudni lehet”. Ciprian Foiaşsal, az utóbbi évtizedekben az Egyesült Államokban élő román matematikussal közös kutatásainak számos nagy jelentőségű eredményét tartalmazza *Analyse harmonique des opérateurs de l'espace de Hilbert* című monográfiájuk. E könyv Szőkefalvi-Nagy Bélának abból a tételéből nőtt ki, hogy a Hilbert-tér minden kontrakciójának van unitér dilatációja, és az egyik legfontosabb fejezete a teljesen nemunitér kontrakciók unitér ekvivalens modelljének megadása.

Szőkefalvi-Nagy Béla 1947-től évtizedeken keresztül szerkesztette az *Acta Scientiarum Mathematicarumot*, gondoskodva magas szakmai színvonaláról, igényesen fejlesztve technikai színvonalát is. Alapító főszerkesztőként vett részt 1975-ben a hazai és a szovjet tudományos akadémia *Analysis Mathematica* című közös folyóiratának a megindításában. Folytatta Riesz és Haar hagyományait a könyvtár építésében, felhasználva nagy nemzetközi tekintélyét és szakmai kapcsolatait. Komolyságot és fegyelmezettséget sugalló, respektust ébresztő, de nem megközelíthetetlen személyiségének nagy szerepe volt az intézet eredeti szellemének megőrzésében, a tudomány és az oktatás primátusának fenntartásában a változó társadalmi körülmények között.

Az 1945/46. tanév közben Riesz Frigyeset meghívták és kinevezték a budapesti tudományegyetem újraélesztett III. sz. Matematikai Tanszékére, az egykori „Suták-tanszékre”, tanszékvezető egyetemi tanárnak. Ezzel Riesz régi vágya teljesült. Neve e tanszékkel kapcsolatban már 1936-ban, Suták nyugdíjazásakor is felmerült. Neumann János akkor erről így írt Ortvaýnak: „Kár volna, ha Szeged, amely eddig egy lényeges matematikai centrum volt, tovább gyöngülne...” Akkor a tanszéket takarékoságból nem töltötték be, Szeged szerencséjére. Most Riesz a kinevezést örömmel elfogadta, de a tanév végéig Szegeden maradt, hogy mint prorektor (vagyis az előző év rektora, s ebből kifolyólag a rektor helyettese), eleget tehessen feladatainak. Személyében a magyar matematika csak Bolyai Jánoshoz mérhető nagysága távozott el városunkból, amelyet az itt töltött negyedszázad alatt, munkatársainak élén, a világ elismert matematikai kutatóhelyeinek egyikévé fejlesztett. Utódja Kalmár László lett, a felsőbb mennyiségtan ny. r. tanáráként, majd a Bolyai Intézet igazgatójaként.

Az utóbbi tisztséget Riesz távozása után egy ideig Szőkefalvi Nagy Gyula töltötte be. 1948-ban a Bolyai Intézet az újra létrehozott Ábrázoló Geometriai Intézettel bővült, amelynek Szőkefalvi-Nagy Béla lett ny. r. tanára. A háború utáni években Rédei munkatársa, majd Kalmár tanársegédje volt az 1948-ban Debrecenbe került, korán elhunyt neves algebrista, Szele Tibor. Ugyancsak a Bolyai Intézetben dolgozott Aczél János és Fáry István, akik tudósi pályájukat később az Újvilágban folytatták. Említésre méltó, hogy 1947-ben Szegeden alakult meg és két évig szegedi központtal működött a matematikusok országos egyesülete, a Bolyai János Matematikai Társulat. Első elnöke Rédei László volt.

1949-ben a felsőoktatást jelentősen átszervezték. Az erre vonatkozó kormányrendelet többek között úgy intézkedett, hogy a Szegedi Tudományegyetem matematikai és természettudományi kara „Természettudományi Kar” elnevezéssel folytatja működését, másrészt egyéb új szakok között elvben az alkalmazott matematikus képzést is lehetővé tette – Szegeden ez 1957-ben indul meg. Ugyanez a rendelet megszüntette az Országos Tanárképző Intézetet is. 1950-ben Kalmár, Rédei és Szőkefalvi-Nagy Béla javaslatára a Bolyai Intézetet alkotó három intézet hivatalosan megszűnt, és 1967-ig egységes Bolyai Intézetként működött tovább. Négy professzorának státusa továbbra is „tanszékvezető egyetemi tanár” maradt.

Míg 1950-ig a matematika szakos egyetemi hallgatók száma egyetlen évben sem haladta meg a húszat, ettől kezdve száz körüli létszámú matematika-tanárjelölt évfolyamok jelentek meg az egyetemen. Az intézet kinőtte a Szukováthy téri (mai nevén Ady téri) épületben majdnem negyedszázadon át elfoglalt eleinte kényelmes helyét, s 1952 végén mai helyére, a városi kegyesrendi gimnázium korábbi helyére, az Aradi vértanúk tere 1. szám alatti épület első emeletére költözött, a második emeleten pedig tágas tantermeket és tanulószobákat kapott. A termeket kiemelkedő magyar matematikusokról nevezték el: a Bolyaiak, Riesz Frigyes, Fejér Lipót, Haar Alfréd és Keréjkjártó Béla mellett termet kapott az egykori kolozsvári iskola két nagy öregje, Farkas Gyula és Vályi Gyula, valamint a fajgyűlölet által fiatalon a halálba küldött kiváló tehetségű szegedi diák, Grünwald Géza is. Az egyetemi köznyelvben ettől kezdve magát az épületet is csak „a Bolyai”-ként emlegetik. Ma már az épületnek a hivatalos neve is Bolyai épület.

1953-ban hosszú betegség után, előadásait élete utolsó napjáig megtartva, elhunyt Szőkefalvi Nagy Gyula. Vérbeli geométer volt és példamutatóan lelkiismeretes tanár. *A geometriai szerkesztések elmélete* c. könyve mellett nevéhez fűződik a maximális indexű görbék elméletének megalapozása. Eredményesen dolgozott a klasszikus algebra és a síkgeometria határterületén is. Oktató-

munkájának pótlására 1956-ban az intézet tagja lett Moór Arthur, a differenciálgeometria kitűnő művelője, aki 1968-ben a soproni egyetemre ment át. Rajta kívül jeles budapesti geometérek is dolgoztak Szegeden, név szerint Soós Gyula, és – hosszú időn át – Szenthe János. A Geometriai Tanszék betöltésére csak 1975-ben került sor, amikor az intézet az akkor feltűnt kiemelkedő tehetségű fiatal budapesti matematikust, Lovász Lászlót hívta meg a tanszékre.



7. ábra. Lovász László

*Lovász László 27 évesen lett a Geometriai Tanszék vezetője. Bemutató előadása méltó volt kitűnő elődjéhez és önmagához. A nagy Gauss az 1820-as években vetett fel egy, zárt térgörbék síkra való vetületének bizonyos kombinatorikai tulajdonságára vonatkozó problémát, amelynek megoldásában először Szőkefalvi-Nagy Gyula ért el számottevő előrehaladást 1927-ben, Lovász pedig első szegedi előadásában ennek a problémának a teljes megoldását mutatta be.*

*Már elsőéves egyetemi hallgatóként ismertté vált Jónsson és Tarski egy nevezetes algebrai problémájának megoldásával, ma pedig a legnagyobb nemzetközi megbecsülésnek örvendő hazai matematikus, a közelmúltig az Eötvös Loránd Tudományegyetem matematikai intézetének igazgatója, ma pedig a Magyar Tudományos Akadémia elnöke. Őt elsősorban a kombinatorika, és a számítástudomány egyik matematikai háttértudománya, a bonyolultságelmélet kiemelkedő tudósaként tartanak számon, de az elméleti és az alkalmazott matematika más területein is maradandót alkotott. Szegeden érte el fontos eredményeit – többek között – gráfok információkapacitásáról, valamint a racionális számtest feletti polinomok szorzatra bontásának algoritmusáról. Itteni évei alatt választották az Akadémia levelező tagjává (1979). Ugyancsak szegedi időszakában nyerte el első jelentős nemzetközi elismeréseit, a Pólya-díjat*

és a Fulkerson-díjat. Itt írta *Combinatorial Problems and Exercises* című rendkívüli hatású könyvét is. Később a Yale Egyetem professzora és a Microsoft kutatóközpontjának főmunkatársa volt. A matematikai kutatásokért odaítélhető legnagyobb nemzetközi kitüntetések közül a Wolf-díjat 1999-ben, a Kyoto-díjat 2010-ben kapta meg. 2006-ban négy évre a Nemzetközi Matematikai Unió elnökévé választották.

Részletek Staar Gyula beszélgetéséből Lovász Lászlóval 1979-ben. (A megélt matematika c. interjúkötetből, amely 1990-ben jelent meg.)

...Az a terület, amely engem igazán érdekel: az úgynevezett kombinatorikus optimalizáció. A kombinatorikus vagy diszkrét optimalizálás esetén egy véges halmaz elemei közül kell az optimálisat kiválasztani bizonyos „cél-függvény” ismeretében. Tipikus feladat például a következő. Vannak anyagot termelő vállalatok, és vannak olyanok, amelyek feldolgozzák azok termékeit. Melyik vállalat szállítson melyik feldolgozónak? Minden vállalathoz hozzá szeretnénk rendelni egy felvevőhelyet. ... Természetesen a leggazdaságosabb megoldást akarjuk választani (például ne szállítsunk túl messzire). Meg kell fogalmaznunk tehát egy célfüggvényt, amely kifejezi, hogy egy hozzárendelésnek mikor mennyi a gazdaságossága. Ezután az összes lehetséges hozzárendelés közül kiválasztjuk a számunkra legelőnyösebbet.

A hagyományos matematikában erre könnyen rámondták: véges sok hozzárendelés, tessék megvizsgálni egyenként mindegyiket! A kombinatorika fejlődésének végső soron az adott nagy lendületet, hogy ennek a mondásnak nincs értelme. A leggyorsabb számítógépeink sem képesek az összes lehetséges hozzárendelést végigvizsgálni, mondjuk csak ötven vállalatra. Módszert kell tehát találnunk, amely a feladat speciális struktúrája alapján kiválasztja a legjobb hozzárendelést.

*A matematikának erre a területére igazán senki nem mondhatja, hogy nincs gyakorlati haszna.*

Igen, de ez a felfogás veszélyt is rejt magában. Könnyen rámondjuk valamire, ez alkalmazott terület, és azután mindentől, amit itt csinálunk, elvárjuk, hogy közvetlen gyakorlati haszna legyen. Az alkalmazhatóság indokolja a terület általános fejlesztését, de nem jelentheti azt, hogy csak olyan témával foglalkozzunk, amelynek forintban mérhető haszna van. Ez hibás szemlélet, mert éppen az alkalmazható területek általános fejlődését gátolja.

*Mi magyarázza a diszkrét matematikának manapság tapasztalható gyors fejlődését?*

Minden tudományág akkor fejlődik, ha olyan feladatok megfogalmazására képes, amelyek egyrészt megoldhatók, másrészt nem túl triviálisak. Úgy látom,

hogy napjainkban az egész társadalom mind bonyolultabb szervezettsége a forrása az ilyen feladatoknak, amelyek eléggé nagyok ahhoz, hogy kézzel megoldhatatlanok legyenek.

A kombinatorikai, gráfelméleti problémák eddig kicsit a levegőben lógtak. Azt mondhatták: a gyakorlat adta feladatok vagy éppenséggel fejtörők, amelyek megoldhatók végignézéssel, egyedi ötletekkel, azokhoz nem kell elmélet. A tétel, az elmélet olyan számításigényes feladatoknál kezd érdekessé válni, amelyeket a legjobb egyedi ötlettel sem tudunk megoldani. A számítógépek éppen kitolták a határt addig, hogy ma már az elmélet bő táptalajba került. A megoldásokhoz komoly, mély matematikai módszerek kellenek.

*...Az a látszat, mintha csak nehéz kérdések foglalkoztatnának.*

Nem tudom, így van-e. Az embert kétségkívül jobban sarkallja az olyan probléma, amely hosszabb ideje állta az ostromlók rohamát. Tapasztalataikból egy kis rutinmunkát megszórolhatunk. Az ismert fogásokat, módszereket ők már végigpróbálták, és többnyire az is kiderül, miért nem jutottak helyes megoldáshoz.

*...Fiatalon, huszonhét évesen lettél a szegedi József Attila Tudományegyetem tanszékvezető tanára. Hogyan kerültél Szegedre?*

A József Attila Tudományegyetemen már régóta kerestek tanszékvezetőt a geometriai tanszék élére. Engem is megkeresett Leindler László akadémikus. Nem mondom, hogy töprengés nélkül, de végül is elfogadtam az állást. A feleségem családja és az enyém is Budapesten élnek, nehéz volt elszakadni tőlük. Megvallom, kicsit félttem is. Ma már örülök, hogy Szegeden élek és dolgozom.

*A főváros „légköre” nem hiányzott az alkotó munkához?*

Azt hiszem, alkotó munkára sok szempontból alkalmasabb Szeged. Intézetünk légköre is új eredmények elérésére serkent...

Lovász Szegedre költözött, és saját kutatási irányai bevezetése mellett univerzális matematikusként a klasszikus geometriai kutatási irányokat is támogatta (így például Szilassi Lajos és Juhász Rozália meglepő intuitív geometriai eredményeinek megszületésénél is bábáskodott). A tanszéket 1982-ig vezette, amikor az Eötvös Loránd Tudományegyetem professzora lett. Távozása után a tanszék vezetésére Nagy Péter kapott megbízást. Differenciálgeometriai kutatásainak széles spektruma a Riemann-sokaságoktól a hálózatok és szövetek csoportokkal és loopokkal való kapcsolatainak vizsgálatáig terjedt. 1995-ben a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemre távozott. Utána rövidebb ideig Kincses János, Hajnal Péter, majd Simányi Nándor volt a Geometriai Tanszék vezetője. 2000-től a jelképes stafétát Kurusa Árpád kezében van.

Hajnal Péter a Szegeden Lovász által megindított gráfelmélet avatott kutatója, Kincses elsősorban a konvex geometria terén végzett eredményes vizsgálatokat. Simányi a dinamikai rendszerek (ezen belül főleg az absztrakt billiárd)



elméletének kitűnő szakembere; ő 2000-ben az Egyesült Államokba költözött, ahol ugyancsak egyetemi tanárként dolgozik. Kurusa a Radon-transzformációk eredményes kutatója.

Az 1967. évben a „Bolyai Intézet” négy tanszék gyűjtőneve lett. Hivatalosan ekkor alakult meg az Analízis Tanszék Szőkefalvi-Nagy Béla vezetésével, az Algebra és Számelmélet Tanszék Rédei László vezetésével, továbbá a Matematika Alapjai Tanszék (1970-től A Matematika Alapjai és Számítástechnikai Tanszék, majd a következő évtől Számítástudományi Tanszék) Kalmár László vezetésével, valamint a Geometriai Tanszék Szőkefalvi-Nagy Béla mint megbízott vezetésével.

Rédei László 1967 végén Budapestre költözött, mivel az MTA Matematikai Kutató Intézete Algebrai Osztályának vezetőjévé nevezték ki. Rédei után 1968-tól 1972-ig, majd 1974-től 1993-ig az Algebra és Számelmélet Tanszékét **Csákány Béla** vezette, meghonosítva eközben az univerzális algebrai vizsgálatokat, amelyeknek a tanszéken elismert műhelye alakult ki. 1972-től 1974-ig Gécseg Ferenc, 1993 után Megyesi László, Czédli Gábor és **Bálintné Szendrei Mária** vezette és ő vezeti ma is a tanszékét.

Gécsegről e kötet egy másik fejezetében részletesen esik szó. Megyesi Rédei Lászlónak és kivételes képességű szegedi munkatársának, Pollák Györgynek közös tanítványa, a félcsoportok eredményes kutatója. Czédli a hálóelmélet fiatalon meghalt kiemelkedő tehetségű kutatójának, **Huhn Andrásnak** a tanítványa, ma a szakterület egyik vezető hazai reprezentánsa. Pollák volt a mestere Bálintné Szendrei Máriának is, aki vezető szaktekintély a reguláris félcsoportok és általánosításaik témakörében, emellett ő a főszerkesztője a Bolyai János Matematikai Társulat *Periodica Mathematica Hungarica* című, a Bolyai Intézetben szerkesztett nemzetközi folyóiratának. Zádori László már az univerzális algebrai műhely harmadik generációjának tagja, a most tartósan az Egyesült Államokban dolgozó, szakterülete élcsapatához tartozó **Szendrei Ágnes** tanítványai közé tartozik.

1971-ben a tanszéki szerkezet újból módosult. Létrejött az Analízis Alkalmazásai Tanszék, Tandori Károly vezetésével. A Számítástudományi Tanszékről pedig levált a Halmazelméleti és Matematikai Logikai Tanszék; vezetője Fodor Géza lett.

Kalmár László 1975-ben vonult nyugalomba. Visszavonulását követően tanszékét **Gécseg Ferenc** vezette. Ő kezdeményezte és honosította meg az automaták algebrai elméletére, majd a formális nyelvek elméletére irányuló kutatásokat. A tanszék 1990-ben az Informatikai Tanszékcsoport megalakulásával kivált a Bolyai Intézetből. (Gécseg és tanítványai munkásságának részletesebb bemutatását lásd e kötetnek az Informatikai Tanszékcsoporttal foglalkozó fejezetében.)

**Fodor Géza** idő előtt, 1977-ben hunyt el. Nevét a kombinatorikus halmazelmélet két jelentős tétele viseli. Ezek egyike a stacionárius halmazok elméletének a kialakulásához vezetett, amelynek nagy előfutárai voltak Alekszandrov és Urysohn. A másik Fodor-tétel a halmazleképezések Turán Pál kezdeményezte elméletének egyik alapvető megállapítása: alacsony végtelen) rendű halmazleképezés értelmezési tartománya előáll legfeljebb ugyanolyan alacsony számosságú független halmaz egyesítéseként. Fodor Géza tanszékét Leindler László vette át, majd 1990-től Totik Vilmos vezeti.



8. ábra. Totik Vilmos

***Totik Vilmos** az ország távoli sarkában, a szigetközi Ásványráló községben nevelkedett, de a matematikus szakot már a szegedi egyetemen kezdte. Miután két egymás utáni évben megnyerte az egyetemi hallgatók Schweitzer Miklós Emlékversenyét, Leindler, Tandori és Szőkefalvi-Nagy Béla professzorok tanítványaként a Riesz Frigyessel indult szegedi analízis-iskola újabb kiemelkedő reprezentánsává vált. (Egyelőre zárójelben említjük meg itt legjobb tanítványa, Varjú Péter nevét, aki a Schweitzer-versenyen mesterével megegyező bravúrral szerepelt.) Harminchárom évesen Totik Vilmos már maga is egyetemi tanár; 1989-től mindmáig Szeged mellett a Dél-Floridai Egyetemnek is állandó professzora.*

*Kutatási irányait – részben társszerzőkkel írt – monográfiái jelzik (**Moduli of Smoothness, General Orthogonal Polynomials, Weighted Approximation with Varying Weights, Logarithmic Potentials with External Fields, Metric properties of harmonic measures**), **Problems and Theorems in Classical Set Theory** amelyek a legnagyobb tudományos kiadóknál jelentek meg (Springer-Verlag, Cambridge University Press).*

Részletek Sulyok Erzsébet beszélgetéséből Totik Vilmossal.

(Az *Aranymosás* című interjúkötetből, amely 1995-ben jelent meg.)

*Totik professzort negyvenéves korában a szakma egyöntetű javaslata alapján választották az akadémikusok sorába. Tanszékvezető egyetemi tanár. A tanév egyik felében itthon, a másikban a floridai Tampa egyetemén tanít.*

*Nem nehéz ügy ez? Januártól áprilisig minden évben Floridában?*

Érdekes, hogy ezt kérdezi, inkább a dolog előnyeit szokták firtatni.

*Először azt akartam kérdezni, miért nem marad kint végleg, ahelyett, hogy ingázik. Mert Florida jobb hely lehet, mint Szeged.*

Minden viszonylagos. Vannak előnyei és hátrányai ... Tanítani nagyon szeretek. Nemcsak a szűken vett szakterületemet, hanem a matematika egyéb ágait is szívesen tanítom, mert azt tartom, annál jobb, minél szélesebb területeket tud átfogni az ember. Az analízis mellett számelméletet, matematikai logikát, kombinatorikát, halmazelméletet oktatok vagy itthon, vagy kint. Jó kikapcsolódás. És persze értelmes szakmai befektetés, hiszen ha más diszciplínákból is felkészült vagyok, nemcsak a saját szűk kutatási területemből, ha átfogóan is látom a dolgokat, megvan az esélyem, hogy nem veszítem el az összefüggéseket, bármilyen speciális részlettel foglalkozom is mélyebben. Az amerikai oktatói állás másik előnye: a szakmai kapcsolatok. Ezek, mint minden tudományterületen, a matematikában is nagyon fontosak – Florida ezt is jelenti. Másfelől mégis idegenben vagyok ott. Eleinte az egész család velem volt, de ahogy nagyobbak lettek a gyerekek, egyre nehezebben viselték a váltásokat. Egyébként már az elején eldöntöttük, hogy nem maradunk kint véglegesen. Itt vagyunk otthon.

*Angol tagozatos gimnáziumba járt?*

Nem, és matematikaóráim is csak néhányal volt több, mint az általános gimnáziumokban szokás. Csak egyetemista koromban kezdtem el angolul tanulni. A matematikai érdeklődésem is viszonylag késői, nyolcadikos koromban voltam először versenyen.

*Viszont egyetemista korában két alkalommal is első lett a Schweitzer-versenyen, ami – úgy mondják – nagyon nagy dolog.*

Ez a világon egyedülálló matematikai verseny, abban a tekintetben, hogy nem korcsoportos, hanem minden évfolyam hallgatói, sőt még a frissen végzettek is nevezhetnek. A feladatokat, amelyeket különböző diszciplínákból válogatnak, kifüggesztik; az ember hazaviszi, és tíz napja van rá, hogy mindegyiket megoldja. Kemény tíz napok ezek, mert nem elég a legszélesebb matematikai érdeklődés – mindegyik feladat különlegesen nehéz. Őszintén szólva ma is arra vagyok a legbüszkébb, hogy kétszer első lettem a Schweitzeren.

*Az a matematikai tehetség, aki a matematika minden ágában otthonos, vagy az, aki egyetlen részterületen a legmélyebbre ás?*

Nehéz megmondani. Még az sem biztos, hogy a jól versenyző diákból jó matematikus lesz, bár erős a korreláció.

*Meg lehet-e tervezni egy matematikai kutatói pályát?*

Nem tudom, más tudományokban lehetséges-e afféle öt éves terveket csinálni, de a matematikában ez végképp nem megy. Amíg az ember a végére nem jut, sose lehet biztos benne, hogy képes megoldani egy problémát. Egyébként is a magyarázat a lényeg ebben a tudományágban: az, hogy miért van úgy valami, ahogyan van.

*Igaz-e, hogy a matematikusok igazából sose tudnak kikapcsolódni? Hogy mindig az aktuális magyarázat jár a fejükben?*

Nekem semmi sem jár a fejemben például kapálás közben a kertben. Ha csak az nem, hogy miért nincs szerencsém a fűvel... Gyönyörű a termés, nagy a sikerélmény – csak a fű nem nő. Egyébként... tökéletesen kikapcsolódom a kertben, és élvezem, milyen könnyedén érek el megfogható, sőt megehető eredményt.

*Negyvenéves korára mindent elért, amit egy komoly kutató célul tűzhet ki magának – kivéve a kerti gyepszőnyeget. Nem gondolja, hogy pihenhetne egy kicsit a babérokon?*

Nem létezik az a laikusok által elképzelt nagy tudós, aki csak üldögél a szobájában és élvezzi az őt körülvevők tiszteletét. Egyébként sem szeretnék semmittevés miatt idő előtt elbutulni. Tisztán látom, hogy mennyire parciális dolog, amit én létrehoztam, vagy ezután fogok létrehozni; csak remélhetem, hogy olyan érték, ami a matematika egészéhez egyféle hozzájárulás. És hogy a matematika olyasmi, ami az emberek boldogulásához képes hozzájárulni... Most eszembe jut még egy szép idézet – ezúttal a matematikusról: „A matematikus – miként a festő és a költő – mintákat alkot. Ha ezek időállóbbak, annak oka, hogy gondolatokból állnak.”

## A második triumvirátus utáni korszak

1983-tól Szőkefalvi-Nagy Béla már csak emeritus professzorként vett részt az intézet életében. Bár a legfontosabb intézeti eseményeken élete végéig megjelent, a mindennapos egyetemi tevékenységből való távozásával lezárult az intézet olyan, közel fél évszázados korszaka, amely színét és varázsát nem kis mértékben a „második triumvirátus” (Kalmár, Rédei és Szőkefalvi-Nagy Béla) jelenlétének köszönhette. Szőkefalvi-Nagy Béla utódai az Analízis Tanszék élén: Leindler László, Hatvani László és Kérchy László.



9. ábra. Tandori Károly

*Tandori Károly pályáját a Bolyai Intézetben Kalmár László tanársegédjeként 1949-ben kezdte, s az ortogonális függvényrendszerek elméletében hamarosan kiemelkedő eredményeket ért el. Az ezekhez tartozó konstans együtthatós sorok konvergenciájára vonatkozó sok évtizedes Rademacher–Menysov–Kaczmarz-féle elegendő feltételek szükségességét bebizonyítva pozitív monoton nem növekvő együttható-sorozatok esetére a kérdéskör végleges megoldását adta, s az általános esetben is megtalálta a konvergencia egy bonyolult, de elegáns szükséges és elegendő feltételét. Iskolateremtő egyéniség volt: számos tanítványa dolgozik tekintélyes professzorként a hazai egyetemeken. Nyugodt bölcsessége meghatározó szerepet játszott az intézet stabilitásában az elmúlt évtizedek során.*



10. ábra. Leindler László

*Leindler László már diákként kitűnt Tandori Károly és Menysov orosz professzor ortogonális sorok konvergenciájára vonatkozó tételeinek szintézisével; később a mondott terület egyik legeredményesebb kutatójává vált. A strukturális és az együttható feltételek ekvivalenciájának általános bizonyításával számos klasszikus tételt élesített. Nevéhez fűződik a Fourier-sorok erős approximációjának kidolgozása és a Hardy–Littlewood-egyenlőtlenségek általánosítása. Tanítványainak adott emlékezetes tanácsa minden fiatal matematikus számára megszívlelendő: „Ne legyetek tekintélytisztelők! A legnagyobb matematikai elméknek sem juthat eszébe minden. Hozzá kell fogni, és megcsinálni, ami nekik nem sikerült!”*



11. ábra. Hatvani László

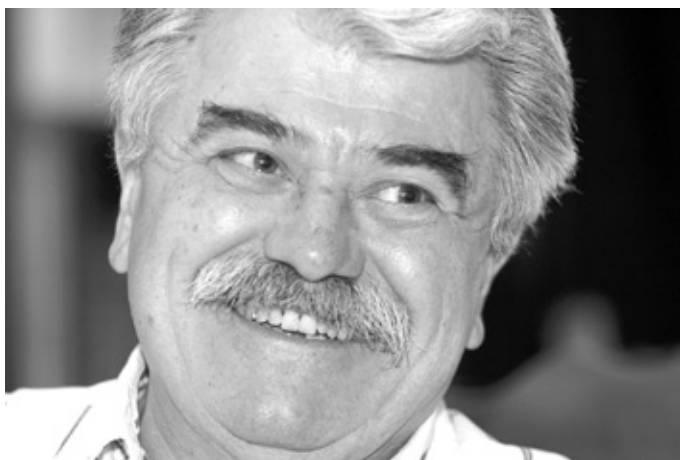
*Hatvani László a differenciálegyenleteket Pintér Lajos – a Bolyai Intézetben a hallgatókkal és tehetséges középiskolásokkal való foglalkozás ikonikus alakja – biztatására kezdte vizsgálni, és a differenciálegyenletek kvalitatív elméletének világviszonylatban is magasan jegyzett iskoláját alapította meg. Amerikai kollégájával, Theodore A. Burtonnal együtt 1998-ban indították el az *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations* online folyóiratot nemzetközi szerkesztőbizottsággal (a folyóirat központja a Bolyai Intézet, de az Európai Matematikai Társaság tüköroldalairól is letölthető). 2002-ben végleges választ adott a funkcionál-differenciálegyenletek stabilitáselméletének egy központi problémájára.*

**Kérchy László** Szőkefalvi-Nagy Béla tanítványa és művének folytatója: a mestere és annak másik kiváló tanítványa, Ciprian Foias által kitűzött irányban haladva a Hilbert-tér operátorait, elsősorban a kontrakciókat vizsgálja. Nincs már köztünk egy korábbi Szőkefalvi-Nagy-tanítvány, Durszt Endre.

1995 után Tandori Károly, a két triumvirátust követő korszak kimagasló tudós- és tanáregyénisége is emeritus professzor lett. Az Analízis Alkalmazásai Tanszéken utódja 2001-ig tanítványa, Móricz Ferenc volt; abban az évben a tanszék kettévált Sztochasztika, ill. Alkalmazott és Numerikus Matematikai Tanszékre. Az utóbbit Móricz professzor 2004-ig vezette; őt Krisztin Tibor követi.

**Móricz Ferenc** munkássága az analízis számos területére kiterjed; legjelentősebb eredményeit az approximációelméletben és a Fourier-analízisben érte el. Jelenleg ő a magyar főszerkesztője a Magyar és az Orosz Tudományos Akadémia *Analysis Mathematica* nevű, a Bolyai Intézetben szerkesztett közös folyóiratának, s e minőségében az alapító főszerkesztő Szőkefalvi-Nagy Béla utóda. **Krisztin Tibor** már a Hatvani-iskolában nevelkedett, és mára maga is a funkcionál-differenciálegyenleteknek világszerte ismert műhelyét hívta életre.

A Sztochasztika Tanszéket alapítója, **Csörgő Sándor**, korai haláláig, 2008-ig vezette. Utóda a Debrecenből Szegedre költözött **Pap Gyula** lett, a valószínűségi számítás és matematikai statisztika kiváló kutatója és tanára. E tanszék további professzorai Krámlí András és Major Péter.



12. ábra. Csörgő Sándor

*Csörgő Sándor, a Heves megyei Egerfarmos község ötödik egyetemre került gyermeke nagy ívű tanári és kutatói pályát futott be. Tandori professzor tanítványaként, Kijevben folytatott tanulmányok után, a fiatal matematikusoknak adható hazai kitiüntetések mind elnyerte, és Szegeden létrehozta a sztochasztikának egy már kezdetekor is erős műhelyét. 1987-ben egyetemi tanári kine-*

vezést kapott. Az 1989 utáni évtizedben Ann Arborban a Michigan Egyetem professzora volt, majd a szegedi egyetemre visszatérve vált – Erdős Pál és Lovász László mellett – az egyik legtermékenyebb és legtöbbet idézett magyar matematikussá.

*A valószínűségszámítás és a matematikai statisztika kiemelkedő kutatója volt: megalkotta az empirikus karakterisztikus függvények valószínűségelméletét, megkezdte a cenzúra alatti empirikus folyamatok approximációs elméletének kiépítését, és új szempontból vizsgálva a közel háromszáz éves klasszikus szentpétervári paradoxont eljutott annak feloldásához.*

*Szuggesztív tanáregyéniség volt: tehetséges diákok egész sorát indította el a kutatói pályán. A hazatérése utáni évtizedben a Bolyai Intézet életében, fejlesztésében meghatározó szerepet játszott. 2001-ben az MTA levelező tagjává választotta, majd 2007-ben rendes taggá. A Szegedért Alapítvány fődíját 2007-ben nyerte el. A következő évben számára odaítélt Széchenyi-díjat már nem vehette át.*

Részlet Bátyi Zoltán beszélgetéséből Csörgő Sándorral. (Megjelent a Szeged folyóirat 2007. márciusi számában.)

*...Amikor hellyel kínált könyvekkel kibélelt szobájában, a jegyzetlapokon... nem csupán egy világszerte elismert matematikus portréja rajzolódott fel, hanem egy olyan magyar emberé is, akit jó néhányszor próbára tett a huszadik század.*

*...A tisztaság eszménye utáni vágyakozásból választottam ezt a tudományt. Politikamentes tanulásra vágytam. Orvos nem akartam lenni, a mérnöki munka mibenlétéről fogalmam sem volt, és rájöttem, a kémiában is az tetszik, ami matematikával leírható. Így aztán – talán akkor már matematikával foglalkozó bátyám távoli példájának hatására is – a matematika mellett döntöttem. Budapestre nem mertem jelentkezni, mert félttem, ott olyan helyzeti előnnyel rendelkező diákok közé kerülök, hogy elveszhetek. Maradt Debrecen és Szeged, s e két város közül már könnyű volt választanom, ugyanis a Kanadából érkezett családi észlelet szerint a szegedi matematikai iskola olyan híré volt, hogy esélyt sem adott a szép nagyerdei kampusznak.*

*Szegeden, kiválóságok előadásait hallgatva egyre inkább kialakult bennem a vágyakozás: kutató matematikusként szeretném leélni az életem. Ötöd-éves koromra már annyira elmélyedtem a sztochasztikában, amit akkoriban a Bolyai Intézetben kutatóként senki nem művelt, hogy munkámra felfigyelt Tandori professzor, és az ő támogatásával Szőkefalvi-Nagy professzor gyakorlonoki állást kínált fel.*

*1972-ben Szkorohod kijevi professzor aspiránsa lett, aki a sztochasztikus matematika egyik legnagyobb alakja. ...Peregtek az évek, és Csörgő professzor*



*neve is ismertté vált a határokon túl. 1989-ben – mint ő fogalmazott tréfásan – a szabadság elől menekült el Amerikába.*

Soha nem gondoltam arra, hogy a tengerentúlon éljem le az életemet. Én ebben az országban és Szeged városában érzem itthon magam. Egerfarmos továbbra is fontos számomra, de ma már ugyanennyire fontos az is, hogy a Tisza partján gyökeret tudtam verni, az itt élőkben sok kiváló embert ismerhettem meg. ...Mivel időm legnagyobb részét a matematika világába zárva töltöm, úgy is mondhatom, az egyetem ablakából szemlélem ezt a várost. De Szeged innen, a Bolyai Intézetből nézve is szépen fejlődő, élhető, szerethető település.

...A magyar matematikai iskola azért válhatott híressé a határokon túl is, mert a tehetséggondozásra már több mint egy évszázaddal ezelőtt nagy súlyt fektettek. Ezt a hagyományt szeretném magam is folytatni. ...Tudom, nyitott világunkban számos dolog elcsábíthatja a matematikától a diákot. Ugyanakkor azt is látni kell, talán soha nem volt szükség annyi kiválóan képzett matematikusra, mint éppen a XXI. században. Hiszen nézzünk csak körül a világunkban – a minket kiszolgáló gépek, a számítástechnika, az űrkutatás, az életünket teljesen átalakító világháló, vagy majd az ezután jövő, személyes genetikai alapokra épülő orvostudomány és a természet- és társadalomtudományok többsége nem tudna megélni, fejlődni a matematikai kutatások eredményei nélkül. A pénz körül forgó hétköznapijainkban a bankok, a tőzsdék, a biztosító társaságok is mind nagyobb igényt tartanak a matematikusok szolgálataira. Hogyan is tervezhetnénk egy szebb, kényelmesebb, élhetőbb jövőt a gondolkodás matematikai racionalitása nélkül?

*...Milyen képletet állítana fel ahhoz, hogy ez az álmodott jövő el is következék?*

...A mindennapi élet intézményeinek – legyen szó közigazgatásról vagy oktatásról – függetlenné kell válni, valamilyen épeszű egyetértés alapján. Csak így lehet olyan hazát teremteni, amelyben az emberek többsége megtalálja a boldogulásához vezető utat, valóban az igazi tehetség érvényesülhet, és a tehetséggel és tisztességgel elvégzett munkából meg lehet élni. Nagy a veszély – e nélkül elveszíthetjük a legtehetségesebbjeinket. A fiatalok természetesen vágyódnak el, hogy megismerjék más népek nyelvét és kultúráját, dolgozni tudását és szórakozását. De én olyan országban szeretnék élni, ahová mindezzel a tudással és tapasztalattal vissza is térnek, mert itthon igazán otthon lehetnek, mert itthon vannak igazán otthon.

A kezdetektől 1957-ig az intézetben csak a matematika–fizika szakos középiskolai tanárok hagyományos képzése folyt (egyes évfolyamok „másfélszakosak” voltak, matematika főtárggyal és fizika melléktárggyal, illetve

fordítva). Mint említettük, az évfolyamok korábbi csekély létszáma 1950-től kezdett növekedni; 1951-ben pl. 120 hallgató kezdte meg tanulmányait a szóban forgó szakokon. 1957-től 1970-ig matematika–ábrázoló geometria szakos tanárokat is képzett az intézet. 1965-ben indult meg a matematika–földrajz szakos tanárok képzése.

A nyolcvanas években a leendő tanárok nagyobb szabadsághoz jutottak szakjaik megválasztásában: megjelentek a matematika–kémia szakosok, a kétszakos matematika-tanárjelöltek pedig a számítástechnikát is felvehették harmadik szakként. A kilencvenes években nyílt lehetőség egyszakos matematika–tanárok, valamint kétszakos matematika-számítástechnika tanárok képzésére. Ugyanekkor már bölcsészhallgatók is szereztek matematika tanári képesítést (idegennyelv-, ill. filozófia–szakosok).

Az informatikus–képzés (különböző elnevezésekkel) 1957-től folyamatosan egyik fő feladata az intézetnek – 1990-től már az akkor létrejött Informatikai Tanszékcsoport (más néven Kalmár László Intézet) irányítása mellett. 1957-ben Kalmár László indította el – az első évben három hallgatóval – a matematikatanár–alkalmazott matematikus képzést, hangsúlyos számítástudományi tartalommal. 1963-tól önálló matematikusszak indult (addig a leendő matematikushallgatókat a két tanulmányi évet sikeresen teljesített tanárjelöltek közül választották ki). Az ezen a szakon végzett hallgatók úgyszólván mind informatikusként helyezkedtek el, bár ezt a szót akkor még nem használták. A rohamosan növekvő szakemberszükséglet kielégítésére 1972-ben indult meg a hároméves programozómatematikus-képzés, amely főiskolai végzettséget tanúsító oklevelet nyújtott. Egyidejűleg a matematikushallgatók létszáma is nőtt, pl. 1975-ben 44 matematikus végzett (oklevelükbe szakjukként már a hetvenes években „programtervező matematikus” került), valamint 38 programozó matematikus. Ez a két szak 1979-től egyetlen kétlépcsős (3+2 éves képzési idejű) programozó-programtervező szakká egyesült. Ezzel egyidőben indult el a kis létszámú „modellalkotó matematikus” szak; ez a kutatóképzést szolgálta. Mivel a végzett hallgatók egyre növekvő mértékben helyezkedtek el gazdasági munkakörökben, indokoltá vált a közgazdasági programozó-programtervező matematikus-képzés megindítása (1988-tól, közösen a budapesti közgazdaságtudományi egyetemmel).

Jóllehet a vizsgáztatás szigorúsága az évtizedek során keveset változott, és a matematikai szakok valamelyikét elkezdő hallgatók közül jó néhányan – éppúgy, mint a korábbi évtizedekben – továbbra is menetközben módosítják pályájukat, az intézet által kibocsátott szakemberek száma nagymértékben emelkedett. A tendenciát jól mutatja néhány adat: míg 1965-ben 36 tanárjelölt mellett 8 matematikus szerzett oklevelet, 1980-ban a sikeresen végzett tanárok

száma 39 volt, emellett 44 programtervező matematikust és 30 programozó matematikust bocsátott ki az intézet (az utóbbiakat az időközben megerősödött Kibernetikai Laboratórium tevékenységére is támaszkodva). 1995-ben pedig 57 matematikatanáron és 9 (nem informatikai szakirányú) matematikuson kívül 70 programtervező és 50 programozó matematikus fejezte be tanulmányait egyetemünkön, az utóbbiak már az Informatikai Tanszékcsoporthoz tartoztak és vele összehangolva végzett oktatómunka eredményeként; közülük is 34 az említett közgazdasági matematikusképzés keretében.

A háború után a hatvanas években kezdtek újra megnyílni a találkozások lehetőségei külföldi kollégákkal. Személyes eszmecserekre – a kétezres évek mércéje szerint – a két háború között is ritkán került sor; ezért pl. a George D. Birkhoff és Oliver D. Kellogg amerikai tudósok 1928. évi látogatásáról készült fénykép ma is az intézet féltett ereklyéi közé tartozik.



13. ábra.

Riesz, Kerékjártó, Haar, König D., Ortway  
Kürschák, G. D. Birkhoff, Kellogg, Fejér  
Radó, Lipka, Kalmár, Szász P.

Tény, hogy a „nagyok” mellett Kalmár, Lipka és Radó is részt vett a másutt már említett bolognai nemzetközi kongresszuson, s a harmincas években az akkori fiatalok közül Szőkefalvi-Nagy Béla és Rédei László hosszabb külföldi tanulmányútra mehetett; ez azonban inkább kivétel volt, mint szabály. A második

világháború s a következő két évtized sem kedvezett a nemzetközi kapcsolatoknak. Csak 1970 után válhattak rendszeressé a hosszabb-rövidebb tanulmányutak, a külföldi kongresszusok és konferenciák látogatása. Az intézet mai professzorai mind dolgoztak már – többen jelenleg is dolgoznak – vendégprofesszorként vagy vendégkutatóként külföldi egyetemeken, s hasonló érvényes a más beosztású oktatók jelentős részére. A látogatásokat a legkiválóbb külföldi tudósok viszonyozták, amiről az intézeti könyvtár négy évtized óta vezetett vendégkönyvének bejegyzései tanúskodnak. 1971 óta az intézet tanszékei rendszeresen szerveznek nemzetközi matematikai konferenciákat a matematika egyes szakterületeiről, esetenként a Bolyai János Matematikai Társulattal közösen, átlagosan évenkénti gyakorisággal. Ezek témái: univerzális algebra (1971, 75, 79, 83, 89), félcsoporthelmélet (1972, 76, 81, 87, 2000), algebrai automataelmélet (1973, 77), hálóelmélet (1974, 80), algebrai módszerek a gráfelméletben (1978), a differenciálegyenletek kvalitatív elmélete (1979, 84, 88, 92, 96, 99, 2003, 2007, 2014), matroidelmélet (1982), rendezett halmazok és hálók (1985), szövetgeometria (1987), intuitív geometria (1991), funkcionálanalízis (1993), hálók és univerzális algebra (1993, 96, 98, 2002, 2005, 2012), Szőkefalvi-Nagy Béla emlékkonferencia (operátorelmélet) (1999), Rédei László emlékkonferencia (algebra) (2000), algoritmikus komplexitás és univerzális algebra (2007). Konvex- és integrálegeometria 2012, Szőkefalvi-Nagy Béla centenáriumi konferencia (operátorelmélet) (2013), Járványterjedés modellezése (2014).

A nyolcvanas évek derekától a tudományos kutatások finanszírozása alapvetően pályázati rendszerben történik. Az intézet tagjai kezdettől fogva sikeresen vettek részt témavezetőként, ill. résztvevőként az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) és más hazai vagy nemzetközi intézmények által kiírt pályázatokon. E ténynek döntő szerepe van abban, hogy az intézet számítástechnikai eszközökkel megfelelően el van látva, könyvtára a kívánatos mértékben fejlődik, a munkatársak részt vehetnek fontos külföldi tudományos rendezvényeken, és tapasztalatokat gyűjthetnek elismert külföldi kutatóhelyeken. Ennek megvilágítására bemutatjuk az élő pályázatokat.

Az European Research Council öt évre 400 000 euró támogatást ítelt meg a Potential Theory projektnek (témavezető Totik Vilmos); ugyancsak öt évre 800 000 eurót biztosít az Epidelay projektnek (témavezető Röst Gergely; a téma a járványok elleni védekezés optimalizálása a funkcionál-differenciálegyenletek elméletének alkalmazásával). A Társadalmi Megújulás Operatív Program (TÁMOP; az Új Magyarország Fejlesztési Terv egyik programja) 2009-től 341 MFt-tal támogatta a Szenzorhálózat alapú adatgyűjtés és információfeldolgozás című kétéves projektet, amelynek menedzsere Maróti Miklós, és megvalósításában a Bolyai Intézet 16 munkatársa vesz részt. Jelenleg 5 TÁMOP

pályázatban vesz részt az intézet. Ezek a következő (zárójelben a projektmenedzserek): Ágazati felkészülés a hazai ELI projekttel összefüggő képzési és K+F feladatokra (Pap Gyula), Telemedicina fókuszú kutatások orvosi, matematikai és informatikai területen (Kurusa Árpád), Impulzuslézerek alkalmazása az anyagtudományban és a biofotonikában (Nagy Gábor), Tananyagfejlesztés... (Kosztolányi József, K. Horváth Eszter), Future ICT (Maróti Miklós, Röst Gergely). Az OTKA és a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal is támogatja az intézetben folyó kutatásokat az algebra, a differenciálegyenletek, a funkcionálanalízis és a kombinatorika területén (témavezetők az utóbbi években: B. Szendrei Mária, Czédli Gábor, Dénes Attila, Maróti Miklós, Zádori László, Kevei Péter, Krisztin Tibor, Kérchy László és Hajnal Péter).

Hangsúlyos említést érdemel az a magas színvonalú szakmai tevékenység, amely tanárszakos hallgatóink pályájukra való felkészítésére, valamint a fiatal tehetségek felfedezésére irányul. A tanárjelöltek felkészítésében a más helyen már említett és kiemelt Pintér Lajost korábban Berkes Jenő, majd Duró Lajosné segítette, ma pedig e munka dandárját meggyőző felkészültséggel és nagy energiával Kosztolányi József végzi. A hallgatók tudományos munkáját a Bolyai Intézet tudományos diákköre fogja össze, amelyet Fodor Ferenc vezet. Hallgatóink kiemelkedően szerepelnek nemzetközi matematikai versenyeken; részvételüket és felkészülésüket fiatal oktatóink és kutatóink szervezik és irányítják. A kilencvenes években a korábbi központosított aspiránsképzés helyébe az egyetemi intézetekben folyó doktoranduszképzés lépett; a Bolyai Intézetben e képzésben már eddig is 134 fiatal diplomás vett, illetve vesz részt. A számukra biztosított kutatási témák jegyzéke jól tükrözi az intézetben folyó jelenlegi sokrétű kutatási tevékenységet, és meggyőzően mutatja, hogy a matematika számos ágában – a két háború közötti időszakhoz hasonlóan – Szegeden ma is a kor legmagasabb színvonalán folytathatók tanulmányok. A doktoranduszok ott vannak a tanszékek évtizedek óta működő tudományos szemináriumain is, amelyek a régi funkcionálanalízis szemináriumok hagyományait folytatják, s amelyek leggyakoribb témái napjainkban az algebra és geometria különböző területeiről, valamint a közönséges differenciálegyenletek kvalitatív elméletéből kerülnek ki. Intézeti szeminárium is működik, általános érdeklődésre számot tartó matematikai témákkal.

A **Matematikai Doktori Iskolát** jelenleg **Czédli Gábor** vezeti, aki a korábbi egységes matematikai és informatikai doktori iskola vezetőjét, Hatvani Lászlót váltotta. Felsoroljuk a doktoranduszok számára ajánlott kutatási témák egy reprezentatív, bár nem teljes listáját, megemlítve a témavezetőket is. Ezzel egyben képet is nyújtva néhány jelenlegi kutatási területről. A jelen kutatási témáival egy külön fejezetben is foglalkozunk a későbbiekben.

**Algebra képzési program:**

- B. Szendrei Mária: *Reguláris félcsoportok és általánosításai. Véges inverz félcsoportok.*
- Czédli Gábor: *Kongruenciahálók és Malcev-feltételek. Kísérőhálók és lezárási operátorok.*
- *Hálók és kategóriák. Hálók néhány általánosítása.*
- Csákány Béla: *Diszkrét matematikai játékok és algebrai struktúrák.*
- Maróti Miklós: *Varietások és kvázivarietások. Reziduált hálók.*
- Szendrei Ágnes: *A klónháló szerkezete. Véges algebrák vizsgálata klón-elméleti eszközökkel.*
- Zádori László: *Klónok, relációk. Véges algebrák struktúraelmélete.*

**Analízis képzési program:**

- Kérchy László: *Hilbert-terek operátorai.*
- Leindler László: *Ortogonalis sorok, egyenlőtlenségek, függvényosztályok.*
- Móricz Ferenc: *Többszörös számsorozatok harmonikus közepeinek vizsgálata. Abszolút konvergens Fourier-sorok összegfüggvényének viselkedése.*
- Németh József: *Függvényosztályok jellemzése a Fourier-együtthatók nagyságrendjével.*
- Stachó László: *Banach-sokaságok és topologikus vektortereken modellezett sokaságok automorfizmuscsoportjai és ezek kísérő algebrai, ill. geometriai struktúrái.*
- Totik Vilmos: *Ortogonalis polinomok, polinom-egyenlőtlenségek és potenciálmélet.*

**Dinamikus rendszerek képzési program:**

- Csendes Tibor: *Nemlineáris optimalizálási feladatok automatikus egyszerűsítése szimbolikus eszközökkel.*
- Hatvani László: *Nemautonóm másodrendű differenciálegyenletek. Stabilitási problémák alkalmazásokkal.*
- Karsai János: *Élettudományi modellek számítógéppel segített vizsgálata.*
- Krisztin Tibor: *Funkcionál-differenciálegyenletek stabilitáselmélete. Nemlineáris dinamikus rendszerek attraktorainak vizsgálata.*
- Pusztai Béla Gábor: *Integrálható rendszerek.*
- Röst Gergely: *Nemlineáris dinamika a matematikai epidemiológiában.*

**Geometria, kombinatorika és elméleti számítástudomány képzési program:**

- Csirik János: *Tanulási módszerek az információ kinyerésében.*

- Dombi József: *Folytonos logikák vizsgálata.*
- Ésik Zoltán: *Algebra és logika a számítástudományban.*
- Fodor Ferenc: *Diszkrét és analitikus konvex geometria.*
- Fülöp Zoltán: *Súlyozott faautomaták és fatranszformátorok.*
- Gévay Gábor: *Politopális és nem-politopális celluláris gömbök. Perfekt politópok konstrukciója és vizsgálata.*
- Hajnal Péter: *Kombinatorikus és geometriai struktúrák extrémális kérdései. Kombinatorikus bonyolultságelmélet.*
- Imreh Csanád: *Online algoritmusok versenyképességi elemzése.*
- Kincses János: *Konvex halmazok kombinatorikus geometriája. Konvex halmazok integrálgeometriája.*
- Kiss György: *Véges síkok szemioválsai.*
- Maróti Miklós: *Algebra és algoritmikus problémák.*
- Nagy Gábor Péter: *Geometriai algebra.*
- Pluhár András: *Extremális és algoritmikus gráfelméleti problémák. Kombinatorikus játékok.*
- Turán György: *A gépi tanulás elmélete.*

#### **Sztochasztika képzési program:**

- Boda Krisztina: *Többszörös összehasonlítások problémája a biostatistikában. Orvosi döntéseket támogató biostatistikai rendszerek.*
- Krámlí András: *Valószínűségi módszerek nagyméretű gráfok vizsgálatában. Hiperbolikus determinisztikus dinamikai rendszerek statisztikus viselkedése.*
- Major Péter: *Valószínűségi változók nemlineáris funkcionáljai. Majdnem biztos határeloszlástételek.*
- Pap Gyula: *Elágazó folyamatok.*
- Viharos László: *Normák aszimptotikus eloszlása. Eloszlások farokviselkedésének vizsgálata.*

#### **Matematika-didaktikai kutatási témák:**

- Karsai János: *Számítógéppel segített problémamegoldás: kísérletezés, a matematikai programozási nyelvek szerepe. Interaktív tankönyvek, feladatgyűjtemények, webalapú oktató rendszerek fejlesztésének és alkalmazásának lehetőségei.*
- Klukovits Lajos: *A középiskolai matematika-anyag ókori és kora középkori gyökerei. Heurisztikus sejtések generálása mechanikai elvek alapján, majd azok szigorú bizonyításai. A pisai Leonardo Liber quadratorum c. könyve.*

- Kosztolányi József: *A problémamegoldó képességek fejlesztésének lehetőségei a matematika tanításának különböző szintjein.*
- Pintér Lajos: *Az analízis fogalmainak kialakulása különös tekintettel Eulerre és követőire.*
- Szalay István: *Általános, illetve középiskolai feladatok megoldásainak összevetése a pedagógus, illetve a diák rendelkezésére álló ismeretek birtokában. Matematikai ismeretek és fogalmak konvertálása az 1–6. osztályos tanulók életkori sajátosságainak megfelelő szintre, a tankönyvek összehasonlító elemzése tükrében. Matematikai ismeretek evidencia-szintjének formálása a tanító szakos hallgatók általános matematikai képzése során.*
- Szilassi Lajos: *A számítógéppel támogatott matematikaoktatás kritikus pontjai. A geometriaoktatás aktuális problémái.*

## A közelmúlt és a jelen kutatásai

Az Algebra és Számelmélet Tanszéken három alapvető területen – félcsoportelmélet, hálóelmélet és univerzális algebra – folynak kutatások. A vizsgált kérdések jelentős része szoros kapcsolatban van az absztrakt algebra klasszikus ágaival (pl. csoport- és gyűrűelmélet), de számos kapcsolódási pontjuk van a matematika más területeivel (pl. kombinatorika, számítástudomány, kategóriaelmélet, modellelmélet és matematikai logika, topológia, funkcionálműveltség, döntéelmélet), valamint ezeken keresztül más tudományterületekkel. A tanszék oktatói több mint tíz ország neves kutatóival dolgoznak együtt, eredményeiket magas színvonalú nemzetközi folyóiratokban publikálják. Rendszeresen tartanak előadásokat konferenciákon, sokszor meghívott plenáris konferencia-előadások megtartására is felkérést kapnak.

Hosszú ideig tartotta magát az a nézet – és bizonyos értelemben ma is tartja –, hogy a szimmetria intuitív fogalmának matematikai megfelelője a csoport fogalma: a struktúrák szimmetriáját a matematikán kívül a fizikában és kémiában is sokáig kizárólag csoportok segítségével írták le. Az 1980-as évek közepén, amikor olyan kristályszerkezetet fedeztek fel, amelyet addig egy csoportokra vonatkozó tulajdonság miatt lehetetlennek tartottak, kiderült, hogy a szimmetria intuitív fogalma bonyolultabb, tehát a csoportoknál általánosabb matematikai struktúrák kellene bizonyos jelenségek (pl. a részek közötti, ún. parciális szimmetriák) leírásához. Ilyen struktúrák az inverz félcsoportok, és a náluk is általánosabb, ún. megszorításos (az irodalomban sok más néven is előforduló) félcsoportok. A tanszék kutatói bizonyították, hogy ezek a félcsoportok felépíthetők félhálókból és redukált monoidokból, valamint továbbfejlesztettek



korábbi eredményeket arról, hogy mely parciális szimmetria-félcsoportok származtathatók szimetriacsoportokból. Ezen félcsoport-osztályok szabad objektumait koherencia szempontjából is vizsgálták, és fraktálok segítségével éles aszimptotikus becslést adtak az atomok számára a Cuntz-féle  $C^*$ -algebrák monomiális reprezentációiban. Előrehaladást értek el a véges  $F$ -inverz fedők létezésére vonatkozó nevezetes Henckell–Rhodes-probléma kapcsán.

A véges struktúrák központi szerepet játszanak a számítástudományban, s részben ezért növekvő a szerepük az univerzális algebrában. A klasszikus struktúrafajtákon túlmutató, általános algebrai eszközök kifejlesztésével széles osztályokban jól lehet vizsgálni a véges algebrákon elvégezhető összes (végtelen sok) számítást – ezzel foglalkozik a klónok elmélete –, és választ lehet adni pl. arra a kérdésekre, hogy elegendő-e véges sok „szabály” egy adott véges algebrán teljesülő összes (végtelen sok) szabály megértéséhez (véges axiomatizálhatóság), ami az univerzális algebra legrégebbi, modellelméleti ágának egyik alapkérdése. Az utóbbi évtizedben kiderült, hogy az univerzális algebra eszközei hatékonyan alkalmazhatók a számítástudományban egy igen általános döntési problémacsalád, az ún. CS-problémák vizsgálatában, amelyeknek speciális esete a jól ismert gráfszínezési probléma és a SAT. Ugyanakkor a CS-problémák vizsgálata számos új kutatási irányt inspirált az univerzális algebrában. Az alapkérdés annak tisztázása, hogy a CS-problémák eldönthetősége milyen kapcsolatban áll az algebra tulajdonságaival. A tanszék tagjai fontos speciális esetekben bizonyították Valerioté egyik sejtését és élesítették Barto-ék huroklemmáját, továbbá új paraméterpárra igazolták Stahl sejtését. Klasszikus motivációja van, de a CS-problémakörhöz is kapcsolódik a véges algebrák növekedési függvényeinek vizsgálata. A korábban csoportokra és gyűrűkre ismert eredményeket sikerült a tanszéken több igen széles algebraosztályra általánosítani, pontosan jellemezve a növekedési függvények aszimptotikus viselkedését. A véges axiomatizálhatóság kérdéskörében fontos előrelépés a Park-sejtés bizonyítása minden eddiginél szélesebb algebraosztályra. Számos klónelméleti eredmény is született, többek között a Lau-probléma megoldása, Rosenberg minimális, illetve maximális klónokra vonatkozó nevezetes tételeinek általánosítása, valamint az összejtő monoidok leírása háromelemű halmazon. A félcsoportelmélet és az univerzális algebra határterületére esik az az eredmény, amely aszimptotikus korlátot ad azon varietások szabad spektrumára, amelyek a félhálók varietásának iterált szemidirekt szorzataként állnak elő.

A hálók mint az algebrai struktúrák kísérőstruktúrái (pl. egy lineáris tér összes alterének a tartalmazásra alkotott hálója) alapvető jelentőségűek, és a matematika sok területén megjelennek, de önmagukban is intenzíven kutatott algebraosztályt alkotnak. Az alkalmazásokban is fontosak a hálók; például

a Wille-féle fogalomhálók szerepet játszanak az adatbányászatban, a gépi tanulás elméletében és a szoftverfejlesztésben. Jól hasznosíthatók a hálók polinomfüggvényei, illetve ezek általánosításai a döntéseméletben is, amikor az alternatívák nem számszerű értékekkel, hanem minőségi szintekkel írhatók le. A tanszék hálóelméleti kutatásainak középpontjában a véges féligmoduláris hálók és a hálókhoz szorosan kapcsolódó, szigeteknek nevezett kombinatorikus struktúrák állnak. A tanszék kutatóinak a féligmoduláris hálók több részosztályában sikerült a hálókat pontosan leírnia vagy megkonstruálnia, valamint izomorfiaosztályaik számát rekurzívan, illetve aszimptotikusan meghatározni. Számos kombinatorikus eredményt bizonyítottak független részhalmazokra hálóokban, és vizsgálták a magasságfüggvény vágásainak kombinatorikus tulajdonságait, melyeket hálóelméleti eszközökkel kombinálva új eredményeket nyertek szigetekkel és általánosításaikkal kapcsolatban. A hálóelmélet és az univerzális algebra határterületére esnek azok a kutatások, amelyek keretében a tanszék tagjai a véges disztributív hálók feletti pszeudo-polinomfüggvényeket vizsgálták, illetve olyan algebrákat találtak, amelyek hasonlítanak a hálókra abban az értelemben, hogy faktoralgebra-konstrukciót lehetővé tevő toleranciákkal bírnak.

Egy kódoláselméleti probléma megoldásából, az ott alkalmazott módszer általánosításaként került egyes kutatók látókörébe a „sziget” jól ismert fogalmának digitalizált változata. Ez hamarosan kombinatorikai vizsgálatokat eredményezett, majd hálóelméleti függetlenségi vizsgálatokhoz vezetett. Ez kapcsolódott az intézetben korábban folytatott hasonló kutatásokhoz. Talán meglepő, de a probléma a fuzzy-matematikához is kapcsolódott. Elemi vetületeinek módszertani (matematika tanítási) vetületei is vannak.

E tanszék foglalkozik hagyományosan a matematika történetének oktatásával is. E munkából eredőként a matematika kultúrtörténetének kutatása is megkezdődött.

Az **Analízis Tanszéken** hat témakörben – ortogonális sorok, differenciálegyenletek, operátorelmélet, matematikai fizika, szimbolikus és közelítő számítások, valamint matematika-didaktika – folynak kutatások.

Az ortogonális, elsősorban Fourier-sorokkal foglalkozó kutatások szinte a kezdetektől jelen vannak, de kiteljesedésük a 60-as években kezdődött. Akkortól vizsgálták, és vizsgálják ma is, hogy a Fourier-sorokkal való erős approximáció rendje hogyan befolyásolja az egyes függvények strukturális tulajdonságait (pl. Lipschitz-osztályokba tartozást), továbbá mi a kapcsolat az erős approximáció és a legjobb approximáció között. A függvények szerkezeti tulajdonságai hogyan jellemezhetők Fourier-együtthatóik nagyságrendjével egy- és többváltozós esetben. A monoton, kvázimonoton, hatványmonoton sorozatok klasszisainál általánosabb sorozat-osztályok vizsgálata

a Fourier-sorok pontonkénti és egyenletes konvergenciájával kapcsolatban. A Fourier-sorok együttható-feltételei az átlagban való konvergenciára vonatkozóan. Hausdorff–Young típusú transzformációk különböző általánosított Fourier-sorokkal kapcsolatban. A Fourier-transzformáltak viselkedése hogyan befolyásolja az egyes függvények speciális klasszisokba való tartozását.

A differenciálegyenletes kutatások főbb témái a következők. Másodrendű nem-autonóm lineáris és nem-lineáris differenciálegyenletek megoldásainak aszimptotikus viselkedése, az egyensúlyi helyzetek stabilitásának feltételei. Lépcsősfüggvény-együtthatós egyenletek. Periodikus rendszerek. Alkalmazások mechanikai rendszerek egyensúlyi állapotainak stabilitásvizsgálatára, stabilizálására. Fél-lineáris másodrendű differenciálegyenletek, megoldásainak vizsgálata geometriai módszerekkel. Állapotfüggő késleltetést tartalmazó retardált funkcionál-differenciálegyenletek megoldásaink aszimptotikus viselkedése. Funkcionál-differenciál-egyenletek stabilitásvizsgálata. Nem autonóm funkcionál-differenciálegyenletek maximum-operátorral.

A funkcionálanalízis, s ezen belül az operátorelmélet területén végzett kutatások nagy szegedi hagyományokra tekintenek vissza. Az elmélet alapjainak kidolgozásában úttörő szerepet játszott Riesz Frigyes, a szegedi matematikai iskola egyik megalapítója. Tanítványa, Szőkefalvi-Nagy Béla tevékenységének súlypontja a Hilbert-térbeli kontrakciók általános elméletének kidolgozására esik. E kutatások folytatásaként főként a következő kérdésköröket vizsgáljuk: kontrakció osztályok spektrális jellemzése, aszimptotikusan nem-eltűnő, reguláris norma sorozatú operátorok vizsgálata, operátor-félcsoportok stabilitása, az invariáns és a hiperinvariáns altérhálók szerkezetének tanulmányozása, az invariáns altérhálók izomorfiájának spektrális jellemzése.

A matematikai fizikai kutatások fő iránya a klasszikus és a kvantumos integrálható rendszerek vizsgálata, valamint a Calogero–Moser–Sutherland, illetve Ruijsenaars–Schneider sokrészcseke rendszerek közötti dualitásokat tanulmányozása, és a sokrészcseke rendszerek szigorú szóráselméletének kidolgozása.

Szimbolikus és közelítő számítások alkalmazása területén foglalkozunk általános automatikus tételbizonyítással és a szimbolikus számítások eredményeinek kombinálásával speciális algoritmikus problémamegoldásra; Gröbner bázisokon alapuló geometriai tételbizonyításokkal. Matematikai szoftvercsomagokat is fejlesztünk.

A matematikai didaktikai kutatásokat később részletezzük.

A 2003-ben alakult **Alkalmazott és Numerikus Matematika Tanszék** az intézet legújabb tanszéke. Az alkalmazott matematika a matematikai ismereteknek más területeken (pl. fizika, kémia, biológia, közgazdaságtan, informatika stb.) történő felhasználásával foglalkozó ága a matematikának.

A matematika mind szélesebb körű alkalmazhatóságának az alapja az a tény, hogy a matematika nyelvzete a legalkalmasabb bonyolult rendszerek viselkedésének tiszta formalizálására, azaz modellezésére. Egy matematikai modell általában változókat és a változók közötti kapcsolatokat leíró egyenleteket tartalmaz. A modellegyenletek számítógépes vizsgálatának elméleti alapja a numerikus matematika. Egy-egy modell megértéséhez gyakran a matematika több ágának felhasználására is szükség van. Az alkalmazott és tiszta matematika között nincs éles határvonal. Megjósolhatatlan, hogy egy ma még tiszta, teljesen alkalmazhatatlannak tartott matematikai eredmény mikor válik alkalmazhatóvá (pl. a kriptográfia alapjait jelentő számelméleti eredményeket 30 éve még mindenki tisztán elméleti érdekességnek tekintette).

Másrészt viszont az egyre szélesebb körű alkalmazások új matematikai problémák megfogalmazását eredményezik, számos új kutatási irány létrejöttét motiválják. A kis létszám ellenére szerteágazó kutatások folynak alapkutatási jelleggel és alkalmazásokkal is. A főbb kutatási irányok: dinamikus rendszerek, funkcionál differenciálegyenletek stabilitáselmélete és geometriai elmélete, járványtani modellezés közönséges és funkcionál-differenciálegyenletek segítségével, végtelen dimenziós komplex függvénytan, Banach-sokaságok és kapcsolódó algebrai struktúrák elmélete, matematikai kémia, kvantumkémiai reakcióutak problémái, klasszikus analízis, harmonikus analízis, sorelmélet, parciális differenciálegyenletek numerikus megoldásai.

Ezek mellett az analízis szélesebb területére kiterjedő (sorok, sorozatok, szummál-hatóság elmélete, approximációelmélet, klasszikus és diadikus harmonikus analízis, operátorelmélet és a valószínűségszámítás határérték tételei) kutatások is folynak a tanszéken.

A funkcionál-differenciálegyenletek olyan folyamatokat modelleznek, amelyek fejlődésére múltbeli állapotok is hatással vannak. Az időképletetés az egyenletekben származhat pl. a véges sebességgel terjedő kölcsönhatásokból. Az ilyen egyenletek természetes fázistere egy végtelen dimenziós függvényter. Nagy jelentőségű és sokat idézett eredményeket bizonyítottak a funkcionál-differenciálegyenletek globális és geometriai elméletében. Az utánpótlás nevelése terén elért eredményeik kiemelkedők. Ennek is eredménye egy 2011-ben Röst Gergely vezetésével alakult ERC (European Research Council) kutatócsoport, amelynek alapja egy ún. Starting Investigator Grant, „Differenciálegyenletes modellek késleltetett visszacsatolással és járványos betegségek terjedésének dinamikája” című pályázata alapján a 2011–2016 évekre elnyert mintegy 800 ezer euró támogatás. E csoportról még később is írunk.

A **Geometria Tanszék** kutatási területei az elmúlt 5–10 évben három nagy csoportba sorolhatók.

A sztochasztikus és integrálgeometria a geometriai objektumokat és folyamatokat az integrál- és valószínűségelmélet módszereivel próbálja megérteni. A véletlen politópokon elért eredményeiket vezető matematikai folyóiratok publikálják. Például sikerrel vizsgálták azon mesterlövészek lövésképletét, akiknek minden lövése minden korábbi lövéshez közelebb van egy fix távolságnál. Az integrálgeometria kiemelkedő gyakorlati alkalmazása az orvosi és ipari tomográfia, ahol röntgen-, visszhang- vagy más módon szerzett képek, információk alapján kell a vizsgált objektum belső tulajdonságait illetve, pozícióját meghatározni. A nálunk vizsgált elméletibb problémák megoldásai bekerültek a terület minden matematikai tomográfiai könyvébe és néhány szabadalom is épül rájuk.

A konvex és diszkrét geometriai kutatások a konvex alakzatok és ezek elrendezéseinek tulajdonságait vizsgálják. E szerteágazó területen a tanszék elsősorban Helly-típusú problémákat, a Gohberg–Markus–Hadwiger-sejtés témakörét, az elhelyezések sűrűségét és poliédergráfok tulajdonságait kutatja. Eredményeik a matematikai alkalmazások mellett más tudományterületek kutatóira is hatással voltak pl. egyes fizikai, számítástudományi, mérnöki és élelmiszer tudományi témákban is inspirálók, alkalmazást nyernek

Az algebrai geometria és geometriai algebra a véges rendszerek geometrizálása és algebrai vizsgálata révén olyan problémákhoz vezet, melyek megoldásait és eredményeit szinte minden számítástechnikai rendszer használja adatok titkossá tételére vagy csak könnyebben kommunikálható kódolására.

**A Halmazelmélet és Matematikai Logika Tanszéken** két fő kutatási irány van. Az egyik a kombinatorika területére esik, ahol gráfelméleti, kombinatorikus geometriai, valamint összeszámlálási problémákkal foglalkoznak. Az elsőben a legfontosabb eredményeiket az ún. ládapakolási probléma kapcsán érték el. Gazdagították a Catalan- és a poly-Bernoulli számok kombinatorikájának elméletét. Szép eredményeik vannak a kombinatorikus geometriában is.

A másik fő kutatási irány az analízis területére esik. Elsősorban a potenciálméleti és az approximáció-elméleti eredmények nagy jelentőségűek. E témakörben a tanszék vezetője egy ERC kutatócsoportot vezet (Potential Theory projekt), amely 400 ezer Euró támogatással bír. Ezen felül itt működik egy MTA kutatócsoport is.

**A Sztochasztika Tanszék** 2001-ben alakult az Analízis alkalmazásai Tanszék kétté válásával (a „másik félből” alakult ki az Alkalmazott és Numerikus Matematika Tanszék. Az alapító tanszékvezető Csörgő Sándor akadémikus. Az ő érdemeiről korábban írtunk. Korai halála óta a tanszéket **Pap Gyula** vezeti, aki Debrecenből igazolt át az intézetbe. Az alapító fiatal tanítványai vitték tovább Csörgő Sándor egyik kedvenc és igen eredményesen művelt kutatási programját, a híres „Szentpétervári paradoxon” vizsgálatát. Sikerült nekik a probléma egy általánosítását is megoldani.

Az utóbbi években kiszélesedtek a centrális határeloszlás-tételekkel összefüggő kérdések vizsgálatai, például topologikus csoportokon, elsősorban Lie-csoportokon. Másfajta határeloszlás-tételeket is vizsgálnak különböző sztochasztikus folyamatokhoz kapcsolódóan. Ezek statisztikus kérdéseket is fölvetnek. A statisztikai kérdések kiterjednek egyrészt a paraméterek becslésére és a becslések aszimptotikus vizsgálatára, másrészt a modellekhez tartozó statisztikai kísérletek sorozatának aszimptotikus vizsgálatára. A vizsgált modelleket osztályozni lehet stabilis (ergodikus, szubkritikus), instabil (kritikus), valamint expozív (szuperkritikus) esetekre; a különböző esetekben egészen eltérő aszimptotikus viselkedés mutatható ki. Az egydimenziós modelleket már több évtizede elkezdték tanulmányozni, viszont a többdimenziós modelleknél még sok nyitott kérdés maradt. További érdekes alkalmazási lehetőség az úgynevezett „riasztás” feladatának megoldása, ami arról szól, hogy a sztochasztikus rendszer viselkedését leíró adatok elemzése alapján jelezni kell, ha valószínűsíthető, hogy a rendszer paramétereiben változás történt. Ezekbe a kutatásokba több doktorandusz is bekapcsolódott. Vizsgálják továbbá – az utóbbi időben egyre kurrensebbé váló – olyan sztochasztikus folyamatokat, amelyeknek jelentős alkalmazásai vannak a pénzügyi matematikában.

A mai tanszékekről szóló ismertetésünket a fiatalokból álló „Epidelay” kutatócsoport bemutatkozásával zárjuk. Ez az írás az SZTE Talent Magazin-jában jelent meg.



14. ábra.

Számolnak a járvánnyal! Bemutatkozik az EPIDELAY kutatócsoport

A jelenleg hét főt számláló csoport vezetője *Röst Gergely*, aki 2010-ben nyert az Európai Kutatási Tanács pályázatán (European Research Council Starting Investigator Grants), így ő lett a Szegedi Tudományegyetem első olyan kutatója, akit az Európai Unió legrangosabb kutatói pályázata támogat. A projekt, mely lehetőséget adott a kutatócsoport létrehozására, 2011 és 2016 között valósul meg, célja új típusú járványterjedési modellek kifejlesztése és analízise különböző tudományterületeket integrálva az epidemiológia gyakorlati problémáitól az absztrakt elméletig. A kutatási feladatok mellett a kutatócsoport a matematikushallgatók oktatásából is kiveszi a részét, valamint matematikát népszerűsítő előadásaival a tudományos közéletben is aktívan tevékenykedik. Az eddig eltelt mintegy két év alatt a csoport folyamatosan bővült, kiváló fiatal kutatókat sikerült Szegedre csábítani Japánból, Dél-Koreából, Kínából, illetve Olaszországból. A nemzetközi csapatban három magyar matematikus is helyet kapott, Röst Gergely ugyanis nagy gondot fordít az utánpótlás-nevelésre is: hallgatói az Országos Tudományos Diákköri Konferenciákon eredményesen szerepelnek.

## Járványtan és matematika

A járványos betegségek végigkísérték az emberiség történetét. Részletes megbetegedési statisztikákat először a nagy londoni pestisjárvány (1665–1666) idején jegyezték fel, az igen pontosan vezetett adatok szerint a járvány tombolásának csúcán a halálos áldozatok száma a heti hatezret is meghaladta. Szűk évszázaddal később Daniel Bernoulli (1700–1782) – akit a matematikai járványtan atyjának is szokás nevezni – matematikai eszközökkel vizsgálta, hogy himlőjárvány esetén érdemes-e az akkoriban elterjedt, de cseppet sem veszélytelen immunizálási eljárást (varioláció) alkalmazni annak reményében, hogy ezzel védettséget szerzünk a rendkívül magas halálozási arányú fekete himlővel szemben. Sir Ronald Ross, aki Nobel-díjat is kapott a malária terjedési mechanizmusának felfedezéséért, olyan dinamikus modellt alkotott, ami a fertőzött emberek és a maláriát terjesztő szúnyogok populációjának változását egyaránt követi. Bár az elmúlt évszázadok során jelentős sikereket ért el az orvostudomány a járványok megfékezésében, a 21. század új kihívásokat tartogat az epidemiológusok számára. A fekete himlőt sikerült világszerte felszámolni, más betegségek azonban ma is milliószámra szedik áldozataikat. A SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome, súlyos akut légzőszervi szindróma) vagy a pandemikus influenza pillanatok alatt eljutott egyik kontinensről a másikra a modern közlekedési eszközök

jóvoltából. A helytelenül alkalmazott antibiotikumok miatt sok rezisztens baktérium bukkan fel, mely megnehezíti például a tbc-s betegek kezelését. A modern matematika eszköztára – a számítógépek nyújtotta lehetőségekkel kiegészülve – komoly segítséget jelent a járványügyi szakembereknek: matematikai modellek kidolgozásával előrejelezhetjük egy járvány várható alakulását, és összehasonlíthatjuk különböző védekezési stratégiák hatását is. A kutatócsoport elsősorban differenciálegyenletes modellekkel foglalkozik: ezek folytonosan változó fizikai vagy biológiai rendszerek leírására szolgálnak. A járvány előrehaladását nyomon követhetjük, ha csoportokra bontjuk a populációt a betegség szempontjából fontos tulajdonságok alapján, és e csoportok létszámának időbeni alakulását vizsgáljuk. Így kapjuk például az egyik legegyszerűbb modellt, mely a fogékonyak (S – susceptible), fertőzöttek (I – infected) és felgyógyultak (R – recovered) csoportját különbözteti meg. Bonyolultabb modellek számolhatnak a vakcinálás, a látens periódus vagy a gyógykezelés lehetőségével is, figyelembe vehetik a vizsgált populáció sajátosságait, illetve hogy egyes mechanizmusok nem azonnal, hanem késleltetve fejtik ki hatásukat.

## Örökérvényű probléma – a világjárványok

Noha az első, a malária járványtanával foglalkozó modell már több mint egy évszázada megszületett, ma is aktív kutatások folynak a betegség még pontosabb matematikai leírásával kapcsolatban, melyeknek a koreai származású *Kyeongah Nah* is résztvevője. Kyeongah 2011-ben nyert felvételt a Szegedi Tudományegyetem Matematika- és Számítástudományok Doktori Iskolájába, Röst Gergely témavezetése alatt – jelenleg harmadéves hallgatóként – a *P. vivax* malária járványtanát kutatja. A témával még MSc-hallgató korában, a dél-koreai Kyungpook Állami Egyetemen kezdett foglalkozni, itt szerzett matematikusi diplomát 2010-ben. Kutatásának célja annak megértése, hogyan befolyásolja a mérsékelt övi malária rendkívül hosszú látens periódusa a malária emberi populációkban való terjedését, valamint hogyan függ össze a látens periódus hossza a szúnyogok szezonális aktivitásával különböző klimatikus viszonyok között, elősegítve ezzel a járvány megfékezésére irányuló védekezési stratégiák tökéletesebbé tételét.

Habár az éveken át tartó védőoltási kampányoknak köszönhetően mára számos fertőző betegséget sikerült megfékezni, az influenzavírusok A és B típusai évről évre jelentős számú megbetegedést okoznak világszerte. A minden évben késő ősztől tavaszig zajló szezonális járványok mellett nagy figyelem



irányul a világméretű szinten terjedő pandémiás influenzatörzsekre is, példának okáért a spanyolnátha (La Grippe) 1918–1919-ben az influenza A vírus által okozott egyik legpusztítóbb világméretű járvány volt, mely a Föld teljes lakosságának 20–40 százalékát megbetegítette. Már 1918-ban több áldozatot követelt, mint a világháború; 1919-ig a becslések szerint mintegy 50 millió ember halt meg a járványban. Nem is szükséges azonban a múlt század pandémiáira visszatekintenünk, elegendő a 2009-ben kitört A(H1N1)v világjárványt említeni, hogy lássuk: az influenzajárványok problémája napjainkban is fontos népegészségügyi kérdéskör. A csoporton belül *H. Knippl Diána* foglalkozik az influenza terjedésének modellezésével. A Szegedi Tudományegyetem alkalmazott matematikus szakán szerzett diplomát, majd 2010 óta Röst Gergely témavezetése alatt doktoranduszi tanulmányokat folytat, jelenleg a PhD-fokozat megszerzése előtt áll. A 2009-es H1N1-pandémia által motiválva felállítottak egy matematikai modellt a járvánnyal párhuzamosan futó védőoltási kampány optimalizálására. A modellezés során olyan tényezőket is figyelembe vettek, minthogy a védettség kialakulásához mintegy 14 nap szükséges a vakcinálást követően, illetve hogy a különböző életkorú emberek eltérő mértékben fogékonyak a betegségre, különböző szociális kapcsolatrendszerrel rendelkeznek, valamint a védőoltás hatékonysága is eltérő lehet az egyes korcsoportokban. Az Országos Epidemiológiai Központtal együttműködve valós vakcinálási adatok felhasználásával heti elemzéseket állítottak össze a megbetegedések számának alakulásáról, a modell alapján (később beigazolódott) előrejelzéseket készítettek, valamint javaslatot tettek a védőoltási kampány hatékonyabbá tételére is.

Nemrégiben Diána és Gergely egy olyan projekten dolgoztak a torontói York Egyetemen működő Centre for Disease Modeling igazgatójával, Jianhong Wuval, melyben fertőző betegségek távoli régiók közötti terjedését vizsgálták. A légiközlekedési hálózat magas szintű fejlettsége nagy szerepet játszott a 2002–2003-as SARS, majd a 2009-es influenza világjárványok példátlanul gyors világméretű terjedésében: napjainkban akár 24 órán belül lehetséges eljutni a világ bármely távoli pontjára. Azonban egy fertőzött utazó utazása során nem csak magával viszi a betegséget egy másik régióba: az Európai Járványügyi Központ szerint a járványterjedés már az utazás alatt megkezdődik. A repülőjáratokon szűk helyre zsúfolódó több száz utas körében ugyanis jelentősen könnyebb átadni a fertőzést, mint átlagos körülmények között, a leszállás után pedig a számos új fertőzött szétszóródik és a régió különböző pontjain indíthat el megbetegedési hullámokat, jelentősen felgyorsítva ezzel a járvány terjedését.

## Foci Eb 2012 – járványtani kockázatelemzés

Napjainkban is számos olyan járványos betegséggel találkozunk, amelyek a megfelelő preventív stratégiák nélkül komoly problémát okozhatnak még a fejlett országokban is. Ilyen betegség a kanyaró, amelynek terjedésével kapcsolatban – egy speciális esetben – Dénes Attila és Röst Gergely a szegedi Kevei Péterrel és a japán epidemiológussal, Hiroshi Nishiurával folytatott kutatásokat. Az Európai Betegségmegelőzési és Járványvédelmi Központ (ECDC) ugyanis 2012 tavaszán közleményben hívta fel a figyelmet a veszélyre, amelyet az Ukrajnában tomboló kanyarójárvány jelentett a 2012-es labdarúgó Európa-bajnokság szurkolóira. A kanyaró az egyik legfertőzőbb betegség, és számos európai országban az oltottság szintje nem éri el a járványok megelőzéséhez szükséges szintet. Az Európa-bajnokságra több százezer látogatót vártak Ukrajnába, így fennállt a veszélye annak, hogy a bajnokságról fertőzött hazatérő szurkolók hazájukban járványt okoznak. A jelenség leírására a négy matematikus egy új matematikai modellt alkotott, amely egy kétfázisú, többtípusos elágazó sztochasztikus folyamat. Az első fázis a bajnokság ideje alatt modellezi a betegség terjedését, a második pedig a visszautazók hazájában írja le a járványt. A modell alapján analitikus eszközökkel meghatározható a hazatérő betegek várható száma és egy nagyobb járvány kitörésének valószínűsége. A számítások szerint a focimeccsek eredménye nagyban befolyásolhatja a járványok kitörésének esélyét. Minél tovább maradnak ugyanis egy alacsony oltottsággal rendelkező ország szurkolói a fertőző területen, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy a járvány kialakulásához elegendő számú fertőzött utazik haza. Járványtani szempontból az lett volna a legkedvezőbb, ha magas oltottsági aránnyal és kisebb szurkolótáborral rendelkező országok válogatottjai (például Csehország és Svédország) jutottak volna a döntőbe. Eredményeiket brazil kutatók is használják a 2014-es foci vb és a 2016-os riói olimpiára való felkészülés során.

Az emberiség történetének legtöbb áldozatát követelő járványai közé tartozik a pestis és a tífusz, melyeket ektoparaziták (azaz külső élősködők) terjesztenek. A betegséget terjesztő élősködőket az emberek adják át egymásnak, ellentétben például a maláriával vagy nyugat-nílusi vírussal, melyet szúnyogok terjesztenek. Attila és Gergely ilyen modellcsalád vizsgálatával is foglalkoznak. A két szegedi matematikus által megalkotott, a jelenséget leíró modell újdonsága abban áll, hogy egyszerre követi mind a paraziták, mind az általuk terjesztett betegségek terjedését.

## Védőoltások – folytonosan vagy kampányszerűen?

Az időről időre felbukkanó kanyarójárványok motiválták azokat a 20. század végén indult kutatásokat, melyek rámutattak arra, hogy bizonyos esetekben létezhetnek a folyamatosan zajló védőoltási programnál hatékonyabb eszközök is a járvány megfékezésére. Impulzív vakcinálás alatt olyan védőoltási stratégiát értünk, amely során bizonyos időközönként (kampányszerűen) a populáció egy részét egyszerre, rövid idő alatt oltjuk be. Ebben a témában írta mesterszakos diplomamunkáját és OTDK-dolgozatát Vizi Zsolt. A csoport legifjabb tagja idén szerezte mesterszakos alkalmazott matematikus diplomáját és kezdte meg PhD-tanulmányait a Matematika- és Számítástudományok Doktori Iskolánál. A dolgozat fő eredménye, hogy az irodalomban elsőként sikerült bizonyítaniuk egy, a járvány megfelelő kontrollálása szempontjából kulcsfontosságú jelenség, az úgynevezett szubkritikus-transzkritikus bifurkáció jelenlétét impulzív vakcinálási modellekben. Zsolt doktori kutatási témájául a Lyme-kór matematikai modellezését tűzte ki, amelyet a betegség magyarországi statisztikai adatainak és orvosi kutatási eredményeinek felhasználásával valósít meg két témavezetője, Röst Gergely és Karsai János irányítása mellett.

## Modellezés a járványterjedésen túl

A kutatócsoport legújabb tagja, Maria Vittoria Barbarossa az immunrendszerrel kapcsolatban folytat kutatásokat. Maria a müncheni Műszaki Egyetemről érkezett a csoportba idén májusban. Az olasz matematikus Perugiában kezdte meg egyetemi tanulmányait, a BSc elvégzése után költözött a bajor fővárosba, ahol a mesterdiplomát követően doktori fokozatot is szerzett. Már hallgatóként lehetősége nyílt a matematikai modellezés számos, a matematikán kívüli alkalmazási területét megismerni, amikor orvosok, biológusok felkérésére készített matematikai modelleket a különféle biológiai jelenségek megértéséhez. Jelenleg egy olyan modell megalkotásán dolgozik, mely az emberi immunrendszer és a populációban terjedő betegség interakcióját írja le. Amikor valaki elkap egy vírusfertőzést, a szervezet – a betegség leküzdése után – ellenállóvá válik az újabb fertőzéssel szemben. Ugyanakkor az immunrendszer által kiépített rezisztencia az idő múlásával veszít hatékonyságából és az egykori páciens később újra elkaphatja a betegséget. A védettség fenntartásának egy módja lehet, ha a szervezet valamilyen formában újra találkozik az adott patogénnel még az idő alatt, amíg az immunrendszer ellenálló. Ezáltal a szervezet olyan lökést kap, mely megerősíti a védekező mechanizmust, meg-

hosszabbítva az immunitás időtartamát. A kutatás gyakorlati szempontból is alkalmazható lehet: a megfelelően időzített védőoltás, illetve emlékeztető oltások hosszú időre megakadályozhatják az újrafertőződést.

A fiatal japán kutató, Yukihiro Nakata karrierje a tokiói Waseda Egyetemen kezdődött, ahol 2010-ben fejezte be elméleti és alkalmazott matematikai tanulmányait a doktori fokozat megszerzésével. A neves Yoshiaki Muroya professzor irányítása alatt ismerkedett meg a késleltetett differenciálegyenletek és a populációdinamika matematikai elméletével, majd Spanyolországba költözött és a bilbaoi Basque Center for Applied Mathematics kutatóintézetnél helyezkedett el, hogy európai kutatókkal együttműködve folytathassa munkásságát. A Bilbaóban töltött idő alatt matematikai epidemiológiai problémák széles skálájával foglalkozott, ekkoriban került kapcsolatba Röst Gergelyvel is, akivel járványterjedés témájú kutatásokba kezdtek. Az együttműködés olyannyira sikeresnek bizonyult, hogy immáron másfél éve Yukihiro is az EPIDELAY csoport tagja, jelenleg főként késleltetett differenciálegyenletes sejtbiológiai és járványtani modellekkel foglalkozik.

Dénes Attila, H. Knippl Diána, Röst Gergely, Vizi Zsolt

### 1. Reprodukciós szám

A modellezés során az egyik legfontosabb feladat az ún. alap reprodukciós szám meghatározása, mely megadja, hogy egyetlen fertőzött ember hány fertőzést generál a járvány kezdeti szakaszában. Ha sikerül ezt a számot egy alá szorítani – ez például vakcinálással, gyógykezeléssel vagy karanténnal érhető el, akkor a járvány megfékezhető, hiszen a betegek egyre kevesebben lesznek. A szezonális influenza esetén ez a szám általában 1,3 körüli, míg a nagyon fertőző kanyarónál 12–18 között van ez az érték.

### 2. Közösségi immunitás

A védőoltási kampányok rendkívül hatékonyak: kiszámolható, hogy hány embert kell immunizálni ahhoz, hogy ne tudjon elterjedni a betegség. A védettséggel rendelkezők közvetett módon azokat is megóvják a fertőzéstől, akik valamilyen okból nem kaphatnak vakcinát (például csecsemők). Ezt a jelenséget hívják közösségi immunitásnak. A rendkívül fertőző kanyaró esetében ennek eléréséhez a populáció több mint 94 százalékát kell beoltani, míg a fekete himlőnél 85 százalék is elegendő. Ez magyarázza, hogy ezt a betegséget sikerült világszerte felszámolni.

### 3. Nemzetközi együttműködések

A kutatócsoport jelenleg 12 ország 18 egyetemével folytat közös kutatásokat. Többek között olyan neves intézményekkel állnak együttműködésben, mint a torontói Centre for Disease Modeling, az Arizona State University, a müncheni műszaki egyetem és az utrecht, heidelbergi, tokiói és hongkongi egyetemek.

### 4. Európai Kutatási Tanács

Az Európai Kutatási Tanács (ERC) kizárólag kiválósági alapon, jelentős összegekkel támogatja Európa legjobb kutatóit tudományos programjuk végrehajtásában. A legmagasabb presztízsű kutatási pályázatokból eddig hat került Szegedre.

A tudományos munka eredményeinek nemzetközi folyóiratokban való közzélése és a nemzetközi konferenciákon tartott beszámolók mellett monográfiák is születtek. Szász Gábor, aki sok éven át dolgozott az intézetben, itt tette közzé magyar, majd német nyelven *Einführung in die Verbandstheorie* címmel nagy sikerű könyvét, amely később angolul is megjelent. Gécseg Ferenc ugyancsak az intézet tagjaként publikálta három monográfiáját (l. az Informatika fejezetet). Az intézet jelenlegi professzorainak munkáiból – Totik Vilmos másutt felsorolt művei mellett – Leindler László *Strong Approximation by Fourier Series* és Szendrei Ágnes *Clones in Universal Algebra* című monográfiáit emelhetjük ki.

Ezeket kívül az intézetben az elmúlt évtizedek során számos egyetemi tankönyv, jegyzet és segédkönyv készült, amiben az utóbbi időben egyre növekvő szerephez jutott az intézet „Polygon” nevű kiadói vállalkozása. Ez 1991 óta működik, s a Polygon című folyóiraton kívül, amely elsősorban tanárok és egyetemi hallgatók számára írt matematikai és szakmódszertani közleményeket tartalmaz, könyveket és egyetemi jegyzeteket is ad ki. Megindításában döntő szerepe volt Varga Antalnak; első felelős szerkesztője Pintér Lajos volt. 1995 óta Kincses János végzi ezt a munkát. A Polygon Könyvtárban az intézet számos oktatójának (Czédli Gábor, Csákány Béla, Csörgő Sándor, Hajnal Péter, Hatvani László, Kosztolányi József, Kiss György, Makay Géza, Németh József, Pintér Lajos, Szabó László Imre, Szendrei Ágnes, Szőnyi Tamás, Varga Antal) jelent meg könyve, továbbá újra megjelentek régebbi szerzők (pl. Bolyai János, Erdős Pál, Surányi János, Szénássy Barna, Szókefalvi-Nagy Béla) egyes

klasszikussá vált művei is. Ugyancsak a Polygon Könyvtár sorozatában látott napvilágot Kalmár László hazai és külföldön élő magyar matematikusokkal váltott leveleinek gyűjteménye két kötetben (Kalmárium címmel, Szabó Péter Gábor szerkesztésében). A Polygon Jegyzettár sorozatában mintegy 50 könyv jelent meg az intézetben oktatók tollából (Bagota Mónika, Bálintné Szendrei Mária, Csákány Béla, Csendes Tibor, Gécseg Ferenc, Hajnal Péter, Hatvani László, Imreh Balázs, Kalmárné Németh Márta, Kámán Tamás, Kotonáné Horváth Eszter, Kérchy László, Klukovits Lajos, Kovács Zoltán, Krisztin Tibor, Krisztin Németh István, Kurusa Árpád, Leindler László, Makay Géza, Megyesi László, Móricz Ferenc, Nagy-György Judit, Németh József, Németh Zoltán, Osztényiné Krauczi Éva, Stachó László, Szabó László, Szabó László Imre, Szabó Péter Gábor, Szabó Tamás, Szendrei Ágnes, Terjéki József, Totik Vilmos, Vármonostory Endre, Viharos László). Az egyetem kiadóvállalatánál (JATEPress) is több intézeti munkatárs jelentetett meg tankönyvet (Czédli Gábor, Durszt Endre, Hatvani László, Kérchy László, Leindler László, Németh József, Pintér Lajos).

## **A Bolyai Intézet könyvtára és az Acta Scientiarum Mathematicarum**

Riesz Frigyes és Haar Alfréd a kolozsvári egyetem könyvvállományára alapozva fogtak Szegeden egy színvonalas, a kutatást és oktatást egyaránt szolgáló matematikai szakkönyvtár megteremtéséhez. Riesz magával hozta az általa vezetett leltárkönyvet, valamint a kölcsönadott könyvek és kikölcsönzőik listáját. A kölcsönveőket megkérték, többnyire eredményesen, hogy a náluk lévő könyvet a szegedi egyetem Matematikai Szemináriumának Könyvtárába juttassák vissza. A matematikai tanszékek könyvek és folyóiratok beszerzésére fordítható költségvetési ellátmánya ebben az időben igen szerény volt. Ezt kiegészítendő, a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztériumnál sikerült elérni, hogy Demeczky Mihály, a budapesti egyetem 1920-ban elhunyt tanára értékes matematikai könyvtárát megvásárolják, Farkas Gyula pedig a Matematikai Szemináriumnak ajándékozta saját könyvtárát. Ugyancsak a Matematikai Szeminárium könyvtárába került Scholtz Ágoston (a budapesti egyetemen Fejér Lipót professzor elődje) hagyatéka. A helyzetet tükrözi a következő – anekdotaként hangzó – igaz történet. Haar professzor, aki jó kapcsolatban volt Klebelsberg Kunóval, ecsetelte a miniszternek, milyen katasztrofális az intézet könyvvel és folyóirattal való ellátottsága. Klebelsberg kinyomoztatta, hogy Hámori Bíró Pál gyáros, egyben országgyűlési képviselő, „Hámori” előnévéért

tartozik az államnak 25 000 pengővel, majd közbenjárt, hogy ezt Bíró a szegedi egyetem Matematikai Szemináriumának utaltassa át a könyvtár gyarapítására. Ezen az összegben 12 folyóiratból 297 kötetet és 43 könyvet vásároltak.

A 20-as évek végére a matematikai könyvtár kielégítő színvonalú egyetemi szakmai könyvtárrá vált: akkori nyilvántartása már csaknem 3000 kötetes állományról tanúskodik. Az igazi fejlődést azonban a könyvtár folyóirat-gyűjteménye jelenthette. Riesz és Haar gondolata volt, hogy matematikai folyóiratot kell indítani, mégpedig világszínvonalút. Erre az anyagi fedezetet társadalmi egyesület létrehozásával teremtették meg. A város nagyjai és tehetős polgárai létrehozták a Ferencz József Tudományegyetem Barátainak Egyesületét. Ez lett az új folyóirat kiadója, élén Várnai Dezsővel, a Szegedi Városi Nyomda és Könyvkiadó Rt. Igazgatójával. Az 1922-ben megindult folyóirat címe kezdetben *Acta Litterarum ac Scientiarum Regiae Universitatis Hungaricae Francisco-Josephinae. Sectio Scientiarum Mathematicarum* volt. Ma a cím *Acta Scientiarum Mathematicarum*, a vezető referáló folyóirat (Mathematical Reviews) röviden *Acta Sci. Math. (Szeged)* alakban idézi. Riesz és Haar akkor levélben fordult a világ legismertebb matematikusaihoz, közöttük sok személyes ismerősükhöz, és cikkeket kértek tőlük. Néhány név az első évfolyamok szerzőinek parádés névsorából: Neumann János, Norbert Wiener, George D. Birkhoff, Henri Cartan, Antoni Zygmund, Fejér Lipót, Pólya György és Szegő Gábor. Maguk a szerkesztők itt publikálták legjobbnak tartott dolgozataikat, és erre kérték munkatársaikat is: Radó Tibort, Szőkefalvi-Nagy Gyulát és másokat. Így néhány év alatt valóban világszínvonalúvá fejlesztették a folyóiratot. Ezért hamarosan számos egyetem és nagyobb könyvtár szükségesnek tartotta, hogy a szegedi Actát megrendelje vagy más módon megszerezze. Riesz és Haar levéllel kereste meg az ismert matematikai folyóiratok szerkesztőit, kiadóit, és felajánlották az Actát cseréként. Sok esetben sikerült cseremegállapodást kötni; még az akkor kuriózumnak számító, de magas szakmai színvonalú orosz és japán folyóiratok is megjelentek a könyvtárban. A cseréket segítette egy-egy külföldön dolgozó magyar matematikus is. A harmincas évekre választékában is, minőségében is az ország leggazdagabb matematikai szakfolyóirattárává nőtte ki magát a Matematikai Szeminárium Könyvtára.

A könyvvállomány gyarapításának is jelentős forrását jelentette az Acta, mivel számos kiadó küldte meg kiadványait referálásra a szerkesztőségnek, és az Actában történt referálás után a könyvek a könyvtár birtokába kerültek. Az intézet-folyóirat-könyvtár szimbiózis a mai napig lényegében így működik. 2014-ben már az Acta 80. kötete jelent meg, s ezzel magasan az Acta a szegedi egyetem „legidősebb” folyóirata.



Acta Scientiarum Mathematicarum 80(1-2) (2014) © Bolyai Institute, University of Szeged

15. ábra.

A könyvtár fejlesztésének másik forrását jelentette az idő tájt a „svédpénz”: Riesz Svédországban élő testvére, az ugyancsak neves matematikus Riesz Marcell eredményes gyűjtést indított a szegedi matematikusok javára a svéd matematikusok között. Végül lehetőség nyílt a könyvtár fejlesztésére a Rockefeller-alapból is. Szent-Györgyi Albert (sok évvel a Nobel-díj elnyerése előtt) tárgyalt a Rockefeller Foundationnel, hogy támogassa a szegedi természettudományi és matematikai kutatásokat. 1931-ben egyezmény jött létre, hogy az alap egyszeri 119 000 dollár összeget nyújt alapfelszerelésekre, és hosszabb időre évi segílyt engedélyez, ha a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium is nyújt anyagi támogatást. Az elkülönített leltárkönyvek alapján csak ennek a forrásnak a felhasználásával 1931 és 1938 között 806 kötet folyóirattal és 395 kötet könyvvel gyarapodott a könyvtár. Így került például a könyvtár birtokába első kötetéig (1836) visszamenőleg a *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées* című folyóirat, amelynek beszerzése napjainkban is folyamatos.

A háborús években természetesen nem a gyarapítás, hanem a megőrzés volt a legfontosabb tennivaló. 1944-ben a vallás- és közoktatásügyi miniszter elrendelte, hogy az egyetem értékesebb műszereinek, eszközeinek, könyveinek, okmánytárának biztonságos elhelyezéséről gondoskodni kell.



Ezt végrehajtandó, az egyetem sok értékét nyugatra szállították. Riesz Frigyes mint a matematikai intézet felelős vezetője, nem engedélyezte a matematikai szakkönyvtár elmozdítását. Így a könyvtár a front áthaladását eredeti helyén, az egyetem Egyetem utcai épületében érte meg. Néhány nap múlva azonban ezt az épületet hadikórház céljára át kellett adni. Ekkor Riesz professzor a munkaszolgálatból időközben visszatért Kalmár Lászlóval és néhány Szegeden maradt hallgatóval, kézikocsikkal átszállította a könyvtár anyagát az egyetem Rerrich Béla téren lévő Elméleti Fizikai Intézetébe. A könyvtár 1946 márciusában költözött vissza a régi helyére, az Egyetem utcába. Ám az ide-oda költözködés megviselte az állományt: nemcsak megrongálódtak a könyvek, sok el is kallódott.

Amikor a Bolyai Intézet 1952 decemberében az Aradi vértanúk terén levő régi piarista gimnázium felújított épületébe költözött, ennek első emeletén kapott helyet a könyvtár az egykori igazgatói és tanári szobákban. Az évek alatt szépen gyarapodó könyvtárnak új problémával kellett szembenéznie: a könyvtárterem alatti földem túlterhelte vált. Tehermentesítését egy a padozattól a mennyezetig érő falra szerelt vasállványzattal és galéria kialakításával oldották meg, amely 1970-ben, illetve a másik teremben 1979-ben készült el. A következő – mai napig élő – probléma, hogy a gyorsan szaporodó állomány elhelyezésére már nem elegendő ez a két helyiség. Így az oktatói szobákba is kerültek polcok egy-egy falra folyóiratok számára. 1985-ben pedig elkészült egy folyosói szekrényrendszer, mely több száz folyó méterrel megnövelte a könyvtár raktárkapacitását. Az Ady téren 2004-ben megépült Tanulmányi és Információs Központban levő Egyetemi Könyvtár is átvett némi állományrészlet – döntően az általános természettudományi érdeklődésre számot tartó folyóiratokat.

A háború után másik nagy gond volt az állomány rendezése. Ezért 1946 szeptemberében a dékántól egy könyvtárkezelői állást igényelt az intézet igazgatója – addig egy díjtalan gyakornok látta el egyéb munkái mellett a könyvtárosi teendőket. A kérést végül 1948-ban teljesítette a kar. Ekkor a meglévő állományról leltárt vettek fel, egyidejűleg törölték a régi nyilvántartási számkat. (Mind a mai napig ez a leltári nyilvántartás folytatódik.) E leltár szerint az állomány 1949. október 28-án összesen 3470 könyvet, 417 különlenyomatot és 5872 kötet folyóiratot tartalmazott. Ezután tovább folyt a régi hagyományokon alapuló könyvtárépítő munka. A következő tíz évben a könyvállomány megkettőződött, s ezt további rendszeres fejlődés követte. Ennek eredményeképpen 2014-re a könyvek száma mintegy 19 ezerre nőtt. A nagy alapítók kezdeményezte cserék mindmáig élő forrásai a folyóirat-állomány gyarapodásának. Ezek az ország elzárkózásának későbbi éveiben sem apadtak el:

1950 és 1965 között csupán a csere révén mintegy 2000 kötet folyóirat került a könyvtárba. A jelenleg kurrens folyóiratok száma 185, ebből 122 csere, 63 vétel, a többi pedig ajándékozás útján kerül a könyvtár birtokába. A kurrens folyóiratszám-csökkenés nem jelenti a hozzáférési lehetőségek csökkenését, mert egyre több folyóiratnak van on-line elérése, és (részben anyagi okokból) inkább erre a változatra fizetünk elő. Elmondhatjuk, hogy az összes olyan adatbázishoz, elektronikusan hozzáférhető folyóirathoz csatlakozni tudunk, amelyek kutatómunkánk szempontjából releváns. Az Acta Scientiarum Mathematicarumnak is van elektronikus változata, sőt a régi kötetek is elérhetők on-line. Ma a Bolyai Intézetben működik az ország egyik vezető matematikai könyvtára. Állományában a korszerű elektronika vívmányait felhasználva immár a világ bármely tájáról böngészhet az érdeklődő szakember.

Nem maradhat említés nélkül a Bolyai Intézet és az Acta Scientiarum Mathematicarum közös kitüntetése, a Szőkefalvi-Nagy Béla Érem, amelyet Szőkefalvi-Nagy Erzsébet 1999-ben alapított apja emlékére, s amelyet a Bolyai Intézet tanácsa az Acta szerkesztőbizottságának javaslatára évenként ítél oda, a szabályzat szerint „egy kiváló matematikusnak, aki jelentős, mély eredményeket publikált az Actában”. Az eddigi kitüntetettek időrendben: Ciprian Foiaş, Tandori Károly, Leindler László, Grätzer György, Móricz Ferenc, Tsuyoshi Ando, Csákány Béla, Hari Bercovici, Schmidt E. Tamás, Heinz Langer és Pierre A. Grillet, Zsidó László, Kérchy László és Vladimir Müller. Az Actán kívül a Bolyai Intézetben további három nemzetközi és egy magyar nyelvű matematikai folyóirat szerkesztése is folyik; róluk e fejezet más helyén ejtettünk szót.





16. ábra. Könyvtársarkok

A Magyar Tudományos Akadémia már 1956-tól támogatta a szegedi matematikai kutatásokat. Akkor alakult meg a Bolyai Intézet keretében a Magyar Tudományos Akadémia Matematikai Kutató Intézetének Funkcionálanalízis Osztálya Szőkefalvi-Nagy Béla vezetésével, a következő évben pedig az MTA

Matematikai Kutató Intézetének Matematikai Logika és Alkalmazásai Csoportja (1958-tól Osztálya) Kalmár László vezetésével. Abban az időben ezek az egységek nemcsak a kutatási lehetőségek bővítését szolgálták, hanem arra is módot adtak, hogy olyan tehetségek, akik a politikai kurzus által kifogásolt származásuk miatt oktatóként nem dolgozhattak az egyetemen, szakmailag továbbfejlődhessenek. A két szervezeti egység 1967-ben az MTA Analízis Tanszéki Kutatócsoportjává és az MTA Matematikai Logikai és Automataelméleti Tanszéki Kutatócsoportjává alakult át. A Magyar Tudományos Akadémia jelenleg is támogatja az intézetben folyó kutatásokat az itt működő Analízis és Sztochasztika Kutatócsoporton keresztül; ennek vezetője Totik Vilmos.

## Matematikadidaktikai kutatások, fejlesztések a Bolyai Intézetben

A Bolyai Intézetben nagy hagyománya van a tehetséggondozásnak és a problémamegoldási képességek fejlesztésével kapcsolatos kutatásoknak. A dr. Pintér Lajos címzetes egyetemi tanár által teremtett hagyományok néhány egyéb területtel kiegészülve (pl. a számítógép alkalmazása a matematika tanításában és a problémamegoldásban) a jelenben is meghatározzák a kutatások témáját és irányát.

A problémamegoldási képességek fejlesztésével kapcsolatosan az érdekelt bennünket, hogy matematikatanár szakos hallgatóink esetében hogyan és milyen módon fejleszthetők a megfelelő képességek. A kiinduló helyzet az volt, hogy a hallgatók többsége csak a típusfeladatokat tudja megoldani. Ismerik ugyan az egyes speciális témakörök feladatmegoldási technikáit, de ezeket nem képesek mobilizálni összetettebb problémák kapcsán. Sémákban gondolkodnak, és ha egy probléma nem felel meg egyetlen általuk ismert sémának sem, nem tudnak mit kezdeni vele, nem tudnak elindulni, önálló problémamegoldásra nincsenek felkészítve, és ezt nem is várják el tőlük.

Ezek a tapasztalatok vezettek oda, hogy *heurisztikus problémamegoldási stratégiákat, technikákat, szabályokat, eszközöket* tanítottunk, a matematika különböző területeihez tartozó, zömében középiskolában is tárgyalható problémákon keresztül. Vizsgálódásaink alapját Pólya György és Alan H. Schoenfeld munkássága, tudományos eredményei szolgáltatták. A kurzusok során mértük, hogy a hallgatóknak milyen mértékben sikerült a megfelelő stratégiákat elsajátítani, alkalmazásképes formában interiorizálni. Méréseink eredménye azt mutatta, hogy a heurisztikus stratégiák explicit tanítása fejleszti a problémamegoldási képességeket.

A számítógép alkalmazása a matematika tanításában elsősorban doktoranduszaink kutatómunkájában bír kiemelt jelentőséggel, de vannak alkalmazásai az egyetemi oktatómunkánkban is. Számos elektronikus oktatási anyagot készítettünk pályázati támogatással, és részben nemzetközi együttműködésben, amelyek zöme szabadon elérhető.

## **A Bolyai Intézet módszertani folyóirata: POLYGON – matematikai, szakdidaktikai közlemények**

1991-ben indítottuk útjára a magyar nyelvű POLYGON folyóiratot. Az 1991 júniusában megjelent első szám 1. oldalán olvasható a lap alapítóinak ma is érvényes „ars poeticája”:

*„...a nem sablonos matematikai probléma megoldása is alkotó szellemi munka.”*  
(Pólya György)

A folyóirat évente kétszer jelenik meg, számonként kb. 100 oldal terjedelemben. Minden számban van matematikatörténeti jellegű cikk, és legalább egy hosszabb tanulmány. A tanulmányok a matematika új eredményeinek közérthető bemutatása mellett a felsőbb matematika bizonyos területeinek rendszerező jellegű áttekintését, megismertetését, népszerűsítését szolgálják. A minden számban megtalálható Műhelysarok rész cikkei kifejezetten olyan matematikai, matematikadidaktikai jellegű írások, amelyek közvetlenül vagy közvetve a matematika tanítása során hasznosíthatók. A Műhelysarok részben két állandó rovat található. Az „Egy ötlet” rovattal szándékunk az, hogy egy-egy számban egy ötlet köré csoportosítható feladatokat tárgyaljunk röviden, a megoldásokkal együtt. E feladatok többnyire elemiek, de egy-két nehezebb példát is kitűzünk, feltéve, hogy az adott ötlet azt egyszerűvé teszi. Ezen „ötletbörzének” több célja van. Egyrészt olyan fogásokat, trükköket vonultatunk fel, amelyek sokszor, illetve bizonyos feladattípusoknál alkalmazhatók, de esetleg nem mindenki előtt ismeretesek. Másrészt az itt tárgyalt példák érdekesek és esztétikusak, és néhány közülük alkalmas lehet órai, szakköri feldolgozásra is. Halmos Pál, magyar származású világhírű matematikussal együtt valljuk, hogy a matematika lelke a problémákban (és megoldásaikban) van. A másik állandó rovat a Feladatrovat, amelyben az olvasók számára kihívást jelentő feladatokat tűzünk ki. Törekszünk arra, hogy az aktuálisan kitűzött feladatok kapcsolódjanak az adott folyóiratszám valamelyik cikkéhez, arra kérjük a szerzőket is, hogy ha lehetséges, tüzzenek ki a dolgozatukhoz kapcsolódó feladatokat. A feladatrovatba bárki küldhet be kitűzésre feladatot.

A kitűzött feladatokra érkezett megoldásokat egy későbbi lapszámban a megoldó nevével együtt közöljük.

Az egyetem és a Természettudományi Kar irányításában a háború vége óta eltelt 70 év során is kaptak feladatot a matematikusok. Rektorként szolgálta az egyetemet Kalmár László, Fodor Géza, Csákány Béla és Csirik János; (a TTIK Informatikai Tanszékcsoportjának professzora, aki ugyancsak a Bolyai Intézetből indult), rektorhelyettesként Fodor Géza, Csákány Béla, Leindler László és Csirik János. A Természettudományi Kar dékánjaként működött Rédei László, Szőkefalvi-Nagy Béla (két ízben), Leindler László, Tandori Károly (két egymást követő alkalommal megválasztva), Gécseg Ferenc és Hatvani László. Megbízott dékánként fél évig dolgozott Klukovits Lajos.

A hajdani Kőnig Gyula-érem helyére számos szakmai kitüntetés lépett; a legnagyobb hazai elismerést 1948 óta a Kossuth-díj, majd a helyébe lépett Állami Díj, utóbb a Széchenyi-díj jelenti. A Kossuth-díjat élete végén, már budapesti korszakában Riesz Frigyes két ízben is elnyerte. Szőkefalvi-Nagy Béla három alkalommal, Rédei László, Kalmár László, Lovász László és Tandori Károly kétszer, Csörgő Sándor, Hatvani László és Totik Vilmos pedig egyszer részesült ebben vagy az ennek megfelelő kitüntetésben. Szőkefalvi-Nagy Béla emellett a Magyar Tudományos Akadémia legnagyobb kitüntetését, az MTA Aranyérmét is elnyerte. Megkapta a SZUTA Lomonoszov aranyérmét is.

## **Az intézet oktatói/kutatói 2014-ben**

*(csillaggal emeljük ki a Magyar Tudományos Akadémia tagjait):*

- Egyetemi tanárok: B. Szendrei Mária, Czédli Gábor, Kérchy László, Krisztin Tibor\*, Major Péter\*, Pap Gyula, Stachó László, Szendrei Ágnes, Totik Vilmos\*, Zádori László.
- Emeritus professzorok: Csákány Béla, Hatvani László\*, Krámlí András, Leindler László\*, Móricz Ferenc.
- Címzetes egyetemi tanárok: Megyesi László, Németh József, Pintér Lajos, Szabó László, Terjéki József.
- Egyetemi docensek: Fodor Ferenc, Gévay Gábor, Hajnal Péter, Karsai János, Kincses János, Klukovits Lajos, Kosztolányi József, Kurusa Árpád, Makay Géza, Maróti Miklós, Nagy Gábor Péter, Németh Zoltán, Ódor Tibor, Szabó László Imre, Szabó Tamás Zoltán, Viharos László.
- Egyetemi adjunktusok: Bartha Mária, Csaba Béla, Dormán Miklós, Fülöp Vanda, Hartmann Miklós, Kátai-Urbán Kamilla, Katonáné Horváth Eszter,

Kovács Zoltán, Kozma József, Nagy Béla, Nagy-György Judit, Pusztai Béla Gábor, Szűcs Gábor, Tímár Ádám, Vajda Róbert, Van Leeuwen-Polner Mónika, Vígh Viktor, Waldhauser Tamás.

- Egyetemi tanársegédek: Gehér György Pál, Virág Katalin.
- Tudományos főmunkatárs: Röst Gergely
- Tudományos munkatársak: Balogh József, Barbarossa Maria Vittoria, Kalmykov Szergej, Kevei Péter, Kiss Gábor, Nakata Yukihiko, Ruiz Herrera Alfonso, Vas Gabriella Ágnes.
- Tudományos segédmunkatársak: Danka Tivadar, Dénes Attila, Garab Ábel, H. Knipl Diána, Körmendi Kristóf, Nagy V. Gábor, Szalai Attila Péter, Szíjártó András Lajos, T. Szabó Tamás, Udvari Balázs, Varga Tamás, Varjú Péter, Vas Gabriella Ágnes.

Ha áttekintve a szegedi egyetemi matematikai iskola sikereit, a titkukat keressük, talán így hangozhat a válasz: ennek az iskolának a szelleme mindig arra nevelte az iskola tagjait – éretteket és növendékeket egyaránt –, hogy keressék az egyensúlyt a tanítás és a kutatás, a szigorúság és a barátság, az önmegvalósítás és a szolgálat között.

## Utószó

Az élettelen természettudományok oktatásával és kutatásával a Szegedi Tudományegyetemen döntően a természettudományi kar foglalkozik. Egyedül a biológia tartozik az élő természettudományok körébe és az ezen a területen elért eredményeket a Szegedi Egyetemi Tudástár 4. kötete tartalmazza. A jelen, vagyis a Szegedi Egyetemi Tudástár 5. kötetében bemutatott matematika, fizika, földrajz, kémia európai, sokszor világszínvonalú művelésének gyökei a Báthory fejedelem által alapított, majd 1872-ben újjászületett kolozsvári egyetemig nyúlnak vissza.

A matematika helyzete különleges, besorolása a természettudományok közé nem egyértelmű. Ezért volt a kar neve Kolozsváron is, és később Szegeden is a II. világháborúig, Matematikai és Természettudományi Kar. Utána a név leegyszerűsödött Természettudományi Karra, és így volt a 2000-es évek elejéig. Az informatika megerősödésével, szerepének növekedésével az ország több egyetemén külön informatikai karok jöttek létre. A Szegedi Tudományegyetemen a kar egyben maradt, csak a nevében jelzi, hogy Természettudományi és Informatikai Kar. Az olvasó tapasztalhatja, hogy az utódok Szegeden is jól sáfárgodtak az örökséggel és a később kialakult tudományágak, az informatika mellett a környezettudomány szegedi művelői is magas színvonalú oktató- és kutatómunkát végeznek.

Az egyes tudományterületeket bemutató írások változatosak, a történeti áttekintés mellett szerepelnek fényképpel is illusztrált tudósportrék, a tudományos iskolákat és a legújabb kutatási eredményeket, irányokat bemutató írások.

Az élettelen természettudományok művelése azonban a Szegedi Tudományegyetemen nem csak egy karhoz kötődnek. Ezért olvashatók e kötetben az SZTE Általános Orvostudományi, Gyógyszerésztudományi, Mérnöki és a Juhász Gyula Pedagógusképző Kar eredményei is.

*Szeged, 2014. november*

*Hannus István*



# SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Regionális  
Fejlesztési Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**

A Szegedi Tudományegyetemen a Természettudományi és Informatikai Kar foglalkozik döntően az élettelen természettudományok oktatásával és kutatásával. Egyedül a biológia tartozik az élő természettudományok körébe, és az ezen a területen elért eredményeket a Szegedi Egyetemi Tudástár 4. kötete tartalmazza. A jelen kötetben bemutatott matematika, fizika, földrajz, kémia európai, sokszor világszínvonalú művelése a Báthory-gyökerű, 1872-ben alapított kolozsvári egyetemig nyúlik vissza. Az olvasó tapasztalhatja, hogy az utódok Szegeden is jól sáfárcodtak az örökséggel, és a később kialakult tudományágak, az informatika, a környezettudomány szegedi művelői is magas színvonalú oktató- és kutatómunkát végeznek. Az élettelen természettudományok művelése azonban nem csak egy karhoz kötött, olvashatók a kötetben az SZTE Általános Orvostudományi, Gyógyszerésztudományi, Mérnöki és Juhász Gyula Pedagógusképző Karának eredményei is.



9 789633 063507