

Magyar Tudomány

Vendégszerkesztő: ZOMBORY LÁSZLÓ
ÉLET A SUGÁRÖZÖNBEN

BESZÉLGETÉS GYŐRY KÁLMÁNNAL

A VARÁZSTÜKÖRTŐL
A SPIRÁLIS NANOCSÖVEKIG

2002•8

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
CVIII. kötet – Új folyam, XLVII. kötet, 2002/8. szám

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

BARABÁS ZOLTÁN

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CZELNAI RUDOLF, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,
KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,
SOLYOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

CSATÓ ÉVA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, MATSKÁSI ISTVÁN, PERECZ LÁSZLÓ,
SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, SZENTGYÖRGYI ZSUZSA, F. TÓTH TIBOR

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu • www.iif.hu
Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Bp. Bártfai u. 65.
Tel: 2067-975 • akaprint@matavnet.hu

Előfizethető a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.);
a Posta hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus
Posta Igazgatóságánál (HELP) 1846 Budapest, Pf. 863,
valamint a folyóirat kiadójánál: Akaprint Kft. 1115 Bp. Bártfai u. 65.

Előfizetési díj egy évre: 5 376 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők
Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

TARTALOM

Élet a sugárözönben – Vendégszerkesztő: ZOMBORY LÁSZLÓ

Zombory László: Bevezető	986
Szabados László: Elektromágneses sugárzás a kozmoszból	988
Schanda János: Az optikai sugárzás élettani hatásai	1000
Thuróczy György: A rádiófrekvenciás sugárzások egészségügyi kérdései	1010
Mátay Gábor: A rádiófrekvenciás sugárzások orvosi alkalmazásai	1026
Varjú György: Kisfrekvenciás erőkterek egészségi és elektromágneses összeférhetőségi kérdései	1048

Tudományos műhelyek

Gyulai József – Bársony István – Radnóczy György: A varázstükkörtől a spirális nanocsövekig Bemutatkozik az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete	1065
---	------

Interjú

Staar Gyula: Az ember és a számok törvényei – Beszélgetés Győry Kálmánnal, az MTA Matematikai Tudományok Osztályának elnökével	1079
---	------

Megemlékezés

Győrffy Béla (<i>Weisz Ottó</i>)	1099
--	------

Könyvszemle

Olvasónapló (<i>Niederhauser Emil</i>).....	1102
Magyaroknak eleiről Emlékkönyv L. Nagy Zsuzsa 70. születésnapjára Kollár Ádám Ferenc levelezése Ring Éva: Lengyelországot az anarchia tartja fenn? Rácz István: Parasztok, hajdúk, cívisek Orosz István: Széchenyi és kortársai Egyetemes történeti szöveggyűjtemény Pölöskei Ferenc: A magyar parlamentarizmus a századfordulón Esterházy János emlékkönyv Gombos József: A finn „második köztársaság politikatörténete A magyar-kínai kapcsolatok dokumentumai	
Fodor Ferenc: Teleki Pál (<i>Pritz Pál</i>).....	1115
Jéki László: KFKI (<i>Strehó Mária</i>)	1119
Felsőoktatás és kutatás (<i>Berényi Dénes</i>)	1121
Buda Béla - Sárközy Erika (szerk): Közéleti kommunikáció (<i>Kelemen Gábor</i>)	1123
Ízlik-e az ingyen ebéd? András Kelen: The Gratis Economy (<i>Török Ádám</i>)	1127
A jó ízlés politikája – Molnár Attila Károly: Edmund Burke (<i>Fülöp Endre</i>)	1129
Miskolczi Ambrus: Szemmel és nemzet (<i>Köpeczi Béla</i>)	1133

A 2002-ben megválasztott új osztályelnökök és -helyettesek.....	1136
---	------

Élet a sugárözönben

BEVEZETŐ

Zombory László

a műszaki tudományok doktora, BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék
zombory@mht.bme.hu

A Biblia teremtéstörténetében a világosság – a sugárzás –, illetve a sugárzó égitestek megteremtése megelőzi az élő állatok teremtését. Az élet a természetes háttérsugárzás állandó özönében alakult ki. Az elektromágneses sugárzás életünk mindennapos velejárója. Jelenlétét a látható fény frekvenciatartományán kívül nem is észleljük. Ezért az élet olyanná alakult, hogy a természetben fellépő átlagos mértékű elektromágneses hatások közvetlenül nem befolyásolják folyamatait.

A mesterséges sugárforrások megjelenésével számottevően megváltozott az élő szervezetek, közöttük az emberi szervezet reagálása az elektromágneses hatásokra. A mesterséges sugárzások mind intenzitásukban, mind karakterükben (például intenzitásuk időbeli változásában) lényege-

sen eltérhetnek a természetes sugárforrásoktól. Az is előfordulhat, hogy a természetes sugárzás jellemzői változnak viszonylag rövid időn belül. Ilyen jelenség az ultraibolya sugárzás intenzitásának változása az ózonsztratoszférák vastagságának változásával.

A változó környezeti hatások természetesen befolyásolják az élő szervezetek reakcióit, pontosabban a természetes környezetben észlelhető reakciók hiányát. Lassan gyűlnek a tapasztalatok a tartós, nagy intenzitású rádiósugárzás egészségkárosító hatásairól. A kísérletek eközben feltárták a terápiás, gyógyító alkalmazás lehetőségeit is. Felismerték, hogy a sugárzás a frekvenciától függően *ionizáló* vagy *nem ionizáló*. Ionizáló hatás csak 10^{15} Hz feletti frekvenciákon, azaz a távoli ultraibolya spektrumban lép fel. Az ilyen sugárzások

károsító hatása a molekulákat roncsoló hatásuk miatt nyilvánvaló. Mesterséges sugárforrások azonban igen ritka kivételtől eltekintve nem működnek az ionizáló sugárzás tartományában.

Az itt olvasható összeállítás túlnyomó részben a nem ionizáló sugárzás hatásait és felhasználását ismerteti. A témának külön hangsúlyt ad a mobiltelefonok használatának robbanásszerű elterjedése, és az ezzel óhatatlanul együtt járó aggodalom a testközelségbe költözött sugárforrás okozta esetleges ártalmakról. Erről a szűkebb témakörrel talán túlságosan is bő, olykor ellentmondó és a napisajtóban a szenzációs (de nem feltétlenül hiteles) tálalást sem nélkülöző információáradatot talál az érdeklődő.

Összeállításunk természetesen nem kerül, nem is kerülheti meg a mobiltelefonok kérdéskörét, de annál sokkal szélesebb körben tárgyalja a témát. *Szabados László* cikke bevezet a természetes sugárforrások birodalmába. *Schanda János* egy ritkábban tárgyalt, de igen fontos területtel foglalkozik: az optikai tartományba eső sugárzás élettani hatásaival. Tanulmánya a bőr és a szem károsodásán kívül egyéb, kevésbé közismert jelenségeket is ismertet. *Thuróczy György* a rádiófrekvenciás sugárzás

élettani hatásait ismerteti. Ellentétben az optikai frekvenciákkal, amelyek sugárzásának hatása felszíni, a rádiófrekvenciás elektromágneses hullám képes behatolni az emberi testbe, és annak egész térfogatában kifejteni hatását. Ez primer módon a szövetek melegedését jelenti, másodlagosan azonban további hatások léphetnek fel, amelyek napjainkban intenzív vizsgálat tárgyai.

Mátay Gábor a rádiófrekvenciás sugárzás másik aspektusát mutatja be: a gyógyító sugárzást. Éppen a behatolóképeség és a termikus effektusok teszik lehetővé, hogy lokális melegítéssel terápiás hatást lehessen kifejteni. Más vonatkozásban a kibocsátott sugárzás diagnosztikai célokra használható. *Varjú György* ábrákkal gazdagon szemléltetett cikke a kisfrekvenciás elektromágneses erőtereket mutatja be, és felsorolja, hol, milyen határokat kell betartani egészségünk megőrzése érdekében.

A tanulmányok együtt igazolják, hogy az elektromágneses sugárzás önmagában nem átok és nem áldás. Kölcsönhatásainak minél alaposabb megismerése teszi lehetővé, hogy az általa okozott veszélyek ellen védekezni tudjunk, és ha kell, felhasználhassuk céljaink érdekében – most csak az orvosi felhasználásokat értve ez alatt.

ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS A KOZMOSZBÓL

Szabados László

az MTA doktora, tud. tanácsadó, MTA Csillagászati Kutatóintézet
szabados@konkoly.hu

Az elektromágneses sugárzás emberre gyakorolt hatásának áttekintésekor nem feledkezhetünk meg a kozmikus térség felől érkező sugárzásról sem. Ennek csak egy része jut le a földfelszínre. Az élő szervezetekre nézve kedvező, hogy éppen legnagyobb energiájú komponensei nem érik el a felszínt. Az Univerzum megismerése szempontjából azonban ez nem kevés nehézséget okoz, mert az elektromágneses sugárzás 20 nagyságrendet átfogó tartományának felét csak a légkör fölé küldött műszerekkel vizsgálhatjuk. Az összeállítás többi tanulmányától eltérően ez az írás nemcsak az elektromágneses sugárzás human hatásaival foglalkozik, hanem arra is kitérünk, hogy az emberi tevékenység a civilizáció jelenlegi fokán mennyire nehezíti meg a csillagászati megismerést az egyes hullámhosszakon.

A látható fény tartománya

A földi légkör az elektromágneses színeképből a látható fényt, a rádiósugárzást és az infravörös hullámok egy részét engedi át, de még e sugárzások is kissé gyengítve érik el a földfelszíni műszereket. A rövidebb hullámhosszú, vagyis nagy energiájú ibolyántúli, röntgen- és gammasugarakat a légkör elnyeli. Ez egyben azt is jelenti, hogy az atmoszféra, mint védőréteg fölé emelkedő asztronauták az űrállomáson kívüli tevékenységük során ki vannak téve e

sugárzások káros hatásainak. Az űrhajósok védőöltözetét úgy kell kialakítani, hogy a szkafander az oxigénellátás mellett szűrje ki az élő szervezetre káros sugárzásokat is. A kozmikus térségben tartózkodó embert veszélyezteti a nagy sebességgel szárguldó kisebb-nagyobb testekkel való ütközés is. Már az egészen apró meteoroidok becsapódása is jövátéhetetlen kárt okozhat az űrhajók burkolatában vagy az űrhajón kívül tartózkodó ember szkafanderében, de ennek tárgyalása kívül esik cikkünk keretein.

Kezdjük az áttekintést az elektromágneses sugárzás szemmel is érzékelhető tartományával, az optikai hullámokkal! A kórunkra jellemző energiapazarlást jól szemléltetik azok a képek, amelyek odafentről, a mesterséges holdak irányából mutatják a földi éjszakát. A fénytérképet szinte csak a színezés hiánya különbözteti meg a gazdasági földrajzi térképektől: minden város jól kivehető, a területének megfelelő nagyságú fényfoltként jelenik meg. Az iparvidékeket egybefüggő fénytenger jelzi. Mindez azért, mert a fényforrások egy része – szűkségtelenül – fölfelé (is) világít, illetve a jól beállított, csak lefelé világító lámpák fényének egy része szóródik a levegőben levő porszemcséken és egyéb szennyeződéseken. A fénytérkép tehát nemcsak a fényszennyezést mutatja, hanem azt is jelzi, hogy egyébként is mennyire szennyezett a nagyobb települések levegője.

Az *optikai csillagászat* obszervatóriumi mainak közvetlen közelében a csillagászok hozzájárulása nélkül általában nem lehet új fényforrást, új épületet létesíteni. A városok terjeszkedése miatt a korábban épült, egykor még a városon kívül vagy azok szélén levő obszervatóriumok (bel)városi csillagvizsgálókká váltak, amelyekben ma már többnyire lehetetlen tudományos értékű asztronómiai megfigyeléseket végezni. Ezen a közelükre korlátozódó fényvédelem sem segít, hiszen a légkörben lebegő aeroszolon és porszemcséken szóródó fénytől az egész égbolt határfényessége megnő, amihez nemcsak a közeli, hanem a távolabbi fényforrások is hozzájárulnak. A városlakók többsége nem látta még a Tejutat, és az állatövi fényt is legfeljebb hírből ismeri. Vagy még onnan sem, és az állatövről csak a horoszkópra asszociál, ám a saját jegyéhez tartozó csillagképet nem ismeri fel az égbolton, ez utóbbit azzal magyarázva, hogy a csillagok túlságosan halványak. A földi fényekhez szokott szemlélettel egyébként is nehéz felfogni az égitestekről érkező sugárzási fluxus gyengeségét. A keveset mondó számértékeknél jobban jellemzi a helyzetet egy több mint fél évszázados anekdota. A legnagyobb távcsövekkel akkoriban már elsősorban spektroszkópiai megfigyeléseket végeztek, és a halvány égitestekről csak többórás expozícióval lehetett használható színekpet készíteni. A történet szerint a csillagász azt kérte az obszervatóriumba látogató dohányos vendégeitől, hogy távozásuk után egy darabig ne gyújtsanak rá, mert a felvillanó gyufa fénye zavaró színekpvonalakot kelt a gyenge égi forrásról készítendő spektrumban.

Napjaink legkorszerűbb optikai csillagászati berendezései több nagyságrenddel érzékenyebbek a néhány évtizeddel korábbiaknál – a legnagyobb távcsövek főtükreinek átmérője már a tíz métert is eléri, a jelek

regisztrálásában pedig a fényképezést az elektronikus rögzítés váltotta fel –, az órákig tartó expozíció mégsem ment ki a divatból, mert az egykor észlelt halvány objektumoknál sokkalta halványabbak is akadnak.

Jellemző, hogy az optikai csillagászat megfigyelőhelyei a lehető legmesszebbre kerültek a lakott területektől. Ilyen obszervatóriumokat ugyanis oda érdemes telepíteni, ahol az ipari és fényszennyezés még nem tette tönkre a légkört, és a lehető legnagyobb a felhőmentes éjszakák száma. E követelményeknek a száraz klímájú magashegységek felelnek meg a legjobban. A legjelentősebb földi obszervatóriumokat a Hawaii-szigetek és a Kanári-szigetek néptelen csúcsaira, valamint az Andok chilei fennsíkjaira telepítették. Ebben a tengerszint feletti magasságban a tartós munkavégzés szigorú egészségügyi követelményeket támaszt az oda utazókkal szemben. Újabban az Antarktisz is az optikai csillagászat megfigyelőbázisai közé került. Az ottani levegő tisztasága mellett a hideg helyszín előnye még az alacsony páratartalom és a folyamatos megfigyelési lehetőség, hiszen az ottani télen hónapokig nem kel fel a nap. A megszakítás nélküli hosszú adatsorok a többszörösen periódusos jelenségek vizsgálatában fontosak, mert az elemzést nem nehezítik a szakaszos mintavételezés következtében fellépő hamis frekvenciák.

A legjobban kihasználható optikai távcső azonban nem a Földön van, hanem a légkör legnagyobb része fölött kering a Föld körül. Mivel állandó helyszíni személyzete nincs, az 1990 óta működő Hubble-űrtávcső minden feladatát automatikusan, illetve földi irányítással végzi. A zavartalan működés érdekében azonban néha szükség van az ember helyszíni beavatkozására. A Hubble-űrtávcsövet eleve kis magasságú pályára helyezték, hogy az űrrepülőgépen utazó asztronauták eljuthassanak hozzá.

Egy-egy karbantartás során az űrtávcsövet a robotkarral beemelik az űrrepülőgép rakterébe, és nemcsak kicserélik az elromlott vagy elavult detektorokat, segédberendezéseket, hanem minden szerviz alkalmával az űrrepülőgép kicsit távolabb is viszi az űrtávcsövet, mert 600 km-rel a felszín fölött még nem teljesen elhanyagolható a légkör fékező hatása. Az ebben a magasságban keringő űreszköz 2-3 év alatt jócskán fékeződik a közegellenállástól, emiatt alacsonyabbra kerül, ahol még sűrűbb a légkör és nagyobb a fékező hatása.

Az optikai tartományt vizsgáló űrtávcső semmiképp nem teszi szükségtelessé a földfelszíni optikai csillagászatot. Ami az alig két és fél méter átmérőjű Hubble-űrtávcsővel már nem vizsgálható, arról a földi óriástávcsövekkel még éppen elég foton gyűjthető össze. A költséges üzemeltetés miatt a csillagászok érdeke, hogy figyelembe vegyék, milyen kutatást melyik műszerrel érdemes végezni.

Rádiócsillagászat

A 20. század közepén kialakult *rádiócsillagászat* eszközei szintén földfelszíni teleszkópok. Mivel a kozmikus rádiósugárzás vizsgálatához hatalmas berendezésekre van szükség, a rádiócsillagászok nem menekülhetnek túlságosan távol a civilizáció által érintett területektől. A nagy átmérőjű teleszkópokat nemcsak a detektálandó jel kis intenzitása teszi szükségessé, hanem az is, hogy elegendően nagy felbontású képet sikerüljön alkotni, illetve, hogy meg lehessen különböztetni két, egymástól kis szögtávolságra levő pontszerű rádióforrást. Egy távcső felbontóképessége ugyanis az elektromágneses sugárzás hullámhosszával egyenesen, a sugárzást gyűjtő teleszkóp átmérőjével pedig fordítottan arányos. Mivel a rádiósugárzás hullámhossza a millimétertől a kilométerig terjedő tartományba esik (ebből a földi légkör a 8 mm–15 m

közötti tartományba eső hullámokat engedő át), az optikai távcsövekével azonos felbontás eléréséhez ezerszer-egymilliárdszor nagyobb átmérőjű rádióteleszkópokra volna szükség, mint a látható fény vizsgálatához. Ekkora műszerek készítésének technikai és pénzügyi akadályai is vannak.

A tetszőleges égi irányba mozgatható legnagyobb rádióteleszkópok átmérője 100 m körüli, de még azokkal sem érhető el az optikai hullámhosszakon megszokott szögfelbontás. A felbontást interferometriával lehet fokozni, amelynek során két vagy több, egymástól tetszőleges távolságban elhelyezett rádióteleszkóp jeleit egyesítik, ügyelve az egyes teleszkópok által felfogott sugárzás eredeti fázisviszonyainak megőrzésére.

Az interferometriával elérhető szögfelbontást a hullámhossz mellett az szabja meg, hogy mekkora a legnagyobb távolság a rendszerbe kapcsolt rádióteleszkópok között. Már az interkontinentális rádiócsillagászati interferometriának is több évtizedre visszanyúló története van, és az ezredforduló előtt olyan hosszú bázisvonalú interferometriát is sikerült megvalósítani, amelynél az egyik antenna (rádiótávcső) a Föld körül kering. Akkor a rádiócsillagászati szögfelbontás átmenetileg meg is előzte az optikai csillagászatét.

A rádióteleszkópok nem feltétlenül parabolaantennák, téglalap alakú gyűjtőfelület ugyanúgy előfordul, mint kerek. Az óriási antennák sugárzásvisszaverő felülete viszont nem tömör, ellentétben az optikai távcsövek tükrével. A vizsgálandó rádiósugárzás hullámhosszától függően ritka vagy sűrű szövésű drótháló is alkalmas a sugárzás visszaverésére, ez mind a rádióteleszkópok mozgó részének összetömege, mind széllal szembeni viselkedése szempontjából kedvező.

A rádióhullámok detektálásakor ugyanakkor kedvezőtlen, hogy a tulajdonkép-

peni vevőantennaként szolgáló rádióteleszkóp nem egyetlen irányból gyűjti a jelet, hanem – kisebb mértékben ugyan, de – érzékeny az oldalról érkező sugárzásra is. Ameddig nem sikerül elérni, hogy a rádióteleszkópok iránykarakterisztikája tülhegyes legyen (a gyűjtőfelület optikai tengelyének irányában), addig a földi civilizáció a rádiócsillagászat ellenfele marad. Az ember által használt technikai eszközök ugyanis erősen zavarják a kozmikus rádiójelek vételét. Nem a műsorszóró adók rádiósugárzása a zavarforrás, mert azok frekvenciája kívül esik a csillagászat szempontjából érdekes frekvenciatartományokon. A rádiókészülékek rövid-, közép- és hosszúhullámú sávjain azért lehet nagyon távoli országokból sugárzott adásokat fogni, mert az ionoszféra visszaveri a 15 m-nél nagyobb hullámhosszú rádiósugárzást. Ugyanez történik a kozmoszból érkező, ilyen hullámhosszú sugárzással is, tehát a 15 m-nél nagyobb hullámhosszú rádiósugárzás a földi rádiócsillagászat számára érdektelen. Az URH-jelekkel már nem ez a helyzet, azok csak ott foghatók, ahol a vevőkészülék közvetlenül „látja” az adót, illetve valamelyik átjátszó rádió- vagy tévéantennát. Ezért olyan kicsi az URH-adások vételkörzete.

A műsorszóró és távközlési műholdak által ma már tetszőleges hullámhosszon interkontinentális kapcsolat teremthető, s ez tovább nehezíti a rádiócsillagászat helyzetét. Korábban ugyanis elegendőnek bizonyult, hogy a rádiócsillagászati műszereket dombokkal-hegyekkel körülvárt völgyekbe telepítették, de most már felülről is érkezik földi eredetű sugárzás a rádióteleszkópokba. Az érthető, hogy az optikai csillagászat műszereit miért telepítik magas hegyekre, de mi elől kell a völgyekbe menekülniük a rádiócsillagászoknak? A civilizáció okozta rádió zaj nagy része elől. A háztartási gépek és az ipari elektromos ké-

szülékek eredeti funkciójuk mellett rádió zajforrások is. Mindenki tapasztalhatta már, hogy a tévékészüléke serceg és csíkos a képe, ha a közelben hegesztőkészülék, rosszul árnyékolt mikrosütő vagy öreg porszívó, mixer stb. működik. Pedig ezek névleges működési frekvenciája nem is közös a tévéadásokéval. Az elektromágneses zaj sokszor egészen széles frekvenciatartományban jelentkezik, és ugyancsak fénysebességgel terjed, csak éppen a fény (pl. szikrázó kapcsoló) kivételével közvetlenül nem észlelhető.

A rádiótávcsövekbe érkező kozmikus jelek intenzitása annyira csekély, hogy a vevőelektronikával – nem mindennapi mértékben – olykor billiószorosára kell erősíteni a jelet, hogy az kiértékelhető legyen. Az erősítő azonban a zajt is ugyanilyen mértékben fokozza. Hiába van messze az a készülék, amelynek motorjában a kopott szénkefe minden fordulaton szikrát kelt, a rádiótávcső e gyenge földi jelet így is nagyságrendekkel erősebbnek érzékeli a kozmikus jelforrásnál.

A tudományos kutatás fontosságára tekintettel a rádiócsillagászoknak bizonyos frekvenciákat sikerült védetté nyilvánítaniuk. E sávokat a Nemzetközi Távközlési Unió (ITU) egyéb célra nem ítélteti oda. A legfontosabb frekvencia ezek közül az 1421 MHz, vagyis a 21 cm-es hullámhossz, amelyen a csillagközi térben levő hidrogénatomok sugároznak (két spinállapotuk közötti hiperfinom átmenetkor). A Tejúrendszer spirálkarjait is ezen a frekvencián sikerült feltérképezni. A kozmikus rádióvéttel céljaira a csillagászok további két tucat frekvenciasávot próbálnak védeni a 13 MHz és 275 GHz közötti sávban, de az egyre növekvő igény miatt a távközlési és műsorszórási frekvenciák kiosztásakor minden alkalommal meg kell küzdeni a tudományos kutatás érdekének figyelembevételéért.

A kozmikus infravörös sugárzás

A látható fény és a rádiósugárzás közé esik az *infravörös* (hullámhosszuk 1-300 mikrométer) és a *szubmilliméteres* (0,3-1 mm) sugarak tartománya. Az ilyen hullámhosszakon a légkör már nem teljesen átlátszó, ezért a csillagászok csak bizonyos „ablakokon” át látnak ki az Univerzumba. Ilyen ablakok vannak az 1-5 mikrométeres tartományban és 10 mikrométer körül. A többi infravörös sugarat a légkörben levő vízmolekulák és szén-dioxid nyeli el, de maguk az ablakok sem teljesen tiszták, mert az adott hullámhosszú sugárzás erőssége a légkör aljára érve alaposan csökken az atmoszféra felső rétegében mérhető intenzitásához képest. A levegő páratartalma viszont a felszíntől felfelé emelkedve gyorsan csökken, ezért az infravörösben észlelő földi távcsöveket is magas hegyekre érdemes telepíteni.

Az infravörös csillagászat nagy földi műszereit többnyire már meglévő obszervatóriumokban állították fel, ezzel megszabadulva az infrastruktúra kiépítésének gondjától. Az óriás optikai távcsövek szomszédságában Chilében, Hawaii-n és a Kanári-szigeteken is működnek az infravörös és szubmilliméteres tartományt vizsgáló teleszkópok.

A hétköznapi életben számos példát találunk arra, hogy az infravörös tartományban a szobahőmérsékletű testek sugárzása dominál. Az éjszakai felderítés és az épületek vagyonvédelme érdekében felszerelt mozgásérzékelő alapja egyaránt az ilyen hullámhosszakra érzékeny kamera. Hasonlóképpen, a házak homlokzatának infravörös sugárzása alapján készített hőterképből állapítják meg, hogy a rossz szigetelés következtében hol szökik a meleg.

Az égitestek világában az optikaival szomszédos közeli infravörös hullámhosszakon még a csillagok hőmérsékleti sugár-

zása dominál, de növekvő hullámhosszak felé már az egyre hidegebb tartományok a fő sugárforrások. 100 mikrométeren például a néhány K hőmérsékletű csillagközi por. Ha az optikai tartományban valamerre nem lehet messzire látni a csillagközi fényelnyelés miatt, a színek infravörös részében az elnyelés hullámhosszfüggése szabad kilátást tesz lehetővé abban az irányban is. Ezekben a hullámhosszakon sikerült a legtöbb információt szerezni a csillagok keletkezéséről, hiszen ez a folyamat a hideg csillagközi anyagban, molekulafelhőkben zajlik.

A csillagászoknak úgy kell vizsgálniuk az égi források infravörös sugárzását, hogy közben maga a távcső és minden, ami vagy aki annak környezetében van, infravörös sugárzást bocsát ki, hiszen átlagos körülmények között ebbe a tartományba esik hőmérsékleti sugárzásuk maximuma. Az egyik legfontosabb teendő, hogy a detektort és környezetét az abszolút nulla fok közelébe kell hűteni. A Föld körül keringő infravörös-obszervatóriumok működési idejét is az szabja meg, hogy mennyi ideig tart ki a hűtőanyag. Bár az eddigiek (közülük a két legfontosabb az IRAS és ISO) hasznos élettartama csak egy-két év volt, nem kétséges, hogy szükséges van ilyen úrszondákra, mivel a légkörön kívülről a teljes infravörös tartomány vizsgálható.

A földi mérésekre visszatérve meg kell említeni, hogy a hűtéssel csak a háttérzaj egy része csökkenthető. Bőven marad eltávolíthatatlan zajkomponens, például a légkör hőmérsékleti sugárzása. A levegő a benne kialakuló hőmérséklet-különbségek hatására állandóan mozgásban van, ezért a látóirányba eső levegőoszlop hőmérsékleti rétegződése pillanatonként változik, vagyis a mérendő kozmikus jelhez nem állandó értékű háttér adódik. Talán indokoltabb lenne meg is cserélni, hogy mi mihez adódik, mert a háttér erőssége meghaladja

a csillagászati forrástól származó jelét, és a háttér ingadozásának mértéke szabja meg, hogy meddig van értelme a mérésnek. A földi infravörös-méréseknél még a távcső mellett dolgozó csillagász teste is zajforrás. Arra még lehet ügyelni, hogy ő maga keveset mozogjon a mérés közben, sőt, az automatizálás vagy távirányítás megoldásával a személyes jelenlétre sincs szükség, de a levegőben repülő rovarok, bogarak, madarak akkor is mindvégig mozognak. Az ilyen mérésekre ezért is megfelelő hely a magas hegy, néhány ezer méterrel a tengerszint fölött már a madár sem jár...

Nagy energiájú fotonok

A látható fényénél rövidebb hullámhosszú elektromágneses sugárzásnál egészen más jellegű az ember és a kozmikus térség viszonya. Az élet szempontjából szerencsés, hogy e nagyobb frekvenciájú hullámok nem jutnak el a földfelszínig, mert – különböző módon, de – károsak a biológiai szövetekre.

A Földre kívülről érkező *ibolyántúli sugárzás* nagy részét (a legrövidebb hullámhosszú UV-sugarak kivételével) a felszín fölött 25–50 km magasságban levő légköri ózon nyeli el, amit ezért ózonpajzsként is szoktak említeni. Ez túlzás, tekintettel arra, hogy abban a rétegben csak 2–3 ózonmolekula (tehát háromatomos oxigén) akad minden egymillió oxigénmolekula között, de még ez a kis gyakoriság is elég az ibolyántúli sugárzás hatásos kiszűréséhez. A kis ózonkoncentráció ugyanakkor magában hordozza annak veszélyét, hogy a korábban kiterjedten használt gáz, a mesterségesen előállított freon a magaslégtérbe kerülve nagyobb területek fölött is elbontja az ózont. Az Antarktisz fölött már megritkult az ózon, amit szemléletesen ózonlyukként emlegetnek. Az emberiség közös érdeke, hogy az ózonlyuk ne terjeszkedjen tovább.

Ismert tény a túlzásba vitt napozás és a bőrrák kialakulása közötti összefüggés. A napfény ultraibolya komponense nemcsak barnítja a bőrt, hanem árt is neki. A nap-sugárzással még így is csak a legkevésbé káros ibolyántúli sugarak jutnak le a felszínre.

Még rövidebb hullámhosszak felé egyre nagyobb az elektromágneses fotonok energiája, ezért ionizálni tudják az útjukba eső atomokat. Az extrém ultraibolya tartományba eső fotonok a légköri nitrogént és oxigént ionizálva nyelődnek el, a 91,2 nm-nél rövidebb hullámhosszú ibolyántúli fotonok pedig már a semleges hidrogént is képesek ionizálni. A forró csillagokból származó ilyen fotonok már a csillagközi térben elnyelődnek, mert a hidrogénatomok mindenütt megtalálhatók.

A 10 és 0,01 nm közötti hullámhosszú sugárzás az elektromágneses színeként röntgentartomány. A *röntgensugarak* roncsoló hatása ugyancsak közismert. A bioszféra szerencsére szintén védve van e káros sugárzástól, mert a kozmikus források által kibocsátott röntgenfotonok a földi légkör valamelyik atomját ionizálva elnyelődnek. Ez már a magaslégtérben bekövetkezik, így a felszín fölött nagyjából 10 km utazómagasságban haladó repülőgépeken tartózkodók sincsenek kitéve e nagy energiájú sugárzásnak.

A fizikában és a csillagászatban a röntgensugarakat már nem is a frekvenciájukkal vagy a hullámhosszukkal, hanem a fotonok energiájával jellemzik, mert sok szempontból úgy viselkednek, mint a nagy energiájú részecskék. A röntgensugarak eszerint a 0,1–100 keV energiatartományba esnek.

A röntgensugarak fókuszálásakor az optikából ismert, és a rádióhullámoktól kezdve az ibolyántúli sugárzásig bevált módszer nem vezet eredményre, ami a röntgenfotonok részecsketermészetét pél-

dázza. Ha ugyanis a röntgensugárzás reflektáló felülettel találkozik, akkor visszaverődés helyett a foton egyszerűen behatol a „tükör” anyagába. Az ennyire nagy energiájú sugarak mégis visszaverődésre kényszeríthetők, ha a reflektáló felülettel kis szöveget bezárva (ún. súroló beeséssel) érkeznek a tükörhöz. E módszerrel sikerült megoldani a röntgensillagászati képpalkotást. Jelenleg két nagy röntgentávcső működik a Föld körül keringő űrszondákon.

A gyógyászatban vagy egészségügyi szűrővizsgálaton, valamint a más, kevésbé közismert felhasználási területen (pl. az anyagvizsgálatban) alkalmazott röntgensugarakat mesterségesen állítják elő. A röntgensillagászat létéből következik, hogy az égitestek világában természetes úton is kialakul röntgensugárzás. Közönséges és egzotikus égitestek egyaránt bocsátanak ki ebbe a hullámhossztartományba eső fotonokat.

Az alacsony felszíni hőmérsékletű törpecsillagok körül korona alakul ki, amely a napkoronához hasonlóan millió K hőmérsékletű. Az ilyen forró plazma hőmérsékleti sugárzásának maximuma a röntgentartományba esik. Ugyancsak millió fokos gáz tölti ki a galaxishalmazokban az intergalaktikus teret. Ezt a plazmát éppen röntgensugárzása alapján fedezték fel. Erős röntgenforrásokká válnak a kölcsönható kettőscsillagok is, amikor egyik komponensük a csillagfejlődés végén tömegétől függően fehér törpévé, neutroncsillaggá vagy fekete lyukká zsugorodik. A degenerált anyagú csillag magába szippantja a társáról eltávozott anyagot, és a tömegcsere során a bezuhanó anyag becsapódásának környezete a leadott mozgási energiától annyira felforrósodik, hogy a forró folt a röntgentartományban (is) sugároz. A kettőscsillagok nagy gyakorisága következtében a kb. százezer ismert röntgenforrás nagyobbik hányadának röntgensugárzása

erre a folyamatra vezethető vissza. Erős röntgensugárzás érkezik továbbá az aktív galaxismagokból, pl. kvazárokból. Néhány éve pedig az üstökösökből származó röntgensugárzást is felfedezték. Közelsége miatt azonban a Nap a legfontosabb röntgenforrás – miként más hullámhosszakon is. A Nap sugárzásának földi hatásait ezért külön tárgyaljuk.

Az elektromágneses hullámok közül a *gammásugárzás* a legkeményebb, vagyis a legnagyobb energiájú. A gammásugarak hullámhossza 0,01 nm-nél rövidebb, ezért egy gammafoton energiája meghaladja a 100 keV-ot, a legnagyobb frekvenciájúaké a 100 GeV értéket is elérheti. A kozmikus eredetű gammásugarak nagy része is elnyelődik a Föld légkörében (a Compton-effektus, ill. párkeltés során), az atmoszférán csak a legnagyobb energiájú gamma-kvantumok képesek érintetlenül átjutni. Ezek száma viszont olyan alacsony, hogy a mindennapi élet szempontjából nincs jelentőségük.

A gammásugarak az Univerzum legmagasabb hőmérsékletű tartományaiiban, a leghevesebb folyamatok során keletkeznek. A csillagok energiáját termelő magfúziók is gammásugárzás felszabadulásával járnak, de mire a csillag magjából az energia eljut a felszínig, a fotonok már többször elnyelődnek, és az így gerjesztett állapotba került atomok az elnyelt energiát több lépésben kisugározva, azaz kisebb energiájú fotonok kibocsátásával adják le. A kozmikus térben fénysebességgel száguldó gammafotonok más eredetűek: nagy energiájú tranziens események (pl. szupernóva-robbanás) során és extrém magas (kb. százmillió K) hőmérsékleten keletkeznek. Az ezredfordulón a gammacsillagászat legfontosabb feladata az egyre nagyobb számban felfedezett és most már bizonyítottan kozmológiai távolságban bekövetkező gammakitörések természetének megfejtése.

Egy kis kitérő

Az égitestekre és kozmikus jelenségekre vonatkozóan a csillagászok a legtöbb információhoz az elektromágneses hullámok elemzéséből jutottak, de létezik más információforrás is, mert a Földet nemcsak elektromágneses sugárzás éri. Összefoglaló néven *kozmosz sugárzásnak* nevezik a térben közel fénysebességgel száguldó semleges és elektromosan töltött részecskéket (elektron, proton, pozitron stb.), amelyek közül a héliumatommag a legnehezebb. Megjegyzendő, hogy ebben az esetben a sugárzás elnevezés megtévesztő, hiszen itt részecskék mozgásáról, azaz áramlásról van szó. Az ilyen részecskék közé tartozik a *neutrínó* is. Az elektromos töltés nélküli és legfeljebb egészen kis (de még pontosan nem ismert) nyugalmi tömegű elemi részecske, a neutrínó csak gyenge kölcsönhatásra képes. A Földet bombázó neutrínók legnagyobb része elnyelődés nélkül hatol át magán a Földön is. Az emberi testen is minden pillanatban keresztül-kasul száguldanak a neutrínók, anélkül, hogy azt bármilyen módon is észrevennénk. Sokkal kisebb sebességű, de földi hatásai miatt fontosabb a Napból érkező részecskeáram, a *napszél* (l. később).

Létezik még egy hullámfajta a kozmikus térben, a nem elektromágneses eredetű *gravitációs hullám*. Az általános relativitáselmélet szerint a gravitációs mező változása hullámok kibocsátásával jár. Ez a téridő rezgéseként felfogható hullám fénysebességgel terjed. Az ilyen hullámok hatására itt a Földön a gravitációs mező vibrálása az eredeti térerősségnél legalább 20 nagyságrenddel kisebb. A gravitációs hullámok kimutatása kellően érzékeny detektor híján még nem sikerült, de létezésüket közvetett bizonyítékok már alátámasztják. Gravitációs hullámok kibocsátására a korábban említett kettőscsillagok közül

azoknál lehet számítani, amelyeknél két kicsi és szupersűrű test, pl. neutroncsillag kering szorosan egymás körül. Ilyen csillagpár a PSR 1913+16 pulzár, amelynek mindkét komponense neutroncsillag. A néhány kilométer átmérőjű, de a Napénál nagyobb tömegű két csillag alig 8 óra alatt kerül ki körbe a rendszer közös tömegközéppontját. A nagy tömegek ilyen gyors mozgása pedig a gravitációs mező szerkezetét is modulálja. Hogy a rendszer emiatt gravitációs hullámokat bocsát ki, arra a keringés folyamatos lassulásából következtetnek, ugyanis a gravitációs hullámokkal a rendszer energiájának egy része is távozik. A Földre jutó gravitációs hullámok fluxusa mindenesetre annyira kicsi, hogy élettani hatásukra nem lehet számítani, bár ennek kísérleti alátámasztására bizonyára még sokat kell várni.

Röviden a Nap földi hatásairól

Köztudott, hogy a Nap, illetve annak sugárzása nélkül nem létezhetne élet a Földön. A Napról az a felületes benyomásunk, hogy sugárzása egyenletes, pedig életadó csillagunk meglehetősen változékony: a belsejében és a felszínén egyaránt mozgalmos jelenségek zajlanak. Ezek következtében a Nap nem egyszerűen úgy sugároz, mint egy 5785 K hőmérsékletű feketetest, bár a kisugárzott energia hullámhossz szerinti eloszlása megközelíti azt. Sugárzása az optikai tartományban, azon belül a sárga fény hullámhosszán a legerősebb – ezért látjuk sárgának a Napot, és ezért alakult úgy a biológiai fejlődés során, hogy a szem éppen erre a hullámhossztartományra érzékeny (vö. az éjszakai életre berendezkedett denevérek repülés közben ultrahanggal működő radarjukkal tájékozódnak). A Nap hőmérsékleti sugárzása mind az infravörös, mind az ibolyántúli hullámhosszak felé egyre csökkenő intenzitású, amiből arra következtethetnénk, hogy a Naprendszer

központi csillaga felől érkező rádió- és röntgensugárzás egészen jelentéktelen. A valóság viszont egészen más.

A Nap látható felszíne – a fotoszféra – fölött kiterjedt burok veszi körbe csillagunkat. Ez a ritka, de a Nap átmérőjének többszöröseig kiterjedő napkorona nagyon forró: a benne levő részecskék mozgásából és ionizációs állapotából meghatározott hőmérséklete meghaladja az 1 millió kelvint, s ennek következtében a napkorona erős röntgenforrás. A korona léte a Nap mágneses terével függ össze.

A Nap belsejében zajló mozgások és a dinamómechanizmussal felerősödött mágneses tér bonyolult kölcsönhatásai különféle időskálájú változásokat, instabilitásokat idéznek elő a Napon. A csillagra jellemző egyenletes sugárzási teljesítményhez a naptevékenység miatt járulékos sugárzások adódnak, amelyek időskálája igen változatos, néhány másodperctől több évtizedig tartó aktivitási jelenségek, hatások egyaránt fellépnek.

A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a Nap nemcsak sugárzással veszít energiájából, hanem részecskék is repülnek ki belőle. A Napot elhagyó töltött részecskék árama a napszél, amely a nyugodt Napra is jellemző. A naptevékenység heves megnyilvánulásai, pl. napkitörés (fler) vagy koronakitörés alkalmával a nyugodt napszélhez viszonyítva sokkal nagyobb sebességű részecskefelhő repül ki a Napból másodpercek-percek alatt. S ha éppen a Föld irányába dobódott ki az akár egymilliárd tonnányi tömeg, annak hatása a felhő sebességétől függően órák vagy napok múlva bolygónkon is észlelhető. A tömeg kidobásának idején felszabaduló elektromágneses sugárzás természetesen fénysebességgel terjed, így a naptevékenység heves eseményeiről már 8 perccel azok bekövetkezése után tudomást szerezhetünk. A Nap viselkedésének és földi hatásainak részle-

tezése meghaladja e cikk kereteit, ezért csak néhány figyelemreméltó tény ismertetésére szorítkozunk.

A földi klíma szempontjából lényeges kérdés, hogy megszokott (napos, éves ciklusú) periodikus ingadozásoktól eltekintve mennyire marad állandó a Nap sugárzása évtizedes vagy azt meghaladó időskálán. Ezt a légkör alján szinte lehetetlen pontosan megmérni. Mostanra viszont már a légkör fölé juttatott műszerekkel végzett mérések is három évtizedet fognak át, és az eredmények szerint a Nap sugárzásának ingadozása a sugarakra merőleges felület egységen két ezreléknél kisebb. A becslések szerint a Nap sugárzásnak 1 %-os növekedése egy fokkal emelné a földfelszín átlaghőmérsékletét. A Nap jelenlegi viselkedése tehát nem okoz globális felmelegedést a Földön. Mivel bolygónk ellipszispályán kering a Nap körül, napközben 8%-kal erősebb a besugárzás, mint a pálya naptávoli pontjában. Az északi féltekén lakók (legalábbis közülük azok, akik nem szeretik a hideget) szerencséjére a Föld januárban van napközben, így nálunk nem annyira alacsony a téli átlaghőmérséklet, mint az Egyenlítőtől délre, hasonló földrajzi szélességen. Ami a nappalok és éjszakák váltakozása miatt bekövetkező hőmérséklet-változást illeti, a felszínen és a légkör alján tapasztalható mérsékelt ingadozást a légkör 100 km feletti rétegében – a *termoszférában* – hatalmas változás váltja fel, olyan magasságban nappal 400 fokkal szökik feljebb a hőmérséklet a napsugárzás hatására. A hőmérséklet emelkedése miatt a nyomás is megnő ott, ami a nappali oldalról az éjszakai félgömb felé mozgó, több száz m/s sebességű szelet gerjeszt. Mindez a nyugodt Nap sugárzásának mindennapos következménye.

Ehhez járul még a naptevékenység hatása. A napaktivitás ugyancsak a Föld légkörének, illetve bolygónk környezetének

állapotát megváltoztatva befolyásolja a Földet és a rajta levő élőlényeket. A semleges alsó légkör fölött kb. a termoszféra alsó határának magasságában kezdődik az *ionoszféra*, amely elektromosan töltött részecskéket tartalmaz. Ez a réteg azért alakul ki, mert a kozmikus térből, de főleg a Naptól érkező nagy energiájú sugárzás ionizálja a légköri atomokat. A nappali és az éjszakai oldalon eltérő magasságú az ionoszféra alsó határa, és az ionsűrűség is napszakonként változik. Mivel a földi rádiózás részben azon alapul, hogy a rádiófrekvenciás sugárzás visszaverődik az ionoszféráról, az ionizált réteg állapota a vételi viszonyokat is befolyásolja. Ez gyenge naptevékenység idején is igaz, de napkitörések hatására egészen alacsonyra lehúzódhat az ionoszféra, s olyankor az is előfordul, hogy megbolondul a rádióvétel: egészen közeli rövidhullámú adót nem lehet fogni, de a világ másik végéről tisztán kivethető némelyik adás.

A Földet mágneses tere miatt magnetoszféra övezi. A magnetoszféra állapota igen érzékeny a Naptól származó hatásokra, főleg a töltött részecskéket befolyásolják. A Naptól érkező töltött részecskéket a földi mágneses tér befogja, és az erővonalak menti mozgásra kényszeríti. A Föld mágneses terének dipólus jellege miatt az erővonalak a pólusoknál kerülnek közel a földfelszínhez, ezért a sebesen száguldó elektronok a sarkok környezetében érkeznek a sűrűbb légrétegekbe, ahol az oxigén és a nitrogén molekuláival találkozva gerjesztik azokat. Ennek hatására jön létre a sarki fény, amely erős naptevékenység idején gyakoribb, és az olyankor kialakuló mágneses viharok alkalmával a pólusoktól távolabb, közepes földrajzi szélességekről (pl. Magyarországról) is megfigyelhető a sejtelmes fénylés. Mivel a mágneses viharok töltött részecskék mozgásával járnak, az ionoszférában hatalmas (millió amper erősségű) áram folyik, ettől lokálisan meg-

változik a mágneses tér szerkezete is, és tranziens áram generálódik a föld alatt, az óceánokban, de még az elektromos vezetőekben is. Előfordul, hogy a transzformátorállomások nem képesek elviselni ekkora terhelést. A legemlékezetesebb példa erre az 1989 márciusában bekövetkezett földmágneses vihar, amikor Kanada Quebec tartományában 9 órán át szünetelt az áramszolgáltatás a transzformátorok túlhevülése által okozott üzemzavar miatt. Az eset hatására keletkezett gazdasági veszteséget ötmilliárd dollárra becsülték. Kissé elkalandoztunk az elektromágneses sugárzás hatásaitól, de mentségünkre szolgál, hogy a napaktivitás során a töltött részecskék azért repülnek ki, mert valahol a Napon rengeteg energia szabadul fel, ami hatalmas mennyiségű elektromágneses sugárzás kibocsátásával is jár.

Feltétlenül meg kell említeni a napkitörések élettani hatásait, bár hatásmechanizmusuk még korántsem tisztázott. A napkitöréseket vagy koronakitöréseket követő földmágneses vihar az emberek egy részét, pl. a szívbetegeket jobban megviseli, mint egy időjárás front. A szívkorházak ezért egyre inkább figyelembe veszik a napfizikusok jelzéseit, hiszen a kitörések elektromágneses sugárzása órákkal hamarabb ideér, mint a mágneses vihart kiváltó részecskefelhő. Egy új tudományág van születőben, amelyet nem véletlenül neveznek *űrmeteorológiának*. Az űridőjárást a Földön végzett megfigyeléseken kívül űrobszervatóriumokban elhelyezett műszerekkel követik nyomon. Ezek az űrobszervatóriumok olyan pályán haladnak a Föld környezetében, hogy mindig a Föld és a Nap között helyezkednek el, így műszerei hamarabb észlelik, hogy milyen elektromágneses sugárzásnak és részecskeáramnak van kitéve a Föld a Nap irányából.

A naptevékenység és az űrtevékenység között másfajta kapcsolat is létezik. Az

elmúlt évtizedekben nagyjából ötezer űreszköz került Föld körüli pályára. Ezek nagy része már használaton kívüli (elromlott, kikapcsolták stb.), vagyis űrszemét. Az űrben keringő mesterséges objektumok száma ennél jóval nagyobb, ugyanis űtközés, meteoroidbeesés vagy robbanás hatására számos űreszköz darabjaira esett. A Föld körül keringő testek közül kb. tízezer nagyobb egy méternél, az ennél kisebb méretű törmelékek száma pedig milliós nagyságrendű. Bár a földi légkör sűrűsége a magassággal rohamosan csökken, a sűrűség még 1500 km-rel a felszín fölött sem hanyagolható el. A felsőlégrében mozgó űreszközök és törmelékek a közegellenállás hatására fokozatosan fékeződnek, pályájuk földközelpontja egyre alacsonyabbra kerül, ahol az atmoszféra még sűrűbb, így végül elkerülhetetlenül lezuhannak. A kisebb darabok még a levegőben elégséges megsemmisülnek zuhanás közben, a nagyobbak pályáját pedig – ha szükséges és lehetséges –, úgy módosítják, hogy a világoceánba csapódjanak be. Amikor a 11 éves naptevékenységi ciklus során a napaktivitás a legerősebb, a természet nagytakarítást végez a felsőlégrében. Ilyenkor ugyanis sokkal nagyobb a felső légkör sűrűsége, mint a naptevékenység minimuma idején, ezért a magasban keringő testek erősebben fékeződnek. Az 1989–1990-ben bekövetkezett napaktivitási maximum idején 500 tonnánál több anyag hullott vissza a Földre az egykori mesterséges holdak maradványaiból.

A csillagászat nagy számokkal dolgozik. A hétköznapi skálákhoz szokott embernek a hatalmas távolságok és időtartamok egyaránt felfoghatatlanok. Tudomásul kell venni, hogy a Nap mint csillag fejlődése milliárd éves időskálán fejezhető ki. Lehet, hogy a ma emberének mindegy, hogy négy milliárd éve milyen volt a Nap sugárzása és milyen lesz ugyanennyi idő

múlva, de a földi élet kialakulása és további fejlődése szempontjából ez a kérdés nagyon is lényeges.

Más csillagok megfigyeléséből és megbízható számításokból ismert, hogy kialakulását követően a Nap csak jelenlegi teljesítményének 70 %-ával sugárzott, és ameddig fősorozati (sárga törpe) csillag marad, addig lassan tovább nő a teljesítménye. E rendkívül hosszú időskálájú változásra a Nap tulajdonságai és viselkedése miatt más változások rakódnak, amelyek a földi klímát is befolyásolják. A történelmi idők klimatikus eseményeit az emberiség már a saját bőrén is érezte. A számos példa közül itt csupán egyre utalunk, a 17. század második felétől a 18. sz. elejéig tartó kis jégkorszakra. Akkoriban a Föld felszínén az átlaghőmérséklet 1 fokkal alacsonyabb volt a megszokott értéknél. A jelenséget a Nap életében bekövetkezett érdekes csillagfejlődési epizód váltotta ki. Számos jel mutat arra, hogy 1645 és 1715 között szünetelt a Nap aktivitása. Azokban az évtizedekben szinte alig láttak foltot a Napon, pedig akkor már távcsővel figyelték, nincsenek feljegyzések sarki fényekről, továbbá az öreg fák abban az időben keletkezett évgyűrűiben a szénizotópok aránya arra utal, hogy a Naprendszerbe kívülről érkezett kozmikus sugárzás szabadon eljutott a Földre (a Napból távozó anyag és sugárzás egyébként nem engedi ilyen mélyen a Naprendszer belsejébe a csillagközi térből érkező részecskéket). A naptevékenység akkori hiányát csak utólag, a 19–20. sz. fordulóján fedezte fel *E. W. Maunder*. A Maunder-minimumnak nevezett időszakban tehát a Nap kisebb teljesítménnyel sugárzott.

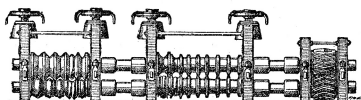
A hőmérsékletüket, tömegüket, korukat tekintve a Naphoz hasonló csillagok szintén mutatnak aktivitásra utaló jegeket (aktivitásuk főleg az elektromágneses színkép ibolyántúli és röntgenhullámhosszain követhető nyomon). Az ilyen csillagok

megfigyeléséből az is kiderült, hogy nagyjából az idő egyharmad részében szünetel az aktivitásuk. Ebből arra lehet következtetni, hogy a Maunder-minimum nem egyedi jelenség, a jövőben is lesznek olyan időszakok, amikor a Nap belsejében kialakult mágneses dinamó kikapcsol, és átmenetileg csökken a Nap teljesítménye. Hogy ez mikor következik be legközelebb, azt nem lehet megjósolni, és a jelenség kiváltó oka is tisztázásra vár.

A Napnak tehát igencsak ki vagyunk szolgáltatva. De más égitestekhez és jelenségekhez is hasonló a viszonyunk – végtére is az ember kozmikus lény. Már a következő jégkorszak ígérete is kissé hátborzongató, de csillagászati időskálán még kellemetlenebb hatása is lehet: a Földet érő elektromágneses sugárzás. Egy közeli szupernóva-robbanás következményének tartják a nagy testű hullókö hirtelen kipusz-

talását. Megnyugtató, hogy a Naprendszer környezetében nincs olyan csillag, amely szupernóvává válva veszélyt jelentene. Viszont a Tejútrendszer közepén van egy hatalmas tömegű fekete lyuk, amelynek viselkedése és jövője nem pontosan ismert. A mi galaxisunkhoz hasonló extragalaxisok vizsgálata során kiderült, hogy némelyikük centruma szokatlan aktivitást mutat (Seyfert-galaxisok). Ezek leginkább a kvazárok kis teljesítménnyel sugárzó rokonai. Lehet, hogy a közönséges spirálgalaxisok magjában megbúvó fekete lyuk néha aktivizálódik, és a környezetében felszabaduló hatalmas energia (sugárzás és anyagkilövellés) alaposan megváltoztatja az egész galaxis addig nyugodt (?) életét.

Kulcsszavak: *elektromágneses színekép, elektromágneses szennyezés, csillagászat, asztrofizika, naptevékenység*



AZ OPTIKAI SUGÁRZÁS ÉLETTANI HATÁSAI

Schanda János

a műszaki tudomány doktora, prof. emeritus,
Veszprémi Egyetem Szín- és Multimédia Laboratórium – schanda@almos.vein.hu

Az elektromágneses színek optikai tartományán belül a 195–400 nm-es tartományban a fotonok energiája elég nagy ahhoz, hogy a szerves molekulákban kémiai változást hozzon létre. Hosszabb hullámhosszakon elsősorban a sugárzás hőhatása okozhat változást a szervezetben. Számba vesszük mind a kémiai, mind a termikus hatásokat, s ezeket két nagy csoportban, a bőrfelületre és a szemre gyakorolt hatásokat különválasztva tárgyaljuk. Végül röviden kitérünk az ember által készített fényforrások sugárzásuk alapján készített élettani, biztonságtechnikai besorolására.

Bevezetés

Az elektromágneses színek 1 nm-től 1 mm-ig terjedő hullámhossztartományát optikai sugárzásnak nevezik. [1] A levegő azonban a 195 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú sugárzást már igen erősen elnyeli, így közvetlen élettani hatásával nem kell foglalkoznunk. A 195 nm és 295 nm közé eső, számottevő erősségű sugárzás csak az ember által készített sugárforrásokból juthat az élő szervezetbe, mert a napsugárzás e részét a felső légrétegek ózonpajzsa erősen elnyeli (erre később visszatérünk). A hosszabb hullámhosszak felé haladva 1,3 mm fölött a levegő elnyelése több sávban ismét erősen megnő, és a Nap sugárzásának erőssége is csökken, ezért az ebben a tartományban érkező természetes sugárzásnak sincs élettani veszélye. Ezzel szemben az ember által készített infravörös sugárzók hőhatása lényeges lehet, ezek élettani hatásával foglalkoznunk kell.

Az emberre az optikai sugárzás ultraibolya, látható és közeli infravörös színek tartománya a legfőbb veszélyforrás, az ebből a tartományból származó sugárzásnak azonban számos, élettanilag fontos pozitív hatása is van.

Szemünk a látható sugárzást fényként érzékeli, ennek hullámhosszhatárai 380 nm és 780 nm. Az ultraibolya színek tartományt három részre szokás osztani (l. részletesen *Thuróczy György* tanulmányának 1. táblázatát).

Bár a hagyományos felosztás [1] nem tükrözi a különböző élettani hatások ma ismert határait, általános elterjedtsége miatt nemzetközileg ma is e felosztást használjuk. Ha finomabb felosztásra van szükség, akkor szokás az UV-A tartományt két részre osztani: UV-A1 és UV-A2; határvonalaként a 340 nm-es hullámhosszat állapították meg [2].

Az optikai sugárzás élettani hatásait vizsgálva a sugárzás *aktinikus hatásairól** szoktunk beszélni. A hullámhosszhatárok rögzítésén kívül a második legfontosabb fogalom az aktinikus hatásspektrum. Ez a színek ad felvilágosítást arról, hogy adott molekula-típusra miként hat az optikai sugárzás. Meghatározásánál fontos szerepet játszik, hogy azt laboratóriumi körülmények között, preparátumon vagy *in vivo* határozták-e meg. Ábrázolni általában hullámhossz vagy hullámszám (fotonenergia) függvényében szokták, az ordinátán a hatás kiváltásához szükséges energiát, a teljesítményt vagy

* Az optikai sugárzás kémiai, biokémiai hatásai.

ezek reciprokát feltüntetve. Sokszor használnak relatív és logaritmikus ordináta léptéket is, mivel számos aktinikus hatás hullámhosszfüggése sok nagyságrenden át változik, s – még ha a leginkább ártalmas sugárkat ki is szűrtük – a káros sugárzások maradékanak hatása is veszélyes lehet.

Az aktinikus hatásspektrumoknak két csoportját szokás megkülönböztetni: a biológiai kísérleteknél figyelembe veendő, a legújabb kísérleti eredményekre támaszkodó hatásspektrumot és – káros hatások esetén – a biztonsági szempontok szerint megállapított hatásspektrumot. Ezek figyelembe veszik tudásunk bizonytalanságát is, emiatt a hatást sokszor csak durva burkológörbével közelítik. A különböző biztonsági előírásokban e színeképek szerepelnek.

Az optikai sugárzás károsító hatásai

Az élő szervezet szövetei az optikai sugárzással vagy hőhatás révén, vagy fotokémiai reakció formájában vannak kölcsönhatásban. A hőhatás szempontjából csak *a szövetben elnyelt teljesítmény és a besugárzási idő* veendő számításba, az elnyelt foton energiája közömbös. Lényeges viszont a szervezet hőelvezető képessége, ezért az élő szervezeteknél pl. a szöveten átáramló vér mennyisége, a besugárzott terület nagysága és természetesen az adott sejtek spektrális abszorpciós tulajdonsága. Feltéve, hogy a sugárzás egészséges emberi érzékszerveket érint, a hőhatás égető érzése miatt az ember igyekszik elkerülni a túlzottan erős felmelegedést. De pl. műtétnél a sebésznek szüksége van arra, hogy igen apró részleteket is tisztán lásson, s ehhez a feltárt testrészt nagy intenzitással kell megvilágítani. Ekkor szükség van arra, hogy a fényforrások infravörös sugárzását kiszűrjék, mert ezek a látáshoz nem járulnának hozzá, de feleslegesen melegítenék a testszöveteket.

Fotokémiai reakciókról beszélünk, ha az optikai sugárzás fotonjainak elég nagy az

energiája ahhoz, hogy egyes molekulákban kémiai változást hozzanak létre. Kémiai rendszerekben általában nem a sugárzás pillanatnyi erőssége szabja meg a létrejött hatást (az átalakult molekulák számát), hanem az elnyelt dózis, azaz a besugárzás ideje alatt elnyelt összenergia. A besugárzás erősségét csökkentve az élő szervezetben eljutunk egy olyan értékhez, amely alatt a szervezet önhelyreállító képessége a létrehozott roncsoláshoz képest nem elhanyagolható, s ekkor megszűnik a dózis állandósága. A fotokémiai reakciók leírásánál általában a dózis állandóságához szükséges besugárzási teljesítmény mellett végzik a kísérleteket.

A főbb mechanizmusok, melyek az emberi szervezetben fotokémiai és termikus károsításhoz vezethetnek, a következők [3]:

- A bőr fotokémiai vagy fényérzékenyített károsodása (400 nm alatt jelentős), amikor a fényérzékenyítést bizonyos gyógyszerek válthatják ki, ilyenkor a bőr-rák az egyik leglényegesebb veszély.
- A szem fotokémiai vagy fényérzékenyített károsodása (400 nm alatt jelentős).
- A szem retinájának termikus károsodása (veszélyes tartomány: 400–1400 nm).
- A retina kék fény általi fotokémiai károsodása (legveszélyesebb a 400–550 nm közötti tartomány, ha a szemlencsét eltávolították, az ultraibolya színek tartomány is).
- A szemlencse termikus veszélyeztetettsége (legkritikusabb a 800–3000 nm közötti tartomány).
- A bőr égési sebezhetősége.
- A kornea égési sebezhetősége (kritikus az 1400 nm–1 mm közötti tartomány).

Mindezek a hatások összetett színeképi eloszlást mutatnak. A hatás függ a besugárzott felület nagyságától, a besugárzás irányától és időtartamától. Ezért a biztonságtechnikai hatásfüggvények az egyes esetekre számított legnagyobb veszélyt figyelembe vevő burkológörbék, és nem követik a tényleges fotokémiai reakciókat elő-

idéző molekuláris jelenségek elnyelési színeképét.

Annak érdekében, hogy a nagyközön-séget figyelmeztessék a Nap ultraibolya sugárzásának káros hatásaira, az ICNIRP [3] a nemzetközi meteorológiai (World Meteorological Organisation, WMO) és a egészségügyi (World Health Organisation, WHO) szervezetekkel közösen készített egy *UV index* ajánlást. Ez a Nap sugárzásának veszélyes voltára hivatott felhívni a figyelmet. E skála alapján egyértelműen megadható, hogy egy bizonyos helyen, adott időpontban milyen veszélyességű az ultraibolya sugárzás [4].

Az ultraibolya sugárzás okozta veszélyek elkerülése érdekében a szakértők az alábbi néhány, könnyen betartható szempontra hívják fel a figyelmet:

- Kerüljük a közvetlen napfényt a déli órákban!

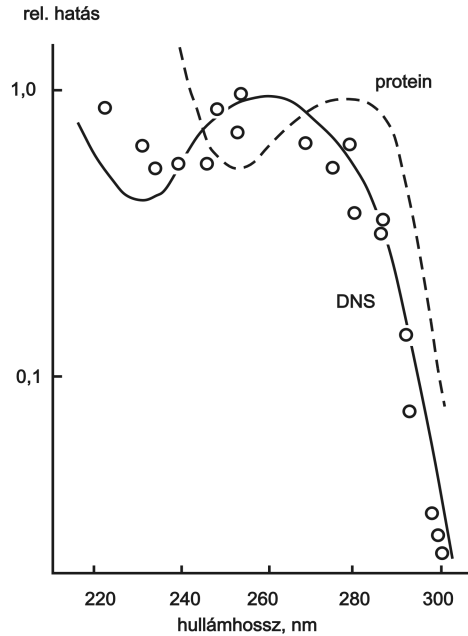
- Viseljünk megfelelő ruházatot (figyelem, a különféle textíliák ultraibolyasugárzás-áteresztése nagyon eltérő lehet, és vizes állapotban általában csökken), és viseljünk széles karimájú kalapot!

- A csecsemőket és a kisgyerekeket különösen óvjuk a Nap közvetlen besugárzásától! Ez különösen érvényes a szabadban játszó gyerekek sugárzás elleni védelmére.

- Ha mégis közvetlen napsugárzásban kell tartózkodnunk, használjunk legalább 15-ös faktorú (sun protection factor, SPF), mind az UV-A, mind az UV-B sugárzást elnyelő vagy reflektáló napvédő krémet!

A kutatókat hosszú időn át zavarta, hogy a makroszkóposan észlelt aktinikus spektrumok nem követték a proteinek elnyelési színeképét (l. [1]). Napjainkban bizonyítottnak tekinthető, hogy a DNS-nek vagy egy komponensének elnyelési színeképét jól követi az élő sejtek elhalálzási színeképe.

A hatásszíneképek meghatározásának számos technikai nehézségét kellett az elmúlt időben megoldani, kezdve az optikai,



1. ábra • UV sugárzás baktériumölő hatása: O, valamint a DNS és a protein abszorpciós színeképe

spektrometriai problémáktól, a kémiai, biokémiai preparatív módszerek finomításáig. A legtöbb hatásfüggvény a látható színeképtartomány felé meredeken esik, a mérés eredményét spektrométerbe jutó gyenge szórt fényt is meghamisíthatja.

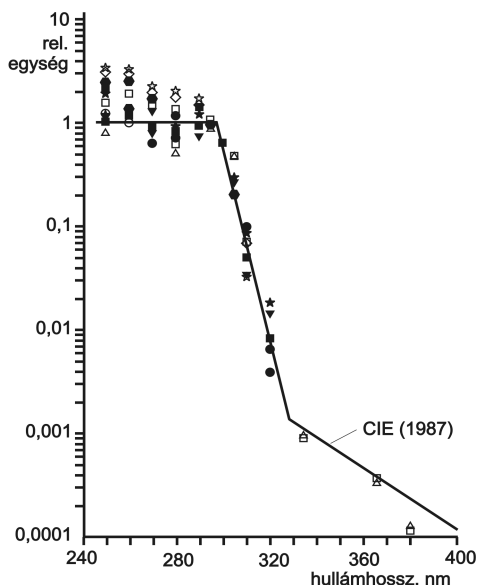
Az optikai sugárzás bőrt károsító fontosabb hatásai:

Az erythema hatásfüggvény

Talán a legtöbbet vizsgált hatásfüggvény a bőrpír (erythema). Napozás után pár órával bőrünk pirosas elszíneződést ölt, amely lassan (egészségesnek mondott) barnás színezetbe megy át. Korai vizsgálatok azt mutatták, hogy 300 nm körül éles maximuma van a bőrpír keletkezésének, rövidebb hullámhosszak felé ezt minimum követi, majd újabb emelkedett érték következik, s a rövid hullámhosszak felé e nagy érték körül marad a bőrpír hatásfüggvénye [6]. Későbbi

vizsgálatok rámutattak arra, hogy a minimum mélysége és a rövidhullámú második maximum kialakulása függ a besugárzás erősségétől, a leolvasás időpontjától és még további tényezőktől. Számos további mérés adatát is figyelembe véve 1987-ben a CIE szabványosított egy *referencia erythema színeképet*, amely a biztonságtechnikai kérdéseket is figyelembe veszi. Ezt a függvényt szemlélteti az alapjául szolgáló mérési eredményekkel együtt a 2. ábra. A log-lin léptékben három egyenes szakaszból álló függvény jól közelíti az egyes mérések eredményét, de látható, hogy nemcsak az UV-B, de az UV-A tartományban is még mérhető nagyságú a hatásfüggvény. Ez is felhívja a figyelmet arra, hogy a „leégés” elkerülése végett bőrünk védelmére olyan védőkrémek kell használni, amely az UV-A tartományban is kellő védelmet biztosít.

Sok ultraibolya sugárzási hatás vizsgálatakor az erythema-hatást tekintik referen-



2. ábra • A CIE 1987 erythema hatásfüggvény. A berajzolt jelek nyolc, különböző szerzők által 1964-82 között végzett mérés adatait tüntetik fel,

ciaértéknek. Ezért ennek dóziségységét is rögzítették [7]: A *standard erythema dose* (SED) értéke: $1 \text{ SED} = 100 \text{ J} \times \text{m}^{-2}_{\text{eff}}$

A különféle emberek bőre különböző mértékben érzékeny az ultraibolya sugárzásra. Az európai vagy kaukázusi típus bőrét négy csoportba szokás osztani, annak függvényében, hogy milyen reakciót vált ki bennük az UV-besugárzás (1. táblázat) [8].

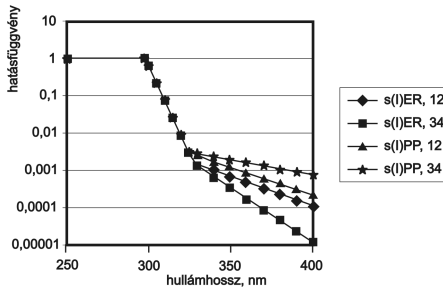
bőrtípus	a bőr reakciója UV hatására	előfordulás (%)
I.	mindig leég, nem barnul	2
II.	általában leég, néha barnul	12
III.	néha leég, általában barnul	78
IV.	nem ég le, mindig barnul	8

1. táblázat • A kaukázusi bőrtípusok ultraibolya sugárzás hatására mutatott reakciója

Fényérzékenyítő anyagok és hatások

A kutatók egyre több anyagról állapítják meg, hogy fényérzékenyítő hatásúak, ha külsőleg érintkezésbe kerülnek a bőrrel, vagy gyógyszerként beadva, a szert használó személy sejtei fényérzékenyekké válnak, a sugárzás hatására elhalhatnak. A fényérzékenyítő anyaggal kezelt testrészen az ultraibolya vagy látható sugárzás hatására a fényérzékenyítő molekula gerjesztett állapotba jut, majd energiáját oxigénnek (szuperoxid vagy naszcensz oxigén), esetleg más molekulának adja át [9]. A fényérzékenyítő hatásra már sokkal kisebb dózisek váltanak ki reakciót, mint amit erythema keletkezésénél észlelünk. Eközben a fényérzékenyítő szer összetételétől függően a hatás eltolódhat a látható színeképtartomány felé. Ezt a fototoxikus hatást fel lehet használni a gyógyászatban is, mert pl. egyes tumorfajták bizonyos fényérzékenyítő anyagokat meg tudnak kötni, s így ultraibolya besugárzással lokálisan lehet őket pusztítani. Bizonyos

fényérzékenyítő anyagoknak azonban fotokarcinogén hatása is lehet. Ezért a jelenséget mind a kozmetikai ipar újabb készítményeinek bevezetése előtt, mind gyógyszerek és más olyan anyagok kidolgozása során, amelyek a bőrrel kapcsolatba kerülhetnek, gondosan vizsgálni kell, s csak egyértelmű negatív eredmény birtokában szabad a termékeket forgalomba állítani.

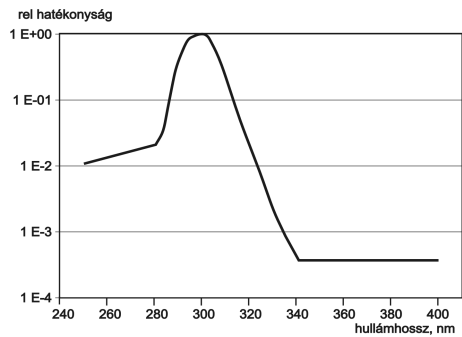


3. ábra • Kaukázusi bőrre vonatkozó erythema és pigmentáció (bőrbarnulás) ajánlott hatásfüggvényei

Non-melanoma bőrrák kiváltása

Napjaink egyik legalaposabban vizsgált rákkeltő hatása a napfény. A Föld lakossága a szabad ég alatt élve jutott el jelenlegi biológiai állapotába. Ezért azt hihetnénk, hogy hozzászokott, akklimatizálódott a Nap sugárzásához. Ez részben igaz is, de nem szabad figyelmen kívül hagyni az alábbiakat. Egyrészt a bőrrák évek alatt akkumuláló változások következménye, s az elmúlt évszázadban számottevően nőtt az emberi élet hossza. Kétszáz-háromszáz évvel ezelőtt élt őseink el sem érték azt az életkort, amikor a bőrrák tömegesebben jelentkezett volna. Másrészt az elmúlt évszázad mobilitása olyan éghajlati vidékekre vetette az emberek nagy csoportjait, ahol a Nap átlagos sugárzása lényegesen eltér attól az értéktől, amelyhez őseik az előző néhány évezredben hozzászoktak (pl. az angolszász gyarmatosítók Ausztráliában). Az emberiség életmódja is nagyban változott. A mérsékelt

égy év alatt élő őseink tavasztól folyamatosan hozzászoktak az erősebb napsugárzásához, s lassan leburnuló bőrük védőréteget alakított ki, ma a télen és tavasszal szobában dolgozó ember hirtelen jut ki a melegebb égyv alatti nyaralási helyére, s a sugárzásához hozzászokott bőre hirtelen kap nagy dózissú sugárzást. A legtöbb aggodalomra azonban az ad okot, hogy Földünk felületét a felső légkör ózonrétege védte a rövidhullámú ultraibolya sugárzástól, mivel az ózon erősen abszorbeál a 300 nm alatti hullámhossztartományban. Az ember által a légkörbe bocsátott gázok egy része (elsősorban a fluortartalmú gázok) megbontja az ózon kötését, ezáltal csökken az ózonréteg vastagsága, ennek következtében nő a Föld felszínén a rövidhullámú sugárzás erőssége.



4. ábra • Non-melanoma bőrrák hatásfüggvény

A legújabb vizsgálatok szerint a nem-melanoma bőrrák veszélyességi hatásspektruma hasonlít az erythema hatásspektrumához, lényeges eltérés csupán az, hogy úgy tűnik, 340 nm fölött nem csökken a sugárzás veszélyessége. Az eddigi adatok azonban nem elegendőek ahhoz, hogy a látható sugárzás tartományában meg lehessen rajzolni a hatásspektrumot [10]. A bőrrák veszélyességi spektrumát a 4. ábrán tüntettük fel.

Malignus melanoma

Az 1980-as években több tanulmány is foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy a bőrrák

ún. malignus melanoma formájának (cutaneous malignant melanoma, CMM) kialakulását mennyiben befolyásolja az optikai besugárzás. Az első tanulmányok pozitív összefüggést mutattak ki a malignus melanomában megbetegedett személyek száma és a fénycsővilágítás mellett eltöltött idő között [11]. Az alaposabb vizsgálatok azonban nem tudták megerősíteni a kezdetben talált összefüggéseket. A kérdés összefoglalásaként a CIE 1988-as közleménye [12] leszögezi, hogy a rendelkezésre álló adatok nem támasztják alá, hogy összefüggés lenne a melanoma veszélye és a fénycsővilágítás között. A bizottság azonban felhívta az epidemiológusokat, hogy vizsgálják tovább a kérdést. (Tudomásunk szerint azóta sem jelentek meg olyan közlemények, melyek a fénycsővilágítás veszélyességét alátámasztották volna.)

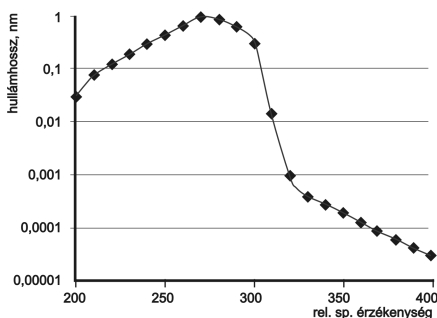
A melanoma kialakulásának veszélyét azonban nagyban növeli a gyengített ózonpajzson átjutott nagyobb intenzitású rövidhullámú ultraibolya sugárzás. A CMM kialakulásában jelentős szerepe van a Nap besugárzásának. A gyermekkorban elszenvedett erythemás behatások növelik a CMM kialakulásának valószínűségét [13]. A CMM hatásfüggvényének meghatározására azonban még további vizsgálatokra van szükség [14].

Az optikai sugárzás szemet károsító hatásai

Szemünk különböző elemei eltérő mértékben engedik át az ultraibolya, a látható és az infravörös sugárzást. Az ultraibolya sugárzás legnagyobb része már a szem legkülső rétegén, a corneán elnyelődik. A rövidhullámú ultraibolya sugárzás a cornea és a szemet körülvevő kötőhártya heveny gyulladós megbetegedéséhez vezet (photokeratitis és photoconjunctivitis). Hosszan tartó, ismételt besugárzás váltja ki a szürkehályogot (kataraktus). A cornea

és szemlencse a rövidhullámú ultraibolya sugárzást erősen elnyeli, az egészséges szem retináját ezért csak a hosszabb hullámhosszú sugárzás éri el. A retinakárosodás két formáját szoktuk megkülönböztetni: a kék fény okozta, fotobiológiai hatásra bekövetkező károsodást, illetve a retina égési károsodását kis területre fókuszált besugárzás hatására. Ezekon kívül meg kell még említeni az infravörös sugárzás okozta hályogot, amely hosszú időn át történő besugárzás következménye.

Mivel az egyes hatásokkal szemben a szem regenerációs képessége különböző, az egyes hullámhossztartományokban a megengedett dózis értékét külön-külön szokták megszabni attól függően, hogy rövid idejű behatásról van-e szó, vagy a munkanap egésze alatt éri a szemet a káros sugárzás, esetleg a foglalkozással járó hatással kell-e számolni.



5. ábra • Az IRPA által ajánlott humán aktinikus hatásfüggvény

Photokeratitis és photoconjunctivitis

A photokeratitis és photoconjunctivitis a rövidhullámú (UV-C) besugárzást követően néhány órával alakul ki, a szem vörösdésével jár, kellemetlen szűrő érzést vált ki, mely azonban hosszabb-rövidebb idő elteltével elmúlik. A CIE mind az igen fájdalmas photokeratitisre, mind a photoconjunctivitisre közölt hatásfüggvényeket [1, 2], de ezek korábbi mérési adatokra tá-

maszkodnak. Ma a szem ultraibolya veszélyeztetettségére az IRPA (International Radiation Protection Association) hatásfüggvénye a mérvadó [17] (5. ábra).

Kék fény okozta károsodás

A kék fény okozta károsodást a nemzetközi fénytechnikai szakirodalom *blue-light hazard*-nak, az orvosi szakirodalom *photoretinitis*-nek nevezi. A jelenséggel csak az 1970-es években kezdtek behatóan foglalkozni, és megállapították, hogy túlzottan erős közeli ultraibolya és rövid hullámhosszúságú látható sugárzás károsíthatja a retinát (pl. ha napfogyatkozáskor rátekinünk a Napra vagy hosszabb ideig nézzük a halogén izzólámpa izzószálat). A látható fény általában nem okoz károsodást, mert a túlzottan erős fény hatására önkéntelenül is becsukjuk a szemünket vagy hunyorítással védekezünk. A gyakorlatlan ívhegesztőknél, akik, hogy jobban lássák a munkadarabot, nem használják folyamatosan a védőfelszerelésüket, azonban fellép. Jelenlegi ismeretek szerint [18] a fotokémiai károsodás létrejöttéhez minimális sugárdózis is elegendő. Ezt az irodalom 446 nm-nél 22 J/cm²-ben adja meg, bár úgy tűnik, legalább két hatással kell számolni: az egyik kisebb besugárzásoknál is fellép, ha azokat a szem éveken át kapja (a szemorvosok kék fényű vizsgáló lámpája), a másik nagyobb, rövidebb idejű expozíciók hatására lép fel (néhány pernyi vagy órányi besugárzás). Az egészséges szem hosszú idejű hatásszínképe hasonló a sötétben látásért felelős pálcikákban található fotopigment, a rodopszin elnyelési színképéhez. Azoknál a személyeknél, akiknek a szemlencséjét eltávolították és nem ultraibolya elnyelő műanyag lencsével helyettesítették (aphakiás szem), a photoretinitis az ultraibolya sugárzás hatására is fellép.

A photoretinitistől eltérő hatás a retinán égési sebet okozó besugárzás, amely fel-

léphet pl. lézersugárzás hatására, vagy bármely olyan sugárforrásra rátekinve, amely a retina kis területére képződik le.

Várható, hogy az itt bemutatott felismerések hatására a kék színképtartományban erősen sugárzó fényforrások használatához előírt védőfelszerelések UV és látható sugárzási előírásait szigorítani fogják.

A szürkehályog keletkezésének besugárzási okai [19]

Bizonyítottnak tekinthető, hogy a szürkehályog kialakulását elősegíti az ultraibolya sugárzás, de az életkorral változik, hogy melyik hullámhossztartomány a legkárosabb. A fiatal szem a rövidebb hullámhosszakra érzékenyebb, az életkor előrehaladásával a szemlencse előtt levő rétegeknek a rövidhullámú sugárzást áteresztő képessége folyamatosan csökken, idősebb korban a rövidhullámú ultraibolya sugárzás már nem éri el a szemlencsét.

Az infravörös sugárzás szürkehályogot keltő hatásáról még keveset tudunk, a hatásfüggvényét még nem sikerült egyértelműen meghatározni. Egyes elméletek hőhatással, mások fotokémiai hatásokkal számolnak.

Az optikai sugárzás egyéb élettani hatásai

Az optikai sugárzásnak nemcsak károsító hatásai vannak. Az ultraibolya sugárzás kozmetikai célú használatáról (napágyak) a szakértők lebeszélnek, mert a bőr korai öregedését okozhatja. Egyes bőrbetegségek kezelésénél azonban eredményesen alkalmazható az optikai besugárzás. Az orvosi alkalmazások azonban külön tanulmányt igényelnének, ezekkel nem foglalkozunk. Szintén mellőzzük az optikai sugárzás baktériumölő hatásával kapcsolatos tanulmányokat. A sterilizálásnak hatékony módja lehet a rövid hullámhosszú optikai besugárzás. Hagyományosan alkalmazzák

a kórházak és a rendelőintézetek légterének csíramentesítésére az elsősorban a 254 nm-es hullámhosszon sugárzó, kis nyomású Hg-lámpát. Ilyenkor vigyázni kell arra, hogy a sugárzás ne érhesse az emberi szervezetet, főként a szemet, mert – mint láttuk – az UV-C tartományban sugárzott energia az emberi szervezetre is káros.

Az élettani hatások közül ki kell emelnünk az optikai sugárzásnak a napi ritmusunkat megszabó és a neuroendokrin rendszerre gyakorolt hatását [20]. A szemből nem csupán a látóideg-kötegek vezetnek az agy felé, a retina ganglionsejtjeitől egy idegpálya vezet a hypothalamushoz, amelynek meghatározó szerepe van az ember napi életritmusának vezérlésében, testünk hőmérsékletének szabályozásában, érzelmi állapotunkban és még sok más élettani jelenségben. A napi ritmust jórészt a retinától érkező idegimpulzusok szabályozzák, bonyolult agyi folyamatok által befolyásolva a melatonin hormon kiválasztását. Az emlősök melatonin kiválasztása éjjel megnő, nappal stagnál. Ha a szemünket éjszaka erős fény-sugárzás éri, a melatonintermelés rövid idő alatt lecsökken. Különböző állatfajokban a melatonin hatása kissé eltérő. Az emberben többek között hat a testhőmérsékletre, az alvásra és az immunrendszerre.

Az optikai sugárzás melatonin kiválasztást vezérlő hatásspektrumát nem ismerjük pontosan, de valószínű, hogy legerősebben a 450–550 nm közötti tartomány hat. Ez is alátámasztja azt a nézetet, hogy a vezérlést a pálcikák fényérzékeny anyaga, a rodopszin közvetíti, bár találkozzunk olyan dolgozattal is, amely szerint más testrészek optikai ingerlésének is hasonló hatása lehet [21]. Többen sikerrel alkalmazták a szervezet napi órájának átállítását egy transzkontinentális repülőút után az új napi időnek megfelelő erős fénybesugárással.

Nem csupán a napi élettani ritmusra van hatással az optikai sugárzás, de pl. hat

az évszakok változása során a nappalok és éjszakák hosszának ingadozása által is. Vannak erre érzékeny emberek, akiknek a nappalok rövidülése depressziót okoz (az angol Seasonal Affective Disorder-ből SAD rövidítéssel jelzett rendellenesség). Ennek kezelésére is sikerrel alkalmazzák a kékeszöld színű fényvel való besugárzást [22]. Ma még tisztázatlan, hogy e kezelés hatásmechanizmusa azonos rendszeren keresztül működik-e, mint a cirkadikus és a neuroendokrin rendszer optikai vezérlése.

A jelentős, korai hazai alkalmazás miatt említjük meg az újszülött sárgaság (hyperbilirubinemia) elleni optikai besugárzást, amely esetenként az újszülöttek agyi károsodását is okozó bilirubin kiválasztást befolyásolja. Az újszülött vérében feldúsuló bilirubint optikai besugárással *in vivo* le lehet bontani olyan vegyületekké, amelyeket a szervezet már ki tud üríteni. Hatékonyan tűnik a bilirubin és az albuminhoz kötött bilirubin abszorpciós sávjában (440 nm, illetve 470 nm) történő besugárzás [23].

Az optikai sugárforrások élettani hatásokkal kapcsolatos jellemzése

Láthattuk tehát, hogy mind a Nap, mind az ember által készített sugárforrások befolyásolják életünket. A fényforrásokat elsősorban a jobb látási körülmények megteremtésére vagy valamilyen optikai hatás létrehozása érdekében fejlesztették. A hagyományos izzólámpák nem hordoztak élettani veszélyt, mert kicsiny volt a teljesítményük és nem sugároztak az ultraibolya színtartományban. A nagyobb teljesítményű és különösen az izzólámpa színtéptől nagyon eltérő spektrumú, a gázkisülést elvén működő lámpák azonban felvetették a fényforrások élettani hatásával kapcsolatos vizsgálatok igényét, hogy szükség esetén figyelmeztessék a felhasználókat a fényforrások veszélyes sugárzására.

Az e témával foglalkozó első közlemények egy-egy fényforrástípus kérdését tárgyalták (lásd pl. [12, 24, 25]). A sugárforrások átfogó élettani jellemzését először a lézerek területén végezték el [26]. Ez a szabvány foglalkozik pl. az előadási mutatópálcák helyett használt félvezető lézeres jelzőkészülékekkel is. Egyesek megkísérelték ennek a szabványnak a szellemét ráerőltetni az inkoherens sugárzású világító diódákra is, noha az ezek által a retinán keltett kép egészen más jellegű, mint egy lézer képe. Csak az elmúlt évtizedben dolgozták ki a legfejlettebb ipari országokban a fényforrások sugárzásával kapcsolatos nemzeti fotobiológiai szabványokat. Ezek tapasztalatait és legfontosabb pontjait foglalja össze a CIE által készített áttekintés [27] és szabványtervezet [28].

Ez a szabványtervezet összefoglalja a terület definícióit, jelöléseit és rövidítéseit; áttekinti a megengedhető dózisokat, figyelembe véve a számításba jövő pupillaátmérőt, a fényforrás észlelt méretét (térszögét), majd rögzíti az aktinikus és termikus sugárzás veszélyét mind a bőrre, mind a szemre az ultraibolya, a látható és az infravörös színeképtartományban. Rögzíti a határértékek megállapításához szükséges mérési feltételeket, majd ezek alapján bevezeti a különböző fényforrások veszélyességi csoport (Risk Group) szerinti osztályozását az alábbiak szerint:

- veszélyt nem jelentő csoport
- kis veszélyességű: RG-1
- közepes veszélyességű: RG-2
- veszélyes: RG-3

A szabvány minden csoporthoz megadja, hogy az alábbi hatásfüggvényeket figyelembe véve mekkora teljesítmény engedhető meg adott távolságban a fényforrástól, rögzítve a besugárzás megengedhető időtartamát is.

- aktinikus UV
- közeli UV
- kék fény
- kék fény, kis sugárforrás esetén
- retinális termikus hatás
- retinális termikus hatás, kis látható inger esetén
- a szemet érő infravörös besugárzás

Várható, hogy a jövőben az egyes fényforrások csomagolásán a gyártónak fel kell majd tüntetnie, hogy terméke melyik veszélyességi csoportba tartozik.

Összefoglalás

Az elektromágneses színeképtartományának élettanilag fontos hatásai vannak azon túl is, hogy ebben a sávban „működik” az ember látása. A hatások lehetnek pozitívak és negatívak. Míg régebben csak az ultraibolya színeképtartományát tekintették veszélyesnek, mert baktericid hatásán kívül az emberi szervezet sejtjeit is pusztítja, napjainkban tudjuk, hogy a hosszabb hullámú ultraibolya sugárzás is lehet káros. Ma már közismert, hogy az „egészségesen” barna arc bőr nem feltétlenül előnyös. A túlzott napozás a bőr korai öregedését okozhatja, és növeli a bőrrák kialakulásának veszélyét.

A szemet érő ultraibolya fény, sőt a látható sugárzás rövidebb hullámhosszú része is lehet veszélyes. Mind a szem külső rétegeit, mind a retinát károsíthatja. Az optikai sugárzással nemcsak környezetünk számos más szennyezése miatt kell körültekintően bánnunk, de egészségünk megóvása érdekében is.

Várható, hogy a napsugárzás veszélyességének meghatározására bevezetett UV-index mellett a mesterséges fényforrások jellemzésére is bevezetik a veszélyességi osztályokat, s jelzésüket a jövőben a fényforrások csomagolásán is feltüntetik.

Kulcsszavak: *optikai sugárzás, látható sugárzás, sugárzások hőhatása, fényforrások, elektromágneses színekép, ózonpajzs, aktinikus hatásspektrum, UV-sugár-*

zás, infravörös sugárzás, napozás, erythema, bőrrák, photoretinitis, szürkehályog, fotobiológiai szabványok

IRODALOM

1. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1987) International Lighting Vocabulary. CIE 17.4
2. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1999) Standardization of the terms UV-A1, UV-A2 and UV-B. CIE 134/1
3. Bernhardt, J. H., (1998) ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 3–11, CIE x016
4. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) A proposed global UV index. CIE 138/4
5. Coohill, T. P. (1998) *Photobiological action spectra – what do they mean*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 27–39, CIE x016
6. Hausser, K.W., Vahle, W., (1927) *Die Abhängigkeit des Lichterythems und der Pigmentbildung von Schwingungszahl (Wellenlänge) der erregenden Strahlung*. Strahlentherapie 6 101–120
7. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1998) Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. CIE Standard CIE S 007/E
8. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1993) CIE Research Note: Reference action spectra for ultraviolet induced erythema and pigmentation of different human skin types. CIE Technical Collection 103/3
9. Cesarini, J-P., (1998) *Ultraviolet action spectra for photosensitization*. Lásd Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 81–91, CIE x016
10. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) Action spectrum for photocarcinogenesis (non-melanoma skin cancers). CIE 138/2
11. Beral, V., Evans, S., Shaw, H., Milton, G., (1982) *Malignant melanoma and exposure to fluorescent lighting at work*. The Lancet 290–293
12. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1988) CIE Research Note: Malignant melanoma and fluorescent lighting, CIE-Journal 7 29–33
13. *International Agency for Research on Cancer*, (1992) Solar and ultraviolet radiation. Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans, IARC 55, Lyon
14. De Grujil, F. R., (1998) *Ultraviolet action spectra for skin carcinogenesis*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 93–104, CIE x016
15. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1986) CIE Research Note: Photokeratitis. CIE-Journal 5/1 19–23 (lásd még CIE 106/2–1993).
16. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1986) CIE Research Note: Photoconjunctivitis. CIE-Journal 5/1 24–28 (lásd még CIE 106/3–1993).
17. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1999) CIE TC 6–30 Report: UV protection of the eye. CIE 134/2
18. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) CIE TC 6–14 report: Blue-light photochemical retinal hazard. CIE 138/1
19. Cullen, A. P., (1998) *The lens – ultraviolet and infrared action spectra for cataract acute in vivo studies*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 159–171, CIE x016
20. Brainard, G. C., Greeson, J. M., Hanifin, J. P., (1998) *Action spectra for circadian and neuroendocrine regulation in mammals*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 131–142, CIE x016
21. Campbell, S. S., Murphy, P. J., (1998) *Extraocular circadian phototransduction in humans*. Science 279 (5349) 396
22. Stewart, K. T., Gaddy, J. R., Byrne, B., Miller, S., Brainard, G. C., (1991) *Effects of green or white light for treatment of seasonal depression*. Psychiatry Research 38/3 261–270
23. Wolbarsht, M. L., (1998) *Action spectra for treatment of hyperbilirubinemia – monitoring meters*. Lásd: Measurements of Optical Radiation Hazards, pp. 353–368, CIE x016
24. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1993) Biologically effective emissions and hazard potential of desk-top luminaires incorporating tungsten halogen lamps. CIE Technical Collection CIE 103/4
25. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1990) Photobiological effects of sunlamps. CIE 89
26. *International Electrotechnical Commission*, (1993) Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide, IEC 825–1
27. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (1999) CIE TC6–38 report: Recommendation on photobiological safety of lamps. A review of standards. CIE 134/3
28. *Commission Internationale de l'Éclairage*, (2000) Photobiological safety of lamps and lamp systems. CIE draft standard CIE DS 009.1/E

A RÁDIÓFREKVENCIÁS SUGÁRZÁSOK EGÉSZSÉGÜGYI KÉRDÉSEI

Thuróczy György

főosztályvezető, OKK-Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet
e-mail: thuroczy@hp.osski.hu

Bevezetés

Az elektromágneses (EM) sugárzások, ill. terek biológiai hatásaival kapcsolatos tudományos érdeklődés az utóbbi években jelentősen növekedett. A környezet elektromágneses terhelését növelő új technikák megjelenése nagyfokú érdeklődést váltott ki mind a szakemberek, mind az érintett lakosság körében. A biológiai rendszerekben molekuláris szinten zajló elektromos, bioelektromos, elektrokémiai folyamatok mélyebb ismerete szintén felvetette az elektromágneses terekkel történő különböző szintű biológiai kölcsönhatások kutatásának szükségességét. Az elektromágneses terek biológiai hatásainak vizsgálata időben is jelentős változáson ment át. A kezdeti kutatások alapkérdése a nagyfrekvenciás sugárzások hőhatásának vizsgálata volt, elsősorban a mikrohullámú (MH) és rádiófrekvenciás (RF) tartományban, ugyanis a radartechnika és a rádiós műsorszórás igen nagy teljesítményű berendezéseket kezdett használni. Az ezzel párhuzamos fizioterápiás és hipertermiás alkalmazás elsősorban a biológiai rendszerek termikus, termoregulációs válaszait vizsgálta. Ehhez szorosan kapcsolódott a makroszkopikus szintű kölcsönhatások leírása (relaxációs folyamatok, szöveti permittivitás, a vezetőképesség meghatározása) és a dozimetriai fogalomrendszer megalkotása is. Jelentős szemléletbeli változást hozott az elektromágneses sugárzások és terek hőhatással nem járó, nem

termális, ill. atermális hatásainak feltételezése és igazolása.

Dozimetriai fogalmak

Fizikai és biofizikai megfontolások

A nem ionizáló sugárzások azok az elektromágneses (EM) sugárzások, illetve elektromos és mágneses terek, amelyek hullámhossza a 100 nm és a végtelen (statikus elektromos és mágneses tér) között van, fotonenergiája 12,4 eV-nál kisebb. Az EM sugárzás nem ionizáló jellege a mikrohullámú frekvenciatartományban, illetve alatt egyértelmű, hiszen a mikrohullámú foton energiája 300 GHz-nél is csak $1,24 \times 10^{-3}$ eV, amely a termikus energiánál is kisebb ($2,7 \times 10^2$ eV) és így intramolekuláris és intermolekuláris kötésfelhasítások nem feltételezhetők (1. táblázat).

A tényleges biológiai hatást okozó elnyelt elektromágneses energia meghatározásához ismerni kell a sejtek és szövetek elektromos tulajdonságait, ugyanis az elnyelt energia mértékét az objektum elektromos permittivitása, ill. mágneses permeabilitása határozza meg. A külső EM térből való makroszkopikus energiafelvétel dielektromos polarizáció útján történik. A dielektromos polarizáció lejátszódásához időre van szükség. Ha az EM tér változásának ideje összemérhető a dipólok térváltozásához szükséges idővel, akkor fáziseltolódások keletkeznek, amelyek az objek-

sugárzás típusa	frekvenciatartomány	hullámhossz
ionizáló	> 3 PHz	< 100 nm
elektromágneses	< 3 PHz	> 100 nm
<i>optikai sugárzás</i>		
ultraibolya (UV) (elektromágneses rész)	3 – 0,750 PHz	100 – 400nm
UV-C	3 – 1,070 PHz	100 – 280nm
UV-B	1,070 – 0,952 PHz	280 – 315nm
UV-A	0,952 – 0,750 PHz	315 – 400nm
látható fény	750 – 375 THz	400 – 800nm
infravörös (IR)	375 – 0,3 THz	0,8 – 1 000 mm
IR-A	385 – 214 THz	0,8 – 1,4 mm
IR-B	214 – 100 THz	1,4 – 3 mm
IR-C	100 – 0,3 THz	3 – 1 000 mm
<i>mikrohullámú(MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárzások</i>		
	300 GHz – 0,3 MHz	1 – 1000 mm
extrém magas frekvencia (EHF)	300 – 30 GHz	1 – 10 mm
szuper-magas frekvencia (SHF)	30 – 3 GHz	10 – 100 mm
ultra-magas frekvencia (UHF)	3 – 0,3 GHz	100 – 1000 mm
nagyon magas frekvencia (VHF)	300 – 30 MHz	1 – 10 m
magas frekvencia (HF)	30 – 3 MHz	10 – 100 m
középfrekvencia (MF)	3 – 0,3 MHz	100 – 1000m
<i>elektromos és mágneses terek</i>		
alacsony frekvencia (LF)	300 – 30 kHz	1 – 10 km
nagyon alacsony frekvencia (VLF)	30 – 3 kHz	10 – 100 km
	3 – 0,3 kHz	100 – 1000 km
extrém alacsony frekvencia (ELF)	0,1 – 0,3 kHz	> 1 000 km
statikus elektromos és mágneses terek	0 Hz	∞

1. táblázat • Az elektromágneses sugárzások és terek frekvenciaspektruma

tumnak frekvenciafüggő tulajdonságot adnak. Az ilyen fázis- vagy időeltolódási jelenségeket diszperziós jelenségeknek, ill. az anyag diszperziós tulajdonságának nevezik. Az külső EM tér periódusideje és a dipólmozgások idejének összemérhetősége adott frekvencián maximális abszorpciót okoz. Ezt a frekvenciát *relaxációs frekvenciának*, a hozzá tartozó relaxációs körfrekvencia reciprokát *relaxációs időnek* nevezik.

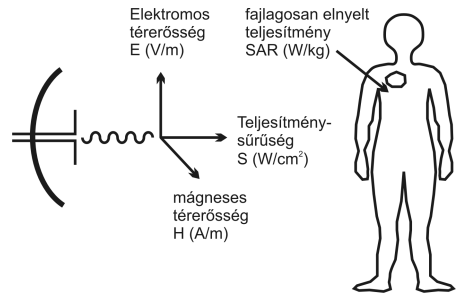
A biológiai anyagok és a levegő mágneses permeabilitása közel azonos. A biológiailag fontos anyagok és a levegő elektromos permittivitása viszont jelentősen eltérő és a relaxációs folyamatok miatt erő-

sen frekvenciafüggő. A különböző biológiai anyagok, szövetek dielektromos állandója és vesztesége összetett, függ a frekvenciától, a függés jellegzetes szakaszait (a frekvenciatartományban) diszperziós tartományoknak nevezik (Polk, 1996). A biológiai anyagoknál több diszperziós tartományt definiáltak. A különböző diszperziós tartományokért a rendszer különböző szintjén jelentkező relaxációs folyamatok felelősek (sejtmembrán, makromolekulák, fehérjék, aminosavak, kötött, ill. szabad víz). A dielektromos állandó spektruma diagnosztikai értékű információt is hordozhat (pl. daganatos, ill. normál szövetek közötti eltérés).

Dozimetriai egységek

A mikrohullámú és RF sugárzások biológiai hatásainak tárgyalásában egyrészt az elméleti villamosságtanban használt szokásos definíciókat használják: elektromos térerősség (E , V/m), mágneses térerősség (H , A/m), ill. teljesítménysűrűség (S , W/m², ill. mW/cm²), amelyek a szabad térben mérhető értékeket adják meg. Ezek meghatározott feltételek mellett (ún. távöltérben) egymásból átszámíthatók. A MH és RF sugárzások térerőssége a távolsággal arányosan, teljesítménysűrűsége a távolsággal negyzetesen csökken.

Az emberi testben, biológiai objektumban elnyelt dózis fogalmára egységesen a fajlagosan elnyelt teljesítmény az ún. **SAR** (*SAR: Specific Absorption Rate*) használatos, amely megadja az egységnyi tömegben elnyelt teljesítmény nagyságát W/kg-ban, ill. mW/g-ban. Az **SA** (*SA: Specific Absorption*) az SAR időbeli integrálja az elnyelt energiát adja meg J/kg-ban, ill. mJ/g-ban (1. ábra). A MH és RF tartományokban az energia elnyelődésének mértékét döntően a frekvencia és az objektum víztartalma, illetve alakja határozza meg. A



1. ábra • Átlagos ember elnyújtott gömbmodelljében elnyelt SAR (mW/g) frekvenciafüggése 1 mW/cm² beesése esetén

víztartalomtól függően az objektumban elnyelt elektromágneses sugárzás hullámhossza és behatolási mélysége csökken. Behatolási mélységen azt a távolságot értjük, ahol az elektromágneses térerősség az e -ed részére csökken (az abszorbeált teljesítmény a felszínhez képest 13,5 %-ra csökken) (2. és 3. táblázat, 2. ábra).

Az emberben átlagosan elnyelt EM teljesítmény erősen függ az embert érő külső EM tér frekvenciájától. Az emberben elnyelt átlagos SAR meghatározása általában modellek alkalmazásával történik, amely alapján az egységnyi teljesítménysűrűsége vo-

frekvencia (MHz)	hullámhossz a levegőben (cm)	dielektromos állandó (relatív)	vezető-képesség (mS/m)	hullámhossz az anyagban (cm)	behatolási mélység (cm)
300	100	54	31,6–107	11,9	3,89
433	69,3	53	37,9–118	8,46	3,57
750	40	52	49,8–138	5,34	3,18
915	32,8	51	55,6–147	4,46	3,04
1500	20	49	70,8–171	2,81	2,42
2450	12,2	47	96,4–213	1,76	1,70
3000	10	46	110–234	1,45	1,61
5000	6	44	162–309	0,89	0,788
5800	5,17	43,3	186–338	0,775	0,720
8000	3,75	40	255–431	0,573	0,413
10000	3	39,9	324–549	0,464	0,343

2. táblázat • Magas víztartalmú szövetek (izom, bőr, agyszövet, belső szervek) elektromos paraméterei

frekvencia (MHz)	hullámhossz a levegőben (cm)	dielektromos állandó (relatív)	vezető- képesség (mS/m)	hullámhossz az anyagban (cm)	behatolási mélység (cm)
300	100	5,7	1,37	41	32,1
433	69,3	5,6	1,43	28,8	26,2
750	40	5,7	1,54	16,8	23,0
915	32,8	5,6	1,60	13,7	17,7
1500	20	5,6	1,77	8,41	13,9
2450	12,2	5,5	2,21	5,21	11,2
3000	10	5,5	2,26	4,25	9,74
5000	6	5,5	3,92	2,63	6,67
5800	5,17	5,5	4,73	2,29	5,24
8000	3,75	4,7	7,65	1,73	4,61
10000	3	4,5	10,3	1,41	3,39

3. táblázat • Az alacsony víztartalmú szövetek (zsír, csont) elektromos paraméterei

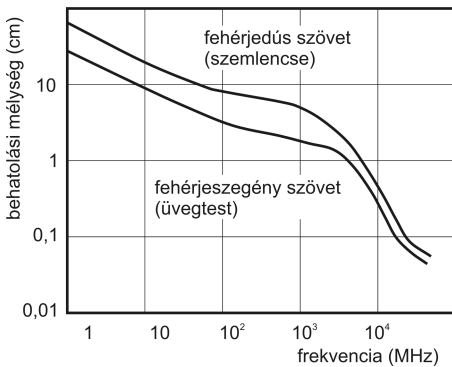
natkoztatott (mW/g)/(mW/cm²) frekvenciafüggő értékek megadása szokásos

Frekvenciafüggő elnyelőképesség

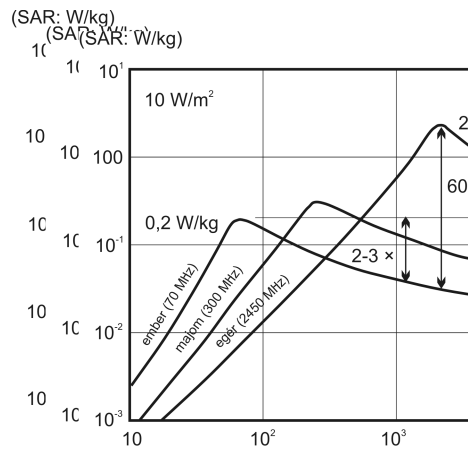
Az emberben elnyelt RF teljesítmény a biológiai anyagok dielektromos állandójának frekvenciafüggése, valamint a testméret és a hullámhossz aránya miatt erősen függ az embert érő külső EM tér frekvenciájától. Ezt a frekvenciafüggő elnyelést négy szakaszra szokták bontani: szubrezonáns tartomány 20 MHz alatt, rezonáns tartomány 20–300 MHz között, inhomogén lokális elnyelődés tartomány 300 MHz–2 GHz, felszíni elnyelődés 10 GHz felett. Az elnyelt energia eloszlása, különösen a 300 MHz–3 GHz frekvenciatartományban, a biológiai objektumon

betűl erősen inhomogén. Az inhomogenitást a különböző víztartalmú szövetek struktúrájától függő energiaelnyelés okozza. Az eltérő víztartalmú szövetekben a terjedés sebességének változása miatt az EM tér hullámhossza is megváltozik, s az egyes felület-határokon fellépő reflexiók is különbözők. A létrejövő SAR eloszlás már viszonylag egyszerű zsír-izom struktúra esetében is igen összetett (Petersen, 19991).

A pulzus-, ill. amplitúdómodulált RF és mikrohullámú elektromágneses terek által keletkezett SAR modulációtól való függésében azt találták, hogy 1 MHz-nél alacsony



2. ábra



3. ábra

nyabb moduláló frekvenciánál a modulált EM sugárzás vivőfrekvenciája határozza meg az SAR eloszlását és nagyságát, s ebben az esetben a biológiai objektumokban az elnyelt pulzus időbeli alakja sem torzul el. 10 MHz-nél magasabb frekvenciájú moduláció esetében az SAR kialakulását (behatolási mélység, eloszlás) döntő mértékben a moduláló pulzus alapharmonikusa határozza meg, s a pulzus időbeli alakja is torzul.

Mikroszkopikus dozimetria

Az EM terek dozimetriájában is előtérbe kerültek a *mikroszkopikus dozimetriai* megfontolások. A kérdés az, hogy a makroszkopikusan meghatározott elnyelődés milyen szinten lép kölcsönhatásba a biológiai rendszerrel, illetve ennek milyen frekvenciafüggő jellege lehetséges. Melyek azok a frekvenciák, amelyek elsősorban a makromolekulákat, a sejtmembránt, a sejtfelszínt, a citoszkeleton, a citoplazmát, az intracelluláris membránokat stb. érintik, illetve ott nyelődnek el? Míg alacsony frekvenciákon (néhány 100 kHz alatt) a sejtmembrán leárnycólja a külső elektromos teret, addig az RF frekvencia tartományokban a sejtmembrán fokozatosan „átlátszóvá” válik, és a sugárzás az intracelluláris tartományban nyelődik el. A sejtmembránhoz kötődő, ill. egyéb sejtorganellumok által elnyelt energia nehezen becsülhető, míg az intracelluláris membránokban való elnyelődés csak egy meghatározott frekvenciatartományban lehetséges. Ennek alapján alacsony frekvenciáknál, ill. alacsony frekvenciákat tartalmazó pulzusmodulált EM tereknél elsősorban sejtmembránra gyakorolt (transzmembrán) hatást feltételezhetünk. Magasabb RF és mikrohullámú frekvenciákon az intracelluláris tér érintett, míg a sejtfelszínen lejátszódó folyamatokra gyakorolt hatás frekvenciafüggőségét e fizikai modell alapján nehéz megbecsülni (Repacholi, 1998, Tenforde, 1996).

A lakosság elektromágneses expozíciója

Környezeti expozíciók rádiófrekvenciás sugárzás esetében

A környezet természetes RF háttérintenzitása kevesebb mint $1,4 \times 10^{-9}$ mW/m². A mesterséges RF sugárzások a környezetben elsősorban a rádió- és tévéadókból származnak, de nem elhanyagolható az egyre növekvő számú rádiótelefon-bázis-állomásokból eredő sugárzás nagysága sem. Az embert érő RF és MH expozíció meghatározásánál ismerni kell az adóberendezés frekvenciáját, teljesítményét, a sugárzó antenna tulajdonságait és a terepviszonyokat (beépítettséget). A sugárzás 300 MHz felett, a fényhez hasonlóan, egyenes vonalban terjed, míg alacsonyabb frekvenciákon követi a Föld görbületét, illetve az ionoszféra közvetítésével terjed. Minél magasabb a frekvencia, annál jobban irányítható a sugárzás. A sugárzás kibocsátására szolgáló antenna fontos tulajdonsága, hogy az adott sugárzást mekkora területen szórja szét. Ez a tulajdonság az antenna *sugárzási karakterisztikájával*, illetve az *antenna nyereségével* jellemezhető (Thuróczy, 1996/1).

Egy USA-beli tanulmány szerint a 70-es években az FM rádió, VHF és UHF sávban működő tévéadókból eredő teljesítménysűrűség középértéke a városi környezetben kb. 50 mW/m² volt. Az USA-ban a városi lakosság 0,1 %-a 2 V/m-t meghaladó RF térerősségben él. Svédországi mérés szerint egy nagyváros centrumában levő irodában az expozíció 20 mW/m² volt a 10 kHz–1 GHz tartományban, ugyanakkor egy 100 000 lakosú városban a rádióadókból eredő, lakásban mérhető sugárzás 1 mW/m² körül van. Hazai mérések alapján egy átlagos bázisállomás esetében (100 W ERP effektív kisugárzott teljesítménynél) az antenna síkjában 30–40 m-re a teljesítménysűrűség 1 mW/cm² alá csökken, és a lakos-

ság tartózkodási helyein ez az érték általában kisebb, mint $0,1 \text{ mW/cm}^2$.

Egyéb lakossági RF expozíciók

A lakosság által is használatos *mikrohullámú sütők* az utóbbi években az egész világon elterjedtek, és velük igen nagy teljesítményű mikrohullámú berendezések kerültek a lakásokon belülre. A piacra kerülő berendezések sugárzására vonatkozó nemzetközi és hazai szabványok egységesek, a sütő felületétől 5 cm -re maximálisan 5 mW/cm^2 teljesítménysűrűséget engedélyeznek. Irodalmi adatok és saját tapasztalataink is azt mutatják, hogy a sütők új állapotban kielégítik az említett előírásokat (Jánossy, 1991/2).

Széleskörű elterjedése és használata miatt a lakosságra vonatkozó terhelésnek (s nem csak munkahelyi sugárvédelmi kérdésnek) kell tekintenünk a *számítógépes képernyők* elektromos és mágneses terét. A monitorok elektromos, ill. mágneses terének frekvenciája a hálózati 50 Hz mellett 15 és 60 kHz között van, amely függ a képszülék típusától (színes, monokróm, multiszinkron stb.). A nemzetközi adatok és saját méréseink is azt mutatják, hogy az 50 Hz -es elektromos és mágneses terek $1\text{--}10 \text{ V/m}$, ill. $0,08\text{--}0,6 \text{ A/m}$ ($0,1\text{--}0,7 \mu\text{T}$) között, a $15\text{--}35 \text{ kHz}$ -es frekvenciákon 10 V/m , ill. $0,17 \text{ A/m}$ ($0,21 \mu\text{T}$) alatt vannak a felhasználó helyén, amelyek nem haladják meg a nemzeti szabványokban és nemzetközi ajánlásokban megengedett értékeket. A gyakori szem- és bőrérzékenységgel kapcsolatos panaszok a statikus feltöltődésből eredő porszemek szembe, arca történő lecsapódásából erednek (Jánossy, 1991/1).

A lehetséges biológiai kölcsönhatások néhány modellje

Az EM terek biológiai hatásaira vonatkozó kísérletes adatok alapján a sejtmembránon zajló szabályozási folyamatok kerültek elő-

térbe. Feltételezik, hogy az extracelluláris térben keletkező áramsűrűség a sejtfelszíni receptorok, kötőhelyek működésében kelthet zavart, amely intracelluláris biokémiai kölcsönhatásokhoz is vezethet. Ezzel összefüggésben a sejt növekedésének és osztódásának szabályozása és az ebben közreműködő enzimek aktivitásának vizsgálata állnak a középpontban.

A kölcsönhatás-modellek biofizika felől történő értelmezésének központjában a sejtmembrán áll. A legnagyobb problémát az jelenti, hogy a külső EM expozícióból a sejtmembránon, illetve a sejt közötti állományban keletkezett elektromos térerősség, illetve áramsűrűség sokkal kisebb, mint a biológiai rendszerek normál működése során keletkező belső elektromágneses terek. A fizikai kölcsönhatások modelljeiben ezt az elektronikában is ismert jel/zaj viszonytal írnák le. A biológiai rendszerekben fellépő elektromos zaj a termikus zajból (Nyquist-zaj), a feszültségáram zajból (ún. $1/f$ zaj), elektronzajból (töltött részecske mozgásából adódó zajból) és az elektromos potenciálokat keltő szövetek, idegsejtek bioelektromos zajából összegződik. Ennek alapján a külső elektromágneses térből keletkező jel és az állandóan jelenlévő zaj viszonya $10^{-3}\text{--}10^{-4}$ -nél is rosszabb. A feltételezett hatásmechanizmus-modellek arra keresnek választ, hogy a biológiai rendszerek hogyan képesek ezt a rossz jel/zaj viszonyt legyőzni, ezáltal a külső elektromágneses térrel kölcsönhatásba lépni. A kölcsönhatások fizikai modelljeinek alapját a biológiai mikrostruktúrák (sejtmembránok, sejtkapcsolatok, idegsejtek) fiziko-kémiai felépítésének nemlineáris és funkcionális működésének rezonanciát, időben periodicitást tartalmazó jellege adja.

A lehetséges jel/zaj viszony javítását igazoló modellek a következők: a mikrostruktúrák nemlineáris dinamikus egyen-

súlyi állapotai mentén kialakuló (jel)erősítési folyamatok, a biológiai struktúrák szűk sáv szélességéből és a külső elektromágneses jel koherenciájából keletkező jel/zaj viszony javulás, valamilyen rezonancia alapján létrejövő kölcsönhatások, a sejtkapcsolatok elektromos csatolásából és kommunikációjából adódó jel/zaj viszony javulás, a biológiai mikrostruktúrák ferromágneses partikuláinak kölcsönhatása a külső elektromágneses térrel. Mivel a biológiai rendszerek a sejtek funkcionálisan is összetartozó összességéből állnak, a kölcsönhatások leírásában helyet kaptak a sejtkapcsolatok (elektromos) csatolását és kommunikációját figyelembe vevő modellek. E modellek lényege, hogy az elektromosan és funkcionálisan csatolt sejtek (sejtmembránok) nem függetlenek, ezért egy adott sejtcsoportra vonatkozó jel/zaj viszony sokkal jobb lehet, mint az egyedi sejt esetében. Elektrodinamikai modell alapján kimutatták, hogy N számú elektromosan csatolt sejtmembrán a jel/zaj viszonyt $N^{5/6}$ arányban javítja. Például egymillió sejt esetében ez 100 000-szeres javulást okozhat, ami már $0,1 \mu\text{V}/\text{m}$ -es érzékelést tenne lehetővé. A sejtkapcsolások neuronhálózati modelljében az adaptív tulajdonság miatt a hálózatban érintett sejtek száma nemlineárisan függ össze a jel/zaj viszony javulással.

Egészen új megközelítést hozott az a felismerés, hogy számos biológiai szövet ferromágneses kristályokat, ún. magnetitokat (Fe_3O_4) tartalmaz. E kristályokat megtalálták méhekben, madarakban, hüllőkben, és feltételezés szerint a tájékozódásban nyújtanak segítséget. A méhek ezáltal 10^{-9} T mágneses indukciót, a madarak a Föld mágneses terének 10^{-5} nagyságú változását is érzékelni tudják. A mágneses térrel történő kölcsönhatás lehetséges szerepét az adja, hogy az emberi agyszövet is tartalmaz magnetitokat. Mennyisége gram-

monként eléri a milliót, mérete 200 nm körüli (állatokban 20–30 nm). A kölcsönhatásban játszott szerepét nem a mennyisége (ui. csak minden századik sejtre jut egy kristály, és ezt a szakemberek kevésnek tartják), hanem a helye adja. Feltételezések szerint a membránhoz kötődő magnetit, mágneses momentuma miatt, a külső elektromágneses tér hatására mozgásba jön, és a nyomásérzékelő receptorok segítségével a sejtmembrán ioncsatornáinak ki- és bezáródását befolyásolja (Tenforde, 1996, UNEP/WHO, 1987).

Biológiai hatások

A mikrohullámú és RF sugárzások biológiai hatásait a termoreguláció érintettsége szempontjából három részre szokás bontani, amelyekhez három expozíciós (SAR) tartomány is rendelhető:

- *hőhatás*: hőmérséklet-emelkedéssel járó expozíció (2–8 mW/g felett), amely 1°C -nál nagyobb hőmérséklet-emelkedést okozhat;
- *atermikus hatás*: a hőmérséklet nem emelkedik a termoreguláció miatt (0,5–2 mW/g között);
- *nem termikus*: nincs hőmérséklet-emelkedés, termoreguláció nem érintett (0,5 mW/g alatt)⁶.

A fenti definíciók mentén történő szétválasztás számos esetben nehéz, ugyanis pl. az SAR hőhatás okozó értékeiben nagy átfedés lehetséges az adott biológiai rendszer, szerv termoregulációs képessége szerint. Amíg az agyszövet termoregulációs képessége igen nagy, addig pl. a szemlencsének nincs vérrellátása, így ott a hőmérséklete alacsonyabb SAR értékeknél emelkedik meg. Ezt bonyolítja, hogy az adott objektum frekvenciafüggő elnyelési képességének megfelelően ugyanazon SAR-hoz különböző levegőben mérhető teljesítménysűrűség is tartozhat. Ezért különösen nehéz megítélni, hogy pl. a rádiótelefon

sugárzásából keletkező elnyelt teljesítmény, amely 0,1–15 W/kg között is változhat, melyik kategóriába sorolható (ICNIRP, 1998, Repacholi, 1998).

Az RF sugárzások kölcsönhatásában döntő szerepe van a hőmérséklet emelkedésének. A termális hatások egy adott sugárzási intenzitás felett elfedik a nem termális hatásokat. A hatásmechanizmusok tárgyalásában a hatás helye (pl. sejtszintű) fizikai kölcsönhatások (pl. dielektromos tulajdonságok, nemlinearitások) és a biológiai rendszerek sajátossága játszik szerepet. Például a pulzusmodulált, mikrohullámú sugárzás hallás útján történő észlelésének mechanizmusa valószínűleg termoeelasztikus hatáson (igen gyorsan lezajló hőtáguláson) alapul. Ugyanakkor az alkalmazott RF hullámhossz és a biológiai objektum méreteinek összemérhetősége a fejen belül egyéb rezonanciákat is kelthet (pl. a GSM sáv 30 cm-es hullámhossza a fej méretével csaknem azonos). (Lin, 1989)

Hőhatások

A biológiai hatásokkal kapcsolatos első tapasztalatok és kísérletek a MH és RF sugárzások *hőhatására* voltak visszavezethetők. Ezek közé tartozott például a nemzőképesség ideiglenes csökkenése, szürkehályog képződése. A sugárzás hőhatását a gyógyításban hamar használni kezdték. Napjainkban fizioterápiás kezelések mellett a daganatterápiában is alkalmazzák.

Hatások a központi idegrendszerre

A MH és RF sugárzások *központi idegrendszerre* gyakorolt hatásának vizsgálata kezdettől fogva a témával foglalkozók érdeklődésének középpontjában állt. Nyilvánvalónak tűnt, hogy pl. agyszövet, amely maga is elektromos potenciálokat kelt, közvetlen kölcsönhatásba kerülhet az elnyelt EM energiával. A kísérletes adatok azonban azt támasztják alá, hogy az agyi

elektromos tevékenység a biológiai hatás regisztrálásában szerepet játszhat, de a hatásmechanizmusban közvetlen elektrodinamikai út nem lehetséges, hanem az agyszövet és az EM terek kölcsönhatásaiban közvetett hatásmechanizmusok érvényesülnek. Mivel pl. az elektroencefalogram (EEG) hullámok eredetének is a lassú membránpotenciál változások tér-idő összegzését tartják, ezért a kutatások a sejtmembránnal történő lehetséges kölcsönhatások felé fordultak. Ezek közül a legelterjedtebb a Ca^{2+} ion szerepének tisztázása, a sejtmembránon való ki- és beáramlásának mérése volt. A kalciumionoknak fontos szerepük van az agyszövet fiziológiai és metabolikus folyamataiban, így ennek az EM tér hatására történő változása összefüggésben van az agyi metabolizmusban, a funkcióban mért egyéb változásokkal. Az eredmények azt mutatták, hogy az amplitúdómodulált RF és mikrohullámú tér növelte a Ca^{2+} kiáramlást.

A központi idegrendszerre gyakorolt hatások háttéréként az agyi kapillárisok, az ún. *vér-agy gát* szelektív permeabilitásának szerepe szintén az érdeklődés középpontjába került. A vér-agy gát az agyszövet számára lokálisan konstans összetételű környezetet biztosít. A neuronok működése nagy mértékben függ a környezetet jelentő cerebrospinális folyadék (CSF) ionösszetételétől, és annak kisebb mértékű változása is jelentős következményekkel jár. Ezért az EM sugárzás idegrendszeri hatásai háttérének többek között a vér-agy gát permeabilitásának megváltozását tartják. Állatkísérletek alapján megállapították, hogy az akut hőhatással járó mikrohullámú sugárzás növeli az olyan jelzett vegyületek bejutását az agyszövetbe, amelyek a normálisan működő vér-agy gáton nem jutnának át. Ez a vér-agy gát érintettségére utalt, de a permeabilitás változása összefüggésben volt a lokális agyi keringés-metaboliz-

mus változásával és a hőmérséklettel is. A mikrohullámú és a RF sugárzásnak a *víselkedésre* gyakorolt hatása számos sugárvédelmi szabvány fontos alapját képezte. Az összegyűjtött irodalmi adatok azt mutatták, hogy az állatkísérletes modellekben az SAR viszonylag szűk tartományában (3–9 mW/g között) találtak elváltozásokat, amelyhez igen széles teljesítménysűrűség (8–140 mW/cm²) tartomány tartozott. Ezért számos nemzetközi bizottság azt javasolta, hogy a 4 mW/g SAR értékre alkalmazzanak egy tízes redukációs faktort. Így alakult ki a mára nemzetközileg is elfogadott érték: az egész testben elnyelt átlagos 0,4 mW/g SAR mint foglalkozási, illetve ennek ötöd-része (0,08 mW/g) mint lakossági dóziskorlát.

Daganatkeltő hatások

Annak ellenére, hogy a sugárvédelmi értékek alapját az idegrendszerre gyakorolt hatások küszöbértékei adták, az MH és RF sugárzásokkal kapcsolatos egyik központi kérdés az esetleges rákkeltő hatás maradt. Különösen a rádiótelefonok elterjedése kapcsán merült fel a kérdés: vajon tartós használatuk okozhat-e rákot vagy sem? A kísérletes modellekben elsősorban a daganatos szövetek növekedési ütemét figyelték, azt, hogy a daganatos szövetek RF sugárzás hatására gyorsabban növekednek-e. Az eddig reprodukálható kísérletes eredmények azt mutatják, nem valószínű, hogy daganatnövelő hatásokkal kell számolnunk a MH, ill. RF (így a rádiótelefonok által kibocsátott) sugárzásokkal kapcsolatban. Az emberre vonatkozóan azonban csak az epidemiológiai, az adott populációra vonatkoztatott megbetegedési (morbidity) és halálozási (mortality) mutatók adhatnak megnyugtató választ. Persze csak elegendő adat birtokában és kellő idő eltelével. (ICNIRP, 1996, Kuster, 1996, Thuroczy, 1998).

Sugárvédelmi szabványok és ajánlások

Alapelvek

A nemzetközi és nemzeti ajánlásokban, szabványokban, az EM sugárzások (terek) sugárvédelmi koncepciója a dozimetria, ill. az expozíció oldaláról két fő elemet tartalmaz:

- Az expozíció dozimetriai alapkorkorlátait az elnyelt teljesítmény (SAR) W/kg-ban vagy áramsűrűség mA/m²-ben határozza meg. Ebből származtatják az ajánlásban szereplő és mérendő (ill. mérhető), megengedhető határértékeket W/m²-ben, mW/cm²-ben, V/m-ben vagy A/m-ben (*derived exposure levels*).

- A sugárterhelés tárgyalásában és megítélésében különbséget tesznek a *lakossági* és a *foglalkozási* expozíció között. Egyes szabványok és ajánlások a foglalkozási, ill. lakossági kifejezések helyett az *ellenőrzött*, ill. *nem ellenőrzött* expozíciós területek (övezetek) kifejezéseket használják. A lakossági (nem ellenőrzött területre vonatkozó) határértékek általában egyötöd, egytized részei a munkahelyre megengedett értékeknek.

A szabványok minden esetben figyelembe veszik, hogy az emberi testben átlagosan elnyelődő energia erősen függ a külső elektromágneses sugárzás frekvenciájától. Az átlagosan elnyelt teljesítményt (SAR) mint meghatározó dóziskorlátot alapul véve az ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) új szemléletű ajánlásokat tett közzé. Ezekben a 0,4 mW/g egésztestre vonatkozó SAR-hoz rendelhető, 6 percre vonatkozó átlagos teljesítménysűrűség-, ill. térerősségszinteket tekintik a munkahelyen megengedhető határértéknek (foglalkozási határérték). Ugyanakkor a 0,08 mW/g SAR értékhez tartozó átlagos (30 perces átlag) szinteket a lakosságra vonatkozó megengedhető határértéknek javasolják (*4. táblázat*). Az

SAR-en alapuló ajánlások tartalmaznak egy lokálisan megengedhető maximális SAR értéket is, amely foglalkozási esetben 8 mW/g, a lakosság esetében 2 mW/g (ICNIRP, 1998).

Az ajánlások és szabványok kialakításának további elvei

Az elektromágneses terek egészségügyi határértékeinek kialakításánál két egymástól eltérő szemlélettel találkozhatunk. Az egyik az egészség védelmén, a másik az elővigyázatosság elvén alapuló megközelítés.

Az *egészség védelme* alapján kialakított határértékek a tudományos kutatás (tudományos folyóiratban publikált) eredményein alapulnak, a *tudományos közélet konszenzusa* mellett. Ha egy bizonyos dózisnagyságnál bármilyen, egészségre gyakorolt hatást találnak, ez alapot ad a *biztonsági faktorok* alkalmazására. A biztonsági faktor a lakosság esetében általában ötvenszeres, ami azt jelenti, hogy a megengedett felső határérték a hatásosnak bizonyult dózis legalább ötvened része. Lényeges, hogy a hivatkozott hatásokat a várható egészségügyi következmények szempontjából is meg kell vizsgálni. A megismételt kísérletes vizsgálatok döntő fontosságúak. A WHO és az ICNIRP az egészség védelme alapján alakítja ki határértékeit. Az Európai Közösség 1999-ben kiadott ajánlása is alapvetően ezt az elvet követi, és az ICNIRP határértékein alapul. Az Európai Tanács a Római Szerződés 3. cikkelyébe foglalt

egészségvédelmi elv alapján ajánlást tett közzé, amely a lakosságot érő nem ionizáló elektromágneses sugárzást (0 Hz–300 GHz) hivatott korlátozni. Az ICNIRP és a WHO megállapításait figyelembe véve a Tanács alapkorklátként meghatározta az emberi szervezet által elnyelt sugárzásmennyiség felső határát, továbbá megengedhető határértékként (referenciaszintként) a külső, levegőben mérhető sugárzás felső korlátait. A szubszidiaritás és az arányosság elvének megfelelően az Unió csak általános elveket és módszereket ír elő a kérdésben, a részletes törvényi szabályozást és előírást, valamint az információterjesztés és a lakosság tájékoztatásának feladatát, a kutatások támogatását és eredményeik kommunikálását a tagállamokra hagyja.

Az *elővigyázatosság elve* alapján a határértékeknek a technológiailag megvalósítható legalacsonyabb értékektől kellene kiindulnia, amelytől a gazdasági megfontolások és az összegyűlt tudományos ismeretek alapján lehet elmozdulni (sok esetben még nem publikált adatokat, előzetesen nyilvánosságra hozott eredményeket is figyelembe vesznek). További jellemző, hogy bármely biológiai hatásról feltételezi, hogy az egészségi következménnyel járhat. Esetenként kiegészítő intézkedéseket is javasol a magasabb fokú egészségvédelem érdekében. Ilyen elővigyázatos megközelítés például, hogy önkéntesen alacsonyabb határértékeket tartanak (és tartatnak) be, biztonsági (elkerülési) távolságokat vezet-

	frekvencia-tartomány	átlagos SAR egész testre (W/kg)	lokális SAR fej, törzs (W/kg)	lokális SAR végtagok (W/kg)
lakossági	10 MHz–10 GHz	0,08	2	4
foglalkozási	10 MHz–10 GHz	0,4	10	20

4. táblázat • Az ICNIRP ajánlásának SAR-re vonatkozó alapkorklátai

nek be. Vitatott kérdés az ionizáló sugárzásoknál elfogadott, ún. ALARA (As Low As Reasonable Achievable) vagyis „az ésszerűen elérhető legalacsonyabb sugárzási szint” elvének alkalmazása. A WHO csak akkor alkalmazná ezt az elvet, ha dózis-hatás összefüggéssel támasztanák alá, illetve feltételezhető lenne, hogy akármilyen kis dózis is egészségkárosító hatású. Az elektromágneses terek élettani hatásaival kapcsolatban nem sikerült egyértelmű dózis-hatás összefüggéseket találni. Arra pedig nincs meggyőző adat, hogy bármilyen gyenge elektromágneses sugárzás egészségkárosító hatással járna.

A hazai egészségügyi határértékeket 30 kHz–300 GHz között (ide tartoznak a rádióműsor-szóró adók, a mobiltelefonok, a bázisállomások és a radarok) az MSZ 16260-86 szabvány tartalmazza (5. táblázat). A hazai szabvány a 300 MHz felett szigorúbb előírásokat tartalmaz, mint az ugyanerre vonatkozó ICNIRP, illetve EU ajánlás (MSZ 16260,

0986). Az egészségügyi határértékek a 30 kHz–300 MHz közötti frekvenciákon az EU ajánlásaival közel megegyezők. Hazánkban 30 kHz alatt az egészségügyi korlátokra nézve nincs érvényes szabvány, ezért az ICNIRP/EU ajánlásokat alkalmazzuk.

A mobil rádiótelefonok sugáregészségügyi kérdései

A mobiltelefon terjedése és a közeljövő vezeték nélküli technológiái a rádiófrekvenciás (RF) sugárzások egészségre gyakorolt hatásainak vizsgálatát és értékelését hosszabb távon is szükségessé teszik. Hazánkban jelenleg több mint 3,5 millióan használnak mobiltelefont. A kérdéssel felölösen foglalkozó tudományos fórumok és nemzetközi szervezetek (*Egészségügyi Világszervezet, WHO, International Commission on Non-Ionising Radiation Protection, ICNIRP*) megfogalmazták a tényleges feladatokat és azokat a területeket, amelyek további kutatásokat igényelnek.

övezet	elektromos térerősség (V/m)		
	30 kHz–3 MHz	3–30 MHz	30–300 MHz
veszélytelen	3	3	3
biztonsági	50	30	20
munka	120	60	40
korlátozott időtartamú munka	960/óra	480/óra	320/óra
veszélyes	1000	600	400

övezet	teljesítménysűrűség (mW/cm ²) 300 MHz–300 GHz	
	álló sugárzó	forgó vagy pásztázó sugárzó
veszélytelen	—	—
biztonsági	0,01	0,1
munka	0,1	1,0
korlátozott időtartamú munka	$\sqrt{\frac{0,08}{\text{óra}}}$	$\sqrt{\frac{8}{\text{óra}}}$
veszélyes	10	100

5. táblázat • Az MSZ 16260–86 megengedett felső határértékei a 30 kHz-től 300 GHz-ig terjedő frekvenciatartományban

A kutatások az általános megállapítások után a specifikus kérdések felé fordulnak, vagyis a besugárzottság mértékének és helyének megfelelően a várható biológiai válasz egészségügyi következményeit vizsgálják. A dozimetriai mérések és modellezések egyre pontosabbak. Megállapítható, hogy a mobiltelefon-bázisállomásokból eredő expozíció messze a megengedhető határértékek alatt marad. A mobil kézi telefonokból az embert – elsősorban a fejet – érő RF sugárzás azonban lokálisan akár az egészségügyi határértékeket is meghaladhatja.

A mobiltelefonok terjedése a WHO állásfoglalása szerint is újszerű közegészségügyi kérdéseket vet fel, ugyanis az érintett populáció nagysága miatt a viszonylag kis kockázat is számottevő következményekkel járhat. Az epidemiológiai kutatást nehezíti, hogy az elektromágneses terek hatásainak egészségügyi kockázata feltehetően igen csekély, de az érintett populáció nagy (emiat is nehéz igazán jó kontrollcsoportot

találni). Ez nagyszámú vizsgált csoportot, új szemléletű és tudományos megközelítésű kockázatbecslést, statisztikai kiértékelést igényel. Kellő ismeretek hiányában a WHO és az Európa Tanács is a kérdés elővigyázatos kezelésére int.

A kutatások egyéb területein is számos nehézséggel találkozunk. Az egyik legfontosabb kérdés, hogy a feltehetően csekély hatás milyen módszerrel mutatható ki egyáltalán. Igazán meggyőző a dózis-hatás összefüggések kimutatása lehetne. Ezt azonban nehezíti, hogy egy bizonyos dózisonál nagyobb sugárzás már hőhatást okoz, amely elfedhet más kölcsönhatásokat.

Dozimetriai kérdések mobil rádiótelefonok esetében

A mobil kézi készülékek kis teljesítményű rádiófrekvenciás eszközök. A legelterjedtebb GSM készülékek a 900 MHz-es frekvenciasávban 2 W, az 1800 MHz-es sávban 1 W csúcsteljesítménnyel üzemelnek (6.

üzemmód	GSM 900 MHz 2W csúcs (class 4)	GSM 1800 MHz 1W csúcs (class 1)
maximális csúcsteljesítmény (legnagyobb teljesítményfokozat)	2 W	1 W
teljesítményszabályzás tartománya a csúcsteljesítményre vonatkoztatva	0,003–2 W	0,001–1 W
maximális átlagteljesítmény (DTX üzemmód nélkül)	240 mW	120 mW
teljesítményszabályzás tartománya az átlagteljesítményre vonatkoztatva	0,36–240 mW	0,12–120 mW
maximális átlagteljesítmény DTX esetében 50–50 %-os beszélgetés/hallgatás esetében	135 mW	67 mW
minimális átlagteljesítmény DTX esetében 50–50 %-os beszélgetés/hallgatás esetében	0,202 mW	0,067 mW

6. táblázat • A GSM 900 MHz-es és a GSM 1800 MHz-es mobiltelefon készülékek jellemzői

táblázat). A GSM telefonok esetében az RF teljesítmény nem folyamatos, hanem pulzusmodulált jellegű, 217 Hz ismétlődési frekvenciával (4,615 ms időrésben 0,577 ms pulzusszélességgel). A GSM telefonok automatikus teljesítményszabályozóval vannak ellátva. A DTX üzemmódban (discontinuous transmission) további teljesítmény- és modulációsabályzás történik.

Rádiófrekvenciás expozíció mobiltelefonok esetében

A mobiltelefonok rádiófrekvenciás sugárzása a készüléken vagy a készülékben elhelyezett antennával történik. Mindkét esetben az embert érő expozíció az ún. sugárzási közeltérben valósul meg. Ezért az emberi fejet érő RF tér általában rendkívül inhomogén, nem egyenletes, sem időben, sem térben. A közeltér miatt az expozíció a levegőre vonatkoztatva nehezen meghatározható. Bár vannak becslések a teljesítménysűrűség nagyságára közeltérben (pl. GSM készüléktől néhány cm távolságban a teljesítménysűrűség 1000–1500 mW/cm² is lehet), a szabványosítási dokumentumokban a levegőben mérhető (elektromos vagy mágneses) térerősség, teljesítménysűrűség helyett az emberi fejben elnyelt teljesítmény, az SAR a meghatározó (*7. táblázat*).

Az eddigi mérési adatok azt mutatják, hogy a GSM-készülékek kisugárzott RF teljesítményének közelítőleg a fele, esetleg ennél nagyobb hányada is a fejben nyelődik el. Ez az érték nagyban függ a telefon típusától, a használat módjától, kevésbé befolyásolja a fej mérete, bár az utóbbi időben a gyermekek mobiltelefonálásával összefüggésben ezek a kérdések ismét a vizsgálatok középpontjába kerültek. A mérések azt mutatják, hogy a GSM-telefonok esetében az agyszövetben kialakuló SAR maximum általában 2 W/kg alatt marad, a fülben azonban meghaladhatja ezt az értéket. A kapott eredményt erősen befolyásolja az

is, hogy a számítást, illetve a mérést mekkora átlagolt tömegre vonatkoztatták. Az 1 g-ra átlagolt eredmény mindig magasabb SAR-t eredményez, és általában elmondható, hogy az 1 g-ra vonatkoztatott megengedhető határérték csaknem ötszörös szigorítást jelent a 10 g-ra vonatkoztatott átlaghoz képest. Az ICNIRP, illetve EU ajánlása 10 g-os átlagra vonatkozó bevezetését is nagy szakmai vita előzte meg, amely jelen formájában megengedőbb az USA-beli előírásnál. A mérések és számítások közti különbségek elsősorban a fejfantom, illetve fejmodell, a mérési módszerek, valamint az alkalmazott numerikus eljárások eltérő alkalmazásának tudhatók be. Többek között ezek az eltérések is igényelték, hogy az EU a mobiltelefonok sugárzására vonatkozó mérés technikai szabványt dolgozzon ki. (ICNIRP, 1996, Kuster, 1996, Thuróczy, 1998).

Dozimetriai vizsgálatok és termikus modellek

Sugárvédelmi szempontból az SAR mint a határértékre vonatkozó alapvető dozimetriai mennyiség meghatározása elengedhetetlen. Az utóbbi időben a biológiai kölcsönhatásokat figyelembe véve egyre jobban előtérbe kerül a mobiltelefon RF sugárzásából adódó agyszöveti hőmérséklet-változás meghatározása. A termikus modellezés egyre nagyobb hangsúlyt kap, ugyanis az RF sugárzásra vonatkozó eddigi kutatások azt bizonyították, hogy ahol valamilyen egészséggel összefüggő biológiai válasz mutatkozott, ott hőhatást is észleltek. Ezért a hőhatás kizárása alapvető minden sugárvédelmi szabályozásban és ajánlásban. Svédországi felmérések azt mutatták, hogy a mobiltelefont használók melegedést éreznek azon az oldalon, ahol a telefont használják. A melegedés érzésének több oka lehet (pl. a telefon melegedése, fülhöz, archoz szorítás stb.), ebből az egyik maga az RF sugárzás. Az eddigi eredmények azt

vonatkoztatás/ érvényesség	USA FCC	EU CENELEC	Japán ARIB STD-T56
az ajánlást/szabványt megalapozó dokumentum	NCRP/ANSI/IEEE	EU ajánlás	RCR STD-38
alkalmazási kör	lakosság (nem ellenőrzött terület)	lakosság	lakosság
egésztestre vonatkozó fajlagosan elnyelt teljesítmény (SAR)	0,08 W/kg	0,08 W/kg	0,08 W/kg
maximális lokális fajlagosan elnyelt teljesítmény (SAR)	1,6 W/kg	2 W/kg	2 W/kg
átlagolási idő	30 perc	6 perc	6 perc
átlagolási tömeg	1 g	10 g	10 g
fejfantom	nem definiált	meghatározott	több javasolt fantom
telefon pozíciók	szabványos	4 különböző pozíció	szokásos

7. táblázat • A mobil rádiótelefonok sugárzásának alapkörlátaira vonatkozó szabványok és ajánlások

mutatták, hogy a fül és a bőr hőmérséklet-emelkedése döntő mértékben a telefon melegedéséből és magából a telefon érintkezéséből vezetett hőként jelentkezik. Az agyszövet, illetve a fülcimpa melegedése az RF sugárzásból maximum 0,1 °C körül lehet (GSM 900 MHz, 250 mW esetében). Számítógépes modellezések alapján az agyszövetben 1 W/kg elnyelt teljesítmény (SAR) 0,1–0,16 °C hőmérséklet-emelkedést okozhat. A hőmérsékleti modellek azért fontosak, mert a lokális hőmérsékletváltozásnak biológiai és egészségügyi jelentőséget tulajdonítanak.

Egészségügyi kutatási irányok

A WHO az epidemiológiai kutatások eredményeit tartja a legfontosabbnak, ezekben egy adott lakossági csoport megbetegedési, illetve halálozási adatait vizsgálják. A

WHO 2000-ben indított, 14 országot érintő, az agydaganatra, a feji és nyaki tumorokra vonatkozó kutatása 2004-ben fejeződik be. Az agydaganat előfordulását vizsgáló eddig publikált kutatások nem mutattak ki eltéréseket a mobiltelefont használók körében. Az eredmények bizonytalansága miatt azonban hangsúlyozzák, hogy a kutatásokat és az újabb adatok gyűjtését folytatni kell. További sejtés, hogy abban az esetben, amikor a telefon kisugárzott RF teljesítménye hőmérsékletemelkedést is okozhat az agyszövetben, káros egészségi hatással lehet számolni.

A további kutatások az agy funkcionális működésére, illetve alapkutatásokra irányulnak (*8. táblázat*). A középpontban a figyelem, a reakcióidő, a memória és a halórendszer áll. Az eddigi eredmények csak a reakcióidő rövidülését erősítették meg

független kutatások alapján. A hallórendszer vizsgálata, már csak dozimetriai megfontolásokból is, a kutatások előterébe került. Kiemelt kutatási terület a sejtmembrán működésbeli változása, az ingerületátviteli folyamatok és a vér–agy gát szerepe. Számos, az utóbbiakra vonatkozó publikált kísérlet megerősítésre vár.

Összefoglalás

Az elektromágneses terek élő szervezetre gyakorolt hatásainak kutatása jelentős fejlődés alatt áll. Kellő ismeretek hiányában az Európa Tanács is felvetette, hogy a kérdést nem árt elővigyázatosan kezelni. Vitatott kérdés az ionizáló sugárzásoknál elfogadott *ALARA, az ésszerűen elérhető legalacsonyabb sugárzási szint* elv alkalmazása is. A nemzetközi és az EU-szabályozás és szabványosítás nem teljes. A szab-

ványosítások folyamatban vannak, de sok területen nincs egyetértés sem a szakemberek, sem az EU országai között. A szabályozási, szabványosítási munkát nehezíti, hogy számos esetben a technikai, ipari előrehaladás megelőzte az egészségügyi, környezetvédelmi megfontolásokat. Gyakorlati alkalmazásuk azért is nehéz, mert a szabványokhoz tartozó mérés-technikai eljárásokat csak most dolgozzák ki. További nehézség, hogy a megengedhető határértékek megállapításánál a lakosság már meglévő expozíciós szintjeit is figyelembe kell(ene) venni. Az egészségügyi határértékek nemzetközi egységesítésének egyik akadálya, hogy a tudományos kutatás a nem ionizáló sugárzások egyes területein (pl. az 50 Hz-es mágneses terek, egyes rádiófrekvenciás sugárzások) nem talált igazán megbízható dózis-hatás összefüggése-

Vizsgálat tárgya	Eredmény	Szerző	Időpont
EEG vizsgálatok GSM 900 esetében	Fiziológiai reguláción belüli változások. Az agyi keringésben nincs változás	Thuróczy, Gy	1999
GSM telefon expozíciót követően hallásvizsgálatok különböző kvantitatív és szubjektív audiológiai módszerekkel	Eltérések találhatók a hallórendszer idegpályáinak egyes szakaszain 20 perces expozíció után.	Kellényi, L., Thuróczy Gy.	1999, 2001
reakcióidő-rövidülés felismerése	Rövidülés (-14ms) csak 1W, CW esetében, ezért hőhatást feltételeznek.	Preece, A.	1999. UK
memória feladatok vizsgálata mobiltelefonálás közben EEG regisztrálással	EEG változások a 8 Hz-es tartományban feladat és mobiltelefon expozíció alatt.	C Krause	2000. SF
EEG vizsgálatok NMT 900, GSM 900 és PCN 1800 készüléknél, 19 önkéntes személynél	Csak az NMT esetében volt változás az EEG spektrumában.	Hietanen, M.	2000. SF
reakcióidő vizsgálat GSM 900 (0,25W) esetében.	Reakcióidő-rövidülés (9–25 ms),	Koivisto, M.	2000, 2001 SF
szubjektív tünetek (fejfájás, fáradtság, melegedés érzés, bőrpír, bizsergés, viszketés)	Nem jelentkeztek tünetek 30–60 perces telefonálás után önkénteseknél (48 f)	Koivisto, M.	2001. SF
figyelem és összpontosítás vizsgálata mobiltelefon használó kamaszoknál	Egyes figyelemmel összefüggő feladatok a mobilhasználóknál jobbak voltak.	Lee, T. M. C.	2001. Hong Kong

8. táblázat • Mobiltelefon RF expozíciójának vizsgálata humán kísérletekben

ket. Sőt, bizonyos kísérleti eredmények azt sejtetik, mintha a kisebb expozíciónak nagyobb biológiai hatása lenne, illetve azt egyéb körülmények is befolyásolnák. Végül a szabványok, ajánlások kialakítását, alkalmazását nehezíti, hogy a civilizált társadalom életéből nem zárhatók ki az elektromágneses sugárzások. A lakosság expozíciója várhatóan növekedni fog, akár az eddigi trendeket, akár a jövőre vonatkozó fejlesztési terveket tekintjük.

A szabványok és ajánlások kialakításánál alapvető cél, hogy az elektromágneses sugárzások használatára vonatkozó szabályozásnak sokféle egyéni, csoport- és gazdasági érdek összhangját kell megterem-

tenie, elsőbbséget adva az egészségvédelem szempontjainak, de nem gátolva a korszerű technológiák nemzetgazdasági elterjedését. Biztosítani kell továbbá, hogy ezeknek az alkalmazásoknak az egészségkárosító hatásai, illetve az ebből eredő kockázatok ne haladják meg a társadalom számára elfogadható és az alapvető sugárvédelmi szabályozásban rögzített szinteket.

Kulcsszavak: *elektromágneses sugárzások, rádiófrekvenciás sugárzások, dozimetria, elektromos permittivitás, mágneses permeabilitás, elektromágneses expozíció, szűrkehályog, rádiófrekvenciás eszközök, mobiltelefonok, szabványosítás*

IRODALOM

- ICNIRP (1996): Statement: Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters, *Health Physics* 70, 587
- ICNIRP (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz), *Health Physics* 74, 494–521
- Jánossy G., Bakos J., Ferik J., Thuróczy Gy., Szabó L. D. (1991): Monitorok sugárzása és a védekezés lehetőségei, *Elektrotechnika* 84, 187
- Jánossy G., Thuróczy Gy., Szabó L. D. (1991): Mikrohullámú sütők sugárzása és a védekezés lehetőségei, *Elektrotechnika*, 84, 197
- Lin, J. C. (1989): *Pulsed Radiofrequency Field Effects in Biological Systems*, in: Lin, J. C. (ed): *Biological Effects of EM Fields*, 165–177, Plenum Press
- Kuster, N., Balzano, Q. and Lin, J. C. (ed) (1996): *Mobile Communications Safety*, Chapman and Hall, London
- Mátay G., Zombory L. (2000): *A rádiófrekvenciás sugárzás élettani hatásai és orvosbiológiai alkalmazásai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest
- McKinlay, A. F., Repacholi, M. H. (ed) (1999): Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology, NRPB, Radiation Protection Dosimetry, 83, No. 1–2
- MSZ 16260–86 (1986): A nagyfrekvenciás elektromágneses tér megengedett határértékei, Magyar Szabványügyi Hivatal
- NCRP (1986): Report on Biological Effects and Exposure Criteria for Radio frequency Electromagnetic Fields, No. 86
- NRPB (1992): Electromagnetic fields and the risk of cancer. Report of Advisory Group on Non-ionising Radiation. Chilton: National Radiation Protection Board. Doc. NRPB 3(1): 1–138
- Petersen, R. C. (1991): Radiofrequency-Microwave Protection Guides, *Health Physics*, 61, 59
- Polk, C. H., Postow, E. (ed) (1996): *Biological effects of electromagnetic fields*, 2nd Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press
- Repacholi, M. H. (1998): Low-Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Needs *Bioelectromagnetics*, 19, 1
- Repacholi, M. H., Cardis, E. (1997): Criteria for EMF health risk assessment. *Radiat Prot Dosimetry* 72, 305
- Tenforde, T. S. (1996): Interaction of ELF magnetic fields with living systems. In: Polk, C. H., Postow, E. (eds): *Biological effects of electromagnetic fields*, 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press. p 185–230
- Thuróczy Gy. (1999): Mobiltelefon bázisállomások sugáregészségügyi és szabványosítási kérdései, *Szabványügyi Közlöny*, 51, 31
- Thuróczy Gy. (1998): A mobil hírközlés sugáregészségügyi kérdései, *Magyar Távközlés* 9, 26
- Thuróczy Gy. (1996): Elektromágneses terek biológiai hatásai. I: Mikrohullámú és rádiófrekvenciás sugárzások, *Magyar Távközlés* 7, 50
- Thuróczy Gy. (1996): Elektromágneses terek biológiai hatásai. II: Alacsonyfrekvenciás elektromos és mágneses terek, *Magyar Távközlés*, 7, 21
- Thuróczy Gy., Szkladányi A., Szász E., Szabó L. D. (1991): Mikrohullámú dozimetria biológiai anyagokban, *Elektrotechnika* 84, 241
- UNEP/WHO/IRPA (1987): Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields. WHO, Geneva
- WHO (1993): *Electromagnetic Fields (300 Hz–300 GHz)*, Geneva, World Health Organization Environmental Health Criteria 137

A RÁDIÓFREKVENCIÁS SUGÁRZÁSOK ORVOSI ALKALMAZÁSAI

Mátay Gábor

BME Szélessávú Hírközlő Rendszerek Tanszék – e-mail: gabor.matay@mht.bme.hu

Bevezetés

Napjainkban a 9 kHz-től 400 GHz-ig terjedő, úgynevezett *rádiófrekvenciás* (RF) *frekvenciatartomány* (Nemzetközi Rádiószabályzat Frekvenciasávok Felosztási Táblázata [7] által használt határok) hírközlési, rádiólokációs, ipari, tudományos, orvosi és egyéb célú felhasználásainak gyors fejlődése miatt fokozatosan telítődik. Különösen igaz ez a fenti igen széles tartomány alsó, néhányszor 10 GHz-ig terjedő részére. Ebből következik, hogy a környezetünket globálisan időben folyamatosan növekvő mennyiségű nem ionizáló sugárzás (az RF-sugárzás nem ionizáló elektromágneses sugárzás) éri, melyből egyre nagyobb hányadot képvisel a még mindig igen gyorsan növekedő mobiltelefonja által keltett sugárzás. Az RF-sugárzás élettani hatásainak rövid áttekintését, a sugárzás által felvetett egészségügyi kérdések tárgyalását a folyóirat ugyanebben a számában olvashatják [37]. Ez a cikk a rádiófrekvenciás sugárzás *egy másik aspektusát*, annak orvosi alkalmazásait foglalja össze.

Az RF sugárzás orvosbiológiai alkalmazásai – talán egy kicsit önkényesen – három csoportba sorolhatók: *a diagnosztikában*, *a terápiában* és az első két csoportba nehezebben besorolható *egyéb orvosi területen* történő alkalmazások csoportjába.

A biológiai szövet és az elektromosság kölcsönhatásának tanulmányozása *Luigi*

Galvani (1737–1798) és *Alessandro Volta* (1745–1827) békálában végzett kísérletével indult [26]. Az elektromágneses energiát *vezetett és sugárzott* módon lehet bejuttatni a biológiai anyagba. Itt elsősorban a sugárzást felhasználó orvosi alkalmazásokkal foglalkozunk, de a rádiófrekvenciás sebészeti alkalmazásoknál a vezetett módon történő energiaközlést is megemlítjük. Történetileg az RF-sugárzások orvosi felhasználása a terápiás alkalmazásokkal, az ún. *hipertermiával* (vagyis a normál testhőmérsékletnél nagyobb hőmérséklet előidézésével) kezdődött. A hipertermia és az orvosi alkalmazások jelentős része az RF-sugárzás *termikus hatásán* alapul, a *nem termikus és az atermikus hatások* orvosi célú felhasználásáról az 1970-es évek óta beszélhetünk. E hatások definíciói megtalálhatók a folyóirat ugyanezen számában [37]. A *nem termikus és az atermikus hatások* orvosi célú felhasználása területén korábban vezető szerepet játszottak a Kelet-Európában folyó kutatások, de az 1980-as évek közepétől az egész világon elkezdődik e hatások kutatása és orvosbiológiai célra való alkalmazásuk keresése. A napjainkban is folyó (sőt, a mobiltelefon világméretű terjedésével felgyorsuló) kutatások eredményeként a biológiai anyag és az RF-sugárzás kölcsönhatásának jobb megismerése és újabb orvosbiológiai alkalmazások felfedezése is várható.

Az orvosi alkalmazásokra használt rádiófrekvenciás sávok

A *diagnosztikai célra* fejlesztett, a teljes RF-spektrum mikrohullámú tartományában működő passzív berendezések (mikrohullámú termográfok) a rádiócsillagászok által is kedvelt „csendes frekvenciasávokat” használják a vizsgált biológiai anyagból érkező sugárzás rendkívül kis szintje miatt. Mikrohullámú termográfiára leggyakrabban a 2655–2700 MHz, 4800–5000 MHz és 10,68–10,7 GHz közötti sávokat veszik igénybe.

A *terápiás célból* alkalmazott RF-besugárzás frekvenciasávjait a Nemzetközi Távközlési Unió (ITU: International Telecommunication Union) az ipari és tudományos célú sávokkal együtt (ISM: Industrial-Scientific-Medical-sávok) jelölte ki. Az ITU Nemzetközi Rádiószabályzata a földrészeket 3 körzetbe sorolja, és a különböző célra használt frekvenciasávokat az egyes körzetekre eltérően írja elő. Hazánk – európai ország lévén – az ITU frekvenciakiosztás 1. körzetébe esik, így ránk az *1. táblá-*

ISM frekvencia sáv MHz	sávközépi frekvencia MHz	megj.
6,765 – 6,795	6,780	b
13,553 – 13,567	13,560	a
26,957 – 27,283	27,120	a
40,66 – 40,70	40,68	a
433,05 – 434,79	433,92	b
2400 – 2500	2450	a
5725 – 5875	5800	a
24 000 – 24 250	24 125	a
61 000 – 61 500	61 250	b
122 000 – 123 000	122 500	b
244 000 – 246 000	245 000	b

1. táblázat • Ipari, tudományos és orvosi célú felhasználásra kijelölt frekvenciasávok [14]

zatban olvasható, a Frekvenciák Nemzeti Felosztásának Táblázatából átvett frekvenciasávok érvényesek [7].

Az *1. táblázat* megjegyzés rovatában „*a*”-val jelölt sávok elsődlegesek az ISM felhasználásszempontjából. A „*b*”-vel jelölt sávok ISM célra történő használata csak más, az érintett szolgálatok igazgatásaival egyetértésben lehetséges, külön engedély alapján, azaz e sávok az ISM felhasználás szempontjából másodlagosak.

A kijelölt frekvenciák a *rövidhullámú* ($6 \text{ MHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$), az *ultrarövidhullámú* ($30 \text{ MHz} < f \leq 1 \text{ GHz}$) és a *mikrohullámú* ($f > 1 \text{ GHz}$) tartományokba esnek. A reumatológiai betegségek fizioterápiás kezeléséből általánosan ismert rövidhullámú diatermiás készülékek a 27,120 MHz sávközépi frekvenciájú sávban működnek, a mikrohullámú hipertermiás készülékek többsége pedig a 2450 MHz sávközépi frekvenciájú sávot használja (ez megegyezik a háztartási mikrohullámú sütők frekvenciasávjával). A sávközépi frekvencia növekedésével az elektromágneses (EM) hullámok *behatólási mélysége* (az a besugárzott anyag felületétől mért távolság, ahol az elektromos térerősség felületi értékének θ -ed részére csökken) kisebb, ugyanakkor a nagyobb frekvenciát használó berendezések által keltett sugárzás könnyebben irányítható adott célpontra, és az energiát kisugárzó eszközök geometriai méretei kisebbek.

Elméleti alapok

Az RF-sugárzás orvosi célú alkalmazásai a biológiai anyag és az elektromágneses tér közötti kölcsönhatáson alapulnak. A kölcsönhatáskor fizikai és biológiai hatások egyidejűleg jelentkeznek, de a *fizikai és biológiai hatások* elméletileg különválaszthatók. Mindkét kölcsönhatás tárgyalható *makroszkopikus* és *mikroszkopikus* szinten. A kölcsönhatás mélyebb megértésé-

hez a vonatkozó interdiszciplináris (fizikai, biológiai, matematikai, anyagtudományi) ismeretekre is szükség van.

Fizikai szempontból a *biológiai anyag* makroszkopikusan közel egységnyi permeabilitású, veszteséges, anizotrop, inhomogén dielektrikum. Permittivitása függ a frekvenciától (diszperzív tulajdonság) és a besugárzás szintjétől (nemlineáris tulajdonság). A fizikai jellemzők mellett jelentkező biológiai tulajdonságok közül kiemelendők a sejtekben, a szövetekben és a teljes szervezetben az RF-besugárzás hatására jelentkező szabályozási mechanizmusok (pl. az élő szövetet hőszabályozása). A biológiai anyag fizikai és biológiai tulajdonságait, az RF-besugárzás hatására a szervezetben *fajlagosan elnyelt teljesítményt* (SAR W/kg), a befolyásoló tényezőket röviden tárgyalja a folyóirat ugyane számában megjelent cikk [37]. Részletesen és célirányosan összefoglalva megtalálhatók a hivatkozott szakirodalmakban [14], [15], [36].

Az orvosi alkalmazás hatásmechanizmusa függ a besugárzás szintjére jellemző, felületegységre eső teljesítménytől, az ún. *teljesítménysűrűségtől* ($S = 1/2 \times |E| \cdot |H|$ W/m² időben szinuszosan változó tér esetén); a sugárzás polarizációjától; és a besugárzott biológiai anyag tulajdonságaitól.

A hőhatáson alapuló orvosi alkalmazások nagy előnye, hogy a hő az anyag belsejében keletkezik. A mikrohullámú hipertermiás készülékek általában 2,45 GHz-en működnek, és a mélyebben fekvő tumorok kezelésére készülnek. A biológiai anyag (testrés) ilyenkor több szöveti réteg kaskadába kapcsolásként képzelhető el; kívülről befelé haladva: bőrszövet, zsírszövet, izomszövet és csontszövet kaskadjaként. Minden szövet komplex permittivitása eltérő, és értéke függ az egyes szövetek víztartalmától (nagy és kis víztartalmú szövetek jellemzőinek frekvenciafüggését mutatja a már többször említett cikk [37] 2. és

3. táblázata). Merőleges beesést feltételezve a többrétegű anyag mindegyik rétegében a belépő hullám az egyes réteg csillapítási tényezőjének megfelelő mértékben exponenciálisan csillapodik, és a szövethatáron reflexió is fellép. A haladó és a reflektált hullámok eredőjeként állóhullámok alakulhatnak ki az egyes szöveti rétegeken belül, ha a szövet vastagsága összemérhető a szövetben kialakuló hullámhosszal. Ebből következik, hogy a lokális elektromos térerősség az exponenciális csökkenés mellett az állóhullámok miatt járulékos helyfüggést mutat. Ez az egyik oka az ún. *forró pontok* kialakulásának. Nagyon nagy frekvenciákon a biológiai anyagba belépő hullám oly gyorsan csillapodik, hogy esetleg még az első szövethatárig sem képes eljutni, ilyenkor felületi elnyelődés jön csak létre. Ezek a frekvenciák nyilván alkalmazhatóan mélyen fekvő tumorok hipertermiás kezelésére.

Applikátorok

Ipari, tudományos és orvosi célú felhasználás esetén az RF jelforrásból származó teljesítményt rendszerint speciális antennák ún. *applikátorok* segítségével, sugárzás révén juttatják be a besugározandó anyagba. Passzív alkalmazás esetén az anyagból érkező sugárzást applikátorokkal veszik. Az applikátorok abban térnek el a hagyományos antennáktól, hogy a sugárzás rendszerint közvetlenül a közelterükben elhelyezkedő nagy permittivitású biológiai anyagba történik. Bár a céljuk ugyanaz: az RF jelforrás teljesítményének minél nagyobb hányadát kell eljuttatniuk a célterületre. Passzív alkalmazás, mikrohullámú termográfia esetén a cél a biológiai anyagból érkező igen gyenge sugárzás minél jobb hatásfokkal történő vétele.

Az applikátor lehet *kontakt* vagy *nem érintkező* attól függően, hogy közvetlenül érintkezésbe kerül-e az anyaggal vagy sem.

Tervezésük az orvosi alkalmazás adott feladatahoz legjobban illeszkedően, ún. adaptív módon történik. Ebből adódik, hogy óriási különbség van a különféle célokra kifejlesztett applikátorok között. Például a később ismertetendő, mikrohullámú ballonangioplastikára használt és a felületi rákos daganatok gyógyítására készült applikátorok geometriai jellemzői: mérete, alakja stb. jelentősen eltérnek egymástól. Az applikátor elnevezés is az adott feladathoz adaptált antennára utal.

Az applikátorból a besugározandó anyagra érkező EM-sugárzás az anyag felületéről szóródik, reflektálódik és az anyagba belépő rész annak belsejében elnyelődik. Merőleges beesés esetén szóródás nem lép fel. Ekkor a belépő hullám teljesítménysűrűsége a beeső és a reflektált hullámok teljesítménysűrűségeinek különbsége. Ez egyben azt is jelenti, hogy merőleges beesés (a hullám terjedési iránya merőleges a besugározandó anyag felületére) és minimális reflexió esetén lehet az RF jelforrás teljesítményének legnagyobb hányadát a biológiai anyagba bejuttatni.

A biológiai anyagba belépő hullám megkívánt téreloszlása a mindenkori feladattól függ. Lokálisan elhelyezkedő rákos daganatok mikrohullámú hipertermiás kezelésekor az a feladat, hogy sugárzás irányítottan a daganatot érje. A lehűtött zacskós vér mikrohullámmal történő felmelegítésekor vagy egésztest RF-hipertermia esetén egyenletes téreloszlásra van szükség.

Az applikátorokhoz kapcsolódó RF-berendezés

Az applikátorhoz kapcsolódó RF-berendezés az orvosi alkalmazástól függ. A *mikrohullámú termográfia* esetén az applikátorhoz speciális felépítésű, *kis zajú mikrohullámú mérővevőhöz* (részletesebben a mikrohullámú termográfiaival foglalkozó alfejezetben lesz róla szó) csatlakozik.

Az *RF-hipertermia* applikátorát tápláló berendezés néhányszor $10 - 100 \text{ W}$ teljesítményű *RF jelforrás*. Ekkora teljesítmény 2,45 GHz-en kis-szintű oszcillátor jelének félvezetős erősítővel történő felerősítésével és az erősítők kimenő jelének összegzésével, vagy a háztartási mikrohullámú sütőkhöz kifejlesztett, nagy tömegben gyártott, olcsó 600–800 W teljesítményű magnetronoszcillátor jelének csillapításával állítható elő gazdaságosan. Az RF-hipertermia, illetve a hőhatáson alapuló egyéb rádiófrekvenciás orvosi alkalmazás esetén is kívánalom, hogy a kezelés idején a besugározott biológiai anyagot meghatározott hőfokon tartsuk. Ehhez folyamatosan kell mérni az anyag hőmérsékletét, és az RF jelforrás teljesítményét a hőmérséklettel arányos jellel kell szabályozni. A különféle berendezésekben ezt eltérő eszközökkel valósítják meg [14].

Az RF-sugárzás diagnosztikai alkalmazása, mikrohullámú termográfia

A mikrohullámú termográfia beavatkozás nélküli (non-invazív) vizsgálati módszer a test hőmérséklet-eloszlásának mérésére. A betegségek diagnosztizálásának alapját az adja, hogy a rendellenes hőmérsékleti eloszlásból *rákos daganatra, vérkeringési zavarokra, gyulladással járó folyamatokra* lehet következtetni. Diagnosztikai lehetőségként felsorakozik más képalkotó eljárások (a hagyományos és digitális röntgen, a CT [computer tomography], a mágneses rezonancián alapuló képalkotás, az MRI [magnetic resonance imaging], az ultrahangos és a PET [positron emission tomography] vizsgálat) mellé.

A halálzási okok között világszerte első helyen a szív- és érrendszeri megbetegedések állnak, szorosan követik őket a rákos megbetegedések. A rákfajták közül a férfiaknál első helyen a tüdőrák, a nőknél a mellrák áll mind a megbetegedések előfor-

dulása, mind a halálzási ok tekintetében. A női mellrák halálzási aránya 1930-tól napjainkig csaknem állandó, de az új megbetegedések előfordulása folyamatosan nő. A túlélés esélye annál nagyobb, minél korábban sikerül felfedezni a daganatot. A 20 éves túlélési arányt %-ban a daganat felfedezési átmérőjének a függvényében a 2. táblázat mutatja.

mellrákos tumor átmérője a felfedezésekor <i>cm</i>	3	2	1	< 1
közéltítő 20 éves túlélési arány %	50	65	80	95

2. táblázat • A női mellrákos betegek 20 éves túlélési aránya [2]

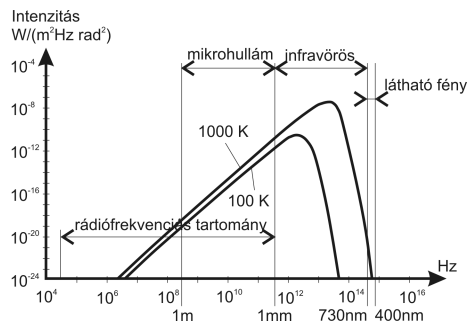
Az emlőrák felfedezésére alkalmazott diagnosztikai eljárások: a *daganat észlelése tapintással* nőgyógyász-onkológus szakorvosi vizsgálat során, *mammográfia* (kontrasztanyagot felhasználó röntgenvizsgálat az emlőről), *ultrahangos vizsgálat, diafonográfia* (fényrel történő átvilágításos eljárás) és a termográfia. A termográfia két fajtája az *infravörös radiometria* (termovízió) és a *mikrohullámú radiometria* (termográfia). A felsorolt eljárások együttes vagy valamilyen kombinációban történő alkalmazása elősegíti a korai felismerést.

A mikrohullámú termográfia alapjai

A termográfia, azaz a hőmérséklet-eloszlás mérésén alapuló diagnosztizálás *biológiai alapja*, hogy a *rákos szövetek hőmérséklete nagyobb* az egészséges szövetek hőmérsékleténél. Ennek okai: a rákos szövetek nagyobb anyagcserehője, a rákos szövetek rosszabb vérellátása. Ez utóbbi ok miatt a rákos szövetekben keletkezett nagyobb hőt a kisebb véráram kevésbé hatékonyan képes elszállítani, mint az egészséges szöveteknek.

A termográfia *fizikai alapja*, hogy minden test EM-sugárzást bocsát ki (emittál), illetve elnyeli a ráeső sugárzás egy részét (abszorbeál). Az el nem nyelt kisebb rész reflektálódik és hozzáadódik a saját sugárzáshoz.

A saját sugárzás és a reflexió a gyakorlatban nem választható szét. Az *emisszió*, az *abszorpció* és a *reflexió* eredményeképpen *termikus egyensúly* jön létre. Elméletileg az ún. *feketetest-sugárzása* határozható meg a legpontosabban (reflexiója zérus). A feketetest-sugárzás intenzitását a frekvencia függvényében 100 K és 1000 K közötti hőmérsékleti tartományban az 1. ábra mutatja. A diagramból megállapítható, hogy a sugárzásnak maximuma van az infravörös tartományban, a sugárzás intenzitása a mikrohullámú tartományban mintegy nyolc nagyságrenddel kisebb az infravörös tartomány maximumánál. A hőmérséklet növelésével a sugárzás minden frekvencián nő.



1. ábra • A feketetest sugárzási intenzitása [14]

A különböző anyagok azonos hőmérséklet esetén is különböző szintű sugárzást bocsátanak ki. Az *emberi test* kb. 310 K hőmérsékletén a sugárzás $f=30$ THz frekvencián ($\lambda=10$ mm hullámhosszon) éri el intenzitási maximumát. Az infravörös termográfiára ezért ezt a hullámhosszat választják. A sugárzás behatolási mélysége

közelítőleg fordítottan arányos \sqrt{f} -fel, ezért az infravörös termográfiával lényegében csak a bőrfelszíni hőmérsékletet lehet mérni. Ugyanakkor a bőrfelszíni hőmérséklet és a test mélyebb részeiben jelentkező gyulladás vagy egyéb rendellenesség között is van korreláció, amely lehetővé teszi a termovízióval készült hőeloszlási térkép diagnosztikai célú felhasználását [31].

A feketetest-sugárzásához hasonlóan az emberi test sugárzási intenzitása 3 GHz-en kb. nyolc nagyságrenddel kisebb az infravörös tartományú sugárzásnál, de a rádióasztrológia céljára kidolgozott Dick-féle radiométer érzékenysége ilyen gyenge jelek vételét is lehetővé teszi. A mikrohullámú frekvencián a nagyobb behatolási mélységnek köszönhetően a mélyebben fekvő szövetek hőmérséklet-eloszlásáról is több információt nyerhetünk. A frekvencia csökkenésével a behatolási mélység nő, azaz mélyebbre látunk, de az applikátor nyereségének csökkenése miatt gyengül a mérendő jel és romlik a mérés térbeli felbontóképessége.

Egyantennás mikrohullámú termográfia

A mikrohullámú termográfiát a mellrák diagnosztizálására fejlesztették ki [2]. A mell belsejében levő rákos daganat termikus sugárzása több szöveti rétegen áthaladva jut el a radiométer bőrfelületen elhelyezett vagy azzal nem érintkező applikátorához. A rétegek határáról az öt megelőző réteghatár felé nézve maximális változás akkor észlelhető, ha a rétegvastagság a szövetrétegben mért hullámhossz $1/4 \cdot e$. Ez $f=3$ GHz-en a bőrszövet mint legkülső szövet esetében kb. 3 mm vastagságnál következik be. *M. Gautherie* 1982-ben kimutatta [8], hogy a rákos daganat által termelt metabolikus hő közvetlen kapcsolatban áll a tumor térfogati kétszerezési idejével. Ebből az a sajnálatos következtetés vonható

le, hogy a kisebb méretű daganatok a mikrohullámú termográfiával is nehezen detektálhatók. A rákos daganat belseje az egészséges szövethez képest tipikusan $\Delta T=1,5$ K-nel nagyobb hőmérsékletű. A daganat termikus sugárzása kifelé haladva a rákos szövet perifériális részén és az egészséges szöveten áthaladva csillapodik, majd a zsírszövetben újabb csillapodás következik be, utána a zsír- és a bőrszövet réteghatárán áthaladva egy része reflektálódik, majd a bőrszöveten át újabb csillapodás után érkezik radiométer applikátorához. A több rétegen történő áthaladás hatását a rétegek vastagságának, csillapítási tényezőinek és a réteghatáron értelmezett transzmisszió tényezőnek az ismeretében lehet számítani [14]. A számítás végeredményeként az applikátor által észlelt hőmérséklet $f=3$ GHz esetén $\Delta T_s=0,28\Delta T$, amiből a rákos daganatra jellemző $\Delta T=1,5$ K helyettesítésével $\Delta T_s \approx 0,4$ K adódik [14].

A kapott igen kis hőmérsékletkülönbség mérésére szolgáló rendszer az applikátorból és a kis zajú mérővevőből épül fel. A mikrohullámú termográfia céljára használt applikátorok lehetnek a bőrfelülettel érintkező (ún. kontakt) applikátorok, vagy a bőrfelülettel nem érintkező applikátorok. A nem érintkező applikátorok előnye, hogy nem hatnak vissza a bőrfelszín hőmérsékletére, ellenben több zajt vesznek a környezetből. További előnyük, hogy a több elemi antennából álló nem érintkező applikátor fázisvezérelt antennáival a mérés iránya elektronikusan állítható a bőrfelület kívánt pontjaiba. A nem érintkező applikátorok hátránya, hogy a bőrfelület és az antenna közötti szabadtéri csillapítás rontja a mérővevő érzékenységét. Ezért a jelenleg működő készülékek többsége kontakt antennát használ, így a vizsgáló orvosnak az applikátort a fonendoszkópos vizsgálathoz hasonlóan a mell különböző pontjaira kell helyeznie.

A kontakt applikátor nem változtathatja meg a bőrfelszíni hőmérsékletet (ezért az applikátor és a bőrfelület közötti hőfokgradienst, az applikátort testhőmérsékletre fűtve közel zérusra csökkentik). A reflexió okozta jelcsökkenés minimalizálása érdekében biztosítani kell a mérendő közeg és a csatlakozó tápvonala közötti impedanciaillesztést. Annak érdekében, hogy ne rontsa el a mérőrendszer jel-zaj viszonyát, saját veszteségének a lehető legkisebbnek kell lennie, valamint a jobb térbeli felbontóképesség elérése céljából kicsinek kell lennie.

Az applikátor kimenetén levő igen kis jelek mérésére a *Dick által* a rádiócsillagászati célra kifejlesztett mérővevőben használt *differenciális technikát* alkalmazzák [8], [14]. Ennek lényege, hogy egy elektronikusan vezérelt kapcsolóval hol a mérőantenna (applikátor), hol pedig egy referens zajforrás kapcsolódik a kis zajú mérővevő bemenetére. Ezáltal – a különbségképzés miatt – a mérővevő eredő erősítésében bármiféle okból bekövetkező rövid idejű változások hatása kiejtethető. A differenciális technika alkalmazásával a mikrohullámú termográfia mérhető legkisebb hőmérséklet-különbség kb. 0,03 K. Ez kb. 1/10-e a bőrfelszínen észlelhető rákos és egészséges szövetek közötti hőmérséklet-különbségnek, de a könnyebb detekció érdekében használják az *ún. hőkiemelési technikákat*.

Hőkiemelési technikák

A *hőkiemelési technika* az egészséges és a rákos szövetek közötti hőmérsékletkülönbség növelésére szolgáló eljárás. A hőkiemelési technikák közül az egyik *energiaközlésen*, a másik a gyógyszerek és a mikrohullámú sugárzás együttes alkalmazásán alapul. Ez utóbbi alapja a rákos daganatok gyógyítására irányuló eljárások kutatása során felismert tény, hogy *az anesztetikumok hatására az egészséges*

szövetek hőmérséklete nagyobb mértékben csökken, mint a rákos szöveteké, ezáltal növekszik a hőmérséklet-különbség. Kísérleti eredmény, hogy egy 4 mm átmérőjű tumornak megfelelő 0,3 °C-os hőmérséklet-különbség anesztézia hatására 1 °C-ra emelkedett [2].

Az *energiaközlést felhasználó* hőkiemeléskor *mikrohullámú* vagy *ultrahang energiával sugározzák* be a vizsgálandó testrészt, és a hőkiemelés azáltal jön létre, hogy a rákos szövetek jobban melegsznek az egészséges szöveteknél. A rákos szövetek melegedésének nagyobb mértéke azzal magyarázható, hogy a véredényekkel való ellátottságuk rosszabb, és a lokálisan keletkezett hőt az annak hatására élénkülő véráram (az erek tágulása és a pulzusszám növekedésének a következménye) kevésbé képes elszállítani, mint az egészséges szövetekből.

A hőkiemelés mértékének kísérleti példája, hogy a tengerimalac $f=2,45$ GHz-es CW jellel (continuous wave, modulálatlan szinuszos vivőhullám) besugárzott rákos szövetének hőmérséklete 5,5 °C-szal, az egészséges szöveté csak 2,5 °C-szal emelkedett. Az eredetileg mért 0,5 °C hőmérsékletkülönbség a hőkiemelés hatására 3°C-ra emelkedett [2].

Az *energiaközlésen* alapuló hőkiemelés alkalmazásával *az egyébként passzív mikrohullámú termográfia aktívá válik*, azaz *a beteget a vizsgálat során valamilyen sugárzás éri*, az anesztetikumos hőkiemelés esetén a beteget ugyan nem éri RF- vagy ultrahang-sugárterhelés, de helyette kémiai (pl. Na-pentobarbital) terhelést kap.

A *női emlőrák biztos mikrohullámú termográfias diagnosztizálásához* kísérleti úton kutatni kellett, hogy a *menstruáció* következtében fellépő hőmérsékletváltozás felületi jelenség-e, vagy mélyebb hőmérsékletméréssel is kimutatható, illetve, hogy az *életkor növekedésével csökken-e a*

mikrohullámú termográfiával kapott *hőmérséklet*, megvan-e a *kétoldali hőszimmetria*, azaz a jobb és bal mellék hőeloszlása megegyezik-e. A nagyszámú önként jelentkezőn elvégzett vizsgálatok eredménye: a menstruáció nincs hatással a mell mélyebb részeinek hőmérsékletére; az életkor hatásának vizsgálatakor a fiatalabb korban észlelt nagyobb maghőmérséklet elsősorban a szöveti jellemzők eltéréssel magyarázható (idősebb korban a szövetek zsírtartalma nagyobb, de ez alig befolyásolja a hőemissziót) inkább, mint a gyorsabb életfolyamatokkal; továbbá a bal és a jobb oldal hőszimmetriája $+0,2$ °C-on belül van, ezért alkalmas az összehasonlításra. Ezért ki lehet indulni abból, hogy kicsi a valószínűsége annak, hogy a test hossztengejére szimmetrikusan a jobb, illetve a bal emlőben elhelyezkedő, egymásnak megfelelő pontokban rákos daganat egyszerre fordulna elő. Ezért *referenciaként az egyik, a kisebb hőmérsékletű pont szolgál*, ezáltal az egyének közötti eltérések és egyéb hatások okozta különbségek fel sem lépnek. A mikrohullámú termográfiával végzett mell-daganat-diagnosztikai vizsgálatok sokaságának eredménye, hogy $\Delta T_s > 0,5$ °C diagnosztikai kritérium esetén a daganatok 77,6%-a volt rosszindulatú.

A mikrohullámú termográfia fejlődési irányai

Az egyantennás mikrohullámú termográfiával végzett sikeres diagnosztizálás utat nyitott *az eljárás technikai továbbfejlesztéséhez*. A vizsgálati idő csökkentésére fejlesztették ki a *többantennás radiometriát*. A megbízhatóság növelésére szolgál a *többszínű frekvenciás* (egyidejűleg cm-es és mm-es sávú), *többantennás radiometria* (a cm-es sávban mélyebbre látunk, a mm-es sávban jobb a térbeli felbontóképesség), illetve a mikrohullámú és az infravörös termográfia együttes alkalmazása. A *korrelációs*

radiometria szintén több antennát használ (antennasor vagy mátrix alakzatban) a már említett fázisvezérelt antennák alkalmazásával. Elméletileg igazolható, hogy veszteséges homogén közegben a korrelációs radiometria javítja a hőgradiens szerinti felbontást.

A *mikrohullámú termográfiát* gyakran a *hipertermiás készülékek „hőmérőjeként”, a hipertermiás mikrohullámú jelforrás teljesítményének automatikus szabályozására* használják, minthogy a szövetek melegítésekor a hőmérsékletet szűk határok között állandó értéken kell tartani.

Mikrohullámú hipertermia

Az orvosi gyakorlatban a hipertermiának három fajtája létezik: a *helyi (lokális)*, a *regionális (testrészre kiható)* és az *általános (az egész testre kiható) hipertermia* vagy mesterséges láz. A test vagy testrész melegítése sokféle módon végezhető, például forró vízbe merítéssel, forró levegő ráfúvatásával, infravörös sugárzással, ultrahanggal, RF-energiával, amelyet induktív, kapacitív csatolással és a mikrohullámú sávban végzett besugárzással lehet a testbe juttatni.

A mikrohullámú hipertermia a *mikrohullámú sugárzás terápiás célból létrehozott melegítési eljárás*, amelynek *fontos alkalmazási területe a rákos daganatok elpusztítása*. Az e célra használt *in situ* rövidhullámú és ultrarövidhullámú besugárzásnál sokkal kedvezőbb, mert azoknál jobban irányítható. Ellene szól, hogy kisebb a behatolási mélysége, ezért mélyen fekvő daganatok kezelésére az applikátort a daganat közelében kell elhelyezni. Ez bizonyos rákfajták esetében a test természetes üregein és nyílásain keresztül nem invazív módon is megoldható.

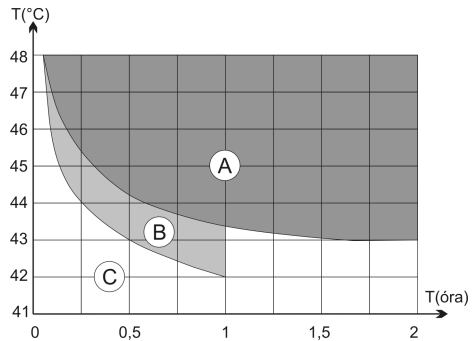
A hipertermia alkalmazásával bizonyos esetekben megállítható a rákos sejtburjánzás, illetve az eredetileg operálhatatlannak minősülő tumorok mérete oly mértékben

csökkenthető, hogy azok operálhatóvá válnak. Erre szolgál az operáció előtti hipertermia. Az operáció utáni hipertermia növeli a gyógyulás esélyét a szóródott rákos sejtek elpusztítása révén, és a sebésznek a tumort körülvevő egészséges szövetekből kisebb részt kell eltávolítania. Kombinált kezelésként alkalmazva erősítheti a gyógyszeres kezelés hatását (esetenként még a gyógyszereknek ellenálló sejtek gyógyszer-rezisztenciáját is megszüntetheti), a radioterápiával kombinálva kisebb dózisu röntgensugárral is jobb eredmények érhetőek el. A kombinált kezelések szinte mindegyike a klinikai próbák első vagy második fázisában van.

A mikrohullámú hipertermia hatásmechanizmusa

A mikrohullámú hipertermia hatásmechanizmusa az önálló és kombinált kezelések esetében eltérő lehet. Régóta ismert, hogy a hő akkor ér el terápiás hatást, ha a tumor hőmérséklete 43–45 °C közé esik. A mikrohullámú besugárzás kezdeti szakaszában a hőmérséklet az idő függvényében a folyamatos energiaabszorpció ellenére csökken, mivel a véráram élénkítése javítja a hőszállítást, és csak azután kezd emelkedni, amikor a szervezet hőszabályozó rendszere már nem képes elszállítani az abszorbeált energiát.

Az optimális hőmérsékleti tartomány 42–43,5 °C között van (lásd a 2. ábra értékeit t=1 óra esetén). Ennek magyarázata az, hogy $T < 42$ °C esetén a hőmérséklet emelkedése nem hat a tumorra (a 2. ábrán C-vel jelölt tartomány), sőt a rákos sejtek burjánzásának fokozódása is előfordulhat, $T > 42,5$ °C esetén (az ábra A-vel jelölt tartományában) a neoplazmák (valódi daganat, a szövetelemek burjánzásából eredő térfogatnövekedés) elpusztításához szükséges időt minden további 1 fokos hőmérsékletnövekedés a felére csökkenti. Elméletileg ezért



2. ábra • A kezelési idő és a hőmérséklet kapcsolata hipertermia esetén [36]

elegendő volna néhány percre 45–46 °C-on tartani a rákos szövetelemeket, de ekkor a tumor szomszédságában lévő egészséges sejtek pusztulásának is nagy a kockázata. A gyakorlatban ezért a 42–43,5 °C-os hőmérsékleti tartományt alkalmazzák, de ezen a hőmérsékleten a hatékony kezeléshez kb. 1 órnyi besugárzásra van szükség (2. ábra). A tumor hőmérsékletét folyamatos hőmérsékletmérés alapján vezérelt teljesítményű mikrohullámú sugárzással tartják optimális szinten.

A rákos daganatok hőérzékenysége a sajátos inhomogenitás következménye: a rákos szövet perifériáját az egészséges sejtekből álló szövet érrendszere látja el vérell, a tumor központja elhalt, a közbülső zónában a sejtek az elégtelen érhálózat miatt anoxikusak, oxigénnel rosszul ellátottak. A hő hatására az egészséges szövetekben a véráram 4–6-szor nagyobb, és a véráram hőszállító képességét tovább növeli az erek tágulása. A rákos szövetekben az egyébként is rossz véráramlás változatlan marad vagy csökken, ezért még védtelenebbé válnak a hővel szemben.

Végezetül érvényesül még egy hatás is a mikrohullámú hipertermiás kezelés következtében. Jól ismert, hogy bizonyos vírusok, baktériumok, gombák jelenléte kapcsolatba hozható a tumorok létrejötté-

vel, illetve növekedésével, mert gyengítik az immunrendszert. Ezek a mikrobák is elpusztulhatnak, ha a rákos szövetek hőmérséklete eléri a fentebb említett biológiai kritikus hőmérsékletet.

Kombinált kezelések

Kombinált kezelésem a rákbetegségek gyógyítására tradicionálisan használt eljárások és a hipertermia párhuzamos alkalmazását, azaz a *hipertermia és a radiológia* (mikrohullámú és ionizáló sugárzás) vagy a *hipertermia és a kemoterápia* (mikrohullámú sugárzás és gyógyszeres kezelés) együttesét értjük. Kombinált kezelések esetén a *szuperpozíció nem érvényesül*, a hatások erősíthetik vagy gyengíthetik egymást. Esetünkben, minthogy terápiairól, a rákos daganatok minél hatásosabb elpusztításáról van szó, csak az egymást erősítő ún. *szinergikus hatásokat* van értelme vizsgálni.

A) A *mikrohullámú és az ionizáló sugárzás kombinációját* egérkísérletekben vizsgálták, és szinergikus hatást tapasztaltak [3]. A kísérlethez használt egerekbe cytomegalovírussal kezelt emberi fibroblasztokat (fiatal kötőszöveti sejteket) juttattak, ezzel tumort idéztek elő. A tumrok mind teljes, mind részleges visszafejlődése szempontjából a kombinált mikrohullámú és röntgenbesugárzásos kezelés bizonyult a leghatékonyabbnak. Ennek oka, hogy a kétféle sugárzás jól kiegészíti egymást, mert a DNS-szintetizáló sejtek ellenállókabak a röntgensugárzással szemben, de érzékenyebbek a hőre. A hipertermia blokkolja a röntgensugárzás következtében sérült rákos sejteknek a besugárzási idő alatti önjavító mechanizmusát. Az állatkísérletek biztató eredményei után megkezdődött a kombinált hipertermia-radiológia-kezelés bevezetése az emberi gyógyászatba.

A mikrohullámú hipertermia és kobalt-60 terápia együttes sikeres klinikai alkal-

mazásáról számolnak be *Moros és társai* [18]. Kétféle elrendezésű besugárzást használtak, az egyikben az *RF-sugárzás és a g-sugárzás egyirányú*, a másikban *egymásra merőleges*. A kezelések preklinikai tapasztalata a gyógyítás hatásossága mellett, hogy a berendezések technikailag megbízhatóan, interferenciamentesen működnek. Ezt a kezelési kombinációt *termoradioterápiának* is nevezik.

B) A *mikrohullámú hipertermia és a kemoterápia kombinált alkalmazása* esetén a hatásmechanizmus eltérő. A mikrohullámú sugárzás a sejtmembrán mikrocövecskéinek kitégulása révén növeli a sejtek áteresztőképességét a véráramban keringő kemoterápiás anyagok számára. A kezelési eljárás kipróbálása állatkísérletekkel már az 1970-es évek végén szintén elkezdődött. *Szmigielszki és társai* e kombináció hatásosságát egérszarkóma kezelése alapján vizsgálták [33]. Csak mikrohullámú hipertermia hatására a szarkóma az egerek 50 %-ánál, interferon és mikrohullámú sugárzás együttes alkalmazásakor pedig 66 %-ánál fejlődött vissza. A sikeres állatkísérletek után megkezdték az eljárás bevezetését a klinikai gyakorlatba.

A mikrohullámú hipertermiát és a kemoterápiát például sikeresen alkalmazták együtt a Müncheni Hematológiai Intézetben rákos betegek gyógyítására [10] *lokális tumorok és áttételes (metasztatikus) rákos megbetegedések* kezelésére is. Az *áttételes rákot egésztest-hipertermia és szisztematikus kemoterápia* együttesével, a *lokális tumorokat* (melanoma, lágyszöveti szarkómák stb.) pedig *szisztematikus kemoterápiával és regionális hipertermiával* kezelték. A szisztematikus kemoterápia a tradicionális, többgyógyszeres kezelést jelenti. Kiváló eredményeket értek el *leukémiában* szenvedő betegeknél a csontvelő-átültetés utáni nagyadagos kemoterápia és az egésztest-hipertermia kombinált alkalmazásával.

*Hasnyálmirigy*rákos daganat RF-hipertermia és kemoterápia kombinált kezelésének németországi eredményeiről számoltak be 1997-ben *Migeod és társai* [16]. A kórtünetek ideiglenes megszűnését a kezelt betegek 49 %-ánál a CT-vizsgálatok objektíven is alátámasztották. A hipertermikus hatás nemcsak a melegítésre bekövetkező hipoxia (a szövetek oxigénszegénysége a vér csökkent oxigéntelítettsége miatt) és az acidózis (a szövetek savbősége) eredménye, hanem a bioelektromos sejtrezonancia következménye is. Az effektusok kutatását jelenleg is folytatják.

A mikrohullámú hipertermia plusz kemoterápia kezelési kombinációt *termo-kemoterápiának* is nevezik, amely igen hatásos kezelésnek bizonyul a rákos szövetek burjánzásának megfékezésére. A módszer jelenleg klinikai alkalmazás előtt, ún. pre-klinikai fázisban van, de ígéretes kezelésnek tűnik a betegek túlélési idejének meghosszabbítására.

A hipertermia technikai jellemzői

A *hipertermia technikai jellemzői* közül legfontosabb paraméter a *hipertermia teljesítményigénye*. Számításakor az adódott, hogy hatásos energiaátadás (amikor a beeső RF-teljesítményt a besugárzott anyag teljes egészében elnyeli) esetén egy 20 mm átmérőjű tumornál 1,5 W mikrohullámú teljesítmény elméletileg 5 °C/perc hőmérséklet-növekedést eredményez. Az előzőekben ismertetett hatásmechanizmus létrejöttét segíti, hogy a *rákos szövetek nagyobb veszteségük* következtében az egészséges szöveteknél *több mikrohullámú teljesítményt abszorbeálnak*. A nagyobb veszteség oka a nagyobb víztartalom. Fontos megemlíteni, hogy röntgen- és mikrohullámú sugárzást alkalmazó kombinált kezeléseknél az *ionizáló sugárzás* (γ -sugárzás 15 Gy sugárdózissal) a 0,2–2,45 GHz frekvenciatartományban nincs hatással a

szövet dielektromos jellemzőire. A besugárzási frekvencián túlmenően a hullám behatolása és a szövet hőmérsékletének emelkedése függ az applikátortól és a generátor teljesítményétől. Az emberi kar egy részére $f=2,45$ GHz frekvencián végeselem-módszerrel számolt izotermák alapján az *optimális teljesítménysűrűség 200 mW/cm² a 42–43,5 °C eléréséhez*.

A rákos szövetek mikrohullámú hipertermiás kezelésekor az optimális kezelési hőmérséklet tartása mellett fontos, hogy az egészséges szövetek ne sérüljenek. Az egészséges szövetek „megégésének” rizikófaktora: forró pontok kialakulása (különösen csontos kítüremkedések környékén), a rossz vérellátású zsíros szövetek gyorsabb melegezése, a belső nagyobb víztartalmú szervek nagyobb abszorpciója. Ezért nagyon fontos, hogy a sugárzás irányítható legyen, amit a célnak legjobban megfelelő applikátor tervezésével lehet elérni. Az applikátor kialakítása függ a kezelendő tumor testben elfoglalt helyétől, attól, hogy a kezeléshez *felületi* vagy *mély* (belső) hipertermiára van-e szükség. Az előbbihez *felületi*, az utóbbihoz *belső* vagy *szövetbe iktatott* applikátort használnak. Az applikátor tervezésekor további kívánalmakat is figyelembe kell venni: a beeső és/vagy reflektált mikrohullámú sugárzás ne „szennyezze” megengedhetetlen mértékben a környezetet (a kezelőszemélyzet védelmét meg kell oldani), a beteg érdekében pedig fontos, hogy az indukált lokális mező és a hőmérséklet-eloszlás térben és időben jól szabályozható legyen. A *hipertermiás kezelés teljesítményigénye* a rendszerben fellépő veszteségeket is figyelembe véve *néhányszor 10 W-tól max. 100 W-ig* terjed.

A kisugárzott RF teljesítmény szabályozásához folyamatosan mérni kell a besugárzott szövetek hőmérsékleteloszlását. Ennek igen hatékony eszköze a cikk első

részében tárgyalt mikrohullámú termográfia. A hőmérsékletmérés másik módja, hogy a szövetben invazív módon hőérzékelőket helyeznek el. Erre a feladatra a száloptikai hőmérők a legalkalmasabbak. A kezelésre kifejlesztett berendezésnek teljesítenie kell a környezetében működő többi berendezéssel való EM-összeférhetőségét, azaz eleget kell tennie az EMC (electromagnetic compatibility) előírásoknak is. A mélyebben érdeklődő olvasó további technikai részleteket talál a [14] szakirodalomban.

Mély hipertermia alkalmazása az urológiában

A mély hipertermiás berendezések közül a *prostatanagyobbodás hipertermiás kezelésére* kifejlesztett készülék használata a legelterjedtebb. A berendezés kifejlesztését az indokolta, hogy a prostatabántalmak igen gyakoriak, és a tüdőrák után a férfiak leggyakoribb daganatos betegsége a prosztatarák. A kezeletlen prosztatarák 5 éves túlélési aránya mindössze 25 %.

A prosztata a húgyhólyag alatt elhelyezkedő, kb. 30 mm átmérőjű, a húgyvezeték körülölelő mirigy, melynek a külső felületét zsírszövet borítja. A prosztata megnagyobbodásához vezető betegségek főként 50 év feletti férfiaknál fordulnak elő. A *prostatata megnagyobbodását* a jóindulatú szövetszaporodás (az angolszász szakirodalomban: BPH – benign prostata hyperplasia) okozza. A BPH előfordulása az 50 év körüli férfiaknál kb. 30 %, s az arány az életkor előrehaladtával növekszik, 70 év felett meghaladja az 50 %-ot. A megnagyobbodott prosztata nyomja a hólyagot és a húgyvezetékét, akadályozza, illetve nehezíti a vizeletürítést, emiatt a vizelet megreked a hólyagban. A vizelet nem megfelelő ürítése miatt bekövetkező pangás növeli a fertőzések veszélyét, ami hosszú távon hólyag-, húgyúti-, sőt vesebetegsé-

gekhez vezet. Az életkor előrehaladtával a panaszok fokozódnak. Az elhanyagolt prosztatanagyobbodás esetén a *prostatata rákos megbetegedése* is könnyebben kialakulhat, bár nincs nyilvánvaló kapcsolat a BPH és a prosztatarák között. A prosztatarák gyakran a prosztata külső felületét borító zsírszövet elrákosodásában, az ún. *adenocarcinomban* jelentkezik. A BPH-betegséget *gyógyszerekkel, sebészi beavatkozással* és egyéb, a következőben röviden ismertetendő eljárásokkal kezelik. A hagyományos *prostatataoperáció számos veszéllyel jár*: az anesztézia ritkán előforduló következménye halál, véralvadási zavarok, tüdőembólia, szívkomplikációk, hólyagperforáció, összenövések, magömlési zavarok, terméketlenség stb. A fiatalabb férfiak nem vállalják az operációval járó kockázatokat, ehelyett egyéb terápiás lehetőséggel kívánnak élni.

A gyógyszeres kezelést itt nem említve a *legkisebb beavatkozással a mikrohullámú lokális hipertermia jár. Rákos daganatok kezelésére* 1982-ben a *végbélben keresztül a prosztata közelébe juttatott*, később vízzel feltöltött ballonban elhelyezkedő *applikátort* fejlesztettek ki [27], amely – a tumor elhelyezkedésétől függően – az adenocarcinoma kezelésére különösen hatásos lehet. Az applikátor egy felhasított fémhenger, amelyet polietilén csőben elhelyezett félmerev koaxiális kábel táplál. A hasíték réssugárzóként működik. A polietilén csőben futó, vékonysága miatt viszonylag nagy veszteségű, félmerev koaxiális kábel által disszipált teljesítményt 3 °C hőmérsékletű cirkuláló hűtővíz szállítja el, megakadályozva, hogy a felmelegedő kábel égési sérüléseket okozzon. A ballonba juttatott víz arra szolgál, hogy az applikátor felhelyezése után a réssugárzó a végbél prosztata felé eső falával szorosan érintkezzen.

A BPH kezelésére az Egyesült Államokban kifejlesztett és az FDA (U. S. Food

and Drug Administration) által elfogadott berendezést 1991 óta használják. A klinikai próbák az Egyesült Államokon kívül Japánban és Európában több urológiai központban folytak. A berendezés applikátora húgyúti katéterként jut a prosztata belsejébe, ezért a kezelés neve az orvosi gyakorlatban TUMT (transurethral microwave thermotherapy).

A prosztatához juttatott applikátor kisugárzott mikrohullámú teljesítménye a néhány milliméter vastag húgyvezeték falát (tunica mucosa) a kb. 1/2 órás kezelési idő alatt 50–55°C hőmérsékletre melegíti. A prosztata mérete a melegítés következtében előálló alvadásos elhalás (coagulation necrosis) révén csökken, és a BPH okozta panaszok megszűnnek vagy számottevően enyhülnek. A kezelést különösen azon betegeknél célszerű alkalmazni, akik nem reagálnak a tradicionális gyógyszeres terápiára, és a gyakorlatban megszerzett tapasztalatok szerint akkor hatásos, ha a prosztata nagyobbodását nem bakteriális eredetű fertőzés okozta [12]. A berendezés alrendszer: mikrohullámú generátor, húgyvezetéki katéter, hűtőrendszer, végébe helyezhető száloptikai hőmérő rendszer, a kisugárzott mikrohullámú teljesítmény és a hőmérséklet monitorozására és a generátor teljesítményének vezérlésére szolgáló rendszer. A *húgyvezetéki katéter* a felfújható ballonnál és a mikrohullámú antennával lezárt vékony koaxiális kábellel áll. A mikrohullámú antenna a ballon alatt helyezkedik el. A ballont a katéter megfelelő elhelyezése után fújják fel, és az a feladata, hogy megakadályozza a katéter elmozdulását a kezelés ideje alatt. A *hűtőrendszer* a katétert, illetve a prosztatának az applikátorhoz legközelebb eső részét és az applikátor RF táplálására szolgáló koaxiális kábelt hűti. A mikrohullámú hipertermia és a hűtés együttes hatásával, valamint a működési frekvencia megfelelő

megválasztásával fenn lehet tartani a prosztata belsejében a kívánt hőmérsékleteloszlást. A berendezést eredetileg két frekvenciára 915 és 1296 MHz-re tervezték. A klinikai tapasztalatok alapján az 1296 MHz kedvezőbb, különösen a nagyobb hőmérsékletű kezeléseknél [6].

A hipertermiás kezelés időben három szakaszra osztható: a prosztata *hőmérsékletének emelkedése*, a *hőmérsékleti egyensúly* kialakulása a betegség fázisának megfelelően megválasztott hőmérsékleten, illetve a normál testhőmérsékletre való *visszahűlés*. A teljes kezelési idő kb. 1/2 óra, ebből a visszahűlés ideje néhány perc. A prosztata maximális hőmérsékletét és hőmérsékleteloszlását a kezelés alatt a kisugárzott mikrohullámú teljesítményen és az expozíciós időn kívül még számos paraméter befolyásolja, például az ekvivalens hőátadási tényező a katéter belsejében, a prosztata mérete, a prosztatát körülvevő zsírszövet vastagsága, a zsírszövet latens hője stb. [38]. A mikrohullámú hipertermiás kezeléssel jó és tartós eredményeket értek el a nem bakteriális eredetű BPH kezelésében.

Mikrohullámú angioplasztika

A szív- és érrendszeri megbetegedések fő oka az *atherosclerosis*, közismert néven *érelmeszesedés*, mely a verőerek falának keményedésével, az érfal rugalmasságának csökkenésével, az ér belső keresztmetszetének szűkülésével jár. Az elmeszesedett ér kevesebb vért képes szállítani és kevésbé alkalmazkodik a szervezet fizikai terheléséhez. A szívkoszorúerek (*arteria coronaria cordis*) szállítják az oxigént és a tápanyagokat a folytonosan működő szívizmokhoz, ezért meszesedésük mellkasi fájdalmat (*angina pectoris*), súlyosabb esetben szívinfarktust (*infarctus myocardi*), a szívizom egy részének elhalását, a szívizmot vezérlő elektromos jelek instabilitását, azaz szívritmuszavart (*atrium fibrillation*, *ventricu-*

laris arrhythmia stb.) okoz. Az ér elmeszesedése fokozatosan alakul ki: a vérszír foltokban megjelenik az érfalon, majd rostos plakk (*fibrosus plaque*) és keringési szűkület (*stenosis*) alakul ki. Ha a szűkület erősen korlátozza a véráramlást, percek alatt vérrög jöhet létre, amely teljesen elzárhatja a koszorúteret, emiatt elhalhat a szívizom.

Az *elmeszesedett szívkoszorúér kezelése*, gyógyítására az orvosok a következő eljárásokat alkalmazzák:

- *gyógyszeres kezelés* (pl. nitroglicerin hatására a szívkoszorúér véredényei kitágulnak, a szívizom vérellátása javul).

- *sebészi beavatkozása* betegség előrehaladottabb stádiumában (leggyakoribb a szűkült koszorúérszakasz söntölése a test más részéből, rendszerint a lábszárból származó egészséges érrel, ún. *bypass* vagy több *bypass* készítése, ha a szűkület több érszakaszt érint).

- Dotter és Judkins által elsőként 1961-ben alkalmazott, majd Grüentzig és társai által 1979-ben továbbfejlesztett [9] *hagyományos ballon-angioplasztika* (a bőr felületén, rendszerint a combon, vagy a kulcscsontnál ejtett kis vágáson keresztül az aortán át felfújható ballonban végződő katétert vezetnek a szűkült szívkoszorúérbe, majd a ballon többszöri felfújásával és 0,5-1 percre felfújott állapotban tartásával a szűkült részt kitágítják). Az eljárás az angol szakirodalomban *percutaneous transluminal coronary angioplasty* néven, illetve a PTCA betűszóval ismert. A PTCA történetét és benne Grüentzig küzdelmes életét *Szatmáry László* írja le [32].

- *Ballon-angioplasztika hőközléssel*. A helyi melegítés történhet mikrohullámú energiával vagy lézerrel. Az előbbi mikrohullámú ballon angioplasztikának (MBA), az utóbbit lézer ballon angioplasztikának (LBA) nevezik. A hőközlés mindkét esetben a felfújást megelőzően és a felfújás alatt történik.

- A szívkoszorúér-szűkületbe *implantált csőszerű, spirálrugóhoz hasonló fém eszközök (stentek)*, melyek elhelyezésére speciális katéterek szolgálnak.

- A szívkoszorúerek szűkületét okozó *plakkok lézeres leválasztása*.

- Ballon-angioplasztika és miniatűr forgó vágó eszköz együttes alkalmazása. Ennek az eljárásnak a neve *koszorúér atrectomia*.

A sebészi eljárás, a szívkoszorúér *bypass* nagyon hatékony, de igen drága, bonyolult, a mellkas felnyitásával járó műtét. A mellkas felnyitásához át kell vágni a szegycsontot, és az operáció idején a keringést mesterséges szívvel kell fenntartani. Más nagy műtétekhez hasonlóan ennek a beavatkozásnak is nagy a rizikófaktora. A három utóbb felsorolt esetben gyakori a trombusképződés, a lézeres akadályeltávolításnál keletkező gőzök és gázok további veszélyforrást jelentenek. A lézeres katéterezéshez olyan optikai szádra van szükség, amely a szívkoszorúérbe bevezetés közben adódó éles kanyarokban is továbbítja a lézer energiájának nagyobb részét. Az éles kanyarokban ugyanis az energia egy része kilép a szálból és melegíti a környezetét. A felsorolt terápiaiak közül e cikk tárgykorébe a *mikrohullámú ballon-angioplasztika* tartozik, amely új eljárás-ként a bevezetés preklinikai fázisában van.

A *mikrohullámú ballon-angioplasztika* (MBA) a PTCA-nál fellépő *akut és krónikus elváltozásokat* nagymértékben csökkenti. *Akut elváltozásként* jelentkezik a felfújott ballonnak az érfalra gyakorolt kb. 500 kPa (5 atm) nyomása hatására ritkán bekövetkező *érfalrepedés vagy szakadás*. Ezek főként akkor fordulnak elő, ha az ér fala erősen meszes, rugalmatlan. A PTCA-t követően az esetek 5 %-ában *koronaér-elzáródás* lépett fel, amely a ballonnak a kezelés alatti többszöri felfújásával 3 %-ra volt csökkenthető. Mindkét esetben azon-

nali sebészi beavatkozásra van szükség a beteg megmentése érdekében. *Krónikus elváltozásként* a PTCA-t követő 6 hónapon belül a betegek 30-40 %-án a kezelés helyén *újbbóli szűkület (restenosis)* alakult ki, ezért a PTCA kezelést meg kellett ismételni. A restenosis az érfal „visszaugrása”, a beavatkozás helyén vérszírokából képződő lerakódások, valamint a kezelés helyén utóbb fellépő érfali sejtszaporodás miatt jön létre.

Az MBA lényege, hogy a felfújható ballonnal belsejében elhelyezkedő mikrohullámú antennával ellátott speciális katétert a PTCA-nál alkalmazott eljárással (kontrasztanyagot röntgen monitorozás mellett) a szűkület helyére tolják, majd a ballonnal felfújása előtt lokális mikrohullámú hőkeléssel a plakkot „lággyá” teszik. A mikrohullámú sugárzás a ballonnal felfújása után is tart, ezért a ballonnal maradandóbb alakváltozást hoz létre az éren. Az eljárást 1987-ben *Rosen* és *Walinsky* az Egyesült Államokban szabadalmaztatta [25]. Az állatkísérletekhez elmeszesített koszorúterű nyulatokat használtak, rajtuk dolgozták ki az eljárást [24]. A kezeléshez szükséges berendezés prototípusa elkészült, az állatkísérletek befejeződtek [11]. Az MBA előnyei: *csökken az ér „visszaugrása”, a belső érfal gyorsabb újramezsedése, azaz a restenosis kialakulása pedig összehegeszti a beavatkozás során esetleg keletkező érfali sérüléseket* (anastomosis); a szívkoszorúterek belsejében elzáródást okozó *trombusok kevésbé képződnek* (ha mégis megtörténik, a mikrohullámú sugárzás hatására perifériálisan megolvadnak), amelyek a PTCA-nál és a lézeres ballonnal angioplasztikánál a legtöbb problémát okozzák. További előny, hogy *az éren a beavatkozást megelőzően meglévő trombus is lehet „kezelni”, az értágítás a trombus helyén is sikeresen végrehajtható* kis érelzáródási kockázat mellett; *biológiai stentet hoz létre* megakadályozva ezzel az ér rugalmas visszaugrását.

Az MBA céljára kifejlesztett kis átmérőjű katéter alkalmas lehet a test mélyebb területein levő daganatok lokális hipertermiával történő kezelésére is, ha noninvazív módon bevezethető a test természetes üregein át, illetve olyan daganatoknál, amelyek minimális beavatkozással megközelíthetők a katéterrel [23].

Szívritmuszavar kezelése RF-energiával

A szívritmusnak a *helyes értéktől való rendellenes eltérést szívritmuszavarnak* nevezik. A helyes érték fajonként eltérő és számos tényező függvénye, ilyen például a test tömege, így az értéke egy fajon (pl. emberen) belül egyedenként is eltérhet. A ritmuszavarokat az *előfordulási idő* (rövid néhány percig tartó, rohamszerűen előforduló; néhány napig vagy hétig, illetve tartósan, akár több éve fennálló ritmuszavar) *a zavar helye* (pitvari fibrilláció, kamrai fibrilláció stb.) *a zavar jellege* (tachikardia vagy bradikardia, gyors vagy lassú szívűködés, egyszerű vagy összetett) és *a kiváltó ok* alapján szokás jellemezni.

A szívritmuszavarok kezelésének megértéséhez tekintsük át röviden a *szívritmust meghatározó mechanizmust*. A *szívizom összehúzódásához* nem kell külső inger; *maga képezi a kiváltó ingerületet*. A szívben olyan, kis méretű izomsejtek is találhatóak, amelyek spontán ingerképzésre képesek. A szív elsődleges ingerképző központja, természetes ütemadója a *szinuszcsoomó* (nodus sinuatrialis) a jobb pitvar falában és a vele összeköttetésben lévő *pitvar-kamrai csomó* (nodus atrioventricularis) a jobb pitvar és kamra határán. Az idegrendszertől mindössze a nyúltagy hat a szív működésére (vérelőszlás, vérnyomás, szívűködés szabályozása). A vegetatív idegrendszert a *szimpatikus rendszer* (a mellékveséből származó átvívó anyaga, az adrenalin gyorsítja az életfolyamatokat, így a szív-

működést is) és *a paraszimpatikus rendszer* (átvivő anyaga az acetilkolin, melynek hatására a szív lassul, a koszorúerek és a vázizom erei szűkülnek, az oxigénfogyasztás csökken stb.) *dinamikus egyensúlyán keresztül adaptív módon* (a fizikai terheléshez és a környezetnek alkalmazkodva) *szabályozza a szervezet működését*. A pillanatnyi szívritmust ezek közvetítésével külső tényezők is befolyásolják: például a fény- és/vagy hanginger hatására az ijedség következtében gyorsul a szívverés.

A szívben lévő összes elektromosan aktív sejt között *a szinuszcsomó sejtjei adják a legnagyobb frekvenciájú impulzust*, ezért a többieket megelőzve „karmesterként” diktálják az ütemet. A szinuszcsomó impulzusai *a szív vezető rendszerén* át jutnak a *pitvar-kamrai csomóba*, mely *stimulálja a szívizmokat* a szabályos szívverés létrehozására.

A szabályos szívverés és annak zavarai régóta izgatják az emberiséget. A szív szabályos működésének, a természetes vezérlő rendszer megismeréséhez a kísérletek során a szív egyes részeinek *leválasztása (ablatio)* szolgált. E cikkben csak az RF és mikrohullámú ablatio rövid ismertetésére van mód.

A szívritmuszavarok magyarázatára többféle elmélet létezik, de jelenleg egyetlen elmélet sem képes az összes klinikai vagy kísérleti jelenség magyarázatára.

A ma ismert elméletek a következőkben foglalhatók össze:

- A szinuszcsomó, *a természetes ütemadó gyorsabb ütemben ad jeleket* (lehetséges ok a szinuszcsomón belül kialakult nem kívánt visszacsatolások létrejötte).

- *A szinuszcsomón kívül egy vagy több tőle független vezérlőközpont* (a kardiológusok fókuszpontoknak nevezik ezeket a pontokat) is küld vezérlő jeleket vagy a pitvar-kamrai csomóba vagy a szívizmok mozgatásához, a szinuszcsomó jeléhez ké-

pest más frekvenciával és egymáshoz képest véletlen fázissal.

- *A vezérlési utak mentén nem kívánt visszacsatolások* következtében az eredeti vezérlőjel a visszacsatolási út késleltetésének megfelelő időpontban visszajutva, újra belépve a vezérlőkötegbe vagy csomóba nem kívánt triggerjelet hoz létre, amely aritmiára vezet.

- *Egymáshoz kapcsolódó körhullámok* változó formájú és különböző elnevezésű visszatérő aktivációja, nevezetesen:

kétdimenziós síkon

- valamely anatómiai akadály (a pitvaron található természetes lyukak, pl. erek) mint középpont körül *„örvénylő” körhullám;*

- valamely gyors gerjesztésű mag körül kialakuló ún. *vezérlő körhullám;*

- két vonalszerű akadály körül kialakuló (nyolcshoz hasonló) *kettős körhullám;*

- a körhullám általánosan lehet *spirális.*

Három dimenzióban (a mélységet is figyelembe véve) a körhullám tornádóhoz hasonló; alakja a forgástengely alakjától függően lehet I, L, U, vagy O típusú.

Scheuring a szívritmuszavarokat a káoszelmélet alapján tárgyalja, bár a káosz okaként változatlanul a több vezérlő központ jelenlétét és a visszacsatolást jelöli meg. A normál működésű szívet is gyakran kaotikusnak tekinti [28].

A kezelés alapja a visszacsatolási út átvágása vagy a nem kívánt fókuszpont megsemmisítése „a szövet égetésével”, esetünkben kisebb frekvenciájú RF- vagy mikrohullámú ablatio alkalmazásával. A beavatkozás előtt *fel kell térképezni* a betegség (pl. szívinfarktus) következtében kialakult *nem kívánt fókuszpontokat és/vagy a visszacsatolási utakat.* Az egyfajta diagnosztikai eljárásnak tekinthető térképezés tradicionális és lokális EKG-felvételek sokaságának számítógéppel segített feldolgozásával történik. Ezután a kardiológus

kijelöli az ablatioval elpusztítandó szöveti részeket. Természetesen ezzel *az eljárással csak azok a szívritmiák kezelhetők, melyeknek kiváltó okai* – a fókuszpontok és a nem kívánt vezetési utak – *olyan helyeken található, melyek a katéterrel noninvazív módon megközelíthetők.* Az RF-ablatio és a mikrohullámú ablatio fizikai működésében csak annyi a közös, hogy mindkettőnél a szövetben keletkező hő pusztítja el a szívizomban a ritmuszavar szempontjából nem kívánatos szöveti részeket.

A) *A katéteres RF-ablatio* esetén néhány száz kHz és néhány MHz közötti frekvenciartományba eső RF árammal hozzák létre a sérülést a szívizomszövet kívánt helyén, *az elektróda alatti (unipoláris eset) vagy a két elektróda közötti (bipoláris eset) izomszövet ellenállásán disszipált hő segítségével.* Az RF energiája vezetéssel jut a szövetbe. A hő magában az izomszövetben keletkezik, de eloszlása a szöveten belül kialakult áramsűrűségnek megfelelően nem egyenletes. Legnagyobb az elektród hegyénél, mert az áramsűrűség is ott a legnagyobb, tőle távolodva az áramsűrűség csökken, ezáltal az RF-ablatióval ejthető *égési sérülés mélysége korlátozott.* A szívizomszövet átlagos bemeneti ellenállása 100 ohm körüli érték; 0,2-0,6 A értékű bemeneti RF áram esetén az elektródán szükséges RF feszültség effektív értéke 20-60 V közé esik. Ekkora feszültségnél se szikrázás, se nyomás okozta trauma nem lép fel, ezért a kezeléshez *nincs szükség általános anesztéziára.* Ez nagy előny az egyenáramú (DC) ablatióval szemben, ezért az RF-ablatio 1988-as klinikai bevezetése óta a DC-ablatio gyakorlatilag kiszorult az alkalmazásból. Az unipoláris elektród alkalmazása a gyakoribb, a másik pólus az emberi test maga, melyhez nagy felületű földelt elektród (gyűjtőelektródnak is nevezik) csatlakozik. Ha a legnagyobb hőmérséklet eléri vagy meghaladja a 100 °C-t, ak-

kor a felforrított vérplazmából denaturált fehérjeanyag kerül az elektród felületére, mely nagy ellenállása miatt gyakorlatilag megszakítja az áramot, ezzel a további melegítést is. *A melegítéshez az elektródnak jól kell érintkeznie az izomszövet felületével,* ezért a maximális hőmérsékletet 100 °C alatt kell tartani. A legnagyobb melegítési térfogat eléréséhez a találkozási pont hőmérsékletének *el kell érnie a 80-90 °C-t,* melyhez *0,5-1 perc melegítési időre* van szükség. Az RF ablatív technika sikerrel alkalmazható kevésbé összetett szívritmusproblémák kezelésére [21].

B) *A katéteres mikrohullámú ablatio* esetén *az energia sugárzással jut el a célterületre,* ezáltal az RF technika mindkét hátrányát kiküszöböli, nevezetesen nincs szükség kontaktusra a sugárzó és a szövet között, mélyebb sérülések hozhatók vele létre. A MAB-hoz kifejlesztett katéter itt is alkalmazható, csak kb. 1,5-szer nagyobb, 60-80 W generátorteljesítményre van szükség. A kezelés során a vérrög kialakulásának elkerülése érdekében a maximális hőmérsékletet itt is néhány fokkal 100 °C alatt kell tartani. A kezelés kidolgozására az állatkísérletek 1991-ben kezdődtek, emberen történő első kipróbálásáról a Ficus Medical Technology Report számolt be 1997-ben. Alkalmazása akkor előnyös, ha az elpusztítandó aritmogén fókusz mélyebben fekvő és nagyobb méretű. Ez a két feltétel gyakran fennáll *pitvari flutter, pitvari fibrilláció és kamrai tachikardia* esetén. Az FDA az Egyesült Államokban a kezelés első klinikai próbáit 1998-ban engedélyezte.

Az RF energia felhasználása a sebészetben

Az RF energia *sebészeti alkalmazásait* tekintve azonos módon működik, mint az RF és mikrohullámú ablatio. A kis frekvenciájú *RF sebészet,* más néven *elektrosebészet* az energiát vezetéssel juttatja a szövetbe. A hozzá kifejlesztett néhány száz kHz és

néhány MHz közötti tartományba eső frekvenciájú generátor teljesítményétől, modulációjától és impedanciájától függően háromféle üzemmódra képes: *tisztán vágás, vágás és koaguláció, csak koaguláció*. A koagulációnak is több fokozata van: finom szöveti dehidráció, gyengébb égés, perzselés és szenesedés. Eközben a szöveti hőmérséklet 100 °C-tól 500 °C-ig terjedően változik. A koaguláció egy speciális formája, az ún. *fulguráció*, a szikrával történő vérezscillapítás. Ennek nagy előnye, hogy a több közeli felületi pontból kiinduló vérezésnél a szikra vagy ív mindig a még vérző hely és az elektróda között jön létre (a lokális elektromos térerősség ott a legnagyobb), azaz automatikusan ott alakul ki, ahol éppen szükség van rá, ezért felületi vérezések csillapítására különösen hatásos. Erre a célra rendszerint félgömbben végződő elektródát használnak. Hazánkban is több helyen használják a *bőrgyógyászatban* (szemölcsök, anyajegyek eltávolítása, kozmetikai célú kezelések [epilálás, elmeszesedett bőrfelszíni erek eltávolítása] stb.), a *gégészetben* (polipectomia, tonsilectomia), az *urologiában* endoszkópos műtéteknél (hólyagi elváltozások daganatok húgycsővön át történő kezelése, eltávolítása stb.), a *nőgyógyászatban* endoszkópos műtéteknél (pl. méhnyaksejtszövet kezelésére, biopsziára, szövettani vizsgálathoz szövetminta kimetszésére), daganatok, genitális elváltozások eltávolítására.

A *mikrohullámú sebészet* az *energiát sugárzással* juttatja a szövet belsejébe. A mikrohullámos vágás és koaguláció olyan igen vérzékeny szerveken végzett műtétek során előnyös, amelyeknél *mély koagulációra van szükség*. Ilyen szerv a *lég és a máj*. Japán vezető szerepet játszik a mikrohullámú sebészetben [34]. A mikrohullámú sebészeti eljárások *endoszkópos és laparoszkopos* változatait is kidolgozták. Az *agydaganat invazív mikrohullámú hiper-*

termiás koagulációjának felfedezője az amerikai *Taylor* professzor. Az első klinikai alkalmazásra 1978-ban a University of Maryland Hospitalban került sor [1]. A sebészeti beavatkozáshoz alkalmazott berendezések 2450 MHz frekvencián kb. 80 W átlagteljesítménnyel működnek.

Egyéb orvosi alkalmazások

Ez az alfejezet a rádiófrekvenciás energiának a diagnosztika vagy a terápia csoportba nehezen vagy vitatható módon besorolható orvosi alkalmazásait tárgyalja azzal a céllal, hogy tájékoztassa az olvasót arról, milyen sokirányúan lehet az elsősorban sugárzás útján a biológiai anyagba bejuttatott energiát ezen a szakterületen felhasználni.

A mikrohullámok patológiai és citológiai alkalmazása

A *patológiai laboratóriumi munka* jelentősen gyorsítható mikrohullámú szövetprocesszor felhasználásával. A szövetminták *a mikroszkópos vizsgálatot megelőzően feldolgozó (előkészítő) eljárás*on esnek át, ennek eredményeképp mikroszkópos értékelésre alkalmas formává kerülnek. A feldolgozó (előkészítő) munkát a patológiai laboránsok vagy hisztotechnológusok, a mikroszkópos vizsgálatot a patológus orvos végzi. *Ha a mintákat a feldolgozás különböző fázisaiban mikrohullámú besugárzással kezelik, az előkészítési idő számottevően rövidíthető* [14]. A mikrohullámú sugárzásnak nemcsak a hőhatása, hanem a sejtmembrán átteresztőképességét javító hatása (lásd részletesebben a többször hivatkozott cikkben [37]) is érvényesül a szövetprocesszálsági folyamatokban, pl. a festés során. A szövetminta mikrohullámú besugárzását a citológiában akkor használják, ha gyors (a mintavételt követő néhány percben megállapított) diagnózisra van szükség (például operáció közben, ha a sebész vár a vizsgálati eredményre). Mikro-

hullámú sugárzás nélkül az ún. élő festési eljáráshoz szükséges teljes idő a szárítással együtt 45-60 perc, míg a mikrohullámú besugárzással 2-3 perc. Ennek köszönhetően a régen két műtéti beavatkozást igénylő gyógyítás egy műtéttel is megoldható, amely mind a beteg terhelése, mind gazdasági szempontból kedvező. A mikrohullámú szövetprocesszorokban a minta besugárzása EM szempontból zárt térben, ún. *üregrezonátorban*, szigorúan előírt hőmérsékletváltozási sebességek és hőmérsékleti értékek betartásával történik. A sugárzás frekvenciája itt is 2450 MHz, a teljesítmény szabályozása a jel impulzus-amplitúdómodulációja kitöltési tényezőjének (az impulzusszélesség és a periódusidő hányadosa) változtatásával történik [14].

Fagyasztott szövetek kiolvasztása és felmelegítése

A mikrohullámú sugárzás termikus hatásának érdekes alkalmazása a *fagyasztott szövetek kiolvasztása és felmelegítése*. Legelőször a *vér és vérkészítmények* kezelésére alkalmazták, és csak később dolgozták ki a *szervbankokban tárolt be- vagy átültetésre váró szövetek* és szervek mikrohullámos kiolvasztását és felmelegítését.

A *fagyasztott vér felmelegítésekor létezik egy felső hőmérsékleti korlát, mely felett az emberi vér vörösvértestjeinek termostabilitása felborul, azaz bekövetkezik az eritrociták hemolízise*. A hemolitikus hatás termikus természetű. A kiegyenlített sóoldatban szuszpendált eritrociták hemolízisének küszöbhőmérséklete 37 °C, előlött a százalékos előfordulás lineárisan függ a hőmérséklettől. A teljes vér hemolízisének küszöbhőmérséklete 50 °C és 55 °C között van, függetlenül a hőmérséklet növekedési ütemétől (a kétféle vérkészítmény közti különbség a plazmafahérjék, elsősorban az albumin ismert védőhatásának köszönhető). A vérkészítmények felmelegítésekor

a maximális hőmérséklet ezért nem haladhatja meg a 37 °C-ot.

A sejteket, szöveteket vagy szerveket *konzerváló szerekkel* vagy *mélyfagyasztással* (kriotechnikával) őrzik meg. Az előbbi esetben a mikrohullámú energiát felmelegítésre, az utóbbiban kiolvasztásra és felmelegítésre használják. A kriotechnika alkalmazását az teszi lehetővé, hogy a sejtek és a szövetek, bár rendszerint nagy térfogatszázalékban tartalmaznak vizet, jóval 0 °C alatt is életszerű állapotban maradnak, ha jégkristályok nem keletkeznek, azaz *a halmazállapotváltozás ún. üvegesedéssel, hirtelen következik be*. Ezt a hűtési sebesség megfelelő megválasztásával (ha túl nagy a sebesség, ozmotikus, ha túl kicsi, jégkristályok okozta sérülés lép fel) és ún. krioprotektív anyagok (pl. glicerin, dimetil-szulfoxid) alkalmazásával érik el.

A felmelegítés sebessége ugyanolyan kritikus tényező, mint a hűtésé. Az első sikereket kis méretű és tömegű szövetek kriokonzerválásával és kiolvasztás utáni felhasználásával érték el. A sikeres állapot-embrió-konzerválás, kiolvasztás és felhasználás után tértek át az emberi embriók tartósítására. Az állatkísérletekben eredményesnek bizonyult eljárást alkalmazva, nyolcsejtes állapotban lefagyasztott majd felmelegített emberi embrió beültetésével 1982-ben hoztak létre először terhességet. Ma már több gyermek köszönheti életét ennek az eljárásnak. Az emberi spermium és petefészekszövet fagyasztását a leggyakrabban a jó túlélési esélyű rákos betegek (például leukémiában szenvedő fiatalok) kéri a röntgen- és kemoterápia megkezdése előtt, mert e kezelése után rendszerint elvesztik termékenységüket [29].

A nagyobb méretű szervek kriokonzerválására és kiolvasztására irányuló kísérletek folyamatban vannak, de a vese – e szerv iránt legnagyobb az igény – kriokonzerválása a mai napig megoldatlan [14].

A vér felmelegítésére kifejlesztett *mikrohullámú folyadékmelegítő készülék* transzfúzió és infúzió esetén is felhasználható. Érdekes alkalmazás a lehűlt test előmelegített folyadékkal történő felmelegítése. Ez utóbbi feladat megoldására folynak a mikrohullámú egésztest-hipertermiával kapcsolatos kísérletek. *Mac Afee és társai* 9,31 GHz vivőfrekvenciájú, impulzus-amplicitúdómodulált ($f_m = 1050$ Hz $t = 0,5$ ms), 150 mW/cm² átlagos teljesítménysűrűségű mikrohullámú jellel sugároztak lehűlt rhesus majmokat (az átlagos fajlagosan elnyelt teljesítmény SAR_a = 20 W/kg) felmelegítés céljából, és a hőhatáson kívül semmiféle másodlagos hatást nem észleltek [13]. Az RF egésztest-hipertermiának a rákos betegek utókezelésében van nagy jelentősége.

Fájdalomcsillapítás

A rádiófrekvenciás (diatermia) és mikrohullámú hipertermia nagyon hatásos *neurológiai, reumatológiai és ízületi fájdalmak kezelésére*. A kezelt betegeknél *nem kívánt mellékhatásokról nem számol be a szakirodalom*.

A mikrohullámú sugárzás *szülési fájdalmakat csökkentő hatásáról* számol be *Daels*, a fájdalom enyhítését a szülés alatt a méhfal mikrohullámú melegítésével érte el [4].

A szakirodalom ismerteti a nem termikus hatáson alapuló, kis energiaszintű *mikrohullámú akupunktúrás kezelés általános fájdalomcsökkentő* eredményeit is [17]. A szerzők mikrohullámú rezonancia terápiának (MRT) nevezik eljárásukat, melynek lényege, hogy a betegeket a terápia kezdetén naponta legalább egyszer 50-70 GHz sávban 10^{-16} - 10^{-18} W/Hz spektrális teljesítménysűrűségű *fehér zaj* szolgáltató generátor jelével a betegségüknek megfelelő akupunktúrás pontra irányított kis antennával kb. 25 percig sugározzák. Ha reakciót észlelnek, a sávon belül megkeresik

azt a frekvenciát, amellyel a betegség a lehető legkisebb energiaszintű besugárással kezelhető. Kiváló eredményeket értek el reumatoid arthritis, egyéb ízületi, nyaki és hátfájdalmak, lumbágó, valamint gerincszűkület okozta fájdalmak kezelésében. Az MRT-nek nincs káros mellékhatása, és a fájdalomcsökkentés eredménye főként attól függ, milyen régóta szenved a beteg a kezelt testrész fájdalmától. A rövidebb ideje tartó fájdalmak jobban és hosszabb időre szüntethetők meg.

Gyógyulási folyamatok felgyorsítása

Széles körben elfogadott, hogy az *EM terek hatásosan stimulálják a sebek, sérülések gyógyulását*, rövidítve ezzel a gyógyulási időt [19]. A nagyon kis frekvenciájú (ELF: extremely low frequency) mágneses tér növeli a seb gyógyulásakor a kollagén (a kötőszövet alapállománya) termelődését, az ELF-fel impulzusmodulált mikrohullámú sugárzás elősegíti a kollagén képződését és a fehérjeszintézist a szövetekben és sejtkultúrákban [20], gyorsítja a lágy szövetek sérülés okozta bevágásainak gyógyulását [4] és a hosszú csontok törésének összeforradását [22].

Fertőtlenítés mikrohullámmal

A *mikrohullámú sugárzás ionizáló (kvantum) hatása molekuláris szinten kizárt* (ebben a frekvenciasávban az $E = hf$ energia kicsi a molekuláris kötések felszakítására [37]). Ez egyben azt is jelenti, hogy *a mikrohullámú sugárzásnak „önmagában” nincs sterilizáló hatása*. A *mikrohullámú energiát mégis felhasználják fertőtlenítésre* oly módon, hogy a sterilizálandó anyagot vízzel vagy gőzzel nedvesítik, és az így kapott anyagot mikrohullámmal besugározzák. A csíraölő hatás a víz nagy dielektromos veszteségével magyarázható, a nedves anyagban vagy annak nedves felületén keletkező hő révén érvényesül. Az orvosi

gyakorlatban a mikrohullámú, belső hő-keltésű nedves-meleg fertőtlenítést a terápia során felhasznált eszközök, anyagok sterilizálására (pl. egy mikrohullámú peritonális dialízis kicserélő oldali fertőtlenítő eszköz 1999-ben került piacra), valamint a gyógyítás során keletkezett kórházi szemet kezelésekor alkalmazzák [14].

A kórházi szemet mikrohullámú sugárzással történő fertőtlenítésekor légszennyezés nem lép fel, nem keletkeznek veszélyes folyadékok. A kezelt végtermék földi szeméttárolóba elhelyezhető vagy erőművek tüzelőanyagául felhasználható (ez utóbbi esetben a mikrohullámú fertőtlenítésre a veszélytelen szállítás érdekében van szükség). Nagy egészségügyi intézményeknél alkalmazása igen gazdaságos. Kanada élen jár e technológia alkalmazásában.

Kitekintés

A nagy energiaszintű, hőhatást kiváltó RF és mikrohullámú sugárzáson alapuló terápiák és orvosi alkalmazások mellett (hatásmechanizmusait mára ismertnek tekinthetjük, de még folynak a berendezé-

sek fejlesztésére irányuló kutatások) az utóbbi évtizedben világszerte terjednek a kis energiaszintű, nem termikus hatáson alapuló terápiák. Ehhez nagymértékben hozzájárult a Szovjetunió felbomlása, ahol a nem termikus hatások kutatása korábban kezdődött, és rengeteg terápiás tapasztalat is összegyűlt. Az ott dolgozó kutatók és orvosai egy része az ismert gazdasági problémák miatt Nyugat-Európában és az Amerikai Egyesült Államokban vállalt munkát. A nem termikus hatások hatásmechanizmusának pontosabb megismerése foglalkoztatja ezen az interdiszciplináris szakterületen dolgozó kutatókat (biológusokat, orvosokat, mérnököket). Ezt a táv-közlés és a mobiltelefonía rendkívül gyors fejlődése, az üzemeltetők és a környezetvédők gyakori szembenállása is stimulálja.

Kulcsszavak: *fajlagosan elnyelt teljesítmény, behatolási mélység, teljesítménysűrűség, komplex permittivitás, forró pontok, applikátorok, mikrohullámú termográfia, mikrohullámú hipertermia, mikrohullámú ballon-angioplasztika, mikrohullámú sebészet, mikrohullámú patológia*

IRODALOM

- About professor Taylor... (1999), <http://www.glue.umd.edu/~taylor/bio.htm>, letöltve: 1999. márc. 5.
- Carr, K. L. (1995). *Thermography: Radiometric Sensing in Medicine*, In: A. Rosen and Rosen H. D.: *New Frontiers in Medical Device Technology*, John Wiley and Sons, Inc., New York., Chapter 10., 311–342
- Cunningham, D., Frey, R., Velkley, D. (1981). *Microwave hyperthermia potentiates radiation in treatment of radioresistant tumor of human origin in the nude mouse without increasing metastatic frequency*, Proceedings in the IMPI Symposium, Toronto, Digest, 32–33
- Daels, J. (1973). *Microwave heating of the uterine wall during parturition*, J. Am. Coll. Obstet. Gynecol., **42**, No. 1., 76–79
- Detlavs, I. et al. (1991). *EHF electromagnetic radiation in treatment of locomotorium*, Trans. International Symposium Millimeter Waves Nonthermal Intensity in Medicine., IX. 3–6., Moscow, Part 1., 30–1
- Devonek, M., Odgen, C., Perrin, P. (1993). *Clinical response to transurethral microwave thermotherapy is thermal dose dependent*, European Urology, **23**, 23
- FNFT (2001). *Frekvenciasávok Nemzeti Felosztási Táblázata*, <http://www.hif.hu/fnft-uj/fnft.htm>, letöltve: 2001. augusztus 25-én.
- Gautherie, M. (1982). *Temperature and blood flow patterns in breast cancer during natural evolution and following radiotherapy*, Biomedical Thermology, Alan R. Liss, New York, 21–64
- Grüntzig, A. R., Senning, A., Siegenthaler, W. E. (1979). *Nonoperative dilatation of coronary artery stenoses. Percutan transluminal angioplasty*, New England Journal of Medicine, **61**, 301
- Issels, R. D. (1997). *The present and the future of the application of combined hyperthermia and chemo-therapy*, Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8–13., Bologna, Italy

- 11 Landau, C., Currier, J. W., Haudenschild, C. C., Minihan, A. C., Faxon, D. P. (1994). *Microwave balloon angioplasty effectively seals arterial dissections in an atherosclerotic rabbit model.*, J. Am. Coll. Cardiol. **23.**, 1700–1707
- 12 Lee, K. T., Tan, H. H., Li, M. K., Cheng W. S. (1995). *Transurethral microwave thermotherapy (TUMT) for benign prostatic hyperplasia (BPH)-our first 100 cases.*, Department of Urology, Singapore General Hospital. Singapore, Medical Journal, **36**, No. 2., 181–185
- 13 Mac Afee, R., Ortiz-Lugo, R., Bishop, R., Gordon, R. (1985). *Safety of 9,3 GHz microwave radiant heating for possible caloric supplement and medical treatment.* Journal of Microwave Power, **20.**, No. 1., 13–16
- 14 Mátay G., Zombory L. (2000). *A rádiófrekvenciás sugárzás élettani hatásai és orvosi biológiai alkalmazásai.* Egyetemi tk., Műegyetemi Kiadó, Bp.
- 15 Michaelson, S. M., Lin, J. C. (1987). *Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation.*, Plenum Press, New York
- 16 Migeod, F., Scheller, A., Randoll, U. G., Hennig, F. F. (1997). *The combination of chemotherapy and high frequency hyperthermia in pancreatic cancer.*, Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8–13., Bologna, Italy
- 17 Montgomery, A., Sitko, Sz. P., Zhukovsky, V. D. (1993). *The use of microwaves in a general pain treatment medical practice.*, 2nd International Scientific Meeting Microwaves in Medicine, Rome, 11–14., 15–18
- 18 Moros E. G., Straube, W. L., Klein, E. E., Maurath, J., Myerson, R. J. (1995). *Clinical system for simultaneous external superficial microwave hyperthermia and cobalt-60 radiation.*, International Journal of Hyperthermia, Vol. 11., pp. 11–26.
- 19 Mulder, G. D. (1991). *Treatment of open-skin wounds with electric stimulation.*, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation **72.**, 375–377
- 20 Murray, J. C., Farndale, R. W. (1985). *Modulation of collagen production in cultured fibroblasts by low-frequency, pulsed magnetic field.*, Biochem. Biophys. Acta, No. 838., pp. 98–99.
- 21 Ortiz, J., Niwano, S., Abe, H., Rudy, Y., Johnson, N. J., Waldo, A. L. (1994). *Mapping the conversion of atrial flutter to atrial fibrillation and atrial fibrillation to atrial flutter: insights into mechanism.*, Cir. Res. **74.**, No. 8., 82–94
- 22 Pilla, A. A. et al. (1992). *A clinically effective broad-band EMF signal accelerates fracture repair in a rabbit model.*, Trans. First Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Brussels, p. 28.
- 23 Rosen, A., Rosen, H. D. (1995). *New Frontiers in Medical Device Technology.*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chapter 4., 105–120
- 24 Rosen, A., Walinsky, P., Nardone, D. et al (1991). *Microwave thermal angioplasty in the normal and atherosclerotic rabbit model.*, IEEE Microwave and Guided Wave Letters, **1.**, 73
- 25 Rosen, A., Walinsky, P. (1987). *Percutaneous transluminal microwave catheter angioplasty.*, US Pat. 4,643,186
- 26 Sabbatini, R. M. E. (1999). *The Discovery of Bioelectricity: Galvani and Volta.*, http://www.epub.org.br/cm/n06/historia/bioelectr2_i.htm, letöltve: 1999. május 26.
- 27 Scheiblich, J., Petrowicz, O. (1982) *Radio-frequency-induced hyperthermia in prostate.*, Journal of Microwave Power, **17.**, No. 3., 203–209
- 28 Scheuring, I. (1998). *Kaotikus jelenségek a biológiában.*, Természet Világa, **129.**, 8., 338–342
- 29 Silber, S. J. (1999). *Freezing Techniques, More Details: Sperm, Embryo, and Ovarian Tissue Freezing.*, The Infertility Center of St. Luis, <http://www.infertile.com/treatmnt/treats/freeze.htm>, letöltve: 1999. május 7.
- 30 Simonyi, K., Zombory, L. (2000). *Elméleti villamosságtan.*, 12. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- 31 Szacszy, M., Cziffer, E. (1995). *A termovíziós detektálás és diagnosztika alkalmazásának lehetőségei a humán klinikumban.*, Honvédervos, **47.**, 2., 161–167
- 32 Szatmáry, L. (1997). *A katéteres szívgyógyászati kezelések jubileuma.*, Cardiologia Hungarica, **26.**, 4
- 33 Szmigielszki, S., Bielek, M., Janiak, M., Kobus, M., Luczak, M., de Clercq, E. (1978). *Inhibition of tumor growth in mice by microwave hyperthermia polyriboionisic-polyribocytidylic, and mouse interferon.*, IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, MIT-26., **8.**, 520–522
- 34 Tabuse, K. (1979). *A new operative procedure in hepatic surgery using a microwave tissue coagulator.*, Arch. Japan Surgery, **48.**, 160
- 35 *Therapies for the treatment of Benign Prostatic Hyperplasia (BPH).* (1998). <http://207.10.206.114/bphtherapy.html#microwave>, letöltve: 1998. augusztus 5.
- 36 Thuéry, J. (1992). *Microwaves: Industrial, Scientific, and Medical Applications.*, Artech House, Boston, London, Part IV-Biological effects and medical applications, Chapter 4-Biomedical applications., 585–640
- 37 Thuróczy, Gy. (2002). *A rádiófrekvenciás sugárzások egészségügyi kérdése.*, Magyar Tudomány, **CVIII.**, 8., 1010. old.
- 38 Wren, J. (1998). *Hyperthermia treatment of the prostate.*, University of Northern Sweden, Umeå, <http://www.mvs.ikp.liu.se/research/hyphtherm.html>, letöltve: 1998. augusztus 5.

KISFREKVENCIÁS ERŐTEREK EGÉSZSÉGI ÉS ELEKTROMÁGNESES ÖSSZEFÉRHETŐSÉGI KÉRDÉSEI

Varjú György

a műszaki tud. doktora, tanszékvezető egyetemi tanár, BME Villamosművek Tanszék
e-mail: varju@vmt.bme.hu

1. Bevezetés

Az 1970-es években kezdődött a 400 kV-ot meghaladó igen-nagy, extra-nagy és ultra-nagy feszültségű rendszerek bevezetése és ilyen feszültségű szabadvezetékek építése. Ennek kapcsán mind a szakmai kör, mind a lakosság érdeklődésének középpontjába került az e létesítmények környezetében kialakuló, a korábbiaknál lényegesen nagyobb villamos erőter, ill. ennek a lehetséges egészségi hatásai. Még mielőtt a villamos térrel kapcsolatos kérdések teljes körűen tisztázódtak volna, még élesebben kerültek előtérbe a villamosenergia-hálózatok és a villamos berendezések környezetében kialakuló mágneses erőter lehetséges egészségi hatásai, ill. esetleges ártalmaival kapcsolatos aggodalmak.

Az alábbiakban ismertetjük az egészségi hatás szempontjából megengedett testáramok – mint alapvető határértékek – nagyságát, amelyeknek megállapítása az élettudományok szakmai kompetenciájába esik, ezekből – a testáramok meghatározására vonatkozó szimulációs vizsgálatok alapján – leszármaztatható az erőterek nagysága. Utána az ajánlott egészségi határértékeket, majd a különböző környezetekben ténylegesen kialakuló erőterek nagyságát mutatjuk be.

A két utóbbi kérdéscsoport megválaszolásához szükséges szimulációs eljárások

kidolgozása és alkalmazása a műszaki tudományok köréhez tartozik. Az erre vonatkozó részletre azonban a közlemény – terjedelmi okokból – nem tér ki.

A mágneses erőterekkel kapcsolatban utalunk az elektromágneses összeférhetőségből adódó szempontokra és az összeférhetőségi szintekre. A cikk végül kitér az Egészségügyi Világszervezet (WHO) keretében létrehozott Nemzetközi Elektromágneses Terek (EMF) Projektnek az extrém kisfrekvenciájú erőterek egészségi hatására vonatkozó álláspontjának ismertetésére.

2. Az elektromágneses hatások tartományai

A környezet jellemzéséhez hozzátartozik az elektromágneses környezet leírása is. Az elektromágneses környezetet meghatározó jelenségek *keletkezésük szerint* lehetnek természeti eredetűek vagy ember által előidézett hatások.

a) A *természeti* elektromágneses környezeti hatások eredetük szerint három csoportba sorolhatók:

- a Földtől származó hatások (földmágneses tér és a zivatarok) több száz ampert elérő egyenáram jellegű árama;
- légköri villamos hatások (mint a töltésmegosztásból eredő villamos erőter és a villámjelenséggel járó, gyorsan változó villamos és mágneses erőterek);
- a Naptól és világűrből jövő hatások

(pl. az ibolyántúli [UV] és kozmikus sugárzás), amelyek már az ionizáló sugárzások körébe tartoznak.

b) A *mesterséges*, ember által előidézett elektromágneses környezeti hatások a villamosságot használó technikák alkalmazásával jelentek meg:

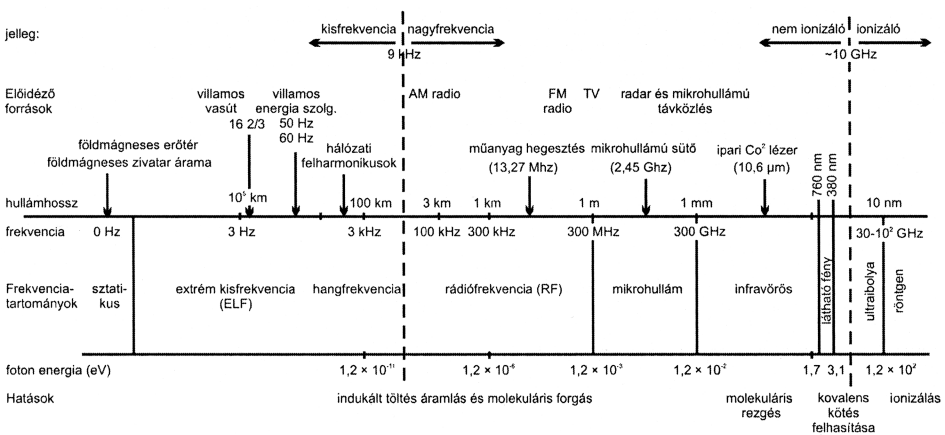
- egyenáramú áramellátás, ipari alkalmazások (pl. nagy áramú elektrolízis) valamint a városi és villamos nagyvasúti vontatás;
- váltakozó áramú (50 és 60 Hz-es) villamos energiaellátás és villamos vasúti (16 2/3 és 50 Hz-es) vontatás;
- különleges frekvenciájú (pl. 400 Hz-es repülőgép) táplálások és ipari frekvenciás technológiák (pl. középfrekvenciás ipari hevítés) áramellátása;
- rádió-távközlési technológiák: pl. az amplitúdómodulált és frekvenciamodulált (URH és TV) rádiózás, a mikrohullámú rendszerek, majd a mobil és úrtávközlési rendszerek;
- röntgen- és lézertechnikák alkalmazása, amelyek már az ionizáló sugárzások területére esnek.

Az elektromágneses hatások frekvencia szerinti felosztása az 1. ábrán látható [1].

A legfontosabb elhatárolás a nem ionizáló és ionizáló sugárzások biológiai hatás szempontjából való megkülönböztetése, mivel az – adott szint feletti – ionizáló sugárzások egészségkárosító hatása egyértelműen bizonyított, míg a nem ionizáló elektromágneses terekre – az általában előforduló szintek esetén – ez nem mondható ki. A nem ionizáló és az ionizáló sugárzás közötti határt az ultraibolya tartományban, a 100 nm hullámhossznál, 3×10^{15} Hz-nél, azaz 3 PHz (pikoHz) frekvenciánál húzták meg, ahol a foton energiája 12,4 eV. Az elektromágneses terek hatásainak vizsgálata – nemzetközileg általánosan elfogadott gyakorlat szerint – egyértelműen a nem ionizáló terekre szorítkozik.

A nem ionizáló elektromágneses tereket „kisfrekvenciás” és rádiófrekvenciás (RF) tartományokra osztják annak alapján, hogy a kisfrekvenciás terek esetében a villamos és mágneses erőter különválasztható mind az erőteret előidéző forrás, mind az erőter nagyságának jellemzése, mind pedig az erőterek egészségi hatása szempontjából.

A legkisebb frekvenciatartományba eső erőterek szokásos további osztályozása:



1. ábra • Az elektromágneses terek forrás és frekvenciatartomány szerinti felosztása

- 30 Hz-nél kisebb frekvencia: a statikus és időben nagyon lassan változó erőtereket foglalja magában;

- 30–300 Hz közötti, extrém kisfrekvencia, ELF (extremely low frequency): elsősorban a villamosenergia-ellátással kapcsolatos erőterekre terjed ki.

Ez az anyag főképpen az ELF erőterekkel összefüggő kérdésekkel foglalkozik, azonban esetenként kitér a 100 kHz-ig terjedő frekvenciákkal kapcsolatos egészségi kérdésekre, tekintettel arra, hogy eddig a határig a biológiai hatások szempontjából az alapvető korlát a testben létrejövő áramok sűrűsége, és csak a 100 kHz feletti frekvenciájú elektromágneses terekben lép be a fajlagosan elnyelt teljesítmény mint további korlát (lásd a 2. pontot).

A frekvenciatartomány előzőek szerinti felosztása alapvetően az elektromágneses környezet és az élő – mindenekelőtt az emberi – szervezet közötti összeférhetőségi szempontok alapján történt. További szempont az elektromágneses környezet és az abban használt villamos és elektronikus eszközök közötti elektromágneses összeférhetőség fenntartása. Ebből a szempontból az elektromágneses zavarjelenségeket a 9 kHz alatti kisfrekvenciás és e feletti nagyfrekvenciás csoportba sorolják.

3. *Biológiai hatások és testáram-határértékek*

Az elektromágneses tér biológiai, ill. egészségi hatásának megállapítása az élet-tudományok (a biológia – különösen a sugárbiológia –, az élettan, az orvostudomány stb.) művelőinek feladata. A cél egyrészt annak a tisztázása, hogy a hatások az elektromágneses térnek milyen fizikai jellemzőihez köthetők, másrészt pedig az, hogy e jellemzőkre olyan határértékeket adjunk meg, amelyek szintje alatt a hatások nem lépnek fel, ill. nem járnak káros következményekkel.

A frekvenciatartomány az alábbiak szerint osztható fel annak függvényében, hogy az egészségi hatás szempontjából milyen fizikai jellemzővel adható meg az elektromágneses térre vonatkozó alapvető korlát:

a) 0–1 Hz között az alapvető korlát a mágneses fluxussűrűség sztatikus (0 Hz-es) mágneses térre, és az áramsűrűség 1 Hz-ig terjedő időben változó erőterekre a szív- és érrendszeri, valamint a központi idegrendszeri hatások elkerülésére;

b) 1 Hz–10 MHz között a korlát az áramsűrűség, hogy az idegrendszeri funkciókat érő hatásokat elkerülhessük;

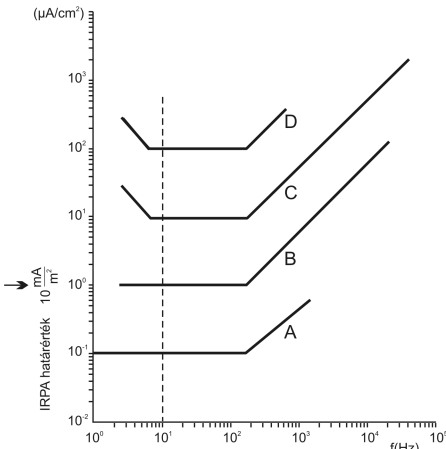
c) 100 kHz–10 GHz között a korlát a fajlagosan elnyelt teljesítménynek a teljes testre gyakorolt hőhatása, valamint a szövetek helyi túlmelegedése szempontjából. 100 kHz–10 MHz között mind az áramsűrűség, mind pedig a SAR korlátozó feltétel;

d) 10 GHz–300 GHz között a korlát a testfelület, illetve az annak közelében levő szövetek melegedése.

a) Asztatikus indukció és testáram-sűrűség alapvető korlátai

A lehetséges biológiai hatások a 100 kHz-nél kisebb frekvenciájú erőterekben az általuk a testben létrehozott áramok sűrűségével hozhatók összefüggésbe. (Az áramsűrűség az egységnyi test-keresztmetszeten átfolyó áram, az SI alapegység szerint A/m^2 -ben kifejezve. Szokásos mértékegységei: mA/m^2 , mA/cm^2 vagy nA/cm^2 , ahol $10 mA/m^2 = 1 mA/cm^2 = 1000 nA/cm^2$.)

A 2. ábraszemléletes formában tünteti fel az áramsűrűség különböző hatásokat kiváltó küszöbérték-tartományait a frekvencia függvényében. A vízszintes szakaszokra esnek a hálózati frekvenciás hatások. Az 1. táblázatban az áramsűrűség függvényében a lehetséges biológiai hatásokat tüntetjük fel – az ábrához képest egyszerűsítve – a hatásokat csak három sávba sorolva.



- A – nincs biológiai hatás (a természetes agyáram-sűrűség átlaga)
- B – jól meghatározott hatások, beleértve a látási és idegrendszeri hatásokat
- C – ingerlékeny szövet izgatása (a lehetséges egészségi kockázat határa)
- D extra szívösszehúzódnás és szívkamralebegés (akut egészségi kockázat határa)

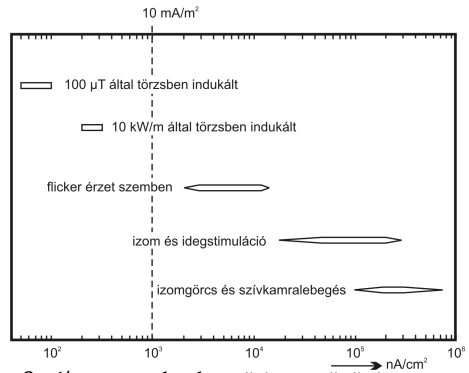
2. ábra • Különböző hatásokat keltő áram-sűrűség-küszöbök a frekvencia függvényében

A 3. ábra a hálózati frekvenciájú, különböző áram-sűrűségek estén fellépő hatásokat szemlélteti. Az ábra egyben feltünteti a lakosságra megengedett mágneses indukció (100 mT), ill. villamos térerősség (10 kV/m) hatására a törzsben indukált áram sűrűségét is.

A villamos és mágneses erőkerekre vonatkozó alapvető korlátokat a 2. táblázat adja meg. Látható, hogy a sztatikus mágneses erőkerekre a korlát magára a mágneses indukcióra van megadva. Ez azzal függ össze, hogy sztatikus tér jellegéből (nulla frekvencia, ill. körfrekvencia) adódóan nem indukál testáramot. Ezért a 2. oszlopban megadott (40 mT) indukció kor-

A hatás megnevezése	áram-sűrűség-tartományok (mA/m ²)
< 1	nincs biológiai hatás
1–10	minimális biológiai hatás
10–100	látászervi és idegrendszeri hatás

1. táblázat • A különböző testáram-sűrűségnél fellépő hatások



3. ábra • Különböző áram-sűrűség-tartományokban fellépő ingerek hálózati frekvencián

lát lényegesen – 400-szor – nagyobb, mint az 50 Hz-es hálózati frekvenciára vonatkozó határérték. Az időben változó villamos és mágneses erőkerek által a fejben és a törzsben előidézett áramok sűrűségére a foglalkozási körre (2. táblázat 3. oszlop) megadott határértékek az illetékes nemzetközi bizottság (ICNIRP) szerinti határértékeknek felelnek meg [2]. Látható, hogy a foglalkozási körben, a hálózati frekvenciát is magában foglaló frekvenciatartományban megengedett áram-sűrűség 10 mA/m². Ez lényegében akkora áram-sűrűséget jelent, amekkorát az izomszövetek működésük közben maguk is létrehozhatnak (elektromyogram jelek). Az Európai Tanács ajánlásában [3] a lakossághatására vonatkozó – a 2. táblázat 4. oszlopában feltüntetett – határértékek a foglalkozási körre vonatkozó korlátok egyötödének felelnek meg. Megjegyzendő, hogy a megadott korlátok teljes idejű (napi 24 óráig tartó) behatás esetére vonatkoznak. A rövidebb behatási idő határértékei nagyobbak. Az Ajánlás megjegyzi: tekintettel arra, hogy az alapvető korlátokat a központi idegrendszerre gyakorolt káros hatás alapján határozták meg, ugyanolyan behatásnak kitett más testszövetekben megengedhető ennél nagyobb áram-sűrűség is. A különböző

frekvenciatartomány	mágneses indukció		áramsűrűség a fejre és nyakra mA/m ² (effektív)	
	mT		foglalkozási	lakossági
0 Hz	40		-	-
1 Hz-ig	-		40	8
1 Hz – 4 Hz	-		40/f	8/f
4 Hz – 1 kHz	-		10 (1000 nA/cm ²)	2 (200 nA/cm ²)
1 kHz – 10 MHz	-		F/100	f/500

2. táblázat • A sztatikus mágneses indukció, valamint a villamos és mágneses erőkterek által előidézett testáram-sűrűség alapvető korlátai

testáram-sűrűségek hatásairól a 3. ábra ad szemléletes áttekintést.

b) Az érintési áram korlátai

Meg kell jegyezni, hogy a feszültség alatt álló berendezésekkel való érintkezéskor kialakuló úgynevezett érintési áramokra az előzőekben megadott testáram-sűrűségekre vonatkozó értékektől eltérő – az érintésvédelem alapjául szolgáló – előírások foglalkoznak [4]. A hálózati frekvenciás áramoknak a férfi szervezetre általában gyakorolt hatásai az alábbiakban nyilvánulnak meg:

- 0,5-1 mA érzetküszöb
- 1,6-15 mA erős rázásérzet
- 20-25 mA izomgörcs
- 25-80 mA szabálytalan szív működés
- 80-100 mA szívkamralebegés
- 100 mA felett agyhalál

A ténylegesen kialakuló hatást egyebek között jelentősen befolyásolhatja a behatás időtartama, az áram útja a testen belül, az egyén általános egészségi és idegállapota. Az áramütés során a szívkamralebegés miatt bekövetkező halál kockázata számottevően nő akkor, ha a szív beleesik az árampálya útjába (kéz-kéz kapcsolat az áramkörrel) és az áramütés időtartama nagyobb két szívverés közötti időnél, azaz egy másodpercnél.

Az erőterektől – mindenekelett a kiterjedt fémtestek érintésekor fellépő kapacitív

töltőáramokból – adódó érintési áramok határértékeire a 3. táblázat szerinti határértékek az irányadók [3]. A megadott értékek a felnőtt férfiakban kiváltott biológiai válaszingeren alapulnak. E határértékeknek megközelítőleg a kétharmada vehető alapul felnőtt nők, míg fele gyerekek esetében.

frekvenciatartomány	érintési áram [mA]
0 Hz – 2,5 kHz	0,5
2,5 kHz – 100 kHz	0,2f
100 kHz – 110 MHz	20

3. táblázat • Az érintkezési áram határértékei

Látható, hogy nagyobb frekvenciákon a megengedett határérték is nagyobb. Ez abból adódik, hogy a frekvencia növekedésével az áram egyre inkább kiszorul a test felületére (szkinhatás), ezzel elkerüli az áramra érzékenyebb belső szerveket, mindenekelett a szívet. A 100 kHz –110 MHz frekvenciatartományban bármely végtagra nézve 45 mA határérték ajánlott.

4. Villamos és mágneses erőkterek hatásmechanizmusa és határértékei

Az előzőekben megadott testáram-sűrűség határértékek alapján akkor tudjuk megítélni azt, hogy valamely a környezetben fellépő villamos vagy mágneses erőter jár-e

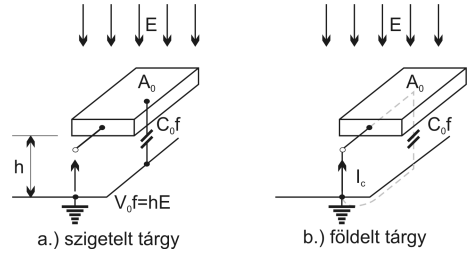
egészségi kockázattal, ha minőségileg és mennyiségileg egyaránt ismerjük az erőterek és az általuk létrehozott testáramok közötti kapcsolatot. Ez a villamos és a mágneses erőter esetén eltérő, ezért az alábbiakban külön foglalkozunk velük.

a) A villamos erőter által létrehozott testáramok

A villamos erőteret a különválasztott, tipikusan a vezető anyagok felületén elhelyezkedő töltések hozzák létre. Nagyságának jellemzésére az E -vel jelölt, V/m-ben kifejezett villamos térerősség szolgál. A tér egy adott pontjában, az E villamos térerősség annak az erőnek a nagyságát és irányát fejezi ki, amely az adott pontban levő 1 coulomb pozitív töltésre hat. Továbbá E -nek a tér két pontja közötti hely szerinti integráljának értéke megadja a két pont közötti U feszültséget (V -ban). A villamos teret létrehozó két ellentétes töltést hordozó elektróda feszültsége és a töltés közötti kapcsolatot a $Q = CU$ összefüggés fejezi ki, ahol C az elektródák közötti kapacitás faradban (F) mérve. Ezekből a kapcsolatokból látszik, hogy a nagyfeszültségű létesítmények – elsősorban a nagyfeszültségű szabadvezetékek és szabadtéri állomások – járnak együtt nagy töltéssel és ezeknek a környezetben jön létre nagy villamos erőter.

Villamos vezető anyagokban, mint amilyenek a fémek vagy az élő szervezetek szövetei, a szabad töltések a térerő hatására elmozdulnának a felület felé. Ebből következik, hogy a vezető anyagokban szabad töltés csak a felületen helyezkedhet el, másrészt a vezetőn belül nem lehet sztatikus villamos erőter. Időben változó villamos erőter hatására a testáramok a töltéseknek az erőter változását kísérő átrendezéséből adódnak.

A testáramok villamos erőter következtében való kialakulásának mechanizmusát a 4. ábra érzékelteti.



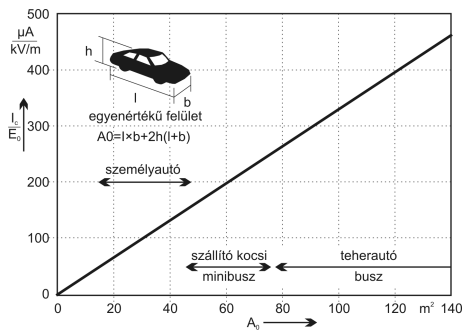
4. ábra • Villamos erőterben levő tárgyon kialakuló feszültség és kapacitív töltőáram

Villamos erőterétől mentes környezetben az emberi testben levő szabad pozitív és negatív töltések párokban, egymást lekötve helyezkednek el (4/a. ábra).

A testáram kiszámítása a villamos erőter helyfüggésének, valamint az emberi – vagy más vizsgálendő – test alakjának pontos figyelembevételével, meglehetősen bonyolult feladat. A gyakorlatban az alábbi két lehetőség valamelyikét szokták követni:

- közelítő analitikus kifejezések használata az emberi test geometriáját számításra jól követhető formával – pl. forgási ellipszoiddal – helyettesítve;
- pontosabb leképezést lehetővé tevő numerikus eljárások alkalmazása.

A töltőáram kialakulásával a gyakorlatban főképp a nagyfeszültségű távvezetékek alatt tartózkodó járművek esetében



5. ábra • Különböző méretű járművek földelésekor kialakuló, 1 kV/m térerősségenkénti, kapacitív töltőáram

kell számolni. Erre vonatkozó tájékoztató értékek láthatók az 5. ábrán. A gumike-rekű járművek szigetelése általában jó, ezért a villamos térben a 4/a. ábra szerinti V_{or} feszültségre kerülnek. A veszély akkor állhat elő, amikor a járművet valamilyen földkapcsolatban levő vezetővel megérintjük, ugyanis a megközelítés során először kis villamos szikrán át jön létre a kapcsolat, majd az érintkezés bekövetkeztekor az I_c töltőáram levezetése definitív pályán történik (4/b. ábra). A szikra az üzemanyagot szállító járműveken tüzet vagy robbanást okozhat, az emberi testen át való földelés a kontaktus létrejöttékor kialakuló „csípésen” túl áramütés veszélyével is járhat. E veszélyek a villamos erőterben tartózkodó járműnek definitív, vezetői úton való földelésével kerülhetők el.

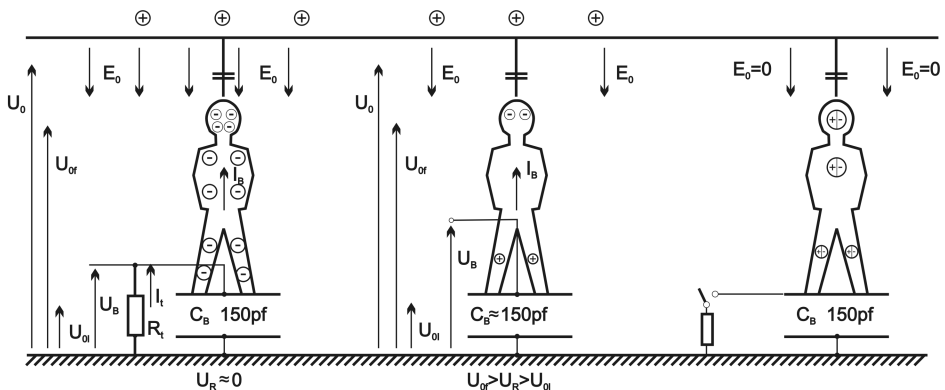
Az álló emberi testben a villamos erőter hatására kialakuló áramok vizsgálatokor figyelembe kell venni azt, hogy a függőleges irányú méret és a h magasság egybeesik, azaz nem „lapszerű” testről van szó. Ennek megfelelően egyrészt testáram alakul ki magából a testen belüli töltésmegosztásból, másrészt a testáram nagysága és különösen a sűrűsége változik a magasság szerint. Számottevő különbség adódik abból, hogy a test a földdel különböző kapcsolat-

ban lehet, attól függően, hogy az alábbi három feltétel melyike áll fenn:

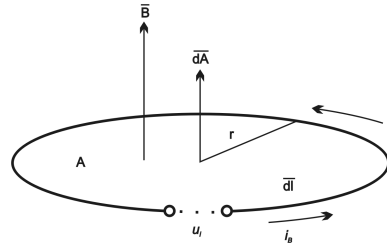
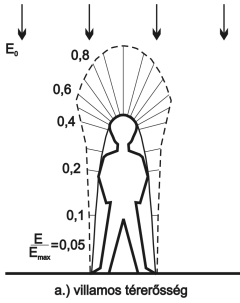
- Ha a test a földtől szigetelve van (6/b. ábra). Például ha az ember száraz, műanyag talpú cipőt hord, amelynek a levezetési ellenállása 100 MW nagyságrendű. Ez alapjában véve veszélytelen, de földelt szerkezeti rész vagy személy megközelítésekor áttűtéssel induló „csípésérzetet” keltő kisülési áram lép fel.

- Ha a test földelt (6/c. ábra), például úgy, hogy földelt szerkezeti részhez érünk, vagy nedves bőrtalpu cipőt viselünk (ellenállása 15 kW körül van), akkor a test földpotenciálón lesz, viszont a földdel kapcsolódási úton töltőáram folyik. Ha az ember a talpán át érintkezik a földdel, akkor a testben folyó áram a talptól a fejétő felé haladva folyamatosan csökken (7/b. ábra). Mivel az egészségi korlát értékeit testáram-sűrűsége írják elő, a testáram számításánál a test-keresztmetszettel osztva nyert áram-sűrűség-értékeket kell alapul venni (7. ábra). Nyilvánvaló, hogy ennek maximuma a talp közelében, a legkisebb keresztmetszetenél, azaz a bokánál van.

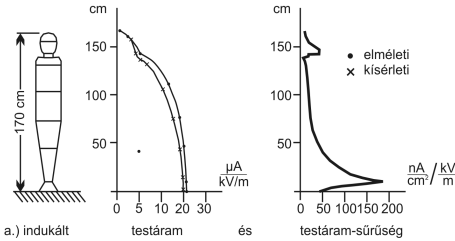
Utalni kell arra, hogy a szigetelt testek, tipikusan a gumikerekű járművek megérintésekor – a fentebb leírtak szerint – kialakuló töltőáram lényegesen nagyobb, mint az



6. ábra (a, b, c) • A testáramok kialakulása villamos erőterben



8. ábra • A mágneses erőter által indukált test-örvényáram kialakulásának mechanizmusa



7. ábra • Villamos erőter hatására kialakuló testáram- és testáram-sűrűség-értékek

emberi test saját kapacitív töltőárama, ezért – védelmi intézkedés hiányában – ez jár nagyobb veszéllyel.

• Ha a test a fenti határesetek közötti közbenső talpponti ellenálláson át földelt, akkor nyilvánvalóan olyan közbenső állapot áll elő, amelyben az első esetben említettől kisebb testfeszültség lép fel és a második esetben említettől kisebb testáram folyik.

b) A mágneses erőter által létrehozott testáramok

A mágneses erőter hatásmechanizmusa – a villamos erőterhez képest – két fontos körülményben különbözik:

• A mágneses erőteret az áramló töltések hozzák létre, ennek megfelelően nagysága az áramerősségtől és nem a feszültségtől függ. Mivel – adott villamos teljesítmény esetén – kisebb feszültséghez nagyobb áram tartozik, a kisfeszültségű berendezések is meglehetősen nagy mágneses erőteret kelthetnek.

• A kisfrekvenciás mágneses erővonalak gyakorlatilag csillapítatlanul behatolnak a testbe, és benne mint villamosan vezető anyagban örvényáramokat indukálnak.

A testszövetben indukálódó örvényáram mechanizmusát a 8. ábra szemlélteti.

Az indukált testáram-sűrűség arányosan nő a frekvenciával, a szerv – az adott metszethez tartozó – kerületi sugarával és a mágneses erőter nagyságával, és fordítva arányos a szövet fajlagos ellenállásával.

A jellegzetes esetekre vonatkozó testáram-sűrűség értékeket ad meg a 4. táblázat. A számok azt érzékeltetik, hogy mind a foglalkozási, mind a lakossági körre megengedett indukció határértékei esetén az indukált testáram-sűrűség a megengedett értéknek kb. egynegyede, az alapvető korlátokban tehát mintegy négyszeres tartalék van.

c) A villamos és a mágneses erőterre ajánlott határértékek

Az előzőekben tárgyalt, a biológiai hatások alapján a testáram-sűrűségekre megállapított alapvető korlátokból kiindulva, valamint a testáram kialakulása és erőter jellemzői közötti hatásmechanizmust és kvalitatív kapcsolatot felhasználva leszámaztathatók magára a villamos és mágneses erőterre ajánlott határértékek. Ezt az eljárást a hatásmechanizmus leírásakor – visszafelé alkalmazva – be is mutattuk.

testrészt megnevezése	sugara [cm]	foglalkozási [500 mT]	lakossági [100 mT]
szív	5	0,40	0,08
fej	10	0,80	0,16
törzs	30	2,36	0,47
megengedett ICNIRP áram-sűrűség:		10	2

Megjegyzés: A testszövet feltételezett fajlagos ellenállása: $r = 10 \text{ Wm}$ (100 mS/m)

4. táblázat • Mágneses erőter által indukált testáram-sűrűségek [mA/m^2] az ICNIRP határértékeknek megfelelő B indukció esetén

A villamos és mágneses erőterre ajánlott határértékek az alapvető korlátként megadott értékekkel szemben az az előnye, hogy ezek egy bizonyos környezetre számítással vagy mérésel megállapítható, ellenőrizhető jellemzők. Magukat az ajánlott határértékeket az 5. táblázat tartalmazza. A mágneses erőter jellemzésére, mind a H [A/m] térerősségre, mind a B [mT] indukcióra meg vannak adva a határértékek.

Ezek az $1 \text{ [A/m]} = 1,26 \text{ [mT]}$ összefüggéssel egymással összerendelt értékek.

A foglalkozási körre megadott értékek az ICNIRP ajánlása szerintiék [2], míg a lakosságra vonatkozóak a EU Tanács ajánlása [3] szerintiék. A kisfrekvenciás tartományokban – beleértve az 50 Hz-et is – a lakosságra ajánlott határérték a foglalkozási körre megadottnak a villamos térre a fele, a mágneses térre az ötöde.

alkalmazási kör	frekvencia- határok	E térerősség V/m	H térerősség A/m	B indukció μT
foglalkozási	1 Hz alatt	-	163×10^3	200×10^3
	1-8 Hz	20 000	$163 \times 10^3/f^2$	$200 \times 10^3/f^2$
	8-25 Hz	20 000	$20 \times 10^3/f$	$25 \times 10^3/f$
	0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	25/f
	50 Hz	10 000	400	500
	0,82-65 kHz	610	24,4	30,7
	0,065-1 MHz	610	1,6/f	2,0/f
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f
	1 Hz alatt	-	32×10^3	40×10^3
	1-8 Hz	10 000	$32 \times 10^3/f^2$	$40 \times 10^3/f^2$
lakossági	8-25 Hz	10 000	4000/f	5000/f
	0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f
	50 Hz	5000	80	100
	0,8-3 kHz	250/f	5	6,25
	3-150 kHz	87	5	6,25
	0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f
	1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f

5. táblázat. Időben változó villamos és mágneses erőterre ajánlott egészségi határértékek (torzítatlan effektív értékek)

Az ajánlott érték a behatásnak kitett személy teljes testére vonatkozó térbeli átlagértéknek tekintendő, azzal a megszorítással, hogy az alapvető korlát helyi behatás esetén sem léphető túl. A villamos és a mágneses erőtér hatásait – összegezés nélkül – külön kell vizsgálni. A 100 kHz-nél kisebb frekvenciájú villamos térre vonatkozóan a foglalkozási körre megadott érték a kétszeresére emelhető, feltéve, hogy a villamosan töltött testek érintéséből adódó kislülési áram közvetett káros hatásával nem kell számolni.

5. A gyakorlatban fellépő erőterek jellege és nagysága

Az alábbiakban röviden jellemezzük a gyakorlatban előforduló villamos és mágneses erőtereket, mindkét esetben megkülönböztetve a statikus (egyenáramú) és a váltakozó áramú, elsősorban a hálózati frekvenciájú tereket.

5.1 Villamos erőterek

a) Sztatikus villamos erőtér

Jelentős, természeti eredetű sztatikus villamos erőtér jöhet létre a légköri villamos jelenségek következtében. A villamos töltéseknek a föld és a villamosan vezető, 40 km feletti atmoszféra rétegei közötti megosztása következtében a Föld felszíne közelében a nap jelentős részében 130 V/m körüli sztatikus villamos tér jön létre. Zivataros időszakban ennek sokszorosa mérhető. Ahol nincs közvetlen villámlás, a térerősség 3 kV/m is lehet, míg a villámlásos területeken a villamos térerősség meghaladhatja a 20 kV/m-t.

A katódsugaras monitoroktól kb. 30 cm távolságban néhányszor 10 kV/m térerősség mérhető.

Sztatikus feltöltődés következik be akkor, ha az ember jó szigetelő anyagú padlón jár vagy ilyen anyagok egymáshoz dörzsölődnek. Ekkor a test közelében 10 és

500kV/m közötti térerősség jöhet létre. Ha az így feltöltött test földelt jellegű másik testhez közeledik, akkor átívelés keletkezik, és az íven majd az esetlegesen létrejövő közvetlen érintkezésen át az emberi test kapacitásán (kb. 150 pF) felhalmozott töltés kislül. A kislülés rendkívül gyors – kb 5 ns-ig növekvő, majd 30–50 ns alatt a csúcserősség felére csökkenő – impulzus formájában történik. Az érzékeny elektronikus eszközökben ez az áramkörök sérülését vagy hibás működését idézheti elő. A leírt zavarjelenség az úgynevezett elektromágneses kislülés.

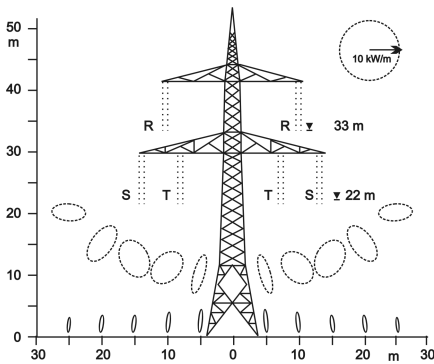
Az egyenáramú villamos rendszerek alkalmazásának két fő területe a villamos vontatási és a nagyfeszültségű energiaátvitel. A városi villamos és a metró hálózatain használt 500 V tápfeszültségű felsővezeték-től kb. 5 m-re 30 V/m körüli villamos térerősség jön létre. A nagyvasúti vontatásnál használt 1,5 vagy 3 kV tápfeszültség a kocsiban 300 V/m-ig terjedő térerősséget okozhat. Az 500 kV körüli nagyfeszültségű egyenáramú távvezeték mentén, közvetlenül a vezetékek alatt 20 kV/m-ig terjedő villamos térerősség mérhető.

b) Kisfrekvenciás (ELF) villamos erőtér

A természeti eredetű kisfrekvenciás villamos térerősség nagyon gyenge, $10^{-4} - 0,5$ V/m az 5–1000 Hz frekvenciatartományban. Ebből következően a környezetben fellépő ELF villamos tér forrásai gyakorlatilag teljes egészében az 50 Hz-es villamos berendezések és hálózatok.

Az iparosított országok tipikus otthonaikban mérhető átlagos villamos térerősség az 1–15 V/m tartományba esik. A térbeli eloszlás nagyon inhomogén. A háztartási és irodai berendezések közelében (30 cm-re) a 10–500 V/m térerősség jellemző, ami még mindig csak töredéke a javasolt egészségi határértéknek.

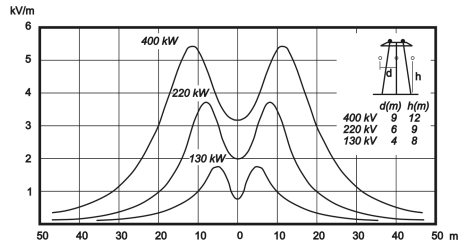
Igazán nagy, az egészségi hatások szempontjából megengedett határértéket megközelítő villamos térerősségek csak a nagyfeszültségű (120 kV feletti), háromfázisú vezetékek környezetében alakulnak ki. A fázisvezetők szimmetrikus háromfázisú feszültségrendszere a vezeték nyomvonalára merőleges sík egyes pontjaiban elliptikusan polarizált villamos erőteret hoz létre (9. ábra). Ez azt jelenti, hogy a térerősség effektív értékének megfelelő $E(t)$ fázor az időben forog, a nagysága úgy változik, hogy a végpontja ellipszist ír le. A legnagyobb, ill. legkisebb térerősség az ellipszis nagy-, ill. kistengelyének irányában alakul ki. A térerősség az időben és az egyes térbeli irányokban is szinuszosan változik.



9. ábra • Háromfázisú távvezeték elliptikusan polarizált villamos erőtere

A távvezeték E terének jellemzésére a föld felszínén (amerikai gyakorlat) vagy a föld felett 1,5–1,8 m magasságban (európai gyakorlat) mérhető értékeket adják meg a vezeték nyomvonalára merőleges távolság függvényében. Ilyen térerősségprofil mutat be – három tipikus feszültségszintre – a 10. ábra. Látható, hogy a legnagyobb térerősség kissé a szélső fázisok vetületén kívül jön létre.

A térerősség nagyságát – a feszültség nagyságán kívül – befolyásoló körülmények:



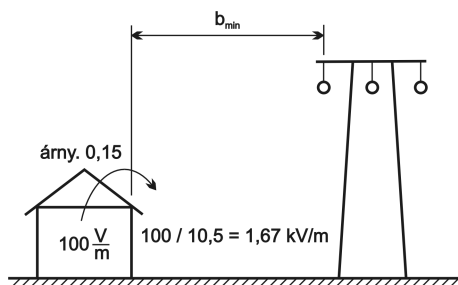
10. ábra • Különböző feszültségszintű távvezetékek jellemző villamos térerősség értékei a nyomvonalra merőleges irányban, 1,8 m magasságban

- a vezetők föld feletti magassága, amit a hőmérséklettől függő belógás lényegesen befolyásol;
- a fázisvezetők és az esetleges védővezetők geometriai elrendezése;
- többrendszerű távvezeték esetén a fáziskiosztás;
- a fázisvezetőknek a középvonalhoz viszonyított oldalirányú távolsága. Az oldalirányú távolság csökkentésével jelentősen csökkenthető a térerősség;
- magas objektumok (fasor, kerítés stb.), amelyek árnyékoló hatása jelentősen csökkentheti a térerősséget.

Az árnyékoló hatáshoz kapcsolódóan megjegyzendő, hogy az épületek árnyékoló hatása az épületen belüli villamos teret 10-15 %-ra csökkenti.

A lakosságot leginkább az a kérdés foglalkoztatja, hogy mekkora az a nagyfeszültségű távvezetektől mért minimális távolság, amelyen kívül a közeli épületben a villamos tér biztosan nem jár egészségi kockázattal. Ennek a b_{\min} minimális távolság meghatározásának elvét a 11. ábra szemlélteti. Ez abból indul ki, hogy a lakáson belül a villamos tér – 0,15-ös árnyékoló tényező figyelembevételével – ne legyen nagyobb a használt villamos eszközöktől származó átlagosan 100 V/m térerősségnél.

E feltételből – az épületen kívülre adódó megengedett 670 V/m térerősség



11. ábra • Távvezeték és lakás közötti megengedett minimális megközelítési távolság

alapján – adódó minimális távolságok a Magyarországon használt feszültségzintekre az alábbiak:

U_n [kV]	120	220	400	750
b_{\min} [m]	5	10	20	40

A minimális távolság meglehetősen kicsire adódott annak ellenére, hogy a lakásokon belül megengedett 100 V/m csak töredéke a lakossági körre ajánlott 5000 V/m térerősségnek. Ennek tulajdonítható, hogy számos sűrűn lakott országban – pl. Hollandiában – közvetlenül a távvezeték alá is építenek lakóházat.

5.2 Mágneses erőterek

a) Sztatikus mágneses erőter

A természeti sztatikus mágneses tér a Föld magjának felső rétegében folyó áram és a naptevékenység valamint a légköri hatások által létrehozott erőter eredője. A Föld felszínén a függőleges összetevő maximális a mágneses pólusoknál, és itt a nagysága eléri a 67 mT-t, míg a mágneses egyenlítőnél nulla. A vízszintes összetevő maximális a mágneses egyenlítőnél, ahol kb. 33 mT az értéke, minimális a mágneses pólusoknál. A földmágneses erőter a naptevékenység és a helyi mágneses rendellenességek miatt időben és térben változik.

A mesterséges egyenáramú erőter a háztartási és irodai környezetekben főleg

a telepes berendezésektől származik, ennek nagysága azonban csak töredéke a természetes mágneses háttérnek.

A nagyfeszültségű egyenáramú vezeték is csak csekély – néhányszor 10 mT – mágneses teret okoznak.

Az egyenáramú villamos vontatás során létrejövő mágneses indukció a városi – tipikusan 500 V-os – táplálás esetén 80 mT alatt marad, míg az egyenáramú villamos nagyvasút indukciója elérheti a 2 mT értéket. A mágneses lebegtetésű vasút indukciója igen nagy, a sínek közelében 1 T körüli, a vonaton belüli szórt fluxus nagysága azonban már csak 10 mT és 10 mT között van.

A sztatikus mágneses indukcióra alapvető korlátként megadott 40 mT-t meghaladó értékek csak kivételesen, az igen nagy (50–100 kA) egyenáramot felhasználó ipari technológiával dolgozó berendezéseket tápláló áramvezető-sínek környezetében lépnek fel, pl. timföld- vagy klórelektrolizáló üzemekben.

b) Kisfrekvenciás (ELF) mágneses erőter

A természeti eredetű kisfrekvenciás mágneses tér a naptevékenységgel hozható kapcsolatba, amelyben 11 éves és 27 napos periódusú szisztematikus változás figyelhető meg. Lényegében a sztatikus mágneses térben bekövetkező változásokat kifejező, igen kis amplitúdójú összetevőkről van szó:

- 0,04–0,08 A/m amplitúdójú, 0,002–0,1 Hz frekvenciájú erőter;
- 5 Hz frekvenciáig terjedő földmágneses pulzálás, amely időben néhány perctől néhány óráig tartó erőter;
- frekvenciával csökkenő amplitúdójú erőter, amely 5–7 Hz-nél $8,10^6$ A/m, 3 kHz-nél $8,10^9$ A/m,
- az 50, ill. 60 Hz hálózati frekvenciájú tartományban fellépő, természeti eredetű háttérmágneses térerősség, megközelítőleg 10^{-6} mT.

Az utolsóként említett érték különösen jól mutatja, hogy a természeti eredetű mágneses erőtereknek – a villámáram gyorsan változó és ezért nem az *ELF* sávba eső erőtere kivételével – rendkívül kicsi az amplitúdójuk.

A mesterséges *ELF* mágneses erőter lényegében a villamos hálózatokon és a hálózatról táplált villamos berendezésekben folyó áramtól származik. A mágneses térerősség arányosan nő az azt létrehozó áram nagyságával. Az erőter kiterjedése a „gerjesztő” vezetőrendszer geometriai kiterjedésétől és elrendezésétől függ.

Ebből a szempontból a mágneses erőternek a létrehozó rendszertől való r távolság függvényében való változásában három jellegzetes eset adódik:

- Egyetlen vezető (vagy vezetőcsoport), amelynek visszavezetése a kérdéses r távolsághoz képest távol van, környezetében az erőter $1/r$ szerint változik. Tipikusan ilyen a földvisszavezetéssel záródó vezeték–föld hurok.

- Olyan vezetőcsoport környezetében, amelyek vezetőáramainak fázisos összege nulla, azaz az áramok teljes egészében a vezetők által képezett hurokrendszeren belül záródnak, az erőtercsökkenés jellege, a vezetők közti távolsághoz képest nagy r távolságban $1/r^2$ szerinti. Tipikusan ilyen a háromfázisú vezeték szimmetrikus (pozitív sorrendű) áramrendszerének erőtere.

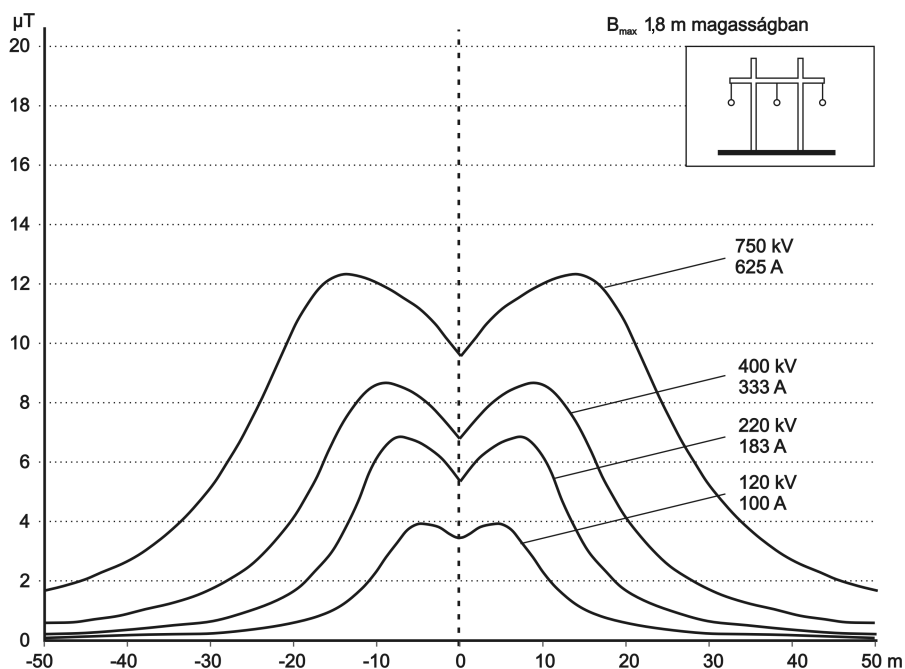
- Koncentrált eszközöktől, azaz olyan pontszerű forrásból származó erőter, amelynél az eszköz mérete a vizsgált r távolsághoz képest kicsi, a csökkenés $1/r^3$ szerinti. Ilyen a villamoshálózati berendezések (pl. a transzformátorok) vagy a fogyasztói berendezések (pl. a háztartási és irodai készülékek) erőtere.

Abból a két körülményből, hogy a mágneses erőter az árammal nő és a távolsággal csökken, következik az, hogy a nagyobb mágneses erőterű környezeteket nem a

nagyfeszültségű, hanem sokkal inkább a kisebb feszültségű létesítmények közelében kell keresni. Ezt jól érzékelteti pl. az, hogy a gyakorlatban használt legnagyobb teljesítményű (1,6 MVA) *kisfeszültségű* transzformátor nagy névleges áramát (2300 A) vivő, mennyezetre szerelt gyűjtősíntől 1–1,5 méterre kialakuló térben már emberek tartózkodhatnak és villamos készülékek üzemelhetnek. Egy nagyfeszültségű, 400 kV-os távvezeték szokásos legnagyobb átvitt teljesítménye 600 MVA körüli, amelyhez a fenti áram kb. 1/3-a (800 A) tartozik. Másrészről egy 400 kV-os távvezeték vezetőinek minimális megközelítési távolsága 10 m körüli, azaz a fenti távolság kb. 10-szerese. Mivel a lakosság körében a legtöbb aggály a nagyfeszültségű szabadvezetékek terével kapcsolatosan vetődik fel, a gyakorlatban fellépő mágneses erőterek áttekintését ezzel kezdjük.

A *háromfázisú szabadvezetékek* szimmetrikus áramrendszere – a villamos erőterhez hasonlóan – elliptikusan polarizált mágneses erőteret hoz létre (9. ábra), azzal a különbséggel, hogy ez a jelleg a földben is folytatódik. Különböző feszültségszintű távvezetékek jellegzetes teljesítményéhez tartozó áramokra vonatkozó, 1,8 m magasságban kialakuló mágneses indukció nagyságát a vezeték nyomvonalára merőleges irányban mért távolság függvényében a 12. ábra szemlélteti.

A szabadvezetékek által létrehozott mágneses erőter nagyságát – az áram nagyságán túl – a villamos térrel kapcsolatosan felsorolt jellemzők befolyásolják, kivéve az utolsó pontként említett árnyékoló hatásokat, amelyek a mágneses erőter esetén nem érvényesülnek. A szabadvezetékek közvetlen környezetében, 1,8 m magasságban létrejövő legnagyobb mágneses indukció értéke a 10–50 mT határok közé esik, ami biztonsággal kisebb a lakosságra, 24 órás behatási időre még megengedett 100 mT-nál.



12. ábra • Különböző feszültségű szabadvezetékek mágneses indukciója, 1,8 m magasságban, a vezeték nyomvonalára merőleges irányban mért távolság függvényében

A villamos vasúti felsővezeték rendszer által, 1,8 m magasságban létrehozott mágneses indukció kb. 10 mT nagyságú 100 A vontatási áramra vonatkoztatva. Többvontatos üzemben kialakuló maximális eredő felsővezeték áram – hazai viszonyok között ez 700 A – hatására kialakuló mágneses tér megközelítheti a javasolt határértéket.

Kiemelten fontos kérdés a köz- és kommunális épületekben levő transzformátorok és *kisfeszültségű elosztók* közötti csatlakozó sínezés által létrehozott mágneses tér. A tapasztalat szerint az ezekkel szomszédos, ill. ezek feletti helyiségekben jelentős mágneses tér jöhet létre. Az 1 és 1,6 MVA teljesítményű transzformátorok sínezése és elosztója 100 mT-t megközelítő teret is okozhat. Ez még mindig belül van az egészségi határértéken, azonban védelmi intézkedéseket tesz szükségessé, kü-

lönösen akkor, ha az érintett helyiségekben információtechnológiai berendezések és ezzel együtt az 1 mT-ra már érzékeny monitorok is vannak. Hangsúlyozni kell, hogy – az acéllemez edényben lévő olajhűtésű – transzformátorok által okozott mágneses erőtér elhanyagolhatóan kicsi a kisfeszültségű oldali csatlakozó vezetékrendszer erőteréhez képest. Ennek megfelelően egy kisfeszültségű transzformátor-elosztó rendszer környezetében kialakuló mágneses erőtér csökkentése a transzformátor és a kisfeszültségű elosztó közötti vezetékrendszernek és magának az elosztónak a megfelelő kialakításával érhető el.

A lakosság túlnyomó többsége az idő legnagyobb részében a *lakó és háztartási környezetben* létrejövő mágneses térnek van kitéve. A 6. táblázat megadja a mágneses indukció értékhatárait néhány gyakran használt villamos háztartási eszközre a

A készülék megnevezése	indukciótartomány különböző ávolságokban [mT]		
	3 cm	30 cm	100 cm
hűtőszekrény	0,5-1,7	0,01-0,25	< 0,01
mosógép	8-50	0,15-3	0,01-0,15
mikrohullámú sütő	73-200	4-8	0,25-0,5
porszívó	200-800	2-20	0,13-2
hajszárító	8-2000	0,01-7	0,01-0,3
villanyborotva	15-1500	0,08-9	0,01-0,3

6. táblázat. Néhány jellegzetes villamos háztartási berendezés környezetében létrejövő hálózati frekvenciás mágneses indukció értékhatarai (UNEP/WHO/IRPA, 1987)

felszín közvetlen közelében (3 cm-re) és nagyobb távolságokra (30 és 100 cm-re). Megállapítható, hogy a berendezések közvetlen közelében az indukció nagyságrendje 0,1 mT-től egészen 1000 mT-ig terjed. Az erőter – a készülék jellegétől függő mértékben – a közvetlen közeli környezetre korlátozódik, és a készüléktől 1m-nél nagyobb távolságban az indukció már csak százdadrésze a készülékközeli értéknek.

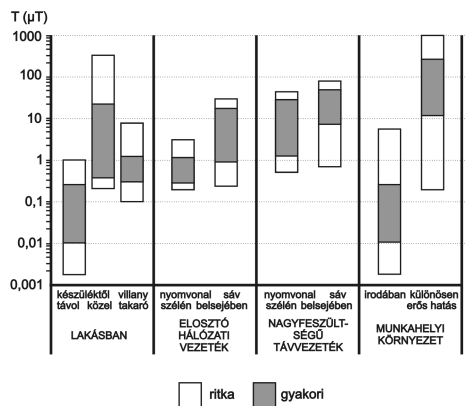
A hálózati frekvenciás mágneses erőter fentiekben tárgyalt jellegzetes forrásairól és az általuk létrehozott indukció nagyságának tartományairól a 13. ábra ad szemléletes összehasonlítást. Az ábra jól érzékelteti azt, hogy az elosztó hálózati és a nagyfeszültségű távvezetékek környezetében létrejövő, a lakosság által általában aggályosnak tartott mágneses indukció tartománya egyáltalán nem nagyobb, mint amekkora a háztartási készülékek közelében kialakul.

6. Az elektromágneses összeférhetőség szempontjai

Az ELF erőterek hatását nemcsak élettani, ill. egészségi szempontból kell vizsgálni, hanem a villamos és elektronikus berendezésekre okozott zavarás, ill. az azokkal való elektromágneses összeférhetőség (electromagnetic compatibility, EMC) szempontjából is. Az EMC valamely berendezésnek vagy rendszernek az a képessége, hogy

elektromágneses környezetében kielégítően működik (megfelelő zavartűrése van) anélkül, hogy környezetében elviselhetetlen elektromágneses zavarást idézne elő. EMC szempontból lényeges különbség van a villamos és a mágneses erőter között.

A villamos erőterrel szemben árnyékolással nagyon könnyű védekezni. Lényegében bármilyen vékony fém fóliaborítás teljes védelmet tud adni akkor, ha legalább egy ponton földelt. Ennek megfelelően villamos erőterrel szembeni zavartűrésre nincs előírásokban megfogalmazott (szabványosított) követelmény.



13. ábra • A hálózati frekvenciás mágneses erőter jellegzetes forrásai által létrehozott indukció összehasonlítása

A *mágneses erőtér* esetében a helyzet fordított, azaz hatásosan árnyékolni csak kis méretű, ferromágneses anyaggal teljesen tokozható készülékeket lehet. Kiterjedt térségek (irodák, lakások) árnyékolási lehetősége korlátozott és rendkívül drága, a hatásos árnyékolás elsősorban a zavarforrás oldalán, azaz a villamosenergia hálózat sínezésének vagy kábelezésének EMC szempontból is megfelelő tervezésével és létesítésével lehetséges.

A nagy felbontású monitorokat már 1 A/m térerősségű mágneses tér is zavarhatja, 3 A/m erőtér pedig már szemmel láthatóan a torzítja a képet.

Az EMC biztosítása – különösen a kis zavartűrési szintbe sorolt érzékeny berendezések környezetében – egyben garantálja az egészségi határértékek betartását is.

7. A WHO álláspontja az ELF erőterek egészségi hatásáról

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) 1996-ban elindította a Nemzetközi Elektromágneses Terek (EMF) Projektjét, hogy ennek keretében foglalkozzon az EMF behatásával kapcsolatos egészségi kérdésekkel. Az EMF csoport fő célja, hogy a világban ezen a területen folyó kutatások eredményeit összegyűjtse, feldolgozza és tényfeltáró lapon közreadja. Az ELF erőterek hatásával kapcsolatosan a WHO három közleményt adott ki. Az első, az *Elektromágneses terek és a közegészség: extrém kisfrekvencia (ELF)* című, 205. sz. tényfeltáró lap kiadására 1998 novemberében került sor. Ebben a villamos erőtérre vonatkozóan az a megállapítás olvasható, hogy 20 kV/m térerősség alatt – a töltőáram kisülésével járó hatástól eltekintve – az egészségi hatás jelentéktelen és ártalmatlan. A mágneses erőtér hatását a „*lehetséges emberi rákkeltő*” kategóriába sorolta, azzal a megjegyzéssel, hogy ebben a kérdésben további kutatások szükségesek.

2001 júniusában egy szakértői munkacsoport áttekintette a sztatikus és ELF elektromos és mágneses terek rákkeltő hatására vonatkozó vizsgálatokat, és a megállapításait a WHO 263. sz. 2001. októberi tényfeltáró lapjában adta közre. E szerint a szabványos IARC besorolást alkalmazva, amely súlyozza az emberre, az állatokra vonatkozó és a laboratóriumi bizonyítékokat, az ELF mágneses erőtér a gyermekkori leukémia epidemiológiai vizsgálataira alapozva, a „*lehetséges emberi rákkeltő*” (2B) besorolást kapta. Minden más felnőtt- és gyermekkori rákra vonatkozó bizonyítékot „*nem besorolható*”-nak határoztak meg a nem megfelelő vagy ellentmondó tudományos információk miatt.

A mégoly csekély egészségi kockázatok ellenére egyes országokban a megvalósíthatóság szempontjából irreálisan kicsi (1 μ T körüli) határértékek – csak politikai érvekkel indokolható – bevezetését kezdték fontolgatni.

A WHO EMF Projektje segíteni kívánja a nemzeti hatóságokat az esetleges védelmi intézkedések bevezetésében és olyan határértékek megállapításában, amelyek megfelelő – lehetőleg kockázatanalízisre támaszkodó – egyensúlyt teremtenek a villamos technológia hasznai és lehetséges egészségi kockázatai között. Különösen bonyolult az ELF erőterekre védőintézkedéseket javasolni, mert nem tudjuk, hogy az erőtér mely jellemzőjét kellene csökkenteni, vagyis melyik lehet felelős – ha egyáltalán – a kockázatként megjelölt gyermekkori leukémia kialakulásáért. Az egyik megközelítés olyan önkéntes eljárások bevezetése, amelyek az ELF terek expozíciójának költséghatékony csökkentését célozzák. Ezt tárgyalja a WHO 2000 márciusában kiadott háttéranyaga. Az ebben kifejtettek azonban további bizonytalanságot okoztak, amivel kapcsolatosan 2002. február 5-én megjelent az *Óvatossági intézkedések*:

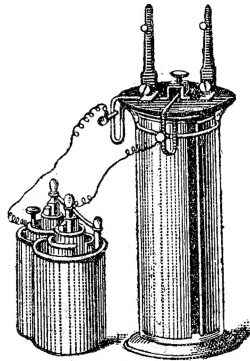
értelmezés című kiadvány. Ez kimondja az óvatossági elv, intézkedés, megközelítés fogalmak definiálásának szükségességét, és a *WHO Környezet Egészségi Feltételek* című monográfiának a sztatikus és az ELF terekre vonatkozó kiegészítését. A WHO az ELF expozíció közegészségi – esetleg káros –

hatására vonatkozó értékelését jó esetben 2003 végére készítheti el.

Kulcsszavak: *elektromágneses erőterek, egészségi hatások, elektromágneses összeférhetőség, EMC, indukált testáramok, határértékek*

IRODALOM

- [1] European Commission DG. V. (1996) Public health and safety at work, Non-ionizing radiation, Sources, exposure and health effects; Brussels
- [2] ICNIRP (1998): Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz), Health Physics **74**, 494–521
- [3] COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC) Official Journal of the EU 30. 07. 1999
- [4] IEC Publication (1984) Effects of currents passing through the human body 479-1



Tudományos műhelyek

A VARÁZSTÜKÖRTŐL A SPIRÁLIS NANOCSSÖVEKIG

Bemutatkozik az MTA Műszaki Fizikai
és Anyagtudományi Kutatóintézete

Gyulai József

a MTA rendes tagja
gyulai@mfa.kfki.hu

Bársony István

a fizikai tudomány doktora
barsony@mfa.kfki.hu

Radnóczi György

a fizikai tudomány doktora
radnoczi@mfa.kfki.hu

Nevünk

Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete, vagy ahogy mi nevezünk, MTA MFA; az intézetkonszolidáció legnagyobb akciójával alakult ki a csillebércei KFKI-telephelyen, az újpesti MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete (MFKI, közkeletű nevén: MÜFI), valamint az egyik KFKI utódintézet, a KFKI Anyagtudományi Kutató Intézet (KFKI ATKI) egyesülésével.

Kik vagyunk?

Misszióink megfogalmazása

Mindkét elődintézet széles tudományfilozófiát vallott magáénak: a tevékenység a szilárdtestfizika, -kémia és az anyagtudomány határán mozgott, de elért az elektronikus eszközök kifejlesztése területére is. Az egyesült intézetre is ez jellemző; ezt mutatja az is, hogy az MTA két osztálya, a Műszaki Tudományok, valamint a Fizikai Tudományok Osztálya is felügyeli. Magunk nem szívesen állítunk fel sorrendet az osztályfelügyelet tekintetében: az adott kérdés, feladat dönti el, melyik osztálytól várjuk, várhatjuk a nagyobb figyelmet, megértést.

Misszióink röviden megfogalmazva így hangzik: anyagok, elsősorban „funkcioná-

lis” anyagok, szerkezetek interdiszciplináris kutatása, a fizikai-kémiai alapok tisztázása, a vizsgálati módszerek fejlesztése, az ismeretek alkalmazása funkcionális mikro- és nanotechnológiai szerkezeteken, rendszerszinten integrált eszközökön. Küldetésünk, hogy e tudást beépítsük a nemzetközi tudományba, vonzóvá tegyük és terjesszük a graduális, ill. a posztgraduális oktatásban, az ipari K+F-ben, különös figyelemmel a kis- és középvállalatok igényeire.

A modern, az EU által is elfogadott definíció szerint a *funkcionális anyagok, szerkezetek* olyan, akár soklépéses technológiával kialakított komplex rendszerek, amelyek valamilyen fizikai, kémiai, de akár biológiai *hatásra* megváltoztatják egy vagy több tulajdonságukat, vagy éppen ellenállnak e hatásoknak (ezt nevezzük „passzív” intelligenciának). Az „aktív” intelligencia esetében általában az a cél, hogy a hatás és az annak mértékét jelző tulajdonság *elektromos, optikai vagy más, integrált módon feldolgozható* jellel alakuljon. A komputer ugyanis az ilyen elektromos jelet tudja kezelni és a belé oltott intelligenciával feldolgozni, utána okos parancsokat adni valamilyen vezérlési (azaz szabályozási), adatbázis-kezelési, távközlési stb. műveletre. Ez

a program interdiszciplináris: a fizika, a kémia, illetőleg a mérnöki tudományok közül hol az egyikhez, hol a másikhoz közelít.

Hazánkban a funkcionális anyagok legfontosabbikának, az integrált áramköröknek a kutatása történetileg is háttérbe szorult a szakmát ért veszteségek (a Mikroelektronikai Vállalat 1985-ös tüzesete, az azt követő rövidlátó politikai döntések stb.) miatt. A hazai kutatók, köztük a most bemutatkozó intézet, ill. elődszervezetei folyamatosan próbálták az integrált áramköröket legalább részben pótolni. Meg voltak győződve arról, hogy a félvezetők a mikroelektronika kihagyhatatlan fokozatai. A részereső stratégiának köszönhető, hogy az új-régi intézet mára sikeresnek érezheti magát. Ennek – a később bemutatandó saját eredmények mellett – az is bizonyítéka, hogy a megszerzett tudást befektetve az intézetek munkatársaiból több, mára komoly nemzetközi sikereket elkönyvelő vállalat is alakult (Semilab Rt., Technoorg-Linda, Kraft Kft. stb.).

A kutatás iránya mindig is a fő irányvonalat követte, ott próbált helyt állni. A számunkra is hozzáférhető fő irányok:

- az energetika megújulása;
- az intelligencia és telekommunikáció beépítése (beleértve az élővilágból elesett trükköket is) az emberi élet minden területére, ami számunkra a szenzorika és a vezérlés forradalmát jelenti;
- az energetika egyik legfontosabb ágaként a világítás forradalma.

Ezek az egész emberiséget érintő forradalmak vezérlik az intézet politikáját is: igyekszünk a különleges anyagok szerkezeti, elektromos, mágneses, optikai tulajdonságainak kutatásában olyan mélységekig eljutni, hogy a megértésen, leíráson túl az egyes speciális anyagok alkalmazásait is megkeressük. Látókönyvünkben van a speciális szerkezeti anyagként vagy bevonatként való alkalmazás lehetősége (újszerű

kemény, kopásálló vagy akár fénykibocsátó rétegek), ill. új érzékelési elvek kutatása. Az energetikában a napenergia-elektromosság konverzió egyes kérdéseire megoldást kereső kutatásainkra sikerült jelentős anyagi erőket mozgósítanunk. Élvonalbeli laboratóriumokban és cégeknél készített mintákon is bizonyítjuk tudásunk magas színvonalát, tevékenységünk hasznos voltát. A legjobb modellnek azt tartjuk, ha e különleges szerkezeteket mi magunk is csúcsmintákban tudjuk elkészíteni. Ezért foglalkozunk kiemelten az anyagok atomi szintű átalakítására alkalmas módszerekkel, és működtetünk több költséges laboratóriumot, egyebek mellett a Közép-Kelet-Európában unikális, „minősített” légállapotú tiszta kutatólaboratóriumunkat.¹ Az intézetben folyó minden kutatás nagy számítástechnikai és telekommunikációs bázist, illetve ezt nyújtó együttműködést igényel. Nem kerüljük el kifejlesztett programjaink interdiszciplináris, pl. orvosi biológiai alkalmazását sem.

Honnan jöttünk? – Történetünk

A két intézet kutatói már 1993 táján tárgyaltak arról, milyen előnyökkel járna, ha a KFKI telephelyen egymás mellé költöznénk. Az akkori pénzügyi források nem voltak elegendőek egy ekkora akcióra, s az MFKI vezetése a földrajzi távolság miatt várható lemorzsolódást sem vállalta. Az MTA Konzolidációs Bizottsága átvágta a gordiuszi csomót: 1997-ben hozott döntése szerint a két intézetnek a KFKI telephelyén, 1998. január 1-jével egyesülnie kellett. Az

¹ A „tisztá” laboratóriumok légállapotát, egyébként stabilizált hőmérséklet és páratartalom esetén, a lebegő por mennyiségével jellemzik 10-es, 100-as, 1000-es „... tisztaságúnak. Ez azt jelenti, hogy fél mikrométernél, azaz egy fél baktérium méreténél nagyobb porszemek egyáltalán nem lehetnek a légtérben, a 0,2–0,5 μm mérettartományban legfeljebb 10, 100, 1000, ... porszemcse lehet köblábanként, azaz mintegy 30 liter légtérfogatban.

MFKI vezetésének eredeti aggálya, sajnos, valóra vált: a földrajzi távolság szinte automatikusan „megoldotta” az elvárt létszámcsökkentést azzal, hogy az MFKI-s segéd-erők szinte teljes létszámban a végkielégítéssel enyhített felmondást választották.

A konszolidáció koordinátori feladatának ellátására – mivel az egyesítés hosszú távú előnyeiről meg volt győződve, és a folyamat biztonságos levezénylésére nem látszott jobb megoldás – az ATKI akkori igazgatója, *Gyulai József* vállalkozott, azóta is ő vezeti az intézetet.

Az első egységek 1998 májusában tudtak költözni, így 1999-re létre lehetett hozni az új tudományos és gazdasági rendet. Az egyesülő kollektíva érettségét bizonyítja, és ezt a vezetési és a legnagyobb sikerének tekintik, hogy a kutatók már induláskor elfogadtak egy olyan szervezeti rendet, amely nemcsak „egymás mellé tette” a korábbi intézetek egységeit, hanem a jól működő csoportoknak szinergikus fejlődést elindító szervezeti környezetet teremtett. A szinergizmust segítette, hogy a két főosztály méretű „divízióban” keverten vannak főleg alapkutatókkal, ill. alkalmazásokba hajló kutatókkal foglalkozó részlegek. Azaz mindkét rész két lábon áll, amely konform a mai tudománypolitikával, és az intézet missziójából is ez következik.

Az intézet egységei

Félvezető és szenzorikai részleg (divízió) és osztályai: eszközfizikai (7 kutató), mikrotechnológiai és szenzorikai (9 kutató), vegyület-félvezetők (9 kutató), ionsugaras analitikai (11 kutató), magnetooptika (8 kutató), biomérnökség (4 kutató).

Szerkezetkutatási részleg (divízió) és osztályai: elméleti fizika, modellezés (7 kutató), nanoszerkezetek (6 kutató), vékonyréteg-fizika (14 kutató), vékonyréteg nanoszerkezetek (4 kutató), felületfizika (6 kutató), kerámia- és fémfizika (4 kutató).

Az intézet mintegy fél év alatt heverte ki a költözés közvetlen gondjait, és az 1999. évi teljesítmények felmérésekor a legtöbb részleg publikációs tevékenységén már alig lehetett észrevenni a kiesett időszakot.

Merre megyünk?

Az intézet tudományos tanácsában (elnöke korábban *Beleznay Ferenc*, jelenleg *Kádár György*) nem csak a DSc címmel rendelkező kollégáink tagok, de a tanács és a vezetés több hazai szaktekintély tagságából is profitál. Évente tartunk egy kétnapos ülést, ahol – az egyéni beszámolók összegzésével is – a témákról nyilvánosan beszámolnak. Az ezt követő zárt ülés hagyja jóvá a téma következő időszakra vonatkozó terveit. A jóváhagyás azt jelenti, hogy az intézet központosított kereteiből vállalja a téma infrastrukturális terheit.

Az intézet (korábban: az intézetek) eredményesen használta ki nemzetközi kapcsolatait. A rendszerváltozás után ugyanis oly mértékben éltek külkapcsolataink, hogy az elmúlt évtized során több mint harminc EU-projektbe hívták meg a kutatóinkat, szakmai iskoláinkat, és ezek – konzorciumok részeként – sikeresen teljesítették is a vállalt feladatokat.

Mindezt szárnypróbalgatásnak tekintjük, amelynek eredményességét mára az 5. keretprogramban elért – merész álmainkban sem remélt – sikeresség bizonyítja. Az intézet kutatócsoportjait az első menetben hat pályázatba hívták meg, és minden pályázat nyert. További három bírálati fázisban van.

Ehhez csatlakozik az Human Potential keretében elért, KFKI Campus-szintű siker, amely a telephely integráló erejét is jelzi. Négy telephelyi MTA-intézet kutatóegységeiből megalakult a *Kondenzált Anyagok Kutatóközpontja*, amelyet a Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet gesztorál, és amely az EU-tól Kiválósági Központ címet

nyert. Ez a cím elsősorban vendégkutatók meghívásának anyagi háttérét teremti meg, így nagy szerepe lehet abban, hogy a település új típusú campus-szá fejlődjön.

Ezzel a címmel, illetőleg általában az Európai Unió 5. keretprogramjainak indításával az MFA új korszakba lépett, és ez még inkább igaz ma, amikor a Nemzeti Kutatási Fejlesztési Programban az MFA nyolc nyertes pályázatban konzorciumi tag, és egy pályázatban vezető.

Az intézet súlypontjai láthatóan módosulnak abban az értelemben, hogy pl. szenzorikai eredményeinket igyekszünk teljes, a piac által értéktöbblettel honorált, rendszerszintű megoldásokig eljuttatni. Ennek sikerét is jelzi, hogy az informatikai IKTA pályázatokon is eredményesek voltunk négy elfogadott pályázati részvétellel. Ehhez csatlakozik három NATO Science for Peace projekt, ezek munkálataiban szintén jelentős feladataink vannak. A mintegy húsz nagy projekt teszi majd valódi próbára az intézet kutatógárdáját, a segítő műszaki és gazdasági részlegeket. Az intézet kutatói állományának egy része (a személyek tematikai szegregációja ritkán valósul meg és nem is feltétlenül kívánatos) a vállalt OTKA témákon is dolgozik, amelyekről a következő évek nagy projektjeinek megvalósítását várjuk, ill. amely kutatások növelik más, nemzetközi vagy hazai projektbe való bekapcsolódásunk esélyeit.

Az intézet irányfelmérésének is alkalmazkodóképességének is bizonyítéka, hogy bár a legtöbb nyertes pályázatunk az anyagtudomány témakörébe esik, jó néhány az információs társadalom, sőt az életminőség-egészség tárgykörébe sorolható. Van nyertes pályázatunk az emberi erőforrások területén is, amely az alapozó kutatásaink színvonalát jelzi.

E sikerekhez kapcsolódik, hogy több nagy nemzetközi konferencia rendezési jogát is megkaptuk. 2000-ben megrendez-

hattünk egy NATO Advanced Study Institute tanfolyamot a szén speciális módosulatairól. Hosszú évtizedekre visszanyúló implantációs kutatásainkat szintén tavaly érte az elismerés, hogy mindeddig mi lehettünk az egyetlen szakmai iskola, amely a téma mindhárom nemzetközi konferenciájának rendezési jogát megkapta az idők során.

2000-ben eljutottunk oda, hogy intézeti díjat tudtunk alapítani, amelynek három ága van: Intézeti Díj, amely az intézet érdekében kifejtett, kiemelkedő tevékenységet díjazza, valamint a Fiala Kutatói Díj és a Doktorandusz Díj.

A nyolcvan kutatóból negyvenhét főnek kandidátus/PhD fokozata van, tíz az MTA doktora, egy fő akadémikus – a többiek zömükben fiatalok... Azt is büszkén figyeljük, hogy további négy MTA doktori fokozat megszerzése van folyamatban.

Arról is örömmel beszélünk, hogy az intézet igen fontosnak tartja az oktatásban való részvételt. Nemcsak a BME-n és az ELTE-n oktatunk, hanem a Budapesti Műszaki Főiskolával, a Veszprémi Egyetemmel, valamint Debreceni Egyetemmel is vannak szoros, perszonáluniós kapcsolataink. Kihelyezett laboratóriumunk működik az ELTE TTK-n.

Az intézet szellemijog-védelmi politikája is bonyolult feladatot ró a vezetésre. A szabadalmaztatandó, azaz a bitorlás ellen védhető, ill. ténylegesen megvalósított eredmények száma nem nagy. A szabadalmaztatás költségei nagyok, tehát komoly mérlegelést igényel egy-egy bejelentés megtétele. A szabadalmaztatandó eredmények sokszorosát teszi ki a kodifikáltan nem védhető, de őrzendő szaktudás, amelynek megtartása fontos jövedelempolitikai feladat.

Az intézet rendkívül sokat köszönhet a tudományos és a gazdasági apparátus példászerű együttműködésének, amely-

ben nem csak a „ki kit szolgál” viszonylatokat tartjuk példaszzerűnek, de a rendkívüli hatékonyságot is, ahogy a gazdasági igazgató, *Somogyi Istvánné* és csapata intézi egyre bonyolultabb pénzügyeinket. Segítségükkel, segítségével – hisszük – már professzionális szinten tudunk pályázni. Sőt, a gazdasági igazgatónk nem egy projekt ötletét, lehetőségét hozta a falakon belültre.

Tallózás legújabb eredményeink között

Az egyesülés után kialakított intézeti szerkezetben a *Félvezető és Optikai Részleg* (vezetője: *Bársony István*, DSc) vállalta fel azokat a kísérleti jellegű kutatási feladatokat, amelyek több szállal kötődnek a gyakorlathoz. Az általánosan elfogadott stratégia szerint a témaválasztásban érvényesítjük azt az elvet, hogy már az alapkutatói fázisban is szemmel tartjuk az eredmények majdani gyakorlati hasznosításának lehetőségét, ill. alapkutatói eszközeinket részben a gyakorlati megvalósítás során fellépő problémák megoldására vesszük igénybe.

Több éves tapasztalatunk, hogy a nemzetközi tudományos kutatási együttműködésben csak az válhat kívánatos, netán nélkülözhetetlen partnerré, aki valami olyat tud nyújtani egy nemzetközi konzorciumban – legyen az mégoly szűk területen, önmagában esetleg korlátozott lehetőség is –, ami unikális, máshol nem hozzáférhető. E felismerésből adódik az a mai hazai viszonyaink között reális következtetés, hogy amíg nem sikerül a legkorszerűbb egyedi vizsgálati módszerekkel felszerelkeznünk, addig elsősorban a mintapreparáció és a speciális, múltunkból is következő, metodikai tudásra épülő minősítésvizsgálatok területén számíthatunk olyan eredményekre, amelyek a komplex kutatásokban partnerségre predesztinálnak bennünket.

Így határoztuk meg a divízióban a két fő integráló kutatási irányvonalat: a szenzorrelvek kutatását és a roncsolásmentes

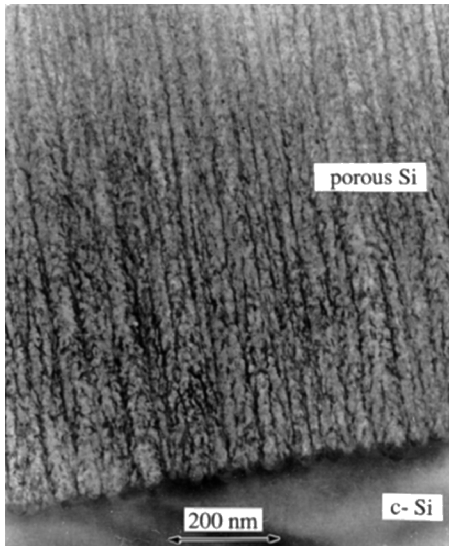
anyagvizsgálat egyes módszereit. Mindkét irányzat átfogja a teljes innovációs láncot az alapkutatótól a rendszerszintű megvalósításig, és igazi interdiszciplináris kutatást igényel. Ez szükségessé teszi mind az intézetben belüli kooperációt, mind a hazai kutatóhelyekkel, ill. nemzetközi szinten az intenzív együttműködést. Ez nemcsak szakmai kényszer, hanem a finanszírozhatóság alapfeltétele is, és a kutatás megszervezésétől, a hazai és külföldi iparvállalatok bevonásával a hasznosulásig terjed. Célunk a kutatás során kifejlesztett know-how jogvédelme és későbbi ipari hasznosítása, ami pótlólagos források előteremtésére is módot ad. A nyitott, kooperatív kutatói hozzáállás mellett – a kutatói szabadság ésszerű mértékét érvényesítve – ez igen nagy szervezési munkát igényel. Mindez nagyban segíti az intézet sokoldalú erősítését, a mindenkori körülményekhez, a gazdasági–finanszírozási lehetőségekhez igazodó, koherens és korszerű kutatási profil kialakítását.

A divízió jelentősen hozzájárult a graduális és posztgraduális képzés intézeti prioritásához: jelenleg is tíz PhD-kutatást támogatunk, zömmel intézeti forrásból előteremtve a hallgatók ösztöndíját. Csaknem minden kutatás nemzetközi kooperáció része, így a hallgatók a képzés idején hosszabb külföldi kutatómunkán vesznek részt. Rendszeresen oktató kollégáink jelenléte az oktatási intézményekben fontos eszköz a kutatói utánpótlás toborzásában.

A Mikrotechnológiai és Szenzorikai Osztályon, *Dücső Csaba* vezetése mellett működik hazánkban az egyetlen félvezetőtechnológiai célú, minősített, 100-, ill. 10000-osztályú tiszta labor, amelyet a – hazánkban ugyancsak egyetlen – maszkgyártó sor egészít ki. A 75, ill. 100 mm átmérőjű szilíciumszeletek megmunkálására alkalmas manuális megmunkáló sor ugyan csak korlátozott laterális mérettartományú (>1 μ m)

szerkezetek megvalósítását teszi lehetővé, az utóbbi évek sikeres pályázatai révén azonban több, általában másodkézből vásárolt kulcsberendezéssel sikerült a labor alkalmassá tenni az előttünk álló *mikro-rendszer-fejlesztési* feladatokra.

Pillanatnyilag elsősorban a szilícium egy mesterséges, nanoméretű oszlopokból álló módosulatán, a *pórusos szilíciumon* (1. ábra) alapuló szerkezetek kutatása a fő cél.



1. ábra • Pórusos szilícium keresztmetszeti elektronmikroszkópos képe. Az „önszerveződéssel” kialakuló, nanoméretű szabályos oszlopokból álló alakzat a makrovilágban ismeretlen mechanizmussal bocsát ki látható fényt.

A szilíciumnak talán egyetlen hátránya van: nem lehet belőle pl. lézerszerű fénykibocsátó elemeket készíteni. A tudományos közvélemény első lelkesezésében néhány éve azt várta, hogy a nanoméretű pórusos szilíciumréteg az ún. kvantumos méreteffektusok révén mégis képes optikai adatfeldolgozási feladatok elvégzésére. A kezdeti eufória nem volt teljesen megalapozott, az ilyen eszközök élet-

tartama ugyanis korlátozott, de a kutatás még indokolt, sőt egészen más fontos alkalmazások ötlete merült fel.

A részleg a kvantumos méreteffektusok (fényemisszió) és a mechanizmusok vizsgálatával foglalkozik a pórusos szilíciumnak ún. mikrogépészeti eljárások és alkalmazások (nyomás és áramlásmérés) elemeként való felhasználásával. Továbbá az óriási fajlagos felület tulajdonságainak hasznosításán alapuló integrált érzékelők (gáz, nedvesség) kutatásával, a nanoszerkezetű réteg optikai tulajdonságain alapuló alkalmazások kutatásával, elsősorban bioszenzorok területén.

A megújuló energiaforrások közül a labor perspektivikus területe – kiterjedt nemzetközi K+F kooperációban – a kristályos szilícium és vékonyréteg napelemek technológiai kulcslépéseinek kutatása. A különféle elveken működő (piezorezisztív, ill. kapacitív) nyomásmérők kutatása és fejlesztése ipari partnereinknél már termék formájában is hasznosult. Ugyancsak fontos kutatási téma és egyben bevételi forrás a felületi hullámszűrők kutatása és fejlesztése, illetve közepes darabszámú reprodukciója. Az első EU 5. keretprogram pályázatunk eredményességébe belejátszott, hogy pórusos szilíciumot alkalmazunk egy mikrogépészeti úton előállított gázérzékelőben. A mesterséges szaglás (pl. kábítószertekdetektálást) célzó eszköz egy érzékelő rendszert fejleszt ki, amelynek egyes érzékelői más és más gázra érzékenyek. A biológiai érzékelőkhöz képest a rendszertünknek az az előnye, hogy magas hőmérsékletű kémiai reakciókban is tudjuk használni a létező legkisebb elektromos fűtőtestre telepített katalitikus érzékelőkkel.

A mikrotechnológiai laboratórium fenntartása tetemes költségekkel jár, tevékenysége azonban meghatározó az intézet profiljában. A minta-preparációs lehetőségek ugyanis nélkülözhetetlenek mind a

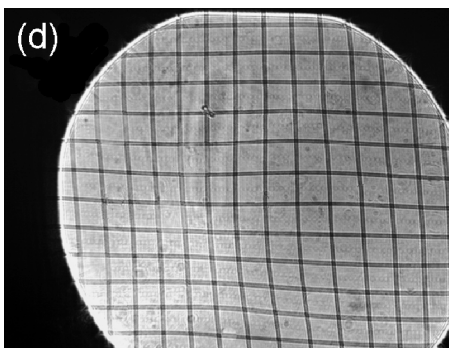
jelenségorientált, ill. metodikafejlesztést célzó alapkutatási csoportjaink, mind hazai külső partnereink számára is. A profil fenti kialakításával szerencsésen ötvöződik az élenjáró kutatás lehetősége a fenntartás finanszírozását támogató külső kooperációs tevékenységgel.

Az MFKI telephelyváltása néhány, csak gazdaságtalanul bontható, ill. telepíthető technika megszüntetését is ránk kényszerítette. Az átköltöztetett metodikákat igyekeztünk továbbfejlesztett formában telepíteni. Ez sikeres volt pl. a vegyület-félvezető optoelektronikai eszközök előállítására alkalmas folyadékfázisú epitaxiás technológiával, amely ma a *Serényi Miklós* által vezetett Vegyület-félvezető Osztály témáit, projektjeit szolgálja.

Az infravörös tartományban fényt (akár lézert fényt) kibocsátó, többkomponensű félvezető rétegszerkezetek előállítása az ún. sáv szerkezet-beállításnak egyszerű eszközökkel elért csúcsteljesítménye, amely a bonyolult fázisdiagramok helyi kutatási eredményeire épül. Az 1,1-1,8 μm tartományban emittáló eszközök (ún. LED és lézert dióda) elsősorban spektroszkópiai, mikroanalitikai alkalmazások céljaira készülnek. Kilenc LED kifejlesztésére volt szükség, hogy az említett tartomány valamennyi hullámhosszán működő, miniatűr spektrométert lehessen építeni. A labor tevékenységét szervesen egészítik ki a minősítést és alkalmazást szolgáló optikai vizsgálatok, ill. a kvantum jelenségek (kétdimenziós elektrongáz) hasznosításának elméleti háttér adó alapkutatások.

Mindkét technológiai laboratórium munkájához szorosan kötődik a *Szentpáli Béla* vezette Eszközfizikai Osztály tevékenysége. A szinte teljes elektromos eszközminősítést tág hőmérsékleti (4K–500K) és frekvenciatartományban (egyenáramú módszerektől a 2 GHz tartományig) lehetővé tevő eszközpark és a szakmai háttér

az intézeten belüli kooperáció nélkülözhetetlen eszköze. Az MFKI korábban súlyponti fontosságú, mikrohullámú eszköz kutatásának eredményei ma nemzetközi projektekből is hasznosulnak, egyebek között a mobil telefonía okozta esetleges élettani károsodás és általában az elektromágneses környezetszennyezés (elektroszmog) vizsgálatánál. Az osztály friss eredménye, amely a 30 cm átmérőjű Si szeleteknek a világ iparában való bevezetésével felértékelődni látszik, azaz máris van külföldi partner annak megvalósítására. Ez az ún. *Makyoh*, a „keleti varázstükör”, amely vizsgálati eljárásaként az óriás szeletek kis mértékű mechanikai deformációit teszi láthatóvá, kvantitatíven kiértékelhetővé (2. ábra).



2. ábra • A keleti varázstükör (Makyoh) technikával láthatóvá tett deformációk szilíciumszeleten

Az intézet tudományos profiljának fejlődésében meghatározó szerepet töltött be az elmúlt évtizedekben az ionsugarak használatára épülő kutatási iskola, amely az ionimplantáció széleskörű alkalmazásán (félvezető adalékolás, felületmódosítás, ionsugaras szintézis stb.) túl ma a KFKI Rézszecke- és Magfizikai Kutató Intézetrel közösen használt 4,5 MeV-os Van de Graaff-gyorsítón végzett ionsugaras analízisig terjed. A *James W. Mayer* (USA) és a *Gyulai József* vezette csoport több évtize-

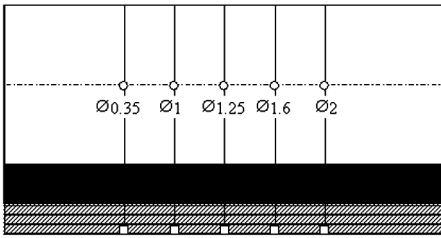
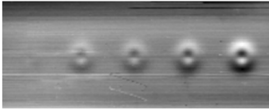
des együttműködése adta a sikerek gerincét, pl. együtt találtak fel a félvezetőiparban általánosan használt implantációs trükköket. Az így szerzett tapasztalatok ma a mikrorendszerek fejlesztésében, a legkülönbözőbb, nanotechnológiai irányban folytatott kutatási kezdeményezésekben, ill. metodikai fejlesztésekben hasznosulnak, és ez az intézet nemzetközi kutatási együttműködéseinek ma is egyik kulcseleme. A hagyományos ionsugaras analitika témában – beleértve a ma is intenzív metodikai kutatásokat – munkatársaink: *N. Q. Khanh* és *Battistig Gábor* szoros együttműködésben dolgoznak az RMKI kutatóival, *Pásztai Ferencel*, *Szilágyi Edittel* és *Kótai Endrével*.

Mára az Ionsugaras Analitika Osztályon a súlypontot a *Lohner Tivadar*, ill. hajdani doktorandusza, *Fried Miklós* munkássága nyomán kifejlesztett, rendkívül sikeres kutatási terület adja. Ez az ellipszometria néven régóta ismert optikai jelenség újszerű alkalmazása, amely valódi roncsolásmentességének és nem szennyező voltának köszönhetően napjainkban nélkülözhetetlen vizsgálati módszerre vált a félvezetőiparban. A módszer a vizsgálandó rétegszerkezetre eső fénysugár polarizációs állapotának változásaiból következtet – pl. neurális hálózatok néven ismert számítástechnikai módszerekkel – a határfelületek, vékonyrétegszerkezetek szerkezetére, az egyes rétegek vastagságára, összetételére, homogenitására stb. Az ionsugaras anyagvizsgálati módszerekre alapozva tudunk kezdetben olyan adatbázisokat kifejleszteni, amelyek bizonyították a módszernek az ionimplantált rétegek minősítésére való alkalmasságát. Adekvát modellek kifejlesztésével és valós idejű kiértékelésével bizonyítottuk továbbá, hogy az ellipszometria a rétegnövesztési és rétegeltávolítási műveletek in situ és in line ellenőrzését is lehetővé teszi, sőt, reméljük, hogy munkánk révén is a folyamatvezérlés alapvető bemenő adatait

szolgáltatni képes eszközzé válik. Ma, amikor a hagyományos mikroelektronika a miniatürizáció határait döntögeti, a vizsgálati módszereknek óriási kihívásnak kell eleget tenniük.

Az Intézet néhai jogelődjében, a Mikroelektronikai Kutató Intézetben a mágneses buborékmemória fejlesztéséhez kapcsolódva tekintélyes kristálynövesztési és -minősítési tapasztalat halmozódott fel. A magas olvadáspontú oxidkristályok, gránátok növesztése azonban a kutatási igények csökkenése és az olcsó ázsiai konkurencia megjelenése miatt, továbbá működtető szakemberek híján, a régi berendezéseken nem volt folytatható. Ebből a kultúrából a folyadékfázisú epitaxiás növesztés technológiai bázisát tartottuk fenn, ami a *Vértsey Gábor* vezette Magnetooptikai Osztály alapvetési és kooperációs lehetőségeinek egyik alapja. Ezzel párhuzamosan alakult ki az osztály saját fejlesztésű FLUX-GATE fémüveg-magos, lineáris mágneses érzékelő szonda, ill. műszer szabadalmára épülő, igen sikeres *roncsolásmentes anyagvizsgálati profil*. A nagy laterális felbontással végrehajtott örvényáram-analízis a fém alkatrészekben (hegesztési varratokban, nyomástartályokban stb.) nemcsak a mikrorepedéseknek akár a hátoldalról történő pontos lokalizálására, méretének meghatározására alkalmas, hanem újabb kutatásaink szerint kritikus helyzetekben a mágneses inhomogenitások pontos fel térképezése révén *az anyagfáradás kvantitatív jellemzésére* is (3. abra).

Az osztály másik fontos tevékenysége *Eördögh Imre* irányításával a szintén saját fejlesztésű VIRGINIA program képfeldolgozó lehetőségeinek sokoldalú kihasználására épül. A hardver- és szoftverfejlesztések eredménye egy tetszőleges képalkotó eljárással (az elektronmikroszkópiától a csillagászatig) és hullámhossztartományban felvett képi információ automatikus



3. ábra • Fémek hibáinak felderítése roncsolásmentes örvényáramú vizsgálattal. A hibák, induló repedések, fáradások alakítják az áramok keltette mágneses teret, amelyet az érzékeny szondánk érzékel, a képfeldolgozó rendszer megjelenít. Az ábrán a hibákat furatok helyettesítik. Látható, hogy a tartályanyag vastagságának 30 %-át kitevő és kis méretű hibák is jól kivehetők a hátoldaltól – azaz egy belső repedés kívülről is felderíthető.

tömörítésére, statisztikus, kvantitatív jellemzésére alkalmas, testre szabott rendszer. Az anyagvizsgálattól a gyártásellenőrzésen át a biológiai minták analíziséig, az automatikus mozgás-monitorozásig számos K+F, ipari, orvosi és speciális alkalmazásban aratott sikert, ez az Intézet perspektívus gazdasági együttműködési kezdeményezéseinek egyik fontos alapja.

Az Intézet által tudatosan vállalt interdiszciplináris kutatás jegyében a divízióban működik *Kozmann György* vezetésével a Biomérnöki Osztály. A Veszprémi Egyetem Informatikai Karával karöltve itt folyó kutatások alapján véve illeszkednek a roncsolásmentes anyagvizsgálati vonalba, hiszen a testfelszíni potenciáltérképek alapján, megfelelő modellek kifejlesztésével, nem invazív módon, korai stádiumban teszük lehetővé az ún. hirtelen szívhalál potenciális veszélyének felderítését. A kiterjedt hazai és nemzetközi együttműködésben kutatott másik fontos irányzat a 24 órás orvosi megfigyelés lehetőségén alapuló, a modern informatika eszközeit felhasználó távgyógyászat.

Az elmúlt három év tudományos teljesítménye jogosít fel bennünket arra, hogy hasonló ütemű fejlődéssel számoljunk a jövőben is. Nem utolsósorban ez indította az Intézet vezetését arra, hogy az év folyamán önként vállalja az ISO 9001:2000 megmértetéssel járó feladatokat, ami a tevékenységünk jobb szervezetségét, átláthatóságát hivatott szolgálni. Az ISO szabványok betartásával a külső – beleértve pl. az EU-t is – megítélésünk, partneri kapcsolataink erősödését reméljük. A kutatómunka műszaki támogatását egy mechanikai és elektronikus műhely, informatikai háttérrel pedig a számítógép-hálózatot üzemeltető informatikai csoport adja.

Az új intézetnek a *fizikai anyagtudománnyal, szerkezetkutatással foglalkozó részlege* (vezetője: *Radnóczy György*, DSc) is a két intézet (MFKI és ATKI) kutatócsoportjaiból jött létre. E csoportok komplexebb eszközök birtokában voltak, így tematikáik is különböztek. Fő közös vonásuk az volt, hogy kutatásaikat az anyag szerkezetének és fizikai tulajdonságainak kapcsolatára alapozták, a szerkezetet tekintve elsődlegesnek. Szerkezet alatt értünk ebben az esetben minden rendet (és rendezetlenséget) az atomi méretekől a makroszkopikus méretekig. Kutatásaik kiterjedtek a kristályos és amorf, az egykristály vagy polikristály, a texturált vagy rendezetlen szemcsék, különböző kristályhibák és azok csoportjai vizsgálatára, valamint a határfelületek: a fázis- és szemcsehatárok, külső felületek szerkezetére, az atomi elrendeződés és kémiai összetétel, a kémiai kötések kérdéseire.

A részleg meghatározóan a kísérleti anyagtudomány területén dolgozik. A hat

tudományos osztályból öt egyértelműen kísérleti tevékenységet folytat. A problémák megközelítése inkább alapkutatás, mint alkalmazás jellegű, de egyik irány sem zárólagos. A jelenlegi részleg igen erősen a korábban, az előd-intézetekben kialakult kutatási területekre épült, és épül ma is. A gyors koncepcióváltást az eszközpark lehetőségei sem támogatják. A konszolidáció során megcélzott szinergikus hangsúlyeltolódások azonban máris létrejöttek.

Jelenlegi anyagtudományi kutatásaink átfogják a dimenzióskála egész terjedelmét, a tömbi anyagoktól a gyakorlatilag egydimenziós (pontoszerűnek) tekinthető klaszterekig, illetve az elméleti modellekig.

A tömbi rendszerek (3D rendszerek) kutatásában a részleg az igen sikeres és elismert MFKI-s volfrámos hagyomány talaján áll. A kutatási potenciál azonban a néhány évvel ezelőtől kezdve jelentősen csökkent, ennek elsősorban a fiatal munkatársak hiánya és az idősek nyugdíjba vonulása az oka. Az általunk vizsgált 3D rendszerek: a szilícium-nitrid-kerámiák, a magas olvadáspontú fémek, nyitott szerkezetű volfrámoxidok.

Ma e terület legsikeresebb irányzatának a Kerámia- és Fémfizikai Kutatások Osztályán *Arató Péter* vezetésével folyó munkát tekinthetjük. A szilícium-nitrid alapú kerámiák kutatása és a kis méretű kerámiatesetek előállítása csak olyan különleges berendezéssel valósítható meg, amely magas hőmérsékletű és nagy nyomású szinterelést tesz lehetővé. Az összetétel, az előállítás paraméterei, a kialakuló szerkezet és a mechanikai tulajdonságok kapcsolatrendszerének egyes problémáit tisztázva képesek vagyunk nagy szilárdságú és magas hőállóságú kerámiatesetek gyártására, amelyeket pl. a GE gyárai szerszámként alkalmaznak nagy mechanikus és termikus igénybevételnek kitett területeken. A kis létszámú téma a gyártás miatt inkább kivé-

tel, de példát ad arra, hogy a kutatási eredmények alkalmanként a termék szintjére is eljutnak.

Ugyanebben az anyagcsoportban (3D) foglalkozunk volfrám- és molibdénhuzalok hőkezelés során fellépő átalakulásaival, beleértve az oxigén szegregációját, illetve oxigén és kálium koszegregációját a szemcsehatárokon. Kis szögű neutronsórással vizsgáljuk a huzalokban levő elnyújtott második fázisok darabolódását.

Már abbahagytuk a nyitott szerkezetű volfrámoxidok és oxidhidrátok keletkezésének és átalakulásának kutatását. Nem folytatjuk az MFKI-ban korábban művelt hidrometallurgiai (a fényforrásgyártáshoz kapcsolódó kémiai, környezetkémiai) kutatásainkat és fejlesztéseinket sem, és a volfrámhuzalok kutatásának intenzitása is jelentősen csökkent. *Gaál István* révén azonban fontos szereplői vagyunk a Deuterium Lamp Standard EU 5. KP konzorciumnak, ahol a katódok vizsgálata a fő feladatunk.

A kétdimenziós (2D) anyagrendszerek körébe a vékonyréteg- és felületfizikai kutatások tartoznak. Ma ez a témakör a részleg legjelentősebb kutatási potenciálja. A kutatómunka három osztályon (a Vékonyréteg-fizikai, a Felületfizikai és a Vékonyréteg nanorendszerek Kutatócsoportban) folyik, amelyek egymással szoros együttműködésben dolgoznak. A munka itt elsősorban alapkutatás jellegű, de a hármas feladat (kutatás, műszeres és szakmai szolgáltatás, oktatás) vállalása mégis jellemző, ennek köszönhető, hogy a részleg kutatói négy EU 5. KP programban, több esetben multinacionális cégek partnereiként vesznek részt. Adott esetben a gyakorlati feladatok megoldásától sem zárkoznak el.

A *Pócza Jenő–Barna Péter–Barna Árpád*-féle vékonyréteg iskola, amelyet ma már többek, pl. *Radnóci György, Lábár János, Pécz Béla* neve is fémjelez, szintén

klasszikus egysége az egyesült intézetnek. A fő kutatási terület ma is a fém- és félvezető vékonyrétegek kialakulásának, kristályhibáinak tanulmányozása, a súlypont az amorf, polikristályos és egykristály rendszerek, modellanyagok (Si, Ge, Au, Cu, Al) és új, alkalmazásra váró anyagok családjainak (GaN, SiC, szén-nitrid) kutatása. E hagyományos területen jelentős előrelépés, hogy – pályázati sikerként – egy új, nagy felbontású elektronmikroszkópot helyezünk üzembe, amely a régió legjobb ilyen típusú berendezése lesz.

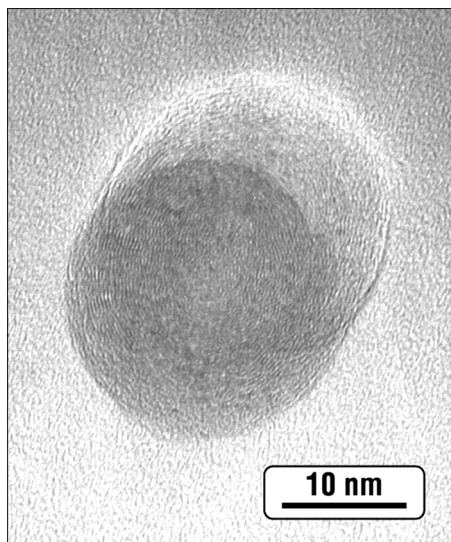
Eredményeinket két példával szemléltetjük: a 4. ábrán egy nanoalakzat keletkezését mutatjuk be, amelyet ionimplantálással készítettünk: gyémántban sikerült szilícium-karbid kristályt létrehozni. Az 5. ábrán egy sok falú, szén-nitrid hengert mutatunk be nagy felbontású elektronmikroszkópos felvételen.



4. ábra • Szilíciumionok implantálásával gyémántban létrehozott kristályos, rendezett szilíciumkarbid szemcse (Pécz B. és Forschungszentrum, Rossendorf)

Vizsgáljuk a kialakított struktúrák fejlődésének és átalakulásának törvényszerűségeit a termikus stabilitás, szennyezők, adalékok hatásának, szilárd fázisú reakciók és fázisátalakulások kinetikájának, az ionbombázás hatásának kérdéseit. A kutatók célja a kis méretű rendszerekben vagy atomi méretekben lokálisan lejátszódó

jelenségek leírása, modellezése és megmagyarázása. A rendelkezésre álló vizsgálati módszerek a transzmissziós (TEM) és pásztázó elektronmikroszkópia (PEM), az Auger-elektron spektroszkópia (AES), az ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis), az elektrondiffrakció és a röntgendiffrakció. Ezekből sajnos több is modernizálásra szorulna. A kutatómunka alkalmazásaként elsősorban a módszertani és az anyagismereten alapuló szolgáltatás (kutatás, mérés), ill. az egyetemi oktatás jön szóba. Jelentős a publikációs tevékenység.



5. ábra • Ferde henger alakú szén-nitrid szemcse szintézisét bemutató nagy felbontású elektronmikroszkópos felvétel. Ez az anyag nemcsak mint eddig ismeretlen szénvegyület, de mint különleges (kemény vagy éppen lágy, ill. kis sűrűdást biztosító) bevonat is érdekessé válhat. (Radnóci Gy.)

A TEM és AES mintaelőkészítés területén nemzetközi mércével mérve is figyelemreméltó módszertani fejlesztés folyik. A minták ionsugaras megmunkálására a Pécz Béla vezette Vékonyréteg-fizikai,

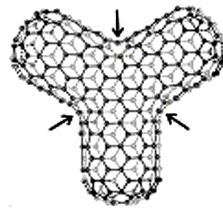
valamint a *Menyhárd Miklós* vezette Felületfizikai Osztályon kifejlesztett berendezések (*Barna Árpád* konstrukciója) már a nemzetközi piacon is bizonyították életképességüket. E berendezéseket külső cég (Technoorg Linda, Budapest) gyártja, Japántól az USA-ig található belőlük igényes elektronmikroszkópos laboratóriumokban (pl. Oxford, Berkeley, Jülich, Grenoble, Tokió). A korábban szokásos ionenergiák esetén az eltávolítás a visszamaradó anyagban károsodott (amorf) réteg létrejöttét okozza, amely hibát okozhat az analízisben. A Barna Árpád-féle ágyú mindössze néhány száz volt feszültséggel gyorsított ionokat használva, roncsolásmentesen távolítja el a réteget. (Az egyedi technikai kunszt, azaz a szabadság tárgya az, hogy miként lehet megvalósítani ilyen kis energián is használható áramot adó ionágyút.)

A megmunkáló ionágyú finommechanikai szempontból is figyelemre méltó, annak segítségével a Felületfizikai Osztály az AES módszer mélységi felbontásában mindenkit maga mögé utasított. A Barna Árpád-féle ionsugaras vékonyító ionágyú ultravákuumú változatát Auger-spektrométerbe beépítve, az AES mélységfüggő kémiai analízisében egyedülálló felbontást sikerült elérni. A felbontóképesség révén a mágneses lemezkiolvasó fejek gyártásának technológiai fejlesztéséhez tudtak hozzájárulni azzal, hogy kimutatták: a mindössze két-két atomi vastagságú réz- és kobaltréteg hőkezelésre szétválak.

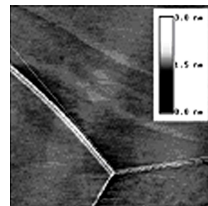
Az egydimenziós (1D) és nulladimenziós (0D) rendszerek is fontos területei a részleg kutatásainak. Az 1D rendszerek, pl. a szén nanocsövek különleges geometriai, mechanikai és elektronikus tulajdonságúak. A szén nanoszerkezetek vizsgálatával foglalkozó csoport (Nanoszerkezetek Osztály, *Bíró László Péter* vezetésével) elsősorban a pásztázó alagútmikroszkópia és a hozzá tartozó alagút-spektroszkópia

módszerét alkalmazva a szén nanocsövek jellemzésével, új növesztési eljárások kidolgozásával, valamint a nanocsövek szelektív nukleációjának kérdésével foglalkozik. A munka jelentős része a NANOCOMP 5. keretprogram témában folyik. E csoport egyre több közös tevékenységi területet talál a vékonyréteg- és felületfizikai kutatásokkal is.

Két eredményt mutatunk be, amelyekből megítélhető a kutatások színvonala. Elsőként állítottak elő Y-alakban elágazó, egyfalú nanocsöveket, valamint a NANOCOMP keretében sikerült spirális alakú, szintén egyfalú nanocsöveket előállítaniuk. (6–7. ábra).



6. ábra • A G. E. Scuseria által elméleti számítások alapján 1992-ben felállított szerkezeti modell. A hatszögekből álló szerkezetbe a nyilakkal jelzett helyeken egy-egy hétszögpáros épül be, ezek hozzák létre az elágazást. (G. E. Scuseria engedélyével)



7. ábra • Fullerén bomlása útján grafiton növesztett, Y-alakú szén nanocső pásztázó alagútmikroszkópos felvételen. A 121° szöget bezáró csövek átmérője kisebb, mint a milliméter százvezred része.

A 0D rendszerek területén fém (Pt, Cu, Au, Pd) klaszterek (pl. katalizátorok) elektronikai és kémiai állapotait kutatjuk az

ESCA és TEM módszereivel. E kutatások kezdeményezője *Pető Gábor*. A kutatások célja a kis méretből következő fizikai hatások, méreteffektusok vizsgálata. Az ún. önszerveződő rendszerek kutatása során például 800 C-fokos hőkezelés hatására erbi-um-szilicid réteget sikerült kialakítani szilíciumkristály felszínén.

Az elméleti kutatások (vezetője Szabó György) az Ising típusú rácsmodellekkel leírható rendeződési jelenségek számítógépes és elméleti vizsgálata köré koncentrálnak. Korábban a különböző anyagokban (pl. szuperionos vezetőkben és alkáli-fulleridekben) megfigyelhető atomi rendeződések, ill. fázisdiagramok értelmezésével foglalkoztak. Az elektromos tér rendeződésre gyakorolt hatásának vizsgálata során a nem egyensúlyi folyamatok tanulmányozása került előtérbe. A kidolgozott és továbbfejlesztett módszerek hasznosnak bizonyultak a dinamikus rendszerekben megfigyelt jelenségek leírásánál is, ezért egyre nagyobb figyelmet fordítottak a konkrét rendszerek viselkedésében megmutató univerzális tulajdonságok tanulmányozására, illetve azoknak a körülményeknek a tisztázására, amelyek az univerzálístól eltérő viselkedést eredményezhetnek. Az utóbbi években a statisztikus fizika módszereinek alkalmazása rohamosan bővül a biológia, a közgazdaságtan és a viselkedéskutatás területein. E folyamattal lépést tartva az elméleti csoport tagjai különböző evolúciós játékelméleti modellekkel vizsgálják a térbeli hatások, a mintázatképződés és a fluktuációk hatását az önzetlen magatartás evolúciós kialakulásában. E vizsgálatok számos olyan kérdést vetnek fel, amelyek segítik a statisztikus fizikai módszerek továbbfejlesztését és a természeti törvények mélyebb megértését. E kutatásokat nemrég választotta ki az American Institute of Physics a *Physics News Update*-ben való ismertetésre. (A röntgenho-

lográfia után most először fordult elő, hogy itthon végzett fizikai kutatások e kitüntetésben részesültek.)

A különböző tudományterületek egyre szorosabb összefonódására egy másik példa lehet az a kutatói pálya, amely a kristálynövesztés öntanuló (adaptív) szabályozó rendszerének kidolgozásától indulva eljutott egy olyan öntanuló zajszűrő rendszer kidolgozásáig, amellyel a Bartók és Kodály által gyűjtött recsegő-ropogó gramofonfelvételekből ki lehetett szűrni a megmentésre szánt népzenei dallamokat. E munka folyamán kerültek felszínre azok a ma kitöltött kérdések, amelyek a népzenei variációk dallamtérbeli klaszterképződése és ősi dallamaink (kotta nélküli) megőrzése közötti kapcsolatra vonatkoznak.

Végezetül hadd hívjuk meg a Tisztelt Olvasót a honlapunkon (<http://www.mfa.kfki.hu/>) teendő kirándulásra, ahol további illusztrációkat és eredményeket talál.

Utószó

Az ismertető 2001 elején íródott, lapzártáig az MFA sikeres pályázatainak (korántsem teljes) sora a következőképpen változott:

Hazai finanszírozású témák

- *OMNKFP (1+9): Nanotechnológia* (konzorciumvezető, KV); konzorciumi tagok: *Napelemtechnológiai innovációs centrum* (KV: KRAFT Rt.), *Gépjármű kisülőlámpa* (KV: GE Lighting), *Környezetbarát nagyintenzitású kisülőlámpák* (KV: GE Lighting), *Járműipari kompozit fékanyagok* (KV: ME, célvállalat: Knorr-Bremse), *Érzékelő számítógépek és a távjelenlét* (KV: SzTAKI), *Hipertónia telemedicinális gondozása* (KV: Tensiomed), *Költséghatékony egészségmegőrzés* (KV: VE Info. Kar), *Hosszú élettartamú humán-ízületi protézisek* (KV KKK, cél: Protetim Rt.), *Különleges tulajdonságú nanoszerkezetű*

bevonatok fejlesztése környezetbarát felületmódosító eljárásokkal (KV: KKK)

- OM IKTA és Környezetvédelem (5): Terapi mozgó és álló tárgyak felismerése (a HM-mel), Heterogén számítógépi rendszerek összekapcsolása, Testre szabott on-line tartalomszűrés (partnerekkel), Digitális képpalkotó spektroellipszometria (az SZFKI-val), Korszerű, nagy hatásfokú hidrogénalapú energiatároló (az Accu-sealed Kft.-vel), Integrált gázérzékelők fejlesztése kommunális hulladékok monitorozására (a Weszta-T Kft.-vel).

- Az OM Nagyberendezés Pályázaton két nagyjértékű eszközt nyert el az intézet: nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkóp (üzembe helyezve 2001 december), valamint a most induló, nanotechnológiai megmunkáló állomás (a tendert a Zeiss-Leo cég nyerte el).

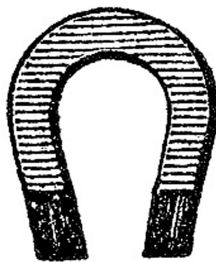
Nemzetközi pályázatok

Az EU 5. Keretprogramban (10, nemzetközi konzorciumok részeként): a Kondenzált Rendszerek Kutatóközpont részeként két téma folyik, (Centre of Excellence az SZFKI-val), Large scale synthesis and char-

acterization of carbon nanotubes and their composite materials, Sensor Array for Fast Explosion-Proof Gas Monitoring, Deuterium Lamp Standard, European Sources for Nitride Materials, New nanocomposite-based wear resistant and self-lubricating PVD coatings for future applications in tools and components, Advanced Dry Processes For Low Cost, Thin Multicrystalline Silicon Solar Cell Technology-target Action I., Front-End Models for Silicon Future Technology – EAST), Non-destructive Characterisation of Ferroelectric CVD-Layers for Memory Applications, New Fullerene-like materials.

- NATO Science for Peace: Opto-electronic devices based on the protein bacteriorhodopsin (Biofizikai Int., Szeged), Surface Acoustic Wave Devices on Ceramics (CER-SAW), Integrable Lithium Thin Film Batteries

Kulcsszavak: funkcionális anyagok, tömbi rendszerek, felületi struktúrák, felületelemzés, érzékelők, nanoszerkezetek, mikrogépészet, mérés technikai modellezés, orvosi alkalmazások, információtechnológia és gépipar



AZ EMBER ÉS A SZÁMOK TÖRVÉNYEI*

Beszélgetés Győry Kálmánnal,
az MTA Matematikai Tudományok Osztályának elnökével

– *Egyik napilapunkból idézek, a huszadik század utolsó évéből: „Dr. Győry Kálmán akadémikusnak, a Debreceni Egyetem rektorhelyettesének, a Természettudományi Kar Matematikai és Informatikai Intézete egyetemi tanárának, a matematika és számelmélet terén elért tudományos eredményeiért, kimagasló oktatói és egyetemvezetői tevékenysége elismeréseként a Magyar Köztársasági Érdemrend Tisztikeresztjét adományozták.” A rövid méltatás nem szólhat azokról a tételekről, megoldásokról, amelyeket ma Győry Kálmán névével kapcsol össze a világ matematikus-társadalma.*

– *Professzor úr, kisgyermekként álmodoztál ilyesmiről?*

– A számokat korán megszerettem, még nem jártam iskolába, de már tudtam számolni. Ez a vonzalmam később csak erősödött, kisfiúként azonban nem a sikeréről, a kitüntésekről álmodoztam. Nem ilyesmi járt a fejemben, még csak nem is a gazdagság. Fiatalemberként inkább arra gondoltam, hogy olyan pályát választok, ahol öröm számomra a munka, ahol esélyem van valami jót, hasznosat adni az embereknek.

– *Kezdjük az elején: kik voltak a szüleid, hol éltetek?*

– Édesapám Ózdon tanított, ötven éven át. Hatan vagyunk testvérek, s bár édes-

anyám is tanított egy évig, ettől a rövid időszaktól eltekintve otthon kellett maradnia, hogy győzze a család körüli munkát. Nyolcan éltünk egy tanítói fizetésből az ötvenes évek elejének amúgy is nehéz időszakában. Édesapám ezért minden különmunkát elvállalt. Tanított a dolgozók iskolájában is, magántanítványai voltak. . . , kis kertünkben zöldséget termeltünk a háztartásunkhoz. Apám napestig dolgozott. Ezért, bár szeretett volna, továbbtanulni sem tudott. Évfolyamtársai mesélték, hogy Kőszegen, a tanítóképzőben ő volt az egyik legjobb, legokosabb diák. Művelt, érdeklődő ember lévén komoly szellemi igényei voltak. Éjszakánként, amikor mi már lefeküdtünk, ő még virrasztott, szakkönyveket olvasott, lexikonokat forgatott. Pedig biztosan holtfáradt lehetett. Köztisztületben álló ember volt Ózdon, az emberek számos tanújelét adták iránta érzett szeretetüknek. Amikor 1993-ban meghalt, rengetegen kísérték utolsó útjára. Eljöttek olyan diákjai is, akiket fél évszázaddal azelőtt tanított.

Most ugrom az időben. Amikor Ózd díszpolgárává választottak, elmondtam – ma is így érzem –, ezt a szeretettel övezett kitüntetést ketten kaptuk édesapámmal. Mert ahhoz, hogy Ózdon valakinek eszébe jusson a Győry Kálmán név, ahhoz kellett egy másik Győry Kálmán is, aki fél évszázadon át ott dolgozott, akit annyian tiszteltek és szerettek.

– *Kisgyermekként mi érdekelt?*

– Szerettem a természetet. Ózd szerencsétlenül épült város, völgyben fekszik,

* A beszélgetés rövidített változata a szerzőnek Matematikusok és teremtett világuk című interjúkötetében olvasható írásnak (Vince Kiadó)

közepén a gyárral, amely ontotta a füstöt. A környéke viszont gyönyörű. Barátaimmal bebarangoltuk a hegyeket, völgyeket, barlangokat kutattunk, átjártunk Szilvásváradra. Sokat fociztam, kézilabdáztam, amíg a szemüveg ebben nem akadályozott. Harmadikos lehettem, amikor karácsonyra egy sakk-készletet kaptam. Ma is őrzöm. A sakk komolyabban kezdett érdekelni, partnereket kerestem, iskolai és városi bajnokságon indultam, jól ment a játék. A számtant is kedveltem, jól szerepeltem iskolai és városi versenyeken. Később azonban kiderült, hogy a sakk is és a matematika is, ha komolyan vesszük, teljes embert kíván. Én a matematikát választottam.

Már általános iskolás koromban sokat olvastam. A zsebpénzemet könyvekre költöttem. Talán emlékszel még az Olcsó Könyvtár sorozatra. Alig vártam, hogy megjelenjék egy új könyvecske, három forintba került, azonnal megvettem, elolvastam, gyűjtöttem.

Kitűnő tanulóként sem volt nyilvánvaló, hogy gimnáziumba kerülök. Akkoriban nagy divat volt a technikum, hamarabb adott pénzkereső szakmát. A gimnáziumi érettségi csak úgy ért valamit, ha továbbtanult az ember, ami újabb négy-öt év kiesést jelentett a közös családi tehervállalásból. Apám nem volt ellene, de ezt meg kellett beszélni, tehát összeült a családi tanács. Rábólintottak arra, hogy a legidősebb gyermekük még jó ideig nem gyarapítja a családi kasszát.

– *Az ózdi József Attila Gimnáziumban ki figyelt fel matematikai tehetségedre?*

– Az első év kezdetén *Farkas Gézáné* tanárnőnk felmérőt íratott velünk matematikából. Miután kijavította a dolgozatokat, magához hívott és azt ajánlotta, hogy dolgozzak a Középiszkolai Matematikai Lapoknak, olyan jók a megoldásaim. Iskolánkban *Hnisz László* volt a matematika-szakkör vezetője, ő gyűjtötte össze a

KöMaL-os diákok feladatmegoldásait. Én is nekiálltam, de már csak a novemberi fordulóba tudtam bekapcsolódni. Mind a nyolc kitűzött gyakorlatot megoldottam, s odaadtam neki. Nem szólt semmit. Így ment ez decemberben, januárban, egészen a tanév végéig. A lap közölte a megoldásokat, majd a megoldók névsorát. Nem volt köztük a nevem. Bementem Hnisz tanár úrhoz, kérdeztem, mi történhetett. – *Bevallod neked valamit* – mondta. – *Nem küldtem el a megoldásaidat.* Látva megdöbbenésemet, így folytatta: *Nagyon jók a megoldásaid, ha szeptembertől kezded, biztosan az elsők között végzel. Így azonban, 2-3 hónap veszteséggel csak a középmezőnybe jutottál volna, s az esetleg kedvedet szegi.*

– *Sajátos szemléletmód. Nem biztos, hogy igaza volt a tanár úrnak.*

– Nem tagadom, akkor nagyon meglepődtem, kis idő kellett, hogy megemlésszem a dolgot. Ma, felnőtt fejjel már igazat adok neki. Lehet, hogy egy szerény helyezés a későbbiekben nem sarkallt volna olyan teljesítményre, mint amivel a következő évben második lettem, a rákövetkező két évben pedig első.

– *Volt kívül megbeszélned az ötleteidet, a megoldásokat?*

– Nem. Eszembe sem jutott, hogy ilyen kérdésekkel a tanárimhoz forduljak. Tudtam, hogy a feladatokkal nekem kell megbirkóznom, s mivel ezek nagyon érdekeltek, sok öröömöt telt a megoldások keresésében. Később, amikor már elkapott a gépszíj, bizony más órákon is a matematika járt a fejemben, a pad alatt feladatokat oldottam meg. Eredményeimet látva a többi tanár beletörődött ebbe, hiszen amit kellett, azt a többi tárgyból is megtanultam. Végig kitűnő voltam, csak hát a matematika érdekelt a legjobban. Ha nem boldogultam egy-egy nehezebb feladattal, akkor hozzáolvastam a szakköri füzetekből, korábbi KöMaL

számokból, a Matematikai Versenytételek kötetéből. Nagyon szerettem például *Rademacher–Toeplitz Számokról és alakzatokról* című könyvét. Keresztapám Pesten élt, ő küldte meg nekem *Császár Ákosné* műegyetemi Analízis jegyzetét. De ez már kicsit később történt.

– *A matematikai feladatmegoldás leírásának külön technikája van. Tanított erre valaki?*

– A KöMaL korábbi számaiban megnéztem, hogyan csinálják ezt a mintapéldáknál. De amúgy mindig elég jól fogalmaztam... Nagyon megszerettem az elemi matematikai feladatokat, a szép megoldásokat, az általánosításokat. Ahhoz, hogy az élen végezzünk, nem elég minden feladatot megoldani. Többletpontokat is kell szerezni, s ezeket a második megoldások, a jó megjegyzések, az esetleges általánosítások hozzák.

– *A beadási határidő nem zavart?*

– Dehogynem. Sokszor az utolsó pillanatilag dolgoztam. Tudtam, mikor indul Ózdról az utolsó vonat az aznapi postával. A megoldásokat egyenesen az állomásra vittem, a mozgópostára.

– *Budapesten a Nyugati pályaudvarnál van egy éjfélig nyitva tartó posta. A KöMaL megoldói gyakran találkoznak ott a beadási határidő éjszakáján.*

– Pár óra előny a fővárosiaknak. Azután már magam is gyártottam új feladatokat, néhányat kítűztek a KöMaL versenyén. Érdeklődni kezdtem a felsőbb matematika iránt. Az elemi matematika, minden szépségével együtt csak egy határig juttat el. Rengeteget tanulhatunk belőle: ötleteket, gondolatokat, módszereket. Igényességgel, fegyelmezett gondolkodásmódra és feszes, lényegre törő fogalmazásra... A matematika azonban nem csak ebből áll. Engem az is érdekelt, mi van ezután. A szakköri füzetekben azokat a feladatokat kerestem, amelyek tovább mutattak, ismeretlen

ösvények felé vezettek. A számelmélet korán megfogott. Különös varázsa, hogy vannak benne régi nagy problémák, amelyek egyszerűen megfogalmazhatók, de nehéz őket megoldani.

Tizenhat éves koromban a középiskolai szakkörben felkért Hnisz tanár úr, hogy tartsak foglalkozást a *Számokról és alakzatokról* című könyv alapján. Írtam egy kis dolgozatfélét, apró részeredménnyel a Fermat-sejtéssel kapcsolatban. Ismered az alapkérdést: az $x^n + y^n = z^n$ egyenletnek $n > 2$ egész szám esetén nincs megoldása az x , y , z pozitív egész számok körében. Természetesen nem bizonyítottam a sejtést, máig kétlem, hogy elemi módszerekkel megtehető. Voltak azonban olyan hozzáfűznivaló gondolataim, amelyek újszerűek, előrevivők voltak. Tanárom nagyon értékelte erőfeszítéseimet. Ekkor érintett meg először a matematikai kutatások varázsa. Ennek az lett a következménye, hogy a számelmélet mellett a mai napig kitartottam, pedig nem volt kiköveze az utam.

– *Azért nem akármilyen lehetett az az ózdi gimnázium, ahonnan egy fiú évekig nyerte a KöMaL versenyét.*

– Manapság nem sok jót hallhattunk Ózdról, ahol egy évszázadon keresztül virágzó kohászat működött. Korábban azonban kialakult ott egyfajta ipari, műszaki kultúra, mely a város szellemi életére, iskoláira is jótékonyan hatott. Mérnökök, technikusok, jó szakmunkások dolgoztak Ózdon, a vasmű törődött az alkalmazottaival.

A József Attila Gimnázium több mint ötvenéves múltra tekint vissza. Az első igazgatók komolyan odafigyeltek arra, hogy jó tanári kart gyűjtsenek össze. Osztályfőnököm, Farkas Géza kiváló történelem–földrajz szakos tanár volt. Magyarra és franciára a folyton lobogó, lánglelkű író-költő, *Takács József* tanított. Ott dolgozott *Kunt Ernő*, aki festő és grafikus művész is volt, később Munkácsy-díjas lett. Ők nem-

csak szakmára tanítottak, hanem örök emberi értékekre is, ezért máig hálás vagyok nekik. Szerencsémre osztályunkban sok kiváló diák tanult, így nemes versengés alakulhatott ki közöttünk. Néhányat említek közülük. Osztálytársam volt *Roska Tamás*, aki ma már akadémikus vagy *Peták István*, a Magyar Televízió egykori elnöke, *Paládi Kovács Attila*, szintén az MTA tagja, az ELTE Néprajzi Tanszékének vezetője. Másokat is említhetnék, hiszen az osztályunkból majdnem mindenki továbbtanult. Szóval jó kis gárda jött össze, természetesnek vettük a tanulás erőfeszítését, minél többet akarunk tudni a világról, és igyekeztünk megmutatni, mire vagyunk képesek.

– *Sajnos, ez a szellemiség is elveszni látszik azzal a világgal együtt, ami különben jó, hogy eltűnt az életünkben.*

– Igen, gyakran látom gyermekeink korosztályán, az egyetemi hallgatóinkon, mennyire elanyagiasodott az értékrendjük. Elsősorban azt nézik, hogy egy-egy foglalkozás, életpálya mit hoz a konyhára, mennyire fizetik meg. Ezért nem is lehet elmarasztalni őket, hiszen ilyen a világunk. Ma nem olyan komoly szempont az, hogy merre vinné a fiataalt a képessége, a tehetsége, belső ösztönző ereje.

– *Kövessük tovább Győry Kálmán útját. Mikor határozta el, hogy matematikus lesz?*

– Gyerekkoromban szépen rajzoltam, szerettem tervezgetni, azzal kacérokodtam, hogy építészmérnök leszek. Később egyre jobban megszerettem a matematikát, s második gimnazista koromban megkérdeztem tanáromat, hová kellene mennem ahhoz, hogy minél több matematikát tanulhassak. – *Tudományegyetemre* – válaszolta Hnisz László. Elhatároztam, hogy így lesz. Hazaérve elmondtam ezt édesapámnak.

– *Mit szólt hozzá?*

– Nem volt boldog tőle. Felmérte, hogy szép, szép a matematika, de a mérnöki pá-

lya erkölcsileg és anyagilag is sokkal elismertebb a pedagógusi munkánál. Akkoriban még nem indult meg a kutató matematikus képzés a tudományegyetemen, a matematika más szakkal párosítva pedagóguspályát jelentett. Apám beszélt döntésem hátrányairól, majd megkérdezte: *Ennyire szereted a matematikát?* Látva elszántságomat, nem mondott nemet. Később, amikor megbizonyosodott róla, mennyire szeretem választott hivatásomat, megnyugodott. Örült eredményeimnek, kisebb-nagyobb sikereimnek. Minden megjelent cikkemből dedikált különnyomatot vittem haza neki. Egész gyűjteménye volt a publikációimból, büszke volt rájuk, még ha nem is igen értette, hogy mi rejlik bennük. Soha nem beszélünk erről, de éreztem, az én előrehaladásom kárpótolja azért, amit egy jobb korban ő maga is szeretett volna megtenni. Akadémiai levelező taggá választásomat még megérte, három héttel később meghalt.

– *Melyik egyetemre jelentkeztél?*

– Budapestre, az Eötvös Loránd Tudományegyetemre, matematika-fizika szakra.

– *Hogyan sikerült a felvételi?*

– Jól. Maximális pontszámot értem el. 1958 júniusában szóbeliztem *Surányi János* bizottságánál. *Surányinak* nagyon tettett az egyik írásbeli feladatra adott általánosításom. A szóbeli vizsgámra bejött egy idős úr, akivel *Surányi* nagy tisztelettel beszélt, professzor úrnak szólította, majd megmutatta neki a bizonyításomat. *Fejér Lipót* – később tudtam meg, hogy ő volt a látogatónk – elismerően bólogatott. Egy szóval minden szépnek és jónak tűnt, ezért ért derült égből villamcsapásként az elutasító levél: nem vettek fel az egyetemre. Sokkhatásként ért, erre nem számítottam.

– *Mi történt?*

– A hivatalos indoklás szerint édesapámnak az „ellenforradalomban” tanúsított magatartása miatt nem tanulhattam tovább,

ezen kívül rossz pontnak minősült családkunk vallásossága.

– *Milyen „magatartást tanúsított” idősebb György Kálmán 1956 októberében?*

– Édesapám sok munkást tanított a dolgozók iskolájában, szerették, becsülték, ezért bevásárolták az akkoriban megalakult munkástanácsba. Erről utólag értesült, különösebb szerepe ott nem volt. Mindezt 1958-ban apám iskolai főnöke, aki pár napig helyettesítette az ózdi párttitkárt, a párttitkárságról megírta az egyetemnek, ahová felvételiztem.

– *Nem lehetett valamit tenni?*

– Nem, nem... 1958 nyarán még a megtorlások sem értek véget. Egy ilyen levélnek akkoriban pusztító hatása volt.

– *Hogyan tovább?*

– Egész nyáron a Mezőkernél dolgoztam, egy gyümölcsöt és zöldséget szállító teherautón. A Középiskolai Matematikai Lapok utolsó fordulójának feladatait még beadtam, az érettségizettek számára rendezett Kürschák József Matematikai Versenyen pedig dicséretet kaptam. A matematikai olimpiai csapatba is beválogattak, de sajnos az első olimpia megrendezését egy évvel elhalasztották. Aztán jött az ősz, barátaim elmentek az egyetemre. Nagyon egyedül maradtam, egyre jobban fáztam a teherautó nyitott platóján. De akkor is voltak rendes emberek. Ózd tanácselnökszszonya, aki jól ismerte családkunkat, látta, milyen igazságtalanság történt velem. Azon már nem tudott változtatni, de rajtam segíteni akart. Így kerültem az OTP ózdi kirendeltségébe, ahol egy évig áruvásárlási kölcsönöket intéztem.

– *Gondolom, nem nagy kedvvel tetted.*

– Ellenkezőleg. Szót értettem az ügyfelekkel, s ha az OTP bonyolult gépezetébe, például az egyenleg készítésekor valami hiba csúszott, érdekes szellemi kihívásnak tartottam megtalálni azt. Rájönni arra, hogy milyen kérdésekkel teszteljük az irdatlan

mennyiségű adatot tartalmazó rendszert ahhoz, hogy a hiba minél gyorsabban előbukkanjon. Felfigyeltek rám. Amikor a megyei OTP igazgatója, *László Andor*, a neves pénzügyi szakember, későbbi országos főnök nálunk járt, megpróbált rábeszélni arra, hogy maradjak pénzügyi vonalon. Ők majd taníttatnak, szép jövő várhat rám – győzködött.

– *György Kálmán, a bankár! Ma már jól hangzik. Professzor úr, kiderül, mennyi mindentről lemondta a matematikaért.*

– Eszembe se jutott, hogy a magam elé tűzött célon változtassak. Mentem az utamon, volt aki úgy fogalmazott, konok elszántsággal. Elmúlt egy év, eljött az újabb felvételi ideje. Nem Pestre jelentkeztem, hanem a debreceni tudományegyetemre. Erre a váltásra többen is bátorítottak. Érettségielnököm jónévű matematikus volt, *Nikodémusz Antal*, a miskolci egyetem docense. Az érettségim a tananyagom túli kérdésekkel is tesztelt, és megjegyeztem magának. Később, amikor megtudta, mi történt velem, segíteni próbált, azt tanácsolta, jövőre Debrecenbe jelentkezsem. Ő is ott végzett, jó kapcsolatai voltak az egyetem oktatóival. Akkoriban az egyeteméről diáktoborozók jártak a középiskolákba. Ózdra Debrecenből a tanulmányi osztály vezetője jött el, beszélgetett velem, így azután hozzájuk adtam be a kérelmemet. Felvettek.

– *Professzor úr, másként alakult volna a matematikusi pályád, ha a fővárosban, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen végzel?*

– Ezen magam is sokat gondolkoztam. A számelmélet mellett mindenképpen kirtartottam volna. Talán könnyebben elindulok a szakterületemen, ha Pesten tanulok, hiszen ott világhírű iskola, virágzó számelméleti élet volt. Meglehet, akkor nem a diofantikus, hanem az analitikus vagy a kombinatorikus számelmélet valamelyik ága vonzott volna magához, kiemelkedő alak-

jai, Turán Pál és Erdős Pál révén. Kis ország vagyunk, később hamar odataláltam, de kezdetben, néhány évig egyedül küszködtem.

– *A modern tudományban egyedül ne kívágni a rengetegnek, számos buktatót rejt magában.*

– Utólag, érett fejjel visszagondolva tényleg nagy kockázattal járt így magányosan belevágni a számelméletbe. Sokat bosszankodtam emiatt. Gondold meg, találtam egy problémát, elkezdtem irodalmazni, hogy utánanézzek, mi van a világban, mit tud erről a matematikustársadalom. Akkor még nem volt internet...

– *Mennyivel könnyebb annak a „versenyzőnek”, akit kézen fognak és a rajtvonalhoz vezetnek.*

– Igen, de magam vállaltam ezt az útkezdést. Debrecenben nem folytak számelméleti kutatások. Hamar nekiestem a könyvtárnak. Hallgatóként sokat forgattam Landau Fejezetek a számelméletből című háromkötetes munkáját, de sok más könyvet is. Előfordult, hogy bizonyos eredményre jutottam a Fermat-egyenlet egy általánosításával kapcsolatban. Az $x^n + y^n = c \cdot z^n$ egyenletet vizsgáltam, amikor c nem 1. A probléma így is nagyon nehéz, teljes általánosságban szinte megközelíthetetlen, de bizonyos feltételek mellett elérhető eredmények. Összeállt egy cikkem belőle. S amikor a könyvtárban kinyitom az egyik, éppen akkor érkezett amerikai folyóiratot, családodtan látom, hogy abban ez már lényegében megvan. Nem teljesen ugyanaz, amire én jutottam, valami maradt a munkámból, de sok erőfeszítést megtakaríthatam volna, ha előbb kerül kezembe a megfelelő szakirodalom, ha korábban értesülök az említett eredményről.

– *Első megjelent cikked miről szólt?*

– Erdős Pál egyik problémájáról. Akkoriban jelent meg Erdős Pál és Surányi János könyve, a *Válogatott fejezetek a számelmé-*

letből. Éppen ez kellett nekem, tele volt nyitott kérdéssel. Az első probléma, amelylyel kapcsolatban új eredményt értem el, s amit ezek után leközöltem, az volt, hogy lehet-e a binomiális együttható teljes hatványa? Ez a kérdés egy, a 18. századból származó problémához nyúlik vissza, ami így szól: lehet-e egymás után következő pozitív egészek szorzata teljes hatványa? Ezt sokan igyekeztek megoldani, Erdős Pálnak és J. L. Selfridge-nek sikerült, 1975-ben. Híres eredményük: nem lehet! A binomiális együtthatókra vonatkozó rokon sejtést Erdős 1939-ben fogalmazta meg, vagyis, hogy az $\binom{n}{k} = x^l$ egyenletnek $k = 2$, $n = 2k$, $l > 2$ esetén nincs megoldása. Tudjuk, hogy $k = l = 2$ -re végtelen sok megoldás van, míg $k = 3$ és $l = 2$ esetén az egyetlen megoldás $\binom{50}{3} = \frac{50 \cdot 49 \cdot 48}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 140^2$. Erdős elemi módszerekkel bebizonyította, hogy ha k legalább 4, akkor igaz a sejtés. A $k = 2$ és a 3 eset azonban ellenállt a próbálkozásoknak. Erre vonatkozott az első cikkem.

– *Készültem professzor úr, tudom, hogy e kérdést Te zártad le végérvényesen, elintézve a fennmaradó $k = 2$ és $k = 3$ esetet is.*

– De az jóval később történt. Az első cikkem részeredményeket tartalmazott. Beláttam, hogy a $k = 3$ eset lényegében visszavezethető a $k = 2$ esetre. Ezt a cikket akkor a Matematikai Lapokban közöltem magyarul, rövid angol nyelvű absztrakttal a végén. Nem vált ismertté. A sejtés közel 60 évig élt, közben beérett a megoldáshoz szükséges matematika. 1996-ban az új módszerek ismeretében visszanyúltam az eredeti gondolathoz, ami utolsó láncszemként összekapcsolta a megoldáshoz vezető gondolatsort.

– *Mily szerencse, hogy fiatalon magyarul publikáltál! Ezt a láncszemet így kevesen ismerhették.*

– Sajátos nézőpont, de ebben a speciális esetben helytálló megállapítás.

– *Erdős Pali bácsi látta a megoldást?*

– Sajnos, már nem. Ő 1996 szeptemberében, Varsóban egy matematikai konferencián vett részt. Ott halt meg, a szállodai szobájában lett rosszul.

– *Pedig hogy örült volna az eredményednek.*

– Igen, nagyon szerette az ilyeneket. Temetése után a Magyar Tudományos Akadémián rá emlékező tudományos ülésszakot tartottunk. Kérték, én is szóljak hozzá. Arra gondoltam, ő is a sejtése igazolását hallaná a legszívesebben, így hát elmondtam az eredményt.

– *Térjünk vissza kicsit debreceni egyetemi éveidre. Kik tanítottak, milyen volt a matematikusvilág akkoriban Debrecenben?*

– *Kertész Andor* volt az algebra és számelmélet tanszék vezetője; színvonalas, színes előadásokat tartott. Rendkívül segítőkész volt, neki sokat köszönhetek. Először tőle tanultam algebrát, és nem vette rossz néven, hogy nem sikerült elcsábítania a gyűrűelmélet irányába. Később külföldre ment vendégprofesszornak, akkortól *Erdős Jenő* tanította az algebrát. Mindketten kiváló algebristák voltak, nagy hatást gyakoroltak rám. *Aczél Jánostól* tanultunk analízist. Érdekes módszerrel igyekezett kiszűrni az évfolyam tehetséges hallgatóit. Minden előadásán egy-két olyan feladatot is feladott, amely túlmutatott az egyetemi anyagon. A következő órán megkérdezte, hogy ki oldotta meg. *Losonczi Laci* évfolyamtársammal jelentkeztünk, hogy mi igen. Több ilyen ismétlődő eset után magához hívott.

– *Nem volna kedve függvényegyenletekkel foglalkozni?* – kérdezte. – *Professzor úr, ez nagyon szép, érdekel is, de hát a számelmélet...* – szabadkoztam. Nem orrolt meg rám, de más sem, akinek hasonló választ adtam. *Rapcsák András* differenciálgeometriát tanított. Egy alkalommal választhattunk, hogy szemléletes geometriából, vagy differenciálgeometriából vizsgáljunk. Évfolyamunkból egyedül én válasz-

tottam a differenciálgeometriát, a többiek *Merza Józsefhez* jelentkeztek szemléletes geometriára. Amikor Merza ezt megtudta, morgolódva mondta: Pedig már borítékoltam magának az ötöst! Szóval elmentem vizsgázni Rapcsákhoz, kaptam egy feladatot, amit ki kellett számolni. Megtettem úgy, ahogyan elvárták tőlem, a differenciálgeometria eszközeivel. Majd megmutattam, hogy nem kell ehhez differenciálgeometria, megoldottam szemléletesen is. Láttam, ez hat Rapcsák professzorra. Megkérdezte, mivel foglalkozom. – *Professzor úr, engem a számelmélet érdekel* – válaszoltam. – *Jó* – mondta, s ebben maradtunk.

Az egyetemi éveimről még annyit, hogy hamar diáktitkára lettem a Matematikus Tudományos Diákkörnek. Szívesen lelkesítettem másokat, s ha észrevettem valakiben a fogékonyságot a matematika iránt, igyekeztem rábeszélni az önálló munkára.

– *Turán Pált mikor ismerted meg?*

– Már egyetemi hallgató koromban. Jó kapcsolatban állt a debreceni matematikusokkal, *Gyires Bélával*, korábbi egyetemista társával, *Kertész Andorral*, *Szénássy Barnával*. Feleségével, *T. Sós Verával* rendszeresen jártak Debrecenbe, ragyogó előadásokat tartottak, Turán számelmületről, Vera inkább kombinatorikáról. 1962 őszén Kertész és Gyires, látva, hogy nem tudnak eltántorítani a számelmületről, összehozott Turán Pállal. Felutaztam Pestre, Turán a tanszékén fogadott. Vittem megmutatni az első eredményeimet és egy kész cikket a már említett problémáról, hogy binomiális együttható lehet-e teljes hatvány. Ő hamarosan megjelentette a Matematikai Lapokban. Meghatározó, mély nyomot hagyó élményt jelentett a vele való találkozás. Turán akkor már világhírű matematikus volt, hihetetlenül széles körű áttekintéssel. A nagy emberek tartása, valami arisztokratikus fölény érződött rajta, távol állt tőle az a fajta közvetlenség, ami például Erdős Pali bácsit

jellemezte. Kimértsége mögött azonban roppant rendes, egyenes, tisztességes, segítőkész embert ismerhettem meg.

– *Milyen tanácsokat adott a fiatal pályatárs-jelöltnek?*

– Készségesen fogadott, bátorított. Megkérdezte, milyen szakirodalmat ismerek, majd elmondta, hogy milyen irányban haladjak, miket érdemes elolvasnom.

– *Később az aspiránsa lettél.*

– Igen, miután 1966-ban egyetemi doktori címet szereztem, 1967-től levelező aspiránsa lettem. Az is emberi nagyságát jellemzi, ahogyan tanítványává fogadott. Engem már 16 éves koromtól a számelméletnek egy külön ága, a diofantikus egyenletek érdekelték. Ez talán a számelmélet legrégebbi területe. Azokat az egyenleteket nevezzük diofantikusnak, amelyek megoldásait az egész vagy a racionális számok körében keressük, nem szükségképpen a pozitív számok között. Ilyen egyenlet például a Fermat-féle egyenlet és a binomiális együtthatókra vonatkozó említett egyenlet. Turán azonban az analitikus számelméletben volt világhírű, híres eredményei első sorban a prímszámelmélet, a gráfelmélet területére estek, hatványösszeg módszerét szerte a világban ismerték. A diofantikus egyenletek elméletéről is nagyon sokat tudott, de azzal nemigen foglalkozott. Ennek ellenére egy pillanatig sem próbált rábeszélni arra, hogy ne az általam kedvelt úton haladjak.

– *Talán azért sem, mert Turán Pál tudása a számelméletben enciklopedikus volt. Ezt mondják, akik hozzá közel álltak.*

– Igaz, de tudása nem lexikonszerű ismerethalmaz volt, a megismert eredményeket nagyon mélyen megértette és jól elhelyezte ismeretrendszerében. Ezután nemcsak emlékezett rájuk, hanem használni is tudta azokat, ismerte összefüggésrendszerüket, hatásaikat. Ritka az ilyen rendkívüli kapcsolat ember és matematika között.

– *Milyen volt a kapcsolatotok?*

– Nagyon tiszteltem, megszerettem, látszott, hogy ő is kedvel, becsül engem. Nem volt könnyű közel kerülni hozzá. Mégis, a végén már éreztem, hogy fiatal barátjává fogadott. Elmondok két esetet, mindkettő 1973-ban történt, akkor fejeztem be az aspirantúrámat. Vártam rá a Matematikai Kutatóintézetben, ahol egy elhúzódozó ülésen vett részt. Elmúlt már délután három óra, amikor előkerült. Még nem ebédelt. Mondtam neki: – *Professzor úr, ebédeljen meg, addig várok.* – *Nem, én a barátaimnak mindig rendelkezésére állok* – válaszolta. Ez nagyon jólesett. A másik ilyen gesztusa volt, amikor a kandidátusi disszertációm munkahelyi védésére lejött Debrecenbe. Számos elfoglaltsága mellett szakított erre időt. A védés után négyeszenközt is megdicsért: a fő eredményeimet nagydoktori szintűnek tartotta. Azt is elmondta, hogy azért nem adott hangot e véleményének a védésen, mert nem akart feleslegesen irigyeket szerezni nekem.

– *Gondolom, az anélkül is akadt.*

– Sajnos igen. Turán értékítélete azonban megerősített és további munkára sarkallt.

– *Sokat segíthet egy jó témavezető?*

– Nagyon sokat. Turán, amikor aspiránsa lettem, összeállított egy hosszú listát azokról a könyvekről, amelyeket illet ismerni. Rengeteget tanultam belőlük, komoly, fajsúlyos munkák voltak, ezt ma már jól megítélhetem. Azután más téren is elkezdett segíteni a matematikában. Én még nem járhattam külföldre konferenciákra, ő igen. Alapos, széleskörű áttekintését így én is kamatoztathattam. Ő hozta hírére először Alan Baker fantasztikusan hatásos általános módszerének, amelyre 1966-ban jutott, 1970-ben Fields-érmét is kapott érte. Baker módszerével számos diofantikus egyenlet esetén felső korlátot lehetett adni azok valamennyi megoldására. Megismer-

ve Baker módszerét, az elsők között tudtam alkalmazni olyan területen, ahol mások még nem dolgoztak vele.

– Sajnos, Turán Pál nem sokáig lehetett a mentorod.

– Igen, 1976-ban már fekvő beteg volt, amikor felhívtam telefonon, hogy szeretném meglátogatni. Jöjjenek el, mondta. Feleségétől, Verától tudtam meg, hogy akkor már nem fogadott mást. Elmentem a Németvölgyi úti lakásukba, láttam, örül a látogatásomnak, de már nagyon rosszul volt. Elkezdtünk a matematikáról beszélgetni. A terveit sorolta.

– A hatványösszeg módszeréről készülő könyvét akarta befejezni.

– Igen, azt is. Akkoriban született a híres holland matematikusnak, *Lenstrának* egy új eredménye az euklideszi számtestekkel kapcsolatban. Elmondtam neki. Meglepődött rajta. Több oldalról is körbejártuk a kérdést. A fáradt, gyenge testben újra lobogni kezdett a matematikai lélek. Sokmindenről beszélgettünk, szállt velünk az idő, ő megfeledezett a betegségéről. Kérdezte, milyen új eredményekre jutottam. Elmondtam. Megerősített, hogy jó irányban haladok, értékesnek tartotta az elmondottakat. Bátorított, hogy közöljem azokat és doktoráljak. Nem is tudod, mennyit jelentett akkor egy magamfajta fiatalembernek a szaktekintély megerősítő értékítélete. Sajnos, Turán egy hónap múlva meghalt. Szavait szellemi végrendeletnek vettem, amit kötelességemnek tartottam teljesíteni. Amikor három óra múltán búcsúzkodni kezdtem, még megkérdeztem, eljönne-e Debrecenbe előadni. Majd talán jövő tavasszal, ha úgy alakulnak a dolgok, válaszolta. Az előszobában Vera sírt, amikor elköszöntem. Megértettem, nagyon nagy a baj. Verának nehéz lehetett mindezt megélnie, egyedül cipelte a fájdalom terheit, közvetlen környezete sem tudta, hogy férje halálos beteg.

Turán Pál halála után óriási úr támadt. A hazai számelméletek eléggé egyedül, gazdátlanul maradtak... A nagy elme azonban halála után is segíti az ittmaradottakat.

– Hogyan?

– Tanítványai maradnak, akik később egymásra találhatnak. Így lettem én is „családtag” a holland *Tijdemannal*, a japán *Motohashival* és másokkal egyetemben. Mi „brotherek” vagyunk, tanítványaink pedig az unokák. Nekem van „unokahúgom” Japánban, „unokaöcsém” Hollandiában...

Tulajdonképpen Erdős Pali bácsi barátságát is Turán Páltól örököltem. Megtapasztaltam, hogy a világ számos matematikai fellelővárába lépve milyen jó ajánlólevél, ha valaki Turán tanítványának mondhatja magát.

– Az egyetem elvégzése után Debrecenben maradtál. Miért?

– Ebben nagy szerepe volt Gyires Bélának, a matematikai intézet akkori igazgatójának. Ötödéves koromban megkérdezte, milyen terveim vannak. Elmondtam, segíteni szeretne nekem a munkahely keresésben. Két lehetőséget lát, az egyik a Budapesti Műszaki Egyetem, a másik az itteni egyetem. – *Hol lehet több számelméletet csinálni?* – kérdeztem tőle. – *Itt* – válaszolta. – *Akkor szeretnék Debrecenben maradni* – mondtam gondolkodás nélkül.

– *Így kerültél Kertész Andor tanszékére. Jól választottál?*

– Nagyon jól. A legfiatalabb voltam a tanszéken, és egyedüli, aki a számelméletnek kötelezte el magát. Ezt látva Kertész Andor egy év múlva rám bízta, nekem adta azokat a számelméleti előadásokat, amelyeket addig ő tartott.

– *Nagy megtiszteltetés lehetett.*

– És nagy kihívás. További tanulásra ösztönzött, erősítette elszántságomat. Igaz, Kertész még mindig nem adta fel, hogy az algebra irányába tereljen. Kinézett nekem Franciaországban egy ösztöndíjat, 1966-

ban oda mehettem volna algebrai kutató-sokat végezni. Elutazásom előtt 2–3 nappal azonban visszavonták a kiutazási engedélyemet.

– *Mi okból?*

– Akkor senki sem adott erre magyarázatot. Később tudtam meg, hogy az elutazásom előtti napokban tanszékünk egyik munkatársa bejelentette, kinn marad nyugaton. Ennek reakciójaként előttem már leengedték a sorompót.

– *Égi jel. A számelmélet istene szövettelt a politikai hatalommal. Hadd kérdezem meg: hazajöttél volna?*

– Természetesen. Soha, egy pillanatig sem fordult meg a fejemben, hogy kinn maradjak, külföldön éljek tovább.

– *Pedig addigra már kaptál néhány iránymutató pofont ahhoz, hogy ne kapaszkodj annyira a hazai gyökerekbe.*

– Ez igaz, de a pofonok után az iránytűm mindig gyorsan visszaállt az általam helyesnek tartott irányba. Tudtam, hogy milyen matematikát szeretnék művelni, hátrazott értékrendem van a világról, a tudományról, az életről... A menetközbeni kellemetlenkedések, kudarcok pedig erősíthetik is az embert: csak azért is megmutatom, még többet, még jobbat csinálók! Meglehet, ha a pályám elején elkényeztetnek előléptetéssel, kitüntetésekkel, ideoda betesznek funkciókba, bizottságokba, elvette volna az időmet, eltereli a figyelmemet a matematikáról, s talán önteltté is tesz. Későbbi pályám során is voltak olyan pillanatok, amelyeket kudarcként éltem meg. Ez mindig hihetetlen energiákat szabadított fel bennem. Amikor úgy éreztem, hogy valami igazságtalanság ért, soha nem keveredtem politikai csatározásokba, ezt tenem különben sem lett volna tanácsos, hanem a matematikában igyekeztem levezetni az indulatként felszabadult energiáimat. Utólag visszagondolva megtértült ez a hozzáállásom.

– *Azután körülötted is kezdett kialakulni Debrecenben egy izmosodó számelméleti iskola.*

– Mindez következménye a tevékenységemnek, nem célja. Tehetséges fiatalok között mindig jól éreztem magam. Jó átadni azt, amit szeretek, jó látni a munkám, az előadásaim, a tudományom hatását. A számelmélet iránt érdeklődő tehetséges hallgatók már a kezdet kezdetén körülvettek, pezsgő életet teremtettek. Szemináriumot tartottam nekik, beszélünk a számelmélet újdonságairól, s még kandidátus sem voltam, de már kutatási témákat adtam nekik. Később a tanítványok egymást segítve, egymásra hatva is dolgoztak, a fiatal fa megerősödött.

– *Fiatalemberként miként tudtad számelméleti pályán tartani kitűnő tanítványaidat? Segített ebben az intézet, a kar?*

– Lépünk át ezen a kérdésen, nem szeretnék régi sebeket fölszakítani.

– *Ma hányan dolgoznak a tudományterületen Debrecenben?*

– Tizen lehetünk. Többen voltunk, sajnos két tehetséges kollégánk, *Kovács Béla* és *Papp Zoltán* már meghalt. Jól indultak, szép eredményeket értek el, azóta is idézik őket az irodalomban.

– *Professzor úr, többször esett már szó fő kutatási területedről, a számelmületről, ezen belül a diofantikus egyenletek elmületeről, az algebrai számelmületről. Kérlek, adj egy kis ízelítőt ebből a tudományágból.*

– A diofantikus vagy diophantoszi egyenletek elmülelete az ókorba nyúlik vissza. *Diophantos*, aki kétezere éve Alexandriában élt, már vizsgált olyan szöveges feladatokat, amelyek elsőfokú kétismeretlenes egyenletekre vezetnek, s ezek megoldásait a pozitív egészek körében kereste. Írt is erről egy könyvet. A görögök már ismerték az úgynevezett pithagoraszi egyenletet, az $x^2 + y^2 = z^2$ bizonyos megoldásait. Tudták, hogy ennek a háromismeretlenes

másodfokú egyenletnek végtelen sok egész megoldása létezik. Ugyanez az egyenlet az egyiptomiaknál és az indiaiaknál is előbukkan. Az egyiptomiak a derékszögű háromszög megszerkesztésére, derékszög kijelölésére használták, például a piramisépítésnél. Később évszázadokig ez a kérdéskör csak elszórtan bukkant elő, míg nem a 17. századtól élénk érdeklődés kezdődött a diofantikus egyenletek iránt. Mindez elsősorban *Pierre de Fermat* és több más matematikus munkásságának volt köszönhető. Fermat Diophantosz könyvének olvasásakor vetette fel híres problémáját, mellyel csak a közelmúltban birkózott meg a matematikusvilág, pontosabban *Andrew Wiles*. Fermat azt sejtette, hogy két harmadik, negyedik..., n -edik hatvány összege nem lehet harmadik, negyedik stb. hatvány. Vagyis nincsenek olyan x, y, z pozitív egész számhármassok, melyek kielégítenék az $x^n + y^n = z^n$ egyenletet, ahol $n = 3, 4, 5, \dots$ egész számok valamelyike. Diophantosz könyvének magójára írta: „*Csodálatos bizonyítást találtam erre a tételre, de ez a margó túl keskeny, semhogy ideírhatnám.*” Örök titok maradt, hogy Fermat mire gondolhatott. Évszázadokon át matematikusok serege próbálta megelni Fermat feltételezett bizonyítását, igazolni állítását. A sejtés ellenállt a próbálkozásoknak. A matematika sokat köszönhet ezeknek a diofantikus problémáknak, mivel a megoldási kísérletek során olyan módszerek, elméletek születtek, amelyek később igen hasznosnak bizonyultak. Csak egyet említék: *Kummer* a Fermat-sejtés bizonyítására vonatkozó vizsgálatai során kidolgozta az ideálméletet, ami termékenyítően hatott az algebra fejlődésére. A Fermat-sejtést 1995-ben bizonyította be *Wiles* amerikai matematikus, roppant mély algebrai és számelméleti segédeszközökkel.

– *A mai megoldás ismeretében, ugye, nagy biztonsággal állíthatjuk, hogy Fer-*

mat lapszéli megjegyzése nem fedte az igazságot. Netán fricskát küldött vele az utókornak?

– Elképzelhető, hogy Fermat valamilyen speciális esetet bizonyított, és úgy gondolta, meg is majd általánosabban is. Meglehet, ő is kilépett az egészek gyűrűjéből, miként azt egy évszázaddal később *Euler* tette, amikor az $n = 3$ esetet vizsgálta. Feltételezhetette, hogy a bővebb gyűrűben igaz az egyértelmű prímfaktorizáció tétele, és így közelített a megoldáshoz. Mindez azonban találgatás. A kérdésedre adandó választ ma már örök homály fedi.

– *Hogyan viszonyulsz ezekhez az irtóztatóan nehéz problémákhoz? Megpróbálkozol velük, s ha nagyon nem megy, egy idő után otthagysz őket?*

– Ez nagyon érdekes kérdés. Az érett matematikusnak tisztában kell lennie ismeretei és képességei határaival. Tudnia kell, hogy fegyvertárával milyen kérdések megválaszolására vállalkozhat. Képesnek kell lennie arra, hogy megbecsülje, egy-egy probléma megoldására megérett-e a matematika. Jó, ha a matematikai kutatások fő irányába mutató, igazi kihívást jelentő problémát választunk magunknak, olyant, amelynek megoldására még reményünk lehet.

Napjaink komoly terhe a cikkírás kényszere. A kutatási támogatásért ugyanis a világon mindenütt pályázni kell. A pályázónak pedig igazolnia kell, hogy mit teljesített az előző években. Mivel igazolhatja? A jó cikkeivel, melyek neves folyóiratokban jelentek meg. Aki csak nagy problémákkal birkózik, az kiteszi magát a hosszú évekig tartó eredménytelenségnek. Akkor pedig nincs mit felmutatnia, nem jut anyagi támogatáshoz, nem kutathat tovább... Ezért sem szabad görcsösen ragaszkodnunk egy-egy kihíváshoz. Gyakran előfordult velem, hogy amit kerestem, kutattam, próbáltam bizonyítani, azt nem sikerült, de

közben rábukkantam olyan kérdésekre, amelyek az eredetnél sokkal érdekesebbnek bizonyultak, és megoldottam őket.

– *Mitől oly nehezek a számelmélet klasszikus nagy problémái?*

– Az egész számok körében értelmezett két műveletnek, az összeadásnak és a szorzásnak is több fontos tulajdonsága van. Az összeadás kommutatív, tehát az összeadandók sorrendje felcserélhető: $a+b = b+a$. Asszociatív is: $(a+b)+c = a+(b+c)$. Az összeadásra nézve létezik a nulla elem, amit bármely számhoz hozzáadva magát a számot kapom. Létezik az inverz elem, vagyis minden számnak van negatívja. A matematikus ezt úgy mondja, az egész számok az összeadásra nézve kommutatív csoportot, más néven Abel-csoportot alkotnak.

A szorzás is hasonlóan gazdag műveletekben. Asszociatív, tehát $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$, létezik egységelem, mellyel ha bármely számot megszorozunk, visszakapjuk magát a számot. Inverz elem már nincs, tehát az egész számok reciprokai – az 1 és a -1 kivételével – nem egész számok. A racionális számok reciprokai mindig racionális számok, hacsak nem nullával osztok. Ezért van az, hogy nem a racionális számok körében vizsgáljuk az oszthatóságot, hanem az egész számokéban, mivel az nem mindig teljesül, hogy az egyik egész szám osztója egy másiknak.

Akkor most tekintsük a számelmélet néhány súlyos problémáját.

A *Fermat-sejtés*: az $x^n + y^n = z^n$ egyenletnek $n > 2$ egész szám esetén nincs megoldása az x, y, z pozitív egész számok körében. Az n -edik hatvány a szorzás műveletre épülő fogalom: x^n azt jelenti, hogy x -et n -szer kell összeszoroznunk. Ugyanígy y -t és z -t. A Fermat-sejtés alapkérdése tehát az, hogy három, multiplikatív tulajdonságokkal rendelkező szám között teljesülhet-e egy szoros, a másik műveletre épülő additív kapcsolat.

Vagy itt van az *ikerprím probléma*. Ikerprímeknek nevezzük azokat az egymásra következő prímeket, melyek különbsége 2. Ilyen például a 3 és az 5, az 5 és a 7 vagy a 11 és a 13 stb. Régi, híres sejtés szerint végtelen sok ilyen ikerprím párpár létezik. A kérdés máig megválaszolatlan. Vagyis az, hogy a $p-q=2$ egyenletnek, ahol p és q prímszámok, van-e végtelen sok megoldása. A prímszám multiplikatív tulajdonságra épülő fogalom, s itt is az a kérdés, létezik-e közöttük ilyen szigorú additív összefüggés.

A *Golbach-sejtés* szerint minden 4-nél nem kisebb páros szám előállítható két prímszám összegeként. Látható, hogy itt is szoros additív kapcsolatot keresünk multiplikatív értelemben definiált számok között. E kérdések megválaszolása azért olyan nehéz, mert az egész számok körében a multiplikatív és az additív struktúra között alig van kapcsolat. Mindössze a disztributív tulajdonság köti össze őket, vagyis az, hogy összeget tagonként lehet szorozni: $(a+b) \cdot c = ac+bc$. Durván fogalmazva, olyan dolgok között kívánunk szigorú összefüggéseket találni, melyek között igen laza a kapcsolat. A számelmélet sok régi, nehéz problémájának a bizonyítása ezért tűnik ma még kilátástalannak. A megközelíthetatlenség a feladat természetéből adódik, nem a matematikusok erőtlenségéből.

– *A diofantikus egyenletekre vonatkozóan már Hilbertnek is voltak elvárásai, hiszen bevette híres 23 problémája közé.*

– Ez volt a 10. problémája. Hilbert 1900-ban Párizsban, a matematikus világkongresszuson a 20. század matematikusai számára megoldandó problémákat fogalmazott meg. Diofantikus egyenletről ugye akkor beszélünk, ha egy többismeretlenes egyenlet egész vagy racionális megoldásait keressük. Ezen belül egy egyenlet akkor polinomiális, ha egy egész együtthatós po-

linomot, mely lehet többváltozós, magasabb fokú, egyenlővé teszünk nullával, s azt kérdezzük, van-e megoldása, hány megoldása van, mik a megoldásai. Hilbert olyan általános eljárás keresését tűzte ki célul, amellyel bármilyen egész együtthatós polinomiális diofantikus egyenletről az együtthatók és a fokszám ismeretében véges sok lépésben eldönthető, hogy megoldható-e az egész számok körében vagy sem. Azután a harmincas években Gödel, Church és mások kimutatták, hogy a matematikában vannak olyan kérdések, melyek az adott rendszeren belül nem megválaszolhatók. Matijaszevics pedig 1970-ben bebizonyította, hogy nincs olyan univerzális eljárás, amely minden polinomiális diofantikus egyenlet esetén választ adna a megoldhatóságra. Hilbert 10. problémája ezzel negatív megoldást nyert. Mit lehetett tenni ezután? A diofantikus egyenletek lehető leghátrébb osztályai esetén igyekszünk választ adni a megoldhatóság, a megoldásszám kérdésére, végtelen sok megoldás esetén pedig megpróbáljuk leírni a megoldáshalmaz szerkezetét. Véges sok megoldás esetén általános algoritmusokat dolgozunk ki a megoldások keresésére, ami rendszerint abban áll, hogy a megoldások abszolútértékeinek maximumára adunk az együtthatóktól és a fokszámtól függő felső korlátot.

Baker már említett módszere áttörést hozott a diofantikus egyenletek elméletében, mivel több, az alkalmazások szempontjából is nagyon fontos kétismeretlenes egyenletcsalád megoldására szolgáltatott algoritmust.

– *Például melyekre?*

– Ilyenek egyebek között az úgynevezett Thue-féle, azaz az $F(x, y) = b$ alakú egyenletek, ahol $F(x, y) = a_0x^n + a_1x^{n-1}y + \dots + a_ny^n$ egész együtthatós, homogén, irreducibilis polinom, melynek fokszáma $n = 3$, x és y pedig egész ismeretlenek. A

b egy 0-tól különböző adott egész szám, a homogén jelző pedig azt jelenti, hogy a polinom minden egyes tagjában a kitevők összege n . A homogén polinomokat formáknak is nevezik, itt $F(x, y)$ egy ún. binér forma. Axel Thue már 1909-ben bebizonyította, hogy ennek az egyenletnek véges sok megoldása van. Bizonyítása azonban nem adott módszert a megoldások megkeresésére, mai szóhasználatnál ineffektív volt. Baker többek között a Thue-egyenletek x és y megoldásai maximumára adott explicit felső korlátot, mely az n fokszámtól, a b konstans abszolút értékétől és az a_1, \dots, a_n együtthatók abszolútértékeinek a maximumától függ. Jóllehet, ez a korlát igen nagy, mégis az eredmény nagy szenzációt jelentett, hiszen algoritmust adott, elvileg módszert szolgáltatott az ilyen típusú egyenletek megoldására.

– *Baker forradalmi eredményei 1966 és 1970 között születtek. Hol tartott ekkor a fiatal pályakezdő Györy Kálmán?*

– Ez időszakban védtem meg egyetemi doktori disszertációm, majd Turán Pál aspiránsa lettem. Neki köszönhetem, hogy röviddel megszületése után megismerkedtem a módszerrel. Magával Bakerrel 1970-ben Nizzában, a Nemzetközi Matematikai Kongresszuson találkoztam. Ott vette át eredményeiért a Fields-érmét. Akkor mehettem először külföldre, a Bolyai János Matematikai Társulat jutalmazott meg ezzel az úttal, a Schweitzer-verseny titkáráként végzett munkámért. Baker előadása után odamentem hozzá, örült az érdeklődésemnek, meghívott egy kávéra, elbeszélgettünk. Megkérdeztem, mit gondol, alkalmazható-e a módszere kettőnél több ismeretlenes széteső forma egyenletekre. Azt válaszolta, a 3 ismeretlenes esetre elképzelhető, hogy igen, tovább azonban nem valószínű.

– *Ez a kérdés némi magyarázatra szorul.*

– Az algebrai számelméletben nagyon fontos szerepet játszó diofantikus egyenletosztályról van szó, az $F(x_1, \dots, x_k) = b$ alakú egyenletekről ($k = 2$), ahol b egy 0-tól különböző egész szám, F egy egész együtthatós homogén polinom, mely felbomlik valós vagy komplex együtthatós lineáris polinomok szorzatára, az x_1, \dots, x_k megoldásokat pedig az egész számok körében keressük. Az ilyen F polinomokat széteső formáknak, ezeket az egyenleteket széteső forma egyenleteknek nevezzük. A széteső forma egyenletek az említett Thue-egyenlet általánosításai, mivel megőrzik a Thue-egyenletnek azon tulajdonságát, hogy bár az abban szereplő $F(x, y)$ binér forma a racionális számtest felett irreducibilis, az algebrai számtest felett már felbomlik elsőfokú tényezők szorzatára. Az algebrai számelmélet igen sok problémája ilyen széteső forma egyenletek megoldásainak keresésére vezethető vissza, vizsgálatuk ezért került az érdeklődés középpontjába.

Ez a kérdéskör engem már korábban is foglalkoztatott, az 1969-es Schweitzer-versenyen ilyen típusú feladatot tűztem ki. *Lovász Laci*, aki megnyerte azt a versenyt, egészen egyedi, szellemes bizonyítást talált rá. Mi akkor ismerkedtünk meg, összebarátkoztunk, eredeti gondolatát felhasználva, de azt lényegesen általánosítva írtunk erről egy közös cikket. Elmondtam Bakernek, amit Lovással közösen a $k = 3$ esetben nyertünk, tetszett neki. Ez persze önmagában még mindig egy speciális eset. A kérdés akkor válik igazán érdekessé, a megoldás teljessé, ha tetszőleges ismeretlenségű széteső forma egyenletek és tetszőleges algebrai számtest esetén tudunk algoritmust szolgáltatni. Azt a módszert, amit Lacival a $k = 3$ esetben használtunk, csak bizonyos speciális algebrai számtestekre lehetett alkalmazni. A hetvenes években azután olyan módszert találtam, amelynek segítségével, Baker módszerét is felhasznál-

va, a széteső forma egyenletek körében sikerült áttörni a kétismeretlenes határt. Explicit korlátot adtam a széteső forma egyenletek megoldásaira tetszőleges ismeretlenségű és akármilyen fokszám esetén, ezzel sikerült algoritmust szolgáltatnom az ilyen típusú egyenletek megoldására. Eredményeimet 1973 és 1984 között különféle általánosabb formákban hosszú cikksorozatban publikáltam. A nyert állításoknak számos alkalmazását is adtam, egyebek között az algebrai számelméletben és az irreducibilis polinomok elméletében. Mindezekkel sikerült megoldanom Delone és Faddeev, Nagell, illetve Narkiewicz egy-egy nevezetes problémáját adott diszkriminánsú polinomokkal, algebrai egészekkel és egységekkel kapcsolatban, valamint algoritmust adtam az algebrai számelmélet egy évszázados problémájára, nevezetesen az algebrai számtestek hatványegészbázisainak keresésére. Amikor első ilyen irányú eredményemet 1972-ben, a kandidátusi disszertációm munkahelyi vitáján bejelentettem, egyik tekintélyes kollégám meglepődve megjegyezte, szerinte ez nem lehet igaz. Turán Pál viszont azt mondta, ezt még sokat fogják idézni. Neki lett igaz.

– *Milyen kedvére való lett volna ez Hilbertnek!*

– Annak azért biztosan jobban örült volna, ha a 10. problémával megfogalmazott programja nem csak egy fontos egyenletosztály esetében kap pozitív választ.

– *Ilyenkor, áttörést jelentő eredmény megszületésekor mi a teendő? Azonnal publikálni kell, vagy dolgozni még az alkalmazásokon?*

– Gyorsan leírtam, és a cikket elküldtem Turán professzor úrnak, aki továbbította az *Acta Arithmetica*-nak. Ott jelent meg, sokat idézték, rengetegen kapcsolódtak hozzá általánosításokkal, analógiákkal... Tudtam persze, hogy olyasmit találtam, amiből még sokminden kihozható. Magam

is keményen, megállás nélkül dolgoztam ebben az irányban, több tucat cikket írtam a különböző elágazásokból és az alkalmazásokból. 1979-ben a Pierre és Marie Curie Egyetemen, Párizsban fél éves előadásorozatot tartottam erről oktatóknak, kutatóknak, doktoranduszoknak. Ennek anyaga nyomtatásban is megjelent Kanadában.

– *Milyen irányban folytatódott a kutatás?*

– Említettem, vizsgálataimhoz itthon és külföldön sokan kapcsolódtak, eredményeimet és módszereimet igen sokan alkalmazták. Kutatásaimat magam is több irányban folytattam, részben debreceni munkatársaimmal, valamint külföldi kollégákkal közösen. Ezek során egyebek között fontos általánosítások, analóg eredmények születtek végesen generált gyűrűk és függvénytestek felett. Sikerült az együtthatóktól független felső korlátokat levezetni a megoldásszámra. A nyert eredmények és módszerek számos alkalmazáshoz vezettek a számelméletben, sőt az algebraiban is. Egy fontos vizsgálati irányról azért mondom néhány szót. Említettem már, hogy egy általános egyenletosztály esetén a megoldások megkeresésére eljárást adhat a korlátadás, hiszen az egyenletosztályhoz tartozó konkrét egyenleteknél – amikor a fokszám és az együtthatók konkrét számok – elegendő a korlát alatt minden értéket behelyettesíteni és a megoldásokat kiválogatni. Ha nagy a korlát, ez a módszer nehezen kivitelezhető, mert túl sok esetet kell behelyettesítéssel számításba venni, ellenőrizni. Széteső forma egyenleteknél jobb, ha az eredeti egyenletet visszavezetjük egység egyenlet-rendszerre, s ott adunk korlátot a megoldásokra. Mivel az ismeretlenek az egység egyenletek mint exponenciális egyenletek kitevői, a korlátok a dolog természetéből következően kisebbek az eredeti egyenletnél nyert korlátoknál. Igaz, még mindig nagyok ahhoz, hogy konkrét

egyenletek megoldására használhatók legyenek. Baker és tanítómestere, *Davenport* voltak az elsők, akik észrevették, hogy egy nagyon speciális egyenlet esetén lánctört kifejtéssel és egy ügyes trükkel olyan kicsire redukálható a korlát, hogy a helyettesítések számítógéppel már elvégezhetők. Aztán sokáig csend volt ezen a területen. Az igazi áttörés Szegedről indult. Lovász László¹ akkoriban ott volt tanszékvezető, és azon törte a fejét, hogy ha veszünk az n -dimenziós térben egy rácsot, akkor ennek végtelen sok bázisa között található-e olyan, amely már majdnem ortogonális. Lacinak ezt sikerült bebizonyítania. Ennek következményei lettek a diofantikus approximációk elméletében. Magyarországon járt az egyik *Lenstra* fivér, s Lacival közösen észrevették, hogy a tétel alkalmazható az egész együtthatós polinomok irreducibilis faktorizációjára. Laci algoritmusá ugyanis polinomiális volt. Az algoritmuselméletben nagyon fontos, hogy az algoritmus hány lépésben szolgáltatja a megoldást. Ha a bemenő adatok függvényében exponenciális, akkor túl hosszú az algoritmus, ha polinomiális, akkor jó. Lovász és a *Lenstra* fivérek közös cikket írtak, és az azóta LLL-algoritmusnak nevezett eljárásnak hatalmas sikere lett a matematikában. Számos alkalmazása között ott van a diofantikus egyenletek elmélete is. Általános egyenletosztályok esetén a megoldásokra nyert korlátok ugyan ezzel az eljárással nem csökkenthetők, az LLL-algoritmus viszonylag kis fokszámú, kis ismeretlenszámú és kis együtthatójú konkrét egyenleteknél gyakran igen jól alkalmazható. Például vele akár több lépésben is jelentősen redukálhatók az egy-egy konkrét egység egyenlet kitevőire adott korlátok. Rendszerint sikerült ezt a korlátot úgy 100 körülire leszorítani. Ám az probléma maradt, hogy mit kezdjünk az ún. „kis megoldásokkal”.

¹ Lovász Lászlót 2001-ben Corvin-lánccal tüntették ki.

A világon több helyen, itt Debrecenben is vizsgálják, miként lehet megoldani ezeket az egyenleteket, hogyan kereshetnénk meg a kis megoldásokat. Nálunk elsősorban *Pethő Attila* és *Gaál István* kollégáim, de én magam is foglalkozom ezzel a kérdéssel. Újabban sikerült például a széteső forma egyenletekre vonatkozó eredeti megközelítésemet, általános algoritmusomat lényegesen finomítanom, ami megkönnyíti a kis megoldások megkeresését. E finomított általános módszeremmel ugyanis jelentősen csökkenthető a fellépő egység egyenletekben a kitevőkben szereplő ismeretlenek száma és a korábbiaknál jobb korlát adható a megoldásokra. Ezután konkrét esetekben igyekszünk leszorítani a korlátokat. A széteső forma egyenletek konkrét esetekben való megoldásához tehát több minden szükséges: kell az általános algoritmus finomított változata, majd a redukció, a kis megoldások keresése és a számítógép.

– *Érdekes lehet megélni azt a folyamatot, ahogy az ember lassan a tudományterülete klasszikusává válik. A fiatalok neki mutatják meg az eredményeiket, az ő értékítéletét várják.*

– Jóleső érzés, amikor a fiatalok, Amerikától kezdve Japánig megkeresnek, elküldik különlenyomataikat. Ami értékes, azt mindig megdicsérem, tudom, mennyit jelentett nekem is a bátorítás. Hiszek a pozitív ösztönzésben. Ahol az ember megteheti, ott ne fukarkodjon a dicsérettel, a jó szóval. A tudományos munkáért a felismerés öröme, a szakma elismerő értékítéletén túl nem sok egyéb jár.

– *A publikálásban nem gátol, hogy eredményeid a szakma legnagyobbjai közé emeltek? Most már sokszorosan oda kell figyelned, hogy mit adsz ki a kezedből.*

– Arra mindig sokat adtam, hogy mi jelenik meg a nevem alatt. De nem gátolhatnak az előzmények, mert magamat foszta-

nám meg az alkotás örömétől. Legyen bármilyen tehetséges valaki, nem csinálhat mindig világraszóló dolgokat. A tudományos műhelymunka mögött sok fáradtság, időnként kudarc és csalódás is van, és persze eredmények. A tehetség nem öröklésváló adottság, munka nélkül elapad, mint a forrás. Tehát dolgozni kell, és örülni a kis eredményeknek is.

– *Nem alkothatunk mindig örökzöld partikat. Az ügyes kis kombinációval megnyert játszmákat is meg kell becsülnünk.*

– Így van, legfeljebb tudnunk kell, mit hol publikáljunk.

– *Professzor úr, beszélhetnénk még sok fontos munkádról, az általános végességi eredményeidről, végességi kritériumaidról, a megoldásszámokra adott korlátokról, melyeket Evertse, Stewart és Tijdeman társszerzőiddel publikáltatok vagy akár a klasszikus, nagy problémákra adott bizonyításaidról. Annyi az eredményed, hogy azokat egy beszélgetésben képtelenség mind áttekinteni. Melyikük a legkedvesebb „gyermeked”?*

– Sok kedves van közöttük. Mégis, ha azt nézem, a széteső forma egyenletekre és az egység egyenletekre vonatkozó eredményeimnek és azok alkalmazásainak volt a legnagyobb hatásuk. Tudod, divat manapság a hivatkozásokot számolni. Nem igazi értékmérő ez, mivel a különböző tudományokban mások a szokások. De kellett, ezért én is összeszámoltam a sajátomat.

– *A matematikában 300-400 hivatkozás már jónak számít.*

– Nekem 1200 hivatkozásom volt.

– *Erdős Pali bácsi köszöntötte gyakran úgy a barátait: „Éljenek örökké a tételeid!” A hivatkozásokat nézve a tiednek erre nagy esélyük van.*

– Mélyen beépültek az irodalomba, ez igaz.

– *Mennyire ösztönöz ma az, hogy nevedre miként emlékezik majd, mondjuk*

száz év múlva, a matematika tudományának „Nagykönyve”?

– Nehéz befolyásolni a jövőt. Érdekes megfigyelni, hogyan szelektál az utókor. Évtizedekkel ezelőtt könnyebben fűződött név egy-egy tudományos felfedezéshez, tételhez, módszerhez. Ma, a felgyorsult információáradat korában kevés eredmény él túl évtizedeket. Valami kicsit hozzászúnek a korábbiakhoz, továbbfejlesztik azt... Sok igazság van abban, amit már annak idején Turán Pál megjegyzett: a világ mindig a rekordereket tartja számon. Valaki meglátja a lényegét, kidolgoz egy eljárást, mellyel áttörést ér el, szép eredményekre jut. Azután jönnek a javítgatók, picit módosítanak a korláton, s már övök a rekord, őket tartják számon. Én soha nem feledkezem meg az előzményekről. Cikkeimben inkább idézek kicsit több kutatót, véletlenül sem szeretnék kihagyni valakit, megfeledkezni az ő hozzájárulásáról.

– *Voltak elszalasztott lehetőségek, olyan pillanatok, amikor már majdnem a kezekben volt a megoldás, aztán mégis „eliramlott” a tétel?*

– Nem hiszem. Ami eliramlott mellett, az egy mostoha korszak volt. Erről azonban nem tehettem. Arról sem, hogy huszoneves koromban, amikor az ember a legfogékonyabb, nem mehettem külföldre, nem szerezhettem tapasztalatot néhány nagy kutatócentrumban, konferenciákon. Még a nyolcvanas években is a Nemzeti Bank engedélye kellett ahhoz, hogy mi külföldön jelentessük meg a cikkeinket. Szerencsémre nyugati társszerzőkkel publikáltam, ezeket hagyták megjelenni engedély nélkül.

– *A világ igencsak megváltozott körülöttünk. Mennyire változott meg a matematika, e tudomány művelésének módja?*

– A kísérletes tudományokban manapság lehetetlen egy szál embernek magányosan kutatni. A kísérleteket gyakran több

száz fős csoportok tervezik, kivitelezik, értékelik. A matematikában, a tudomány természetéből fakadóan csak az utóbbi időkben vált gyakorlattá a csoportmunka. Ma már egyre több nálunk is a két-három fős kutatócsoport, amelyekben az azonos érdeklődésű matematikusok együtt dolgoznak, közös cikkeket írnak. Az együttgondolkodás termékeny, segíti a matematika fejlődését. Erősödött a nemzetközi együttműködés, és hihetetlenül felgyorsult az információáramlás. A számítógép összeköt a világgal, könnyű információhoz jutni, kapcsolatot teremteni. Akár egy egész cikket vagy könyvfejezetet elektronikusan pillanatok alatt eljuttathatok kollégáimnak a világ bármely pontjára.

– *Professzor úr, szeretsz tanítani?*

– Szeretek, nagyon szeretek. Mindig jól, otthonosan érzem magam az érdeklődő, értelmes diákok között.

– *Az oktatói, a tanári pálya azonban egyre inkább értékét veszti a mai társadalomban. Elég ránézniünk a természettudományi karok klasszikus tanári szakjaira, például a matematika-fizika szakra jelentkezők számára, s arra, milyen alacsony felvételi pontszámmal lehet ma bekerülni az egyetemre. Milyen lesz a jövő? Mi a teendő?*

– A tanári pálya anyagi és erkölcsi megbecsülését kell növelni ahhoz, hogy jó képességű, tehetséges gyerekek jöjjenek hozzánk. A kétlépcsős képzési rendszert kellene megvalósítanunk. Az a fiatal, aki bekerül a felsőoktatási intézménybe, attól függően kapjon általános- vagy középiskolai tanári oklevelet, hogy ott miként teljesít. Ehhez azonban tisztázni kellene a tanárképző főiskolák és az egyetemek viszonyát. A főiskola beolvasztása az egyetembe nem szerencsés lépés. Együttműködésre kellene törekedni, munkamegosztásra, az alsóbb években a tanárjelöltek közös képzési tervének kidolgozására.

Az egyetemi oktatók bérét is rendezni kellene, több lépcsőben olyan szintre emelni, hogy elérje a versenyszféra átlagfizetéseinek legalább 60-70 %-át. Így talán a fiatal tehetségeknek érdemes lesz a tudományos pályát választaniuk és idehaza továbbadniuk a tudásukat.

– *Van erre kilátás? Éppen a minap fogalmazott úgy Katona Gyula akadémikus, az alapításának 50. évfordulóját ünneplő Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézet igazgatója, hogy egy tehetséges magyar matematikusnak itthon maradnia hazafias áldozatvállalás. Ha családja van, de lakása nincs, akkor még inkább.*

– A közvéleménykutatások szerint társadalmunk a tudományos munkát még mindig nagyra értékeli. Országunk 1990-ben nehéz helyzetet, gazdasági életünk sok területén ható, mélyülő válságokat örökölt. Azóta megindultunk fölfelé, gazdaságunk dinamikusan fejlődik, a többletforrásokból több jut a kutatásra és a fejlesztésre, ami előbb-utóbb kézzelfogható eredményeket hoz.

Egyedüli matematikusként tagja vagyok a Tudománypolitikai Kollégium Tudományos Tanácsadó Testületének, amely a kormány 12 tudósból álló tanácsadó testülete. Megpróbálunk segíteni, közreműködni abban, hogy jó irányban menjenek a dolgok. Konkrét cselekvési programok készülnek, s az elkövetkező években lényegesen többet fordít az ország a tudományra és a felsőoktatásra. Akkor majd újra vonzó lesz a tudományos pálya, és a tehetséges gyerekek ismét megindulnak a tudományegyetemek felé.

– *Látom, mennyi felelősség nyomja a vállad. A Debreceni Egyetem tudományos rektorhelyettese¹, a Magyar Tudományos Akadémia Matematikai Osztályának elnöke, a Tudomány és Technológiapolitikai*

Kollégium Tudományos Tanácsadó Testületének és számos neves szakfolyóirat szerkesztőbizottságának tagja vagy. Mikor jut idő a matematikára? Lemondtál volna a nagy szerelmedről?

– Nem, azt soha nem tenném. Most kétségtelenül nehezebb időt szakítanom a matematikára, de ez az állapot nem tart örökké. Komoly erőfeszítések árán, összelopkodott időben ma is dolgozom, cikkeket írok, nem is kevesebbet, mint korábban, lektorálok, disszertációkat, pályázatokat bírállok... Ma jobban kell gazdálkodnom az időmmel, de ebben az egyetemünkön és az Akadémián is ügyes, rátermett munkatársak segítenek.

– *A tanácsuléseket, az ünnepélyes alkalmakat így sem kerülheted el. Például a Bolyai János Nemzetközi Matematikai Díj átadását 2000. november 4-én.*

– Azt a pillanatot régóta vártuk. Büszke vagyok arra, hogy sikerült eljutnunk ideig.

– *Elég nehezen ment, hiszen Bolyai-díjat másodikként és utoljára 1910-ben kapott Akadémiánktól David Hilbert.*

– Az elnökségi határozat már 1994-ben megvolt a díj felújítására. Nem az osztályunkon múlott, hogy nem tudtuk kiadni.

– *Hanem a pénzen?*

– Igen, de végülis Akadémiánk elnökének ügyes lobbizással sikerült vállalkozóktól előteremtenie a díjalapot. Mi összehoztuk a nemzetközi zsűrit, amely jól és pontosan dolgozott, határidőn belül meghozta a döntését.

– *És jól döntött.*

– Nagyon jól! Poincaré és Hilbert után is megőrizte a díj a tekintélyét, a „döntőbírák” hozzájuk hasonló nagyságot választottak 2000-ben Saharon Shelah személyében. Bolyai János büszkén és joggal írta annak idején édesapjának a sokat idézett sort: „*semmitől egy ujj más világot teremtettem*”. Hasonlót tett Shelah is az abszolút halmazelméletben.

¹ 2001. augusztus 1-jétől rektora

– *A Bolyai János Nemzetközi Matematikai Díj egy megjelent monográfiáért jutalmazza szerzőjét. Shelah a Cardinal Arithmetic könyvében összefoglalt eredményekért kapta a díjat. De jó feltétel-e egy monográfia a kitüntetett kiválasztásához?*

– Ezen lehetne vitatkozni, de már nem érdemes. Nem 1910-et írunk, amikor a Bolyai-díj egyedülálló volt a matematikában, szinte a Nobel-díjat pótolta. Azóta a matematikusoknak több nagyon rangos díjat alapítottak, többek között a Fields-érmet vagy a Wolf-díjat.

– *Az Osztrowszky-díjról nem is beszélve, amelyet nemrégiben Laczkovich Miklós-nak ítéltek oda.*

– Úgy van, éppen ezért kellett a mi újra-induló Bolyai-díjünknek valami különleges, a többitől eltérő jelleget találni. Voltak persze ellenzői osztályunkon belül is a monográfiáért adható díjnak, de tudtuk, ha nem születik köztünk megállapodás, akkor magunk leszünk gátjai e nemes kezdeményezésnek. Legnagyobb matematikusunk nevét viselő nemzetközi matematikai díjünk úttörő jelentőségű, önálló eredményeket tartalmazó monográfiáért adható, s jelképes, hiszen Bolyai János is egy kiadványban, az Appendixben írta le világra szóló eredményét.

Tehát jó, hogy van ilyen díjünk, jó, hogy kiadtuk 2000-ben, és jó kézbe adtuk a jutalmat. A világ matematikusainak figyelmét ezzel a Bolyai névre is ráirányítottuk, a nemzetközi hírű rangos díjjal pedig jó szolgálatot tettünk a magyar tudomány, a matematikánk ügyének.

– *Tudósemlernek meghatározó fontosságú lehet a mögötte álló család. Professzor úr, neked milyen a hátszágod?*

– Szerencsés embernek mondhatom magam. Feleségem kezdettől mellettem állt, hitt bennem, támogatott abban, hogy a matematikával is összeköthessem az életemet. Nem kis áldozat volt ez részéről, kü-

lönösen az elején. Kezdő fizetésem 1300 forint volt, ebből 600 elment albérletre, 600 katonaadóra. Gyakorlatilag az ő fizetéséből éltünk. Ha akkor minden időmet pénzkérésre fordítom, nem a tudományos munkára, akkor családunk hamarabb jön egyesbe, én azonban reménytelenül lemaradok a matematikában. Aki az elején kihagy tíz évet, nem tudja újrakezdeni a kutatást. Nagy szerencsém, hogy feleségem többre tartotta a tudományos tevékenységet, a szellemi alkotást az anyagiaknál. Nem mondom, voltak időszakok, amikor nekem kellett biztatnom őt: lesz ez még jobb is!

Feleségem igazi szellemi partnerem, aki szereti és nagyon jól végzi a munkáját. Ízig-vérig tanár, pedagógiai pszichológiát tanít az egyetemen. Diákjai rajonganak érte, jó vele úton lenni, őt mindenki mosolyogva köszönti.

– *A Középiskolai Matematikai Lapok megjelenésének századik évfordulóján fényképes összeállítást készített a lap legjobb megoldóiáról. Szülők és gyermekeik tízenéves fényképei kerültek ott egymás mellé. Két kísértetiesen hasonlító fiatalember: Györy Kálmán (1957-ben nyert) és Györy Máté (1992-ben). A matematika szeretetének és művelésének hagyománya tovább él a családotokban?*

– Máténak tehetsége van a matematikához. Nemcsak a szülői elfoglaltság mondta ja ezt velem. Bizonyítja a sok szép siker, amelyeket a matematikaversenyeken elért. Egész kis gyűjteménye van érmekből, kitüntetési oklevelekből. Minden adottsága megvan ahhoz, hogy az elméleti matematikában kifussa magát. Őt azonban sokminden más is foglalkoztatja. Érdeklék az alkalmazások, a közgazdaságtan, a nyelvek... Jelenleg harmadéves PhD-ösztöndíjas, és a negyedévet végezte közgazdász szakon.

– *Úgy tudom, másik fiad helyrebillenti a nem matematikusok arányát a családban.*

– Péter földön járó, gyakorlatias, ügyes, jó kapcsolatteremtő ember, aki igazán ott-hon érzi magát a mai vállalkozó világban. Talán előnyösebb lenne számára, ha szülei vállalkozók lennének, nem kutatók és tanárok. Meghallgatjuk a terveit, hozzá is szólunk, de leginkább csak szurkolni tudunk neki, hogy valóra váltsa elképzeléseit.

– *Professzor úr, hozzád belépve azonnal megakadt a tekintetem ezeken a díszes kötésű könyveken. Most már tudom is, mi van bennük.*

– A könyveket tanítványaimtól kaptam, hatvanadik születésnapomra. Összegyűjtötték az eddig megjelent publikációimat, és négy kötetbe szépen bekötötték. Meghatott az ajándékuk.

– *Úgy tudom, Debrecenben nemzetközi konferenciával is köszöntöttek, valamint egy neked ajánlott kötettel.*

– *Sárközy András* is most volt hatvanéves, a konferencia kettőnknek szólt. Régi barátaim közül eljött köszönteni Baker, Schinzel, Tijdemann és még sokan mások. A *Publicationes Mathematicae* pedig egy külön kötetet adott ki a 60. születésnapomra dedikált cikkekből. Pár nevet említek a szerzői közül: *Bérczes Attila, Bindza Béla,*

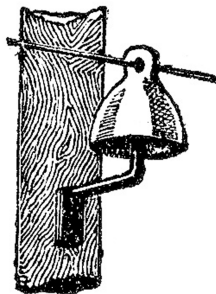
Gaál István, Hajdu Lajos, Kiss Péter, Pethő Attila, Pintér Ákostanítványaimat, Dömösi Pál, Tamássy Lajos debreceni kollégákat, *Bernik, Bugeaud, Cohen, Evertse, Kanemitsu, Lorent, Mignotte, Narkiewicz, Pohst, Stewart, Schmidt, Shorey, Schinzel, Tichy, Tijdeman, Waldschmidt* külföldi kollégáimat, és a magyarokat, *Lovászt, Pelikánt, Pintzet, Ruzsát, Sárközyt...*

– *Nem akármilyen társaság tisztelgett előtted munkájával. Milyen jó, hogy végül Debrecenben felvették az egyetemre azt az őzdi fiatalembert. Mit érez ilyenkor az ember az ünnepése perceiben?*

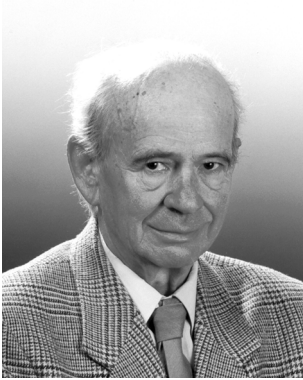
– A megbecsülés és a szeretet elgyengíti, ugyanakkor megerősíti az embert. Arra buzdít, hogy másokat segítve tegyem a dolgom, minél jobban és hasznosabban. Vannak adósságaim, megírásra váró cikkek, egy-két befejezetlen könyv... Időm pedig egyre kevesebb. Arra azért mindig marad, hogy a tehetséges fiatalok útját egyengetsem.

Az interjút készítette:
Staar Gyula

Kulcsszavak: *Győry Kálmán, diofantikus egyenletek, számelmélet*



Megemlékezés



GYÖRFFY BÉLA

1928–2002

2002. május 8-án, életének 75. évében váratlanul elhunyt Györfy Béla, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének volt igazgatója. Széchenyi-díjas kutatóprofesszor volt, számos magyar és külföldi tudományos bizottság, társaság elnöke, több egyetem díszdoktora. Személyében a magyar tudományos agrárközélet kiemelkedő alakja, több generáció nagy tudású oktatója, a nemzetközi tudományos élet fáradhatatlan szervezője, valamint számos természettechnológiai eljárás kidolgozója távozott az élők sorából. Nyitottsága, higgadt derűs bölcsessége mindannyiunknak hiányozni fog.

Györfy Béla a Vas megyei Kemenesmagasiban született 1928-ban. A magyar agrártudománynak rajta kívül még két jelentős személyisége származik innen: Jánosy Andor és Berzsényi-Janosits László. Középiskolába Zalaegerszegen majd Székesfehérváron járt, végül Szarvason, a Gaz-

dasági Tanintézetben érettségizett, kitüntetéssel. Egyetemi tanulmányait Budapesten, a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kezdte, majd annak utódjában, az Agrártudományi Egyetemen fejezte be. Ezekben az években a híres Györfy-kollégiumban gyarapította – szakmai tudásán kívül – sokoldalú irodalmi, történelmi, gazdasági és ideológiai műveltségét a tudományág legjobb, bár gyakran ellentétes irányzatokat valló művelőinek vezetésével.

Első munkahelye 1948–49-ben, a Közgazdaságtudományi Egyetem Agrárpolitikai Tanszékén volt, ahol Nagy Imre, a későbbi miniszter, majd miniszterelnök mellett dolgozott. Ezt követően 1949-ben került Moszkvába, a Tyimirjavez Akadémiára. A prjanyisnyikovi iskola egyik jeles professzora, Harcsenko volt az aspiráns vezetője. Az aspirantúra ideje alatt kísérleteinek nagyobb részét Magyarországon: Martonvásáron, Óváron és Karcagon végezte. *Kéftőstermesztés Magyarországon* című kandidátusi értekezését 1953-ban védte meg. Magyarországon ezzel a témával ekkoriban a Györfy Béla által is elismert és tisztelt Surányi János akadémikus foglalkozott. Eredményei nagy hatást gyakoroltak rá. Vezérlő elve volt Surányi mondása: „A tapasztalat sokmindent pótol, de a tapasztalatot nem pótolja semmi.” A mezőgazdasági tudomány doktora fokozatot 1986-ban szerzte meg.

Martonvásáron, a Mezőgazdasági Kutatóintézetben 1952-től dolgozott különböző beosztásokban: igazgatóhelyettes 1953 és 1956 között, tudományos munkatárs, tudományos főmunkatárs, tudományos osztály-

vezető, 1981-től 1988-ig az intézet igazgatója, 1989-től haláláig kutatóprofesszor. Az intézet Tudományos Tanácsának megalakulásától kezdve ő volt az elnöke.

A Magyar Tudományos Akadémia 1987-ben levelező tagjává, 1992-ben rendes tagjává választotta. Az MTA Felügyelő Bizottságának elnöke volt 1990 és 1995 között, majd 1996-tól 2001-ig az MTA Élettudományi Kuratóriumának elnöki teendőit látta el.

Győrffy Béla nagyszerű életpályája telve volt tartalmas, egész embert igénylő, s egyben próbára tevő, az elmúlt század második felének gazdag történéseit magába foglaló eseményekkel. Annak a fiatal generációnak élcsapatába tartozott, amelyik a II. világháború után hozzájárult az ország mezőgazdaságának újjáépítéséhez. Szemléletformáló tevékenységével a magyar mezőgazdaság fontos, meghatározó személyisége volt.

Kutatómunkájának fél évszázada egybeforrott a martonvásári növénytermesztési kutatásokkal. Munkatársaival kidolgozta a modern kukoricatermelési rendszerek első technológiáit. 1959 és 1961 között ő állította be Martonvásáron az ország legregebbi, korszerű növénytermesztési tartamkísérleteit, amelyeknek, mint élő „szabadföldi laboratóriumoknak” felbecsülhetetlen tudományos értékük van a kutatásban és az oktatásban. E kísérleteiben a vetésforgó, a monokultúra, a trágyázás és a talajművelés rendszerének összefüggéseit tanulmányozta. Kutatásaiban nagy gondot fordított a genotípus és a környezet, valamint a genotípus és a technológia kölcsönhatásának megismerésére. Kutatómunkájában jelentős teret szentelt a gyakorlatban széles körben alkalmazott eljárások vizsgálatának is.

Az 1958-ban megjelent *A kukoricatermesztés forradalma* című cikkében az abban az időben sokat vitatott, kapálás nélkü-

li kukoricatermesztésről számolt be. Nézegeteinek helyességét az idő egyértelműen igazolta. Ezzel összefüggésben a gyomszabályozás kérdésével kezdett foglalkozni. E témakörben egyik kezdeményezője volt a hazai herbológiai kutatásoknak. Több herbicid szabadalom társszerzője. Mindig szem előtt tartotta szülőföldjének kiváló költője, Berzsenyi Dániel szavait: „A míveletlen föld csak gazt terem.”

Amikor a magyar hibridekről kiderült, hogy termőképességben ugyan versenyképesek az amerikaiakkal, de szárszilárdóságuk nem kielégítő, honosítással is foglalkozni kezdett. Kevesen tudják, hogy volt olyan időszak, amikor az ország kukorica-vetésterületének nagyobbik felét az általa honosított hibridek foglalták el.

A kemizáció és a szerves gazdálkodás közötti vitában is az arany középút megtalálására buzdított. „Tudatában vagyok a kemizáció pozitív oldalai mellett – ezt adataink bizonyítják – az érem másik oldalának is. De a megoldás nem a vegyi anyagok használatának a kikapcsolása a mezőgazdaságból, mert az éhínséghez és beláthatatlan következményekhez vezetne. Tudomásul kell vennünk, hogy civilizációinkban sem a gyógyszereket, sem a peszticideket nem nélkülözhetjük. Azokkal értek egyet, akik – nagyon helyesen – alkalmazkodó, környezetkímélő mezőgazdaságról vagy fenntartható mezőgazdaságról beszélnek.”

Kutatómunkájának eredményeiről több mint százötven magyar és idegen nyelvű tudományos közleményben számolt be. Munkásságának első három évtizede a magyar mezőgazdaság olyan periódusaira esett, amikor eredményeink láttán nemcsak szomszédaink, hanem a fejlett nyugati országok is elismeréssel adóztak növénytermesztésünknek. Félévszázados szakmai tevékenységével jelentősen hozzájárult a magyar növénytermesztés, a földművelés, a tápanyaggazdálkodás, a kemizálás fejlő-

déséhez. Munkássága döntően befolyásolta a nagyüzemi kukoricatermesztés elméleti alapjainak kialakítását, gyakorlatba történő átültetését és elterjesztését a szakmai köztudatban.

Győrffy Béla 1981-től 1988 végéig, volt az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének igazgatója. Tudományszervező tevékenysége tovább öregbítette intézetünk nemzetközi hírnevét, hazai elismertségét mind a nemesítési és termesztési, mind a kísérleti biológiai kutatásokban.

Munkássága elismeréseként több alkalommal részesült magas állami és társadalmi kitüntetésben: 1962-ben kapott Akadémiai Díjat, 1979-ben a Munka Érdemrend arany fokozatát és a Cserháti-díjat, két ízben a *Kiváló Feltaláló* érem arany, egyszer az ezüst fokozatát nyerte el. Baross-emlékéremmel tüntették ki 1995-ben, 1997-ben pedig Széchenyi-díjban részesült.

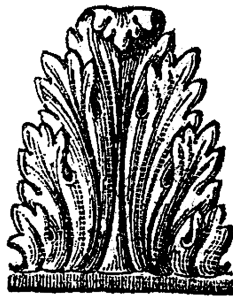
Győrffy Béla kivételes egyéniség volt, akit az igazság arany középútjának örökös keresése, szélsőségek feloldásának szándéka jellemzett. Mindenkit meghallgatott, mindenki véleményét megfontolta. Érvei-

nek szintézise a józan középút kiválasztására, követésére, egymás tiszteletére, elképzeléseinek meghallgatására szólított bennünket. Intelligenciájának, intuitív képességének köszönhetően mindenkivel megtalálta a közös hangot, mégis talán a fiatalokkal szeretett leginkább beszélgetni. Örült a körülöttünk egyre sokasodó fiatal kollégáknak, ebben látta Martonvásár, az agrárkutatás jövőjének reményét.

A Vas megyéből indult, világot látott tudós természetes egyszerűséggel vált martonvásárivá. Ezt méltányolta a település, amikor 1995-ben díszpolgárává választotta. Mi, akik vele dolgoztunk, éltünk Martonvásáron, tudjuk, hogy legjobban akkor érezte magát, amikor a szőlőjét metszette vagy a birkái között volt. Ez az érzés háromnegyed évszázados életútja során csak keveseknek adatik meg, Neki azért, mert meg tudott maradni a kemenesmagasi földművelő ember fiának, a szó legnemesebb értelmében vett Embernek.

Veisz Ottó

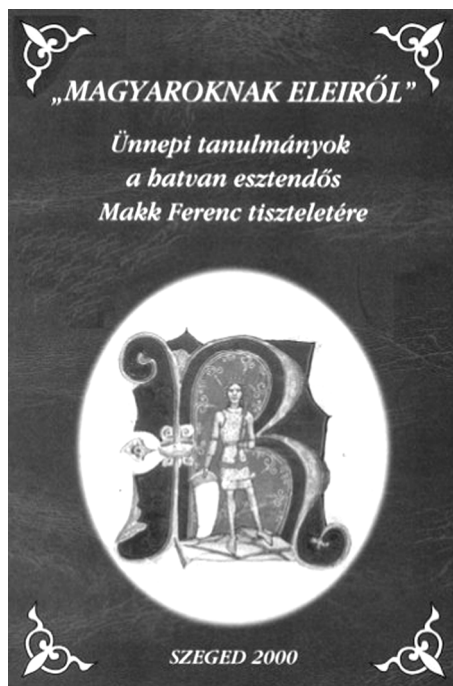
az MTA doktora, ügyvezető igazgatóhelyettes
(MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár)



Könyvszemle

Olvasónapló

A tudósok, egyetemi oktatók 60. vagy újabban inkább 70. születésnapja alkalmából kiadott emlékkönyvek mindig változatos tartalommal jelennek meg, de valahol kapcsolódnak az ünnepelt kutatási területéhez. Így van ez Makk Ferenc szegedi professzor esetében is, aki a határainkon túl is ismert és neves Szegedi Középkorász Műhely egyik alapítója és vezetőségi tagja, több évtizede már a szegedi egyetem oktatója. Az oktató jelentőségét az is mutatja többek közt, milyen széles azoknak a köre, akik az emlékkönyvben szerepelnek. Makk Ferenc esetében ez igen sok ember. Nyilvánvalóan lehetetlen a több mint 700 lapos kötet minden tanulmányát méltatni egy rövid ismertetésben. Csak a témájuk miatt is nagyobb figyelemre számító cikkekre térünk ki. Benkő Loránd *Anonymus Castrum Borssed zauvoln* című cikkében azt mutatja ki, hogy itt Anonymus kedvelt Bors alakjáról van szó és Zólyom váráról, a Borssed kifejezés második tagja, a séd (patak) magyar szó. A magyar középkorkutatók egyik nesztora, Borsa Iván a sajátos magyarországi képződmény, a közjegyzőket pótló hiteleshelyek további elmélyült kutatásának irányait és feladatait jelöli ki. Font Márta a magyar történelemben is szereplő Dániel halics-volhiniai fejedelem latin nyelvű esetleges történetének, gesztájának nyomait tárja fel az orosz évkönyvekben. *Kristó Gyula* Szent István Pécsváradi oklevelének a problémáit boncolja, úgy látja, a későbbi átirásokból ismert oklevél eredeti dátuma (1015) elfogadható, de később kiegészít-



tették. Marosi Ernő a székesfehérvári, Szent István alapította prépostság templomának képeiről a gyér elbeszélő, írott forrásokban található adatokat összegzi. Petrovics István egy 1317-ben, Károly Róbert (I. Károly) király ellen, egyik korábbi híve által előkészített merénylet körülményeit tisztázza mint a korabeli harcok egyik mozzanatát. A kötetet szerkesztő Piti Ferenc megmondolgozott adatokat hoz fel arra, milyen erős lehetett még a pogányság Szent István korában a magyarok soraiban. Tóth Endre a magyar koronázási jogar gömbjét keleti, ázsiai eredetűnek tartja, de jogarrá a 11-12. században alakíthatták, amikor az ilyen típusú rövid jogar volt a divat. Tóth Sándor

László a kazár állam és a magyar törzsek kapcsolatának sokat vitatott kérdésében úgy foglal állást, hogy a magyarok laza függésben lehettek a kazár birodalomtól. Tringli István Ákos sátorhelye – Ákos udvarhelye címmel a középkori helynévadás kérdéseit veti fel. A kétféle magyar elnevezésben a latin sessio kétféle fordítását tételjezi fel, amely a sessio állapotával függ össze. A kiindulópont az, hogy az Ákos nemzetség egyik birtokát a Péceliek szereztek meg maguknak, bár az Ákos nembeliek a birtokukat honfoglaláskorinak mondták. A szerző ennek kapcsán felveti: nem kellene-e módosítani azt az eddig elfogadott álláspontot, hogy a 13-14. századi, írott forrásokból ismert nemzetségeknek semmi kapcsolatuk sem volt a honfoglalás koriakkal. Veszprémy László Kézai Simon latin nyelvzete alapján, a huszárók említése révén a középkori magyar könyvnyűlovasság szerepét hangsúlyozza. Zsoldos Attila az Árpád kori magyar követekre vonatkozó adatokat összegzi. Zömmel egyházi személyekről van szó, olykor főnemesekekről is, de ezek számára a követi megbízatás eltörpült a hadi érdemek mellett. Olykor egészen alacsony származású emberekekről is vannak adatok, akik nyilván az egyébként is sok emberből álló követések tagjai lehettek.

Mint a nevekből látható, a tanulmányok a szerzők betűrendjében követik egymást, más tagolásraól, az egyneműen medievista szövegek mellett nem is lehetne szó. A tanulmányok többségére nem térhetünk ki, pedig igen fontos adatgyűjtemények is akadnak köztük. A kötet végén megtalálható az ünnepelt munkáinak teljes jegyzéke – imponáló összeállítás.

(„Magyaroknak eleiről”. Ünnepi tanulmányok a hatvan esztendő Makk Ferenc tiszteletére, Szerk. Piti Ferenc, Szerkesztőtárs Szabados György, Szeged, 2000, Szegedi Középkorász Műhely, 725 o.)

A Makk Ferenc emlékkönyvről általában mondottak persze az L. Nagy Zsuzsa debreceni professzor tiszteletére kiadott emlékkönyvre is érvényesek, itt azonban valamivel kevesebb a tanulmány, és ezek jobban illeszkednek a professzorasszony tudományos munkásságához és iskolateremtő habitusához, ennek megfelelően sok a társadalomtörténeti jellegű munka. Az írásokat három nagy csoportra lehet bontani: a magyar történelmet tárgyalókra, a szűkebben debreceni tematikájúakra, meg az egyetemes történetiekre, hiszen ez a téma sem áll távol az ünnepelttől.

Az első témakörben Kovács Ágnes a 18. századi országos tisztviselők és főispánok névjegyzékét tanulmányozva jut arra a megállapításra, hogy ebben a században a vármegyei birtokos nemesek mintegy nagykorúakká válnak, felzárkóznak az arisztokrácia mellé, de az udvarral szemben ellenzékiek. Vermes Gábor a 18. századi magyarországi szabadkőművesekre vonatkozó ismereteket összegzi, és úgy látja, e szervezetek elsősorban a társadalmi osztályok közti egyenlőség iskolái voltak. Ifj. Barta János a 18. sz. végi Zemplén megyei nemzetiségek lélekszámára és egyéb adataira vonatkozóan közöl igen részletes számításokat. A megye északi részén a ruszinok, délen magyarok éltek, a szlovákok közbül helyezkedtek el. A falvak többségét egy-egy nemzetiség lakta, a vegyes lakosságú falvak kisebbségben voltak. Bácskai Vera a magyarországi városhálózat változását mutatja be 1828-as, ill. 1900-as keresztmetszetben. Orosz István a jobbágytörvények kérdését tekinti át az 1848-49-es népképviselési országgyűlésen, ahol a törvények továbbfejlesztéséről kellett volna dönteni. A legelők felosztására vonatkozólag Vukovics Sebő terjesztett elő törvényjavaslatot, amely a telek arányában adott volna részesedést a legelőkbeől, vagyis ezek 80 %-a került volna paraszti kézbe, de a

javaslat megtárgyalására már nem került sor. A javaslat eredeti szövege máig sem került elő, pedig akkor kinyomtatták.

Miru György a magyar liberálisok 1849 utáni útkeresésében két alternatívát lát: a történeti Magyarország megtartását az Ausztriával való kiegyezés révén, vagy a kiegyezést a nemzetiségekkel, nyilván a történeti Magyarország feladásával. Várdy Béla Kossuth amerikai körútját joggal kudarcnak mondja, hiszen nem volt hajlandó a rabszolgatartás ellen szólni. Egyik 1852-es beszédének „*a népért, a nép által*” kifejezése Lincoln 1863-as gettysburghi beszédében is előkerül, netán Kossuth nyomán? Péter László a magyar alkotmánytörténet gyökeres revízióját sürgeti, hiszen ma már a tárgy érzelmek nélkül közelíthető meg. Hajdu Tibor nagy monográfiája alapján hoz fel néhány példát arra, hogy kereskedők és kisiparosok gyerekeiből is lehetett tiszt a közös hadseregben. Somogyi Éva a közös külügyminisztérium egyik hivatalnok, Dóczy Lajos pályáját idézi fel. Andrassy közvetlen munkatársa, kedvelt embere volt – amellettszépítő is.

Szabó Dániel érdekes eseményt eleve-
nít fel 1889-ből, a véderő törvényjavaslat idejéből. A javaslat ellen a főiskolások tüntettek, hiszen az egyik paragrafus szerint a tartalékos tiszti vizsgát német nyelven kellett letenni, rossz eredmény esetén pedig a szolgálati idő egy évvel meghosszabbodott. A tüntetőket Herman Ottó bátorította. Középiskolai értesítők alapján Karády Viktor igen részletesen vizsgálja a dualista kor végén a szakmai eredmények és a felekezet, ill. az érettségi utáni pályaválasztás összefüggéseit. A gimnáziumi tanulóknak csak egyharmada jutott el az érettségiig, de utána kilenctizedük továbbtanult. A katolikusok, reformátusok és pravoszlávok általában a hagyományos pályákat választották, a honorácior jellegetűket, az evangélikusok már közepesen modernnek voltak,

egyéb pályák felé tájékozódtak, a legmodernebbek a zsidók; 70%-uk orvos, jogász vagy mérnök akart lenni. Prepuk Anikó a zsidó felekezet 1894-ben megtörtént recepcióját elemzi. 1895-ben a vallásváltoztatás kölcsönösen lehetővé vált, de a felekezetek korábbi hierarchiáját ez sem módosította. Gunst Péter Marczali Henriket mint kortörténetírót mutatja be. Marczali sok, kortárssal készített interjút is felhasznált a 19. századi magyar történelem bemutatásához, ez az anyag azonban lappang valahol. A feldolgozások a 12 kötetes egyetemes történetben láttak napvilágot, amelynek utolsó hat kötetét Marczali egymaga írta, külföldi vonatkozásban ez is jórészt kortörténet.

Csató Tamás igen részletes elemzést ad a szolgáltatásokról a 20. sz. első felében. Eredetileg a kereskedelem volt a leggyorsabban fejlődő gazdasági terület, de 1949 után visszaesett. Gyáni Gábor ugyancsak sok adatot hoz a városi munkásság 1910–1941 közötti szerkezeti változásairól. 1910-ben a népszámlálási statisztikák alapján még csaknem kétfélmillió volt a számuk, 1941-re, az utolsó évek területi növekedése ellenére már csak 1,3 millió. A nők száma lassan nőtt, a fiataloké viszont csökkent. A két világháború közt az analfabétizmus gyakorlatilag megszűnt.

Peter Pastor az első világháború, az összeomlás és a forradalmak ábrázolását vizsgálja. Az események fő okának a nemzetiségi kérdést tekinti, de sok a pontatlanság. Pók Attila egy 1929-ben kiadott kétkötetes munkát mutat be, amely az összeomlás és a bolsevizmus okát a szabadkőműves mozgalomban, ezen belül a zsidók szerepében látja. Glant Tibor Herbert Hoover 1918–1920 közti amerikai segélyszolgálatának magyar vonatkozásait, különösen a gyermekétkeztetésben elért eredményeket elemzi. A Tanácsköztársaság vezetőivel modus vivendit keresett, nem az ő tevő-

kenysége vezetett a rendszer bukásához. Lítván György, aki Jászi Oszkár naplójának kiadását előkészítve az 1919-23 közti korszakot tárgyalja, kissé életrajzot is ad. Jászi a baloldalisággal szakítva ekkor a neokantianus felfogáshoz csatlakozik.

Romsics Ignác Trianon szerepét mutatja be a magyar politikai gondolkodásban. A történeti jog alapján a teljes területi revízióról hamarosan áttérnek a részleges, etnikai alapú revízióra. 1945-48 között ennek egy mérsékelt változatával próbálkozott a kormányzat. A Kádár-korszak piedesztálra helyezte az Osztrák-Magyar Monarchiát a nemzeti felfogással szemben (ami így persze túlzó megállapítás), csak 1975 (Helsinki) után kerül elő a szomszédos országokban élő magyarokkal való foglalkozás. A magyarországi nemzetiségek támogatása csak Jugoszláviában talált viszonzásra, de az asszimilációt ez mindenképpen lassította.

Pál Csaba részletesen beszámol Horthy Miklós 1920. április 14-i debreceni látogatásának eseményeiről. A város egy hónappal később 300 hold földet ajánl fel a háborús rokkantak javára, de ezekből végül vitézi telkeket alakítottak ki. Püski Levente az arisztokrácia helykeresését mutatja be az 1920-as évek új körülményei között. Megpróbálnak visszakerülni a politikai életbe, de a nemzetgyűlésbe alig néhányuknak sikerül bejutnia. Az 1927-ben létrehozott felsőházban a tagok 29%-a került ki közülük, sokan a külügyi szolgálatban vettek részt. Meghatározó, de nem kiemelkedő tényezővé váltak, presztízsük nagyobb volt, mint befolyásuk. A királykérdés megosztotta őket, legitimisták és kormánytámogatók egyaránt akadtak közöttük.

Kaiser Ferenc a két világháború közti csendőrség tisztikarát tárgyalja, jórészt személyes interjúk alapján. 600 fő volt ez, az egész állomány 5%-a. A tisztikar értelmiségi, kis- és középbirtokos vagy tisztviselő

származású volt, az utánpótlás jó része belülről, saját soraikból jön. Sokan az elcsatolt területekről származtak. Egyre több köztük a jogot végzett, hiszen könnyen kaptak tandíjmentességet. Tisztes fizetésük volt, 60 év felett már teljes fizetéssel mentek nyugdíjba. Mikor ezt 1945 után megvonták tőlük, sokan mentek a francia ideglenlégióba, vagy valamilyen polgári foglalkozást választottak.

Szóke Domokos Szekefű Gyula 1945-ös demokrácia-felfogását elemzi, 1943-tól ez nála már kulcskérdés. Az év nyarán részt vett az Új szellemi frontról és a demokrácia fogalmáról zajló vitákban. Ráértett arra, hogy a hatalom újrafelosztása kerül sorra.

Valuch Tibor a magánkisiparosok 1945 utáni helyzetét mutatja be. Az államosítások után már csak a GDP 1,7%-át hozták létre, és lényegében a nagyipar bedolgozóivá váltak. Az 1980-as években sokan mellékfoglalkozásként üzték valamelyik iparágat, de ekkor már az átlagosnál magasabb jövedelmekhez jutottak. Már polgárosodó középosztályról lehetett beszélni. A részben családi hagyományokat folytató új elit a 80-as évek derekán 4-5 ezer fő körül lehetett. Végül az időközben sajnálatosan elhunyt seattle-i professzor, Peter F. Sugar (utolsó) cikke az utóbbi negyven évben Magyarországról megjelent angol cikkek bibliográfiáját állította össze 23 ország 184 periodikájából.

Természetesen jóval kevesebb a helyi, debreceni vonatkozású cikk. Rácz István a debreceni városi iskola gazdasági hátterét a népesség növekedésében látja. 1850-re ez már 48-50 ezer fő, tehát a városi adók is emelkedtek, Debrecennek pedig mint szabad királyi városnak jelentős törzsvagyona is volt. Mazsu János Debrecen fejlődéséről vet fel néhány gondolatot. 1914-re a lakosság lélekszáma már 100 ezer fő, de a terjeszkedés extenzív, nagyvárosi fejlődés csak a központban van. Ma regionális piaci

központ, aktív várospolitikára van szükség, az egész lakosság bevonására, a kultúra nem lehet pénzügyi kérdés. A hagyományra és a megújulásra egyaránt szükség van. Talán ide lehet vonni *Völgyesi Zoltán* tanulmányát a forradalom megtorlásának keretében, 1958-ban megrendezett hajdúnánási perről. A zárt tárgyalás után a 37 vádlott, zömmel munkások voltak, enyhe ítéleteket kapott. Az elítéltek kora 17 és 56 év között mozgott.

A kötet harmadik nagy témacsoportja az egyetemes történelem. Pósnán László a Német Lovagrend területén a 15. sz. első felében használatos pénzekről és árákról ad részletes áttekintést. Papp Imre számos elmélet felvázolása és kritikája után úgy látja, hogy a 18. századi Franciaországban 300–400 ezer nemes élhetett, az összlakosság 1,05–1,40 %-a. Angi János magyar nyelven először közli igen részletesen a Nagy Péter által Oroszországban bevezetett rangtáblát, utal rá, hogy a nemesek közt sok volt a szegény. A nemességnek az összlakosságon belüli arányára nem tér ki. Timár Lajos a 19. századi brit gazdaság és társadalom vizsgálata alapján úgy látja, hogy az eredetileg elmaradott Skócia felzárkózott a brit átlaghoz, a regionális különállás tudata mégis igen erős volt. Deák István azt kutatja, hogyan és miért szűnnek meg a monarchiák, vagyis a jelentős európai birodalmak. Kelet-Európában a második világháború után csak kettő maradt meg, Németország és Oroszország, de a monarchia már az első világháborúval megszűnt mindkettőben, a Habsburg-Monarchia és az Oszmán Birodalom pedig teljesen felszámolódott. De még a katonai vereség sem volt elegendő a Monarchia felszámolására, kellett hozzá az antant hatalmak kérelhetetlensége. Pallagi László az európai egység kérdését taglalja a második világháború ellenállási mozgalmainak elemzése alapján. Az emigráns kormányok sok tervet

szőttek eljövendő föderációkról, de ezeket a Szovjetunió nem engedte érvényesülni. Csak a későbbi nyugat-európai integráció előzményei voltak sikeresek. A német ellenállóknak nem voltak a jövő Európájára vonatkozó terveik. Barta Róbert W. S. Churchill második világháború utáni szovjet politikáját elemzi: már a kormányon kívül arra utalt, hogy az ellentétek kettészakíthatják Európát. A *vasfüggöny*kifejezést a filozófus Rozanov használta először 1918-ban, de Churchill 1946-os fultoni beszéde óta vált általánosan használt fogalommal. A kormányhatalmat újra átvevő Churchill csúcsalákozókat sürgetett, azzal, hogy csak ő tud eredményesen tárgyalni az oroszokkal, az USA kormányzata azonban ezt nem támogatta. Churchill még ekkor is nagyhatalomnak tekintette Angliát.

Mint a talán túl részletes ismertetés mutatja, az Emlékkönyv sok igen fontos témát érint. Érthetetlen, hogy az emlékkönyvek gyakorlatával ellentétben, miért hiányzik ebből L. Nagy Zsuzsa műveinek teljes jegyzéke.

(*Emlékkönyv L. Nagy Zsuzsa 70. születésnapjára, szerk. Angi János és Barta János, Debrecen, 2000, Multiplex Média – DUP, 563 o.*)

Kollár Ádám Ferenc, vagyis Adam František Kollár (1718–1783) a 18. század egyik fontos személyisége, a bécsi udvari könyvtár tiszviselője, majd igazgatója. Mint a fenti két névalak mutatja, hungarusnak és szláv-nak (szlováknak) egyaránt tekinthető, mindegyik nemzet joggal vallja a magáénak, hiszen maga szláv-nak mondta magát, de Magyarország történetéhez gyűjtött forrásanyagot, oklevélgyűjteménye kéziratban 25 kötetet tesz ki. 1763-ban egy magyar(országi) tudós társaság tervét vetette fel. 1764-ben megjelent könyvét a magyar királyok egyházi vonatkozású jogairól a kortársak a magyar rendek elleni támadás-

Magyarországi tudósok levelezése

Kollár Ádám Ferenc levelezése

nak tekintették, és nyilvánosan elégették az éppen akkor ülésező magyar országgyűlés színhelyén, Pozsonyban. Mária Terézia kedvelt embere volt.

Soós István most nagy szorgalommal összegyűjtötte levelezését 16 hazai és külföldi levéltárból. Sok esetben csak említés történik egy levélről, Soós ezt is felveszi, és ugyancsak regesztával látja el. Így összesen 442 levél szövegét közli, mindig az eredeti nyelven, a nagy többség persze latin, de német, olasz, francia, román, cseh nyelvű is akad, sőt még egy magyar nyelvű is. A levelek jórészt a forrásgyűjtő munkájával kapcsolatosak, de sokszor protekcióját igénylik, Mária Terézia személyesen vagy mások útján kér tőle felvilágosítást vagy munkát. A kötet zömét ez a levelezés alkotja, de Soós közli az 1764-es könyvvel kapcsolatos akkori iratok egy részét, meg Kollár végrendeletét is. Majdnem 50 oldalt tesznek ki a szövegekhez készült gondos jegyzetek. A kötet használatát elősegíti a

címzettek és a levélírók betűrendje, egy földrajzi és helynévmutató és egy annotált személynévmutató. Egészében hatalmas munka eredménye a kötet, a 18. századi magyarországi művelődéstörténet fontos forrásanyaga. A kötet összeállítását a sajnálatosan korán elhunyt Tarnai Andor kezdeményezte, a *Magyarországi tudósok levelezése* sorozat 4. köteteként adták ki. Tekintettel Kollár személyére és jelentőségére, az elég terjedelmes előszó a magyar mellett német és szlovák nyelven is megjelent.

(Kollár Ádám Ferenc levelezése. A leveleket sajtó alá rendezte, a bevezetőt írta és a jegyzeteket készítette Soós István, Universitas Könyvkiadó, Budapest, 2000, 548 o. Commercias litterariae eruditorum Hungariae. IV. kötet. Szerk. Szelestei N. László)

Ring Éva, a budapesti egyetem kelet-európai történelmi tanszékének docense már régóta kutatja a három lengyel felosztás korát. A lengyel történelemben teljesen



otthonos, de ehhez a könyvéhez bécsi és csehországi levéltári anyagot is felhasznált, meg hát a terjedelmes, nagyobb részét persze lengyel szakirodalmat. Most egy kitűnően sikerült könyvben foglalta össze eddigi kutatásait. Alcíme szerint a nemesi köztársaság válságának anatómiáját mutatja be. A könyv első fele ragyogó összefoglalás a kora újkori lengyel társadalomról, de a politikai keretekre is kitér. A társadalmon belül persze igazolja a nálunk amúgy is sejtett körülményt a nemesek túlsúlyáról, jó képet ad a nemesek különböző, vagyon szerint tagolódó rétegeiről, amelyek azonban fenntartják a nemesi egyenlőség fikcióját. A háttérbe szoruló polgárság mellett az akkor kvázi harmadik rendnek nevezett zsidóságról is külön alfejezet szól, továbbá áttekintést ad a parasztság különböző rétegeiről. Már ezekből a fejezetekből nyilvánvaló a lengyel-litván állam elmaradottsága. Még világosabbá teszi ezt a következő rész, amely a felosztások előtti lengyel állam politikai szervezetét vizsgálja, a király tehetetlenségét az oligarchiával szemben, amely a szegény nemesség nagy tömegeit tudja maga mellett mozgósítani. A változás kísérletét a Piast (vagyis lengyel) király, Poniatowski Szaniszló Ágost uralma jelenti. Ő az orosz császárnő, II. Katalin pártfogoltjaként kerül a trónra 1764-ben, és megpróbálkozik bizonyos reformokkal (Ring Éva helyesen állítja ezeket párhuzamba a felvilágosult abszolutizmus intézkedéseivel). Az egyoldalú orosz befolyásnak az első felosztás vetett véget (1773), amely még életképes országterületet hagyott hátra, a lengyel lakosság száma alig csökkent. Az újabb reformok azonban az országon belül és kívül egyaránt ellenállást váltottak ki, a második felosztás után (1793) már jóformán csak egy életképtelen csonk maradt. 1794-ben a kétségbeejtő helyzet miatt kiírt fegyveres felkelést a szomszédok elfojtották és a megmaradt területet is felosztot-

ták. A politikai eseményeket tárgyaló fejezetekbe építette be a szerző korábbi kutatásait a lengyel-magyar kapcsolatokról, valamiféle közös felkelés terveiről, persze már a jakobinus diktatúra bukása utáni években, hiszen ekkor Európában minden azon fordult meg, mi történik Franciaországban, illetve ellene.

A teljes felosztás után két alternatíva kínálkozott: a nemzetközi helyzet kedvező alakulásának a felhasználása, vagy az önerőből történő újjászületés, az állam helyreállítása. Ring Éva szerint egyik alternatíva sem kínált járható utat, ez magyarázza meg a lengyel messianizmust a 19. sz. első, nagyobbik felében. Persze valójában az első alternatíva valósult meg nagy sokára, 1918-ban. Ring Éva könyve jól dokumentált, alapos elemzést nyújt a szinte három évszázadra kiterjedő folyamatokról, egyúttal igen élvezetes olvasmány, a magyar közönség számára meglehetősen ismeretlen vagy mítoszokba burkolt világot tár fel.

(Ring Éva: *„Lengyelországot az anarchia tartja fenn?” A nemesi köztársaság válságának anatómiája, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2001., 251 o.)*

A debreceni egyetem két professzorának válogatott tanulmányait adta közre a millennium alkalmából. Rácz István, sokáig a középkori magyar tanszék vezetője, a kora újkori és reformkori Magyarország történetének kutatója ebben a kötetben társadalomtörténeti tanulmányaiból nyújtott válogatást. A rokonszenves, szerény hangú előszóban saját életútjával magyarázza ezt az érdeklődést.

A kötet 1955-1998 között kiadott tanulmányokat gyűjt össze négy nagyobb csoportban. Az első a parasztokra vonatkozókat, az 1790 körüli felső-tiszai mozgalmak, illetve a paraszti elvándorlás és kivándorlás kérdéseit tárgyalja, persze az 1848 utáni korszakra is kitérve. A második rész első,

Rácz István

PARASZTOK, HAJDÚK, CÍVISEK



nagy léptékű tanulmánya a hajdúk letelepítését, kiváltságolását (1609) és a kiváltságok megőrzéséért vívott harcát részletezi 1848-ig, majd közelképet ad a hajdúvárosokban a 19. sz. első felében élő nemesekről. A városlakókról szóló harmadik rész a debreceni cívis fogalmát járja körül, a mezőgazdasági munkaerőt veszi számba megint nagyjából a reformkorban, és mikroelemzést nyújt a híres debreceni professzor, Hatvani István vagyonáról, a negyedik a tanyarendszer kialakulását vázolja fel a 20. sz. elejéig, ill. a debreceni tanyavilágot az 1750-1850 közti időszakban. Mint a szerzői előszó kifejti, Rácz István az elsődleges források alapján dolgozik, ezért sok tanulmánya helytörténeti jellegű, persze nemcsak egy helység, hanem az egész régió vonatkozásában, de szerepelnek itt országos érdekű kérdések is. A kötet végén szerencsére megtalálhatók a szerző 11 könyvének adatai. Ezekből világossá válik, hogy bár a szerző jó néhány más kérdést is tárgyalt, munkássága alapvetően az agrártör-

ténet kérdései körül mozog. Egyéb tárgyú könyvei közül talán a hazai török uralom hagyatékának tárgyalását tartalmazó kötet a legfontosabb.

(Rácz István: *Parasztok, hajdúk, cívisek (társadalomtörténeti tanulmányok)*, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2000, 421 o.)

A másik debreceni Szabó István-tanítvány, Orosz István a reformkori tanulmányok közt válogatott. A kötet első felében a Széchenyi tevékenységét tárgyaló írások szerepelnek, amelyekben elsősorban Széchenyinek a jobbágyrendszer fokozatos felszámolására irányuló terveiről van szó. Az egyik írás a reformkori mezőgazdaság általános kérdéseit is felveti, mintegy Széchenyi szemszögéből. A másik rész a kortársakat tárgyalja, Kisszántói Pethe Ferenc tevékenységét a 19. sz. első harmadában, a porosz Albrecht Thaer agronómiai munkásságának korszakos jelentőségét, Táncsics és Kossuth nézeteit, meg az örökvaltságára vonatkozó terveket, vagyis a jobbágyrendszer felszámolására irányuló elképzeléseket. Orosz István, aki sokáig a debreceni középkori egyetemes történeti tanszék vezetője volt, kétségtelenül a reformkori agrárkérdés egyik legjobb hazai szakembere. Ez irányú munkásságáról ez a válogatás meggyőző, ha nem is teljes képet tud nyújtani. Csakhogy az agrártörténész Orosz István tevékenységének másik, ugyancsak igen fontos vonulata a kora újkori magyarországi agrárfejlődés, ezen belül az északkeleti magyar területek kérdéseit elemzi. Ez a vonulat teljesen hiányzik ebből a kötetből. Remélhetőleg az egyetem egy további gyűjteményes kötetben kívánja majd ezt közreadni. A tanulmányok 1962-1994 közt jelentek meg. A kötet minden esetben közli a tanulmányok eredeti megjelenési helyének adatait, mind Rácz István, mind Orosz esetében, akinek igen

sok munkája a debreceni egyetem különböző sorozataiban látott napvilágot.

(Orosz István: Széchenyi és kortársai. Válogatott tanulmányok a reformkorról, Multiplex media – Debrecen U. P., Debrecen, 2000, 197 o.)

Időben ehhez a két kötethez kapcsolódik egy egyetemes történeti szöveggyűjtemény az 1789–1914 közti korszakról. A két agrártörténésszel szemben ezt a kötetet a budapesti egyetem sokáig tanszékvezető professzora, a 19. századi diplomáciai kapcsolatok és az Osztrák-Magyar Monarchia történetének külföldön is jól ismert szakembere, Diószegi István adta ki. Az óhatatlanul rövid szemelvényeket, szövegeket Diószegi több nagy csoportra osztotta fel. A politikai eseményeket 1789-1849 és 1850-1914 közti bontásban tárgyalja, az európai történelem eseményeit mutatja be időrendben. Közben egy fejezet az egész korszak gazdaságát és társadalmát, egy másik a társadalmi és politikai eszméket, egy további a tudomány korabeli fejlődését és az irodalmi és művészeti irányzatokat elemzi. Ezek a fejezetek a két kronologikus politikátörténeti fejezet közt helyezkednek el. A könyv végén az Európán kívüli világot tárgyalja, Afrika, Ázsia, Latin-Amerika és Észak-Amerika történetét. Ez a sorrend nem egészen világos, talán a gyarmatosítást kívánja a központba helyezni. Az utolsó, kizárólag az USA történetével foglalkozó rész sincs egészen jó helyen, bár az állam kétségtelenül távol tartotta magát az európai eseményektől a hosszú 19. században.

A kötet egyetemi használatra készült, az egyes szemelvényeket rövid bevezető sorok előzik meg, szükség esetén magyarázó lábjegyzetekkel, de nem térnek ki a szemelvény, még kevésbé az általa bemutatott jelenség értékelésére. Elvégre ez éppen az egyetemi oktatás feladata. Korábbi, hason-

ló szöveggyűjteményekből sok anyagot vett át a szerkesztő. Persze utal rá, hogy akár ennél jóval bővebb szemelvények sem adják meg a kor teljes képét. A fő tendenciákat a világtörténeti szintézis mutathatja be. Ilyen szintézis a korszak vonatkozásában néhány éve már megjelent, de szorosan az egyetemi oktatás feladataihoz kapcsolódva. Azt a bizonyos világtörténeti szintézist eddigi több évtizedes kutatói pályája alapján talán joggal várhatjuk éppen Diószegi Istvántól.

(Egyetemes történeti szöveggyűjtemény 1789-1914, Szerk. Diószegi István, Korona, Bp., 2001, 630 o.)



Az újkori egyetemes történeti tanszék egykori vezetője után az újkori magyar tanszék egykori vezetőjével folytathatjuk a sort. Pölöskei Ferenc akadémikus, a dualizmus és a Horthy-korszak jól ismert szakértője az újkori magyar parlamentarizmus egyfajta összefoglalását nyújtja át legújabb könyvében. A magyar parlamentarizmust az 1848-as kezdetektől vizsgálja. Először a ki-

egyezés kapcsán ad képet az 1867 utáni magyarországi intézményekről, majd ennek az intézményrendszernek továbbfejlesztését mutatja be a rövidebbre fogott politikai történet keretein belül, hogy az 1914 utáni helyzetből visszatekintve mutassa be az addigra már kiérlelt rendszert, a parlamentarizmus, az állam különböző intézményeit, az egyes minisztériumokat, a választójogot és a választási rendszert. A századfordulót a szerző tágra értelmezi, ezért olykor a két világháború közti helyzetre is kitér. Így kerül elő a második kamara kérdése, amely 1918-ig nem kérdés, hiszen ott van a felsőház, 1920-tól kezdve pedig az egykamarás nemzetgyűlés. Részletesen kitér az alkotmány kérdésére, ill. arra a problémára, hogy a dualizmus korában, de a Horthy-korszakban sincs az országnak chartális, magyarán pontokba foglalt alkotmánya, hanem érdemben a szokásjog érvényesül. A választási bíráskodással kapcsolatban aztán ennek intézményeit is érdemben tárgyalja a szerző. Mint a korszak régi kutatója, természetesen igen sok levéltári anyagot is felhasznál. Az érdemi tanulság talán úgy összegezhető, hogy a dualizmus első felében, nagyjából a Tisza Kálmán-korszak végéig a parlamentarizmus intézményeinek és ennek révén a polgári szabadságjogoknak a kiépítése történik, a korszak második felében azonban megindul ezeknek az amúgy is elég szűk körű jogoknak a szűkítése (és ez majd folytatódik a két háború közti korszakban).

A szerző voltaképpen már az 1848-as kezdetektől kitér a magyarországi fejlődés külföldi párhuzamaira, de inkább csak utalásszerűen. A könyv végéről hiányzik egy lezáró fejezet, amely a tanulságokat levonná. A szerző nyilván visszariadt valami szájbarágós megoldástól. Egészében a könyvnek a történész szakma számára is ösztönző kérdésfeltevései vannak, az érdeklődők szélesebb köre, más szakmához

tartozó tudósok számára viszont igen jól sikerült rövid összefoglalása a korszak politikai történetének. A kötet talán elsősorban a történészeknél szokatlan jogászi megközelítés miatt válik hasznossá.

(Pölöskei Ferenc: A magyar parlamentarizmus a századfordulón.

Politikusok és intézmények, História Könyvtár, Monográfiák 15. História – MTA Történettudományi Intézete, Budapest, 2001, 245 o.)

Esterházy János (1901–1957) a család galántai grófi ágának volt a tagja, 1936-tól az egyesült csehszlovákiai magyar párt ügyvezető elnöke, 1938 őszétől, az első bécsi döntéstől a Szlovákiában maradt mintegy 50–60 000 magyar pártjának elnöke, egyben egyetlen magyar képviselője az 1939 utáni szlovák parlamentben. 1939-ben ő segített Viest későbbi ellenálló tábornoknak nyugatra szökni. Az 1938-as kassai bevonulás alkalmából felhívta a magyar kor-

ESTERHÁZY JÁNOS EMLÉKKÖNYV



SZÁZADVÉG

mányzatot, bánjon méltányosan az oda került szlovákokkal. 1942-ben ő a parlament egyetlen képviselője, aki nem szavazza meg a zsidók deportálását. Ő is azok közé a prágai magyar képviselők közé tartozik, akik Masaryk köztársasági elnök lemondása után a parlamenti választáson Beneš mellett foglalnak állást. Beneš akkor mondta, hogy ezt sohasem fogja elfelejteni. Valószínűleg így is történt, mert 1945-ben Esterházyt letartóztatták, a Szovjetunióba vitték, de távollétében halálra ítélték. A Szovjetunióban éveket töltött egy lágerben, 1956-ban szolgáltatták vissza Csehszlovákiának. Ekkor már halálos beteg volt, öt nappal 56. évének betöltése előtt halt meg a börtönben. Oroszországban, hosszas utánjárás után, 1993-ban rehabilitálták, Szlovákiában ez nem történt meg. 1994-ben két szlovák történész még egy tanulmányban fasisztának és Csehszlovákia szétverőjének nevezte (ez nyilván válasz volt az 1993-as oroszországi rehabilitálására).

Magyarországon persze a rendszerváltozás után már nyugodtan lehetett pozitívan nyilatkozni róla, emlékbizottság is alakult, 1997. március 7-én a magyar országgyűlés emlékülést tartott tiszteletére. Ebben az évben jelent meg Molnár Imre alapos életrajza.

E politikusi pályának szentelték a születése 100. évfordulójára megjelentetett emlékkönyvet, leánya, Esterházy-Malfatti Alice és Török Bálint szerkesztésében, Habsburg Ottó méltató bevezetőjével. A könyv igen sokoldalú anyagot állított össze. Az első részben dokumentumokat és visszaemlékezéseket közöl politikusi pályájáról, a kortársak, a szlovákiai magyar kisebbség túlélő vezetőinek visszaemlékezéseit, részletet Fábry Zoltán *A vádolt megszólal c.* könyvéből. Az evilági feltámadásról szóló részben az emléke helyreállítására irányuló erőfeszítésekről kap képet az olvasó, szlovák oldalról is nagy elismeréssel. Ezt a 20.

század magyar történetével foglalkozó magyar történészek írásai követik *A tudomány mérlegén* címmel, azután az ítélet jogi oldalainak elemzése, továbbá számos személyes visszaemlékezés következik (például van, aki tanúskodik amellett, hogy a fasiszta uralom idején zsidókat bűjtatott – erről szól Simon Wiesenthal levele is egy korábbi részben). Végül néhány elkésett laudáció. A kötet végén jó néhány fénykép található. E sorok írója is ismerte Esterházy Jánost, még ajánlólevelet is kapott tőle, és saját tapasztalata alapján csak megerősíteni tudja az Emlékkönyvben foglaltakat. Az életút a 20. századi magyar történelem megrendítő, de egyúttal felemelő fejezete.

(*Esterházy János Emlékkönyv*, Szerk. Esterházy-Malfatti Alice és Török Bálint, Századvég, Budapest, 2001, 236 o.)

Az emlékkönyvvel már beléptünk a 20. századba, a következővel átlépünk annak második felébe. *Gombos József*, a Szegedi Egyetemhez tartozó főiskolai kar tanára



egy modern finn trilógia harmadik, lezáró kötetét adta ki 2001-ben. Az első kötet Finnország politikatörténetét mutatta be az orosz uralom idején, a második a két világháború közti időszakot tárgyalta, az utolsó pedig a „második finn köztársaság” 1944-2000 közötti történetét. Ez a kötet nemcsak a lezárást vállalta, hanem egyúttal bizonyos kézikönyvszerű funkciót is. Bevezetőben a finn történelem legfontosabb évszámait sorolja fel (Kr. e. 6000-tól Kr. u. 2000-ig). Ezután jön a tulajdonképpeni történeti rész, az 1939-es téli háború és az 1941-44-es folytatólagos háború viszonylag részletes története. A Szovjetunió 1939-ben valóban kommunista fordulatot szeretett volna elérni az országban, de a finn ellenállás ezt megghiúsította, viszont a finnek végül kénytelenek voltak elfogadni a szovjet területi követeléseket. A második háborút a kormány igyekezett úgy beállítani, hogy ez csak Finnország és a Szovjetunió ügye, Finnország nem szövetséges Németországnak, de ezt persze ekkor sem vette senki komolyan. Az 1944-48 közti éveket „veszélyeseknek” minősíti a szerző, mert itt még bizonytalan volt a két ország viszonya, de végül a mérsékelt szovjet irányvonal kerekedett felül, a szovjet kormányzat 1956-tól 1981-ig Kekkonen elnök személyében megbízható, lojális partnert látott, ezért nem erőltetett olyan befolyást, mint pl. Magyarországon. A szerző szerint Finnország a szovjet védelmi rendszer „puha” övezetéhez tartozott. Kekkonen 1962-től már valójában diktátor volt, lemondása után, a szociáldemokrata Mauno Koivisto megválasztásával indult meg a fél-elnöki rendszer fokozatos átalakulása modern értelemben vett parlamentáris rendszerré, amelyet a 2000-ben megszavazott új alkotmány zárt le. Néhány oldalt szentel itt a szerző a finn „gazdasági csodának”, a mezőgazdaság helyében az ipar és a szolgáltatás előretörésének, az exportorientált

gazdaságpolitika sikereinek. Finnország két világ köztes területe lett, periféria Kelet és Nyugat között. A szovjet kormányzat számára a lojalitás volt a legfontosabb, ezt biztosította a finn kormányzat, ezért meg is védte Finnországot. Ezt nevezték pejoratív csengéssel finlandizációnak.

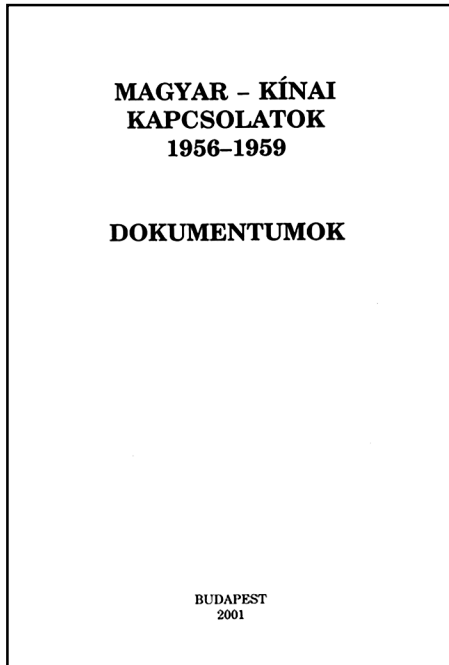
Ezzel mintegy lezárul a politikatörténet. A következőkben a szerző a jogi és politikai rendszer politológiai elemzését adja a svéd időktől kezdődően, majd az 1918-as első alkotmányt veti össze a 2000-ben megszavazott új alkotmánnyal. A pártrendszert ugyancsak a 19. század derekától tárgyalja, a végén a pártok filiaációit ismertető, nem egészen áttekinthető egylapos diagrammal. Rövidebb fejezet mutatja be az államközpontú nemzeti identitást, a voltaképpen minden állampolgárt összefogó politikai nemzetet. Ismerteti a különböző nemzetiségeket, a fogyó számú svédeket, a lapokat, a mintegy 20 000 orosz, a cigányokat és egyéb kis nemzetiségeket (még 900 főnyi tatár is akad). Finnország 1995-ös felvétele az Európai Unióba nagyot lendített az ország nemzetközi megbecsülésén, ugyanakkor már itt is megjelent a fenyegető európai baj, az elöregedés.

Nagyon hasznos a Függelék, néhány fontos irat közlése (az 1939-es finn „népkormány” kiáltványa a szovjet befolyás érdekében, a háború kitörésekor), az államfők (I. Sándor orosz cártól) és a kormányok adatai 1999-ig. Minden kormány esetében megadja a pontos időhatárokat és a kormánykoalíció összetételét. Végül ismerteti a népesség alakulását 1900-1999 közt, a tájegységek és városok finn és svéd nevét, és igen rövid angol rezümét ad (összesen két lap). A válogatott irodalomjegyzék terjedelmes, de a szerző, szerényen, saját munkáit nem vette bele.

Talán ez a rövid tartalmi ismertetés is mutatja, hogy a trilógia harmadik kötete egyfajta kézikönyv és enciklopédia szere-

pét is betölti. Az egyes kormányok pontos összetételének megadása felmentette a szerzőt az eseménytörténet aprólékos nyomon kísérésétől. A három könyv együtt valóban igen jó összefoglalás a nem szakember számára is.

(*Gombos József: A finn „második köztársaság” politikatörténete 1944–2000, JGYF Kiadó, Szeged, 2001, 248 o.*)



Az 1956-89 közti diplomáciai iratok sorozatának most megjelent kötete az 1956-59 közti magyar-kínai kapcsolatokat mutatja be, de csakis magyar anyag alapján (ami persze mostanáig nem volt hozzáférhető). A *Szobolevszki Sándor* által összeállított és igen gondosan jegyzetelt kiadvány rövid bevezetője azt bizonyítja, hogy 1955-ig a kapcsolat az elszigetelt Kína számára volt fontosabb. 1956 őszén a kínai álláspont a magyar diplomaták számára nehezen volt áttekinthető, de két nappal megalakulása után a kínaiak már a Kádár-kormány mel-

lett foglaltak állást. Mao Ce-tung ekkor már inkább csak az ideológiai kérdésekkel foglalkozott, a kapcsolatokat Csou En-laj miniszterelnök tartotta kézben. Már a november 4-i beavatkozáshoz is megadta Kína hozzájárulását, az értelmiség elleni állásfoglalásban közel állt egymáshoz a két vezetés. Nagy Imre bírósági tárgyalását a kínaiak helyeselték, ekkor dobta be Mao a „papírtigris” jelszavát: nem kell félni az imperialistáktól. 1959-ben már magas szinten állandósult a kapcsolat, mert mindkét országban megszilárdult a rendszer. Az 1959-es barátsági szerződés megkötésével zárul a kötet, háttérben a már fokozódó szovjet-kínai ellentétekkel. De a szerző utal arra, hogy pl. az 1968-as gazdasági reformok hatottak egy ideig Kínában is.

Az itt közölt anyagban sok olyan dokumentum van, amelyet annak idején a megbízható párttagok zárt sorozatokban megkaphattak. Hasznos a viszonylag részletes annotált névmutató, de a ritkábban szereplő személyek ide nem kerültek be, csak a megfelelő dokumentumnál szerepelnek, lábjegyzetben, ami nehezíti a kötet használatát.

Jó néhány érdekesség kiderül a közölt iratokból. 1956-ban a magyar jelentés szerint a kínai külügyminisztérium politikai főosztályának helyettes vezetője nagyon tájékozatlan és műveletlen (65. o.). Mao 1956. novemberének közepén úgy nyilatkozik, hogy az imperializmus megdöntése után, a kommunizmus világméretű elterjedése után is lesznek forradalmak, ha a vezetők nem tevékenykednek a nép érdekében (92. o.). Száll József magyar ügyvivő 1956 végén a pekingi szovjet nagykövettel filozófiai kérdésekről, a Föld keletkezésére vonatkozó nézetekről tárgyal (105. o.). 1957 februárjában Maótól meg lehetett tudni, hogy a győzelem után, 1951-53-ban a kínai kommunisták 700 000 embert végeztek ki (a lakosság egy ezrelékét), to-

vábbi egymilliót börtönbüntetésre ítélték. 1955-ben már csak 70 000 embert végeztek ki, 1956-ban már csak néhány ezret (170. o.). 1957 októberében Mao nyilatkozik a szovjetekkel való ellentétéről. Mao szerint Sztálin 70 %-ban jól tevékenykedett, s csak 30 %-ban (233. o.), de talán csak 20 vagy 10 %-ban követett el hibákat. 1957 októberében, kínai látogatásáról visszatérve Kádár igen pozitívan nyilatkozik Kínáról (235. o.), 1958 végétől a kínai külügyminisztérium szerint a kínai-szovjet viszony egyre rosszabb (286. o.). 1959 március végén a magyar fél tájékoztatást kap a kínaiaktól a tibeti helyzetről, az ottani felkelésekről (297. o.).

Még jópár érdekességet lehetne említeni. A kínai források hiánya miatt a kép persze egyoldalú, és az is nyilvánvaló, hogy a kapcsolatokban a két fél súlya korántsem azonos, a kapcsolat a nemzetközi nagypolitika függvénye. Egy későbbi kötet a kapcsolatok romlását mutathatná be; itt még fontosabb volna a kínai források ismerete.

(*Magyar-kínai kapcsolatok 1956–1959. Dokumentumok, a kötetet összeállította Szobolevszki Sándor, szerkesztette Vida István, MTA Jelenkor-kutató Bizottság, Budapest, 2001, 355 o.*)

Niederhauser Emil

az MTA r. tagja, egy. tanár (ELTE)

Fodor Ferenc: Teleki Pál

„Temetésem a legegyszerűbben, titokban, reggel hét órakor történjék. Azon a papon kívül csak Te végy részt. A Távirati Iroda útján közlendő, hogy koszorút senki ne küldjön és a temetésre senki ne jöjjön el. A cserkészek és az egyetemi ifjak röviden értesítendő, hogy maradjanak otthon. Az egyetem értesítendő, hogy nem onnan temetnek. A professzorok is maradjanak otthon. Vigyenek ki mielőbb a halottasházba, hogy itthon ne zavarják. Gyászjelentés nem nyomtatandó. Síromra sem most, sem később emléket ne tegyenek. A szokványos temetési gondoskodáson kívül másról ne gondoskodjanak. Barátságodat még egyszer szívből köszönöm.” (110.)

Ezt a végrendeletet gróf Teleki Pál írta egy depressziós hangulatú órájában 1929. január 8-án. A címzett személyi titkára, Incze Péter volt, aki ezt a levelet csak Teleki halálának beállta után, 1941. április 3-án bonthatta fel.

E sorok a tudós államférfi páratlanul gazdag életének egyik mélypontjáról tudósítanak, ahonnan akarateréje, tettvágya hamar kiragadta. Ekkor már nyolc esztendeje

múlt annak, hogy maga mögött tudhatta első miniszterelnöki időszakát, több éve a Nemzetek Szövetsége felkérésére az ún. mosszuli kérdésben, Törökország és Irak területi vitájában tudósi alaposággal foglalt állást, hogy pályája addigi más fontos eseményéről ne is szóljunk.

1936 elején elhunyt Berzeviczy Albert, aki több, mint három évtizeden át volt a Magyar Tudományos Akadémia elnöke. Telekinek csak a kezét kellett volna kinyújtania, s tudományos pályája betetőzésekként megválasztják a testület elnökévé. Ő azonban nem élt e lehetőséggel, helyette inkább az Országos Közoktatási Tanács elnökségét választotta. – *„Az Akadémián – mondotta bizalmasának, a kezünkben lévő kötet szerzőjének, Fodor Ferencnek – öreg, kiforrott tudós urakkal lenne dolgom, akik járnak a maguk jól kiépített, biztos útjait. Azok méretvastagságú tölgyfák, minden vihart állanak, hajlíthatni már nem lehet őket.”* A másik testület vezetését ellenben elvállalta, mert annak népe *„a magyar ifjúság. Fiatal csemeték. Hajlíthatók, formálhatók, ezek tulajdonképpen még nincsenek is, majdnem senkik és semmik, de minden lehet belőlük.”* (134.)

Ezek a jellegzetes idézetek Fodor Ferenc évtizedeken át kéziratban lappangott, majd az elmúlt esztendőben publikált Teleki-életrajzából valók.

Gróf Teleki Pál a magyar történelem sokat idézett személyisége; munkásságának megítéléséről – amint azt az emlékére állítandó szobor körül kavargó vihar is plasztikusan jelzi – nincs konszenzus. Sokan a 20. századi magyar história egyik legnagyobb személyiségét tisztelik benne, ám nem kevesen távolról sem tudnak azonosulni ezzel az állásponttal, s főleg az öncsonkító numerus clausus, majd a zsidótörvények megszületésében vitt szerepét kárhoztatják. Az eltérő álláspontokat talán valamelyest közelítené az életmű minden szegmensét feldolgozó nagymonográfia, ám az mindmáig nem készült el. Másfelől jól tudjuk, hogy a vita mélyén valójában a magyar társadalomfejlődés sajátosságai rejlenek, s ezeket alapjában csak egy harmonikusabb magyar jövő simíthatja el.

A korábban sem túl ismert, majd szinte teljesen elfeledett szerző, Fodor Ferenc elsősorban a földrajztudós Telekinek volt a munkatársa. Ezt azért kell elmondani, mert e kapcsolat meghatározóan – és a szerző által tudatosan vállalt módon – rányomja bélyegét az egész munkára. Világosabban szólva olyan életrajzról van szó, amely a tárgyilagosságra való kétségtelen törekvés ellenére is végeredményben idealizált képet fest elénk.

Fodor Ferenc egy Bihar megyei szűrszabó gyermeke, aki tehetsége, s a katolikus egyház tehetséggondozó tevékenysége révén gimnáziumi tanárságig vitte, amikor szakmai kapcsolatba került a nála csaknem nyolc esztendővel idősebb Telekivel. A köztük meglévő mérhetetlen társadalmi különbséget a fiatal gróf lebilincselő közvetlenségével hidalja át, ráadásul a karánsebesi magyar gimnáziumban tanító kollégát azáltal is magához láncolja, hogy annak

a földrajz tudományos művelésére való hajlamát is bátorítja. Fodor nem csupán osztja Teleki „szintetikus földrajz”-ról vallott fel-fogását, hanem annak szellemében készíti pályamunkát a Földrajzi Társaság felhívására, s később díjat is nyer.

A román impérium által állásából elbocsátott Fodor Ferencet Teleki bevonja a Békeelőkészítő Irodába, később maga mellé veszi a tanszékeire is. Tanári munkájában Fodor sokszor, s egyre nagyobb terheket vállalva helyettesíti. Amikor Teleki 1922-ben az ország főcserkésze lesz, Fodort teszi meg segédtitkárává. Teleki igen kiterjedt nemzetközi kapcsolatainak ápolásában, a külföldi vendégek magyarországi programjainak szervezésében is gyakran hátráltak Fodorra bokros teendők. A lankadatlan szorgalommal, fegyelmezetten végzett munkáért, a sok segítségért cserébe Fodor arra számított, hogy az 1939-ben ismét miniszterelnöki posztot vállaló Telekitől megörökli a tanszéket. Az egyetemi körök azonban – amint azt, sok egyéb igen lényeges információ mellett, Tilkovszky Lorántnak a kötethez a tőle megszokott alapos-sággal készített zárótanulmányából megtudhatjuk – inkább idegenkedve kezelték a nagyhatalmú pártfogót maga mögött tudó Fodor Ferencet, s olyan döntést hoztak, amely a tanszéket továbbra is Telekinek tartotta fenn, a munkával ellenben Fodor Ferencet terhelték meg. A majd két évtizedes munkáját honorálatlannak látó férfiú 1939 novemberében a pécsi tankerület főigazgatója lett.

Hamar megbánta, hogy elfogadta új állását, de a helyzeten már nem tudott változtatni. 1945 után a letűnt rendszer tankerületi főigazgatójának egyre kevésbé jutott hely. Tudományának magas színvonalú művelője volt, de nem sikerült beilleszkednie az új világba, jóllehet szívesen megtette volna. De még a kandidátusi fokozat megszerzését célzó ambíciója is rendre ha-

Fodor Ferenc:



Teleki Pál



jótörést szenvedett a korabeli tudomány-politika merevségén. Sok szabadidő birtokában 1948 őszén fogott hozzá a Teleki-életrajz megírásához, s a munkát a rákövetkező esztendő áprilisában fejezte be. A munkát az ötvenes évek derekán – néhány időközben megjelent írást felhasználva – tovább bővítette. Tudta, hogy nem is az íróasztala, hanem csupán a kézirat rejtek-helye számára dolgozik, de abban a hitben cselekedett, hogy munkája egyszer majd mégis megjelenhet, és segíthet abban, hogy a Telekire szórt rágalmakkal szemben az utókor egy igazabb Teleki-portrét ismerhessen meg.

A munka írása közben Fodor Ferenc sokmindent nem tudhatott, amit azóta a történettudomány forrásfeltáró és analízáló tevékenysége révén megismerhettünk. Akár azt is vélhetnénk, hogy a kései publikálás okafogyottá vált, hiszen Tilkovszky Loránt már 1968-ban higgadt elemzésben bemutatta Teleki politikai pályáját, leg-

utóbb Ablonczy Balázs jóvoltából jelent meg az életútjáról egy szintén értékes áttekintés, s a korszakkal foglalkozó munkák is sokmindent tisztáztak Telekivel kapcsolatban. Teleki azonban messze több volt mint politikus; tudósi, tanári, nemzetnevelői tevékenysége is méltán érdemel figyelmet, s – mint fentebb utaltunk rá – mindmáig hiányzik az egész embert reflektorfénybe állító nagymonográfia. Minden fogyatékosága ellenére is Fodor Ferenc könyvét tekinthetjük figyelembe veendő hozzájárulásnak e majdani összegzéshez. Hiszen ő Teleki Pálnak évtizedeken át közvetlen munkatársa volt, s ezért egyrészt sok olyan vonást rajzol a tudós-politikus portréjára, amelyeket a források nem árulnak el, másrészt pedig olyan eseményeket is elbeszél, amelyeket a történetírás eddig nem (vagy nem ilyen részletességgel, esetleg nem ilyen aspektusból) ismert.

A könyvben számtalan esetével találkozhatunk a tudós államférfi nagyságát a társadalmi folyamatok fölé emelő (ezért megnyugtatónak aligha mondható) ábrázolásmódnak. Például Teleki első miniszterelnökségének mérlegelt így vonja meg a szerző: „...erkölcsi szilárdsága, nyugalma és önfeláldozó munkája lassan képes lett úrrá lenni a háborgó politikai hullámonkon, talán a munkásságot is visszahozta volna a nemzetépítésbe, ha egy szerencsétlen esemény, a királykérdés kieleződése nem rombolja le törekvéseit.” (67.) Természetesen nem Teleki erkölcsi szilárdságát, nyugalmit vagy munkája önfeláldozó voltát vitatjuk. „Csupán” arról van szó, hogy az e hónapokban valóban bekövetkező konszolidáció sok egyéb markáns összetevője említetlenül marad.

„Látta – olvashatjuk az államférfit bemutató fejezetben –, hogy előbb-utóbb egy európai általános újrarendeződésnek kell következnie az élet törvényei ellenére szét-szabdalt világrészben.” (364.) Bizonyára

így volt, „csupán” megint azt kell hozzátennünk, hogy itt nem egyéni meglátásról, hanem a korabeli külpolitikai gondolkodás határon inneni és túli közhelyéről van szó. 1939 szeptemberében Magyarország és a Szovjetunió között ismét helyreáll a diplomáciai viszony, mert előtte néhány héttel a Molotov-Ribbentrop paktum új alapokra helyezi a szovjet-német kapcsolatot. Fodor előadásában erről szintén nem esik szó, sokkal inkább arról, hogy Teleki „*jól látta a jövő alakulását*”, s ezért a Moszkvába küldött követnek „*azt az utasítást adta, hogy mindent kövessen el a diplomáciai feszült helyzet megjavítására, mert Magyarországnak szüksége van az oroszra mint ellensúlyra a német túlsúllyal szemben.*” (367–368.) Megint nem az állítás ténybeliségével van probléma, hanem a kontextus bemutatásának elmaradása kifogásolható: a korabeli szovjet vezetés kész lett volna Erdély ügyében Magyarországgal együttműködni, s itthon még az egyébként egyértelműen német orientációjú Werth Henrik is látott benne fantáziát, Teleki ellenben ideológiai okokból elképzelhetetlennek tartotta a Sztalinnal való együttes fellépést.

Az első bécsi döntés előtörténetének, lezajlásának elbeszélésére, majd az 1939 márciusi kárpátaljai akció megítélésére is Fodor Teleki iránti csodálata nyomja rá a bélyegét. Hiányzik az 1938 augusztusi kieli találkozó bemutatása, ezért a müncheni négyhatalmi döntés magyar passzusának bemutatása is hungarocentrikus és legendaszerű. „*Teleki hősi csatájának eredménye kerekén 12 000 km² terület és egymillió lélek visszatérése*”, a Hitler hozzájárulásával megszerzett Kárpátalja visszakerülését pedig „*a jól kivárt pillanatban alkalmazott bölcs erély*”-nek tulajdonítja. (154. és 169.) E szinte már meseszerű összegzésektől eltérően Fodor nagyon is hitelesen eleveníti fel a nyilasoknak a kormányt tehetetlen-

séggel vádoló mozgolódását, amellyel szemben a komáromi tárgyalások megszakadása nyomán Teleki a befolyása alatt álló Fialat Magyarország Szövetségét mozgósítja. Az ő inspirációjára jön létre a Fialat Magyarország Mozgalom, amely falragaszok ezrein tesz – kimondatlanul – hitet a kormány politikája mellett és egyben a *Mindent vissza!* programját harsogja. Ezzel – fűzhetjük hozzá – Fodor akaratlanul azt húzza alá nagy nyomatókkal, hogy a „szelet kifogni a vitorlából” taktikával Teleki maga szűkítette tovább a (cseh)szlovákokkal való tárgyalások belpolitikai mozgásterét, még kevesebb lett a türelem a kétoldalú tárgyalások iránt, s ekképpen az ország még inkább sodródott az egyébként Teleki által is olyannyira viszolygással fogadott hitleri döntőbíráskodás irányába.

Ezzel már azt is jeleztük, hogy a könyvnek vannak olyan értékei, amelyek nem a Teleki-kérdéssel kapcsolatosak. Éppen azokra a fogyatékoságokra gondolunk, amelyek a hiteles Teleki-potré szempontjából kiigazításra szorulnak, de meglehetősen pontosan jelzik a korabeli magyar szellemi-politikai elit külpolitikai gondolkodásának természetét, s az is, hogy a külpolitikai döntések előkészítése, meghozatala, a döntésekhez elengedhetetlenül szükséges mélyebb ismeretanyag mennyire koncentrált, csupán néhány személyre szűkített kör birtokában volt.

Komoly értéke Fodor Ferenc könyvének, hogy az életút áttekintése nyomán külön nagy egységben előbb tematikusan ismét megvizsgálja azt, majd Teleki Pál eszmévilágát járja körbe. Az előbbiben elsőként a tudóst, majd a professzort, a nemzetnevelőt, az államférfit eleveníti meg. Külön alfejezetet szentel a társadalomszervezőnek, a főcserkésznek, az általa 1924-ben – egyetemi keretben – alapított Szociográfiai Intézetnek, valamint az 1926-ban létrehozott Államtudományi Intézetnek.

Az eszmevilágot élénk táró fejezetekben Fodor Ferenc rendre bemutatja Teleki Pál világképét, erkölcsi világnézetét, hazaszemléletét, nemzetfogalmát, magyarságtudatát, népjog-felfogását, állameszméjét. Foglalkozik európaiságával, társadalomszemléletével, tanításaival. Bár az első és második részben igen kiterjedten ábrázolja azt a nagy szerepet, amelyet a cserkészlet Teleki életében betöltött, itt külön is összeszegezi e témakört. Végül pedig a lelkiismereti kérdéseket taglalja.

Teleki Pál személyiségéről, tanítási módszeréről sok ma is időszerű, megszívlelendő, progresszív mozzanatot ismerhetünk meg. Így például megtudjuk, hogy egyetemi előadásai igencsak távol voltak a szokványostól. Az angol világbirodalom

gazdasági egységét, a termelést, az ott felhasznált anyagokat úgy mutatta be, hogy fejtegetéseit az angol ember reggelijének ismertetésével indította.

A könyv értékét számottevően növeli a – napjaink imponálóan gazdag hazai könyvpiacán egyáltalán nem általános – gondos edíció: egyrészt a Szávai Ferenc és Tilkovszky Loránt munkáját dicséror megbízható jegyzetapparátus, másrészt pedig az a fundált, már fentebb említett utószó, amely nem csupán a Teleki-kérdésben igazítja el szakavatottan az olvasót, hanem mindeközben Fodor Ferenc életét és korát is hitelesen olvasóközelbe hozza. (*Mike és Társa Antikvárium, Bp., 2001., 576 o.*)

Pritz Pál

az MTA doktora

Jéki László: KFKI

1991 végén lezárult egy korszak. Több mint negyven év után megszűnt a magyar fizikai kutatások központi műhelye, a Központi Fizikai Kutatóintézet, amelyben kiemelkedő eredmények születtek. A KFKI márkanév ma egy sikeres számítástechnikai részvénytársaságé, amelynek vezetői között most is vannak a régi intézetből. Jéki László fizikus, aki egyebek közt évekig az egyik részintézet tudományos igazgatóhelyettese volt, hiteles tanúként idézi fel a négy évtizedes történetet. A kötet közvetlen előzménye a szerzőnek 2000-ben, *Központi Fizikai Kutatóintézet* címmel megjelent tanulmánya *A Magyar Tudományos Akadémia Kutatóintézetei* c. kiadványsorozatban (szerk: Glatz Ferenc). A könyv számos korabeli dokumentum felhasználásával elsőként tesz kísérletet a KFKI múltjának részletes áttekintésére.

Nem vállalkozhatom arra, hogy a könyvben található rengeteg információ és adat közül akár csak a legfontosabbakat, legérdekesebbeket mind felsoroljam; itt

csak néhány kiemelésére nyílik lehetőség. A könyv három nagyobb egységre tagolódik. Az első az intézet működését követi végig; itt az apróbetűs részekben többek között visszaemlékezésekből idéz Jéki. Aztán az eredmények bemutatása következik. Végül a függelékben az adatokat (az elismeréseket, díjakat, legfőbb vezetőket időrendben) sorolja fel, és fényképeken is bemutatja az intézetet.

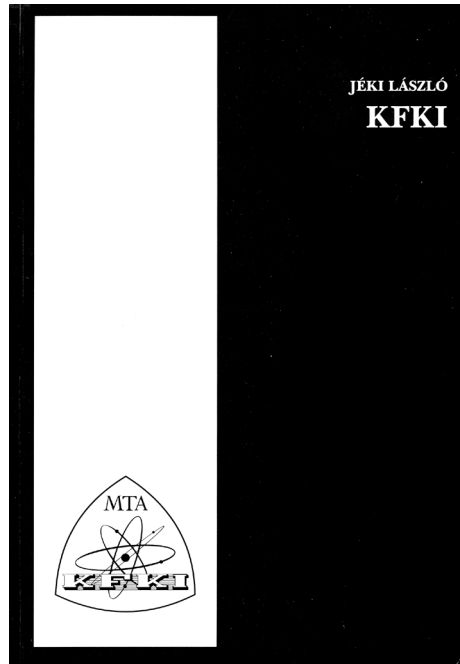
Az intézet születését, fejlődését majd megszüntetését a kor határozta meg. A 20. századot kétségkívül nevezhetjük a fizika századának, amelyben sok hazánkfiának is meghatározó szerepe volt. A hidegháború idején, 1950-ben a magyar fizika háború utáni fellendítésére hozták létre a KFKI-t. „*A fizika területén, elsősorban a kozmikus sugárzásnak, az anyagszerkezetnek, az elektromágnességnek és a spektroszkópiának a körében folyó kutatások tudományos és gyakorlati jelentősége egyre nő. Az iparilag fejlett országokban ezeket a kutatásokat központi kutató intézménnyel folytatják...*” – írja egy akkori előterjesztés. Ugyanott határozzák el, hogy hazahívják

Jánossy Lajost, a dublini egyetem fizikatanárát, a kozmikus fizika és atomfizika világ-hírű tudósát. *„Az új intézet részletes terveit – nyugat-európai tapasztalatok figyelembevételével – szakemberek dolgozták ki...”* – írja Jéki, ezzel cáfolva *„azt a gyakran megfogalmazott állítást, hogy a KFKI a szovjet (sztalini) gigantománia hazai változataként született volna.”*

Maga Jánossy így emlékszik vissza a kezdetekre: *„...Első feladatként az tűnt célszerűnek, hogy igyekezzünk reprodukálni azokat az eredményeket, amelyeket már máshol megkaptak. ... A módszer bevált, a néhány év folyamán a külföldi eredmények sikeres reprodukciója fokozatosan, majdnem észrevétlenül, átment új eredmények elérésébe. Bekövetkezett az az időszak, amikor eredményeink magas szintű nemzetközi elismerésben részesültek.”*

Az új csillebércei intézetben születhettek meg az országban egyedülálló nagyberendezések, mindenekelőtt az atomreaktor, a részecskegyorsítók és a számítóközpont. A KFKI építhette meg a szovjetek által 1955-ben felajánlott könnyűvízes típusú kutató atomreaktort. A neutron bepillantást enged az első hazai neutron-láncreakció megvalósulásához vezető időszak történéseibe. A kutatóreaktor felépítésével és hasznosításával kapcsolatos munkák irányításával Pál Lénárdot bízták meg. Közben volt 1956 októbere. Simonyi Károlyt – akinek Magyarországon elsőként, már 1951-ben sikerült mesterséges radioaktív atommagot előállítania – lemondatták az intézet igazgatóhelyettesi tisztségéről, mert elvállalta a KFKI Forradalmi Bizottságának elnöki posztját. A kísérleti atomreaktort végül 1959-ben helyezték üzembe.

A kutatások fokozatosan négy téma köré koncentráálódtak, amelyek hatékony művelése csak nagy intézetben összehozható gazdasági és szellemi kapacitást igényel.



E négy témakör: a részecske- és magfizikai kutatások, a szilárdtestfizikai kutatások, az atomenergia-kutatások, valamint a mérés- és számítástechnikai kutatások.

Az intézet eredményei sokszorosan igazolták a befektetett pénzt. Jéki László könyvében, terjedelme miatt, csak rövid – de így is csaknem félszáz oldalas – ízelítőt adhat a számos sikerből. A kutatási eredmények mellett a fejlesztésekről és gyakorlati alkalmazásokról is képet kaphat az olvasó. Szó esik persze a nehézségekről, az intézettel szemben támasztott túlzott gazdasági elvárásokról, és felvillanak a küzdelmek is. Most nézzük inkább azt, milyen sikereket értek el!

Az alapkutatások minden részterületén született néhány, világviszonylatban is kiemelkedő eredmény. Ezt az is mutatja, hogy a KFKI például 1981 és 1987 között 527 idézett cikkel és 3056 idézettséggel vezette a hazai kutatóhelyek listáját. A hatvanas évek közepétől nemzetközileg kiemelkedő, erős elméleti fizikai iskola ala-

kult ki Zawadowski Alfréd körül. Mezei Ferenc új neutronfizikai mérőeljárását, a neutronspin-echo spektrometriát a legnagyobb hazai fizikai felfedezések közé sorolják. Pál Lénárdnak a hasadási neutronsám ingadozását leíró, 1958-ban publikált sztochasztikus elméletére, így a Pál-Bell-egyenletre ma is hivatkoznak. A nukleáris technikák meghonosításában, valamint a reaktorfizikában felgyűlt tapasztalatokat használták fel az intézet szakemberei a Paksi Atomerőmű blokkjainak előkészítésekor, majd azok biztonságos működésének állandó, aktív felügyeletkor. A KFKI-ben kezdtek működni az első hazai lézerek. Az elméleti részecskefizikában is nagy eredmények születtek; többek között Domokos Gábor, Kuti Gyula, Polonyi János és Zimányi József munkái érdemelnek említést. Az intézet legjelentősebb sikerei közé tartoznak az űrkutatás és az űrfizika területén elért eredmények: az 1970-ben világűrbe emelkedett első magyar berendezéstől – a mikrometeorit-csapdától – az első, a fedélzetten leolvasható doziméteren (*Pille*) át – ezt Farkas Bertalan próbálta ki, majd 1984-ben a Challenger űrrepülőgépen is alkalmazták – részvételükig a máig legnagyobb magyar űrfizikai vállalkozásban, a szovjet Vénusz-Halley-(VEGA) programban. Az alkalmazott kutatások egyik legkiemelkedőbb sikere, hogy a KFKI-nek meghatározó szerepe volt a hazai számítógépes kultúra megeremtésében és elterjesztésében.

Például a tudománypolitikai okokból *Tárolt Programú Analizátornak* (TPA) elke-rezített számítógépcsalád gépei olyan kategóriájúak voltak, amilyeneket más piacokról a nyugati embargó miatt nem lehetett beszerezni. 1968 és 1990 között 1490 gépet építettek. Az intézetben született számítástechnikai szakkönyveknek (pl. az első magyar nyelvű ALGOL, FORTRAN, BASIC könyv) is úttörő szerepük volt.

A KFKI létszáma az évek folyamán erősen változott, az intézet az 1980-as évek közepén volt a legnagyobb. Összesen 2144 fő, a 875 diplomásból pedig 615 végzett kutató-fejlesztő munkát.

Az évek során tizennégyen lettek az MTA tagjai, harminchárman kaptak Kosuth-, vagy Állami-díjat. A KFKI nemzetközi hírnevét öregbítette a számos együttműködési projekt mellett több korábbi kutatója, akik külföldi egyetem, kutatóintézet vezető munkatársai lettek. (Néhányuk ma már az MTA külső tagja.) Jéki 1990. december 31-éig, az egységes KFKI utolsó napjáig követi az intézmény történetét.

A szerző sokéves – mindmáig folytatódó – kutatáson alapuló műve segít az olvasónak, hogy megismerje hazánk legújabbkori tudománytörténetének egy fontos fejezetét – tényekkel, adatokkal hitelesen alátámasztva. (*Artéria Stúdió, Budapest, 2001, 191 o.*)

Strehó Mária

egyetemi adjunktus (BKÁE)

Felsőoktatás és kutatás

Az értékes információkat tartalmazó kiadvány két korábbi évben kiadott elődjéhez hasonlóan beszámol az Oktatási Minisztérium Tudományos Ügyek Főosztályának az 1999/2000 tanév során végzett munkájáról. A közölt információk köre jóval szélesebb annál, mint amit a cím alapján várni lehet. Az egyetemekre, a főiskolákra és a

magyar kutatási potenciálra vonatkozó fontos adatokat tartalmazó táblázatot mindjárt előljáróban is meg kell említenünk.

A füzet a hazai kutató és fejlesztőhelyek tárgyalásával és a kutatók számának adataival kezdődik (1990-től 1999-ig táblázatba foglalja ezek változását). Megállapítható, hogy míg a kutató-és fejlesztőhelyek száma 1990-től folyamatosan nőtt (1999-ben 1887), addig a kutatók és fejlesztők száma

még 1999-ben sem érte el az 1990-es értéket (1999-ben 24 506 volt, ez mintegy 20 %-kal kevesebb, mint 1990-ben volt). A kutatók és fejlesztők csaknem kétharmada (a tudományos fokozattal rendelkezők több mint 70 %-a) a felsőoktatásban dolgozik. Részletes táblázatok mutatják be, hogy az állami és nem állami egyetemeken és főiskolákon 1996-tól 1999-ig hogy alakult a tudományos fokozattal rendelkező oktatók és kutatók létszáma. Meg kell jegyeznünk, hogy a már említett összefoglaló táblázat és ez utóbbi részletező táblázat végső adatai nem egyeznek meg pontosan.

Külön táblázatok tudósítanak arról, hogy 2000. január 1-jétől az integrálódás után milyen további intézmények összevonásából jött létre a mai hazai felsőoktatási hálózat, amely 16 állami és 5 egyházi egyetemből (ebben nincs benne a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem), továbbá 12 állami, valamint 20 egyházi és 6 alapítványi főiskolából áll. Közlik azt is, hogy ezekben az intézményekben (az 1999 októberi állapot szerint) hány oktatónak van tudományos fokozata. Az élen az Eötvös Loránd Tudományegyetem áll (953), ezt követi a Szegedi Tudományegyetem (768), majd a Debreceni Egyetem (671). Külön táblázat mutatja a felsőoktatásban dolgozó MTA tagok és az MTA doktorok számát és annak évenkénti változását 1996-tól 1999-ig.

A felsőoktatási intézmények K+F aktivitását a bevételt hozó (pályázati pénzek) kutatási-fejlesztési projektek mutatják. A kül- és belföldiek összbevétele 1995-től 1998-ig mintegy harmadával nőtt a felsőoktatásban (1998-ban 7941 MFt). A költségvetésen kívüli K+F források bevonásában az 1999 októberi állapot szerint első a Budapesti Műszaki Egyetem (288,4 MFt), második a Debreceni Egyetem (288,4 MFt), harmadik a Szegedi Tudományegyetem (278,4 MFt). A táblázat az ebből a szempontból legjobb tíz intézmény adatait tartal-

mazza, s kiderül, a felsőoktatási intézmények több mint egyharmadának egyáltalán nem volt sikeres K+F pályázata.

Külön alfejezet foglalkozik a doktori (PhD) programokkal számos táblázattal (a PhD-t és a DLA-t, Doctor of Liberal Arts,* egyes táblázatokban külön, másokban közösen kezelve). Itt csak azt emelném ki, hogy az 1999/2000-es tanév elején összesen 6651-en vettek részt a PhD és 144-en a DLA képzésben. Az egyetemek közül legtöbb doktorandusz (1678) az Eötvös Loránd Tudományegyetemen dolgozik, a második ebből a szempontból a Debreceni Egyetem (768), a harmadik a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (704).

A második fejezet az OM felsőoktatási tudománytámogató tevékenységével foglalkozik. Erre a célra a teljes kutatási előirányzat 2000-ben csaknem három és fél milliárd forint volt. Ennek nagyobb része a felsőoktatási intézmények költségvetésébe épült be, a többi különböző, főleg pályázati csatornákon jut el az intézményekhez, illetve azok egységeihez. A teljes támogatásból jelentős rész: 2000-ben például 1298 millió Ft normatív kutatástámogatás volt. Igen fontos szerepe van a Felsőoktatási Kutatási és Fejlesztési Pályázatnak. A nyertes pályázatok futamideje általában több mint egy év, az esetek többségében három év. Az 1999-ben meghirdetett újabb pályázatra 697 pályázat futott be, ebből 267 nyerte el a támogatást a teljes (általában három éves) futamidőre 802,2 MFt teljes összeggel. Ebből 54,2 % a budapesti, 13,0 % a debreceni, 11,2 % a szegedi régióra jutott. Ebben a fejezetben szó van még többek között a főiskolák, ill. főiskolai karok számára hirdetett kutatási-fejlesztési pályázatról és a tudományos diákköri mozgalom támogatásáról.

* A művészeti szakmák számára létrehozott fokozat.

A harmadik fejezet más szervekkel való együttműködésről számol be, elsőként az MTA-val közösen működtetett Domus (*Domus Hungarica Scientiarum et Artium*) ösztöndíjrendszeréről, amelynek keretében külföldi magyar kutatók pályázati alapon meghatározott ideig magyarországi intézményekben folytathatnak kutatómunkát.

A negyedik fejezet a Magyar Felsőoktatásért és Kutatásért Alapítvány tevékenységével foglalkozik, amelyik többek között a Magyary Zoltán posztdoktori ösztöndíjat is működteti. Végül a rövid ötödik fejezet az Országos Kiemelésű Társadalomtudó-

mányi Kutatások Közalapítvány működéséről számol be.

A kiadvány végén megtaláljuk még az OM Tudományos Ügyek Főosztálya vezetőinek és munkatársainak adatait, továbbá a Függelékben a MAB állásfoglalását a Doktori Iskolák létesítéséről és működéséről, továbbá az 1996 és 2000 között odaítélt PhD/DLA fokozatokra vonatkozó adatokat részletes táblázatokban.

(*Kutatás és Fejlesztés a felsőoktatásban, Magyar Felsőoktatás, Bp., 2001. 78 o.*)

Berényi Dénes

az MTA rendes tagja

Közéleti kommunikáció

Szerkesztette: Buda Béla

és Sárközy Erika

Az Erasmus könyvek sorozat harmadik köteteként megjelent válogatás szerkesztői és szerzői eddig hiányzó, új színfoltokat festenek a kommunikációról szóló ismereteink térképére. A kötet a társadalmi kommunikáció egy fontos vetületével, a közéleti kommunikációval foglalkozik. A szerkesztők kiinduló hipotézise az, hogy napjaink szerteágazó, nagyarányú és lenyűgöző társadalmi átalakulási folyamata közepette a társadalmi kommunikáció világában a leggyorsabb és legmarkánsabb a változás. Ennek megragadásához, átlátásához nagy szükség volna megfelelő elméletre, megbízható módszerre, jól használható fogalmi apparátusra. Az Erasmus-munkacsoport a szokványos, a társadalmi kommunikációt egyetlen rendszerként kezelő kutatói hozzáállással szemben, áttekinthetőbb és differenciáltabb viszonyulást javasolva, inkább egymással fedésben, kölcsönhatásban, antagonizmusban és dinamikus viszonyban álló rendszerekről beszél. E rendszerek egyike a közéleti kommunikáció. A munkacsoport kutatói a társadalmi válto-

zásokat ebben a mezőben látják leginkább vizsgálhatónak.

A szerkesztők véleménye szerint a kétpólusú világ megszűnése, a kommunizmus széthullása, a Nyugat győzelme nem annyira gazdasági és katonai-technológiai tényezőkkel magyarázható, mint a kommunikációs eszközök és a közéleti kommunikációs fórumok diadalával. Ez a társadalomelméleti szempontból nagy horderejű gondolat mind a társadalmi rend alapjának a termelési módot, illetve gazdasági viszonyokat tekintő marxista, mind pedig a társadalmi viszonyok és politikai intézmények általános modelljének a háborút tartó, Hérakleitosztól Hobbesson át Foucault-ig ívelő, bölcséleti hagyománnyal vitába száll.

A kommunikációs közösségek és eszközök meghatározóak az ember élet- és fejlődőképessége szempontjából. A kommunikációs fórumok (közösségek, civil szervezetek, szabad sajtó, illetve média, demokratikus politikai folyamatok) felszabadítják az alkotóerőt. Ugyanakkor a közéleti kommunikációs technika változásai hozzájárulhatnak a hagyományos részvételi formák változásához. Az új kommunikációs eszközök révén többféle szerepben lehetünk a közélet tényezői. A kötet egy-egy



részt szentel a közéleti kommunikáció főbb színterei, valamint a digitális kultúra és információs társadalom témakörének. Emellett önálló részt alkotnak a közéleti kommunikáció alapvetését adó tanulmányok.

A szerkesztők előszaván kívül nyolc tanulmányt magában foglaló kötet szerzői közül három foglalkozik részletesebben a közélet ismerveinek meghatározásával. Horányi Özséb szerint nem lehet egyetlen fogalomról beszélni, hanem csak a közélet kategóriájának különböző használatairól. A közélet kommunikatív szintéren, valamely kollektív ágens nyilvánosságában folyik. A fontosabb használatok közé az állami vezető szervek munkájával, a közösség politikai, társadalmi életével, a közérdekű tevékenységgel kapcsolatosakat sorolja. Terestyéni Tamás a közéletet a társadalmi önszabályozás egyik legfőbb eszközeként számon tartott nyilvánossággal hozza összefüggésbe. Ő az intézményi és civil szférának a nyilvánosságban megjelenő aktivitását nevezi társadalmi-politikai köz-

életnek. Mindenekelőtt a közügyeknek, az aktorok önreprezentációjának és pozícióharcának, s az intézményi és civil szféra találkozásának tulajdonít jellegzetes közéleti aktivitást. Sárközy Erika viszont, Gombár Csaba értelmezéséből kiindulva, a magánéleten túli, intézményesen zajló, sajátos nyilvánosságú, érdekképző, érdekszervező és érdekvényesítő társadalmi tevékenységben adja meg a közélet ismertetőjegyeit.

A közélet meghatározásának sokszínűsége csak egyik példája a kötetben megjelenő gondolatok heterogenitásának. Igazi szerkesztői bravúr volt a tárgykörök más-más rétegeinek hangsúlyt adó, stílári szempontból is különböző szerzők tanulmányait úgy összeválogatni és elrendezni, hogy kitapinthatóvá váljon az a közös talaj és cselekvési feladat, ahol a különféle kezdeményezések hatásukat megsokszorozva futnak össze.

A szerzők igyekeznek számba venni és kifejtteni mindazt, ami a közéletben tematizálódott. (Tematizáció az a folyamat, amelyben egy korábban nem kommunikált, kommunikálhatatlannak tűnő téma kommunikálttá válik, illetve amikor megváltozik a téma kommunikálásának módja.) Horányi a kívánatos változás szempontjából döntő „többlet”-felkészültség és a „kritikus különbség” elemzésével nemcsak saját szellemi mozgásterét szélesíti és mélyíti, de az olvasót is segíti a tematizáció mechanizmusának megértésében. Az autonóm hangvétellű írásban a szerző modellalkotó képessége, ereje is megmutatkozik.

Terestyéni főként játékelméleti keretben próbálja megragadni a közélet együttműködő, kooperatív és versengő, konfrontatív jelenségeit. A kommunista rendszer túlélő örökségét, a hatalomban levő közszereplők mediatizált, közfigyelmet lekötő ünnepeit, tűzijátékait és egyéb rendez-

vényeit leírva, a szerző egyre lendületesebben, mind nagyobb hévvel merül bele a magyarországi közéleti kommunikáció defektusainak magyarázatába.

Továbbgondolásra méltó érvek és szempontok olvashatók a kötetnek abban a tanulmányában, amely az angol nyelv, a „világangol” gazdasági, kulturális, politikai és tudományos globalizációban betöltött szerepét kutatja. A jelenlegi tendencia azt sejteti, hogy az angol lesz az Európai Unió minden tagországában beszélt közös második nyelv. Az EU várhatóan épp az újabb államok csatlakozása okán bírálja majd felül azt az álláspontját, hogy minden tagállam nyelvének egyenlő státust biztosítson. Az EU költségvetésében a nyelvvel (tolmácsolás, fordítás) kapcsolatos költségek már most is rendkívül magasak, a költségvetés 1/3-át teszik ki. A tudás, az információ, a kereskedelem és a technológiák cseréjének esélyét fokozó nyelvi globalizáció még nem feltétlenül jelenti az állampolgároknak kényszerített „újbeszéd” orwelli víziójának beteljesülését. Számos fejlett országban a globalizációval párhuzamosan növekszik és erősödik a lokalizáció, a regionalizmus, a nyelvi és kulturális sokszínűség igénye. A tanulmány szerzője, Schleicher Nóra a nyelvtervezés, a nyelvhasználat tudatos befolyásolására tett instrumentális és szociolingvisztikai kísérleteket, illetve megközelítéseket is tárgyalja.

„A politika már kommunikál, de a társadalom még nem érti”, fogalmazza meg aforisztikusan Sárközy Erika. Ezt a jelenséget a magyar politikai kultúrában az a tapasztalat teszi különösen rejtélyessé és kutatói szempontból is izgalmassá, amely szerint a magyar élőbeszéd hibás és igénytelen, s a társadalom szokatlanul toleráns ezzel az igénytelenséggel szemben. Amennyiben az élőbeszéd mintegy kódoltan hibás, úgy szinte lehetetlen észrevenni, megkülönböztetni a nem kulturálisan

kódolt, egyéni konfliktusokkal, krízissel, elhárító- és megküzdő mechanizmusokkal összefüggő szabálytalan nyelvhasználatot. Sárközy politikai kultúráról szóló tanulmánya igen hasznos azok számára, akik hipotéziseket generáló kutatói kérdések felvetéséhez keresnek inspirációt.

Számos tanulsággal szolgál az egyházak közéleti szereplését vizsgáló írás. Horányi Özséb és Szilczl Dóra szerint az egyházak a társadalmat érintő fontos kérdésekben gyakran elzárkóznak az érdemi megközelítéstől. Az elmúlt évtized új kihívásait az egyházak szinte nem vették észre, egyszerűen elmentek mellettük. Az egyházak így aligha képesek megfelelően betölteni norma- és érték közvetítő hivatásukat. A szerzők a vallási funkciók és diszfunkciók vizsgálatával járulnak hozzá az egyházak társadalmi integrációt érintő szerepének kutatásához.

Igen aktuális Ferencz Zoltánnak a helyi társadalmak kommunikációs stratégiáiról szóló tanulmánya. A szerző felsorolja a sikeres önkormányzat jellemzőit. E sorban elsőként a lakossággal való kommunikálás minőségét és mennyiségét említi. Ez a lakossági támogatás megszerzésének kulcsa. Noha az 1990. évi önkormányzatokról szóló törvény négy évvel későbbi módosítása előírja, hogy az önkormányzati testületekbe és bizottságokba, tanácskozási joggal civil szervezeteket is be kell vonni, a civil szervezetek zöme máig sem kap meghívást a testületekbe és bizottságokba. A civil szervezeteket kompetenciájuk megkérdőjelezése szinte belekényszeríti az ellenzéki szerepkörbe. A polgárok nagy része nincs tisztában az önkormányzat és a központi államigazgatás helyi szervei feladatainak különbségével, véli a szerző. Az állam és a civil társadalom megfelelő differenciálódása és a különbség tematizálódása híján nem csoda, hogy hiányoznak az önszolgáltató, self-help típusú szerveződések. Sőt, még

az erre való igény is hiányzik. Nincs is szó róluk a tanulmányban.

Változatos, színes és tárgyyszerű a kötet két, digitális kultúrával és információs társadalommal foglalkozó munkája. Szakadát István Jürgen Habermas kommunikatív cselekvéseméletéből kiindulva vizsgálja a világháló alternatív nyilvánosságának sajátosságait, szabályozási módjait. Az információs társadalom tükrében minőségileg változott-e a kapitalizmus logikája, s ha igen, hol van az átfordulási pont? – teszi fel a kérdést Pintér Róbert. Tanulmányában Manuel Castells nyomán, arról a selfet és identitást terhelő

feszültségről is szó esik, amely az emberek helyhez és kultúrához kötöttségének feloldódásából adódik.

A szerkesztőknek és a mögöttük álló Erasmus-kutatócsoportnak, úgy gondolom, sikerült megtalálni azt a köznapi jelenségszintet, tudniillik a közéleti kommunikáció szféráját, amelynek vizsgálata révén más társadalmi kommunikációs rendszerek felépítésének, folyamatainak és működésének számos szabályszerűsége is rekonstruálható. (*Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001, 138 o.*)

Kelemen Gábor

PhD, egy. docens (PTE)

Ízlik-e az ingyen ebéd? András Kelen: The Gratis Economy. Privately Provided Public Goods

Az elektronikus gazdaság gyors fejlődése 2000 tavaszán megtorpant, de aligha valószínű, hogy ez a lefékeződés összeomlást jelent. Inkább arra számíthatunk, hogy aránylag kiegyensúlyozott, látványos vállalati kiugrásoktól és bukásoktól is mindinkább mentes szakasz következik, amelyben az elektronikus gazdaság technikai eszközei mellett általánosság válnak a rá jellemző viselkedési és kapcsolati formák is. Sőt, az elektronikus gazdaság valóban tömeges elterjedése ugyancsak átalakíthatja a gazdaság mikrostruktúráját.

Ennek első fontos jele, hogy az elektronikus kereskedelem a világon először valószínűleg meg az áruk cseréjének tisztán tanácskönyvi formáját, amelyben nincsenek forgalmi, illetve – a modern közgazdaságtan elfogadott szóhasználatával – tranzakciós költségek. A fejlett országokban a fejlődés már eljutott arra a fokra, hogy a elektronikus gazdaság működéséről felépített gondolat kísérleteket tények is alátámaszthatják. Az igazán érdekes gondolatkísér-

letek éppen arról szólnak, hogy az elektronikus gazdaság elterjedése látszólag felforgatja a piacgazdaság alaptörvényeit. S ha ehhez görcső alá vesszük az egyelőre csekély tényanyagot, azt tapasztalhatjuk, hogy az alaptörvényeket valójában csak kissé kell módosítanunk ahhoz, hogy igazak maradjanak.

Persze talán csak egy darabig. Úgy, ahogy Lakatos Imre a nyolcvanas években magyarul *Bizonyítások és cáfolatok* címmel megjelent könyvében a térgeometria egyik alaptételével kapcsolatban rávezette az olvasót: a tétel érvényességi köre folyamatosan bővíthet, de maga a tézis sohasem válik abszolúttá.

Kelen András könyve szintiszta szakmai provokáció, és egyre inkább előkezősködővé és módszertani értelemben kisé vaskalapossá váló közgazdasági szakirodalomban talán megkavarja azt a vizet, amely szellemi tápanyagban igen gazdag, mégis állóvíznek tűnik. Túl sok alaptétel van, amelyen nem merünk vitatkozni, közben pedig nem vesszük észre, hogy a mikro gazdaság játékszabályai talán éppen a szemünk előtt változnak meg. Kelen kiindulópontja leegyszerűsítve úgy fogalmazható át: a „*nincs ingyen ebéd*” szabálya az

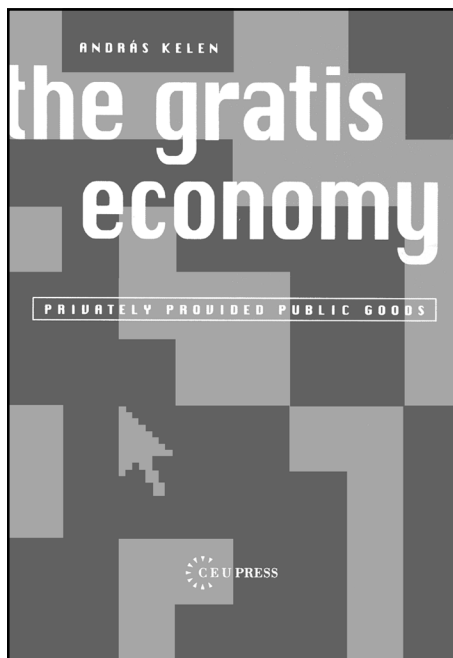
elektronikus gazdaságban csak részben érvényes, ez a korlátozott érvényesség azonban valójában csupán látszat.

A leegyszerűsített megfogalmazás sajnos aligha sikerült, ezért lássuk bővebben is a könyv „üzenetét”. Kelen András arra a tapasztalati tényre hívja fel a figyelmet a bevezető oldalakon, hogy jólétünk az „*Új Gazdaságban*” számos esetben költségmentesen növekedhet. A szerzői szándék annak bizonyítása, hogy az előnyök semmilyen efféle esetben sem egyoldalúak, a javak vagy szolgáltatások látszólag ingyenes osztogatása mögött ugyancsak erős jövedelemszerző szándék rejlik. A kérdés persze az, hol a határ a magán- és a közjavak között. A magánjavakat ugyanis osztogathatják, ha erre van magánfedezet. A közjavak viszont szabadon hozzáférhetők, csakhogya vagy a társadalom közkiadásaiából hozzák létre őket, vagy pedig később közkiadásokra van szükség a pótlásukhoz. Az utóbbira példa az egészséges környezet.

Az elektronikus gazdaság néha elmosza a magán- és a közjavak közötti átmenetet, hiszen ott magánpénzből képződnek olyan jóságok, amelyek felhasználásukat tekintve közjavak, viszont mégsem terhelték meg a közösség kasszáját. Lehet ennek fordítottja is: a szocializmusból visszaderengő „társadalmi munka” sokszor nem is csekély, ám roppant alacsony hatékonyságú közösségi erőfeszítéssel hozott létre az egyén szempontjából haszontalan „terméket” vagy „szolgáltatást”.

Kelen könyve foglalkozik ezekkel az esetekkel is. Túlzott szerzői szerénység vagy bocsánatkérő és egyben gunyoros mosoly állhat szerkesztői ötlete mögött, hogy a nagy szerkezeti egységeket esszéknek nevezi, és csak ezeken belül dolgoz ki fejezeteket. A figyelmetlen olvasó első látásra azt gondolhatja, hogy laza tanulmányfüzér került a kezébe, és talán nem is előlről kezdi az olvasást. Hamarosan rádöbbenhet azonban, hogy a tartalomjegyzék igen csalóka: a könyv gondolatmenete bizony egyenes irányú, az „esszék” logikus szerkezetbe rendeződnek.

A könyv három nagy része annyiban mégis esszéjellegű, hogy egy-egy alapötletre fűz fel szerteágazó gondolati anyagot. Az első fejezet a hagyományos „ingyen gazdaságot” mutatja be, ahol vagy vallásos meggyőződés vagy erkölcsi meggyőző erő vagy pedig – mint például a katonaságnál – egyszerű kényszer az ingyen munkavégzés magyarázata. A könyv fő témája szempontjából mindez inkább illusztráció, hiszen az első „esszé” záróoldalain maga Kelen mutatja be, hogy a hagyományos ingyenes szolgáltatások visszaszorulóban vannak. Különösen érdekes eszmefuttatás szól a sportról: a szerzőnek teljesen igaza van abban, hogy az amatőr sport kezdetben sem a juttatás nélkül végzett testedzést jelentette, és a fogalom értelmezése az elmúlt évtizedekben jócskán átalakult. Az eredeti-



leg kifejezettebben amatőr jellegű olimpiai mozgalom is nyíltan kereskedelmi jellegűvé vált, és ma már kétségtelenül a profitorientált gazdaság szerves része.

A szerző sokszor elkalandozik, már-már cseveg, amikor az „ingyen gazdaság” történetéről beszél. Érdekes szociológiai elemzést ad például éppen a sport és a tömegkultúra viszonyáról azzal a megfontolandó gondolattal, hogy a sport kereskedelmi jellege a jövőben már inkább gyengülni, mint erősödni fog. A könyvnek ezt a részét azonban nem jellemzi túlzott tematikai fegyelem és szigorúság. Kelen András műveltsége és tárgyismerete lenyűgöző, de az olvasó ettől a könyvtől elsősorban arra a kérdésre vár választ, hogy van-e valóban „ingyen ebéd” a modern gazdaságban, illetve hogy ez kinek mibe kerül.

A második nagy „esszé” sokkal lendületesebb és összefogottabb. Ez a rész a modern üzleti élet ingyenes szolgáltatásairól szól. Ezek legismertebbje a reklám, de az internet kialakulásához és a kezdeti fejlődését tápláló inkább szellemi, mint üzleti igényekhez valódi nagy értékű, de ingyenes szolgáltatások is köthetők. Ilyen mindenekelőtt az emberiség kulturális kincsének közzététele a virtuális könyvtárakban.

Persze a reklám sincs ingyen a fogyasztó számára, hiszen drága idejét, sőt géphasználati és telefonidejét köti le. Kelen megdöbbentő adatokat idéz arról, hogy az internetezők (illetve a „hálópolgárok”, ahogy az angol szöveg „*netizen*” kifejezését magyarázhatjuk) csak elenyésző töredéke látja el gépét olyan védelemmel, amely megóvjaa a nem kívánt vagy fölöslegesnek tartott elektronikus olvasnivalótól. Ha ez az arány emelkedik, akkor kétféle fejlődésre számíthatunk: vagy visszaesnek a látszólag ingyenes, ám valójában a reklámokból finanszírozott hálózati szolgáltatások, vagy elterjed az a Kelen által igen érdekfeszítően leírt új kereseti lehetőség, hogy a bonyolul-

tabb internetes reklámok elolvasói – akik talán néhány marketingkérdésre is válaszolnak – pénzt, 1-2 dollárt kapnak ezért a munkájukért. Nem kétséges, hogy munka ez is, bár könnyen elképzelhető, hogy bér-szintje csökkenni fog, ha az ilyen munkaalkalmak népszerűsége elterjed, és a munkaerő kínálata megnő ezen a részpiacra. Kérdés az is, hogy az ilyen távmunkából eredő jövedelmet hogyan lehet adóztatni.

Míndez ugyancsak arra utal, hogy a hálózati gazdaság ma még nagyrészt ingyenes volta átmeneti jelenség lesz, és egyre kevesebb tartalomszolgáltatónak éri majd meg, hogy a reklámjövedelemre építse bevételeit. A könyv azonban attól érdekes, hogy a szerző ennél jóval tovább gondolkodik: a politika ugyanis érdekelt egyes ingyenes, illetve erősen támogatott termékek és szolgáltatások fenntartásában. Ez nemcsak a gyógyszerellátásra vagy a tudományos kutatásra igaz, hanem bizonyítható az elektronikus gazdaság nem csekély részére is. Ez a gondolatmenet szerepel a könyv harmadik részében.

A szerző a Wall Street Journal és a New York Times példáján magyarázza el, hogy a hálózati szolgáltatások megfelelő tartalom és „csomagolás”, valamint nagy kapcsolatteremtési képesség esetén már ma sem szükségyszerűen veszteségesek. A Wall Street Journal interaktív elektronikus kiadása például csekély díjért hozzáférést enged a lap összes regionális változatához, valamint számos olyan kapcsolódó anyaghoz, amely a hagyományos újságba nem férhet bele. Ez az interaktív kiadás a hirdetőknél pedig lehetőséget nyújt arra, hogy az egyes olvasók „profiljának” (nem, életkor, lakhely, foglalkozás, sőt, a saját tőzsdei forgalom nagysága) megfelelően egyénre szabott hirdetésekkel jelenjenek meg az előfizetők által lehívott oldalakon.

A harmadik rész valójában az újfajta elektronikus és a hagyományos nonprofit

szolgáltatások sajátos konvergenciájáról szól. A világháló talán még egy darabig technikai újdonságnak számít, de egyre szélesebb körben – egyre idősebb korosztályok számára is! – mindennapi használati eszközzé válik. Kelen tézise szerint azonban a folyamat itt nem fog megállni: az elsősorban hirdetésekkel finanszírozott hálózati szolgáltatások előbb-utóbb a megszokott nonprofit szolgáltatások posztmodern megfelelőivé (hozzátehetjük: kiegészítőivé) válnak.

A „posztmodern” fogalom több helyen előfordul a könyvben, ezzel is hangsúlyozva a munka tudományközi jellegét. A szinte költségmentes, de a korábbiaknál több nagyságrenddel sűrűbb nemzetközi kapcsolati háló kialakulása azonban nemcsak esztétikai gondolkodásra kínál jó alkalmat. A gazdaságnak számos területe lehet, ahol az „Új Gazdaság” spontán módon kialakuló játékszabályai az eddig megszokott magatartási, sőt jogi normák alapos átalakítását is szükségessé tehetik. Érdekes példa erre a könyvben a szellemi tulajdon védelme.

A hagyományos védelmi stratégiák és eszközök egyre igényesebbé válnak. A jogtulajdonosok nemcsak hosszabb időre szóló és alaposabb védelmet követelnek, hanem korábban elképzelhetetlen területekre (például: „innovatív üzleti megoldások”) próbálják elérni a jogi védelem kiterjesztését. Ennek egyik oka éppen az ismereteknek a világhálón keresztüli gyors és sokszor nem ellenőrizhető terjedése. Ezzel a hagyományos innovációs kultúrával szemben az „Új Gazdaságban” természetes reakcióként alakul ki az eleve szabad pré-

daként kínált új szellemi termékek kultúrája. A szabadon letölthető szoftverek, sőt operációs rendszerek (mint a Linux) idővel sokkal nagyobb kihívást jelentenek a szellemi monopoljogaikhoz túl erősen ragaszkodó fejlesztő cégek számára, mint a jogtalan használat. Az utóbbit ugyanis rendőri eszközökkel korlátozni lehet, egy önszerveződő, országhatároktól független közösség önmaga által kialakított magatartási normáit azonban kívülről szinte lehetetlen megváltoztatni.

Az „Új Gazdaság” egyszer akár a piacgazdaság alapszabályait is megváltoztathatja. Kelen szándékosan gondolat kísérletnek nevezi merész, de hosszabb távon nem valószínűtlen vázlatát a társadalmi munkaszervezésnek arról a formájáról, amelyben az egyének egy elektronikusan kezelt közös munkaalapba ajánlják fel munkájukat, és ezért cserébe hasonló értékben igényelhetnek szolgáltatásokat az alapból. Vajon ezt is túrmi fogja a pénzügyi rendszer és a politika?

A könyv élvezetes és elgondolkodtató, ugyanakkor meglehetősen spontán stílusú olvasmány, amely csak kevésbé ajánlható a kiérlelt és hívős eleganciával előadott gondolatmenetek kedvelőinek. Mondhatjuk: íme, Magyarországon is megjelent az „Új Gazdaság” szellemi posztmodernizmusa. Most már várjuk ennek az egyre fontosabbá váló áramlatnak a magyar nyelvű bemutatkozását is. (*CEU Press, Budapest, 2001, 370 o.*)

Török Ádám

az MTA levelező tagja, egy. tanár
(Veszprémi Egyetem, BMGE)

A jó ízlés politikája Molnár Attila Károly: *Edmund Burke*

Két legfontosabb műve – *Töprengések a francia forradalomról* (Atlantisz, Bp.,

1990.), illetve *Fellebbezés a mai whigektől a régebbiekhez* (In: *Konzervativizmus, Osiris, Bp., 2000.*) – után immár Edmund Burke egész életművét bemutató terjedelmes monográfia is rendelkezésre¹ áll annak, aki a XVIII. századi brit politikai élet

egyik legjelentékenyebb egyéniségét, a politikai konzervativizmus legtöbbet idézett, klasszikus műveinek szerzőjét szeretné közelebről megismerni. Molnár Attila Károly könyve pedig ilyen ismerkedésre kiváltképp alkalmas, s elsősorban ekként, a teljes életmű (amennyire csak lehetséges) elfogultság-, előítélet- és interpretációmentes ismertetésére irányuló törekvésként kell értékelni. Elkerülhetetlen persze, hogy az életmű bemutatásába értelmező mozzanatok kerüljenek, ám ez szerencsés esetben nem válik a könyv hátrányára, csupán az adott témában kissé jártasabb olvasók figyelmére is méltóvá teszik az életmű ismertetését.

Molnár Attila Károly esetében az ízlés Burke politikai gondolkodásában játszott szerepének hangsúlyozása jelenti legértékesebb hozzájárulását a – nem túl terjedelmes – magyar nyelvű Burke-irodalomhoz. „Az esztétikai cselekvés példa a [...] politikai cselekvésre, és az esztétikai ízlés példa a politikai-erkölcsi bölcsességre: a jó ízlés ilyen tudás, mivel abszolút szabályok nélkül működik. A megkülönböztetések, mint az éjszakáé és a nappalé, noha nyilvánvalóak, mégsem definiálhatóak.” (189) Hogy ez mennyire így van és mennyire nem csak lényegtelen kérdésekkel kapcsolatban állja meg a helyét, elég a *Töprengések* gyakran idézett helyére utalni: „Az emberi jogok amolyan középúton helyezkednek el: képzelenség definiálni őket, de rájuk ismerni nem lehetetlen.” Ezzel Burke emberi jogokkal kapcsolatos, sok vitára okot adó álláspontjának kérdését gyakorlatilag az ízlésítéletek problémájának területére helyezte át. Az ízlésítéletek Burke-i elmélete – az e kötetben olvasható összefoglalás is ezt tanúsítja – nem nélkülöz olyan mozzanatok, amelyek ilyen értelmezési irány számára egyengetnék az utat. Molnár Attila Károly fejtegetése nyomán nyilvánvalóvá válik például, hogy Burke szerint az ízlés

nem mindenki számára eleve adott képesség, amelyet belátása szerint használhat, hanem a közös kultúra több évtized, vagy még inkább több évszázad során kikristályosodott terméke, amelyet egyéni ítélet érvényes módon nem bírálhat felül. Az ízlésnek van mércéje, s ez a mérce a korábbi generációk tapasztalatán és szelektált ítéletén nyugvó hagyományra, a konzervatívok által gyakran és szívesen emlegetett kollektív bölcsességre épül. Az egyén feladata így nem az, hogy új, egyéni ízlést alakítson ki, hanem hogy tanulás és képzés révén megismerje az ízlés igazi, interszubjektív mércéjét. „Arról van szó – írja egy helyütt –, hogy ha valaha is úgy találjuk, nem hajlunk a csodálatra azon írók és művészek, mint például Livius és Vergilius vagy Raffaello és Michelangelo iránt, akiket minden tanult ember csodált, akkor ne saját hőbortjainkat kövessük, hanem tanulmányozzuk őket addig, amíg meg nem tanuljuk, hogyan és mit kell csodálni; és ha képtelenek vagyunk elérni a csodálat és az ismeret ilyen egyesítését, akkor inkább higgyük azt, hogy a világ többi részére rátukmálták e nézeteket.”¹

A rossz ízlés problémája Burke számára eszerint elsősorban nem *tartalmi* kérdés: aki egyéniségére hivatkozva jogot formál arra, hogy az általánosan elfogadott ítéleteket figyelmen kívül hagyva, maga döntsön ízlés dolgában, az döntésének tartalmától függetlenül érvénytelen ízlésítéletet hoz, így ízléssel kapcsolatos ügyekben véleménye nem veendő figyelembe. Ennek nem jelentéktelen politikai-erkölcsi párhuzamai Molnár Attila Károly kötetében említés nélkül nem maradnak ugyan, ám kifejtésükkel, következményeinek végiggondolásával adós marad a szerző. Ha komolyan

¹ Edmund Burke: *Fellebbezés a mai whigektől a régebbiekhez*, In: Kontler László (szerk.): *Konzervativizmus*, Osiris, Budapest, 2000., 226.o.

vesszük Molnár Attila Károly³ aaptalannak egyáltalán nem tekinthető felvetését, miszerint Burke számára az ízlésítéletek modellként szolgálnak a politika és az erkölcs területén, akkor nem érhetjük be annak megállapításával, hogy „Burke a radikalizmus tanait és az azokkal járó habitust egyaránt bírálta” (319), mert az ízlésről alkotott elképzeléséből az következik, hogy a tartalmi kérdések (tanok) másodrendűek az általánosan elfogadott ítéletekhez való viszony (habitus) mögött.

A másik, szintén már a könyv elején exponált téma: a *politics of beauty* koncepciója. Ez az a gondolat, amely a legmegbízhatóbb következetességgel tér vissza időről-időre az életmű ismertetése során, s így akkor is Molnár Attila Károly Burke-képe alappillérenek kell tekintenünk, ha ezek a visszatérések mindvégig alkalmoszerűek maradnak, s megjelenésük mindig a szöveg mozgásától függ. „Eszétikájának és a politikai társadalomról alkotott képének is fontos eleme volt az idő, a megszokás, a *gyönyörű* kialakulása, amely elviselhetővé teszi és egyben megszelídíti a kezdeti erőszak bármely formáját, az önkényt, társadalmasítja az egyént.” (284) A *gyönyörű* politikája Molnár Attila Károly olvasatában a hatalom megszelídítésének, a társadalom szeretetre méltóvá tételének a politikája: „A politikának is olyannak kell lennie, mint a költészetnek: nem elégséges kritérium egy versnél a tökéletessége, kedvesnek is kell lennie, hasonlóképpen ahhoz, ahogy a *Töprengések* szerint országunknak is nemcsak tökéletesnek, hanem szeretetreméltónak is kell lennie.” (132) Másutt ehhez hozzáteszi, hogy Burke szerint a hatalom megszelídülésére, azaz a *gyönyörű* kialakulására nagy biztonsággal számíthatunk: „az emberi gondolkodás az idők során ‘szent fátylat’ von a hatalom eredete elé, s eközben korlátozza magát a hatalmat is, megszelídíti azt.” (227) A *gyönyörű* és a

„szent fátyol” közti szoros kapcsolat Molnár Attila Károly szerint nyilvánvaló – „a fátyol a *gyönyörű*” (226) –, ahogy az is, hogy ez a kapcsolat a lovagiasság, az elegancia, a modor révén valósul meg. A *Töprengések* erre utaló bekezdése – „a lovagiasság kora a múlté...” (254) – egyébként azt is kétségtelenné teszi, hogy Burke szerint amellett, hogy a *gyönyörű* megjelenése idővel elméletileg prognosztizálható, a forradalom előtti Franciaországban (s persze Angliában) gyakorlatilag tapasztalható. Ha azonban a *gyönyörű* jelenlétével, mint elméletileg megalapozott és tapasztalat által igazolt ténnyel számolhatunk, akkor Molnár Attila Károly iménti hasonlata a *politics of beauty* lényegéről pontosításra szorul. A *gyönyörű* politikájának elvei nem a versírás elvei – amint azt a fent idézett mondat alapján vélhetnénk –, hanem az olvasói, befogadói habitusé. Ha a vers magától kedvessé válik, sőt már kedvessé is vált, akkor nekünk csupán annyi a dolgunk, hogy értékeljük vagy megtanuljuk értékelni ezt.

„Egy barát panasza és egy ellenség szitkai között mindig nagy a különbség. [...] Aki manapság hű, de akár csak méltányos is e rendszer iránt, annak úgy kell viselkednie vele, mint egy gyarlóságokkal terhelt, engesztelhetetlen ellenségetől üldözött baráttal. Úgy hiszem, ebben az esetben kötelességünk, hogy ne tüzeljük fel a közvéleményt a szorongatott személy ellen hibáinak eltűlésével. Inkább mentegünk kell tévedéseit és fogyatékoságait, vagy fátylat kell borítanunk rájuk, s azon iparkodnunk, hogy előtérbe állítsuk esetleges jó tulajdonságait. [...] Ekképpen vélekedem egyes emberekkel kapcsolatban, s úgy gondolom így van ősi tiszteletben álló kormányokkal és emberi rendekkel is.”² A *politics of beauty* elvei tehát elsődlegesen nem célokat jelölnek ki, hanem ha-

² ibid. 203. o.

bitust határoznak meg: a legfontosabb nem az, hogy a hatalom és a társadalom szeretetreméltóvá vagy kedvessé tételén fáradozzunk, hanem az, hogy ekként fogadjuk el; hogy képesek legyünk felismerni és értékelni azokat a tulajdonságokat, amelyek szeretetre méltóvá (élhetővé, azaz szerethetővé) teszik. Ha nem barátként viszonyulunk hozzá, ha nem tudunk értékként tisztelni ízlést és eleganciát, modort és udvariasságot, vagyis mindazt, „amely a hatalmat szeliddé, az engedelmisséget kötetlenné tette és harmonizált az élet különböző árnyalataival, s amely finoman beolvastotta, bevonta a politikába azokat az érzelmeket, amelyek megszépítik a magánemberek társadalmát” (254), akkor olyanokká válnak, mint akik lehátnak a versről mindent, ami nem közvetlenül az eszme, a gondolat visszaadását szolgálja, hanem széppé és kedvessé tételéhez járul hozzá (ennyiben mindenképpen helyénvaló Molnár Attila Károly versre vonatkozó hasonlata). Az ilyenfajta érzéketlenség a vers szépségei iránt eleve kizár bennünket azok köréből, akik megfontolásra érdemes kritikát gyakorolhatnak fölötte. Ehhez hasonlóan Burke meggyőződése szerint azoknak a véleményét, akik „a köz legdrágább érdekeit feláldozzák ama zavaros elméletek kedvéért, amelyekre egyikük nem bízná szívesen magánérdekeinek legjelentéktelenebb részét sem” (179), azaz azoknak, akiknek a közhöz való viszonyából hiányzik a saját magukhoz (és barátaikhoz) fűző kapcsolatot jellemző, elsősorban erényekre és értékekre tekintő aggodás és óvás, azoknak a véleményét figyelmen kívül kell hagyni, teljes mértékben függetlenül attól, hogy voltaképpen mi is ez a vélemény. Burke a társadalomhoz való viszonyt – s nem a véleményt, a nézetet – tekintette az első számú szempontnak minden politikával foglalkozó értelmiségi megítélésében. Ezért kifejezetten szerencsés kiindu-

lópontnak tekinthető Molnár Attila Károly megjegyzése a kötet legelejéről, miszerint „Burke nem kívülről elemezte a társadalmat, nemcsak szociológiai értelemben volt része annak, hanem érzelmileg is. Szerette saját társadalmát.” (33)

Az ízlés szerepe és a gyönyörű politikája azonban nemcsak a kötet eredeti gondolataira és a fontos észrevételeire szolgál példakét, hanem egyúttal – sajnos – arra is, hogy ezek úgy szóródnak szét az olykor bizony nehezen követhető gondolatmenetekben, hogy érdekes és releváns következmények maradnak, végiggondolás nélkül.

Burke szkepticizmusának kapcsán megszokottnak tekinthető Swift, Samuel Johnson, Montaigne és Hume nézeteinek tárgyalása, Molnár Attila Károly azonban kiegészíti ezt a kört George Berkeley-vel is, s ez – véleményem szerint – nem igazán szerencsés novum. Tény, hogy Berkeley tagadta az absztrakt általános eszmék alkotásának lehetőségét és bírálta korának szabadgondolkodó filozófusait, s ez némi rokonságot mutat Burke nézeteivel. A hasonlóságok mellett azonban figyelemreméltó eltérések is mutatkoznak a két filozófus közt. Amellett például, hogy joggal állapíthatjuk meg, hogy mindketten osztották a nézetet, miszerint „a nyelv nemcsak eszmék, gondolatok közlésére szolgál” (147), a nyelvről alkotott elképzelésük összehasonlításakor nem árt figyelemmel lenni Berkeley olyan megnyilatkozásaira is, mint hogy „a filozófusnak [...] tartózkodnia kell a metaforáktól”,³ amelyet a Paine-nel folytatott vita fényében aligha tekinthetünk Burke álláspontjának is. Azzal együtt pedig, hogy Berkeley megvetéssel szól a „divatkövető” szabadgondolkodóról, aki semmit sem tisztel, „aki mindent lekicsinyel, ‘leránt’, amihez csak hozzáér” (170), ifjúko-

³ Berkeley, George: *A mozgásról* In: *Tanulmány az emberi értelemről és más írások* (ford., jegyz.: Faragó Szabó István) Gondolat, Budapest, 1985., 636. o.

rában a következőképpen jellemzi magát: „Egy dologban, tudom, nem vagyok bűnös. Nem cselekszem előítéletből, sem elfogultságból, nem ragaszkodom semmilyen véleményhez sem azért, mert régi, elfogadott, divatos vagy mert sok időt töltöttem tanulmányozásával és művelésével”.⁴ Ezzel az önmeghatározással nemcsak Burke rokonszenvére nem számíthatott, de a szkepticismusuk közti hasonlóság gondolatának jogosultsága is megkérdőjeleződik. A kettenük attitűdjében tapasztalható szöges ellentét alapján – anélkül, hogy Berkeley politikai filozófiájának részletes elemzésébe kellene bocsátkoznunk – annyit feltétlenül leszögezhetünk, hogy a Burke-Berkeley kapcsolat semmiképpen sem áll olyan biztos lábakon, mint a Burke, illetve Swift, Johnson, Hume vagy Montaigne közti viszony, s az előbbi kapcsolatot megkülönböztetés és a viszony legalábbis problematikus voltára utaló megjegyzés nélkül az utóbbiak között említeni, félrevezető és megtévesztő. Ha a szkepticismusuk közti lényeges különbségek tárgyalását a monográfia keretei nem teszik lehetővé, szerencsésebb lett volna a Berkeley-vonal teljes elhagyása.

A tartalmi hibáknál azonban számosabak a kötet formai hiányosságai. A monográfia terjedelme és az érintett témák sokfélesége részletes név- és tárgymutatót tett

⁴ Berkeley, George: *Philosophical Commentaries In: Works* ed. A. A. Luce and T. E. Jessop, London, Nelson, 1948., Vol. I., 48. o.

volna indokolttá. Az idézetek helyének meghatározásakor érdemes lett volna mindig megadni az idézett mű címét is, hogy azok az olvasók is könnyebben megtalálhassák az őket érdeklő helyeket, akiknek keze ügyében nem a szerző által használt kiadások vannak. Különösen igaz ez a *Further* rövidítéssel hivatkozott idézetekre, amelyek ráadásul könnyen azt a téves benyomást kelthetik az életműben kevésbé jártas olvasóban, hogy Burke *Further Reflections on the Revolution in France* címmel folytatást írt a *Töprengésekhez*. Nem ártott volna már a kötet legelején, a hivatkozott művek rövidítéseinek felsorolása alkalmával tisztázni, hogy csupán néhány későbbi írásának gyűjteményes kiadásáról van szó.

Am minden hiányosságával együtt is üdvözlendő esemény az első magyar nyelvű Burke-monográfia megjelenése. Az életmű elemzése alaposságra és teljességre törekvése folytán talán nem annyira izgalmas, mint lehetne, azt gondolom azonban, hogy mint minden Burke-ről szóló kötetről a döntő szót e könyvről is az 1796-os *Gentleman's Magazine* találó megjegyzésének – „Burke-öt nem lehet elemezni, el kell olvasni” (144) – monográfiáirásra alkalmazott változata mondja ki: *Burke-öt nem elemezni, idézni kell*. E tekintetben pedig Molnár Attila Károly kitűnő munkát végzett. (*Századvég Kiadó, Bp., 2000. 371 o.*)

Fülöp Endre

PhD hallgató

Miskolczi Ambrus: *Szellem és nemzet* –

Babits Mihály, Eckhardt Sándor, Szekfű Gyula és Zolnai Béla világáról

Kitűnő könyvet olvastam három tudós és egy nagy költő világáról. A munkát Miskolczi Ambrus írta, aki eddig elsősorban a román történelemről közölt jeles tanul-

mányokat, most azonban a magyar szelemtörténeti iskola képviselőiről szól. A könyv főcíme – *Szellem és nemzet* – jól jellemzi a 20. század első felének említett képviselőit. A megnevezettek valóban a szellem emberei és rájuk is vonatkozik a nemzet fogalma, mégpedig elsősorban a *Mi a magyar?* gyűjteményes kötet kapcsán. A szelemtörténetet Thienemann Tivadar és a

Minerva című folyóirat vezették be, és az említett szerzők ilyen vagy olyan módon, kisebb vagy nagyobb mértékben csatlakoztak hozzá. A nemzetet a konzervatív, katolikus világnézet szempontjából vizsgálták és készek voltak bizonyos reformokat is bevezetni a Kerényi Károly által neobarokknak nevezett társadalomban. Állásfoglalásukat a szerző metapolitikának nevezi, ami annyit jelent, hogy írásaikkal szeretnék volna befolyásolni magát a politikát, kevés sikerrel.

Amikor Eckhardt Sándor javaslatot tett a Pázmány Péter Tudományegyetemen a Magyarságtudományi Intézet megalapítására, a következőket írta: „A hungarológia, a magyarságtudomány ... magában foglalja a magyarság magas és mély kultúrájának (népi és történeti kultúrájának) kérdéseit és ennek szintézisére törekszik”. A megállapítás ma is megállja a helyét és vonatkozik mindazon szakokra, amelyek a humán tudományokban a magyarsággal foglalkoznak. A hungarológiának gyűjteményes kötete a Szekfű Gyula által szerkesztett *Mi a magyar? A szaktanulmányok* mellett a szerző elsősorban azokkal a munkákkal foglalkozik, amelyek meghatározták a kötet szellemét. Az első szerző Babits Mihály, aki Prohászka Lajos *A vándor és a bujdosó*-jával szemben felvázolja a passzív, de elméledő magyar magatartását, lírai szenvedéllyel, hivatkozva a történelem és az irodalom példáira. Ekörül már előbb polémia alakult ki, miután sokan kifogásolták a Prohászka által kialakított bujdosó magatartást – elsősorban passzivitása miatt – és a vándorral való szembeállítását. Szekfű Bölcs Leó meghatározásából indul ki, aki szerint „a magyarok szabadságszeretőik, vitézek és körmönfont politizálók”, és ennek megfelelően fejt ki a nemzeti egységet hangsúlyozó mondanivalóját. Zolnai egyetért ezzel a meghatározással, de őt elsősorban a nyelv és a stílus kérdései foglalkoztatják. Eckhardt maga is Szekfű koncepció-

ját hirdeti, amikor a magyarság külföldi képét felvázolja ironikusan idézve a Nyugaton és Keleten kialakult magyarságképet. Ez a gyűjteményes kötet a magyar értelmiség körében keltett visszhangot, de semmit sem változtatott a külföldi magyarságképen, amint azt a II. világháború után a párizsi békeszerződés igazolta.

A szerző e kötetén kívül foglalkozik az említettek más munkáival is. Így idézi Eckhardtnek *A francia szellemről* (a francia fordításban az *esprit* helyett a *génie* kifejezést használja) című könyvét, támaszkodva a kor nemzetközi irodalmára, de a francia történetírás és irodalom példáira is. A *Voltaire és 1526* című tanulmány kapcsán említi a török támadást és annak értelmezését. Szól Michelet-nek a reformációról és az 1848-49-es forradalomról szóló írásairól. A szerző joggal jegyzi meg, hogy a régebben a nemzetiségeket védő Michelet a magyar szabadságharc védelmezőjévé vált. Itt kell megemlítenem: Eckhardt figyelmen kívül hagyta a Rákóczi-szabadságharc egész francia anyagát, amely támogatta a magyar követeléseket és meghatározta a felvilágosodás és a reformkor történelmi képét. Kár, hogy Miskolczy nem említi Eckhardt *A francia forradalom* című munkáját, amely világnézeti kérdéseket is érint.

Zolnai Bélánál idézi Eckhardt *A francia szellemről* szóló könyvét. Megjegyzéseiben értekezik az ember sorsáról, vagy a nyelvről, de külön figyelmet érdemel a következő megjegyzése: „a könyv a hitlerizmus gyűlöletén keresztül tér meg a francia univerzális eszményhez”. Ő az, aki másutt tett megjegyzéseivel is szembeszáll a fasizmussal. Zolnai figyel a politikai és irodalmi változásokra és időnként kész részt venni az egyetemi csatározásokban, akár párbajjal is. Megjelentet egy Rákóczi-könyvet, amelyet Szekfű külön is üdvözöl, mert felmutatta benne a „janzenistát”, ami véleményünk szerint egyoldalú, mert magát a politikus Rákóczit

nem jellemzi. Nyelvészeti munkássága, amely széleskörű és elismerésre méltó, szembeállítja őt purista apjával, Zolnai Gyulával, ő maga ugyanis üdvözölte az idegen szavakat és liberálisnak mutatkozott a stílus kérdéseiben. (Érdekes, hogy Zolnai nem szól Kosztolányi ilyen irányú tevékenységéről.)

Részletesen beszél Szekfű Gyuláról és változásairól. Szekfű elítélte a liberális ideológiát és egy ideig a konzervatív nézeteket támogatta. Később ettől eltávolodik, *A három nemzedék* újabb kiadásában kifigurázta a neobarokkot. A szerző érinti a negyvenes évek Szekfű-cikkeit, foglalkozik bujdosásával és szól a *Forradalom után* című kötetéről. Itt érdemesebb lett volna a tartalmat elemezni és a változást nem a Rákóczihoz írt levelekkel kommentálni.

A *Mi a magyar?* szerzőinek állandóan visszatérő problémája a zsidóság. Közismert, hogy Ravasz megszavazta az 1938-as zsidótörvényt. (Ő írta a kötet bevezetőjét.) Babits nem írta alá a tiltakozást, de külön jelentette meg véleményét. Zolnai kapcsolatot tartott fenn Radnóti Miklóssal és próbálta őt támogatni az egyetemi pályán és az irodalomtörténet-írásban. Igaz, hogy *A világirodalom története* vitát váltott ki közöttük, de az egyetértés hamar helyreállt. A zsidókérdés megítélésében a vélemények különbözők: Szekfű a dualizmus ide-

jén elítéli a zsidók asszimilációját, Eckhardt az egyetemen találkozik Radnóttal (ezt mint hajdani tanársegéde bizonyítani tudom), Zolnai viszont szükségesnek tartja a kapcsolattartást.

E nézeteket Miskolcgy szembeállítja a velük ellenkezők véleményével, így különösen Thienemann Tivadaréval, Kerényi Károlyéval és néha Horváth Jánoséval. Ezek vagy levél formában, vagy később keletkezett emlékiratokban jelennek meg és érintik a szellemtörténet problémáit vagy a Horváth János által hirdetett „belső önfejlődés” elméletét, a nemzetkarakterológiát vagy Prohászka érdemeit. A szellem emberei által képviselt metapolitika még akkor sem hozott eredményt, amikor Szekfű moszkvai nagykövet, Eckhardt pedig parlamenti képviselő lett.

Miskolcgy Ambrus hihetetlen mennyiségű anyagot dolgozott fel, nemcsak a szerzők műveit, de leveleket és emlékiratokat is. Digressziói segítik az eligazodást, mert újabb és újabb szempontokat vetnek fel. Kitűnő olvasmányról van szó, amelyet a szerző szép magyarsággal írt meg, és amely megvilágítja a 20. század első felének ideológiai történetét. (*Napvilág Kiadó, Budapest, 2001. 248 o.*)

Köpeczi Béla

az MTA r. tagja, egy. tanár (ELTE)

A 2002-BEN MEGVÁLASZTOTT ÚJ OSZTÁLYELNÖKÖK ÉS -HELYETTESEK

- Nyelv- és Irodalomtudományi Osztálya
Kiefer Ferenc, az MTA r. tagja
osztályelnök
Maróth Miklós, az MT lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Filozófia és Történettud. Osztálya
Ormos Mária, az MTA r. tagja
osztályelnök
Bálint Csanád, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
Pléh Csaba, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Matematika Tudományok Osztálya
Győry Kálmán, az MTA r. tagja
osztályelnök
Révész Pál, az MTA r. tagja
osztályelnök-helyettes
- Agrártudományok Osztálya
Horn Péter, az MTA r. tagja
osztályelnök
Németh Tamás, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Orvosi Tudományok Osztálya
Telegdy Gyula, az MTA r. tagja
osztályelnök
Romics László, az MTA r. tagja,
osztályelnök-helyettes
- Műszaki Tudományok Osztálya
Somlyódi László, az MTA r. tagja
osztályelnök
Gyulai József, az MTA r. tagja
osztályelnök-helyettes
- Kémiai tudományok Osztálya
Görög Sándor, az MTA r. tagja
osztályelnök
Orbán Miklós, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Biológiai Tudományok Osztálya
Damjanovich Sándor, az MTA r. tagja
osztályelnök
Mahunka Sándor, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Gazdaság- és Jogtudományok Osztálya
Szentes Tamás, az MTA r. tagja
osztályelnök
Török Ádám, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Földtudományok Osztálya
Pantó György, az MTA r. tagja
osztályelnök
Ádám József, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes
- Fizikai Tudományok Osztálya
Horváth Zalán, az MTA lev. tagja
osztályelnök
Faigel Gyula, az MTA lev. tagja
osztályelnök-helyettes

CONTENTS

Life in the Flood of Radiation – Guest Editor: ZOMBORY LÁSZLÓ

Zombory László: Preface	986
Szabados László: Cosmic electromagnetic radiation	988
Schanda János: Physiological effects of the optical radiation	1000
Thuróczy György: The public health questions of the radiofrequency radiations	1010
Mátay Gábor: Medical applications of radiofrequency radiations	1026
Varjú György: Human health and electromagnetic compatibility (EMC) issues of low frequency electromagnetic fields	1048

From Makyoh mirrors to helical nanotubes	1065
--	------

Man and the laws of numbers – An interview with Kálmán Győry, Chairman of the Mathematics Division of the Hungarian Academy of Sciences.....	1079
--	------

Obituary

Győrfy Béla (<i>Weisz Ottó</i>)	1102
---	------

Book Review

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni ezért elsősorban olyan kéziratokat fogad el közlésre, amelyek a tudomány egészét érintő, vagy az egyes tudományterületek sajátos problémáit érthetően bemutató témákkal foglalkoznak. Közlünk téma-összefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománypolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetőket.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (a szóközökkel együtt, ez kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzetekben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat, képeket is tartalmaz, a terjedelem 20-30 százalékkal nagyobb lehet. Beszámoló, recenziónak esetében a terjedelem ne haladja meg a 7-8 000 leütést. *A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen és 2 ki nyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.*

3. A közlemények címének angol nyelvű fordítását külön oldalon kell csatolni a közleményhez. Itt kérjük a magyar nyelvű kulcsszavakat (maximum 10) is. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét és tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését és – ha közölni kívánja – e-mail-címét kell írni. A külön lapon kérjük azt a *levelezési és e-mail címet*, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szöveg közbeni kiemelésként *dőlt*, (esetleg *félkövér* – bold) betű alkalmazható; ritkítás, VERZÁL betű és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kell megadni.

5. A rajzok érkezhetnek papíron, lemezen vagy email útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; a vonalas, oszlopos, stb. grafikonoknál tehát ne használjanak színeket. Általában: a grafikonok, ábrák lehetőség szerint minél egyszerűbbek legyenek, és vegyék figyelembe a megjelenő olda-

lak méreteit. A lemezen vagy emailben érkező ábrákat és illusztrációkat lehetőleg .tif vagy .bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, minimálisan 150 dpi felbontással, és a továbbítás megkönnyítése érdekében a kép nagysága ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. Az irodalmi hivatkozásokat mindig a közlemény végén, abc sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve). Ha azonos szerző(k)től ugyanabban az évben több tanulmányra hivatkozik valaki, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük, *fordítsanak különös figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetve az irodalomjegyzékben való egyeztetésére!* Miután a Magyar Tudomány nem szakfolyóirat, a közlemények csak a legfontosabb hivatkozásokat (max. 10-15) tartalmazzák.

7. Az irodalomjegyzéket abc sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Alexander, E. O. and Borgia, G. (1976). Group Selection, Altruism and the Levels of Organization of Life. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **9**, 499-474

- Könyvek esetében:

Benedict, R. (1935). *Patterns of Culture*. Houghton Mifflin, Boston

- Tanulmánygyűjtemények esetén:

von Bertalanffy, L. (1952). Theoretical Models in Biology and Psychology. In: Krech, D., Klein, G. S. (eds) *Theoretical Models and Personality Theory*. 155–170. Duke University Press, Durham

8. Havi folyóirat lévén a Magyar Tudomány kefelevonatokat nem tud küldeni, de még az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelési munka során szükséges apró változtatásokat a szerző egy megadott napon a szerkesztőségben ellenőrizheti.
