

MAGYAR TUDOMÁNY

- A paksi telephely szeizmicitása és földrengés-veszélyeztetettsége
- Kihívások és válaszok: a külső veszélyek kezelése a korszerű nukleáris tervezési gyakorlatban
- Az információ hordozóiról – az információ új nézőpontból



AKADÉMIAI KIADÓ



MAGYAR TUDOMÁNY

HUNGARIAN SCIENCE

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

A folyóirat a magyar tudomány minden területéről közöl tanulmányokat, egyes témákat kiemelten kezelve. A folyóirat célja összképet adni a tudományos élet eredményeiről, eseményeiről, a kutatás fő irányairól és a közérdeklődésre számot tartó témákról közérthető formában. Alapítási éve 1840.

Szerkesztőség

Magyar Tudomány
Magyar Tudományos Akadémia
Telefon/fax: (06 1) 459 1471
1051 Budapest, Nádor utca 7.
E-mail: matud@akademiai.hu

Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:

Akadémiai Kiadó, 1519 Budapest, Pf. 245
Telefon: (06 1) 464 8240
E-mail: journals@akademiai.com
Előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft

Hirdetések felvétele: hirdetes@akademiai.hu

© Akadémiai Kiadó, Budapest, 2021

Printed in EU

MaTud 182 (2021) 7

MAGYAR TUDOMÁNY

HUNGARIAN SCIENCE

A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata

Főszerkesztő

FALUS ANDRÁS

Szerkesztőbizottság

BAZSA GYÖRGY, BÁLINT CSANÁD, BOZÓ LÁSZLÓ, CSABA LÁSZLÓ
HAMZA GÁBOR, HARGITTAI ISTVÁN, HUNYADY GYÖRGY, KENESEI ISTVÁN
LUDASSY MÁRIA, NÉMETH TAMÁS, PATKÓS ANDRÁS, ROMSICS IGNÁC
RÓNYAI LAJOS, SARKADI BALÁZS, SPÄT ANDRÁS, VÁMOS TIBOR

Szaklektorok

MOLNÁR CSABA, PERECZ LÁSZLÓ, SZABADOS LÁSZLÓ

Rovatvezetők

GIMES JÚLIA (Kitekintés), SIPOS JÚLIA (Könyvszemle)

Olvasószerkesztő

MAJOROS KLÁRA



AKADÉMIAI KIADÓ



Megjelenik
a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával

HU ISSN 0025 0325

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója
Felelős szerkesztő: Pomázi Gyöngyi
Termékmenedzser: Egri Róbert
Fedélterv: xfer grafikai műhely sorozattervének felhasználásával Berkes Tamás készítette
Tipográfia, tördelés: Berkes Tamás
Megjelent 13,59 (A/5) ív terjedelemben

Tartalom

Tematikus összeállítás: A Paks II. atomerőmű telephelyvizsgálatának tudományos eredményei

VENDÉGSZERKESZTŐK: Aszódi Attila, Ádám József

Aszódi Attila, Ádám József

BEVEZETŐ 859

Aszódi Attila, Babcsány Boglárka

A TELEPHELYVIZSGÁLAT A NUKLEÁRIS BIZTONSÁG SZOLGÁLATÁBAN 865

Horváth Ferenc, Tóth Tamás, Koroknai Balázs, Wórum Géza, Földvári Koppány

A TELEPHELY KÖRNYEZETÉNEK GEOFIZIKAI ÉS TEKTONIKAI JELLEMZÉSE 884

Tóth László, Győri Erzsébet, Mónus Péter, Gribovszki Katalin, Kiszely Márta, Trosits Dalma, Grenerczy Gyula

A PAKSI TELEPHELY SZEIZMICITÁSA ÉS FÖLDRENGÉS-VESZÉLYEZTETETTSÉGE 900

Mező Gyula

HIDROGEOLOGIAI KUTATÁSOK A PAKS II. ATOMERŐMŰ TELEPHELYVIZSGÁLATI PROGRAMJÁBAN 919

Katona Tamás János

KIHÍVÁSOK ÉS VÁLASZOK: A KÜLSŐ VESZÉLYEK KEZELÉSE A KORSZERŰ NUKLEÁRIS TERVEZÉSI GYAKORLATBAN 930

Tanulmány

Benczúr András

AZ INFORMÁCIÓ HORDOZÓIRÓL – AZ INFORMÁCIÓ ÚJ NÉZŐPONTBÓL. II. INFORMÁCIÓ, KISZÁMÍTÁS ÉS INFORMATIKA 945

Vélemény, vita

Csihák György

QUO VADIS MAGYAR NEMZETNEVELÉS? AMIKOR HIÁNYCIKK A MAGYAR NEMZETNEVELÉS 960

Honti László

VÁLASZ CSIHÁK GYÖRGY ÍRÁSÁRA 963

Köszöntő

Szelényi Iván

PÁRBESZÉDEINK ZSUZSÁVAL. A 90 ÉVES FERGE ZSUZSA KÖSZÖNTÉSE 969

Ki a tudós?

Izsák János

KUTATÓ VS. TUDÓS

Hozzászólás Péter László a *Magyar Tudomány* 2020. októberi számában megjelent *Természettudósnak lenni vagy nem lenni* című cikkéhez

973

Könyvszemle

SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

**VÉKÁS LAJOS: FEJEZETEK A MAGYAR MAGÁNJOGTUDOMÁNY
TÖRTÉNETÉBŐL – Hamza Gábor**

975

ÁRNYÉKOKTATÁS – Laki Mihály

983

Kitekintés

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

987

Kiegészítés

**A XXVI. PRIMER PREVENCIÓS FÓRUM (2020. MÁJUS 14.)
ELŐADÁSAINAK KIVONATAI**

992

Tematikus összeállítás

A PAKS II. ATOMERŐMŰ TELEPHELYVIZSGÁLATÁNAK TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

SCIENTIFIC RESULTS OF THE SITE INVESTIGATION OF THE PAKS II NUCLEAR POWER PLANT

VENDÉGSZERKESZTŐK: ASZÓDI ATTILA, ÁDÁM JÓZSEF

BEVEZETŐ

INTRODUCTION

Aszódi Attila¹, Ádám József²

¹a Paksii Atomerőmű kapacitásának fenntartásáért felelős korábbi államtitkár,
PhD, Dr. habil, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet, Budapest
aszodi@reak.bme.hu

²az MTA rendes tagja, professor emeritus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest
az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság „Energetika és Környezet” Albizottságának korábbi elnöke
adam.jozsef@emk.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottsága (KÖTEB) és az „Energetika és Környezet” Albizottsága, továbbá Aszódi Attila akkori államtitkár és munkatársai, együttműködésben az MTA Földtudományok Osztályával, az MTA Műszaki Tudományok Osztályával, az MTA Fizikai Tudományok Osztályával és az MTA Agrártudományok Osztályával A Paks II atomerőmű telephelyvizsgálatának tudományos eredményei címmel tudományos előadást szerveztek 2017. május 17-én az MTA Székházában. Az MTA 188., májusi közgyűléséhez kapcsolódó anket célja a Paks és környezete térségében végzett, hazai viszonylatban eddig példa nélkül álló, igen kiterjedt részletességű földtudományi témájú kutatások eredményeinek bemutatása volt. A tematikus összeállítás keretében az anketon elhangzott hat előadásból ötnek az írásos szerkesztett és aktualizált változatát adjuk közre.

ABSTRACT

The Presidential Committee for Environmental Science (KÖTEB) of the Hungarian Academy of Sciences (MTA) and its Subcommittee on Energy and Environment, as well as Attila Aszódi, then Secretary of State and his staff, in collaboration with the MTA Section of Earth Sciences, the MTA Section of Technical Sciences, the MTA Section of Physical Sciences and with the MTA Section of Agricultural Sciences organized a conference titled 'Scientific Results of the Investigation of the Paks II Nuclear Power Plant Site' on 17 May 2017 at the MTA Headquarters. The aim of the conference related to the 188th General Assembly of the Hungarian Academy of Sciences also held in May, was to present the results of the hitherto unprecedented, very detailed geoscience research carried out in the area of Paks and its surroundings. Within the framework of the thematic compilation, the edited and updated written version of 5 of the 6 lectures given on this meeting is published here.

Kulcsszavak: MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság (KÖTEB) „Energetika és Környezet” Albizottsága, atomerőmű, telephelyvizsgálat, földtan, földrengés-veszélyeztetettség, geofizika, szeizmicitás, vízföldtan, engedélyezés

Keywords: „Energy and Environment” Subcommittee of the Presidential Committee on Environmental Science (KÖTEB) of the Hungarian Academy of Sciences (MTA), nuclear power plant, site investigation, geology, earthquake-vulnerability, geophysics, seismicity, hydrogeology, licensing

Egy olyan nagy beruházás, mint egy új atomerőmű létesítése, meglehetősen komplex energiapolitikai, gazdasági, környezeti, műszaki és társadalmi kérdéskör, amellyel kapcsolatban gyakran merülnek fel érdeklődő szakmai kérdések. Az MTA mint tudományos köztestület mindig is nyitott volt arra, hogy teret engedjen az ilyen típusú eszmecsereknél, beszélgetéseknek. Ennek szellemében az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottsága (KÖTEB) és az „Energetika és Környezet” Albizottsága, továbbá több tudományos osztály érdeklődést mutatott a Paks II atomerőmű projekt telephelyvizsgálati eredményeinek megismerésére. Az MTA Székházában az MTA 188. májusi közgyűléséhez kapcsolódó ankét keretében, 2017. május 17-én került sor az addig elért eredmények tudományos bemutatására. Jelen tematikus összeállításban az előadói ülésen elhangzott hat előadásból ötnél az írásos szerkesztett és aktualizált változatát adjuk közre. Megjegyezzük, hogy a témakör előzetes eredményeiről az MTA előző évi, 187. közgyűléséhez kapcsolódóan szerveztünk hasonló tudományos ankétot 2016. május 6-án az MTA Székházában (*Az új atomerőművi blokkok telephelyvizsgálatának tudományos eredményei* címmel). Ez utóbbin elhangzott előadások közül kettőt a TelePaks TV feltöltött a YouTube-ra, ahol azok ma is elérhetőek (URL1).

A Paks II atomerőmű telephelyére jellemző, az atomerőmű biztonságára potenciális hatással lévő természeti hatásokból és emberi tevékenységből eredő ve-

szélyeztető tényezők (földrengés, meteorológiai szélsőségek stb.) meghatározása fontos része az atomerőmű tervezési folyamatának, hiszen azok részét képezik a létesítmény tervezési alapjának. E külső eredetű veszélyek feltérképezése és jellemzése a tudomány és a technika legújabb eredményei, módszerei és eszközei felhasználásával, számos hazai kutatóintézet, egyetem és vállalkozás többéves összehangolt munkájával történt. Bármely tudományágat is tekintjük, a vizsgálatok volumene és komplexitása egyedülálló a hazai tudományos kutatási gyakorlatban. A megszerzett ismeretanyag, beleértve a Paksi Atomerőmű építésével elkezdett megelőző kutatásokat, szinte minden tudományterületen lehetővé tette új megállapítások megtételét, szintézisek, modellek megalkotását. A tudományos ülésen bemutattuk a telephelyvizsgálat legfontosabb földtudományi témájú eredményeit, amelyek – amellet, hogy az atomerőmű tervezéséhez szükségesek – az egyetemes tudást gyarapító tudományos értéket képviselnek.

Az előadókkal együttesen elhatároztuk, hogy a témakör iránt mutatkozó növekvő érdeklődés és a terület fontossága miatt az elhangzott előadások írásos változatát a *Magyar Tudomány* folyóiratban tematikus összeállítás keretében jelentetjük meg, és elhangzásuk sorrendjében az alábbiakban adjuk közre.

Elsőként Aszódi Attila és Babcsány Boglárka (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet) *A telephelyvizsgálat a nukleáris biztonság szolgálatában* című tanulmányában azt mutatja be, hogy a telephelyvizsgálat hogyan kapcsolódik ahhoz a tervezési és engedélyezési folyamathoz, melynek eredményeként a létesítménynek meg kell felelnie a nukleáris biztonsági előírásoknak. A téma részletesen szabályozott a hazai nukleáris biztonsági szabályrendszerben, összhangban a nemzetközi ajánlásokkal. Ezek lényeges elemeit tekinti át a tanulmány.

Horváth Ferenc† (Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, valamint GEOMEGA Kft.) és munkatársai, Tóth Tamás, Koroknai Balázs, Wórum Géza és Földvári Koppány (GEOMEGA Kft.) *A telephely környezetének geofizikai és tektonikai jellemzése* című tanulmányukban először rövid tektonikai helyzetképet adnak a Földtani Kutatási Program (FKP) megindítása előtti ismeretekről és a vitatott kérdésekről. Ezek az ismeretek az 1980-as évek óta folyó, célzott földtani és geofizikai kutatások során születtek, de néhány fontos kérdésben, ami a vonatkozó terület mélyszerkezetét és az azt létrehozó tektonikai folyamatokat illeti, eltérő vélemények alakultak ki a szakemberek körében, amelyek tisztázásra vártak. Ezek fényében a tanulmány nagyobbik részében az FKP (2015–2016) megvalósítása során elvégzett legfontosabb felszíni geofizikai méréseket és ezek tektonikai értelmezését foglalják össze. A neotektonikai szintézis megalkotásakor a geofizikán túlmenően figyelembe vettek minden releváns, a telephelyre vonatkozó földtani, geomorfológiai és űrgeodéziai (GPS, műholdradar) eredményt is. Az új szintézisben a vetők jelenkori aktivitása, valamint kapabilitása kérdésében olyan alapvető

megállapításokra jutnak, amelyek lehetővé teszik a telephely alkalmasságának megítélését.

A paksi telephely szeizmicitása és földrengés-veszélyeztetettsége című tanulmány szerint a szerzők (Tóth László, Győri Erzsébet, Mónus Péter, Gribovszki Katalin, Kiszely Márta és Trosits Dalma; Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriuma, valamint GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda, továbbá Grenerczy Gyula, Geo-Sentinel Kft.) szintén a telephelyre vonatkozó korábbi (1986–1994) adatok és modellek alapulvételével oldották meg a címben jelzett feladatokat. Mivel a korábbi vizsgálatok óta húsz–harminc év telt el, és ez idő alatt lényeges fejlődés történt a témakörben, ezért szükségessé vált az előző eredmények integrált felülvizsgálata és a földrengésveszély-elemzés megújítása. Ehhez a mai elvárások szerinti legteljesebb adatbázist alakították ki és alkalmazták (regionális és lokális földrengésjellemzők, földrengés-katalógus, paleoszeizmológiai adatok és ürgeodéziai eredmények). A szeizmológiai vizsgálati programjuk keretében a földrengésveszély leírásával (azaz a veszélyeztetettségi görbe meghatározásával az alapközetben és külön a földfelszínen), a tervezési alaphoz tartozó mértékadó földrengések jellemzőinek és a földrengés által kiváltott egyéb veszélyek (különösen a talajfolyósodás veszélyének) meghatározásával foglalkoztak. A vizsgálatok során nyert eredményeket részletesen bemutatják.

Mező Gyula (Golder Associates (Magyarország) Zrt.) a *Hidrogeológiai kutatások a Paks II atomerőmű telephelyvizsgálati programjában* című tanulmányában a kapcsolódó vízföldtani vizsgálatok eredményeit összegzi. A vízföldtani kutatás keretében végrehajtott vizsgálatok egy része a felszín alatti vizek hidrogeológiai viszonyainak (víztartó és vízrekesztő rétegek, jellemző nyomásszintek, áramlási viszonyok, kapcsolatok az egyes víztartó rétegek között, a vizek minősége, összetétele, esetleges szennyezettsége stb.) közvetlen megismerését szolgálta, amelyek fontosak lehetnek más szakterületek (földtan, hidrológia, építésföldtan, talajmechanika, környezetvédelem) számára is. Fontos feladat volt még a felszín alatti áramlási rendszereknek és azok felszíni vizekkel való kölcsönhatásának leírása, továbbá a meteorológiai körülmények felszín alatti vizekre gyakorolt hatásának és a vízhasználatok változásának értékelése. A vizsgálatokhoz összesen 81, különböző (15 m, 25 m, 50 m és 100 m) mélységű új monitoring kutat létesítettek. Az elvégzett vizsgálatok során nyert eredmények új ismeretekkel egészítették ki a korábbi kutatások eredményei alapján a telephelyre és közvetlen környezetére kialakított vízföldtani képet.

Végül Katona Tamás János (Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar) a *Kihívások és válaszok: a külső veszélyek kezelése a korszerű tervezési gyakorlatban* című tanulmánya hangsúlyozza, hogy a külső veszélyekkel szembeni védelem alapvető biztonsági követelmény volt már az atomerőmű létesítésének kezdetétől, és egyre szigorúbbá vált az ismeretek gyarapodásával.

Az atomerőműveket a természeti és emberi eredetű külső veszélyek széles spektrumára méretezik, figyelembe véve egészen kis visszatérési idejű, de adott esetben extrém hatású eseményeket is. A tervezési alapon figyelembe veendő események, terhelések meghatározása és a tervezés maga bizonyítékokon alapuló, ellenőrizhető ismeretek alapján, kísérletekkel igazolt műszaki-tudományos módszerekkel történik. A tanulmány azt mutatja be, hogy milyen kipróbált műszaki megoldásokat alkalmaznak a veszélyek hatásaival szemben. Olyan példákat ismertet részleteiben, amelyekben a hatások hasonlóak voltak azokhoz, amelyeket a paksi telephelyen is lehetségesnek tartanak, illetve a tervezési folyamatban figyelembe veendőnek minősülnek.

A telephelyvizsgálat eredményei szélesebb társadalmi és sajtóérdeklődést váltottak ki. Ennek egyik megnyilvánulása volt az atlatszo.hu internetes portálon közzölt cikkek sorozata, illetve az ott felvetett kérdések. A témakör fontosságára való tekintettel, a transzparencia jegyében Aszódi Attila, Horváth Ferenc, Katona Tamás János és Tóth László a hírportál rendelkezésére álltak egy videón rögzített beszélgetés formájában. A szakemberek válaszai és magyarázatai az URL2 linken találhatóak meg.

Megjegyezzük, hogy a *Magyar Tudomány* folyóiratban legutóbb a 2007/1. számban (*Atomenergia*) és a 2016/5. számban (*Kiégett fűtőelemek és radioaktív hulladékok kezelése és elhelyezése*) főcím alatt jelent meg atomenergetikával kapcsolatos cikkgyűjtemény. A hazánkban képződő radioaktív hulladékok elhelyezésének témakörét az elmúlt évtizedekben több tanulmány is tárgyalta, amelyeket nagyrészt a *Magyar Tudomány*, illetve az MTA egyéb kiadványai jelentettek meg (ezeket az Irodalom tartalmazza). Az MTA Elnökségi Környezettudományi Bizottsága (a KÖTEB elődszervezete) is foglalkozott a vonatkozó időszak kérdéseivel (például az 1995. május 3-i ülésén fontos állásfoglalásban összegezték az akkor időszakos feladatokat [Bárdossy, 1995], amelyek napjaink vonatkozó munkáját is meghatározzák). Az atomerőművi eredetű, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékot hazánkban a Bábaapáti térségében létesített Nemzeti Radioaktív hulladék-tárolóban (URL3) helyezik el véglegesen.

IRODALOM

- Aszódi A. (2007): Atomerőművek a villamosenergia-termelésben. *Magyar Tudomány*, 167, 1, 11–18. <http://www.matud.iif.hu/07jan/04.html>
- Aszódi A. (2008): Atomenergia. Üzemidő-hosszabbítás, újgenerációs erőmű, hulladék. In: Szentgyörgyi Zsuzsa (szerk.): *Tanulmányok a magyarországi energetikáról*. Budapest: MTA, 171–182.
- Aszódi A. (2015): *A paksi atomerőmű kapacitás-fenntartásának energiapolitikai és környezeti vonatkozásai*. Előadás az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság (KÖTEB) és „Energetika és Környezet” Albizottságának együttes ülésén, MTA, Budapest, 2015. február 19.

- Bárdossy Gy. (1995): A radioaktív hulladék elhelyezésének kérdései Magyarországon. *Magyar Tudomány*, 8, 935–943. http://real-j.mtak.hu/152/1/MATUD_1995.pdf
- Bárdossy Gy. (1998): A radioaktív hulladék elhelyezése Magyarországon. *Földtani Közlemény*, 128, 1, 179–196. http://epa.niif.hu/01600/01635/00286/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_1998_128_1_179-196.pdf
- Bárdossy Gy. (1999): *A radioaktív hulladék hazai elhelyezésének földtudományi alapjai*. (Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián) Budapest: MTA
- Bárdossy Gy. (2000): Megoldható a radioaktív hulladékok elhelyezése. *Magyar Tudomány*, 2, 200–206. <http://real-j.mtak.hu/157/>
- Hegyháti J. (2007): Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése. *Magyar Tudomány*, 167, 1, 27–30. <http://www.matud.iif.hu/07jan/07.html>
- Lovas R. (szerk.) (2012): *Áttekintés Magyarország energiastratégiájáról*. (MTA Köztisztviselési Stratégiai Programok) Budapest: MTA, http://old.mta.hu/data/cikk/13/1/23/cikk_130123/Energia_javitott.pdf
- Marosi S. – Meskó A. (szerk.) (1997): *A Paksi Atomerőmű földrendésbiztonsága*. Budapest: Akadémiai Kiadó, http://real-eod.mtak.hu/8491/1/a_paksi%20atomeromu_foldrengesbiztonsaga.pdf
- Ormai P. – Hegyháti J. (2009): Merre tart az Európai Unió a nukleáris hulladékok kezelése területén? *Fizikai Szemle*, LIX, 11, 381–384. http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0911/OrmaiP_HegyhatiJ.pdf
- Schweitzer F. – Bérci K. – Balogh J. (szerk.) (2008): *A Bábaapátiban épülő nemzeti radioaktív hulladék-tároló környezetföldrajzi vizsgálata*. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, <http://real-eod.mtak.hu/4506/>
- Szentgyörgyi Zs. (1991): Nukleáris hulladékok kezelése és tárolása a fejlett országokban. *Magyar Tudomány*, 9, 1094–1103. <http://real-j.mtak.hu/147/>
- Szieberth M. (2020): A transzmutáció mint a nukleáris hulladékok kezelésének egy lehetséges útja. *Magyar Tudomány*, 182, 12, 1609–1620. DOI: 10.1556/2065.181.2020.12.5, https://mersz.hu/hivatkozas/matud202012_f52080#matud202012_f52080
- Vajda Gy. (1993): Mi lesz az atomerőmű hulladékaival? *Magyar Tudomány*, 11, 1324–1329. <http://real-j.mtak.hu/149/>
- Vajda Gy. (1998): Energiaforrások. *Magyar Tudomány*, 6, 645–675. <http://real-j.mtak.hu/155/>
- URL1: Paks II. telephelyvizsgálat Nagy László és Mező Gyula előadása, feltöltötte TelePaks TV, 2016. 08. 16. <https://www.youtube.com/watch?v=KYyKl5VgbEI>,
- URL2: <https://atlatszo.hu/2017/07/24/csontvazaktol-tartottak-ugyan-de-tagadjak-hogy-barmit-el-titkoltak-volna-a-paksi-atomeromu-foldrengesbiztonsagarol>
- URL3: <http://www.rhk.hu>

A TELEPHELYVIZSGÁLAT A NUKLEÁRIS BIZTONSÁG SZOLGÁLATÁBAN

SITE INVESTIGATION IN SERVICE OF NUCLEAR SAFETY

Aszódi Attila¹, Babcsányi Boglárka²

¹PhD, Dr. habil, egyetemi tanár,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet, Budapest
aszodi@reak.bme.hu

²tudományos segédmunkatárs,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet, Budapest
boglarka.babcsanyi@reak.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az atomerőművek a fejlett, összetett villamosenergia-rendszerek fontos alapegységei: magas rendelkezésre állásuk, alacsony fajlagos működési költségük, folyamatos, időjárástól független működési módjuk és a szén-dioxid kibocsátásától mentes üzemük mind olyan tulajdonságok, amelyek különösen fontosá teszik őket napjainkban. A jelenleg működő erőművi flotta koroszlása és a villamosenergia-igények bővülése szükségessé teszi új atomerőművi egységek létesítését. Ennek során a legkorszerűbb biztonsági követelményeket kell figyelembe venni, amelynek része a telephely jellemzőinek korszerű módszerekkel történő meghatározása, a telephely jellemzése abból a célból, hogy ezeket a telephelyjellemzőket maximálisan figyelembe vegyék a nukleáris létesítmény tervezése, építése és majdani működtetése során. Ez jelentősen hozzájárul ugyanis ahhoz, hogy a létesítmény hosszú távon teljesíteni tudja a legszigorúbb biztonsági követelményeket, előírásokat, megfizethető, megbízható és környezetkímélő módon előállított villamos energiával szolgálja a társadalmat és a gazdaságot.

ABSTRACT

Nuclear power plants are extremely important elements of a well-developed and complex electricity system. Their features like the high availability, low operational unit costs, continuous operation, which is practically independent of the weather conditions, and their CO₂-emission-free operation make these units especially important nowadays. The age distribution of the operational power plant fleet and the increase of the electricity needs necessitate the construction of new nuclear power plants. During these developments, the most advanced safety regulations have to be taken into account. Site investigations are included with state-of-the-art methods in order to determine the site's characteristics, thus these parameters can be fully taken into account during design, construction and the future operation of the facility. This approach can contribute significantly to the long-term safety of the plant and thus it can serve the society and the economy with affordable, reliable and environmentally friendly produced electricity.

Kulcsszavak: atomenergia, nukleáris biztonság, fizikai védelem, nukleáris biztosítéki rendszer, telephely engedélyezési eljárás, telephelyjellemzők, külső eredetű veszélyek, Paks II.

Keywords: nuclear energy, nuclear safety, nuclear security, nuclear safeguards, site licensing process, site characteristics, external hazards, Paks II

BEVEZETÉS

Az atomenergia megkerülhetetlen tényező a fejlett világ villamosenergia-ellátásában: az USA-ban 20%-ot megközelítő, az EU-ban 22%, Magyarországon 36% az atomerőművekben megtermelt villamos energia részaránya az éves villamosenergia-fogyasztásban (URL1, URL2). Az atomerőművek stabil alaperőművi áramellátást biztosítanak éjjel-nappal, télen-nyáron, gyakorlatilag időjárási körülményektől függetlenül, ezzel a villamosenergia-rendszer gerincét képezik. Szerepük megkerülhetetlen és nélkülözhetetlen a stabil és biztonságos áramellátásban.

A világon ma működő, közel 440 atomerőművi blokk nagy része a technológia második generációjához tartozik, amely egységek terveit zömében az 1960–1970-es években készítették el, és felépítésükre az 1970–1980-as években került sor. Ezek a blokkok annak idején harminc- vagy negyvenéves üzemidőre épültek, de köszönhetően a konzervatív tervezésnek és a gondos üzemeltetésnek a legtöbb ilyen blokk képes és alkalmas üzemidő-hosszabbításra. Az egyes egységek ötven- vagy hatvanéves teljes üzemidejét figyelembe véve a mostani atomerőművi flotta körülbelül a 2030-as, 2040-es évekig maradhat üzemben.

A villamosenergia-igények növekedése és az előregedett erőművek leállítása ugyanakkor szükségessé teszi új erőművi kapacitások létesítését is. Napjainkban a világ minden pontján a megújuló energiahordozók kiaknázására jelentős erőművi kapacitások létesítése zajlik, de a villamosenergia-rendszer folyamatos, stabil és biztonságos működéséhez olyan erőművekre is szükség van, amelyek képesek az időjárástól függetlenül működni. A fosszilis erőművek a klímavédelmi intézkedések miatt nem perspektivikusak, így új atomerőművek telepítése több országban, így hazánkban is napirendre került.

Egy új atomerőmű a legújabb, harmadik generációs technológián alapulhat, amely a magasabb hatékonysággal, jobb üzemanyag-hasznosítással és magasabb biztonsági színvonalával haladja meg a második generációs technológiát. Az atomerőmű műszaki biztonsága ugyanakkor nagymértékben múlik a telephely adottságaitól, illetve attól a körülménytől, hogy a telephely adottságainak megfelelő paraméterekre tervezzék meg az erőművet.

Emiatt is elengedhetetlen egy jól felépített, teljes, minden részletre kiterjedő telephelyvizsgálati program, amely meghatározza azokat a telephelyi sajátosság-

kat, környezeti jellemzőket, ún. környezeti veszélyeket, amelyekre a létesítményt majd méretezni kell.

Magyarországon a hatályos jogszabályokkal összhangban ez a telephelyvizsgálat több szakaszra oszlik: először az engedélyesnek össze kell állítania egy telephelyvizsgálati programot, amelyet a nukleáris biztonsági hatóság, az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) szakhatóságok bevonásával ellenőriz, és ha a szabályokkal összhangban lévőnek találja, engedélyezi a program végrehajtását. A hatóság által jóváhagyott programot az engedélyes kompetens, tapasztalatokkal bíró szakcégek bevonásával valósítja meg, majd a vizsgálati eredményeket írásban összefoglalja. Az így készült dokumentációt újra benyújtja a hatósághoz, amely a dokumentációt értékeli, és ha megfelelőnek találta, akkor kiadja a telephelyengedélyt. A létesítmény további engedélyezési lépései ezt követően folytathatóak, így lesz majd az erőmű jóváhagyott tervek alapján felépíthető, később pedig üzembe helyezhető.

A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK BIZTONSÁGÁNAK ASPEKTUSAI, A 3S-KONCEPCIÓ

Az atomenergetika területén belül három különböző biztonsági aspektusról szoktunk beszélni. Angol nyelvterületeken három jól elkülönült kifejezést alkalmaznak ezekre a területekre: *nuclear security*, *nuclear safeguards*, illetve *nuclear safety*, és ezeket együttesen a „3S” koncepciójának is szokták nevezni. A biztonság e három vonatkozása a hazai nukleáris szabályozásban a következők szerint jelenik meg.

A *nukleáris védettség vagy fizikai védelem* (nuclear security) az 1996. évi CXVI. számú törvény (URL3), az Atomtörvény (a továbbiakban Atv.) 2. § (30) bekezdése szerint azon tevékenységek, eszközök és eljárások összessége, amelyek a szabotázs, a nukleáris vagy más radioaktív anyaggal elkövetett, a Büntető Törvénykönyv szerinti visszaélés, közveszélyokozás, környezetkárosítás, illetve jogtalan eltulajdonítás megelőzésére, észlelésére, elhárítására és következményeinek kezelésére irányulnak. A nukleáris védettség részeként a nukleáris létesítmény tekintetében fizikai védelmi rendszert kell kialakítani, amely a nukleáris védettség elősegítését célzó belső szabályozás, technikai eszköztár és élőerős elhárítás összessége.

Emellett megkülönböztetjük a *nukleáris biztosítéki rendszert* (nuclear safeguards), amely egy komplex nemzetközi és hazai szabályozási rendszer, és az abból származtatható köteleességek összességét takarja, amely a nukleáris fegyverek elterjedésének, a nukleáris anyagok szándékolt eltulajdonításának megakadályozását célozza. Ennek érdekében a nukleáris anyagokról, azok mozgásáról és készleteiről országos nyilvántartási és ellenőrzési rendszert szükséges működtetni. Ezen előírással kapcsolatos kötelezettségek teljesítése, illetve a nemzetközi,

vagyis a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ), illetve az EURATOM ellenőrzési feltételeinek megteremtése hazánkban az OAH feladata.

A harmadik biztonsági kategória a *nukleáris biztonság* (nuclear safety). Az Atv. 2. § (29) bekezdése szerint a nukleáris biztonság a megfelelő üzemeltetési feltételek megvalósítása, balesetek megelőzése, illetve a balesetek következményeinek enyhítése a nukleáris létesítmény, valamint a radioaktív hulladék-tároló élelciklusának valamennyi fázisában, amelyek eredményeként megvalósul a munkavállalóknak és a lakosságnak a létesítmények ionizáló sugárzásából származó veszélyekkel szembeni védelme. Ez az a terület, amelyet jelen folyóiratcikk keretein belül részletesen bemutatunk.

A NUKLEÁRIS BIZTONSÁG MINDENEKFELETT

Az atomerőművek vonatkozásában már-már közhelyként idézhető a nukleáris biztonsági szabályozás azon előírása, hogy a nukleáris biztonság minden más szemponttal szemben elsőbbsége van. Normál üzemben az atomerőmű egy rendkívül tiszta létesítmény: a hőkörfolyamat működtetéséhez elengedhetetlen környezeti hőkibocsátáson és a területfoglaláson kívül gyakorlatilag nincs környezeti hatása. Ugyanakkor a reaktorban az üzem során nagy mennyiségű radioaktív anyag halmozódik fel, amelytől a dolgozókat, a lakosságot és a környezetet meg kell óvni. Erre vonatkozóan szigorú szabályokat rögzítenek a biztonsági előírások és a tervezési elvek.

Az olyan biztonságkritikus területeken, mint a repülés, a vegyipar vagy az atomenergetika, rendkívüli jelentőségű a korábbi tapasztalatok hasznosítása, korábban megtörtént események tanulságainak beépítése a szabályozásba és a mérnöki gyakorlatba. Úgy is kifejezhetjük, hogy a tankönyveket időnként a történelem vérrel, nagy emberi vagy anyagi áldozattal írja, ugyanakkor a keserű tapasztalatok beépítése a mérnöki gyakorlatba nemcsak a tudásunkat bővíti, hanem a jövőbeli létesítményeket is jobbá, biztonságosabbá teszi. Persze csak akkor, ha a tapasztalatokat tényleg használjuk.

Ha visszatekintünk az atomenergia békés célú felhasználásának történelmére, három nagy hatású eseményt kell kiemelni, amelyek komoly nyomot hagytak a nukleáris biztonsági szabályozásban és a mérnöki gyakorlatban.

Az amerikai Three Mile Island atomerőmű 2. blokkjának (TMI-2) 1979-es balesete (Szatmáry–Aszódi, 2005) üzemeltetési, karbantartási és tervezési hibákra vezethető vissza, és jelentős hatást gyakorolt az emberi tényező kiemelt kezelésére, a képzési programok jelentőségének felértékelődésére, a blokkvezénylő tervezési elveinek fejlődésére, a valószínűségi alapú biztonsági elemzésekre és a tervezési alapon túli, ún. súlyos balesetek kutatására. A TMI-2 atomerőmű ugyanakkor jól vizsgázott a tekintetben, hogy a megfelelően tervezett hermetikus védőépület meg

tudta akadályozni a környezet szennyeződését, a radioaktív anyagot a létesítményen belül tartotta, annak ellenére, hogy a reaktor maga tönkrement a baleset során.

A Szovjetunió területén 1986-ban bekövetkezett csernobili baleset alapvető oka tervezési hibák sorozata volt (Szatmáry–Aszódi, 2005). A tervezők nem vettek figyelembe, nem tartottak be egy sor olyan nukleáris biztonsági előírást, amely nemcsak a nemzetközi jó gyakorlatok között, hanem az akkori szovjet szabályozásban is rögzítve volt (URL4). A biztonsági kultúra hiányosságai, a tervező és üzemeltető szervezetek nem kellően biztonság tudatos működése oda vezetett, hogy egy rosszul megtervezett, nem engedélyezett és rosszul kivitelezett üzemi kísérlet során a reaktort olyan üzemállapotba manőverezték, amelyben a konstrukciós hibák a legnagyobb mértékben összeadódhattak. A következmények jól ismertek: a 4. reaktorban a láncreakció megszaladt, és az abban történt két, egymást követő robbanás során felszabadult hatalmas energia kinyitotta a reaktort a környezet felé. A védőépület hiánya és a hibás tervek következtében nagy környezeti kibocsátás történt, amely jelentősen károsította a környezetet és az érintett területen élő lakosság egészségét. A Szovjetunió elhibázott kommunikációja teljes bizalomvesztéshez vezetett. Csernobil felhívta a figyelmet a nukleáris biztonsági szabályok konzisztens és következetes betartásának fontosságára, a tervezők kiemelt felelősségére, az országok, üzemeltetők és hatóságok közötti őszinte és nyitott kommunikáció jelentőségére.

A japán Fukushima Dai-Icsi (Fukusima I.) atomerőmű 2011-es balesete a tervezési alap hibás megválasztásának iskolapéldája (Szatmáry–Aszódi, 2005). A hat blokkot magába fogadó telephely jól vizsgázott a közelben bekövetkezett rekord nagyságú, 9,1-es magnitúdójú Nagy Tóhoku földrengést követő rengések során, ugyanakkor alkalmatlannak bizonyult a földrengést követő szökőár kezelésére. Habár a szökőár négy közeli atomerőmű telephelyét is elérte, egyedül a Fukushima Dai-Icsi atomerőműben okozott olyan károkat, hogy annak következtében reaktorbaleset is bekövetkezhetett. Az ok a tervezők munkájában keresendő: az egykori tervezés során a telephelyre jellemző, a méretezés alapjául szolgáló cunami nagyságát nem megfelelően vették fel. A történelmi cunami – utóbb hibásnak bizonyuló – elemzése alapján a méretezési cunami vízszintemelkedését 3,5 m körülire becsülték, amihez illeszkedően a vízkivételi művet a normál nyugalmi tengerszint fölé 5,7 m-rel, az üzemi épületek szintjét a tengerszinthez viszonyítva 10–13 m magasra tervezték. Ehhez képest a Nagy Tóhoku földrengést követő cunami 15–30 m magas árhullámmal érte el a telephelyet, és olyan létfontosságú biztonsági rendszereket tett tönkre, hogy utána a blokkok hűtése ellehetetlenült, így három blokkban is olyan súlyos, zónasérüléshez vezető folyamatok játszódtak le, amelyek következtében jelentős, a csernobilivel összemérhető nagyságú környezeti kibocsátás történt.

Nagy különbség ugyanakkor a csernobili és a fukusimai baleset között, hogy amíg a csernobili baleset esetén a szovjet hatóságok lakosságvédelmi intézke-

dései megkésve és nem kellő hatékonysággal történtek, addig – többek között a csernobili tapasztalatok hatására – a balesetelhárítási felkészülés jelentősen nagyobb hangsúlyt kapott az azt követő időszakban világszerte, és a japán hatóságok lakosságvédelmi intézkedései a fukusimai balesetet követően hatékonynak bizonyultak, így ott emberéletben a sugárzás miatt nem keletkezett kár.

A fukusimai baleset legfontosabb üzenete, hogy a létesítmény tervezési alapjául szolgáló telephelyi jellemzőket jól kell meghatározni ahhoz, hogy a létesítményt a környezeti veszélyekre megfelelően lehessen megtervezni. A Fukushima Daiini atomerőművet (a fukusimai atomerőmű II. telephelye), amely mindössze 12 km-re volt a balesetet szenvedő I. telephelytől, gyakorlatilag ugyanakkora szökőárhullám érte el, mint az I. telephelyet, ott mégsem következett be reaktor-baleset. Hogy miért? Mert a tervező ott gondosabb volt: a telephelyet magasabbra tette, és a létesítményeket jobban védte egy lehetséges árhullám negatív hatásaitól. Ráadásul, bizonyos biztonsági rendszerek térbeli szeparációjának és diverzitásának elveit is jobban alkalmazta: betervezett és beépített olyan üzemzavari dízelgenerátort is, amely nem tengervízűhűtéssel, hanem levegőhűtéssel működött, valamint magasabb szinten helyezték el azt, így a cunami árhulláma után is működőképes maradt, ezáltal pedig el tudta látni a legfontosabb üzemzavar-kezelő rendszereket villamos energiával.

Az Európai Unió tagországai és maga az Európai Bizottság nagyon gyorsan és határozottan reagált a fukusimai balesetre. Néhány héttel a japán földrengést követően az Európai Bizottság elrendelte az európai atomerőművek rendkívüli biztonsági felülvizsgálatát, az ún. stressztesztjét vagy célzott biztonsági felülvizsgálatát (CBF) (Aszódi–Boros, 2012). Ebben arról kellett meggyőződni, hogy az európai atomerőmű-telephelyek külső, természeti eredetű veszélyekkel szembeni védelme megfelelő-e, a létesítmények tervezési alapjában szereplő veszélyek – a japán események fényében is – jól lettek-e meghatározva, a létesítmények kellő tartalékokkal bírnak-e az ún. végső hőnyelő és a külső hálózati betáplálás elvesztésével szemben, valamint a tervezési alapon túli, ún. súlyos balesetek kezelésére fel vannak-e készülve. Ahol a vizsgálatok hiányosságokat tártak fel, ott a nemzeti hatóságok előírták rendkívüli biztonságnövelő intézkedések végrehajtását.

Ezen túl az Európai Bizottság módosította az EU-ban legmagasabb szintű nukleáris biztonsági előírást, a nukleáris biztonsági irányelvet, és előírta, hogy az új nukleáris létesítményeket úgy kell megtervezni, hogy azokból a nagy és korai radioaktív kibocsátásokat el lehessen kerülni (URL5). Az új, szigorúbb előírások minden olyan új nukleáris létesítményre vonatkoznak, amelyekre első alkalommal 2014. augusztus 14-ét követően adnak építési engedélyt (URL5). Ezek az előírások szükségessé teszik az új atomerőművek, így a Paks II. esetére is a telephelyjellemzők minden korábbinál szigorúbb és konzervatívabb meghatározását, valamint olyan robusztus konstrukciós megoldások alkalmazását, amelyekkel a fenti elvek teljesíthetők.

Ez a magas szintű jogszabályi környezet és annak a nemzeti szintű nukleáris biztonsági szabályozási implementációja megfelelő alap arra, hogy biztonságos, a legkorszerűbb követelményeket teljesítő atomerőművek létesüljenek az Európai Unión belül, így Magyarország területén is.

A NUKLEÁRIS BIZTONSÁG NEM STATIKUS

A fent idézett eset, az európai atomerőművek rendkívüli, célzott biztonsági felülvizsgálata a fukusimai balesetet követően jó példa arra, hogy mi a teendő, ha egy új körülmény vagy esetleg kétely merül fel azzal kapcsolatban, hogy a létesítmények kellően biztonságosak-e.

Egy másik, hatékony eszköz erre a célra az időszakos biztonsági felülvizsgálatok (IBF) rendszere. Az Atomtörvény a 9. paragrafusában előírja, hogy az üzemelő nukleáris létesítmények biztonságát, a biztonsági követelmények teljesítését, valamint a kockázat mértékét rendszeres időközönként teljeskörűen elemezni és értékelni kell (URL3). Ennek során az üzemeltetési tapasztalatokat és a biztonsággal kapcsolatos új ismereteket is fel kell használni.

A magyar szabályozás szerint az IBF-ek periódusideje tíz év, tehát minden működő nukleáris létesítmény esetén tízévente újra kell értékelni a nukleáris biztonság szintjét. Ennek során megvizsgálják azt is, hogy a kockázatokban történt-e változás, és ha az intézkedést igényel, a felülvizsgálat kapcsán műszaki vagy adminisztratív intézkedésekkel a helyzetet kezelni kell.

Ha például egy, a világ másik pontján működő atomerőműben felismernek egy romlási folyamatot, műszaki problémát, amely releváns lehet, akkor az IBF keretében az kötelezően elemzésre kerül, és a szükséges intézkedéseket meg kell tervezni, majd végre kell hajtani. Az IBF-ek rendszere arra is alkalmas, ha a környezeti veszélyekben vagy a telephellyel kapcsolatos ismeretekben új körülmény vagy információ merül fel, akkor az alapján intézkedni lehet a létesítmény biztonságának növelése érdekében.

Az IBF mint intézmény 1996 óta része a magyar nukleáris biztonsági szabályozásnak. Az első magyarországi reaktor, ami átesett a legelső biztonsági felülvizsgálaton, éppen e tanulmány íróinak munkahelye, a műegyetemi Oktatóreaktor volt. A paksi atomerőmű jelenleg is működő VVER-440-es blokkjain is számos olyan biztonságnövelő intézkedést hajtottak végre az elmúlt évtizedekben, amelyek szükségességét éppen egy IBF kapcsán tárták fel, és határozták el.

Érdekes (és sajnálatos) történelmi tény, hogy Japánban az IBF-ek rendszerét nem alkalmazták, így – bár felmerült 2011 előtt, hogy a Fukushima Dai-icsi telephely cunami-veszélyeztetettségét nem megfelelően határozták meg a tervezés során – nem volt olyan kötelező jogszabályi elem, amely az üzemeltetőt és a hatóságot cselekvésre kényszerítette volna. A biztonság célzott vagy időszakos felülvizsgálata tehát

egy rendkívül hasznos és hatékony eleme a modern nukleáris biztonsági szabályozásnak, amelyet mint jó gyakorlatot tartanak számon a nemzetközi nukleáris szakmában, és amellyel biztosítani lehet, hogy a biztonság ne statikus, hanem dinamikus jellemzője legyen egy több évtizeden át működő létesítménynek.

AZ ATOMERŐMŰ TERVEZÉSÉNEK ALAPJAI

Általános nukleáris biztonsági célkitűzés a lakosság és a környezet védelmének biztosítása az ionizáló sugárzás veszélyeivel szemben, míg a sugárvédelmi célkitűzés szerint biztosítani kell, hogy az atomerőmű üzemeltetése során az üzemeltető személyzet és a lakosság sugárterhelése mindenkor az előírt határértékek alatt, az észszerűen elérhető legalacsonyabb szinten tartható legyen. A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (a továbbiakban NBSZ) (URL6) az Atomtörvényben foglaltak végrehajtását segítő kormányrendelet, egyben az atomerőművek tervezésének jogszabályi előírásait is tartalmazza.

Az NBSZ 6. § (4) pontja szerint műszaki biztonsági célkitűzés, hogy az üzemi zavari események bekövetkezése nagy biztonsággal megelőzhető vagy megakadályozható legyen, a nukleáris létesítmény tervezésénél figyelembe vett valamennyi feltételezett kezdeti esemény esetén a lehetséges következmények az elfogadható mértéken belül legyenek, valamint a balesetek valószínűsége kellően alacsony legyen.

Egy atomerőmű tervezése a mérnöki gyakorlatban speciális terület, ahol nem elég meghatározni a várható terheléseket, valamint az ezekből adódó mértékadó terheléseket, amelyeket a méretezés során figyelembe kell venni. Az alapvető biztonsági funkciók teljesítése érdekében az események széles körére és az abból eredő kihívásokra kell az atomerőművet felkészíteni, azoknak műszakilag meg kell felelni.

A tervezés során a normál energiatermelési folyamat követelményeinek való megfelelésen túl gondoskodni kell három fő biztonsági funkció teljesítéséről.

1. A mérnöki tervezés alapja az, hogy a reaktornak, az abban lévő nukleáris anyagnak minden körülmények között hűthetőnek kell lennie, tehát nemcsak a normál energiatermelési folyamatban kell biztosítani a hő elvitelét, hanem a reaktor leállított állapotában is gondoskodni kell az üzemanyagban található radioaktív hasadási termékek bomlásából származó, ún. maradványhő elszállításáról.
2. A láncreakciót hatékonyan kell tudni szabályozni, továbbá a nukleáris láncreakció biztonságos leállításáról és a reaktor biztonságos szubkritikus állapotban tartásáról mindenkor gondoskodni kell, amikor az szükségessé válik.

3. A harmadik, szintén rendkívül fontos biztonsági funkció, hogy a radioaktív anyagnak minden körülmények között a létesítményen belül kell maradnia, vagyis biztosítani kell, hogy az ne jusson ki a környezetbe. Az ún. konténment funkcióval biztosítani kell a radioaktív anyagok visszatartását, továbbá azt, hogy a normál üzemi és üzemzavari kibocsátások az előírt határértékek alatt maradjanak.

A tervezés feladata, hogy olyan műszaki megoldásokat alakítson ki, amelyek segítségével a biztonsági funkciók normál üzemi és üzemzavari körülmények között is teljesíthetők. Az engedélyezési folyamat során igazolni kell, hogy a biztonsági célkitűzéseket, valamint a vonatkozó nukleáris biztonsági előírásokat, követelményeket ténylegesen teljesíteni lehet.

A követelmények között szerepel, hogy fel kell állítani azon ún. kezdeti események listáját, amelyek kihívás elé állíthatják az erőmű rendszereit, és igazolni kell, hogy ezeket a kezdeti eseményeket, az azokból származó eseménysorokat a mérnöki rendszerek képesek úgy lekezelni, hogy közben a biztonsági célkitűzések teljesülnek, a rendszer működése a határértékek között marad.

A lehetséges kezdeti események vizsgálata során értékelni kell a természet, illetve az ember által okozott hatásokból származó külső és belső eredetű veszélyeket, foglalkozni kell az erőmű belső technológiájával, sőt az üzemeltető hibájából származó potenciális kezdeti eseményekkel is.

A MÉLYSÉGI VÉDELEM ELVE

Egy atomerőművet többek között úgy kell megtervezni, hogy annak konstrukciója biztosítsa a potenciális veszélyforrások hatásaival szembeni védelmet annak érdekében, hogy balesetek elhanyagolható valószínűséggel fordulhassanak elő, és hogy a létesítmény a tervezési alap keretein belül teljesítse az alapvető biztonsági funkciókat. A tervezési alapba tartoznak egyebek mellett

- követelmények, amelyekre az atomerőművet, rendszereit és rendszerlemeit tervezik;
- paraméterek és értéktartományt azonosító információk, korlátok és határértékek, amelyekre az atomerőmű terveinek érvényessége kiterjed; illetve
- üzemállapotok, amelyeket eredményező események potenciális bekövetkezése a tervezés során figyelembe veendő.

Új atomerőművek esetében az *1. ábrán* ismertetett üzemállapotokat különböztetjük meg, ezek közül az ún. TA1–TA4-ig tartó üzemállapotok, azaz rendre normál üzemállapotok, várható üzemi események, illetve tervezési üzemzavarok képezik a tervezési alap részét (URL6).

	A	B	Ce	D	E	F
1.	Tervezési alap				Tervezési alap kiterjesztése	
2.	Normál üzemi állapot	Tervezési alapba tartozó üzemi állapotok			Tervezési alapot meghaladó üzemi állapotok	
3.			Tervezési üzemzavarok			
4.	Normál üzem	Várható üzemi események	Kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	Nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	Komplex üzemzavarok	Súlyos balesetek
5.	TA1	TA2	TA3	TA4	TAK1	TAK2

1. ábra. Az NBSZ által meghatározott üzemi állapotok új atomerőművek esetében (URL6) (a táblázatban a TA rövidítés a tervezési alapra, a TAK rövidítés a tervezési alap kiterjesztésére utal, összhangban az NBSZ szóhasználatával) (saját szerkesztés)

A mélységi védelem elve a tervezési gondolkodás egymásra épülő szintjeit jelenti (Szatmáry–Aszódi, 2005; URL3; URL6), ami alapján a következő öt szintre építjük a műszaki intézkedéseket:

1. Törekszünk a normál üzemi állapottól való eltérések és hibák elkerülésére, mégpedig úgy, hogy konzervatív tervezési elveket alkalmazunk, magas színvonalon tervezzük meg és üzemeltetjük a rendszereket, továbbá az üzemi paramétereket előírt határok között tartjuk. A rendszer a TA1 (normál üzem) kategóriájú üzemi állapotokban van.
2. Szabályozó és biztonságvédelmi rendszerek segítségével kezeljük a normál üzemi állapottól eltérő állapotokat és hibákat. A rendszer a TA2 (várható üzemi események) kategóriájú üzemi állapotokban lehet.

A mélységi védelem 1. és 2. szintjén nem lehetnek a normál üzemi hatósági korlátokat meghaladó, telephelyen kívüli radiológiai hatások.

3. Az 1. ábra szerinti kis gyakoriságú (TA3) és nagyon kis gyakoriságú (TA4) üzemzavarok kezelésére erre dedikált biztonsági rendszereket és üzemzavar-elhárítási utasításokat alkalmazunk a radioaktív kibocsátás korlátozása és a reaktor üzemanyaga megolvadásának megelőzése érdekében. A TA3–TA4-üzemi állapotokban nem lesz, vagy csak minimális mértékű lesz a telephelyen kívüli radiológiai hatás.

A fukusimai balesetet követően módosított szabályozás értelmében a tervezési alap kiterjesztésébe tartozó komplex üzemzavarok (TAK1-állapotok) szintén ke-

zelendőek az üzemanyag olvadásának megakadályozása mellett minimális, telephelyen kívüli hatásokkal úgy, hogy további biztonsági rendszereket kell ebből a célból beépíteni.

4. A tervezési alap kiterjesztésébe tartozó súlyos balesetek (TAK2) esetén a reaktorzóna sérülése nem kerülhető el, de olyan kiegészítő biztonsági eszközöket kell betervezni és beépíteni, amelyek az üzemanyag olvadását korlátozzák, és a nagy vagy korai kibocsátásokat gyakorlatilag kizárják. Ennek hatására egy ilyen nagyon kis valószínűségű, de a reaktor szempontjából súlyos esemény sem járhat telephelyen kívüli súlyos hatással, a telephelyen kívüli radiológiai hatás csak térben és időben korlátozott lakossági óvintézkedések bevezetését teheti szükségessé.
5. A telephelyen kívüli jelentős hatás csak nagyon súlyos baleset esetén képzelhető el, amelyet előre kidolgozott telephelyi és telephelyen kívüli baleset-elhárítási intézkedésekkel, beavatkozásokkal kell kezelni, a következményeit csökkenteni.

Új atomerőművet tehát nemcsak villamosenergia-termelésre, tágabb értelemben normál üzemre kell tervezni, hanem olyan kezdeti eseményekre is, amelyek kilendítik az atomerőművet a normál üzemállapotából, és várható üzemi eseményeket, tervezési üzemzavarokat eredményezhetnek. A nukleáris biztonsági szabályozási rendszer szigorodásával azonban a tervezési alapot meghaladó üzemállapotokat eredményező események és eseménykombinációk további csoportját is figyelembe kell venni a tervezés során, ekként bevezetésre került a tervezési alap kiterjesztésének a fogalma.

Az NBSZ 3/a kötete tartalmazza az új atomerőművi blokkok tervezési követelményeit, mely kötet értelmében a kezdeti eseményeket, eseménykombinációkat a hozzájuk tartozó gyakoriságuk alapján üzemállapotokhoz kell rendelni. Az NBSZ új atomerőművek esetében a 2. ábra szerinti hozzárendelési szabályt követeli meg a tervezési alapba (TA) tartozó üzemállapotokra.

A tervezési alap kiterjesztése (TAK) tekintetében két üzemállapot-kategóriát különböztet meg az NBSZ 3a.2.2.0300. rendelkezése, ezek a TAK1- és TAK2-üzemállapotok. A TAK1-üzemállapot az aktív zónában és a pihentetőmedencében található üzemanyag olvadásával nem járó komplex üzemzavar, míg a TAK2-üzemállapot az üzemanyag jelentős olvadásával járó súlyos baleset.

Az atomerőműre vonatkozó tervezési követelmények meghatározásakor többek között minden olyan, a tervezett atomerőmű telephelyével és környezetével kapcsolatos emberi és természeti eredetű, külső és belső eseményt figyelembe kell venni, amely a tervezési alaphoz vagy a tervezési alap kiterjesztéséhez tartozó üzemállapotot eredményezhet. Az NBSZ meghatározza azon külső veszélyeztető tényezők körét is, amelyeket legalább figyelembe kell venni a tervezés során.

Az NBSZ ezen veszélyeztető tényező kategóriához tartozó feltételezett kezdeti események köréből kiszűrhetőnek minősíti

- a telephelyre jellemző külső emberi tevékenységből származó olyan eseményeket, amelyek gyakorisága 10^{-7} /évnél kisebb;
- azokat a veszélyeztető tényezőket, amelyekről igazolható, hogy olyan távolságban vannak, hogy az atomerőművi blokkra azok várhatóan nem gyakorolnak hatást;
- valamint a 10^{-5} /évnél kisebb gyakorisággal ismétlődő természeti eredetű külső hatások által kiváltott valamennyi kezdeti eseményt.

	A	B	C
1.	Üzemállapot	Megnevezés	Esemény gyakoriság (f [1/év])
2.	TA1	normál üzem	–
3.	TA2	várható üzemi események	$f \geq 10^{-2}$
4.	TA3	kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	$10^{-2} > f \geq 10^{-4}$
5.	TA4	nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	$10^{-4} > f \geq 10^{-6}$

2. ábra. Az NBSZ által meghatározott eseménygyakoriság intervallumok tervezési alapba tartozó üzemállapotokhoz történő hozzárendelése (URL6) (saját szerkesztés)

Megjegyzendő, hogy vannak olyan kezdeti események, amelyek esetében az NBSZ kivételt tesz a gyakoriság szerinti kiszűrhetőség tekintetében. Így például a nagy utasszállító repülőgép és a katonai repülőgép létesítményre való rázuhánását posztulálni kell, vagyis a tervezés során fel kell tételezni, függetlenül annak valószínűségétől. A témához tartozik, hogy az NBSZ 3a.3.6.3100. pontja azt is előírja, hogy „a katonai és polgári repülőgép becsapódás esetére biztosítani kell a TAK1 üzemállapotra vonatkozó követelmények teljesítését”. Erre az esetre tehát olyan tervezési megoldásokat kell alkalmazni, hogy a reaktorzóna megolvadását még egy ilyen extrém esetben is meg kell tudni akadályozni, valamint a korai és nagy kibocsátásokat el kell tudni kerülni. Ennek a rendkívül szigorú NBSZ-előírásnak a teljesítése egy nagyon robusztus, más külső hatások elviselésére is alkalmas erőművi konstrukciót eredményez, ami a létesítmény minden más külső hatásokkal szembeni védelme szempontjából is nagyon előnyös.

Az atomerőművek tehát komplex, bonyolult létesítmények, az NBSZ által meghatározott események kezelésére alkalmas mérnöki rendszerekkel, műszaki

megoldásokkal rendelkeznek, melyekkel a biztonsági célkitűzések mindenkori érvényesíthetősége biztosítható. A rendszerek, rendszerelemek tervezésénél a redundancia, a diverzitás, a függetlenség és a térbeli szeparáció követelményrendszerét maradéktalanul szem előtt kell tartani, a mélységében tagolt védelem elvénél alkalmazásával pedig egymástól független védelmi szintek felépítésével biztosítani kell, hogy a potenciális meghibásodások, normál üzemmállapotból való eltérések észlelhetőek, ellensúlyozhatóak, kezelhetőek, esetleges következményeik mérsékelhetőek legyenek (Szatmáry–Aszódi, 2005).

Új atomerőműveknek a fent ismertetett biztonsági filozófia szerinti tervezéséhez azonban megfelelő mennyiségű, körű és mélységű információ szükséges. Az NBSZ által meghatározott, a tervezés során legalább figyelembe veendő külső eredetű veszélyek körében szerepelteti egyebek mellett a telephely földtani alkalmasságának igazolásánál figyelembe vett földtani adottságokat is, így különösen a földrengést és talajfolyósodást. A telephely alapos földtudományi jellemzése, a telephelyjellemzők helyes meghatározása és az ezek alapján végrehajtott helyes méretezés, a biztonsági rendszerek megfelelő kialakítása, elhelyezése tehát alapvető követelmények, hiszen mindez jelentősen befolyásolja azt, hogy egy kezdeti eseményt követően milyen következményekkel kell számolnunk.

A PAKS II. PROJEKT NUKLEÁRIS ENGEDÉLYESE

Az Atomtörvény (URL3) definícióját használva az *engedélyes* az atomenergia alkalmazói közül az, aki hatósági engedéllyel engedélyköteles tevékenységet folytat. Emellett az NBSZ értelmében a nukleáris létesítmény, így az új atomerőmű biztonságos üzemeltetéséért, a nukleáris biztonsági követelmények betartásáért és betartatásáért az atomerőmű teljes életciklusa alatt a felelősséget az *engedélyes* viseli.

A Paks II. projekt esetében a tulajdonos állam a Paks II. Atomerőmű Zrt.-t (későbbiekben Projektársaságot) jelölte ki a projekt megvalósítására, így a Projektársaság feladata többek között az, hogy az új atomerőművi blokkok telephelyének kiválasztásánál, a blokkok megtervezésénél, megépítésénél, üzembe helyezésénél és üzemeltetésénél az általános nukleáris biztonsági, sugárvédelmi és műszaki célkitűzéseket érvényesítse, azok és az NBSZ-ben rögzített nukleáris biztonsági követelmények maradéktalan teljesülését igazolja. Ennek teljesítését a nukleáris biztonsági hatóság, az OAH ellenőrzi.

A Paks II. projekt megvalósítása során így több mint hatezer különféle engedély megszerzésére lesz szükség, ezek közül az egyik alapvető fontosságú folyamat a telephelyengedély megszerzése.

A telephely-engedélyezési eljárás során teljesítendő követelményeket alapvetően az NBSZ 7. melléklete határozza meg, amelyhez két további, az 1.1. és 7.1. számú OAH-útmutató (URL7, URL8) is kapcsolódik.

A telephely-engedélyezési eljárás kétlépcsős folyamat: az OAH engedélye szükséges egyrészt az új atomerőmű telephelyének vizsgálatához és értékeléséhez (ez az ún. telephelyvizsgálati és -értékelési engedély), illetve erre épülve egy további engedély szükséges az új atomerőmű telephelye jellemzőinek és alkalmasságának megállapításához (ez maga a telephelyengedély). Az NBSZ 7. kötete szerint a telephelyvizsgálat és -értékelés célja a létesítést esetlegesen kizáró telephelyjellemzők azonosítása, a telephelyre vonatkozó veszélyeztető tényezők vizsgálata és értékelése, valamint a tervezés során figyelembe veendő, a telephelyre és a nukleáris létesítményre vonatkozó adatok meghatározása.

A TELEPHELY-ENGEDÉLYEZÉS A PAKS II. PROJEKTBEN

Mint minden telephelynek, a Paks II. atomerőmű blokkjai telephelyének is egyedi jellemzői vannak, ezen jellemzők helyes meghatározása a megfelelő tervezéshez elengedhetetlen. A telephely-engedélyezésnek, illetve a telephelyvizsgálati programnak alapvető feladata, hogy bemutassa, milyen természeti és emberi eredetű külső hatások érhetik a nukleáris létesítményt. Rendelkezésre kell állniuk azoknak a telephelyi veszélyeket jellemző adatoknak, amelyeket – a nukleáris biztonsági szabályok betartása mellett – az atomerőmű tervezése során figyelembe kell venni.

A veszélyek számszerűsítése mellett arról is meg kellett győződni, hogy a Paks II. Atomerőmű blokkjainak leendő telephelyén nincsen olyan körülmény, amely kizárná ott az új létesítmény telepítését. Tehát a telephely engedélyezési folyamatának két jól elkülönülő, de a nukleáris biztonság szempontjából kulcsfontosságú célja van: a paksi telephely új blokkok befogadására vonatkozó alkalmasságának bizonyítása, illetve a fent részletesen bemutatott, nukleáris biztonságra való tervezés követelményeinek való megfelelést illetően a tervezés során figyelembe veendő telephelyjellemzők meghatározása.

A kétlépcsős eljárásnak megfelelően a Paks II. projektársaság 2014. április 11-én nyújtotta be az OAH-hoz az új atomerőművi blokkok telephelyének vizsgálatára és értékelésére vonatkozó engedély iránti kérelmét. Az engedélykérelmi dokumentáció részeként benyújtott telephelyvizsgálati és -értékelési program tartalmát a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség missziója is megfelelőnek találta, az OAH mint eljáró hatóság pedig 2014. november 14-én kiadott határozatával elfogadta azt. A jogerős telephelyvizsgálati és -értékelési engedély kiadásával a nukleáris biztonsági hatóság a beadott telephelyvizsgálati és -értékelési program szerinti vizsgálati és értékelési módszerek, valamint elméleti megfontolások megfelelőségét fogadta el, és a telephelyvizsgálati és -értékelési program alapján szükséges további vizsgálatok elvégzésére jogosította fel a Projektársaságot.

A Projektársaság 2015 tavaszán kezdte meg a telephelyvizsgálati és -értékelési program földtudományi keretprogramjának, a Földtani Kutatási Programnak (FKP) a végrehajtását. A kutatási programot a 21. század technikai lehetőségeit kihasználva, a korszerű műszaki-tudományos ismeretek színvonalán a Projektársaság által megbízott szakértő vállalatok hajtották végre.

A programot többszintű és folyamatos, szakértői és tudományos koordináció, hatósági ellenőrzés kísérte végig. Az FKP részeként – többek között – összesen 11 ezer méternyi kutatófúrást (ezek között sekély és mélyfúrásokat is) végeztek, a földrengés-veszélyeztetettség jellemzésére pedig 150 méter mélységben, új mikro szeizmikus monitoring állomásokat létesítettek az atomerőmű telephelye körül. A földtudományi szakterületre és azon belül a földrengés-veszélyeztetettség kérdésre nagyobb hangsúly került, hiszen a földrengésekből több olyan hatás is származik, amely egy épített szerkezet számára kihívást jelenthet, továbbá azt az NBSZ is kiemelt jelentőségű külső természeti eredetű veszélyként nevezi meg, de a paksi telephelyvizsgálat során valamennyi külső eredetű veszélyt alaposan áttekintették és értékelték.

A FÖLDTANI VESZÉLYEK ÉRTÉKELÉSE ÉS JELENTŐSÉGE

A külső veszélyek közül a földrengés több szempontból is izgalmas a létesítmények biztonsága szempontjából. A földrengés megrázza a telephelyet és a létesítményt, különböző erőhatásokat váltva ki ezáltal. Földrengés hatására esetenként tektonikus törés menti elmozdulás, ún. elvetődés jöhet létre. A földrajzi viszonyoktól függően a földrengés cunamihoz vezethet (a paksi telephely tekintetében természetesen ilyesmi nem lehetséges, így a cunamiveszéllyel a paksi telephelyen nem kell foglalkozni). Továbbá földrengés hatására talajfolyósodás is létrejöhet, ami szintén műszaki kihívások elé állíthatja a létesítmény tervezőit.

A megrázásból tipikusan vízszintes erőhatások keletkeznek, a létesítmény vízszintes gyorsulásnak van kitéve, amelynek komoly következményei lehetnek abban az esetben, ha a vízszintes erőhatásokra nem számítunk előre, nem készítjük fel az adott létesítményt azok elviselésére. Amennyiben ismerjük, hogy milyen megrázás fordulhat elő, képesek vagyunk olyan mérnöki megoldásokat alkalmazni, amelyek megakadályozzák a létesítmény sérülését.

A földrengés másik hatása a felszín elmozdulásának, elvetődésének lehetősége. Ha egy földrengés következtében vetődés menti elmozdulás közvetlenül egy nukleáris létesítmény alatt következne be, méghozzá a talaj jelentős elmozdulásával kísérve, az érintett épület vagy épületek elveszíthetnék az alátámasztásukat. Amennyiben egy létesítmény nincsen erre felkészítve, ennek következtében meg is sérülhet. A mérnöki létesítmény szempontjából a kérdés az, hogy egy adott

telephelyen előfordulhat-e ilyen elmozdulás, és ha igen, az képes-e a felszínig felhatolni, és okozhat-e jelentős és maradó elmozdulást úgy, hogy az érintheti a létesítményt.

Arra is választ kellett adni, hogy mekkora földrengés fordulhat elő a telephely környezetében. Tudnunk kell, hogy egy földrengés a létesítménytől milyen távolságban pattanhat ki, és ismernünk kell a rengést közvetítő geológiai közeg jellemzőit, valamint azt, hogy milyen intenzitással jellemezhető egy adott gyakorisággal bekövetkező földrengés a telephelyen és annak releváns környezetében, összességében pedig az milyen talaj menti gyorsulást képes előidézni a létesítményben.

Az NBSZ külön előírja azt is, hogy Magyarországon is foglalkozni kell a talajfolyósodás veszélyével, vizsgálni kell, hogy a talajfolyósodás jelensége a tervezett telephelyen bekövetkezhet-e, és talajfolyósodás veszélye esetén értékelni szükséges, hogy mérnöki megoldásokkal az kiküszöbölhető-e.

A Paks II. projekt Földtani Kutatási Programjának célja tehát az volt, hogy a legmodernebb eszközökre, technikákra és módszertanra alapozott tudományos és szakértői vizsgálat során megkérdőjelezhetetlenül egyértelmű választ lehessen adni a fenti kérdésekre.

AZ EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA A PAKS II. PROJEKTBEN

A 2014 óta tartó folyamatos vizsgálati munka előzetes eredményeiről az érdeklődő nyilvánosságot széles körben először a 2016. május 6-án a Magyar Tudományos Akadémia nagytermében, *Az új atomerőművi blokkok telephelyvizsgálatának tudományos eredményei* címmel tartott konferencia keretein belül tájékoztattuk. 2015 és 2016 során megtörtént a telephelyvizsgálati és -értékelési program végrehajtása a paksi telephelyen és annak környezetében. A legkiválóbb hazai szakemberek a kor műszaki-tudományos színvonalán elvégzett, átfogó vizsgálati program részfeladatainak, kutatási tevékenységeinek eredményei alapján elkészült jelentések minden ismeretlemének tanulmányozása, értékelése és figyelembevétele mellett elkészítették az FKP Zárójelentését, az abban foglalt ismeretanyag figyelembevételével pedig a telephelyengedély-kérelem részeként az OAH-hoz benyújtották a telephelybiztonsági jelentést (a továbbiakban TBJ).

A TBJ valamennyi rendelkezésre álló ismeretet összesítő, szintetizáló tanulmány, amelyet a Projektársaság a telephelyengedély iránti kérelme részeként 2016. október 27-én nyújtott be az OAH-hoz. Az FKP eredményei közérthető bemutatásának céljából a fenti, széles körű tájékoztatás mellett fórumorozatot indítottunk: 2016. november 18-án Pakson, 2016. november 30-án Szekszárdon, míg 2016. december 5-én Kalocsán tartottunk lakossági tájékoztatót. A telep-

hely-engedélyezési eljárás kötelező elemeként 2016. december 13-án került sor a telephely-engedélyezési eljáráshoz kapcsolódó közmeghallgatásra az OAH szervezésében.

Az OAH a teljes dokumentáció birtokában, annak többrétű értékelése mellett, a végrehajtás során ellenőrzéseket végezve, a közvéleményt bevonva és meghallgatva, és ugyancsak a teljes ismeretanyaggal rendelkező független szakértők álláspontjának figyelembevételével a jogszabályi előírások teljesülését igazolva 2017. március 30-án kiadta a Projektársaság számára a telephelyengedélyt. A telephelyengedély kiadásával a nukleáris biztonsági hatóság a létesítést kizáró telephelyjellemzők hiányának igazolását, továbbá a telephelyvizsgálat lefolytatásának, a telephelyvizsgálat alapján megállapított adatok értékelésének és az értékelésből származtatott telephellyel összefüggő tervezési adatok meghatározásának megfelelőségét, valamint a telephely alkalmasságát elfogadta.

KONKLÚZIÓ

Jelen cikkben bemutattuk a nukleáris létesítmények biztonságával kapcsolatos diszciplínákat, részletesen kitérve a műszaki nukleáris biztonság kérdéseire. Bemutattuk a mélységi védelem elvét, amely alapja annak a mérnöki gondolkodásnak, amelyet alkalmazunk egy nukleáris létesítmény megtervezése során. Elhelyeztük a telephely-engedélyezést az atomerőmű engedélyezési rendszerében, és ismertettük, hogy a Paks II. projekt esetében milyen fő lépésekből és elemekből állt ez a folyamat.

A telephelyvizsgálati eredmények, valamint az azokat leíró telephelybiztonsági jelentés alapján a telephely-engedélyezési eljárásban bemutatásra és igazolásra került, hogy a paksi telephely alkalmas az új blokkok befogadására, a kor műszaki-tudományos színvonalán a telephelyre jellemző körülmények és veszélyek a tervező által a hatályos nukleáris biztonsági követelményeknek megfelelően kezelhetők, és meghatározásra kerültek azok a paraméterek, amelyek alapján a blokkok a nukleáris biztonsági követelményrendszernek maradéktalanul eleget téve megtervezhetőek lesznek.

Az Országos Atomenergia Hivatal mint eljáró hatóság 2017. március 30-án a P2-HA0008 számú határozatában telephelyengedélyt adott a Paks II. Atomerőmű Zrt. számára (URL9). Az OAH az engedélykérelem elbírálásába szakhatóságként bevonta a Bányafelügyeletet is, amelynek a megállapításait szintén rögzítette a határozatban. Az engedélyben – többek között – a hatóság megállapította, hogy telephelyvizsgálati program teljesítette a kitűzött céljait, továbbá az eredmények alapján kijelenthető, hogy a telephely alkalmas az atomerőmű új blokkjainak létesítésére. A telephelyen a vizsgálatok nem tártak fel olyan körü-

ményt, amely annak alkalmasságát kizárná. A megállapított paramétereket és körülményeket a létesítmény tervezése során figyelembe kell venni. A hatóság előírta, hogy a telephelyre jellemző veszélyeztető tényezők kezelésére választott műszaki megoldások megfelelőségét a létesítési engedély iránti kérelemben teljeskörűen igazolni kell.

A tervezési munka és a választott megoldások megfelelőségének igazolása tehát számos további feladatot jelent a szereplőknek, amelyek szintén érdemesek lehetnek a tudományos közösség számára történő bemutatásra.

A tervezés és a tervezéshez kapcsolódó biztonsági elemzések eredményei megjelennek az erőmű Előzetes Biztonsági Jelentésében, amely dokumentum a létesítési engedélyezés alapját képezi. Az erőmű megépítését követően, a létesítés során megvalósult állapottal együtt a biztonsági elemzések eredményei megjelennek majd a Végleges Biztonsági Jelentésben. Az időszakos biztonsági felülvizsgálatok rendszerén keresztül pedig a létesítmény biztonsága az üzembe helyezést követően tízévenként felülvizsgálatra kell hogy kerüljön, így akár a telephellyel kapcsolatos ismeretek további bővülése, akár a környezeti paraméterekkel kapcsolatos esetleges jövőbeli változások, akár a létesítménnyel kapcsolatos üzemi tapasztalatok megjelennek majd ezekben a dokumentumokban, és szolgálják a jövőben a nukleáris biztonság magas szintje mellett a műszaki fejlődést.

IRODALOM

- Aszódi A. – Boros I. (2012): Az atomenergia jövője Fukushima után. *Nukleon*, 5, Paper: 105, http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_2_105_Aszodi.pdf
- Szatmáry Z. – Aszódi A. (2005): *Csernobil – Tények, okok, hiedelmek*. Budapest: Typotex Kiadó (változatlan utánnomás 2019)
- URL1: IAEA Power Reactor Information System, <https://pris.iaea.org/pris/> (lekérdezés: 2021. január)
- URL2: ENTSO-E *Statistical Factsheet 2018*. https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs2018_web.pdf (lekérdezés: 2021. január)
- URL3: *1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról*. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.tv>
- URL4: Aszódi Attila: *System error – gondolatok a csernobili minisorozatról*. blogbejegyzés, 2019. június 23. (lekérdezés: 2021. január) https://aszodiattila.blog.hu/2019/06/23/system_error_gondolatok_a_csernobili_minisorozatrol
- URL5: *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, L 219/50, 2014. 07. 25. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0087&from=EN> (lekérdezés: 2021. január)
- URL6: *118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről*. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100118.kor>

URL7: OAH 1.1. számú Útmutató, Nukleáris létesítmények telephely-engedélyezése. [https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/1.1v1.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/1.1v1.pdf)

URL8: OAH 7.1. számú Útmutató, Nukleáris létesítmények telephely-vizsgálatának és értékelésének módszertana. [https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/7.1v1.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/7.1v1.pdf)

URL9: Az Országos Atomenergia Hivatal P2-HA0008 határozatszámú, OAH-2016-01001-0072/2017 iktatószámú, „Az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. kérelmére telephelyengedély” tárgyú határozata. [http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/6D7954F2B8957842C12580F400225A3A/\\$File/Hatarozat.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/6D7954F2B8957842C12580F400225A3A/$File/Hatarozat.pdf) (lekérdezés: 2021. január)

A TELEPHELY KÖRNYEZETÉNEK GEOFIZIKAI ÉS TEKTONIKAI JELLEMZÉSE

GEOPHYSICAL INVESTIGATION AND TECTONIC CHARACTERIZATION OF THE SITE VICINITY

Horváth Ferenc¹, Tóth Tamás², Koroknai Balázs³, Wórum Géza⁴, Földvári Koppány⁵

¹DSc, geofizikus, professor emeritus, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, Geomega Kft., Budapest

²PhD, senior geofizikus, Geomega Kft., Budapest, info@geomega.hu

³PhD, senior geológus, Geomega Kft., Budapest

⁴PhD, senior geofizikus, Geomega Kft., Budapest

⁵MSc, geológus, Golder Associates (Magyarország) Zrt., Budapest (korábban Geomega Kft.)

ÖSSZEFOGLALÁS

A Paksi Atomerőmű telephelyének és környezetének mélyszerkezetéről, valamint az azt létrehozó tektonikai folyamatokról az 1980-as évek óta folyó célzott földtani és geofizikai kutatások már számos fontos eredményre jutottak, de néhány fontos kérdésben az ellentétes vélemények az elmúlt évekig fennmaradtak. Az áttekintő tanulmány első része rövid tektonikai helyzetképet ad a Földtani Kutatási Program (FKP, 2015–2016) megindítása előtti ismeretekről és a vitatott kérdésekről. Ezt követően az FKP megvalósítása során elvégzett legfontosabb felszíni geofizikai méréseket és ezek tektonikai értelmezését foglaljuk össze. Az eredmények alapján felvázoljuk a vizsgált terület neotektonikai szintézisét.

ABSTRACT

Site-specific geological and geophysical investigations of the Paks Nuclear Power Plant and its vicinity have been ongoing since the 1980s and revealed several important results about the subsurface structure and tectonic processes. Some key questions, however remained subject of discussion until very recent years. First part of this publication gives a brief overview of the tectonic models and debated questions prior to the geological survey program of 2015–2016 (Földtani Kutatási Program, FKP). Following this introduction key geophysical surveys carried out in the framework of the FKP and their tectonic interpretation are summarized. Based on the presented results the neotectonic synthesis of the study area is introduced.

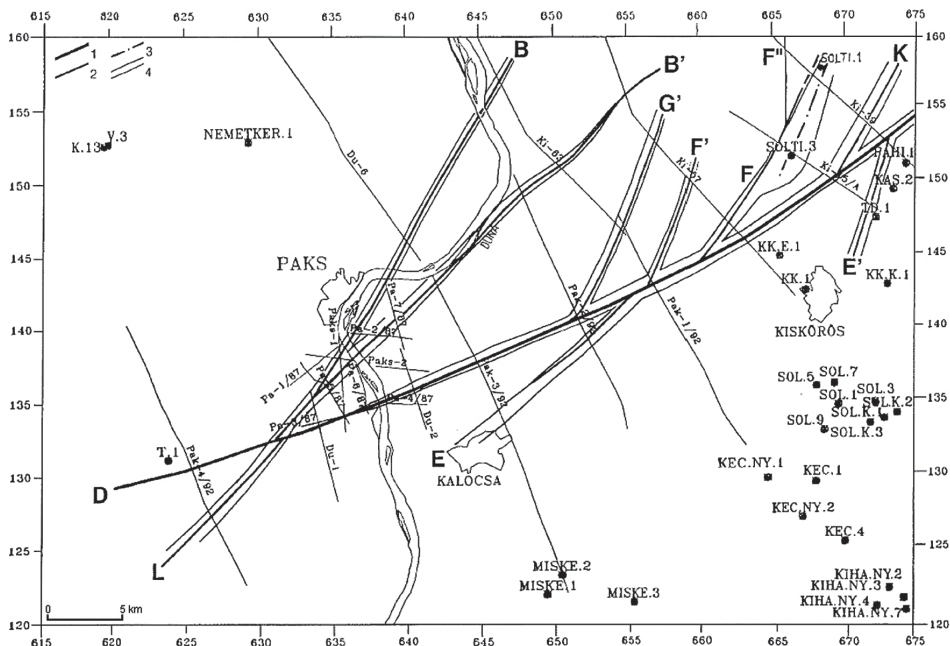
Kulcsszavak: Paksi Atomerőmű, neotektonika, aktív vető, geofizika

Keywords: Paks Nuclear Power Plant, neotectonics, active fault, geophysics

TEKTONIKAI HELYZETKÉP A FÖLDTANI KUTATÁSI PROGRAMOT (2015–2016) MEGELŐZŐEN

A Paksi Atomerőmű telephelye és környezete tektonikai viszonyainak megismerése érdekében az elmúlt huszonöt év során több fúrási és szeizmikus mérési kampány is megvalósult, a geológiai és geofizikai adatok integrált feldolgozása tektonikai modellek megalkotását eredményezte. A terület utolsó részletes földtani-geofizikai kutatása Paks II. Földtani Kutatási Programjának (FKP) keretében zajlott 2015–2016 során.

Az 1980-as évek második felében végzett célirányos kutatások alapján világossá vált, hogy „...Paks alatt húzódik át DNy–ÉK-i irányban az ország medencealjzatának legnagyobb jelentőségű töréses öve...” (MÁFI, 1994; Balla et al., 1997; *l. ábra*). Ugyanerre a következtetésre jutottak más, korábbi tanulmányok is (ELTE, 1990, 1993), sőt az olajipari adatokat is figyelembe vevő újabb feldolgozás (GeoRisk, 2005) a korábbi térképezéseket megerősítve adta meg az atomerőmű szempontjából kardinális Kapos-vonal lefutását és az abból kiágazó vetőágakat.



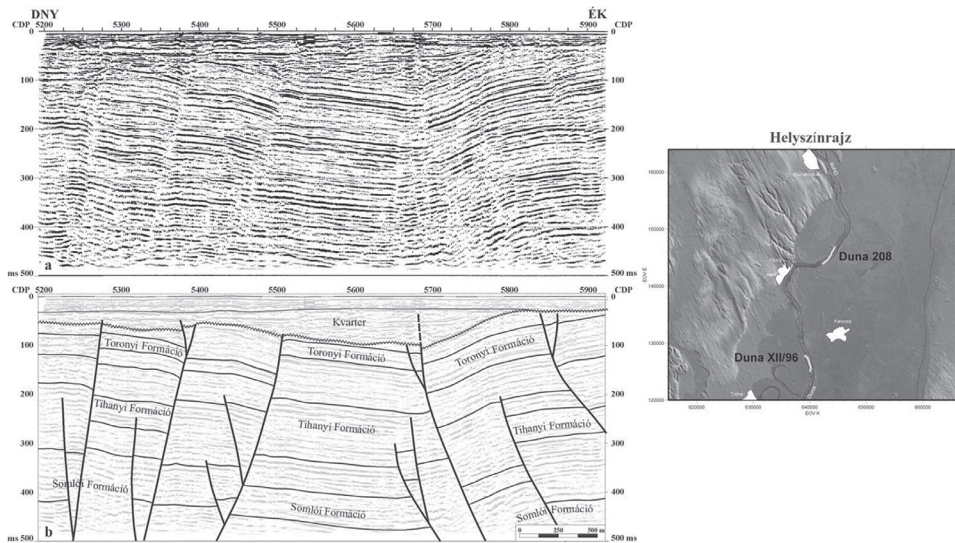
1. ábra. Korai eredmény (MÁFI, 1994 alapján) a Paks környezetében szeizmikus szelvények (vékony vonalak) és fúrási adatok (telt körök) alapján szerkesztett vetőrendszerrel.

A Kapos-vonalból (D) kiágazó mellékvetőket L és B–K betűk jelzik. A vetővonalakat két oldalról szegélyező vékonyabb vonalak a legfiatalabb aktivitású vetőket mutatják.

B' az újabban Dunaszentgyörgy–Harta (DH) néven nevezett vetőszegmenst jelzi.

(Mindegyik ábra a szerzők saját szerkesztése)

Az elemzések és értékelések során a legfontosabb eltérő vélemény a terület neotektonikai aktivitásának kérdésében alakult ki. Két ütköző vélemény jelentős publicitást kapott, amikor szakemberek egy csoportja (Balla et al., 1997; Balla, 1999) megkérdőjelezte a tektonika negyedidőszaki aktivitását alapvetően a szeizmikus szelvények alapján, amelyeken leképezési és feldolgozási hibákat vélt felfedezni. Mások a leképezés és feldolgozás hibáinak általánosítását szakszerűtlennek tartották, és amellet érveltek, hogy a nagy felbontású dunai vízi szeizmikus mérések (2. ábra) a tektonikai aktivitás negyedidőszaki folytatódására mutatnak (Tóth–Horváth, 1997, 1999).



2. ábra. Korai többsatornás vízi szeizmikus szelvény (Duna-208) a DH vető ÉK-i részén (Tóth, 2003 alapján, módosítva). Az értelmezés szerint a pannóniai rétegeket (Somlói, Tihanyi és Toronyi Formáció) markánsan elnyíró vetők érintik a pannon tetejét jelző diszkordanciafelületet, valamint a kvarter összlet alsó részét is

Az ellentétes értelmezés lehetősége abból adódott, hogy a terület legfiatalabb (negyedidőszaki) képződményeit ért deformációk nem voltak jól leképezhetők geológiai térképezéssel és fúrásokkal, sem pedig geofizikai mérésekkel. Figyelembe véve a vetőkkel markánsan érintett pannóniai rétegek és a fedő negyedidőszaki összlet közötti eróziós diszkordanciát (2. ábra), a szerkezetek korának megítélése és a vetődések menti oldalirányú elmozdulás mértékének meghatározása is komoly problémát jelentett.

Az 1990-es évek elejére kialakult vitás helyzet megnyugtató rendezését kísérelte meg a brit OveArup & Partners International cég által koordinált PHARE-projekt, amely a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) felügyelete

mellett valósult meg (OveArup, 1996). Legfontosabb megállapítása szerint a telephely alatti pannóniai képződményeket feldaraboló törészóna nagy valószínűséggel nem tekinthető aktívnak a negyedidőszak során, mivel nem volt vitathatatlan megfigyelési adat ilyen korú képződmények tektonizáltságára. A kis valószínűséggel bekövetkező események konzervatív kezelése miatt azonban a vetőműködés negyedidőszaki felújulásának lehetőségét 10%-nak tételezték fel a veszélyeztetettség valószínűségi analízise során.

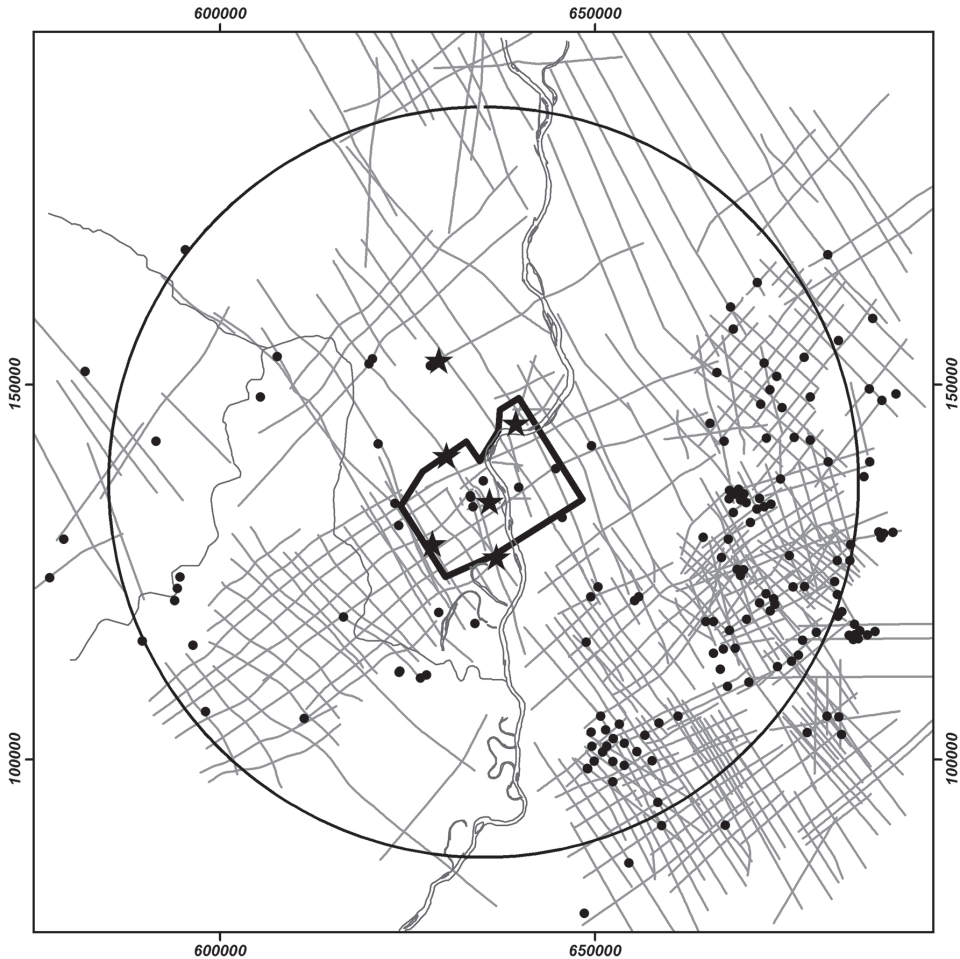
AZ FKP KERETÉBEN SZÜLETETT ÚJ GEOFIZIKAI ADATOK ÉS EREDMÉNYEK

A legnagyobb volumenű és logikusan előresorolt geofizikai kutatás az erőmű 300 km² területű körzetében megvalósított 3D szeizmikus felvételezés volt (3. ábra). A méréssel kapcsolatban az volt az elvárás, hogy a térben folyamatos leképezés eredményeképpen jobban megismerhető legyen a medencealjzat, pontosabbá váljék a vetőzónák rendszerének meghatározása és az idősebb (alsó és középső miocén) és a fiatalabb (pannóniai) vetők kapcsolatának és geometriájának térképezése. Ezek megvalósulása teremtette meg annak lehetőségét, hogy a fiatal vetők felszínközeli megjelenését alkalmasan lokalizált, nagy felbontású 2D geofizikai mérésekkel megismerjük: szárazföldi P- és S-hullám reflexiók szelvényezéseket, dunai pszeudo-3D szeizmikus méréseket és multielektrodás geoelektromos szelvényezéseket végeztünk. Ezeket vesszük sorra a következő részben a teljes bemutatás igénye nélkül, alapvetően az ezekből levonható fő tektonikai eredményekre koncentrálva.

A 3D szeizmikus mérés és kiterjesztett értelmezés

A mérés kivitelezéséről és végső értelmezéséről zárójelentés ad számot, de ezt megelőzően egy előzetes értelmezés is készült, amely alapján került sor az FKP-ben megadott fúrások helyének és elérendő talpmélyiségének revíziójára (Geomega, 2015a, b). A 3. ábrán a 3D-mérés területe és a javasolt új fúrások (PAET-26, -27, -29, -30, -34 és -35) elhelyezkedése is látható. A 3D szeizmikus anyag értelmezése kiterjesztett területre, az atomerőmű 50 km-es sugarú körrel kijelölt környezetére lett elvégezve (Geomega, 2016c, d). A felhasznált 2D szeizmikus szelvényeket és fúrásokat ugyancsak a 3. ábra mutatja.

A térképezés célja a fő rétegtani egységek határának követése és az ezeket elnyíró vetők térbeli rendszerének meghatározása volt. Az időszelvényeken végrehajtott értelmezés után a kapott térképek sebességinformációk alapján mélységskálára lettek transzformálva, annak szigorú figyelembevételével, hogy az értelmezett réteghatárok egyezzenek meg a fúrásokban megismert tényleges réteghatárokkal. A 4. ábra a térképezett fő rétegtani-tektonikai határok definícióját



3. ábra. Paks 50 km sugarú környezetére kiterjesztett értelmezés során felhasznált 3D szeizmikus mérés területe (vastag vonallal lehatárolva közel 300 km²), 2D szeizmikus szelvények (szürke vonal) és fúrások (fekete pont) elhelyezkedése, fekete csillaggal jelölve az FKP keretében mélyült új fúrások

és a terület általánosított tektonosztratigráfiai modelljét mutatja, amelyhez a következő fejlődéstörténeti tartalom kapcsolódik.

Közel 20 millió évvel ezelőtt, a korai miocénben kezdődött el az akkor még a Belső-Dinaridákhoz kapcsolódó, változatos topográfiájú Tisza–Dácia-terrének riftesedése. A mezozoos-paleozoos aljzaton (I. unkonformitás) létrejövő tektonikus árkokat a nagy reliefenergiájú környezet lepusztulásával keletkezett tavi-folyóvízi törmelékes üledékek töltötték fel. Ezt a folyamatot a riftesedéshez kapcsolódó jelentős mértékű litoszféra-kivékonyodás és hőmérséklet-növekedés miatt magma-

tizmus kísérte savanyú magmás láva kiömlésével és nagy tömegű riolitos-dácitos vulkáni törmelék explóziójával. Ennek eredményeként az idősebb (mezozoos és paleozoos) aljzatra vastag szárazföldi törmelékes és vulkáni sorozat települt, ami jellegzetes kaotikus reflexiós képe alapján a szeizmikus szelvényeken általában jól elhatárolható az ezt követő, markánsan rétegzett tengeri üledékes rétegektől. Ezért a törmelékes üledékes sorozat tetején kijelölhető 2. unkonformitás felülete értelemszerűen a vulkanoklasztikus képződmények tetejét követi.

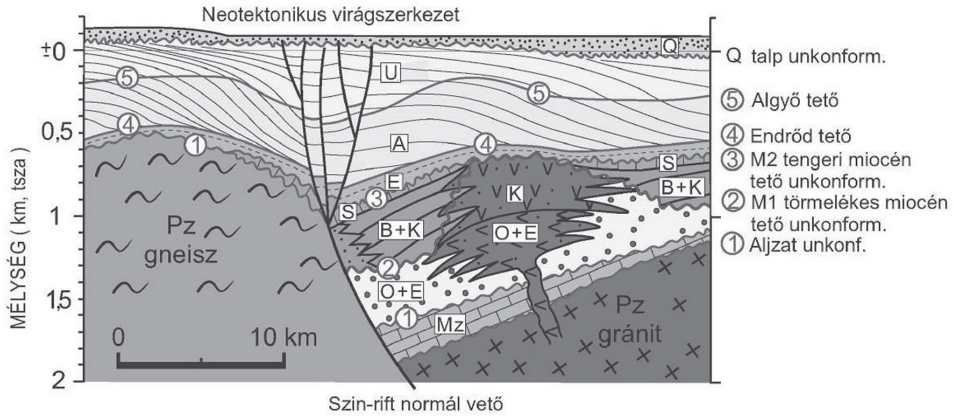
A kárpáti emelet elején a terület süllyedése olyan mértékűvé vált, hogy kapcsolatot jött létre a Paratethys-tengerrel. A tengeri térhódítás általánossá vált, és kezdeti partszegélyi fáciesű üledékek mellett a bádeni időszak során igazi pelágikus márgák képződtek regionális elterjedésben. Ezt követően a környező hegységek emelkedése miatt a tengeri kapcsolatok beszűkültek, majd megszűntek. Ekkor alakultak ki a brakkvízi szarmata képződmények. A szarmatát követő időszakban az emelkedés és lepusztulás átterjedt a teljes medencére, sőt kompressziós feszültségtérben tektonikai inverzió zajlott. Ennek következtében alakult ki a Pannon-medence üledékes összletének legmarkánsabb unkonformitása (3. jelű határfelület). Ez egyben a középső miocén tengeri üledékes kőzetek felső határa is, mert ettől kezdődően alakult ki a Pannon-tó.

A Pannon-tó kialakulását az izolált medence gyors süllyedése alapozta meg. Ekkor egy tagolt topográfiájú, helyenként akár 1000 m mélységet elérő medencében főleg agyag- és mészmárga képződött, amelyik változó vastagságú lepelként fedte be a medence aljzatát. Ennek felső határa a 4. jelű felület.

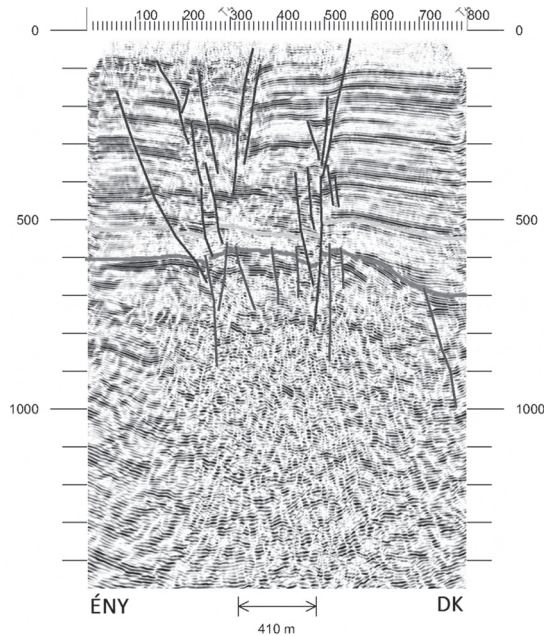
Ezt követte a medence fokozatos feltöltődése a Paleo-Duna- és Paleo-Tisza-folyórendszerek által szállított nagy tömegű sziliciklasztos törmelékekkel. A feltöltődés ÉNy-i, illetve ÉK-i irányból progradált dél felé, és a Pannon-medence mai szerbiai részén fejeződött be a pliocén során. Az előrehaladó és épülő lejtő előterében általában gravitációs eredetű turbidittestek alakultak ki, amelyek a viszonylag nagyobb mélységű medencékben akkumulálódtak. A paksi kutatási terület a posztzarmata kiemelkedést követően környezetéhez viszonyítva lassan süllyedt, így aljzatmagaslat maradt, amelyet elkerültek a turbidites üledékfolyások. Ezért a márgás sorozatra közvetlenül a progradáló rétegsor települ, amelynek szeizmikus és karotázsszelvények alapján jól követhető tetejét (az egykori selfperemet) az 5. jelű felület mutatja.

Ezt követően a feltöltött területeken a medence süllyedése egyensúlyban volt az üledékfelhalmozódással. Ekkor delta- és alluviális síkságon ritmikusan váltakozó homokos-agyagos üledékek képződtek. A pliocén elejétől kezdődően kompressziós inverzió indult meg, amely jelenleg is tart. A szélesebb paksi területen jelentős lepusztulás zajlott, amely a negyedidőszaki képződmények talpán kijelölhető regionális unkonformitást hozta létre. Ennek mélysége 30 és 100 méter között változik, amely mélységtartomány ipari szelvényeken nem jelenik meg, és csak speciális szeizmikus szelvényezéssel képezhető le. A neotektonikus inverzió so-

rán jelentős vertikális mozgások mellett a pannon üledékes kőzeteket harántoló virágszerkezetek jöttek létre, amelyek gyakran a kora és középső miocén árok-szerkezetekhez kapcsolódnak (4. és 5. ábra).



4. ábra. A kutatási terület elvi tektonosztratigráfiai szelvénye a térképezett felületek (1–5), a felületekkel határolt rétegtani egységek és a tektonikai stílus bemutatására (Horváth, 2017 alapján, módosítva)



5. ábra. A Pa-21 szeizmikus szelvény, amely a függőleges tengelyen kétutas futási időt mutat ms egységekben megadva (Horváth, 2017 alapján, módosítva). Helyszínért lásd a 6. ábrát

Összegzésként megállapítható, hogy a 3D szeizmikus mérés és kiterjesztett értelmezés alapvető ismeretekkel gazdagította a terület fejlődéstörténetére vonatkozó tudásunkat. Ezek közül legfontosabb a regionális kiterjedésű, fiatal tektonikai aktivitás eredményeképpen létrejött oldalelmozdulásos „virágszerkezetek” térképezése, és annak a megerősítése, hogy további mérések szükségesek a vetők felszínközeli geometriájának és ezúton az aktivitás korának pontosabb megértéséhez.

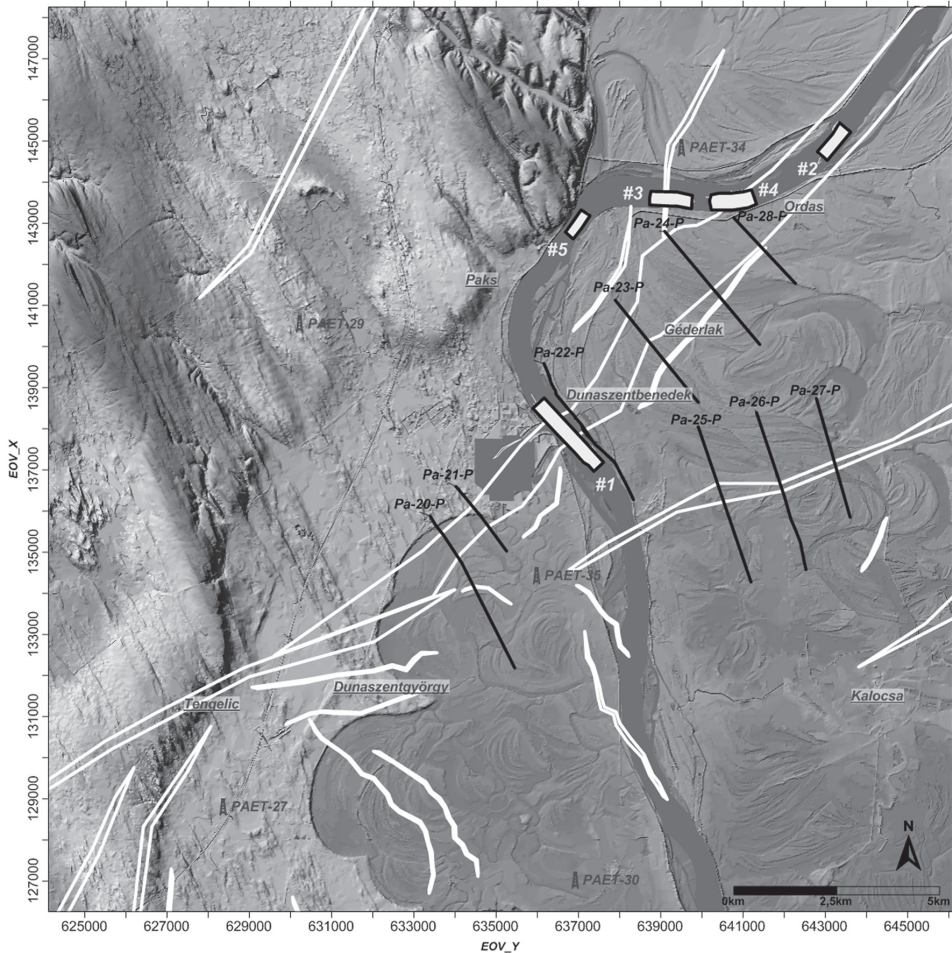
A felszínközeli mélységtartomány nagy felbontású leképezése

A fenti terv megvalósítása céljából nagy felbontású reflexiós mérések történtek. A P-hullám reflexiós mérések jelentése (MFGI, 2016) alapján készült a 6. ábrán látható helyszínrajz, amely kilenc szelvényt mutat (Pa-20 – Pa-28), együttesen 30 km összhosszúságban. Ezen túlmenően az ábra a kiterjesztett szeizmikus értelmezés alapján a felszín közelébe hatoló vetők sávját is jelzi fehér vonallal lehatárolva. Látható, hogy a szelvényezések célirányosan a vetők megismerésére lettek tervezve.

Illusztrációként egy szelvényt (Pa-21; 5. ábra) mutatunk be, amely közvetlenül az atomerőmű telephelyének délnyugati sarkánál helyezkedik el (6. ábra). A szelvény mélységskálája ms-ban van megadva, és a pannonban közel állandó 2000 m/s hullámterjedési sebesség miatt 100 ms jó közelítéssel 100 méternek felel meg. Az idősebb miocén képződmények felszíne 600–700 ms mélységben észlelhető. A pannont harántoló virágszerkezet több ága is a felszín felé hatol, és elveti a 60–70 ms mélységig leképezett sekély felső pannon rétegeket is.

A virágszerkezet felszín felé való felhatolása minden szelvényen markáns, de a fiatal tektonikai aktivitás negyedidőszaki korának verifikálását a módszer a felszínközeli (0–50 m) tartomány leképezésének hiánya miatt továbbra sem teszi lehetővé.

Összefoglalva megállapítható, hogy a speciálisan tervezett P-hullám szeizmikus szelvényezés kiváló minőségben valósult meg, és a vártak megfelelően 40–80 ms futási időnek megfelelő mélységig (40–80 m) a terület rétegszerkezetének nagy felbontású leképezését adja (MFGI, 2016). Ennek alapján megállapítható, hogy a 3D szeizmika alapján levezetett tektonikai kép hiteles, és lényegesen gazdagodott a nagy felbontású sekélygeofizikai kutatásokkal. A speciális P-hullám reflexiós mérések legfontosabb eredménye tektonikai szempontból az, hogy a fiatal vetőrendszerek a teljes pannóniai rétegsort harántolják, ami teljes összhangban áll a korábbi szeizmikus vizsgálati eredményekkel. Továbbra is megválaszolatlan maradt ugyanakkor a pannon diszkordanciafelületre nagy időhézaggal települő negyedidőszaki üledékes képződmények tektonizáltságának kérdése.



6. ábra. Paks környékének terepmodellje a fiatal vetődések felszínre tetített sávjával (fehér görbék), a nagy felbontású szeizmikus szelvények nyomvonalával (fekete vonalak Pa-20-P – Pa-28-P jelöléssel) és a dunai vízi szeizmikus mérések (#1–#5 számú szürke téglalapok) területeivel (Horváth, 2017 alapján, módosítva)

Multielektrodás geoelektromos és pseudo-3D vízi szeizmikus mérések

A multielektrodás geoelektromos MUEL-tomográfias szelvényezés szárazföldi területen tudja leképezni a kőzetek elektromos fajlagos ellenállásának változásait, elvben a fizikai felszíntől néhányszor tíz méteres mélységig. Alapvetően a nagy felbontású szeizmikus mérésekhez kapcsolódó tizenegy geoelektromos szelvény mindegyike a pannonban lévő vetőkkel jól korrelálható, markáns felszínközeli ellenállás-anomáliákat mutatott (Geomega, 2016a, c). Ezzel erős

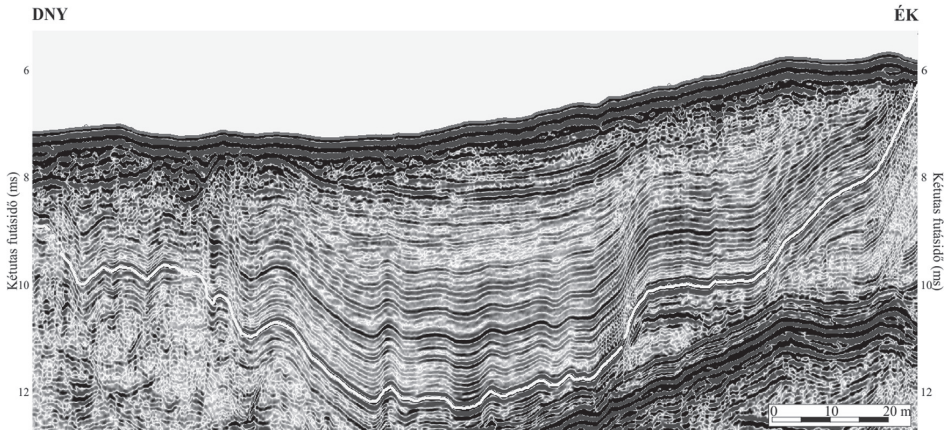
támogatást adtak a negyedidőszaki üledékek (de legalábbis azok alsó tartományának) tektonikus érintettségére. A fajlagos ellenállások oldalirányú változásai azonban értelmezhetők laterális litológiai kontraszttal is. Utóbbiak pedig a nagyon változatos fáciesű negyedidőszaki összletben sűrűn és előrejelezhetetlenül fordulhatnak elő, ezért a MUEL-mérések nyújtotta eredményeket nem tekinthetjük perdöntőnek.

Nagy felbontású vízi szeizmikus mérésre a Duna kínál jó lehetőséget (Geomega, 2016b, c), hiszen a térképezett vetők a kutatási területen harántolják a folyó medrét (6. ábra). Speciális egycsatornás eszközzel, nagyfrekvenciás hanghullámok segítségével és néhány méteres szelvényközzel felvételezve közvetlen a mederfenéktől néhány méter mélységig „pszeudo-3D”-leképezés valósítható meg. Időigénye és technikai kivitelezésének bonyolultsága miatt ilyen sűrűségű felvételezést csak limitált terjedelemben lehetett megvalósítani, ezért a mérésre alkalmasan kiválasztott területrészeken került sor. Az 1–5. jelű területrészeket a 6. ábra mutatja, amely egyúttal feltünteti a pannonban térképezett vetők felszíni vetületét is. Látható, hogy az 1. mérési terület a legkritikusabb részen, az erőmű melletti folyamszakaszon, a 2., 3. és 4. pedig a vetőzóna ÉNy-i folytatódásában volt kijelölve. Az 5. mérési terület a vetők közötti nyugodtabb szakaszon helyezkedik el. Az öt mérési blokk területe összesen 2,0 km².

A teljes mérési anyag kiértékelése alapján általános következtetésként megállapítottuk, hogy a dunai üledékek szeizmikus képe üledékföldtani okok miatt bonyolult rétegszerkezetet mutat, de töréses tektonika nyomai a recens dunai üledékekben egyik mérési területen sem voltak megtalálhatók. A Geomega anyaga (2016c) ugyanakkor rámutat, hogy a mérési anyag a törmelékes késő negyedidőszaki képződmények bonyolult belső üledékföldtani struktúrája miatt egyértelmű és közvetlen vetőazonosításra nem volt alkalmas, illetve, hogy a neogén vetőrendszer kvarterben történő felújulására vonatkozó bizonyítékokat a gyorsan változó üledékföldtani rendszer – a Duna – felülírhatja, így ezek nem feltétlenül őrződnek meg a plasztikus fluvialis üledékekben.

Vannak azonban a recens tektonikai aktivitásnak más megnyilvánulásai a paksi telephely környezetében, amit a vízi szeizmikus szelvényezés segítségével lehetett kimutatni a 2. mérési területen (Geomega, 2016c). Ez a legészakibb mérési terület ott helyezkedik el, ahol a folyó medre alatt halad a vetődés Dunapataj és Harta között (6. ábra). Ezen a területen sem volt észlelhető felszínre hatoló vető, de egy, a mai folyót ferdén keresztező paleomedér volt kimutatható (7. ábra), amelyet egy kb. 130 m széles és 4 m mély egykori folyóág hozott létre. Ennek különlegességét az adja, hogy a lumineszcens kormeghatározás szerint a kb. 11 ezer éve felhagyott és feltöltött medret (morotvát) kitöltő agyagos-iszapos üledékek (Novothny, 2016) jellegzetesen hullámosan deformált, gyűrődéses-csúszásos szerkezetűek, jóllehet eredetileg teljesen vízszintesen települtek. Ilyen szerkezeteket földrengéshullámok hatására bekövetkező vízkiszökés és kő-

zetváz-összeomlás okoz, emiatt azokat *szeizmitéknek* hívják. A paleo-földrengés következtében létrejött üledékszerkezet a terület szeizmikus veszélyeztetettsége szempontjából számba veendő, de maga a földrengés nem szerepel a historikus események katalógusában.



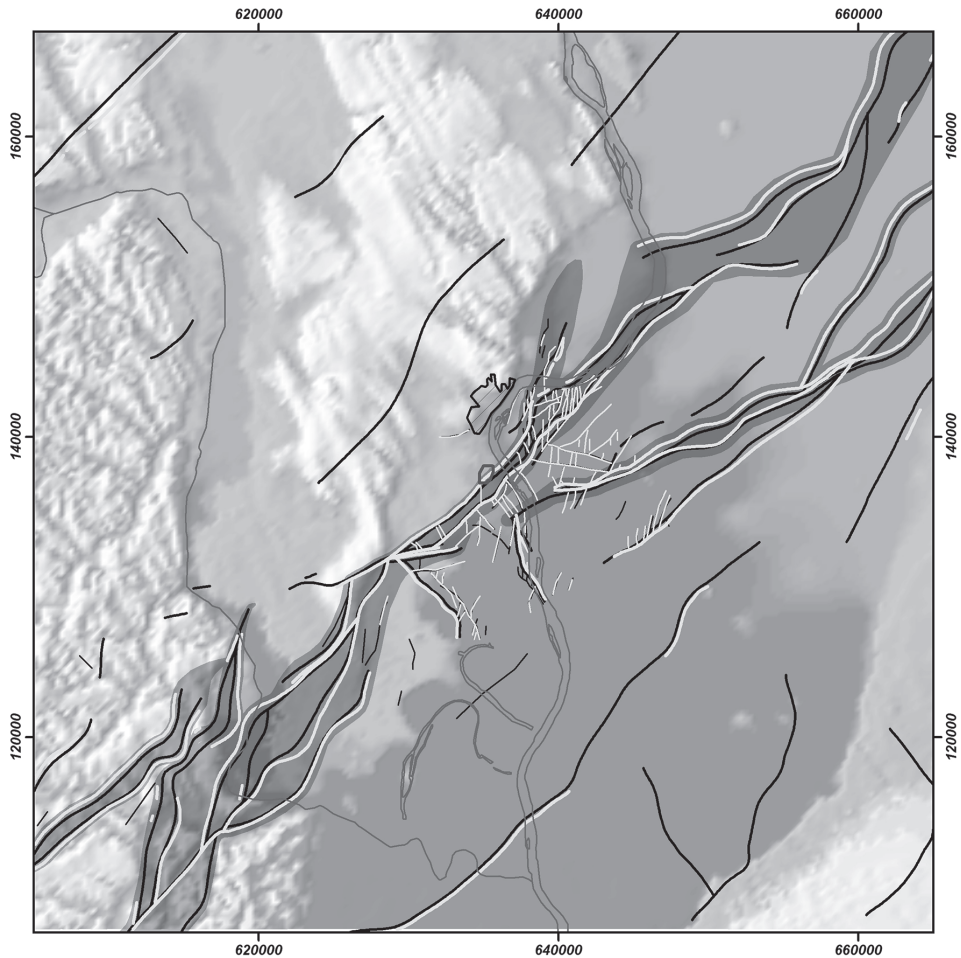
7. ábra. Vízi szeizmikus szelvényrészlet a 2. mérési területről (6. ábra), amely egy egykori földrengés hatására deformált kb. 130 m széles és 4 m mély, 11 ezer éves mederkitöltést mutat (Horváth, 2017 alapján, módosítva)

NEOTEKTONIKAI SZINTÉZIS ÉS A VETŐ FELTÁRÁSA

A geofizikai és fúrási adatok felhasználásával készített rétegszerkezeti és tektonikai térképek alapján vezettük le a terület szintetizált tektonikai modelljét (Geometa, 2016c; Mecsekérc, 2016a, b). A kutatási terület meghatározó szerkezeti eleme az aljzatban regionális skálán (medence léptékben) követhető, KÉK–NyDNY-i irányítottságú „Kapos-vonal”. Az atomerőmű részletesen térképezett 50 km sugarú környezetében a „vonalat” valójában meredek (70–80°-os dőlésű) törési síkok alkotják, amelyek a részletes térképezés szerint Dunaszentgyörgytől nyugatra egy északi dőlésű, keletre pedig egy déli dőlésű szűk vetősávot alkotnak. Míg a vonal keleti szegmense markáns neotektonikai aktivitást mutat, addig a nyugati szakasz neotektonikusan lényegében inaktív a vizsgálati területen (8. ábra).

A Kapos-vonalból Dunaszentgyörgynél ÉK-i irányba kiágazó, a telephely alatt és annak déli előterében elhaladó Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna a Kapos-vonal keleti szakaszával együtt a kutatási terület legintenzívebb neotektonikus aktivitású szerkezeti eleme. Tipikus „virágszerkezetet” mutató belső struktúrájuk és a kapcsolódó másodlagos formaelemek (Riedel-törések) alapján balos oldaleltolódásnak minősíthetők. Szerkezeti jellegeiben igen hasonló a Bonyhádi-me-

dence DK-i peremén húzódó mestervető (Bonyhádi-törés) és a hozzá csatlakozó vetőrendszer, amely DNy felé a Mecsek Északi Pikkelyzónájának deformációs övéhez csatlakozik (Geomega, 2016d). Ez a vetőrendszer neotektonikai aktivitás szempontjából egységes, Bonyhád–Dunaszentgyörgy–Harta-vetőrendszernek tekinthető (8. ábra).



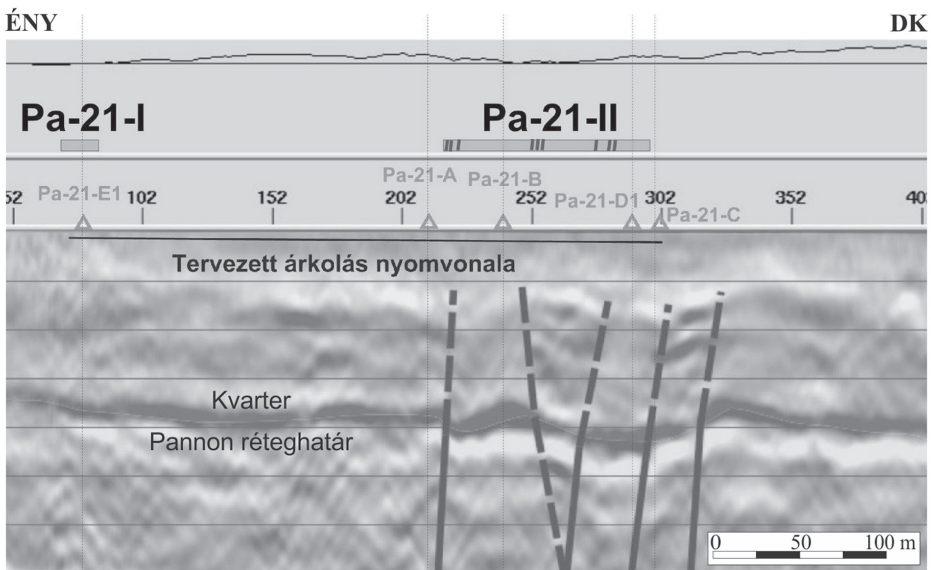
8. ábra. A földtani-geofizikai adatok szintézise eredményeképpen kapott neotektonikai modell, amely a sötétszürke sávon belül fehér vonalakkal mutatja a vetők neotektonikusan legaktívabb szakaszait (Horváth, 2017 alapján, módosítva).

A fekete vonalak a progradáló selfperem (5. jelű felület a 4. ábrán) tetejét átmetsző vetőket jelölik

A projekt keretében elvégzett különböző földtani-geofizikai vizsgálatok alapkérdését az jelentette, hogy pontosan milyen korúak a neotektonikus aktivitást mutató vetők, felhatolnak-e a legfiatalabb negyedidőszaki rétegekbe, és ha igen, ott

milyen mértékű deformációt idéznek elő. A neotektonikus vetők közül értelem-szerűen kulcsfontosságú a telephely alatt és annak déli előterében húzódó Duna-szentgyörgy–Harta-vetőzóna. A vetőzóna belső szerkezetének és neotektonikai aktivitásának részletes vizsgálatára a telephely környezetében több nagy felbontású felszíni geofizikai módszerrel végeztünk vizsgálatokat. Kulcsfontosságúnak mutatkozott a Pa-21-S jelű szelvényen látható vetőkép (9. ábra), mert ez arra mutatott, hogy a vetődés a negyedidőszaki képződmények felszínközeli tartományát is érinthette. A szeizmikus szelvény alapján hét sekélyfúrás (Pa-21-E1, -A, -B, -D1, -C, -F3 és -G4) valósult meg, és a 20 m-nél mélyebb szakaszokon magmin-tavételre volt lehetőség (Mecsekérc, 2016a, b). Egyértelmű eredmények és kézen-fekvő tektonikai értelmezés született, amelyet a tengelici vörösgyag megléte, illetve hiánya tett lehetővé. A tengelici vörösgyag tektonikus érintettségét a ma-ganyagban talált vetőkarcok megkérdőjelezhetetlenné tették.

Ezt követően két szakaszon (Pa-21-I és -II) került sor a humuszréteg eltávolítá-sa után 2 méter mély árok kialakítására 12 méter és 84 méter hosszúságban (9. ábra). A Pa-21-II árokban felszínközeli tektonikai elvetést mutató szerkezetek tá-rultak fel késő negyedidőszaki futóhomokban, amelyek pontosan ott jelentkeztek, ahol azt az S-hullám szelvényen értelmezett vetők felszíni folytatása jelezte. Ezek közül a leglátványosabb az árok közepén (43,7 m-nél) észlelt „tölcséres szerkezet” és az ahhoz mindkét oldalon csatlakozó kis normálvetődések voltak (10. ábra).



9. ábra. A Pa-21 szeizmikus szelvény (5. és 6. ábra) mentén felvett speciális S-hullám szelvény szerkezeti értelmezése és az ennek alapján kijelölt 12 m és 84 m hosszú árkolás (Pa-21-I, illetve Pa-21-II) helyszínrajza (Horváth, 2017 alapján, módosítva)

A szerkezet jellege és iránya, amely megegyezett a Dunaszentgyörgy–Harta-vető csapásával, úgy értelmezhető, hogy az árkolás transztenziós virágszerkezetet tárt fel, amely a szeizmikusan dokumentált mélyvető felszínközeli manifesztációját képezi (Mecsekérc, 2016a, b). Az elvégzett kormeghatározások szerint a futóhomok kora 19–21 ezer év (Thamóné Bozsó–Füri, 2016). Ennek megfelelően a Nukleáris Biztonsági Szabályzat definíciója szerint a vető aktívnak minősítendő.

A 43,7 m-nél azonosított szerkezet annak kialakulásának idejére vonatkozóan paleofelszínig hatoló vetődéses deformációnak tekinthető, amelynek tanulmányozása során a szakemberek maximálisan néhány centiméteres vertikális elvetést dokumentáltak. A vetődés laterális komponensének megbízható meghatározására nem volt lehetőség.



10. ábra. A Pa-21-II árok közepén (43,7–45 m között), 2 m vastag humuszréteg eltávolítása után, mintegy 1 m vastagságban feltárt „tölcséres szerkezet” és a kapcsolódó kis normálvetők, kb. 20 ezer éves folyami homokban (Horváth, 2017 alapján, módosítva).

Az értelmezés szerint a szerkezet a mélyben gyökerező és a Pa-21 szelvényen látható virágszerkezet (5. ábra) felszíni manifesztációját jelenti, és a DH-vető aktív minősítésének evidenciáját szolgáltatja

KÖVETKEZTETÉSEK

- A telephely 300 km² területű környezetében végzett 3D szeizmikus mérések és azok 50 km sugarú területre kiterjesztett értelmezése igazolták és pontosították a korábbi kutatások alapján felvázolt fiatal vetőrendszert.
- Bizonyítást nyert, hogy a fiatal vetők balos oldalelmozdulással létrejött vi-rágszerkezetek, és a medence kialakulását inicializáló kora és középső mio-cén tektonikai elemek felújulásaiként jöttek létre.
- A nagy felbontású szárazföldi szeizmikus mérések és fúrások alapján meg-állapítható, hogy a fiatal vetők felhatolnak a pannon összlet tetejéig, amely egy eróziósan jelentősen lepusztult terület.
- A geoelektromos tomográfia eredményei szerint a negyedidőszaki képződ-ményekben markánsan megnyilvánuló fajlagosellenállás-zavarzónak a sze-izmikusan megismert vetőkkel állnak kapcsolatban.
- A pszeudo-3D vízi szeizmikus mérések bonyolult rétegtani struktúrákat mutatnak a dunai mederfenék alatti 6-7 m vastag recens folyami üledékek-ben, de ezek üledékföldtani jellegzetességek és nem tektonikus eredetű szer-kezetek.
- A vízi szeizmika ugyanakkor a kutatási területen, nagy léptékű skálán (fo-lyami holtágban) földrenghullámok hatására deformált laza üledékeket (szeizmitek) talált, amelyek kora kb. 11 ezer év.
- A fokozatos megismerés elvét követő új geofizikai kutatások és sekélyfúrá-sok több évtizedes vitát zárnak le a Dunaszentgyörgy–Harta-vetőzóna men-tén árkolással feltárt 20-21 ezer éves folyami homokban észlelhető transz-tenziós szerkezet – aktív vető – feltárásával.

A szerkezet elemzése azt mutatja, hogy az azt létrehozó törési sík nem okozott az egykori felszínen néhány centimétert meghaladó vertikális elmozdulást, míg az elmozdulás horizontális komponensének megbízható meghatározására az árkolá-sos feltárásban nem nyílt mód.

IRODALOM

- Balla Z. (1999): Van-e bizonyíték negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén? *Földta-ni Közöny*, 129, 97–107. https://climeneews.com/letoltes/Paks-II/EPA01635_foldtani_koz-lony_1999_129_1_097-107.pdf
- Balla Z. – Dudko A. – Maros Gy. (1997): Paks környékének mélyszerkezete és neotektonikája. In: Marosi S. – Meskó A. (szerk.): *A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága*. Budapest: Akadé-miai Kiadó, 33–59. http://real-eod.mtak.hu/8491/1/a_paksi%20atomeromu_foldrengesbizton-saga.pdf
- ELTE (1990): *Paks környezetének neotektonikája. Jelentés a MÁELGI 828/89. sz. megrendelése alapján*. Budapest

- ELTE (1993): *Paks környezetének szerkezeti viszonyai és nagytektonikai helyzete. Kutatási jelentés.* Budapest
- Geomega Kft. (2015a): *Előzetes jelentés a Paks környéki nagyfelbontású 3D szeizmikus mérések eredményeiről.* Budapest
- Geomega Kft. (2015b): *Értékelő jelentés a 3D szeizmikus kutatás eredményeiről.* Budapest
- Geomega Kft. (2016a): *Nagyfelbontású 2D szárazföldi geoelektromos szelvényezés. Zárójelentés.* Budapest
- Geomega Kft. (2016b): *Pseudo-3D vízi szeizmikus mérések. Zárójelentés.* Budapest
- Geomega Kft. (2016c): *Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése (telephelyen kívül elvégzett mérések).* Budapest
- Geomega Kft. (2016d): *3D földtani-tektonikai modell kialakítása.* Budapest
- GeoRisk (2005): *A tíz éve folyó szeizmikus monitorozás eredményeinek szeizmikus értelmezése és a neotektonikai modell megújítása. Jelentés ETV-Erőterv P125050 (PAE jelentéstár)*
- Horváth F. (2017): *Paks II atomerőmű telephely-vizsgálatának tudományos eredményei: Földtani, tektonikai kutatások.* Tudományos előadás. MTA 188. közgyűlése, Budapest, 2017. május 17. https://issuu.com/bodoky/docs/02_horvathf
- MÁFI (1994): *A Paksi Atomerőmű körzetének földtani felépítése. Jelentés a PARt B402M-4-22/94/k sz. szerződés teljesítéséről.* Budapest
- Mecsekérc Zrt. (2016a): *A földtani modellezés összefoglaló és értékelő jelentése.* Pécs
- Mecsekérc Zrt. (2016b): *Földtani Kutatási Program zárójelentése.* Pécs
- MFGI (2016): *Nagyfelbontású 2D szárazföldi reflexiós szeizmikus szelvényezés.* Budapest
- Novothny Á. (2016): *Lumineszcens kormeghatározás a paksi telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok földtani kutatási programjához.* Kézirat. Budapest: ELTE
- OveArup & Partners International (1996): *PHARE Regional Programme Nuclear Safety. Project no. 4.2.1 VVER 440-213 Seismic Hazard Reevaluation. Final Report, Summary, Task 7.* Paks
- Thamóné Bozsó E. – Fűri J. (2016): *OSL kormeghatározási eredmények. (Paks környéki minták V)* Budapest: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet
- Tóth T. (2003): *Folyóvízi szeizmikus mérések.* PhD-értekezés. Budapest: ELTE TTK Geofizikai Tanszék
- Tóth T. – Horváth F. (1997): Neotektonikus vizsgálatok nagyfelbontású szeizmikus szelvényezés-sel. In: Marosi S. – Meskó A. (szerk.): *A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága.* Budapest: Akadémiai Kiadó, 123–152. http://real-eod.mtak.hu/8491/1/a_paksi%20atomeromu_foldrengesbiztonsaga.pdf
- Tóth T. – Horváth F. (1999): Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén! *Földtani Közlöny*, 129, 109–124. http://epa.oszk.hu/01600/01635/00289/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_1999_129_1_109-124.pdf

A PAKSI TELEPHELY SZEIZMICITÁSA ÉS FÖLDRENGÉS-VESZÉLYEZTETETTSÉGE

SEISMICITY AND SEISMIC HAZARD AT THE PAKS NPP SITE

Tóth László¹, Győri Erzsébet², Mónus Péter³, Gribovszki Katalin⁴, Kiszely Márta⁵,
Trosits Dalma⁶, Grencz Gyula⁷

¹egyetemi doktor, ügyvezető igazgató, GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda, Budapest
toth@georisk.hu

²PhD, tudományos főmunkatárs, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet
Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, Budapest
gyori@seismology.hu

³geofizikus MSc, szeizmológus tanácsadó, GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda, Budapest
monus@georisk.hu

⁴PhD, tudományos főmunkatárs, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet
Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, Budapest
gribovszki.katalin@csfk.mta.hu

⁵PhD, tudományos munkatárs, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet
Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, Budapest
marta@seismology.hu

⁶geofizikus MSc, szeizmológus munkatárs, GeoRisk Földrengés Mérnöki Iroda, Budapest
trosits@georisk.hu

⁷PhD, ügyvezető igazgató, Geo-Sentinel Kft., Göd
grencz.gyula@geo-sentinel.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A paksi telephelyen tervezett új atomerőműblokkok szükségessé tették a terület szeizmicitásának és földrengés-veszélyeztetettségének felülvizsgálatát, a húsz–huszonöt éve készült és az akkori elképzeléseket, tudást és adatokat tükröző földrengésveszély-elemzés megújítását. A földrengésveszély kvantitatív leírása a tervezési alapba tartozó mértékadó földrengések jellemzőinek meghatározását és a földrengés által kiváltott egyéb veszélyek, például a talajfolyósodás veszélyének meghatározását jelenti.

A Pannon-medence térségét a szeizmikusan közepesen aktív területek közé soroljuk, ahol a földrengés-aktivitás átmenetet képez a lemezperemi és a lemezen belüli területek között. A területen a rengések túlnyomó többsége 5 magnitúdónál kisebb, ennél erősebb szeizmikus események csak viszonylag ritkán fordulnak elő. A történelmi szeizmicitás és a legújabb mikro-szeizmikus monitorozás eredményének kombinációja lehetővé teszi egy megbízható földrengés-gyakorisági összefüggés meghatározását egészen széles magnitúdótartományban.

A historikus és műszeres források alapján egy átfogó, homogén földrengés-katalógust állítottunk össze a 44°–50° északi szélesség és 13°–28° keleti hosszúság által határolt földrajzi ab-

lakra, amely több mint húszezer $M_w \geq 2,3$ földrengést és azok hipocentrumadatait tartalmazza. A teljes területre meghatározott gyakorisági összefüggés szerint 6 M_w -nál erősebb földrengés 3,8 évenként fordul elő, 5 M_w -nál erősebb évente három, $M_w \geq 4$ magnitúdójú földrengés pedig évente átlagosan 36 keletkezik.

A paleoszeizmológiai következtetések jól korrelálnak a katalógus alapján meghatározott földrengés-gyakorisággal: a szeizmitokra végzett kormeghatározások 1500 év, 400 év és 200 év visszatérési időt eredményeztek az 5,5–6 magnitúdónál nagyobb földrengésekre. A korszerű űrgeodéziai vizsgálati módszerekkel kapott eredmények az utóbbi húsz–huszonöt évre vonatkozóan azt mutatják, hogy a 30 km sugarú területen belüli, lokális, relatív jelenkori horizontális kéregmozgás-sebességek 0,5 mm/év szint alatt vannak.

A komplex földtudományi vizsgálati eredmények alapján konstruált szeizmotektonikai modellek szerint valószínűségi módszerrel határoztuk meg a telephelyen várható földrengésveszélyt különböző frekvenciájú talajmozgásokra. A számítási módszer inherensen tartalmazza a bizonytalanságok meghatározását is. 10^{-4} és 10^{-5} éves gyakoriságokra a csúcsgyorsulás (PGA) várható értékére az alapkőzeten 0,24g, illetve 0,49g adódott.

A laza üledékek módosító hatásának számítása nemlineáris, időtartománybeli teljes és effektív feszültség módszerrel történt. Eszerint a 10^{-5} /év gyakorisági szintnek megfelelő biztonsági földrengés átlagos PGA értéke a felszínen 0,34g. A vertikális gyorsulás meghatározására egyszerűsített összefüggéseket alkalmaztunk, és a vertikális csúcsgyorsulás átlagos értéke 0,36g.

A talajfolyósodás elemzését effektív feszültség módszerrel végeztük. Megállapítottuk, hogy a telephelyen nem zárható ki a talajfolyósodás lokális bekövetkezése, több helyen is számolni kell nagyobb vastagságban történő megfolyósodással, elsősorban az öntéshomok rétegekben. A talajfolyósodás hatásait bevált geotechnikai módszerekkel, például talajstabilizálással és megfelelő alapozással kell elkerülni.

ABSTRACT

The new nuclear power plant units planned at the Paks site required a review of the seismicity and earthquake vulnerability of the area, a renewal of the earthquake hazard analysis prepared 20–25 years ago and reflecting the ideas, knowledge and data at the time. A quantitative description of an earthquake hazard means the determination of the characteristics of the major earthquakes in the design basis and the determination of other earthquake-induced hazards such as the risk of soil liquefaction.

The area of the Pannonian Basin is classified as a seismically moderately active area, where earthquake activity forms a transition between the plate boundary and intra-plate areas. The vast majority of earthquakes in the area occur in the $M < 5$ magnitude range, stronger seismic events are relatively rare. The combination of historical seismicity and the results of the latest microseismic monitoring makes it possible to determine a reliable earthquake recurrence relationship over a fairly wide magnitude range.

Based on historical and instrumental sources, we have compiled a comprehensive, homogeneous earthquake catalogue for the geographic window bounded by 44° – 50° northern latitude and 13° – 28° eastern longitude, which contains more than 20000 $M_w \geq 2.3$ earthquakes and their hypocentre data. According to the earthquake magnitude - frequency relationship determined for the whole area, earthquakes $M_w > 6$ occur every 3.8 years, $M_w > 5$ earthquakes three times per year, $M_w > 4$ earthquakes occur on average thirty-six a year.

Paleo-seismological conclusions correlate well with the earthquake frequency determined from the catalogue: age determinations for sedimentation structures caused by earthquakes (seismites) resulted in return times of 1,500 years, 400 years, and 200 years for earthquakes of magnitude $M > 5.5$ –6. The results obtained by modern space geodetic survey methods for the last 20–25 years show that there are no horizontal displacements in the 30 km radius area exceeding the speed of 0.5 mm/year.

Earthquake hazards for ground motions of different frequencies have been determined at the site using a probabilistic method (PSHA) according to the seismotectonic models constructed on the basis of the complex geological research program results. The calculation method also inherently includes the determination of uncertainties. For frequencies of 10^{-4} and 10^{-5} years, the expected value of PGA on the bedrock was 0.24g and 0.49g, respectively.

The modifying effect of loose sediments was calculated by the nonlinear, time-domain total and effective stress method. According to site effect calculation, the average PGA value of a safety earthquake corresponding to the frequency level of 10^{-5} /year is 0.34g on the surface. To determine the vertical acceleration, we used simplified V/H ratio relationships, according to which the average value of the vertical peak acceleration was 0.36g.

Analysis of soil liquefaction was performed by the effective stress method. We found that the local occurrence of soil liquefaction cannot be ruled out at the site; liquefaction to a larger thickness is to be expected in several places, which may occur mainly in sandy layers. The effects of soil liquefaction shall be avoided by proven geotechnical methods, like soil stabilization and/or by application of adequate foundation.

Kulcsszavak: Paks II., Földtani Kutatási Program (FKP), földrengés, földrengésveszély, talajfolyósodás

Keywords: Paks II, Geological Research Programme (FKP), earthquake, seismic hazard, liquefaction

BEVEZETÉS

Az atomerőmű telephelyét veszélyeztető külső tényezők közül kiemelkedő fontosságú a földrengés és az annak következtében kialakuló másodlagos hatások (például: szökőár, lejtőcsuszamlás, talajfolyósodás). A földrengés következtében előforduló talajrezgés azonban nem telephely-alkalmassági kritérium, hanem tervezési paraméter, amelyre az atomerőművet tervezni kell. Talajfolyósodásra nem lehet tervezni, ezért a talajfolyósodás a telephelyet alkalmatlanná teszi, hacsak nincsen olyan műszaki megoldás, amely magát a talajfolyósodást küszöböli ki.

Magyarország a Pannon-medence középső részén fekszik, a szeizmikusan igen aktív mediterrán térség és a szinte teljesen aszeizmikus Kelet-Európai-tábla között. Hazánk területe szeizmikus szempontból közepes-alacsony aktivitású. Kőzetlemezhatároktól távol esik, így földrengés-aktivitása a lemezen belüli területekre jellemző.

A historikus dokumentumok és a korszerű műszeres megfigyelések alapján összeállított földrengés-katalógus és epicentrumtérkép szerint a rengések eloszlása meglehetősen diffúz, a rengések – néhány kivételtől eltekintve – bizonytalanul köthetők ismert törésvonalakhoz.

Az atomerőmű-telephely szeizmológiai vizsgálatának és értékelésének célja a telephely jellemzőinek azonosítása, a telephelyi veszélyek vizsgálata és értékelése, a tervezési alapba tartozó, a telephelyre és a nukleáris létesítményre vonatkozó adatok meghatározása, azaz:

- a földrengésveszély kvantitatív leírása;
- a tervezési alapba tartozó mértékadó földrengések jellemzőinek meghatározása;
- a földrengés által kiváltott egyéb veszélyek, például a talajfolyósodás veszélyének meghatározása.

A paksi telephely sajátossága, hogy ott már üzemel egy négyblokkos atomerőmű, a telephelyről rendelkezésre állnak korábbi adatok. Ezek elsősorban az 1986–1994 között zajlott telephelyvizsgálat során mért adatok, illetve az azok alapján végzett kutatások eredményei. Az azóta eltelt idő alatt sokat fejlődtek, jelentősen változtak a tudományos ismeretek, elméletek, módszerek, többek között épp a paksi telephelyvizsgálat hazai szakmai fejlődést is inspiráló hatása következtében. A tervezett új blokkok telephely-engedélyezése kapcsán azonban szükség volt egy integrált felülvizsgálatra, a húsz–huszonöt éve készült és az akkori elképzeléseket, tudást és adatokat tükröző földrengésveszély-elemzés megújítására, amely a mai elvárások szerinti legteljesebb adatbázisra támaszkodik.

A nukleáris biztonsági szabályok (NBSZ) előírják, hogy a szeizmotektonikai jellemzők és a speciális telephelyi viszonyok figyelembevételével meg kell határozni a biztonsági földrengés (értsd: az atomerőmű biztonságát még nem veszélyeztető legerősebb földrengés) jellemzőit, így különösen a maximális talajgyorsulást, válaszspektrumot és az erős mozgások időtartamát. A biztonsági földrengés jellemzőinek meghatározására ajánlott a valószínűségi módszer, amelynek keretében az adatok és a módszer bizonytalanságát is figyelembe kell venni. A valószínűségi módszer (Probabilistic Seismic Hazard Assessment, PSHA) előnye, hogy jól alkalmazható az olyan mérsékelt, diffúz szeizmicitású területekre, mint Magyarország, illetve a Pannon-medence, és a földrengésveszély értékelésében a bizonytalanságokat is kezeli.

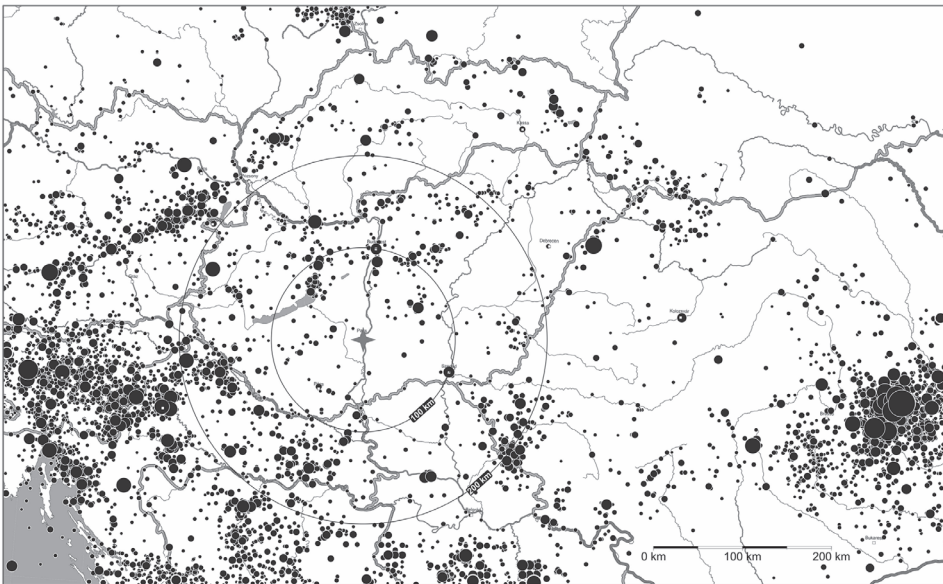
A PSHA végeredménye az alapkövetési veszélyeztetettségi görbe, amely azt mutatja meg, hogy az adott földrengéshatás (például spektrális gyorsulás) előfordulásának mekkora az éves gyakorisága. A veszélyeztetettségi görbe meghatározható a maximális vízszintes gyorsulásra és bármely spektrális amplitúdóra.

AZ INPUT ADATOK ÖSSZEGYŰJTÉSE

Regionális szeizmicitás

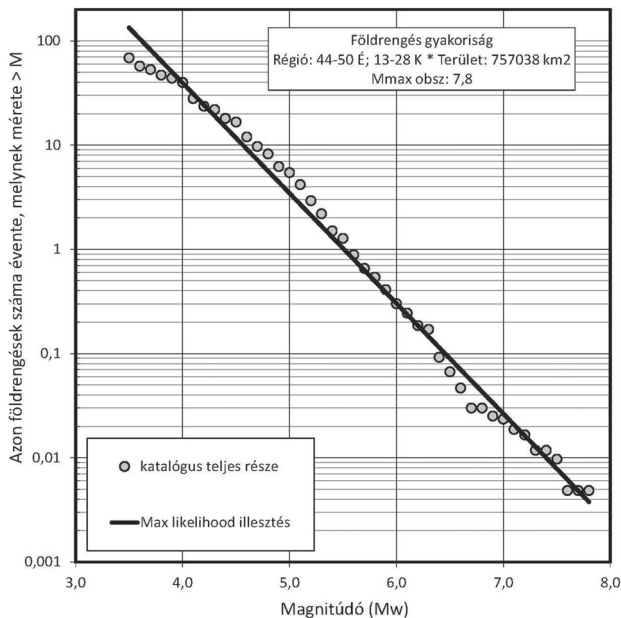
Hazánk nagytektonikai környezetében, a Pannon-medencében és a környező hegységekben napjainkban is aktív tektonikai folyamatok zajlanak, emiatt bizonyos tektonikai egységek egymáshoz képest törésvonalak mentén elcsúszhatnak. Ezeket a mozgásokat gyakran kíséri földrengés kipattanása. A területen a rengések túlnyomó többsége az $M < 5$ magnitúdótartományba sorolható, ennél erősebb szeizmikus események csak viszonylag ritkán és térben lokalizáltan fordulnak elő.

A Pannon-medence és környéke szeizmicitását ábrázoló térképen (1. ábra) jól látható, hogy a legintenzívebben az Adriai-tenger peremvidékei deformálódnak. A Déli-Alpok területén az északi irányú térrövidülés az uralkodó. A Dinári-hegységben jobbos eltolódásokat észleltek transzpressziós (összenyomódásos) jelleggel, az aktív kompresszió itt is szembeutó. Ezek alapján egyetértés mutatkozik abban, hogy a megfigyelt deformációs képért elsősorban az Adriai-mikrolemeznek az óramutató járásával ellentétes forgása és az Európához képest északias mozgása tehető felelőssé. Ez az észak felé sodródó, viszonylag merev, kontinentális kérgű blokk folyamatos nyomást fejt ki mind az Alpok, mind pedig a Dinári-dák láncolatára (Tóth et al., 2002).



1. ábra. A Pannon-medence térségének szeizmicitása. A fekete körök a földrengések epicentrumát mutatják, a körök nagysága a magnitúdóval arányos. A csillag a telephelyet mutatja, a 100 és 200 km sugarú kör a tájékozódást segíti (mindegyik ábra a szerzők saját szerkesztése)

A Déli-Alpokhoz és a Délkeleti-Kárpátokhoz viszonyítva a Pannon-medence belső (hazai) területein gyengébb a tektonikai aktivitás. A szeizmicitás viszont egyértelműen mutatja, hogy a Pannon-medencében a Kárpátok orogén ívéhez hasonlóan, az aszeizmikusnak tekinthető Kelet-Európai-táblához viszonyítva nagyságrendekkel nagyobb energiák szabadulnak fel a földrengések során. Ez alapján a Pannon-medencét feltétlenül a tektonikusan aktív területek közé kell sorolnunk. A mérsékelt aktivitás miatt sokkal nehezebb precíz szeizmotektonikai modelleket kidolgozni – így például aktív vetőket kijelölni –, mint a medence déli peremvidékein. A nehézségek ellenére lehetséges néhány szeizmoaktív zóna behatárolása, amelyek a nyírási övek korábbi, főképp neogén szerkezeti elemeinek feleltethetők meg. Ezek reaktiválódásához köthető a magyarországi földrengések zöme. Vannak kivételek is, ahol rendkívül fiatal törésvonalakhoz kapcsolódó szeizmoaktív zónák körvonalazhatók (Bus et al., 2009). Jó példa erre a Komárom–Móri-árok zónájában tapasztalható földrengés-tevékenység. A Pannon-medence térségében található néhány merevebb blokk egymáshoz képest szeizmoaktív vetők mentén csúszik el. Ezen törések többsége már a Pannon-medence korábbi története során is aktív volt (2. ábra). Példa erre a Keleti-Alpokból induló, a Bécsi-medencét déli oldalról határoló és nagyjából Zsolnánál végződő Mur–Mürz–Žilina szeizmikus zóna. Délen szintén aktívnak mutatkozik a Periadriai- és Zág-ráb-vonal, amelynek folytatása valószínűleg a Kapos-vonalban keresendő. Ez a törés tovább vizsgálható Paks környékétől egészen Kecskemétiig.



2. ábra. Földrengés-gyakoriság a teljes Pannon-régióban

A magyarországi szeizmológiai hálózat detektálási és helymeghatározási képessége az ország nagy részén 1995-ig nem ment az érezhető földrengések szintje alá. Ezért a Pannon-medence térségének szeizmiticitásáról alkotott kép nagyrészt a történelmi rengések epicentrumának eloszlásán alapszik. A régi rengésekről csak makroszeizmikus adatok állnak rendelkezésre, amelyek minősége térben és időben nagyon heterogén. Mivel mindig településekhez kötött adatokról van szó, amelyekben tükröződik az adott kor településszerkezete és településsűrűsége is, a makroszeizmikus epicentrumok meghatározása igen bizonytalan. Ez az értelmezésben könnyen oda vezethet, hogy az ismert szeizmiticitást nem lehetséges ismert tektonikai vonalakkal kapcsolatba hozni. Másfelől pedig minél távolabbi múltba tekintünk vissza, annál hiányosabb a történelmi rengések adatbázisa.

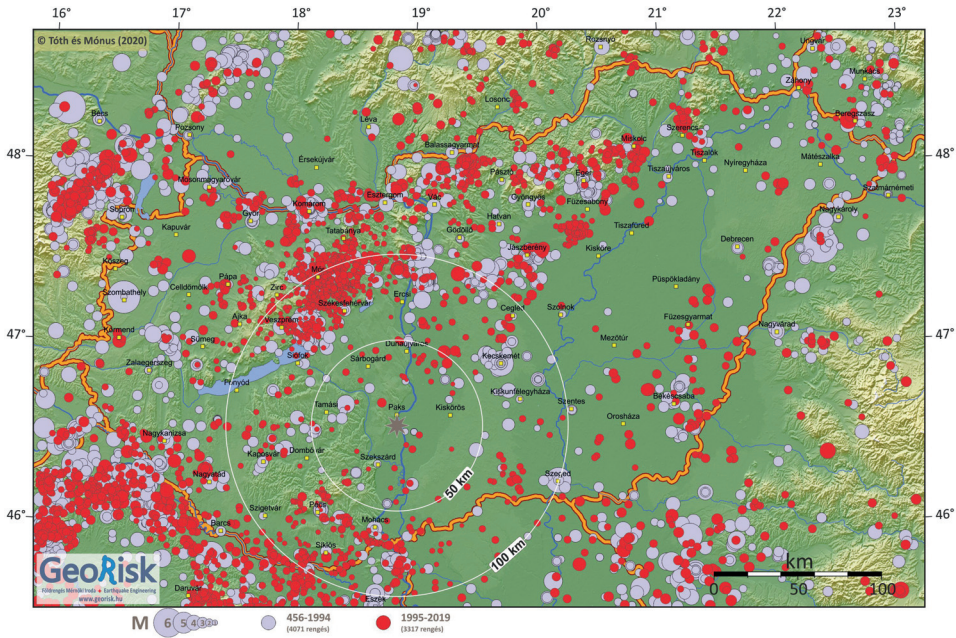
A rendelkezésünkre álló feljegyzések alapján a legkorábbi földrengés 456-ból ismert, amikor egy erős rengés rázta meg Savariát, a mai Szombathely környékét, a római birodalom egyik központját. A Magyarország mai területén keletkezett legnagyobb földrengés az 1763-as komáromi, amelynek epicentrális intenzitása elérte a 9-es fokozatot az európai makroszeizmikus skála (EMS, a Mercalli-skála továbbfejlesztett változata) szerint, M_w magnitúdója (a Richter-skálán a földrengés által okozott törés fizikai méretéből meghatározott magnitúdó, momentum magnitúdó) pedig kb. 6,5 volt.

Lokális szeizmiticitás

A földrengésveszély meghatározása és a szeizmotektonikai modellek pontosítása szempontjából az utóbbi évtizedek legnagyobb fejlődését a mikroszeizmikus megfigyelőhálózatok kiépítése jelentette. A lokális hálózatok működésének eredménye összesen több mint háromezer recens rengés, illetve ezek hipocentrumának pontos adatai (3. ábra). Megállapítható, hogy a mai rengések nagy része eddig is ismert zónákhoz, aktív törési övekhez, azaz tektonikai zónákhoz köthető (például Mur–Mürz–Žilina-vonal, Berhida–Komárom szeizmikus zóna, Kapos-vonal, Dunaharaszti és Kecskemét környéke). A szeizmogén kéreg vastagsága legfeljebb 20 km, a rengések több mint fele a 10–15 km-es mélységtartományhoz kötődik.

A történelmi szeizmiticitás ismerete és a mikroszeizmikus monitorozás eredményének kombinációja lehetővé teszi egy megbízható földrengés-gyakorisági összefüggés meghatározását egészen széles magnitúdótartományban.

Paks környezetének szeizmikus aktivitása határozottan alacsonyabb, mint a magyarországi átlag. A közel nyolcezer magyarországi eseményt tartalmazó földrengés-adatbázisban mindössze ötven olyan rengés található, amelynek epicentruma nem esett 50 km-nél távolabb a telephelytől. Ezek közül négy rengés magnitúdója volt nagyobb, mint 3,5, ezek már kisebb-nagyobb épületkárokat is okozhattak az epicentrum környékén.



3. ábra. Historikus és recens szeizmitás Magyarországon. Az 1995–2019 közötti időszakban 3317 földrengést regisztráltunk. A csillag a telephelyet mutatja, az 50 és 100 km sugarú kör a tájékozódást segíti

Földrengés-katalógus

A történelmi idők és a közelmúlt eseményeiből összeállított földrengés-katalógus a szeizmikus veszélyeztettség becslésének legfontosabb, meghatározó jelentőségű bemenő adata. Ennek alapján történik az egyes forrászónákon belüli gyakoriság és a várható legnagyobb magnitúdó meghatározása.

A katalógus négy, időben egymást követő, néha átfedő időszak rengésparamétereinek listájából tehető össze:

- történelmi földrengések,
- korai műszeres megfigyelések,
- lokális mikroszeizmikus monitoring és
- paleoszeizmológiai információk.

A historikus és műszeres részkatalógusok és források alapján egy átfogó kompozit földrengés-katalógust állítottunk össze a 44°–50° északi szélesség és 13°–28° keleti hosszúság által határolt földrajzi ablakra. A katalógus 1500 és 2012 között a teljes területre, 2014-ig pedig a Magyarországot magába foglaló kisebb földrajzi ablakra (45,5°–49° E; 16°–23° K) tartalmazza az $M_w \geq 2,3$

($M_L \geq 2,0$ lokális magnitúdójú) összes ismert földrengést (M_W a momentummagnitúdó, M_L lokális, Richter-féle magnitúdó, a kettő közötti átszámításra használt képlet: $M_W = 0,73 M_L + 0,86$).

A küszöbmagnitúdónál kisebb rengések nem szerepelnek a katalógusban. Így a katalógus 21 044 földrengést és azok minden ismert hipocentrumadatát tartalmazza.

Az 1500–1994 közötti időszakra lényegében a historikus források, illetve makroszeizmikus adatok képezik a katalógus alapját. A rengések nagyságát elsősorban az epicentrális intenzitás írja le, a településekhez kötött epicentrum bizonytalansága jellemzően nagy, esetenként 5–50 km. 1995–2014 között a Magyarországot magába foglaló földrajzi ablakra az adatok elsődleges forrása a *Magyarországi földrengések évkönyve* (Tóth et al., 1996–2016). Ezen adatok (555 földrengés) esetében az epicentrum pontossága már sokkal jobb, jellemzően 1–5 km, a rengések nagysága pedig Richter-féle lokális magnitúdóban (M_L) van megadva.

A Pannon-régió Magyarországon kívüli területére 1996–2000 között az *International Seismological Centre* a legteljesebb forrás (URL1), 1853 $M_W \geq 2,3$ földrengést tartalmaz. A 2001–2003 időszakra a NEIC (*National Earthquake Information Center*, USGS) katalógusa a legteljesebb (URL2), 669 olyan földrengést tartalmaz, amelyre $M_W \geq 2,3$. 2004–2012 közöttre az EMSC (*European-Mediterranean Seismological Centre*) katalógus (URL3) tartalmazza a legtöbb, 3227 $M_W \geq 2,3$ földrengést. Az ISC *Global Earthquake Model Foundation* (GEM) katalógus (URL4), illetve az abban szereplő rengéssparaméterek prioritást kaptak minden olyan esetben, amikor valamely rengés abban fellelhető volt.

A különböző forrásokból összefésült katalógust homogenizáltuk, minden eseményére meghatároztuk az M_W magnitúdót. A 20 760 földrengést tartalmazó teljes katalógusban 1325 klaszter (összesen 5106 elő- és utórengés) volt azonosítható.

A teljes Pannon-régió 757 038 km² területére (44°–50° É, 13°–28° K) vonatkoztatott földrengés-gyakoriságra a $\log N = 5,84 - 1,07 M_W$ összefüggés adódott, ahol N az M_W -nél erősebb földrengések éves száma.

Ez azt jelenti, hogy a teljes területen $M_W > 6$ földrengés 3,8 évenként fordul elő; $M_W > 5$ földrengés évente három; $M_W > 4$ földrengés pedig évente 36 keletkezik átlagosan.

Paleoszeizmológiai vizsgálatok Paks tágabb környezetében

Sértetlen, álló cseppkövek vizsgálata, ezen cseppkövek időben folyamatos sértetlensége bizonyítja az olyan nagy erejű földrengések hiányát, amelyek már elég erősek lettek volna ahhoz, hogy eltörjék ezeket a cseppköveket. Hat cseppkőbarlangban végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy minden esetben alacsonyabb kritikus horizontális talajgyorsulás-értékeket sikerült megállapítani a sérülékeny

álló cseppkövek vizsgálatával, mint a földrengésveszély-modellezés eredményei (Gribovszki et al., 2017).

A kutatási program során a kvarter üledékekben megfigyelhető paleoszeizmológiai jelenségeket is vizsgáltuk. Vetőaktivításra utaló, üledékben megfigyelhető szerkezetek lehetnek a szeizmiték – földrengés hatására létrejött üledékszerkezetek –, valamint a törések. A terepi észlelések során több felszíni feltárásban figyeltek meg szeizmitként értelmezhető üledékszerkezeteket. A projekt során mélyült fúrásokban szeizmikus eredetűnek értelmezett deformációt egy helyen dokumentáltak, a Pa-21-B sekélyfúrásban 29,8 m mélységben. A telephely közelében mélyített kutatóárok 1,9–3 m mélységben tárt fel szeizmotektonikus szerkezeteket, plasztikus rétegdeformációkat.

A paleoszeizmológiai jelenségek kormeghatározása alapján a földrengésekre 1500 év, 400 év és 200 év visszatérési időt határoztak meg. Figyelembe véve, hogy a jelenségeket okozó rengések legalább 5,5–6 magnitúdójú események lehetnek, a paleoszeizmológiai következtetések jól korrelálnak a katalógus alapján meghatározott földrengés-gyakorisággal, megerősítik azt.

Űrgeodéziai vizsgálatok

Az űrgeodézia GNSS (Global Navigation Satellite System) vizsgálati módszerével kapott eredményei az utóbbi húsz–huszonöt évre vonatkozóan a paksi telephely környezetében azt mutatják, hogy a 30 km sugarú űrgeodéziai vizsgálati területen belüli, lokális, relatív jelenkori horizontális kéregmozgás-sebességek 0,5 mm/év szint alatt vannak. A nagyobb arányú űrgeodéziai kéregmozgás-vizsgálataink pedig egyenletes, diffúz deformációeloszlást feltételezve ugyanerre a telephely-vizsgálati területre 0,2–0,4 mm/év sebességű É–D és K–Ny-i kompressziót jeleznek. A vizsgálati terület vertikális felszínmozgásai 1 mm/év hibahatár alattiak, jelenleg csak egy-két kivétel van, ahol az észlelt mozgás tranzienst, kompaktációs, technogén eredetű.

A FÖLDRENGÉSVESZÉLY MEGHATÁROZÁSA

A komplex földrengésveszély-elemzés három lépésből áll:

1. A földrengésveszély meghatározása az alapközetben (PSHA).
2. Helyi módosító hatás meghatározása; a földrengésveszély meghatározása a felszínen.
3. A földrengések következtében kialakuló másodlagos hatások, esetünkben a talajfolyósodás veszélyének meghatározása.

A földrengésveszély meghatározása az alapkőzeten

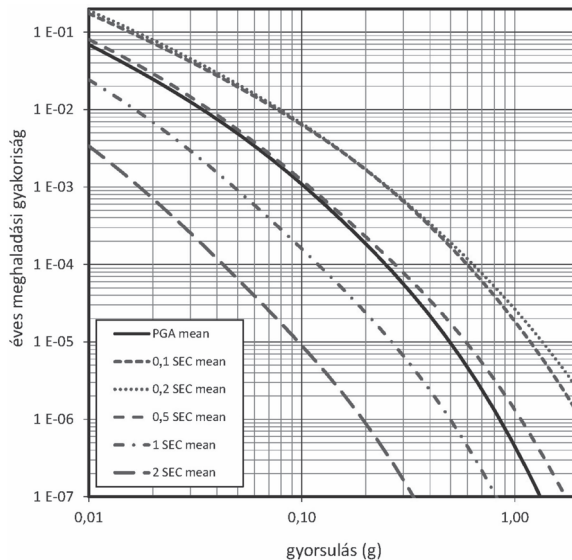
A paksi telephelyre vonatkozó valószínűségi földrengésveszély-számítás teljes megújítására került sor az FKP (Földtudományi Kutatási Program) keretében.

A földrengésveszély meghatározásának legfontosabb eredménye a veszélyeztetettségi görbe, amely a különböző mértékű talajmozgás éves meghaladási gyakoriságát adja meg. A veszélyeztetettségi görbét különböző frekvenciájú talajmozgásokra (PGA 0,05, 0,075, 0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,75, 1 és 2 másodperces periódusokon) határoztuk meg, a frekvenciatartományt logaritmikusan közelítően egyenközűen mintavételezve.

A veszélyeztetettségi görbéket a 0,01g–2g gyorsulástartományban 30 gyorsulásértékre számítottuk, ez közelítőleg megfelel a 10^{-1} – 10^{-7} /év gyakoriságtartománynak a periódustól függően.

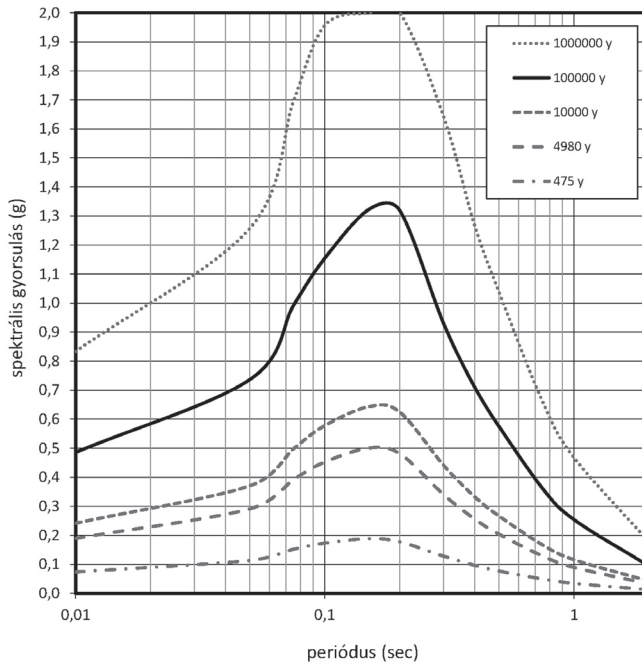
A számítási módszer inherensen tartalmazza a bizonytalanságok meghatározását is. Az eredményeket a súlyozott átlag (mean) értéke mellett az 5%, 16%, 50% (medián), 84% és 95% konfidenciaszinten is megjelenítettük.

A logikai fa összes ágán, illetve a véletlenszerűségből fakadó bizonytalanságok integrálásával kapott PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értékét (Mean Hazard Curves) a 4. ábra mutatja. E görbesereg megadja a talajgyorsulás várható értékét az alapkőzeten a 10^{-1} – 10^{-7} /év gyakoriságtartományban.



4. ábra. A PGA és különböző periódusra vonatkozó veszélyeztetettségi görbék várható értéke (Mean Hazard Curves) a területen

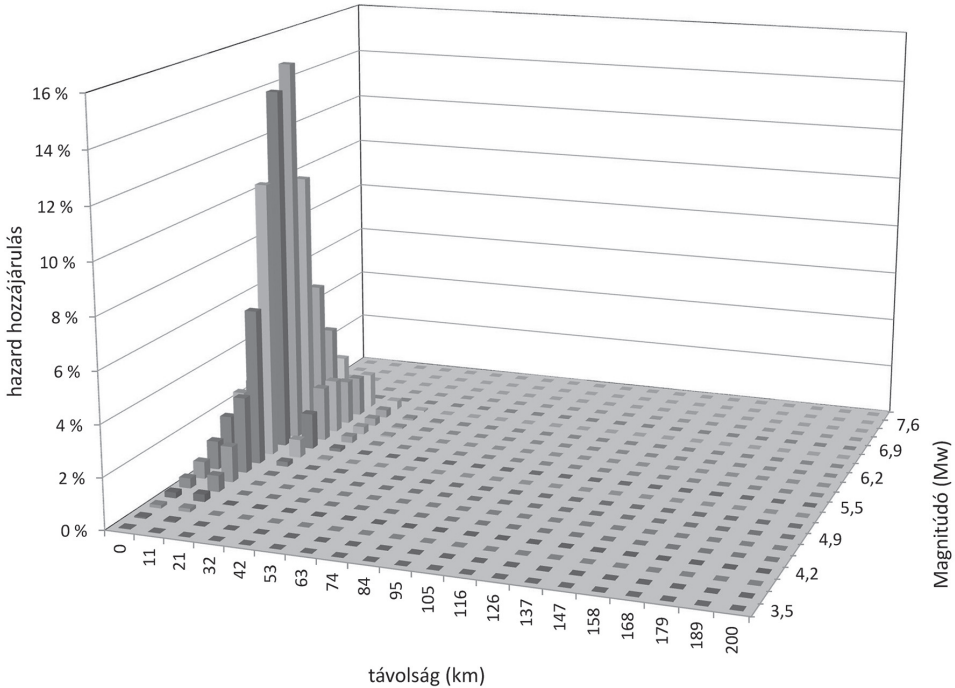
Az azonos éves gyakoriság mellett számított különböző periódusú gyorsulások adják az alapközeti UHRS-t (Uniform Hazard Response Spectrum, egyenlő veszélyeztetettségre vonatkozó, telephely-specifikus válaszspektrum), amelyet $1/475$, $1/4980$, 10^{-4} , 10^{-5} és 10^{-6} éves gyakoriságokra határoztunk meg (5. ábra). 10^{-4} és 10^{-5} éves gyakoriságokra a PGA várható értéke az alapközetben $0,24g$, illetve $0,49g$.



5. ábra. $10^{-6}/\text{év}$, $10^{-5}/\text{év}$, $10^{-4}/\text{év}$, $1/4980/\text{év}$ és $1/475/\text{év}$ gyakoriságú spektrális gyorsulások várható értéke (UHRS mean) a területen

A vizsgálat keretében elvégeztük a veszélyeztetettségi eredmények deaggregációját is, azaz annak meghatározását, hogy a végeredmény kialakításában milyen hatása van a különböző magnitúdójú és távolságú rengéseknek. Az M–R (M magnitúdó és R távolság) deaggregációt 20 magnitúdó- és 20 távolságintervallumra számítottuk a veszélyeztetettségi görbe 30 gyorsulásértékére, mind a 12 periódus esetében. A deaggregáció eredményét minden periódusra egy $20 \times 20 \times 30$ elemű háromdimenziós mátrix jeleníti meg.

Példaként a 6. ábra a $10^{-5}/\text{év}$ gyakoriságú PGA M–R szerinti deaggregációját mutatja. Látható, hogy a veszélyeztetettség kialakításában legjelentősebb szerepet a közeli (5–20 km) és 5,5–6,0 magnitúdójú rengések játsszák.



6. ábra. A 10^{-5} /év gyakoriságú veszélyeztetettség távolság és magnitúdó szerinti deaggregációja a telephelyen

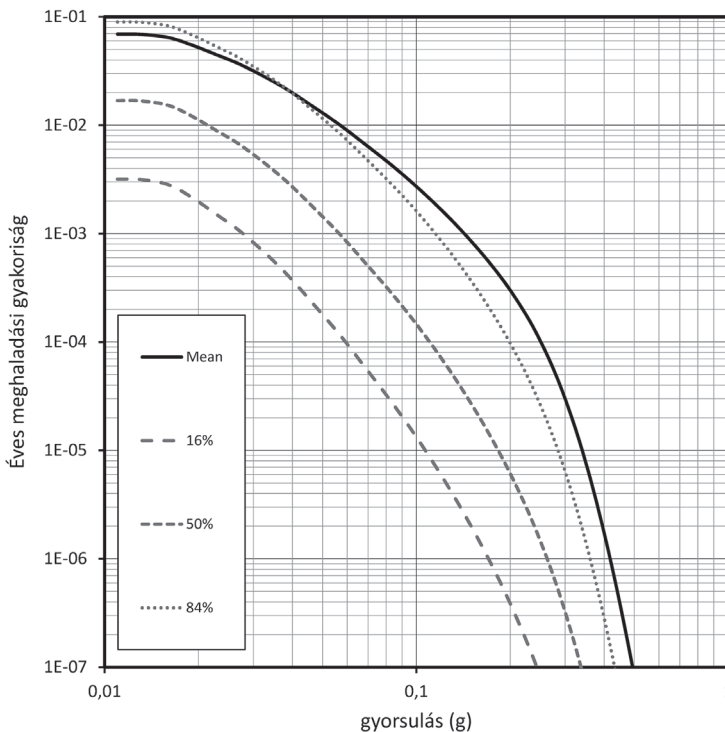
A felszín közelében található lazább üledékek az alapközethez képest jelentősen módosíthatják a földrengések által okozott rezgéseket. Általában a felszínen a gyorsulások növekedése figyelhető meg, azonban a kis valószínűséggel bekövetkező nagy deformációknál az üledékek merevsége lecsökken, csillapítása megnő. Ekkor a felszínen tapasztalható gyorsulás kisebb lesz, mint amekkora a merevebb alapközeten tapasztalható.

A Paks II. telephely a működő 1–4. blokkoktól északra, a Duna pleisztocén folyóvízi teraszán helyezkedik el. Anyaga nagyjából folyóvízi homok és kavics, amelynek felszínét futóhomok lepel borítja. Jelenlegi felszíne közelítőleg sík, a felső néhány méteren található feltöltés hatására. A negyedkori, nyugodt holocén és pleisztocén rétegek eróziós diszkordanciával települnek a pannon rétegekre, amelynek felszíne a terepszint alatt 21–28 m mélységben található. A telephelyen elvégzett vizsgálatok szerint az alluviális terasz anyagában földrengés hatására megfolyósodásra hajlamos, homokos üledékek találhatók.

A telephelyen a teljes negyedidőszaki rétegsort és a felső pannon üledékek lazább felső részét magában foglaló, felső 45 m-ben található képződmények módosító hatását vizsgáltuk. Mivel a negyedidőszaki homokos üledékek egy

része talajfolyósodásra is hajlamos, ezért a számításokat nemlineáris effektív feszültség módszerrel végeztük, amely a pórusvíznyomás növekedésének hatását is figyelembe veszi (Győri et al., 2011). A rétegsor és a gerjesztés változékonyságát Monte-Carlo-modellezéssel, a szeizmicitásbeli véletlenszerűségeket Paolo Bazzurro és C. Allin Cornell (2004) valószínűségi módszerével vettük figyelembe.

A szabadfelszíni gyorsulások veszélyeztetettségi görbéit a 10^{-2} – 10^{-7} /év gyakorisági tartományban határoztuk meg, különböző konfidenciaszinteken (16%, 50%, 84%, súlyozott átlag). A PGA veszélyeztetettségi görbét a 7. ábra mutatja. A PGA mellett a veszélyeztetettséget 0,05 s és 2 s között még további 11 periódusidőre is meghatároztuk.



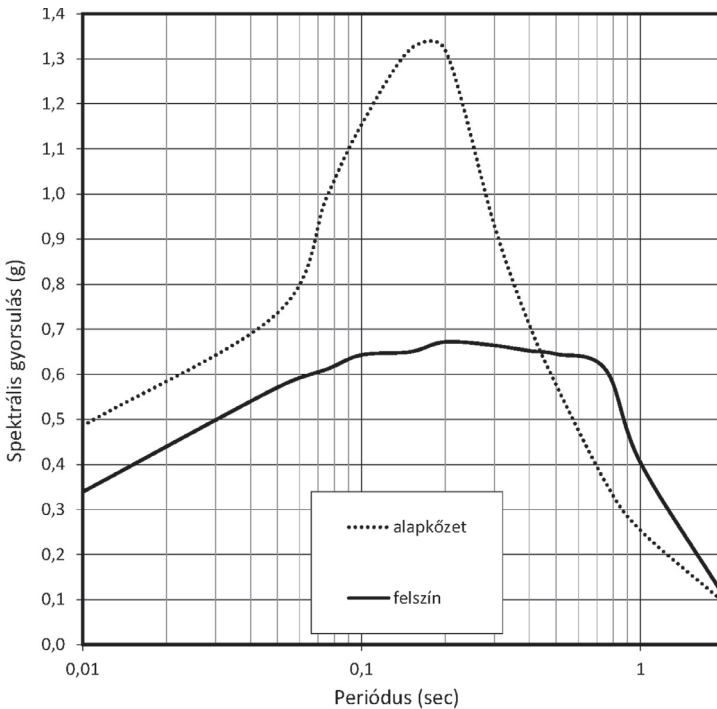
7. ábra. Különböző konfidenciaszinteken számított PGA veszélyeztetettségi görbék a felszínre vonatkozóan

Az $1/475$, $1/4980$, 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} és 10^{-7} /év meghaladási valószínűségekre a PGA átlagos (mean) értékei az 1. táblázatban találhatóak. A 10^{-5} /év gyakorisági szintnek megfelelő biztonsági földrengés átlagos PGA értéke a felszínen 0,34g.

1. táblázat. A Paks II. területen különböző éves meghaladási gyakoriságra számított PGA átlagos értéke a felszínen

Éves meghaladási gyakoriság	1/475	1/4980	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
PGA (mean)	0,11g	0,22g	0,25g	0,34g	0,42g	0,49g

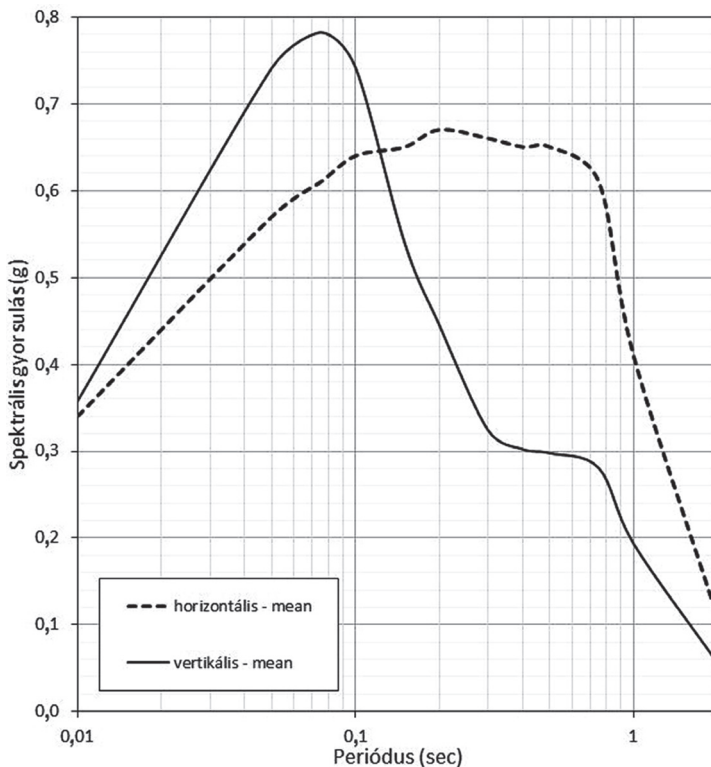
A felszíni, különböző frekvenciájú mozgásokra vonatkozó veszélyeztetettségi görbe (UHRS) közelítőleg 0,43 s-ig az alapközi UHRS-görbe alatt, hosszabb periódusoknál felette halad, vagyis a magasabb frekvenciákat a rétegsor már csillapítja, nagyítás csak az ennél hosszabb periódusoknál figyelhető meg (8. ábra).



8. ábra. A 10^{-5} /év meghaladási valószínűségekre számított alapközi és felszíni UHRS-átlaggörbéi

A biztonsági földrengésnek megfelelő, 10^{-5} /év meghaladási valószínűségnél a vertikális UHRS meghatározása a vízszintes UHRS-ből kiindulva, az utóbbi években kifejlesztett, frekvenciafüggő V/H-arány (vertikális és horizontális gyorsulások aránya) összefüggések felhasználásával történt. A V/H-arányok számí-

tásához a 6. ábra deaggregációs mátrixából következő, a telephelyet leginkább veszélyeztető földrengések legkonzervatívabb kombinációját, vagyis egy 5 km távolságban kipattanó, 6-os magnitúdójú földrengést tételeztünk fel. Az így kapott átlag vertikális válaszspektrumot tanulmányozva (9. ábra) látható, hogy kis periódusidőknél, vagyis nagy frekvenciáknál a függőleges gyorsulás nagyobb a vízszintesnél, majd értéke gyorsan lecsökken, és hosszabb periódusoknál közelítőleg fele a vízszintes gyorsulásoknak. A vertikális csúcsgyorsulás átlagos értéke 0,36g, ami 5%-kal nagyobb, mint a vízszintes PGA-érték.



9. ábra. A 10^{-5} /év meghaladási valószínűsége számított felszíni horizontális és vertikális UHRS (mean)

Az elemzés során vizsgáltuk azt is, hogyan változik meg az erős rezgések időtartama a felszínközeli rétegeken való áthaladás során. Megállapítottuk, hogy bár a maximális gyorsulás (PGA) a felszínen a hiszterézises csillapítás és pórusnyomás növekedés miatt lecsökkent, a nagyobb periódusok erősítése miatt a rezgések szignifikáns időtartama közel 40%-kal megnőtt.

A talajfolyósodás veszélyének meghatározása

A talajfolyósodás veszélyének értékelése során arra kellett választ adni, hogy a biztonsági földrengés 10^{-5} /év valószínűségi szintjénél bekövetkezhet-e globális, a teljes telephelyet érintő, vagy lokális, egyes korlátozott rétegeket érintő talajfolyósodás. Az elemzés a már előzőleg kiszámított, alapközeti és felszíni veszélyeztetettségi eredmények, valamint a terület geotechnikai modelljén alapult, és többféle, valószínűségi és determinisztikus módszert egyaránt alkalmaztunk.

Valószínűségi módszerrel megállapítottuk, hogy a biztonsági földrengéshez tartozó 0,34g felszíni gyorsulásnál a közeli, közelítőleg 5–20 km-es epicentrális távolságban kipattanó, 5,8–6 magnitúdójú földrengések járulnak hozzá legnagyobb arányban a talajfolyósodás kialakulásához. Ennek alapján a biztonsági földrengésnek megfelelő valószínűségi szinten a talajfolyósodás-elemzés a konzervatívabb, 6-os magnitúdójú földrengés feltételezésével történt.

A talajfolyósodás globális értékelését penetrációs szondázásokat (Standard Penetrometer Test, SPT és Core Penetrometer Test, CPT) felhasználó, viselkedésalapú (performance based) módszerrel, valamint numerikus, nemlineáris effektív feszültség módszerrel is elvégeztük.

A numerikus számításokhoz meghatároztuk a telephelyet reprezentáló átlagos rétegsort, a laterális változékonyságot és a talajvízszint változásait pedig Monte-Carlo-modellezéssel vettük számításba. Ennek során figyelembe vettük az egyes talajjellemzők egymással való korrelációját, és eredményként minden paraméterre egy eloszlásfüggvényt kaptunk.

A számítások alapján néhány esetben igen jelentős nyírási deformációkat figyeltünk meg a 10–20 m közötti mélységtartományban. Ezeknek a mélysége egybeesett azzal a tartománnyal, ahol nagy túlnyomások alakultak ki a pórúsvízben, és elérték az effektív vertikális nyomás értékét, vagyis a talaj megfolyósodott. Talajfolyósodás csak néhány kedvezőtlen realizációnál következett be, a realizációk többségénél nem volt jellemző. Ugyanakkor a medián, illetve átlaggörbékről is jelentős, 100 kPa pórúsvíz-túlnyomást olvastunk le, ami a szilárdság csökkenését eredményezi. Amely realizációknál bekövetkezett a folyósodás, ott ez főként a 10–16 méteres mélységben jelentkezett, de időnként előfordult kisebb és nagyobb mélységekben is.

A talajfolyósodás lokális értékelése szintén a biztonsági földrengésnek megfelelő valószínűségi szinten, 0,34g felszíni gyorsulás feltételezése mellett, átlagos talajvízszintre, CPT-szondázáson alapuló módszerrel történt. A vizsgálathoz felhasználtuk a telephelyen elvégzett összes (47) CPT-szondázás eredményét. A magnitúdóra 6-os értéket, a talajvízszintre átlagos, 8,5 m-es mélységet feltételeztünk. A vizsgálat 25 m mélységig, a pleisztocén réteg aljáig történt, mivel a pannon rétegek nagy mélységük, összetételük, nagy tömörségük és némely esetben cementáltságuk miatt kizárhatók a megfolyósodásveszélyes rétegek sorából.

Az amerikai nukleáris szabvány alapján a megfolyósodás bekövetkezésével ott kell számolni, ahol a biztonsági tényező (a folyósodással szembeni ellenállás és a gerjesztés aránya) értéke nem éri el az 1,1-et. 1,1-es és 1,4-es biztonsági tényező között jelentősen emelkedhet a pórúsvíznyomás, ami a szilárdság csökkenését vonhatja maga után. A biztonsági tényező 1,4 feletti értékénél elhanyagolható a pórúsvíznyomás-emelkedés.

A számítások alapján a biztonsági tényező nagyobb vastagságban szinte az összes CPT-szondázásnál 1,4 alá csökkent. 8,5–11 m-es mélység között valamelyest nagyobb ellenállás mutatkozott a megfolyósodással szemben, itt több CPT esetén is nagyobb volt a biztonsági tényező 1,4-nél. Az ezt követő 5–6 m-es zónát, ahol az öntéshomok az uralkodó réteg, főleg alacsony értékek jellemezték, amelyek sok esetben több m vastagságban 1,1 alá csökkentek. A kavicssterasznak megfelelő mélységben igen változatos volt a kép. Egyes CPT-k esetén a biztonsági tényező jóval 1,4 felett volt, míg más CPT-kenél nagyobb vastagságú szakaszon is 1,1 alá csökkent.

Az alacsonyabb, illetve magasabb biztonsági tényezőjű talajzónák között nem volt megfigyelhető egyértelmű térbeli összefüggés, nagyobb összefüggő zónák nem voltak egyértelműen lehatárolhatók. Ugyanakkor megállapítottuk, hogy északról dél felé haladva valamelyest csökkentek a biztonsági tényezők a finomhomok és a kavicsrétegben. Ilyen összefüggés az öntéshomokban nem volt megfigyelhető.

Összességében megállapítottuk, hogy a CPT-szondázások eredményei alapján nem zárható ki a talajfolyósodás lokális bekövetkezése. A jelentős pórúsvíznyomás-növekedésen túl több helyen is számolni kell nagyobb vastagságban történő megfolyósodással, hatása azonban bevált geotechnikai módszerekkel, például megfelelő alapozással vagy talajstabilizációval kiküszöbölhető.

IRODALOM

- Bazzurro, P. – Cornell, C. A. (2004): Nonlinear Soil-site Effects in Probabilistic Seismic-hazard Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 6, 2110–2123. DOI: 10.1785/0120030216, <http://www.ce.memphis.edu/7137/PDFs/References/Nonlinear%20Soil%20site%20effects%20on%20PSHA.pdf>
- Bus Z. – Grenerczy Gy. – Tóth L. et al. (2009): Active Crustal Deformation In Two Seismogenic Zones of the Pannonian Region – GPS Versus Seismological Observations. *Tectonophysics*, 474, 1–2, 343–352. <https://bit.ly/3xX0GLL>
- Gribovszki K. – K. Kovács P. – Mónus G. et al. (2017): Estimating the Upper Limit of Prehistoric Peak Ground Acceleration Using an in Situ, Intact and Vulnerable Stalagmite from Plavecká Priepestá Cave (Detrekői-zsomboly), Little Carpathians, Slovakia—First results. *Journal of Seismology*, 21, 5, 1111–1130. DOI: 10.1007/s10950-017-9655-3, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5563345/>

- Győri E. – Tóth L. – Gráczer Z. – et al. (2011): Liquefaction and Post-liquefaction Settlement Assessment–A Probabilistic Approach. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46, 3, 347–369. DOI: 10.1556/AGeod.46.2011.3.6, https://www.researchgate.net/publication/233780555_Liquefaction_and_post-liquefaction_settlement_assessment_-_A_probabilistic_approach
- Tóth L. – Mónus P. – Kiszely M. (1996–2016): *Magyarországi földrengések évkönyve – Hungarian Earthquake Bulletin*. [1995–2015]. Budapest: GeoRisk. DOI:10.7914/SN/HM, <http://www.georisk.hu/Bulletin/bulletinh.html>
- Tóth L. – Mónus P. – Zsiros T. et al. (2002): A Pannon-medence szeizmicitása. *Földtani Közlöny*, 132, 327–337. http://epa.oszk.hu/01600/01635/00302/pdf/EPA01635_foldtani_kozlony_2002_132_ksz_327-337.pdf

URL1: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

URL2: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

URL3: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes>

URL4: <http://www.isc.ac.uk/iscgem/>

HIDROGEOLÓGIAI KUTATÁSOK A PAKS II. ATOMERŐMŰ TELEPHELYVIZSGÁLATI PROGRAMJÁBAN

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATIONS IN THE SITE CHARACTERISATION PROGRAMME OF THE PAKS II NUCLEAR POWER PLANT

Mező Gyula

hidrogeológus-mérnök, Golder Associates (Magyarország) Zrt., Budapest
gyula_mezo@golder.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Az új atomerőmű létesítését megelőzően végzett földtudományi vizsgálatok fontos eleme volt a hidrogeológiai kutatás. A cikk bemutatja a telephelyen és ennek tágabb környezetében elvégzett helyszíni vizsgálatokat és az ezek eredményeit összefoglaló vízföldtani modellezés fontosabb eredményeit. A vízföldtani megfigyelések és modellszámítások eredményei fontos információkat nyújtanak az új blokkok építésekor kialakítandó munkagödrök víztelenítésének tervezése során, illetve a szennyezőanyag-terjedési számításoknál.

ABSTRACT

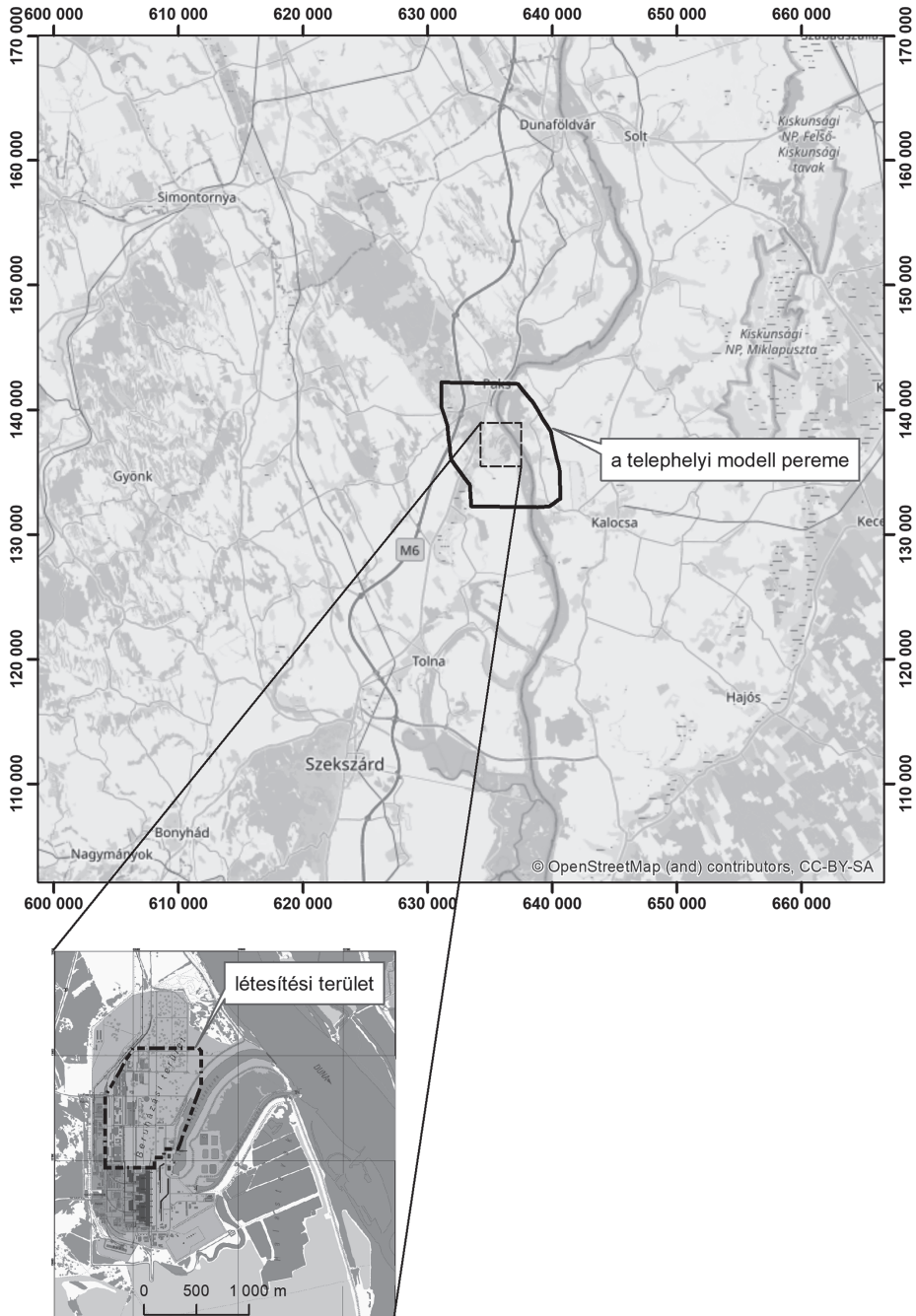
Hydrogeological research had been an important element of the geoscientific studies carried out before the construction of the new nuclear power plant in Hungary. This paper presents the most important findings of the in-situ investigations performed on the site and its wider surroundings as well as the results of groundwater modelling studies. The results of hydrogeological observations and model calculations provide important information for planning the dewatering system of the construction pits of the new units, as well as for subsurface contaminant transport studies.

Kulcsszavak: hidrogeológia, helyszíni vizsgálatok, vízföldtani modellezés, telephelyvizsgálat

Keywords: hydrogeology, in-situ investigations, hydrogeological modelling, site investigation

BEVEZETÉS

Az új atomerőmű létesítését megelőző engedélyezési eljárások részeként a földtani vizsgálat célja a telephely alkalmasságának meghatározásán túl a telephely-engedélyezés információigényének teljesítése.



1. ábra. A regionális hidrogéológiai vizsgálat és a telephelyi vízföldtani modellezés területe (saját szerkesztés)

A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (NBSZ) 7.5.2.0300 pontja kimondja, hogy a földrengésveszély és a felszínre kifutó vető által okozott elvetődések elemzéséhez szükséges geológiai, geofizikai és szeizmológiai vizsgálatok részletezettségét a fokozatosság elve alapján kell meghatározni (SOM System, 2012). A 7.5.2.0300 d) pont szerint el kell végezni a telephely részletes geológiai, geofizikai és geotechnikai jellemzését, teljes litológiai, sztratigráfiai és hidrológiai leírását el kell készíteni a mértékadó földrengés szabadfelszíni jellemzőinek és az alapozáshoz, építmények tervezéséhez szükséges mérnökgeológiai adatok meghatározásához.

Az NBSZ 7.5.2.0300 pontja által megkívánt fokozatosság elvének teljesüléséhez a 30 km-es kutatási terület és a telephely közvetlen környezete vízföldtani modelljének területét az *1. ábra* szemlélteti.

A telephelyi tágabb környezet a telephely 30 km sugarú környezetét foglalja magában. Itt a rendelkezésre álló adatok pontosítására és korszerűsítésére, valamint már új terepi mérésekre, fúrásokra, térképi reambulációkra, laboratóriumi elemzések elvégzésére is szükség van.

A telephelyi közvetlen (mintegy 10 km sugarú) környezet vizsgálatának célja a terület részletes földtani-tektonikai jellemzése, a szeizmikus és geotechnikai veszélyek felmérése, a vízföldtani viszonyok részletes vizsgálata.

A VÍZFÖLDTANI KUTATÁS CÉLJA

A vízföldtani kutatás keretében végrehajtandó vizsgálatok egy része a felszín alatti vizek hidrogeológiai viszonyainak (víztartó és vízrekesztő rétegek, jellemző nyomásszintek, áramlási viszonyok, kapcsolatok az egyes víztartó rétegek között, a vizek minősége, összetétele, esetleges szennyezettsége stb.) közvetlen megismerését célozta. Ugyanakkor ezek a vizsgálatok fontos alapadatokat szolgáltathatnak más szakterületek (földtan, hidrológia, építésföldtan, talajmechanika, környezetvédelem) számára is.

A vízföldtani kutatás célja, hogy

- adatokat szolgáltatson a nukleáris létesítmény tervezéséhez (elsősorban a geotechnikai viszonyok kiegészítésével);
- adatokat szolgáltatasson a nukleáris létesítmény nukleáris biztonságának és a radioaktív kibocsátások hatásainak elemzéséhez, értékeléséhez;
- adatokat szolgáltatasson a baleset-elhárítási intézkedések tervezéséhez, valamint azok megvalósíthatóságának értékeléséhez; valamint
- igazolja a telephely alkalmasságát kizáró körülmények hiányát, illetve jellemezze a tervezési alaphoz tartozó veszélyeket.

VÍZFÖLDTANI VIZSGÁLATOK A TELEPHELYEN ÉS TÁGABB KÖRNYEZETÉBEN

Az NBSZ legfontosabb elvárása a regionális hidrogeológiai vizsgálatokkal szemben, hogy vizsgálja és rögzítse azokat a hidrogeológiai peremfeltételeket és folyamatokat, amelyek meghatározzák a felszín alatti vizek állapotát a telephely szűkebb környezetében: értékelje a víztartó rétegek legfontosabb jellemzőit, leírja a felszín alatti áramlási rendszereket és azok felszíni vizekkel való kölcsönhatását, értékelje a meteorológiai körülmények hatását a felszín alatti vizekre, valamint a legfontosabb emberi hatás, a vízhasználat változását.

A regionális és lokális vizsgálati területen ennek megfelelően a következő vizsgálati programot hajtották végre (Konrád, 2016).

A vízföldtani vizsgálatok lényeges részét képezte az *archív adatok beszerzése*. Az adatok elemzése és kiértékelése lehetővé tette, hogy a hidrodinamikai modellezés számára megfelelő bemenő paraméterek álljanak rendelkezésre, illetve a hosszú távú adatsorok elemzése a felszín alatti vizek állapotának változására adott információt. Az adatgyűjtés kiterjedt a felszín alatti vízhasználatokra, a hidrometeorológiai adatokra, illetve a hidrológiai, valamint a felszín alatti vízszint- és nyomásadatokra.

A Földtani Kutatási Program (FKP) keretében összesen 81 új *monitoring kút* került kivitelezésre. A kutakat a fúrási talpmélységük szerint A, B, C és D jellel látták el. A 39 db A jelű kút 15 m mélységű, a B jelű kutakból 20 db készült 25 m talpmélységgel. Az A és B jelű kutak a pleisztocén korú talajvíztartó réteget nyitják meg. A felső-pannóniai rétegvíztartó képződmények nyomásszintje és vízkémiai jellemzői az 50 m mély C jelű kutak (15 db), illetve a 100 m talpmélységű D jelű kutak (7 db) segítségével figyelhetők meg.

A *vízföldtani reambuláció* keretében a regionális vizsgálati területen a források, vízfolyások hozamát mérték egy többé-kevésbé egyidejű mérési kampányban. A vízföldtani reambuláció célja az volt, hogy a hidrogeológiai modellezés számára a felszín alatti víz aktuális állapotáról pontos és megbízható adatokat szolgáltatasson.

A *hidrodinamikai vizsgálatok* célja általánosságban a kutatási terület földtani képződményeinek és szerkezeteinek vízföldtani jellemzése a kutatófúrások maggal mélyülő szakaszán. Az egyedi mérések alapján meg lehet határozni a vizsgált fúrólukszakasz vízvezető képességét, illetve a formációvíz nyugalmi hidraulikus potenciálszintjét.

A mélyebb vízföldtani egységek vizsgálatát a fúrásos kutatás során a magfúrások kivitelezése közben lehetett költséghatékonyan elvégezni. Az egyes fúrások kivitelezése során a földtani és geofizikai adatok alapján különböző vizsgálati szakaszok kerültek kiválasztásra, amelyekben különböző hidrodinamikai vizsgálatokat végeztek el a Mecsekérc Zrt., illetve a Golder Associates (Magyarország) Zrt. szakemberei. Egyes vizsgálati szakaszokból vízmintavételek is történtek laboratóriumi vizsgálatok céljára.

Nyitott lyukban, a vizsgált lyukszakasz lezárása nélkül öt tesztet, elsősorban víztermeléses, illetve slugteszteket végeztek. A felfújható pakkerekkel hidraulikusan szeparált lyukszakaszokban végzett vizsgálatok száma 17 volt, e mérések során a lyukfal stabilitásának megőrzése érdekében elsősorban nyeletéses vizsgálatok történtek.

A telephely területén végzett *egyedi kúttesztek* célja a sekélyföldtani képződmények hidraulikai paramétereinek meghatározása volt. Az FKP előírásaival összhangban a teszteket összesen 96 pontban végezték el a Mecsekérc Zrt. szakemberei. Ezek közül 81 vizsgálat újonnan létesült kútban valósult meg (amelyek 15, 25, 50 és 100 m mélységűek voltak), míg további 15 pont a meglévő monitoringrendszer elemei közül került kiválasztásra, hogy a telephelyi vízföldtani modell területét minél jobban le lehessen fedni. Az egykutas hidraulikai tesztek eredményei segítséget nyújtottak a későbbi többkutas tesztek, egymásrahatás-vizsgálatok és transzportvizsgálatok (nyomjelzéses vizsgálatok) megtervezéséhez.

A területet lefedő, tíz kiválasztott kútcsoporton helyszíni *egymásrahatás-vizsgálatot* (interferenciás vizsgálatot) végeztek a Golder Zrt. szakemberei úgy, hogy egy kutat szivattyúztak, míg több környező kútban észlelték a nyomásváltozásokat. Az egymásrahatás-vizsgálatok célja, szemben az egykutas hidraulikai tesztekkel, a nagyobb térrészekre jellemző hidraulikai paraméterek (transzmisszivitás, tározási tényező) meghatározása.

A telephely vízföldtani jellemzésére a Golder Zrt. hat helyszínen *nyomjelzéses vizsgálatot* végzett el. A nyomjelzéses vizsgálat célja a víztartó rétegek nem szennyezőanyag-specifikus transzportjellemzőinek (például: diszperziós tényező, effektív porozitás) meghatározása a laboratóriumi mintánál nagyobb léptékben. A vizsgálat során egy nyelető kútba ismert mennyiségű nyomjelző anyagot (uranint) juttattak be, míg egy másik kútban olyan vízhozammal szivattyúztak, amely megfelelően nagy vízszintesést létrehozva „begyűjti” a beinjektált nyomjelző anyagot. A kitermelt nyomjelző anyag koncentrációja időben változik, ezt áttörési görbének hívjuk. Az áttörési görbe alapján matematikai módszerrel határozták meg a transzportparamétereket.

A *mederkapcsolati vizsgálatok* célja a talajvíz és a Duna-víz egymásra gyakorolt hatásának megismerése volt. Ennek érdekében két helyszínen, az élő Duna, valamint a Hidegvíz-csatorna mellett két mederkapcsolati vizsgálati telep (PMK1 és PMK2) került kiépítésre, amelyek egy termelőkútból, négy piezométerből, valamint a vízfolyás medrében kialakított mederszondákból álltak. A két telepen összesen 5 db (5 ciklus) 30 napos mérésorozatra került sor. A termelőkút különböző kapacitással történő üzemeltetése mellett, automata vízszintregisztráló műszerek segítségével a talajvízszint, valamint a Duna és a Hidegvíz-csatorna vízszintváltozása folyamatosan nyomon követhető volt. A folyamatos vízszintmérések mellett a vizsgálati ciklusokban vízmintavételekre is sor került. A víz-

mintavételek célja az volt, hogy a Duna, illetve a Hidegvíz-csatorna, valamint a talajvíz keveredésének mértéke kimutatható legyen.

A *talajvízháztartási vizsgálatok* a talajvizet elérő effektív beszivárgás meghatározását célozták terepi mérésekkel, a regionális vizsgálati területen, négy helyszínen, kilenc hónapon keresztül. Az ideiglenes talajvízszint-megfigyelő kutak közelébe telepített meteorológiai állomások öt meteorológiai paramétert mértek negyedórás gyakorisággal (csapadék, relatív páratartalom, hőmérséklet, globális sugárzás, szélesség) a mérési kampány alatt. A vízháztartási számítások a szabad hozzáférésű, a szakmai gyakorlatban az egyik legelterjedtebb szivárgáshidraulikai szoftver, a HYDRUS-1D (URL1) segítségével történtek.

A *vízföldtani monitoring* keretében vízszintregisztrálók üzemeltetése történik 2016 januárjától. A műszerek a vízhőmérsékletet és a fajlagos vezetőképességet is regisztrálják.

A monitoring keretében 2016 elejétől negyedéves gyakorisággal történtek vízmintavételek és laborvizsgálatok. A program keretében mélyült kutak vízminőség-vizsgálata alapján egyértelműen elkülöníthetők a 15–25 m mélyről származó (A, B) talajvizek, valamint az 50 és 100 m-es kutak (C, D) vízmin-tái. Az általános vízkémiai és nyomelemvizsgálatok mellett stabilizotóp- és vízkorvizsgálatok is történtek. A vízgeokémiai program keretében a terület szennyezettségi alapállapotának értékelése is feladat volt, ezért összesen húsz különböző mélységű megfigyelőkútban komplex vízkémiai szűrővizsgálat is történt. A mérési eredmények alapján egy kivételével mindegyik vizsgált komponens a kimutatási, illetve szennyezettségi határértéket el nem érő mennyi-ségben fordult elő.

A VÍZFÖLDTANI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A felszín alatti regionális áramlási rendszer

A regionális vizsgálati területen a felszín alatti áramlási rendszer vizének után-pótlását döntően a csapadékból történő beszivárgás adja. Más tényezők (például a települési és ipari szikkasztások, csatornák és vízvezetékek elszivárgásai, kis-vízfolyások ideiglenes rátáplálása a felszín alatti vízre) hatása lokális, és elhanya-golható mértékű a csapadék szerepéhez képest. A felszín alatti vizek természetes megcsapolásában a talajvízből történő párolgásnak, idegen szóval evapotransz-spirációnak (evaporáció: fizikai párolgás, transzspiráció: növények párologtatása) van döntő jelentősége, különösen a vizsgálati terület alföldi részén. A kettő elője-les összege adja meg a függőleges talajvízforgalmat. A vízháztartási mérleg e két eleme a klimatikus viszonyok mellett a domborzatnak, a területhasználatnak, a talaj vastagságának és típusának függvénye.

A negyedidőszaki és sekély felső-pannóniai rétegek hidraulikusan kommunikáló, beszivárgás által hajtott, gravitációs áramlási rendszert alkotnak. Az alsó-pannóniai és idősebb formációk lokális mélymedencéiben teljesen szeparált mélységi áramlási rendszer alakulhat ki. A mélységi, túlnyomásos részterületek nyomástöbbletét az alsó-pannóniai vízzáró rétegek túlnyomórészt felfogják, de a meredek, jól repedezett vetőzónákon keresztül a hidrosztatikust meghaladó nyomás tud felfelé terjedni.

A vizsgálati területen a gravitációs áramlási rendszer megcsapolási pontjainak tekinthetők a források, a kisvízfolyások, a belvízcsatornák, a holtágak, az édes- és sós vizű lápok és mocsarak területe, valamint a legjelentősebb szerepet betöltő Duna.

A telephely vízföldtani jellemzői

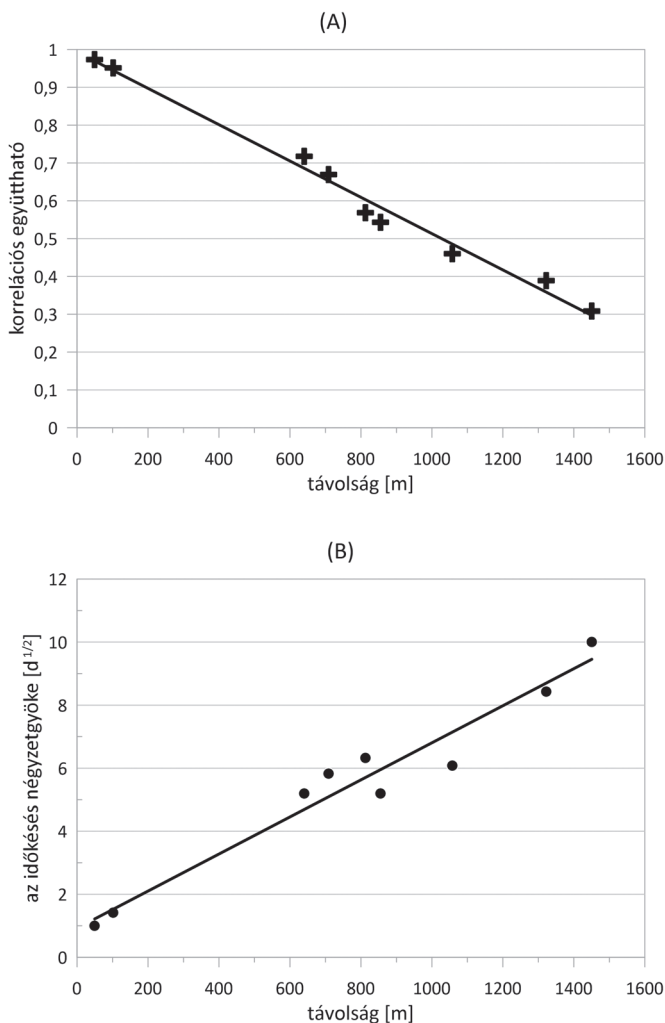
A talajvíz a területen összefüggő rendszert képez, az átlagos talajvízszint a felső homokos képződményekben húzódik, a terepszint alatt 8–10 méteres mélységben. A mindenkori talajvízállást döntően a Duna aktuális vízállása szabályozza.

A talajvíz természetes állapotában – átlagos és alacsony vízállás mellett – mintegy 2-3%-os eséssel DK felé áramlik a Duna irányába. Ilyenkor a víz utánpótlása a háttér felől, a Mezőföld löszplatóin beszivárgó csapadékvizekből történik.

A talajvíz és a felszíni víz kapcsolatát kvantitatív módon vizsgáltuk az egyes talajvízkutak és a Duna napi vízszintadatai közötti keresztkorrelációs vizsgálattal, 2005. szeptember 7. és 2019. május 23. között mért idősorok felhasználásával. A 2. ábra a maximális korrelációs együttható értékét, valamint a maximális korrelációs együtthatóhoz tartozó időeltolódást (időkésést) ábrázolja hét talajvízkút vízfolyástól való távolsága függvényében.

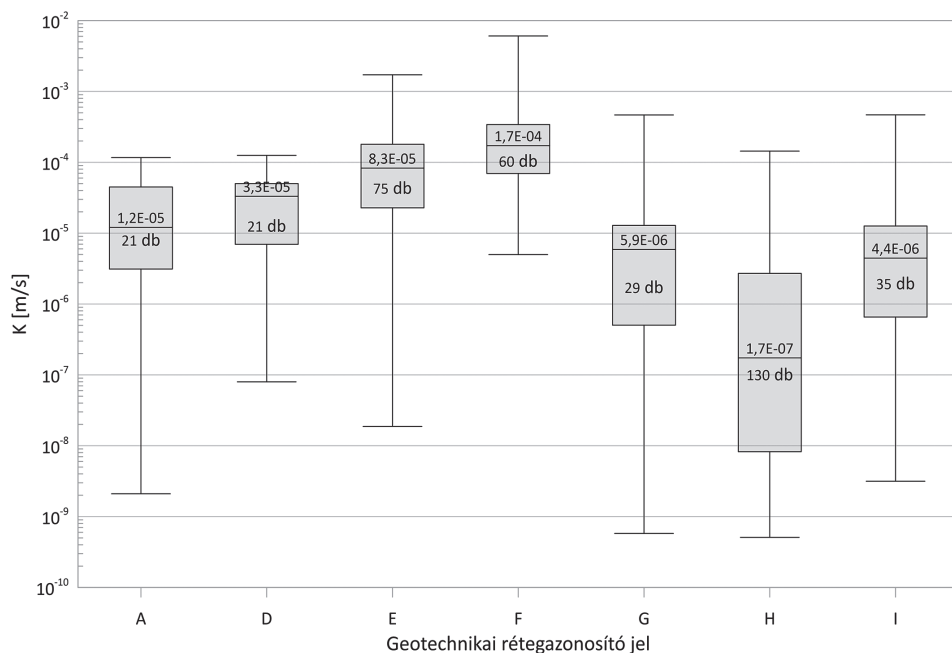
A korrelációs együttható a vízfolyástól nagyjából lineáris függvénykapcsolat szerint csökken, a felszíni víz körülbelül 630 m távolságig határozza meg a talajvíz dinamikáját, ugyanis e távolságon túl a korrelációs együttható értéke 0,7 alá csökken (az R^2 determinációs együttható értéke 0,5 alá csökken). E távolságon túl a felszíni víz már nem határozza meg nagyobb mértékben a mért talajvízszintek variációját, mint az egyéb hatások (például felszínről történő beszivárgás, háttérből történő hozzááramlás stb.). A maximális korrelációhoz tartozó időkésés négyzetgyöke és a felszíni víztől való távolság között szintén lineáris függvénykapcsolat valószínűsíthető, ami összevág azzal az elméleti eredménnyel, hogy vonalszerű forrás esetén, pillanatszerű gerjesztés hatására a talajvízszintben létrejövő változás az idő négyzetgyökének megfelelő függvény szerint terjed (Sindalovskiy, 2017).

A tervezett telephely képződményeinek hidraulikai tulajdonságait küttesztek-ből, geofizikai mérésekből, a magmintákon elvégzett laboratóriumi, a zavart minták szemeloszlásainak értékelésével, valamint a telephelyen végzett egymásrahas- és nyomjelzéses vizsgálatok segítségével határozták meg.



2. ábra. A talajvíz és a Duna vízszintje közötti maximális korrelációs együttható (A), valamint a maximális korrelációs együtthatóhoz tartozó időlésés (B) alakulása a talajvízkutak vízfolyástól való távolságának függvényében, a keresztkorrelációs vizsgálat alapján (saját szerkesztés)

A K szivárgási tényező statisztikai jellemzőit mutatja be a 3. ábra. A durva kavicsos réteg szivárgási tényezője a legjobb, a medián értéke kb. 8×10^{-4} m/s. Az „A” jelű kutakkal beszűrözött középszemcsés homokréteg szivárgási tényezője az előbbinél némileg kisebb, mediánja $5,7 \times 10^{-4}$ m/s. A rétegvíz tartó képződmények szivárgási tényezője majdnem egy nagyságrenddel kisebb a terasz kavicsnál, a „C” kutakban a medián 9×10^{-5} m/s, a „D” kutakban 2×10^{-4} m/s.

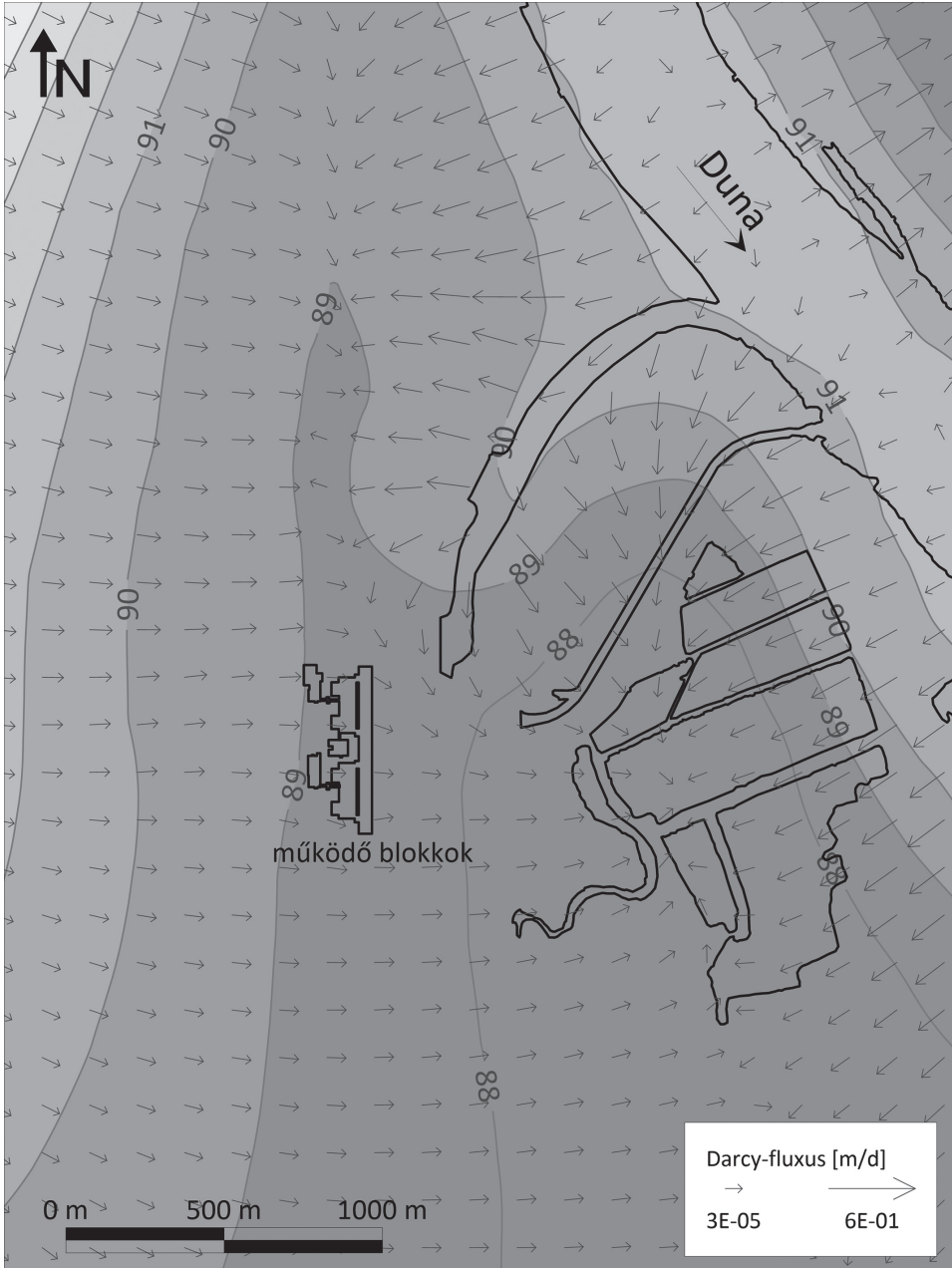


3. ábra. A telephelyi figyelőkutakban meghatározott szivárgási tényezők statisztikai jellemzői (URL2)

A telephelyi vízföldtani modell segítségével meghatározható a Duna hidrodinamikai hatásterülete. A 4. ábra bemutatja a telephelyen, a 2019. június 2-i magas dunai vízállás esetére meghatározott, számított talajvízszinteket és áramlási irányokat (Darcy-fluxusokat). A telephely nyugati részén kirajzolódik az áramlási sebesség minimumát reprezentáló sáv. A kép alapján – ebben a magas dunai vízállással jellemzett időszakban – a felszíni vizek által közvetlenül befolyásolt területsáv 600–700 m széles lehet.

A TELEPHELYVIZSGÁLATI PROGRAM ÚJ VÍZFÖLDTANI EREDMÉNYEI

A telephelyvizsgálati program új ismeretekkel egészítette ki a korábbi kutatások eredményei alapján kialakult vízföldtani képet. A telephelyi fúrásokban elvégzett helyszíni vizsgálatok (egyedi kutas, illetve interferenciás hidrodinamikai vizsgálatok, nyomjelzéses transzportvizsgálatok) alapján a vízföldtani jellemzők lokális változékonysága számszerűsíthetővé vált. Az észlelőkutakká kialakított geotechnikai fúrásokban folyó folyamatos talaj- és rétegvízszint-észlelések alapján lehetővé vált a lokális vízföldtani modell kalibrációja és validálása.



4. ábra. Talajvízszintek [m B.f.¹] és áramlási irányok (Darcy-fluxusok) nagy dunai vízszint esetén (saját szerkesztés)

¹ m B.f.: a Balti-tenger (kronstadti) közepes vízszintjéhez viszonyított magasság méterben.

A lokális vízföldtani modellt a működő atomerőmű és az új atomerőművi blokkok létesítésére kijelölt terület tágabb, kb. $60 \times 60 \text{ km}^2$ -es környezetére jellemző felszín alatti vízáramlási rendszerrel a regionális vízföldtani modellből származó peremfeltételek kapcsolják össze. A regionális vízföldtani modell eredményei alapján vált ismertté a kis és nagy léptékű felszín alatti áramlási rendszerek hierarchiája, a különböző léptékű vízföldtani rendszerek kapcsolódása, illetve a felszín alatti vízrendszer bonyolult kapcsolata az atmoszférával, valamint a felszíni vizekkel.

A folyamatos talaj- és rétegvízszint-észlelések eredményei alapján vált kimutathatóvá, hogy az új blokkok tervezett telephelyének délkeleti részén a talaj- és a rétegvíz tartó képződmények – a korábbi vízföldtani képpel ellentétesen – közvetlen hidraulikai kapcsolatban állnak. Ennek oka vagy az lehet, hogy e terület-részen a felső-pannoniai vízrekesztő képződmények horizontális folytonossága a tektonikai viszonyok miatt megszakad, illetve oka lehet az is, hogy a vízrekesztő réteg fölött homokosabb betelepülés található. E körülményt mindenképpen figyelembe kell venni az új blokkok építésekor kialakítandó munkagödörök vízteleltetésének tervezése során, illetve a szennyezőanyag-terjedési számításoknál.

IRODALOM

- Konrád Gy. (szerk.) (2016): *Földtani Kutatási Program zárójelentése*. Paks: MVM Paks II. Zrt. MÁ/PA2-16-FT-14 V2
- Sindalovskiy, L. N. (2017): *Aquifer Test Solutions*. Switzerland: Springer International Publishing
- SOM System Kft. (2012): *A Paksi telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok telephelyengedély kérelmét megalapozó vizsgálati és értékelési keretprogram. Lévai projekt. Földtani Kutatási Program (FKP)*. Budaörs: SOM System Kft. SOM®475/3 Rev. 4.

URL1: <https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?hydrus-1d>

URL2: https://m.blog.hu/as/aszodiattila/image/04_mezogy.pdf

KIHÍVÁSOK ÉS VÁLASZOK: A KÜLSŐ VESZÉLYEK KEZELÉSE A KORSZERŰ NUKLEÁRIS TERVEZÉSI GYAKORLATBAN

CHALLENGES AND RESPONSES: DEALING WITH EXTERNAL HAZARDS IN THE STATE-OF-THE-ART NUCLEAR DESIGN PRACTICE

Katona Tamás János

az MTA doktora, professor emeritus, Pécsi Tudományegyetem, Pécs
katona.tamas@mik.pte.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az atomerőművek külső veszélyekkel szembeni biztonságát a telephelyre jellemző veszélyek komplex vizsgálata, adekvát jellemzése és a veszélyek hatásaival szemben védelmet biztosító műszaki megoldások rendelkezésre állása határozza meg. A dolgozatban azt kívánjuk bemutatni, hogy vannak kipróbált műszaki megoldások a veszélyek hatásaival szemben. Olyan példákat mutatunk be, amelyekben az atomerőműveket ért hatások hasonlóak vagy még súlyosabbak voltak azokhoz képest, amelyeket a paksi telephelyen is lehetségesnek tartunk, s amelyeket az atomerőművek biztonságosan elviseltek. A pozitív tapasztalatok és a külső veszélyekkel szembeni védelem megvalósítására rendelkezésre álló műszaki módszerek bemutatása a külső veszélyekkel szembeni biztonság jobb megértését kívánja szolgálni a probléma súlyosságának alábecslése nélkül.

ABSTRACT

Safety of nuclear power plants with respect to external hazards is defined by the adequacy of the site investigation and characterisation and availability of proven engineering solutions for protection against effects of hazards. In the paper, cases are presented where the effects of external hazards affecting the nuclear power plants have been similar or even more severe as those hazards that are identified at the Paks site, and the plants sustained these events safely. Presentation of the positive experiences and available design methods for protection against external hazards should provide a better understanding of the external hazard safety of existing and new nuclear power plants without underestimating of the seriousness of the issue.

Kulcsszavak: nukleáris biztonság, tervezési alap, tervezési követelmények, külső veszélyek, földrengések, tornádók, extrém időjárás, árvíz, térbeli szétválasztás, redundancia, biztonsági tartalék

Keywords: nuclear safety, design basis, design requirements, external hazards, earthquakes, tornados, extreme weather, flooding, spatial separation, redundancy, safety margins

BEVEZETÉS

A 2001. szeptember 11-i terrortámadás, valamint a fukusimai atomerőmű 2011-es balesete drámai módon ráirányította a szakmai és a laikus közönség figyelmét az atomerőművek külső veszélyekkel szembeni védettségére. Úgy tűnt, az ártó szándékkal és a kiszámíthatatlan természeti csapásokkal szemben nem lehet megvédeni az olyan potenciálisan veszélyes létesítményeket, mint az atomerőművek. Emellett bebizonyosodott, hogy a csernobili katasztrófához hasonlóan a fukusimai baleset hátterében is mulasztás, a felismert hiányosság késedelmes kezelése rejlik. A csernobili katasztrófa után harmincöt évvel és a fukusimai baleset után tíz évvel – a paksi új blokkok létesítésének engedélyezése idején – aktuális a külső veszélyekkel szembeni műszaki védelem lehetőségéről szólni, és bemutatni, hogy kellő gondossággal és a korszerű ismeretek alkalmazásával a külső veszélyekkel szemben biztonságos atomerőműveket lehet tervezni és üzemeltetni.

A külső veszélyekkel szembeni védelem alapvető biztonsági követelmény volt az első atomerőművek tervezésénél is, s ez a követelmény egyre szigorúbbá vált a veszélyekre és azok konzekvenciáira vonatkozó ismeretek gyarapodásával és a növekvő fenyegetettséggel. A kockázat csökkentése érdekében az atomerőműveket igen kis valószínűséggel előforduló, s hatásaikban rendkívüli veszélyekre kell tervezni. Ez azt jelenti, hogy például az atomerőművek tervezési alapját általában a 10^{-4} /év vagy ennél még kisebb gyakorisággal előforduló természeti hatások képezik, szemben a szokványos ipari, s közöttük sokszor potenciálisan nagy kockázatú létesítmények tervezésével, ahol mintegy százszor gyakoribb s hatásokban sokkal kevésbé súlyos eseményekkel számolnak. Konkrétan az új paksi blokk esetében a 10^{-5} /év gyakoriságú (ritkaságú!) természeti hatásokra kell tervezni. E jelentős különbség mellett a nukleáris reaktorok, az atomerőművek fejlesztése, tervezése empirikusan ellenőrzött ismeretek alapján, igazolt módszerekkel történik, még akkor is, ha az empirikus ellenőrzés nem triviális, hiszen kísérleti céllal természeti katasztrófák komplex hatásait előidézni nem egyszerű feladat.

A tervezési eljárások, a műszaki megoldások fejlődése az elmúlt negyven év alatt jelentősen javították, gyakorlatilag megoldhatóvá tették a külső veszélyek hatásaival szembeni védelmet. Ennek elsődleges feltétele, hogy az atomerőmű tervezési alapját helyesen határozzák meg, azaz a telephelyre jellemző veszélyeket megfelelően jellemezzék. A szakszerű tervezésen túl a tervezőnek elegendően nagy műszaki – rendszertechnikai és szilárdsági – tartalékokat kell biztosítania a nem várt, a tervezés alapját meghaladó hatásokkal szemben. A külső veszélyek tudományos alapokon nyugvó jellemzése mellett, amelyről a *Magyar Tudomány* jelen számában lévő cikkek is szólnak, a biztonság garanciája a rendkívüli gondosság a tervezés, a gyártás, az építés és az üzemeltetés során. A nukleáris energetikát két nagy baleset, a csernobili és a fukusimai atomerőmű balesete stigmatizálja, ezek közül a fukusimai természeti csapás következménye. A biztonság

gyakorlati megvalósíthatóságának igazolását nem a vélekedés, hanem – 2020 végéig számolva – 18 740 reaktorév biztonságos működés adja, miközben mindkét baleset ősokei között nem annyira a tudáshiányból eredő elkerülhetetlenséget, hanem emberi mulasztást fedezhetünk fel.

Atomerőművet szinte bárhol lehet építeni. A lehetőséget mindenekelőtt az határozza meg, hogy léteznek-e olyan műszaki eszközök, amelyek alkalmazásával a telephely és a tágabb környezet veszélyei ellenére az atomerőmű felépíthető és biztonságosan üzemeltethető. Egy konkrét telephely kiválasztásának észszerűségét egyéb szempontok, mint például a hűtővíz rendelkezésre állása, a regionális gazdaságfejlesztési igények, logisztikai szempontok, az adott telephelyen a biztonsági követelmények teljesítéséhez szükséges ráfordítások határozzák meg. Jelen dolgozatban azt kívánjuk bemutatni, hogy vannak kipróbált műszaki megoldások a veszélyek hatásaival szemben. Olyan példákat mutatunk be, amelyekben a hatások hasonlóak voltak azokhoz, amelyeket a paksi telephelyen is lehetségesnek tartunk. Az, hogy a külső veszélyek hatásait ténylegesen kiállt műszaki megoldásokról szólunk, nem relativizálja a veszélyekkel szembeni biztonság kérdését, de mindenképp teljessé és realiztikusabbá kívánja tenni azt a képet, amelyet ma, jó okkal, a fukusimai katasztrófaélmény ural.

A KIHÍVÁSOK ÉS VÁLASZOK

Mi a veszély, s miként kezeljük?

A veszély a kár kialakulásának lehetősége valamilyen természeti vagy technogén okból kifolyólag. Így van földrengésveszély, árvízveszély, tornádóveszély, robbanásveszély, de amikor bekövetkezik, akkor már nem veszélyről beszélünk, hanem természeti vagy emberi tevékenységből eredő eseményről, jelenségről, azaz árvízről, földrengésről, robbanásról stb. A jelenséget fizikai paraméterekkel lehet jellemezni, amelyek meghatározzák a természetes és épített környezetre gyakorolt hatást. A telephely jellemzése során megállapítjuk, milyen valószínűséggel fordulhat elő egy adott paraméterrel jellemezhető esemény, vagy pontosabban, mi az éves valószínűsége egy adott paraméterérték meghaladásának. Ezt a függvényt veszélyeztetettségi görbének nevezzük. A kockázat számszerűsítve nem más, mint a veszélyeztetettségi görbe és a következményt jellemző függvény szorzata. Ez utóbbi kifejezi, hogy az adott hatás esetén milyen mértékű kár fordulhat elő emberéletben, anyagi javakban. A nukleáris biztonsági elemzésekben a kár közvetett mértéke az adott veszély hozzájárulása a reaktor aktív zónájának sérülési gyakoriságához vagy a nagy korai radioaktív kibocsátás gyakoriságához. A magyar nukleáris biztonsági szabályozás szerint az aktív zóna sérülésének éves gyakorisága 10^{-5} /év, míg a nagy és korai kibocsátásé 10^{-6} /év minden lehetséges forgatókönyvre összegezve.

A veszélyek létét, a veszélyeztetettség mértékét nem a félelmeink, hanem fizikai törvények határozzák meg. Fizikai feltételek hiányában ne várjuk, hogy valamilyen veszély bekövetkezik csak azért, mert igen kis valószínűségű eseményeket is figyelembe kell venni a tervezésnél. Magyarán, a „kapanyél nem sül el”. Így az oklahomaihoz hasonló tornádógyakorissággal és -méretekkel, pusztító hurrikánokkal nem kell számolni Magyarországon még akkor sem, ha tornádó vagy pusztító erejű, extrém sebességű szellőkések előfordulhatnak nálunk is.

A veszélyeket elkerülhetjük a telephely megfelelő kiválasztásával (pl. a karsztüreg beomlásának veszélyét elkerülhetjük, ha a telephely alatt nincs karsztüreg). A veszéllyel szemben védekezhetünk megfelelő tervezéssel, felkészüléssel, amihez a telephelyre jellemző veszélyeket jól kell ismerni. Következésképpen a veszélyekkel szembeni védelem megvalósításának első és alapvető lépése a telephelyvizsgálat és -értékelés, amely lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a veszélyek tervezésnél figyelembe veendő hatását.

A megfelelő tervezés biztosítja a szabványok szerinti szerkezeti integritást és a működést a tervezési alapan meghatározott hatásokra. A műszaki megoldások mellett lehet adminisztratív intézkedéseket is kidolgozni és foganatosítani. Ilyen adminisztratív intézkedés például a berepülési tilalom elrendelése a telephely légterébe.

A veszélyek bekövetkezésének előjelezhetőségétől, a kárt okozó hatás kialakulásának sebességétől függően kell és lehet dönteni az előre megtervezendő, beépítendő védelmekről, intézkedésekről vagy a veszélyre való felkészülésről és az adminisztratív intézkedésekről. Ez utóbbira példa a jégtörő hajók bevetése vagy az extrém hó eltakarítása.

A megfelelő tervezés azt is biztosítja, hogy a betervezett, beépített műszaki tartalomnak köszönhetően nem következik be hirtelen funkció- vagy integritásvesztés, ha a hatás esetleg meghaladja a tervezés során figyelembe vett értéket. Az ilyen hirtelen tönkremenetelt szakadékszél-jelenségnek nevezzük, amelynek lehetőségét tervezési megoldásokkal ki kell zárni.

A biztonság feltétele még, hogy legyenek a veszélyek sajátosságainak megfelelő üzemzavar- és baleset-elhárítási utasítások, a személyzet képzett, felkészült legyen, és szükség esetén speciális műszerezés segítse a kezelők vagy a baleset-elhárításban részt vevők tevékenységét. A külső veszélyekkel szembeni biztonság fontos eleme a műszaki készség üzem közbeni fenntartása.

A biztonsági elemzések a tervezés szakaszában már minősítik a műszaki megoldásokat, és módot adnak a terv korrekciójára. A külső veszélyekkel szembeni biztonság szempontjából rendkívül fontos szerepe van az időszakos biztonsági felülvizsgálatok rendszerének, tekintettel a természeti veszélyek tudományos megismerésének fejlődésére.

A műszaki létesítmények tervezésének vannak általános, az atomerőművek tervezésénél is alkalmazott elvei, mint a mélységben tagolt védelem elve, a dolgok természetéből adódó és az ismereteink korlátos voltából származó bizonytalan-

ságok konzervatív feltevésekkel való kezelése, a redundancia, azaz az alapvető biztonsági funkciók megvalósítására szolgáló rendszerek többszörözése, a diverzitás, azaz az alapvető biztonsági funkciók különböző konstrukciókkal történő megvalósítása, az egy rendszer egy funkció elvének alkalmazása és a biztonsági rendszerek térbeli szétválasztása. A mélységben tagolt védelem elvének alkalmazása azt jelenti, hogy többlépcsős tervezési megoldások és eljárások állnak rendelkezésre az üzem közbeni kis anomáliák, a tervezés alapjában figyelembe vett üzemzavarok és a legsúlyosabb balesetek kezelésére egyaránt. A tervezés lényegében a „készülj az elképzelhetetlenre is” elven történik.

A biztonságot szolgáló műszaki megoldások lehetnek rendszertechnikaiak, mint a többszörözött/redundáns aktív és passzív biztonsági rendszerek alkalmazása. Ez utóbbiakat előnyben részesítjük, mert mint gravitációs elven működők, nem igényelnek külső energiaforrást.

A védelmi megoldások lehetnek szerkezetiek, mint a kettős konténment, a nagy nyomásra tervezett belső feszített vasbeton, és az extrém teherbírású külső konténment vasbeton héjjal. Vannak diszpozíciós megoldások, azaz a biztonsági rendszerek térbeli szétválasztásával megvalósítható, hogy egy adott hatás, például a repülőgép rázuhanása vagy tűz ne paralizálhassa egyszerre a biztonsági rendszerek minden redundáns ágát. Különös gonddal kell tervezni az olyan hatásokra, mint a földrengés, amely az erőmű egészére hat, s közös okú meghibásodásokat okozhat.

A rendelkezésre álló megoldások közül azt kell választani, amelyik a veszély jellegének (előjelezhetőség, a hatás megjelenésének gyorsasága) legjobban megfelelvén a maximális védelmet nyújtja.

Mire kell tervezni?

A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (NBSZ) szerint az atomerőmű tervezésénél meg kell határozni az összes lehetséges külső és belső veszélyt. Így vizsgálni, jellemezni kell:

- a meteorológiai szélsőségeket (extrém szél, tornádó, hőmérsékletek, csapadék),
- árvizeket, valamint az alacsony vízszintet, amibe beleértjük a fel- és alvízi létesítmények sérülése által okozott vízszint-/vízhozamváltozásokat,
- szél által mozgatott repülő tárgyak veszélyét,
- szélsőséges hűtővíz-hőmérsékletek és a jegesedés veszélyét,
- tektonikus mozgásokat, földrengéseket és az ezek által kiváltott másodlagos veszélyeket,
- katonai és polgári repülőgép becsapódását,
- telephelyhez közeli szállítási és ipari tevékenységek által okozott veszélyeket,

- a külső távvezeték-hálózat zavarait, beleértve annak tartós és teljes üzemi képtelenségét,
- a telephelyen vagy annak szomszédságában lévő létesítmények által okozott veszélyeket, amelyek tüzet, robbanást okozhatnak, vagy egyéb veszélyt jelenthetnek az atomerőműre,
- biológiai veszélyeket.

Egyszerűbben fogalmazva, minden veszélyre tervezni kell, amely az atomerőmű telephelyén előfordulhat, és az atomerőmű biztonságát befolyásolhatja. A tervezés alapját a 10^{-5} /év gyakoriságú természeti hatás és a 10^{-7} /év gyakoriságú emberi tevékenységből eredő veszély hatása képezi. A külső veszélyek tudományos alapokon nyugvó jellemzése, amelyről a *Magyar Tudomány* jelen számában lévő cikkek szólnak, ezen rendkívül kis szűrési szint miatt jelentenek komoly tudományos kihívást. Egy külső veszélyt, például a nagy polgári szállító légitársaság és vadászgép rázuhanását minden különösebb vizsgálat nélkül és nem valószínűségük alapján kell a tervezésnél figyelembe venni, hanem attól függetlenül posztulálni kell.

Vannak olyan veszélyek, amelyek hatásával szemben nincsenek kipróbált, bevált műszaki megoldások, vagy már vannak ugyan, de a nukleáris biztonsági szabályozás konzervativizmusa miatt ezen megoldások alkalmazhatóságát a hatóságok még nem emelték be a szabályozásba. Azokat a telephelyeket, ahol ilyen veszélyek azonosíthatók, alkalmatlannak kell minősíteni. Így nem telepíthető atomerőmű például karsztos területen. A jelenlegi magyar szabályozás igen konzervatív a földrengések következtében kialakuló az atomerőmű biztonsága szempontjából szignifikáns felszíni elmozdulás tekintetében, jóllehet a nemzetközi szabályozási gyakorlatban ez a hatás a tervezési alapon figyelembe vehető.

A TERVEZÉSI ELVEK ALKALMAZÁSA

Konzervatív tervezés, avagy mi történik, ha a vártnál súlyosabb a hatás?

Az atomerőműveket – a nukleáris ipar konzervatív szabványait alkalmazva – a természeti veszélyek 10^{-5} /év gyakorisággal előforduló hatásaira kell tervezni¹, mégis számolni kell a tervezési alapot meghaladó külső veszélyekkel, ami a tervezés részét képezi.

A leggondosabb telephelyvizsgálat és veszélyjellemezés esetén is előfordulhat, hogy a tervezési alapot meghaladó hatású külső esemény történik. Ilyen

¹ Ez a magyar szabályozás szigorát is mutatja, mert legtöbb országban 10^{-4} /év gyakoriság a mértékadó.

esetben el kell kerülni a biztonsági funkciók hirtelen elvesztését, a szakadékszél-jelenséget és a súlyos baleset kialakulását. A tervezésnél számításba vett hatásnál nagyobb hatás esetén akkor lehet a biztonsági funkciók hirtelen elvesztése kiküszöbölhető a nukleáris szabványok által és tudatos tervezéssel biztosított műszaki tartalékokkal. Megállapítható, s ez a paksi telephelyre jellemző veszélyek mindegyikénél igaz, hogy a veszély romboló hatására jellemző paraméter (szélesség, a talajmozgás maximális vízszintes gyorsulása stb.) progresszíven csökken az éves valószínűség csökkenésével, azaz fizikai határa van a veszély hatásának. Ezek a fizikai határok teszik értelmetlenné az olyan kérdéseket, hogy mi történik, ha még annál is nagyobb szél vagy földrengés következik be, mint amellyel a tervezésnél és a tartalékok értékelésénél számoltunk. S ha mégis? A mélységben tagolt védelem elvének megfelelően az ilyen események következményeit korlátozó intézkedések tervezésével és szisztematikus baleseti felkészüléssel kell kezelni.

A tartalékok szerepére és a tervezési eljárások konzervatívizmusára – számos eset közül – legyen példa a 2007. évi Niigata-Csúecu földrengés és a Kasivazaki-Kariva atomerőmű esete. A kárelemzés résztvevőjeként állíthatjuk, hogy bár a tervezési alap maximális vízszintes gyorsulási értékét az aktuális rengés gyorsulása kétszeresen meghaladta, néhány, a nukleáris biztonságot nem befolyásoló káron és egy látványos háziüzemi transzformátortűzön kívül más kár nem keletkezett a konzervatív tervezési módszerek hatására. Lényegében ugyanezt tapasztalták a földrengés által kiváltott talajmozgást tekintve még a Fukushima Daiicsi erőműben is, vagy a North Anna Atomerőműben 2011 augusztusában. Mondhatjuk, a szökőár mégis katasztrófát okozott. Valójában az epicentrumhoz jóval közelebb lévő Onagava erőmű a talajmozgás és a szökőár hatását is elviselte a gondos tervezésnek köszönhetően. Ott a történelmi adatok alapján a szökőár magasság 3 méterre adódott. A kellő biztonság érdekében a telephely szintjét 14,7 méterrel a tengerszint felett alakították ki. Ezzel szemben a Fukushima Daiicsi telephely szintjét, amely eredetileg a tenger szintjénél 35 méterrel magasabban volt, 25 méterrel levítették költségcsökkentés okán. (A 2004. évi karácsonyi indiai-óceáni szökőár és a 2010. évi chilei földrengés után ugyan fölülvizsgálták a szökőárral szembeni biztonságot, de az intézkedés elmaradt.) Más pozitív példa is van: a 2004. évi borzalmas szökőarat túlélte az indiai Madراسi Atomerőmű.

A fukusimai baleset után nemcsak a működő atomerőművekre, hanem az új, még épülő erőművekre a fejlesztő-gyártó országok elvégezték a stressztesztet, ellenőrizték a veszélyekre vonatkozó ismereteket és ezek figyelembevételét a tervezés alapján, és bizonyították, hogy a tervek jelentős tartalékokkal bírnak a külső veszélyek hatásaival szemben, s valószínűségi biztonsági elemzésekkel igazolták, hogy a zónasérülés éves gyakorisága a nukleáris biztonsági követelmények által előírt értékek alatt van.

A tervezési alap és a változó körülmények

A tervezésnél figyelembe vett veszélyjellemzés és a tervezés alapjaként meghatározott külső hatások nem örökérvényűek. A földtani, tektonikai veszélyek az atomerőmű üzemeltetése alatt aligha változnak, de változnak, gyarapodnak a rájuk vonatkozó ismereteink. Az új ismereteket az időszakos biztonsági felülvizsgálatok során kell figyelembe venni, és ezek alapján szükség esetén intézkedni kell a biztonság növelésére.

Vannak azonban olyan külső körülmények, veszélyek, amelyek az atomerőmű üzemének hatvan éve alatt is nyilvánvalón változni fognak, mint a klímaváltozással összefüggő veszélyek és körülmények. A klímaváltozás hatását robusztus prognózissal és konzervatív tervezéssel lehet kezelni. Ez belátható egyszerű gondolkíséreltet alapján. Amennyiben nem változna a klíma, akkor a ma megállapított, a tervezés alapját képező szélsőséges időjárási jellemzők meghaladási valószínűsége hatvan év üzemidő alatt hat tizedre. Tegyük föl, hogy a mai prognózisunk csak az üzemidő első húsz évében áll meg, a második húsz év alatt kétszeresére, s a harmadik húsz év alatt újból a kétszeresére növekszik a szélsőségek gyakorisága, ami igen drasztikus alakulása lenne a klímaváltozásnak. Ekkor végeredményben egy ezrelék lesz a valószínűsége annak, hogy a teljes hatvan év alatt a tervezési értéknél extrémebb paraméter előfordul. Úgy véljük, ezzel a bizonyossággal lehet vállalni a dolgot. Nyilvánvaló, hogy nemcsak a szélsőségek gyakorisága, hanem a mértéke is változhat, de ez az adekvát tartalékkal történő tervezéssel kezelhető.

A burkolóelv

A tervezés egyik gyakorlati alapelve a burkolóelv, amely azt jelenti, hogy a különböző okú, de fizikailag azonos hatások esetén elegendő a legnagyobbat figyelembe venni a tervezésnél, hacsak azokra valamilyen megkülönböztető követelmény nem vonatkozik. A tervezés és a biztonság szempontjából érdektelen, hogy mi az adott hatás forrása, az azonos hatások közül a legnagyobbat kell figyelembe venni. Ez persze nem azt jelenti, hogy nem vizsgálunk meg minden hatást, hiszen lehetnek specifikumok.

A tornádó nagy sebességgel sodorhat akár személyautó méretű tárgyakat. A konténmentet és a biztonsági épületet tekintve a jégesőnek, bár a „világrekord” jégdarab 17,8 cm átmérőjű, nyilvánvalóan kisebb hatása van, mint a tornádó által sodort tárgyaknak vagy az elszabadult turbinalapátnak, s még kisebb, mint az atomerőműre rázuhanó nagy repülőgépeknek. Belátható, hogy a repülőgép-rázuhanás hatásai uralják a tervezést. Megjegyezzük, a repülőgép-rázuhanás veszélyével szembeni védelem követelménye sem új keletű. A hidegháborús idők Nyugat-Németországában igen gyakran lezuhantak az F-104-es Starfighter vadászgépek. Ezért kezdtek erre a durva hatásra tervezni a német atomerőműveket elsők között a világon.

Térbeli szétválasztás

A korszerű 3+ generációs atomerőművek esetében valójában nemcsak a kettős falú konténment külső héjának rendkívüli szilárdsága adja a védelmet a külső hatásokkal szemben, hanem a bevezetőben már említett térbeli szeparáció, azaz a redundáns biztonsági rendszerek olyan szétválasztása, amelynek köszönhetően egyszerre nem sérülhet egynél több biztonsági rendszer, még akkor sem, ha a legnagyobb utasszállító repülőgép ütközésével és üzemanyagtüzevel számolunk. A korszerű atomerőművek négy, fizikailag egymástól teljesen független, redundáns biztonsági rendszerrel vannak ellátva, amelyek egyenként képesek teljes mértékben ellátni a biztonsági funkciókat. A nagyfokú izolációt biztosítja, hogy az ágakhoz tartozó rendszerek különböző helyiségekben vannak elhelyezve. A térbeli szeparációról tűzzáró betonfalak gondoskodnak. A különböző ágak között nincs direkt összeköttetés.

A veszélyek kombinációi, egybeesése

A tervezés során figyelembe kell venni a hatások valószínű kombinációit, beleértve egy véletlen technológiai meghibásodás és a külső hatás együttesét is. Például a szélsőséges meteorológiai hatások, mint a tornádó, a hurrikán vagy a földrengések nemcsak az atomerőműre magára hatnak, hanem a villamos hálózat tartós kiesését is okozzák, miközben történhetnek az erőműben magában is ezekről független belső meghibásodások.

A módszerek ellenőrzése

A módszerek és megoldások kísérleti ellenőrzése, validációja a biztonság alapvető feltétele. Például a konténmentek földrengésállóságát nagy léptékű modellek rázóasztalos tesztheivel lehet validálni, és validáltak is. Hazai vonatkozású példa, hogy a Paksi Atomerőmű üzemzavari hűtőrendszere tartályának nagy léptékű modelljét tesztelték a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által szervezett program keretében Japánban. Féltonnás robbantások által gerjesztett talajmozgásokkal kísérletileg vizsgálták a Paksi Atomerőmű főépületének dinamikai válaszát.

A módszerfejlesztéseket és a tervezést jól megalapozzák a közvetlen kísérletek, de nagy polgári repülőgép atomerőműre történő rázuhanását teljes léptékű kísérlettel nem célszerű vizsgálni. Erre szolgál a káresetek igen részletes elemzése, mint például az 1992. október 4-ei amszterdami Bijlmermeer-katasztrófa² vagy akár a Pentagon 2001-es terrortámadásának kivizsgálása. A káresetek szimuláció-

² Az El Al légitársaság Boeing 747-es teherszállító gépe műszaki hiba miatt az amszterdami Bijlmermeer lakópark tízemeletes panelházába csapódott.

jával a számítási eljárásokat, modelleket és feltevéseket ellenőrizni lehet. Pilóta nélkül, Phantom vadászgéppel végeztek kísérleteket az ütközés terhelési diagramjának meghatározására.

TAPASZTALATOK

Az alábbiakban az egyes veszélyekkel szembeni védeettségre mutatunk be példákat, demonstrálva a műszaki megoldások hatékonyságát.

Földrendések

A *Magyar Tudomány* jelen számában olvashatunk a paksi telephely földrengés-veszélyeztetettségéről. Az új blokkok esetében a földrengésre történő tervezés alapja 0,34g maximális vízszintes gyorsulás, amelynek meghaladási gyakorisága 10^{-5} /év. Ez négyszerese annak a hatásnak, amelyre minden más létesítményt az adott régióban tervezni kell a hatályos jogszabályok és szabványok szerint.

Itt el kell oszlatni még egy aggályt: Lehet-e ilyen nagy rengésre tervezni?

Az elmúlt jó tíz év alatt számos atomerőművet ért földrengés, sőt nagyobb földrengés, mint amekkorát a tervezésnél figyelembe vettek. Tény, hogy még a tervezési alapot meghaladó földrengés hatására sem következett be biztonságot befolyásoló kár ezekben az erőművekben, azaz a konzervatív nukleáris szabványok alapján megtervezett létesítmények valóban földrengésállóak. Ezt igazolják az Onagava (2005), Sika (2007), Kasivazaki-Kariva (2007), North Anna (2011) atomerőműveket ért földrengések tapasztalatai. Még a 2011. évi tóhokui nagy földrengés tapasztalatai is ezt bizonyítják, melynek hatása tizenegy Honsú szigeten lévő blokkot és a Rokkasú reprocesszálót is elérte, s a legtöbb helyen a tervezési alapot lényegesen meghaladó talajmozgást okozott. Általános az a szakmai álláspont, hogy a nukleáris szabványok alkalmazásával megtervezett létesítmények igen nagy tartalékokkal rendelkeznek a földrengés vibrációs hatásával szemben. Ez még a Fukushima Daiicsi atomerőműre is igaz volt, ahol a súlyos balesetet a szökőár okozta, s nem a talajmozgás vibrációs hatása.

Némi malíciával megjegyezhető lenne, hogy ezek jól megtervezett japán és észak-amerikai atomerőművek. Így vegyük a bulgáriai Kozloduj Atomerőmű példáját, amelyet három, a vranceai szeizmotektonikus zónában kipattant rengés ért (1977, 1986 és 1990). Ezenkívül 1985-ben és 1986-ban, továbbá 1987-ben három lokális rengés is volt. Az 1977-es volt a legérdekesebb, mert akkor 0,17g maximális vízszintes gyorsulást mértek a telephelyen, míg a tervezésnél a telephely szeizmicitását MSK-64 szerinti 4–5 intenzitásfokkal jellemezték, ami az akkori orosz normák szerint nem igényelt speciális tervezést, mert a szélteher nagyobb volt. A Kozloduji Atomerőmű, amit nevezhetnénk a Paksi Atomerőmű blokkjai

nagyapjának, s az új blokkok ükapjának, ezeket a rengéseket biztonsági problémák nélkül túlélte. 1977 után újra meghatározták a tervezési alapot MSK-64 szerinti 7 intenzitásfokban (~0,2g-vel), és erre erősítették meg az erőművet.

A fenti tények bizonyítják, hogy a nukleáris szabályok és szabványok szerinti tervezés robusztus eredményre vezet, mivel ezek a szabványok és tervezési eljárások a káresetek sokaságának feldolgozásával és nagy léptékű kísérletekkel alátámasztottak. A példák szerint garantálták a biztonságot a tervezési alapnál nagyobb földrengés esetén is, s annál inkább garantálják, ha azt korrekt telephelyjellemzés alapján és a normák szerint figyelembe veszik.

A nukleáris biztonság, a biztonságra történő tervezés szempontjából a telephelyvizsgálatnak s ezen belül a neotektonikai és szeizmológiai kutatásnak az a célja, hogy a tervezési alapba tartozó földmozgás jellemzőit (veszélyeztetettségi görbe, maximális vízszintes gyorsulás, válaszspektrum) megadja, és jellemezze a felszíni permanens elmozdulás – a nukleáris szakterületen bevezetett megjelölés szerint a „kapabilitás” – veszélyét. A nukleáris biztonság szempontjából, sőt *de jure* a telephely alkalmassága szempontjából kardinális felszíni vető menti permanens elmozdulás veszélyének kérdése a 2016-ban lezárult vizsgálatokig tisztázatlan maradt. A vető menti permanens felszíni elmozdulás mint veszély kezelése az utóbbi évtizedekig értelmezési problémát is okozott. Földtani, tektonikai szempontból trivialis, hogy minden földrengést vető menti elmozdulás okoz, s ennek evidens volta miatt valóban az az elsődleges kérdés, hogy az ismert szerkezet aktív-e. Ugyanakkor annak meghatározása, hogy ez a vető menti elmozdulás manifesztálódik-e a felszínen, s ha igen, milyen mértékben, kitüntetett fontosságú a tervezés és a nukleáris biztonság szempontjából, mivel ez jellegében teljesen más hatást vált ki az atomerőmű létesítményeire, mint a földrengés által okozott talajmozgás, azaz a „föld rengése”. A föld rengése egy alteráló dinamikai hatás, amely a szerkezet dinamikus válaszát, rezgését okozza, és az ebből eredő igénybevételeket kell a szerkezeteknek elviselniük, illetve a szerkezetek dinamikus válasza hat a beépített technológiai rendszerekre. Ezzel szemben a vető menti elmozdulás, amennyiben az a felszínen permanens elmozdulásként megjelenik, az atomerőmű építményei megdőlését, az alapozás és a felépítmény sérülését okozhatja, illetve a szerkezetek közötti kommunikáció (vonalas létesítmények) relatív elmozdulás miatti sérülését válthatja ki. Ennek mechanizmusa merőben eltér a rengés okozta hatás mechanizmusától. Az értelmezési probléma azzal is magyarázható, hogy míg minden földrengést vető menti elmozdulás okoz, korántsem egyértelmű, hogy az a felszínen megjelenik-e, sőt tapasztalati tény, hogy nem minden vető menti elmozdulás, azaz földrengés képes a felszínen permanens elmozdulást okozni. A paksi telephelyen és annak tág környezetében végzett komplex vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a területen százezer éves időskálán bekövetkező szeizmikus események nem képesek a felszín nukleáris biztonság szempontjából szignifikánsnak minősülő elvetésére.

Azt, hogy mi minősül szignifikáns elmozdulásnak, a tervezési szabványok és előírások számszerűen meghatározzák. Megjegyezzük, hogy a tudomány és technika mai színvonalán a felszíni elmozdulás veszélyének jellemzésére és a felszíni elmozdulás hatásának szerkezeti és rendszertechnikai kezelésére vannak megbízható megoldások (Katona, 2020), és a nukleáris biztonság igazolására is vannak példák (URL1). Ezt számos, permanens felszíni elmozdulásra tervezett és ilyen hatást biztonságosan elviselő nem nukleáris létesítmény példája is igazolja, mint az 1995. január 17-i pusztító kobei földrengés okozta felszíni elmozdulást elviselő Akasi Kaikjó híd, amelynek pillérjei egymáshoz képest csaknem egy métert elmozdultak. A tapasztalatok által igazolt műszaki megoldások készítették a legtöbb nemzeti hatóságot és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséget is arra, hogy a felszíni elmozdulás veszélyét a tervezésnél figyelembe vehetőnek minősítsék.

Meteorológiai, klimatikus szélsőségek

A relatíve lassan kifejlődő, jól előjelezhető, s egyben elég jól ismert hatásokra könnyebb tervezni és felkészülni, mint a hirtelen, sorscsapásként bekövetkezőkre. Ilyen, jól előre jelezhető hatások a hőmérsékleti szélsőségek. Igaz, vannak a Földnek olyan területei is, ahol a hőmérséklet-változás sebessége rendkívüli, például 37 °C egy nap alatt (1911. november 11., Oklahoma City, USA) vagy 27 °C két perc alatt (1943. január 22., Spearfish, Dél-Dakota, USA), de ez csak különleges meteorológiai és topográfiai viszonyok között alakulhat ki. A meteorológiai szélsőségekre való tervezés lehetőségét igazolja az oroszországi Bilibinói Atomerőmű példája, amely szubpoláris körülmények között működik 1974 óta. Szélsőséges hidegek vannak a Kolai Atomerőmű telephelyén is, s rekordhidegeket élt meg a világ számos atomerőműve (URL2). A Busheri Atomerőmű Iránban szélsőségesen forró sivatagi klímában, Tamilföldön, Indiában a Kundakulami Atomerőmű a monszun zónában kibírja a szélsőségesen csapadékos és tartósan meleg időjárási körülményeket.

A százezer évenként átlagosan egyszer előforduló mértékadó hőmérsékleti szélsőségek a paksi telephelyen 48,3 °C és a minimum –59,1 °C első látásra meghökkentők, de műszakilag nem kezelhetetlenek. Az extrém hideg és meleg nem annyira biztonsági, hanem inkább termelésbiztonsági kérdés, és kismértékben a hűtővízellátás kérdése. A biztonsági hűtővíz igénye két nagyságrenddel kisebb, mint a teljes teljesítményen történő üzemelés hűtővízigénye. *Ad absurdum*, a paksi atomerőmű tervezett új biztonsági hűtése akkor is megvalósítható, ha a Duna eltűnne. A hűtővízellátás jegesedés hatásától való védelme jégtörők bevetésével vagy a hidegvíz-csatorna karbantartása rutin üzemeltetői feladat, s egyúttal aktív védelem a releváns veszéllyel szemben.

A százezer évenként egyszer bekövetkező gyakoriságú maximális széllelkéshez rendelt átlagérték Pakson 47,7 m/s, azaz 172 km/óra. Ez nem sokkal múlja fölül a

2013. márciusi tél idején a Kab-hegyen mért értéket (165 km/h), de ez sem jelent kezelhetetlen terhet, amit a tapasztalatok is igazolnak, bár a villamos hálózatban komoly károk keletkeztek. Azt, hogy az extrém szél hatásával szemben az atomerőművek megvédhetők, számos példa igazolja: 1992 augusztusában az Andrew hurrikán 230 km/h sebességgel érte el a Turkey Point Atomerőművet (USA), s a szélhőkészek sebessége 280 km/h volt. 2012 októberében a Sandy hurrikán söpört végig az USA keleti partvidékén. A harmincnégy érintett atomerőműből huszonegy zavartalanul üzemelt a hurrikán ideje alatt és után, hét éppen az éves főjavítás alatt volt, s három biztonságosan leállt a hálózat sérülése miatt. Legfrissebb példa pedig a 2017. szeptemberi Irma hurrikán, amely meggyengülve ugyan, de a magyarországi viszonyokhoz mérten mégis szélsőséges sebességekkel érte el a floridai Turkey Point és a St. Lucie atomerőműveket, de károkat nem okozott.

Árvizek

Az árvizek is jól előre jelezhetők, s a tervezett védelem mellett, rendkívüli körülmények között, az atomerőművek még provizórikus megoldásokkal is megvédhetők. A provizórikus árvízvédelemre a Missouri mentén a Fort Calhoun Atomerőmű szolgált példát, amelyet 2011 júniusában 2,4 m magas, AquaDam típusú ideiglenes gáttal védtek. A mai biztonsági filozófia szerint a felkészülés a tervezett-beépített és a tervezett rendelkezésre álló helyszíni és telephelyen kívüli megoldások kombinációja. Az átmeneti intézkedések sem improvizatívák, hanem megtervezettek, legfeljebb az alkalmazásuk szcenáriófüggő.

A paksi telephelyet tekintve még a bős–nagygyarosi vízerőmű gátjának szakadását követő árhullám sem árasztja el a telephelyet, s még ez az árhullám is ad lehetőséget fölkészülésre.

Kétségtelenül nehéz minden szempontból megfelelő telephelyet találni, s vannak messze nem ideális telephelyek akár az árvízveszély szempontjából is. Ilyen például Franciaországban a Tricastin Atomerőmű telephelye, amely 6 méterrel alacsonyabban fekszik, mint a mellette folyó Canal de Donzère-Mondragon árvízszintje, sőt a felvízen található egy technikatörténeti relikvia, a Donzère-Mondragon gát is. A francia nukleáris hatóság elemzése (URL3) szerint földrengés hatására a védgát talajfolyósodás miatt megsérülhet, s mindez olyan veszélyt jelent, hogy a Francia Elektromos Művek 2017 szeptemberében ideiglenesen, a probléma gyors megoldásáig leállította az atomerőművet (URL4), nem zavartatva magát az áramár 2,54%-os növekedésétől. Itt szerepet játszik még egy, az atomerőművek nukleáris biztonsági szabályozásában és az üzemeltetési gyakorlatában fontos tényező: A nukleáris előírások arra kötelezik az atomerőművek engedélyeseit, hogy a saját és mások üzemeltetési tapasztalatait feldolgozzák, és a tanulságok alapján a biztonság növelésére intézkedjenek. 1999-ben a Blayais-i Atomerőművet sújtó árvíz, s nem kevésbé a szökőár által a Fukushima Daiicsi Atomerőműben

okozott baleset után végzett felülvizsgálat tanulságai készítették erre a döntésre az atomerőmű üzemeltetőjét (URL5). Az óvatosság nem túlzó. Franciaország 58 atomerőművel és 75%-os nukleáris villamosenergia-termelési hányaddal Európa „legnukleárisabb” országa. Elemzések azt mutatják, hogy egy kezelhető, a nemzetközi INES-skálán hatos besorolású baleset közvetlen és közvetett kára is igen nagy (URL6, URL7), amelyet semmilyen átmeneti gazdasági érdek miatt sem érdemes megkockáztatni.

Tornádók

Vannak olyan veszélyek, amelyek nem sok időt adnak a felkészülésre, vagy egyáltalán nem jelezhetők előre. Ilyen például a tornádó, a földrengés, a külső emberi tevékenységből származó veszélyek, mint például a repülőgép-rázuhanás. Ezekben az esetekben betervezett, beépített védelemre van szükség.

Hazánk területe mérsékelten tornádóveszélyes. Az új blokkok tervezésénél F3-as intenzitású tornádót kell figyelembe venni. Egy ilyen tornádóban a maximális szélesebbesség 49 m/s, a nyomásesés a tornádó magjában 795 Pa, és ez a szokványos 4 mm vastag ablaktáblákra már nem megengedett terhelést okoz. Ma igen meggyőző tervezési és üzemeltetési tapasztalatok halmozódtak föl, leginkább az USA-ban, és váltak közkinccsé. Száznál több jelentett eset bizonyítja, hogy a tornádók hatásával szemben megbízható megoldások léteznek (URL8).

MIT IGAZOL AZ ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALAT TÁRGYILAGOS ÉRTÉKELÉSE?

A külső veszélyeket tekintve az atomerőműveket, létezöket és tervezetteket egyaránt, a fukusimai baleset stigmatizálja. Szándékunk az volt, hogy példákat sorolva a gyakorlat próbáját kiálló tervezési megoldásokra és üzemi tapasztalatokra, a mérleg nyelve a helyes irányba vagy legalábbis semleges pozícióba billenjen.

A fukusimai tragédia ellenére, sőt épp annak tanulságaként is megállapíthatjuk, hogy az üzemeltetési tapasztalat egyértelműen igazolja az atomerőművek külső veszélyekkel szembeni védhetőségét. Egyértelmű válasz adható az alapkérdésekre. Vannak bizonyítottan helyes műszaki-tudományos módszerek arra, hogy a rendkívüli hatásokra is biztonságos atomerőművet tudjunk tervezni. Van közvetlen tapasztalat ennek igazolására. Ellenőrizhetők az ismeretek. Van lehetőség tudományos kísérletekre vagy analóg esetek szimulációs reprodukciója révén az evidenciák megszerzésére. A valós és tartós üzemi tapasztalat meggyőző érveket szolgáltat a tervezési módszerek és megoldások adekvát voltának és a biztonságának az igazolására.

IRODALOM

- Katona T. J. (2020): Safety of Nuclear Power Plants with Respect to the Fault Displacement Hazard. *Applied Sciences*, 10, 3624. DOI: 10.3390/app10103624, www.mdpi.com/journal/applsci.
- URL1: JANSI-FDE-03 rev.1, Assessment Methods for Nuclear Power Plant against Fault Displacement (Provisional Translation of Main Text). September 2013, On-site Fault Assessment Method Review Committee, Japan Nuclear Safety Institute, <http://www.genanshin.jp/archive/sitefault/data/JANSI-FDE-03r1.pdf> (megtekintve 2014. szeptember 29.)
- URL2: *Incident International Reporting System for Operating Experience*, IAEA OECD/NEA, <https://nucleus.iaea.org/Pages/irs1.aspx>
- URL3: <http://www.french-nuclear-safety.fr/content/download/153556/1505212/version/1/file/ASN%20Technical%20Note%20Def.pdf>
- URL4: https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-medias/cp/2017/cp_edf_20170928-tricastin-arret_va.pdf
- URL5: <https://www.nrc.gov/public-involve/conference-symposia/ric/past/2010/slides/th35defraguierepv.pdf>
- URL6: <http://www.irsn.fr/EN/newsroom/News/Pages/20130219-Economical-cost-of-nuclear-accidents.aspx>
- URL7: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/EN_Eurosafe-2012_Massive-releases-vs-controlled-releases_Cost_IRSN-Momal.pdf
- URL8: <https://www.nei.org/Master-Documents-Folder/Backgrounders/Fact-Sheets/Through-the-Decades-History-of-US-Nuclear-Energy-F>

Tanulmány

AZ INFORMÁCIÓ HORDOZÓIRÓL – AZ INFORMÁCIÓ ÚJ NÉZŐPONTBÓL II. Információ, kiszámítás és informatika

ON THE CARRIERS OF INFORMATION: INFORMATION FROM A NEW PERSPECTIVE Part 2. On the Relationship of Information, Computation and Informatics

Benczúr András

az MTA doktora, professor emeritus, Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Kar Információs Rendszerek Tanszék, Budapest
abenczur@inf.elte.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban az információ fogalmát közvetett úton közelítem meg. Nem magával az információval foglalkozom, hanem az információ hordozóival, amit a dolgozatban *formációnak* nevezek. Az információ hordozói adják a gondolkodás és kiszámítás közös „anyagát”, a formációt. Két alapvető emberi képességünk, az anyag átrendezése és a gondolkodás, kibontakozásának történeti áttekintésével kezdtek a formációk világának bemutatását. Az anyag tudatos átrendezése tette lehetővé tudaton kívüli formációk használatát, ami tovább erősítette az anyag átrendezésére megismert lehetőségek készletének továbbadását és fejlesztését. A formációk világát két fő részből állónak tekintem: az emberi tudatokon belüli világból és a tudatokon kívül megjelenő, mesterségesen készült formációkból. Az utóbbiak (exformációk) három fő rendszere a nyelv, az írás-nyomtatás és végül a digitális formációk. A formációkhoz a jelentés hozzárendelése információs lépések, folyamatok során történik. A formációból így lesz információ. Az információ hasznosulása, felhasználása, átalakítása, feldolgozása sokáig emberi tudatokon keresztül történt. Ezen a téren hozott forradalmi változást a digitális világ és a kiszámítás gépesítése. A kiszámítás és az információ összefonódásával foglalkozik a II. rész. A dolgozat újszerűségét a formációkra és az információs eseményre épített elemzés adja.

ABSTRACT

Bypassing the definition of information, I do not deal with the information itself but with the carriers of information, which I call *formation* in the paper. The carriers of information provide the common ‘material’ of thinking and computation, the formation. I begin my presentation of the world of formations with a historical overview of the evolution of our two basic human

abilities, the rearrangement of matter and thinking. The conscious rearrangement of the material allowed the use of artificial formations outside our brains, which further strengthened the transmission and development of the set of known possibilities for the rearrangement of the material. I consider the world of formations to consist of two main parts: the world within the human consciousness and the artificial formations that appear outside of it. The three main systems of the latter (exformations) are language, writing-printing, and finally digital formations. The meaning is assigned to the formations during information events. *The formation thus carries information for its user.* The utilization, use, transformation, and processing of information has long been only through human consciousness. This field has been revolutionary changed by the computing machines and the digital world. In Part 2 the strong interrelationship of computation and information is dealt with. The novelty of the paper is given by the analysis based on the formations and the information events.

Kulcsszavak: információ, kiszámítás, kommunikáció, információelmélet, mesterséges intelligencia, informatika

Keywords: information, computing, communication, information theory, artificial intelligence, informatics

BEVEZETÉS A 2. RÉSZHEZ

A dolgozat első részében az információs esemény bevezetésével kötöttem össze az információ hordozóit az észleléssel és a jelentés hozzárendelésével. Az információ hordozóját neveztem el formációnak. A szóválasztás utal a fogalmilag felette álló információ szóra, egyben lehetővé teszi, hogy az információ hordozóinak a tudaton belüli természetes és a tudaton kívüli mesterséges megtestesüléseivel egyaránt foglalkozni lehessen. A formációk használatát emberi lehetőségeink két nagy adománya, az anyag átrendezésének és a gondolkodásnak a képessége teszi lehetővé, és egymásra hatva alakították az emberiség információhordozóinak, a formációknak világát, alkotják az emberi közösségek egyre globalizálódó infoszféráját. A gondolkodás a tudaton belüli formációkkal gazdálkodik, belső információs események is zajlanak benne, érzékszervi észlelésekhez, érzületekhez belső formáció keletkezik, ami korábbi észlelések megőrződött formációihoz kapcsolódva egészül ki jelentéssel. A külső formációk mind tudatos, szándékos anyagátrendezéssel jönnek létre, mint a beszéd, az írás. Ezek visszahatottak a tudati információs folyamatokra, és kifejlődött a nyelvi szimbólumokra épülő gondolkodás, benne a kiszámítás matematikai és algoritmusos alapjaival. Az anyag átrendezéseinek sorában magával az átrendezett anyaggal végrehajtható anyagátrendezések sora elvezetett a géppel végeztetett kiszámításhoz. Itt tartunk ma. A fejlődés történetét jól követhetjük Csányi Vilmos és Tóth Balázs (2017), valamint Yuval Noah Harrari (2015, 2017) könyveiben. Harrari a „*Homo Deus*”

könyv (2017) végén a kiszámítás és adatvilág mindenhatóságát hirdető illuzórikus dataizmus bemutatásáig jut el.

Az első részben is hangsúlyosan szerepelt, hogy a külső formációk használata, alakítása a gépi kiszámítás előtt kizárólag emberi tudati tevékenységgel történt. Korábbi írásomban (Benczúr, 2000) a kommunikáció és a matematikai modellek szemszögéből mutattam be a fejlődés történetét. A Shannon-modell kiinduló feladata az üzenet eljuttatása a forrástól a rendeltetési helyre. Ezt fejlesztettem tovább az információs rendszerek modelljévé (Benczúr, 2003), ahol az üzenetek a felhalmozódó tudáskészlethez adódó relatív üzenetek, és kérdésüzenetekkel lehet hozzáférni a készlethez. A megközelítés akkor az információs rendszerek automatizálásának feladatából kiindulva volt szűkítő, egyúttal a kommunikáció matematikai kérdéseire is irányult. A szemantika ebben nem játszott szerepet, eltérően ettől a dolgozattól. A szemantikát az információs esemény és az információtriád bevezetésével hoztam be az első részben. A korábbi modellben központi szerepet játszó üzenet mint információhordozó helyére a bővebb megjelenési és felhasználású formákat, a formációkat vezettem be.

A 2. részbe került harmadik szakaszban jellemzem a kiszámítás és az információ viszonyát, bemutatom a kiszámítás és az információs események összefonódását. A 4., záró szakasz a matematikai modellek jellemzése mellett a kiszámítás és a digitális formációk néhány újdonságát tartalmazza. A *Konklúzió*ban a formációkra épülő szemlélet összefoglalását adom meg, és az informatika új tudományterületként való kibontakozását hangsúlyozom.

A közvetlen megértés kedvéért az 1. részből megismétlem az információtriád és az információs esemény definícióját, valamint a két alaptörvényt.

Az információtriád a *formáció*, *tulajdonos* és a *jelentés* hármasa (háromsága). Az információ szerepe a triádban háromféle lehet: keletkező, észlelt vagy kibocsátott. Ez a hármás egy időben lejátszódó folyamathoz tartozik, amelyet *információs eseménynek* nevezek. Az információ ebben a meghatározásban a formáció mozgása, amit a tulajdonos kapcsolatba tud hozni jelentéssel. A tulajdonos vagy új formációt társít a referálthoz, vagy formációt észlel a referáltjával társítva, vagy formációt bocsát ki a referált helyettesítéseként.

Az 1. alaptörvény: Különböző jelentésekhez különböző (a megfigyelő/létrehozó által megkülönböztethető) formációra van szükség. Ebben van mindjárt egy relatív héttér: a megfigyelő felbontóképessége. A formációnak felismerhetőnek, megkülönböztethetőnek kell lennie.

A 2. alaptörvény: Formáció észlelése/létrehozása akkor jelent információt, ha egy időben olyan korábban keletkezett formáció észlelése is lehetséges, amelyhez a jelentés kötődik.

3. A KISZÁMÍTÁS ÉS A FORMÁCIÓK VISZONYA

A kiszámítás egész fejlődési története során mesterséges formációkkal történt. Nem bármilyen információ kezelése volt az eredeti funkciója, hanem elsősorban a számokhoz, mennyiségekhez tartozó formációk használata. A feldolgozáshoz a külső, tárgyiasult formációk is szükségesek, a feldolgozások menetét szabályozott agyi tevékenység hajtja végre. A szabályozott tevékenységek fejlődtek tovább a geometria, matematika, logika és a természettudományok sajátos gondolkodási formáiba. A kiszámítást nem természeti jelenségnek tekintem, hanem az emberiség által kialakított eszköznek. Akkor is eszköz, amikor emberi elme végzi a műveleteket. Ebből nem következik, hogy az idegrendszer működését is kiszámításnak lehet tekinteni, viszont lehet keresni a kiszámításos működési modelljét.

A kiszámítás fogalmának meghatározásában – legalábbis a szakma keretén belül (amerikai terminológiával a *computing profession* közösségben) – sokkal nagyobb az egyetértés, mint az információéban. Az általános felfogás információátalakításnak tekinti. Azonban nem minden információátalakítás kiszámítás. Többek között Peter J. Denning (2011) is adott egy szigorúbb értelmezésű definíciót: „Egy reprezentáció szimbólumokból álló alakzat, ami valami helyett áll. Egy olyan reprezentációt, amely egy függvényt kiértékelő metódus helyett áll, algoritmusnak nevezünk. Egy reprezentációt, amely adat helyett áll, értéknek nevezünk. Egy információeljárás reprezentációk szekvenciája. Egy kiszámítás olyan információeljárás, amelyben az átmeneteket egyik reprezentációból a másikba egy reprezentáció kontrollálja.”

A Denning által használt reprezentáció közeli szinonimája az általam használt formációnak. A formáció annyiban általánosabb, hogy nem csak szimbólumokból építkezhet. Lényeges a definícióban a metódus és az algoritmus fogalmának használata. Ezért nem tekinthető minden információátalakítás kiszámításnak.

Dolgozatomban az anyagátrendezés középpontba helyezésével a kiszámítást a speciális célú anyagátrendezéshez kötöm. Denning meghatározásában tulajdonképpen három formáció szerepel: a kiszámítási feladat konkrét példányának formációja, az átalakítást kontrolláló formáció (például program) és a megoldás formációja. A kiszámítást végző anyag, a számítógép, az első két formációt kapja anyagként, és ezt felhasználva hozza létre az eredmény formációját. Ami ebben az esetben összekapcsolja a három formációt, az a kiszámításos modellezés, vagy még újabb kifejezéssel az informatikai modellezés. A kiszámításos gondolkodásra (*computational thinking*) nevelés a kiszámításos modellezésre, a számítógép segítségével való feladatmegoldásra készít fel, fontos eleme az algoritmusok elszámoltatása, a programozási alapvetés. A legújabb, az informatikai gondolkodás felvetése a rendelkezésre álló információval, informatikai eszközökkel és a kiszámítással való összetett feladatok, rendszerek modellezésére irányul.

Úgy tekintem, hogy a *kiszámítás* legáltalánosabban formációk átalakítása formációkká. Vagyis reprezentánsokkal való modellezése a reprezentáltak viszonyainak. *Egy valaminek reprezentálására használt formáció átalakítása valamit reprezentáló formációvá.*

A kiszámítás matematikai meghatározása egy 1930-as években megfogalmazott sejtésre, a Church–Turing-tézisre alapul (URL1), amely szerint minden formalizálható probléma, amelyik megoldható algoritmussal, megoldható Turing-géppel is.

Az, hogy épülhet-e a kiszámítás axiómája Turing-gépre, többek által vitatott, amit az interaktív algoritmusok, folyamatosan működő online algoritmusok, osztott rendszerek példáival támasztanak alá. Az új kiszámítási lehetőségek, mint a párhuzamos, interaktív, folyamatos kiszámítások valóban nem felelnek meg a Turing-gép megszakítás nélküli működésének, azonban a Turing-automaták nem kizárólagos szalaghasználatra való alkalmazásával már megvalósíthatók.

A Turing-kiszámítás ismertetése: Egy Turing-gép véges sok állapotot vehet fel, egy szalag celláiból olvashat, a celláira írhat jeleket, előre adott véges jelkészletből. Az olvasás és írás után léphet az előző vagy következő cellára a szalagon. A gép központi része a mozgástáblája, amely megadja, hogy adott állapotban adott jelet olvasva milyen állapotba menjen át, mit írjon vissza a szalagra, és előre vagy hátra lépjen-e. Két kitüntetett állapota van, a kezdő és a befejező állapot. A Turing-kiszámítás végrehajtása során a gép kezdő állapotban a szalagra helyezett feldolgozandó adat elején áll. A feldolgozás akkor fejeződik be, ha a gép befejező állapotba kerül. Az eredmény a szalag új tartalma lesz. Annyi Turing-gép (T-gép) létezik, ahány mozgástábla adható meg. Az alapváltozat csak 0 és 1 jeleket használ (bináris T-gép), és a szalagon lehet még a csak olvasható „üres” jel. A Turing-gép a szalagot a gép részének tekinti, a feldolgozandó adat szalagra helyezése után a szalag tartalmát csak a gép változtatja. A Church–Turing-tézis azt jelenti, hogy egy kiszámítási nyelven megadott (véges megadás) kiszámítás-leíráshoz létezik vele ekvivalens T-gép úgy, hogy minden x (egész) helyen vagy ugyanazt az értéket adják vissza véges lépésben, vagy egyik sem ad vissza értéket véges lépésben.

Nézzük meg, mit jelent a kiszámításra nézve, ha elvászttjuk a Turing-gép állapotváltozási, más néven mozgási tábláját a munkaszalag használatától. Nem kellene a szalag kizárólagos használatára korlátozni a T-gépek működtetését. Ezzel kiterjeszthetjük a Church–Turing-tézist.

Tézis. Minden kiszámítás megadásához elegendő a Turing-automaták használata. Egy Turing-automata egy mozgástáblából és egy író-olvasó fejből áll. Ha szalagot helyezünk a fej alá, az állapotának megfelelő lépést hajtja végre. Véges sok T-automatával minden kiszámítási feladat megvalósítható, pontosabban minden kiszámítási feladat visszavezethető véges sok automata rendszerével való kiszámításra. Az építkezés típusait a bemeneti és kimeneti folyamat, a munkasza-

lag használata és az automaták közötti kommunikáció választásának lehetőségei adják meg. Egy Turing-automata megszakítás nélküli futását tekinthetjük elemi kiszámításnak. Kommunikációs hálózattal egybekötve humán és internetre csatlakozó műtárgy (IoT: Internet of Things) résztvevőkkel komplex feladatok megoldását, működtetését tudjuk kiépíteni.

A Turing-kiszámítás a szalag kizárólagos használatát tételezi fel, és a kiszámíthatóság kérdése a végesen leírható, de végtelen sok példányból álló feladatrendszerekre vonatkozik. Véges sok példányból álló és végesen megoldható feladatok esetén, mint például a sakk, a kiszámíthatóság nem kérdés. Itt a kérdés a mérettől függő igen nagy számítási kapacitás biztosítása és természetesen a minél hatékonyabb kiszámítási megoldások megtalálása. Az interaktív algoritmusok, folyamatfeldolgozások mind visszavezethetők megfelelő munkaszalag-használattal, Turing-gépes mozgástáblával megadható kiszámításokra. Fordítva is igaz, hogy az így definiált, nem kizárólagos szalaghasználatú Turing-rendszerek fizikailag megvalósíthatók, vagyis minden lefutásukhoz rendelhető fizikailag végbemenő kiszámítás. Ezzel a kiszámítások – mint végső soron mozgástáblákkal és adatokkal megadható formációk – axiomatikusan felépülő struktúrát adnak. Ebben a struktúrában, önmagában is van egy sajátos jelentés, vagyis szemantika: a kiszámításhoz tartozó leképezés. A kiszámítással kezelt formációk jelentését ez önmagában nem határozza meg. Csak formációk átalakításának tekinthető a kiszámítás, ami az információs triád és az információs események nélkül nincs értelmezve. A kiszámítással kapott formációk használatának az a különlegessége, hogy a kiszámításnak mint formációnak a helyes jelentést kell hordoznia. Fontos észrevétel, hogy a T-gépek mozgástáblája maga is potenciális formáció.

A bevezetőben az anyagátrendezések és a gondolkodás együttes fejlődésére építettem a kiszámítást végző mesterségesen átrendezett anyagig tartó fejlődést. Ezzel az információ és kiszámítás együttműködését is egyértelmű keretbe lehet foglalni. Ez szűkebb értelmezést ad, mint a kiszámítás, az információ és együttesük filozófiájáról kialakuló irányvonalak felfogása, viszont lefedti, és nem lép ki az infoszféra világából. A filozófia érdeklődését a kiszámítás világa iránt először a mesterséges intelligencia (MI) váltotta ki, majd a személyi számítógépek, az internet és a mobil kommunikáció világa a kiszámítás és információs technológiák filozófiájának kibontakozásához vezetett.

A szigorú értelemben vett kiszámítás mellett megjelentek a mesterséges világon kívül eső természetes jelenségek kiszámításként való felfogásának irányvonalai. Ezek nem illeszkednek az emberi anyagátrendezés eddigi sorába, de új átrendezések kiindulásai lehetnek. Olyan filozófiai irányzatok, mint a computacionalizmus, neocomputacionalizmus és infokomputacionalizmus tartoznak ehhez az eltérő szemléletű kiszámítási felfogáshoz.

Conrad Zuse indította el a computacionalizmus filozófiai irányvonalat 1967-ben (Zuse, 1969) azzal, hogy úgy tekintette, mintha az egész univerzum saját

viselkedését egy alapszinten kiszámítaná, az egész egy kiszámítást végző tér lenne. Újabb erőre kapott ez az irányzat azzal, hogy az informatika eszköztára messze túllépett a kezdeti numerikus és alfanumerikus alapvető alkalmazások világán. Az izolált kiszámításokhoz képest jelenleg kiszámítások sokasága folyik, rendszerekké, kommunikációs csatornákat és adattárolási eszközök közbeiktatásával összehangolva. A kiszámítás lényegét ez nem változtatja meg. Az interaktív használat, a párhuzamos és osztott rendszerek, szimbolikus számítások, a kiszámításos modellezés életjelenségeikig terjedő kibontakozása odáig vezetett, hogy kialakult egy olyan felfogás, amely az élő rendszereket is informatikai rendszerként tekinti, amelyek dinamikáját az információfeldolgozás, vagyis kiszámítás adja. Ennek részletes kifejtése található például Mark Burgin és Gordana Dodig-Crnkovic (2013) dolgozatában, amelynek konklúziója: „Sokkal jobban meg kell értenünk a kiszámítást mint információfeldolgozást annál, ahogy most tudjuk. Minthogy nincs információ (fizikai) reprezentáció nélkül, az információ dinamikáját különböző szemcsézettséggel valósítják meg különféle fizikai folyamatok, belefoglalva a kiszámítás szintjeit, amelyeket számítógépek (tervezett kiszámítás) és élő szervezetek (természetese kiszámítás) hajtanak végre.”

Dodig-Crnkovic (2009) könyvében *az infokomputációs természetfelfogást fejti ki*. E könyv rövid ismertetője alapján mutatom be a felfogás lényegét. Úgy tekint a valóságot, hogy az információ adja a struktúráját, a kiszámítási folyamatok pedig a változását. Információ és kiszámítás kibogozhatatlanul összefonódik. Nincs kiszámítás információs struktúra nélkül, és nincs információ kiszámítási folyamat nélkül. Ezzel olyan fogalmi háló építhető, amely a valóság felfogásának egy elméleti útja. A valóságot a naturális komputacionalizmus keretében fogja fel, amelynek szemlélete szerint az egész univerzum úgy tekinthető, mint egy különböző szintekből álló kiszámítási rendszer, a kvantummechanika világtól kezdve a biológiai organizmusokig, beleértve az intelligens elmét és társadalmát. A könyv tárgyalja az információ és kiszámítás kérdéseit, nézetük egyesítését, a tudásgenerálás infokomputációs megközelítéséhez való alkalmazásait.

Az infokomputációs felfogást hibásnak tartom, ha a természetet magát tekinti infokomputációs jelenségnek. Abban az esetben, ha a természet modellezésével, megértésével van kapcsolatban, helyes, hiszen a természetet infokomputációs modellel tudjuk leírni és befolyásolni. A kérdés az, hogy hol húzzuk meg a kiszámítás határát a természet és az infoszféra között. Számomra a fő kritérium az, hogy kimutathatóan formációk manipulálása történik-e, vagy sem. A formáció valami helyett áll, ezért nézőpontom szerint nem közvetlen a kiszámítás hatása.

Ezen a ponton kapcsolódik az információ és a formációk világába a digitalizáció és a mesterséges intelligencia is. Azt az érzést keltik, hogy a kiszámítási képesség révén az értelmezési képesség is lehetővé válik a gépek számára. Sőt meg is haladják majd az emberi értelmezési képességet (az intelligencia egyik fontos összetevőjét).

A mesterséges intelligencia kibontakozásához vagy még általánosabban a számítástudományhoz Alan Turing a róla elnevezett Turing-teszt mellett elsősorban azzal a meglátásával járult hozzá, hogy minden, ami kiszámítható (számokból vagy egyéb szimbólumokból kalkulálható), az automatizálható.

Érdeemes figyelembe venni az MI meghatározó alakjának, John McCarthynek a megfogalmazását a mesterséges intelligencia feladatáról: „Olyan kutatás annak a sejtésnek alapján, amely szerint a tanuláshoz vagy az intelligenciának bármely lehetősége elvileg leírható olyan precizitással, hogy építhető rá gép, ami szimulálja. Más szavakkal, az intelligencia bármely eleme lebontható kis lépésekre úgy, hogy minden egyes lépés olyan egyszerű és »mechanikus«, hogy leírható számítógépes programként.”

Ez sejtés volt, és ma is az, vagyis helyességét nem tudjuk bizonyítani. Mégis alapvető fontosságú az MI értelmezéséhez, az MI-ről kialakuló nézetek megítéléséhez. McCarthy úgy tekintette, hogy az intelligencia akkor is intelligencia, ha az a rendszer, amely megvalósítja, éppen egy számítógép, ami mechanikusan követi programját. Fontos felfigyelni McCarthy megfogalmazásában arra a finomságra, hogy nem az egész intelligencia, hanem csak bármely lehetősége bontható le egyszerű lépésekre. Amit lebontottunk, azzal már boldogul a mesterséges intelligencia, és várhatóan nálunk sokkal hatékonyabban.

A kiszámításhoz fűzött eszmefuttatás lezárásaként azt a következtetést vonhatjuk le, hogy elfogadva a kiterjesztett Church–Turing-tézist, csupán a kiszámításra építve nem lehet tudatos gépet létrehozni. Egy Turing-gépekből álló rendszert bárki, aki ismeri a gépek mozgástábláit, gondolkodás nélkül tudna futtatni. Elképzelhető, hogy a tudat egyes résztevékenységeit lehet kiszámításos modellel jellemezni, de valószínűleg csak rövid időintervallumra. Lehet, hogy konkrét kiszámításos tevékenységek folynak a tudatban, de ha ezekhez Turing-gépek lennének rendelkezők, akkor azok valószínűleg nem kiszámításos módon változnának meg.

4. FORMÁLIS MODELLEK, A KISZÁMÍTÁS ÉS A DIGITÁLIS FORMÁCIÓK NÉHÁNY ÚJDONSÁGA

A formációkkal való hatékony gazdálkodás a távközlés és a kiszámítás fejlődése során új lehetőségekhez jutott. A nagy mennyiségű, nagy méretű formációk kezelése, továbbítása, tárolása, átalakítása az erőforrásokkal való gazdálkodás hatékony megoldásait igényli, jellemzően kódolási feladat. Az eredeti formációkat kódoljuk, és a kódokkal dolgozunk tovább. A szemantika akkor jelenik meg ezekben a folyamatokban, amikor a formáció információs eseménybe lép ki, vagy abból lép be a kódok világába.

Az első érdemi formális modell, Claude E. Shannon modellje az 1940-es években a jeltovábbítás kérdéseire irányult, még nem látszott a háttérben a számítási és tárolási kapacitások robbanása (Shannon–Weaver, 1986). Shannon modelljét a

hírközlés technológiai fejlődése motiválta, és az üzenetek továbbításának hatékonysága volt az alapvető kérdés. Rényi Alfréd (2004) megfogalmazása szerint a modell mérhetővé tette az információt, matematikai elméletet alapozott meg. Azonban a mérés az információ reprezentánsára, vagyis formációjára vonatkozik. A feladat lényege – bár közvetlenül ez nem látszik – mindössze annyi, hogy különböző információkat (Shannon modelljében üzeneteket) különböző reprezentánsokkal kell kódolni (lásd az 1. alaptörvényt).

A kommunikációs folyamat működésének sémáját az információs eseményekre építve írrom le. A forrás információs eseménye során formációt rendel a referálthoz, a formációt az üzenettovábbító rendszer kódolja, a kód jut el a rendeltetési helyre, ahol a kódból vissza kell állítani a forrás által használt formációt, amelynek észlelése lesz a kiváltott információs esemény. Fontos, hogy a rendeltetési hely ugyanazt a jelentést társítsa a kapott formációhoz, mint a forrás. A forrás ismétlődően választja az üzeneteket. A továbbítás szempontjából csak az fontos, hogy hányféle formációt használhat, és melyiket milyen eséllyel fogja választani. A forrás egy véletlen eseménysorozat, amelyből egy véletlen formációsorozat lesz, ezt a sorozatot kell a lehető legtömörebben kódolni. Ez a tömöríthetőségi mérőszám, amely a véletlen eloszlású szituáció leghatékonyabb kódolásának jellemzője, a Shannon-entrópia, ami más megfogalmazásban az ismétlődő szituációnak (a forrás üzenetválasztásának) bizonytalanságát méri. Ezért az információt a modell alapján gyakran a bizonytalanság csökkentéseként szokták jellemezni. A

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{i=1}^{i=n} p_i \log_2 p_i^{-1}$$

nevezetes entrópiaformula a p valószínűségű választáshoz p reciprokának logaritmusával megegyező hosszú kódot rendel. Nem precíz matematikai okfejtéssel ez úgy is indokolható, hogy ha csupa ilyen valószínűségű lehetőségből kellene választani, akkor p reciprokával lényegében megegyező számú esetünk lenne. Ezek mindegyikét különböző bináris kódokkal azonosítva a szükséges kódhossz $-\log_2 p$ lenne. A bizonytalanság csökkentésének lehetőségét a feltételes entrópia teszi mérhetővé Shannon modelljében. A feltételes entrópia mint a megfigyelés után megmaradó átlagos bizonytalanság kisebb lesz, mint a megfigyelés nélküli esetben, kizárólag független megfigyelés esetén nem változik a bizonytalanság mérőszáma.

Az információ mérése feladatfüggő, és a választható formációk terének jellemzőire épül. A jó formációkészlet jellemzése az információforrás szemantikus készletének mérőszámaként is használható. A használható struktúrák leszámblása gyakran kombinatorikus modellekhez vezet. Ez igaz a Shannon-entrópia és a Kolmogorov-entrópia modelljeiben is.

Andrej Nyikolajevics Kolmogorov (1965) nevezetes dolgozata az információ mennyiségének mérésére három lehetőséget ad meg:

1. A valószínűség-eloszlás szerint választott üzenetek, események várható értékben legrövidebb kódolására a Shannon-entrópia alkalmas.
2. Nagy méretű adatok, nagy méretű jelenségek legtömörebb, számítógéppel visszaállítható kódolásához a Kolmogorov-entrópia (leírási bonyolultság, teljes nevén Chaitin–Kolmogorov–Solomonoff-entrópia).
3. Véges sok elem azonos hosszú kóddal való leírásához a kombinatorikus entrópia, ami az egyenletes eloszlás Shanon-entrópiájával egyezik meg.

Mindhárom lehetőség sajátos információs eseményrendszerhez kötődik. A Shannon-entrópia esetét már bemutattam. A kombinatorikus entrópia esetén minden leírandó eset, tárgy vagy szituáció azonos esélyű, nem kell eltérő hosszú kódokkal törődni.

A róla (is) elnevezett entrópia bevezetésénél Kolmogorov így tette fel a kérdést: milyen rövid kód lenne elegendő ahhoz, hogy egy számítógép abból kinyomtassa Tolsztoj *Háború és béke* című regényét? Másik és fő célja a véletlenszám-generátorok jóságának ellenőrzése volt. Akkor jó egy generált véletlen szám, ha nem tömöríthető a generáló algoritmus ismerete nélkül. Látható, hogy a feladat a kiszámítással függ össze. Szokás még algoritmosos entrópiaként vagy leírási bonyolultságként is nevezni a Kolmogorov-entrópiát. A feladatot a formációk nyelvén úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a jelentéssel bíró igen hosszú x formációt milyen rövid p formációval tudnánk helyettesíteni, hogy p -ből számítógéppel, vagyis egy P algoritmussal x visszaállítható legyen. Függvényjelölést használva azt várjuk el, hogy $P(p) = x$ legyen, és p a lehető legrövidebb kód legyen, amiből P x -et számítja ki. A kódok, formációk most legyenek binárisok, és a hosszt az $l(x)$ függvény adja. Látható, hogy P megválasztásától függ, milyen rövid p kódot találhatunk x -hez. Az elmélet arra épül, hogy az univerzális Turing-gép programja optimális választás P -re. A három felfedező majdnem egy időben találta meg az elmélet invarianciatételét, ami az optimális függvények szerinti mérőszámok konstans erejéig való egyértelműségét mondja ki.

Önmagáért is érdemes röviden bemutatni az univerzális Turing-gépet, mit is jelent az univerzalitása. Kezdjük azzal, hogy a Turing-gépek mozgástábláit egyszerű szabályok használatával bináris kóddal le tudjuk írni. Készíthetünk olyan T-gépet, az utánzó gépet, amelynek először adatként megadjuk egy T Turing-gép mozgástáblájának kódját, majd a gép által feldolgozandó p adatot. Az utánzó gép a mozgástábla alapján T lépéseit hajtja végre p feldolgozása során, és a végeredmény $T(p)$ lesz.

Használjuk ki, hogy a T-gépek mozgástábláinak kódjait egyértelműen fel lehet sorolni, így minden T-géphez sorszámot rendelhetünk. Az i -edik T-gépet jelöljük T_i -vel. Az U univerzális T-gépet úgy konstruáljuk, hogy az (i, p) rendezett pár kódjából határozza meg T_i mozgástábláját, majd ezzel és p -vel hívja meg az utánzó gépet, és futtassa le. Az eredmény: $U(i, p) = T_i(p)$ lesz. U konstrukciója

alapján lesz érthető, mit jelent az univerzalitása. Nem azt jelenti, hogy elegendő U ismerete és használata bármilyen kiszámításhoz. Azt jelenti, hogy ha valamit ki tudunk számítani egy T-géppel, akkor azt a T-gép ismeretében az U-géppel is ki tudjuk számítani. Tehát ami kiszámítható, az visszavezethető az U-géppel való kiszámításra.

Visszatérve a Kolmogorov-bonyolultsághoz, elegendő az U-gépről a fenti ismertetés az invarianciatétel megfogalmazásához.

Invarianciatétel. Legyen x tetszőleges véges bináris kód, T tetszőleges Turing-gép. Létezik olyan, csak T-től függő k_T konstans, hogy

$$\min(l(y)|U(y)=x) \leq \min(l(p)|T(p)=x) + k_T.$$

A bizonyításnál azt használjuk ki, hogy elegendő p mellett T sorszámának kódját megadni U-nak, hogy ennyivel több adatból számolja ki x -et. Az invarianciatétel elnevezést az magyarázza, hogy két optimális gépre nézve az egyenlőtlenség kölcsönösen fennáll. Ezért rögzíthetjük a fenti U-gépet mint referenciagépet, és az x bináris szó Kolmogorov-bonyolultságán a

$$K(x) = \min(l(p)|U(p)=x) \text{ számot értjük.}$$

Bármennyire objektív is $K(x)$ értéke, sajnos nem számítható ki a definícióban szereplő minimalizációs függvényképzés miatt. Meglepő módon, mégis sok fontos tulajdonságát ki lehet mutatni, és fel lehet használni.

Figyelmes konstrukcióval (Benczúr–Molnár, 2018) az univerzális Turing-gép olyan változatát kapjuk, amely bármely konkrét T-géphez képest mindent ki tud számítani legfeljebb konstanssal hosszabb adatból, konstanssal több szalagtár felhasználásával és konstans szorzóval több időráfordítással, ahol a konstansok csak T-től függenek. Ezt az univerzális gépet választva referenciagépnek, nem tudunk nála semmilyen más T-géppel érdemben hatékonyabban kódolni igen nagy adatsorokat. A hatékonyság alatt itt azt kell érteni, hogy mekkora adatból mennyi erőforrás (tár, idő) felhasználásával tudunk valamit előállítani algoritmussal.

Alkalmazások számára a feltételes Kolmogorov-entrópia ad elvi lehetőségeket és korlátokat. A megismerés szemszögéből nézve, a természet struktúráit tudjuk megfigyelni, azért mert elkülönülnek környezetüktől, míg a teljesen rendezetlen jelenségről nem sokat lehet megállapítani. A sok alkotórészből álló komplex jelenségeknél a szerkezet adja a jelenség fő jellemzőit, és marad mellette egy véletlenszerű egyedi rész. Az algoritmikus információelmélet, a Kolmogorov-entrópia apparátusa (lásd Gács et al., 2001) is ad erre matematikai modellt: egy hosszú adatsor leírását szétbonthatjuk két részre úgy, hogy az egyik megad egy röviden leírható és minél kisebb elemszámú halmazt, amelybe az adatsor is beletartozik,

a másik rész pedig a halmazon belüli egyenletes hosszú kód, amely a véletlen összetevő. A szerkezetet a halmaz leírása jelenti, ez az érdeemben kinyerhető információ.

Nagyon nagy elemszámú halmazok, például egy igen hosszú üzenetsorozat jellemzésénél Kolmogorov mindhárom mennyiségi lehetősége szerint az egyenletes hosszú kód az optimális a halmaz tipikus elemeinek leírására.

A formációk digitális kódjaival való gazdálkodás információelméleti alapjainak felvázolása után még röviden nézzük meg a digitális világ és a nyelvi, képi formációk együttműködését, együttélését. Kezdjük a nyelvtechnológiákkal. Szövegszerkesztők, helyesírás-ellenőrök nélkül lassan el sem képzelhető napi kommunikációs tevékenységünk. A megegyezéssel használt alapvető formációk, a nyelv ábécéje, kimondott és leírt alakjai, a szavak, mondatok jelentése előzetes megegyezések nyomán áll össze, egyéni és csoportos előzetes ismeretek alapján színezve. Ezt a jelentési sokszínűséget csak korlátozottan képesek például a számítógépes fordítók követni. Úgy tűnik, hogy a nyelvi intelligencia nem bontható le teljesen elemi részekre, amit az MI igényelne. Jó irodalmi példa erre Esterházy Péter (2003) előadása a *Mindentudás Egyetemén*. A vizuális élmény csatolása az íráshoz szubjektív, az elképzelésre alapul, korábbi látványokhoz, történésekhez társul. A beszéd, írás a maga generatív lehetőségeivel érthető meséket, regényeket tud megalkothatóvá tenni, és ezzel mesterséges világokat hoz létre. Tényeket is lehet hamisítani. Ez nem újdonság, csak most gyorsabban terjeszthetők.

A tárgyiasult formációk korábban kizárólag emberi alkotások voltak, írások, rajzok, jelek. Ezen a nyomtatás se változtatott, csak a sokszorosíthatóságukat oldotta meg. A valóság észleléséről így csak szegényes reprodukciót lehetővé tevő formációk készülhettek. Szemantikájukhoz az észlelő tudati hozzájárulása erősen szükséges volt. A fényképezéssel jelentek meg az első „instrumentálisan” készült formációk. Jelentésükhöz nem sok háttértudás, csak a vizuális értelmezési szemantika kellett. Manuális technikákkal ezeket is lehetett korlátozottan módosítani. A digitális instrumentális formációk világa először a nagy felbontás és tárolhatóság szempontjából hozott áttörést és tömeges elterjedést. A tömeges felvételek új lehetőséget hoztak a *big data* és a *deep learning* technológiák kibontakozásával. Megtanulhatóvá válik például egy személy teljes valóságghű animálása bármilyen másik személy helyén. Ez valóságot meghamisító formációt állít elő, aminek lejátszását vizuális észlelésünk természetes felvételnéppé értelmezi. A digitális formációk eredetazonosítása nélkül inkorrekt szemantikához vezethetnek. Ez is azt támasztja alá, hogy a formációk világában zajlik új forradalom. Az új formációkhoz társuló információ a valóságészlelésünk természetes szemantikájára épül.

Különleges szerepük van azoknak a formációknak, amelyek cselekvésre, mozgásra, változtatásra hatnak. Ebben is új lehetőséget hozott a kiszámítás és a

digitalizáció. A digitalizáció előtt az információ (formációk) cselekvést kiváltó hatása emberi tudat működését igényelte. A kibernetika, annak legújabb megvalósulásai mesterséges, kommunikáló rendszereket tudnak a formációk segítségével működtetni.

Ez az alapja a most zajló negyedik ipari forradalomnak, ami az Ipar 4.0 (Industry 4.0) elnevezés háttérében áll (Nagy, 2019).

Az emberi és a gépi tanulás nagy eltérése: az embernek saját tanulás kell, nem lehet tölcserrel beletölteni a tudást. A gépeknek, robotoknak, intelligens tárgyaknak be lehet tölteni a kész tudást. A nyomtatás passzív formációk sokszorosítását oldotta meg, a szoftver pedig aktív formációk sokszorosítását. Az oktatás és a programbetöltés lényegében tér el egymástól. Az infoszféra új, domináló része a digitális világ lett. Közvetlenül sem a digitális formációk, sem a futó programok nem észlelhetők emberileg, ezért a digitális világban lévő formációk használatának egyetlen alapja van: a bizalom.

KONKLÚZIÓ

Dolgozatomban az anyagátrendezés és a gondolkodás emberi lehetőségeiből kiindulva az információ anyagi megjelenési formáira, a formációkra irányítottam a figyelmet. A formációk bevezetésével láthatóvá lehet tenni a határt az emberiség információs építkezése és a természet összetett folyamatai között.

A mindenkori fizikailag létező formációkészlet és a használatát biztosító rendszerek együttese alkotja az emberiség infoszféráját. Az infoszféra a bioszféra terméke, nem létezne nélküle, hiszen ember sem lenne a bioszférán kívül. Jelen korunk pedig az infoszféra új, digitális lehetőségeivel új lépcsőt jelent a kiszámítás gépesítésére építve. Mindez új tudomány kibontakozásához vezet.

Ahogy a számítástechnika kilépett a számítógéptermekek világából, egyre erőteljesebben épült be az infoszféra mindennapi világába. A számítástudomány (computer science) mellett az amerikai szóhasználatban megjelent az *information technology*, míg Európában a szélesebb területet átfogó változatban az informatikai tudomány (informatics) bontakozik ki. A fejlődés a kezdeti alapvető algoritmusok, a kiszámítás matematikai elmélete és a programozáselméletek, nyelvek, módszerek kidolgozása után az internet, a személyi számítógépek, a mobil eszközök, az adatrobbanás, a felhők, a tárgyak internete és az MI szétterülő megoldásai az új lehetőség legfontosabb komponensére helyezték át a hangsúlyt: az információ munkába fogására. Az információ hasznosulása a számítógépek világa előtt kizárólag emberi elméken keresztül történhetett. Az ember által használható formációk világa mellett kialakult és tovább fejlődik a gépek által használható formációk világa. Az anyaggal végezhető anyagátrendezés új lehetősége az információt hordozó formációk világában játszódik

le. A számítógépek képessé tehetők az információ hasznosítására további emberi közreműködés nélkül.

Az internet, a számítógépes világháló robbanásszerű kiépülése az emberiség információkészletének, az infoszférának kiépülésében új korszakot jelent. Az infoszféra új fejlődése saját tudományterületet igényel már, ez lehet az informatika, tudományágként az informatikai tudományok.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom kollégáimnak, Szabó Gyula Istvánnak, Molnár Bálintnak és Kiss Attila Elemérnek, akik végig figyelemmel kísérték a témában készült tanulmányaimat, kérdéseikkel, javaslataikkal segítették a letisztulás folyamatát.

IRODALOM

- Benczúr A. (2000): Informatika – oktatás – informatikaoktatás 2000. *Természet Világa II. Különszám*, <http://www.termeszvilaga.hu/kulonsz/k002/informatika.html>
- Benczúr A. (2003): Számítógépek és híradástechnika: az emberiség új kommunikációs korszaka I. rész. *Híradástechnika*, LVIII, 9, 18–24.
- Benczúr A. – Molnár B. (2018): On the Notion of Information – Info-Sphere, The World of Formations. In: *9th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications: CogInfoCom 2018: Proceedings*. Piscataway (NJ), USA: IEEE Computational Intelligence Society, 33–38. DOI: 10.1109/CogInfoCom.2018.8639904, https://www.researchgate.net/publication/327656394_On_the_Notion_of_Information-Info-sphere_the_World_of_Formations
- Burgin M. – Dodig-Crnkovic G. (2013): The Nature of Computation and the Development of Computational Models. *Computability in Europe 2013 (CiE 2013), The Nature Of Computation, Univ. of Milano-Bicocca*, 1–5 July 2013. <https://bit.ly/3tQtd2a>
- Csányi V. – Tóth B. (2017): *Hiedelmeink*. Budapest: Libri Kiadó
- Denning, P. J. (2011): What Have We Said about Computation? *Ubiquity Symposium, Closing Statement*, in *Ubiquity, an ACM Publication*, April, 2011. <http://ubiquity.acm.org>, DOI: 10.1145/1967045.1967046, <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1967045.1967046>
- Dodig-Crnkovic, G. (2009): *Information and Computation Nets: Investigations into Info-computational World*. VDM Verlag Dr. Müller
- Esterházy P. (2003): *A szavak csodálatos életéből. (Mindentudás Egyeteme)*, <https://www.youtube.com/watch?v=JBQtwCR6a9s>
- Gács P. – Tromp J. – Vitányi P. M. B. (2001): Algorithmic Statistics. *IEEE Transactions on Information Theory*, 47, 6, 2443–2463. <https://homepages.cwi.nl/~paulv/papers/algorithmicstatistics.pdf>
- Harrari, Y. N. (2015): *„Sapiens” – Az emberiség rövid története*. Budapest: Animus Kiadó
- Harrari, Y. N. (2017): *„Homo Deus” – A holnap rövid története*. Budapest: Animus Kiadó
- Kolmogorov, A. N. (1965): Three Approaches to the Quantitative Definition of Information. *Problems of Information Transmission*, 1, 1, 1 DOI: 10.1080/00207166808803030, <https://www.semanticscholar.org/paper/Three-approaches-to-the-quantitative-definition-of-Vit%C3%A1nyi/c6540955a0ee16c39dda256134456d60987fa1c1>

- Nagy J. (2019): Az ipar 4.0 fogalma és kritikus kérdései – vállalati interjúk alapján. *Vezetéstudomány/Budapest Management Review*, L, 1, DOI: 10.14267/veztud.2019.01.02, <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/3869/>
- Rényi A. (2004): Napló az információelméletről. In: Rényi A.: *Ars Mathematica*. Budapest: Typotex Kiadó
- Shannon, C. E. – Weaver, W. (1986): *A kommunikáció matematikai elmélete (az információelmélet születése és távlatai)*. (ford. Tompa F.) Budapest: OMIKK
- Zuse, K. (1969): *Rechnender Raum (Calculating Space)*. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn
1st re-edition written in LATEX, <https://philpapers.org/archive/ZUSRR.pdf>

URL1: https://en.wikipedia.org/wiki/Church%E2%80%93Turing_thesis

Vélemény, vita

QUO VADIS MAGYAR NEMZETNEVELÉS? AMIKOR HIÁNYCIKK A MAGYAR NEMZETNEVELÉS

WHITHER HUNGARIAN NATIONAL EDUCATION? WHEN THERE IS A LACK OF HUNGARIAN NATIONAL EDUCATION

Csihák György

egyetemi tanár, a Zürichi Magyar Történelmi Egyesület elnöke
zmteuhvz@gmail.com

A Zürichi Magyar Történelmi Egyesület véleménye Honti László professzor úr megjegyzésére (Honti, 2015: *Quo vadis, schola hungarica? Tények vagy blöffök képezik-e a tananyagot?*)

Honti László professzor írta: „Természetesen nem tudom eldönteni, e közlemény álhír-e, hiszen egy magyar oktatási miniszterről nehéz lenne elképzelnem, hogy a sarlatánságnak a felsőoktatásba történő átplántálását pártolta volna...”

Továbbá: „4. Még ennél is elképesztőbb eseménynek tekinthető az, hogy a Kodolányi János Főiskola (Székesfehérvár) és a Zürichi Magyar Történelmi Egyesület ajánlkozására a Magyar Köztársaság oktatási minisztere az 1999. október 14-i, »T 300730–1676/1999« számú határozatával állítólag engedélyezte a »pedagógus-továbbképzési program« (Csihák 2002³: 581–582.) indítását a Kodolányi János Főiskolán, amelynek célja »A magyar történelem tanításának tartalmi és módszertani megújítása« (Honti, 2012, 83.; a teljes anyagot lásd Függelék, In: Csihák, 2002, 581–591.)”

Valamikor, jogászi képzésem során egy okos tanárom mondta, hogy egy ügyvéd a tárgyaláson soha ne tegyen fel olyan kérdést, amire nem tudja a választ. A fentiek szerint Honti professzor úrnak *tudomása van arról*, hogy az említett továbbképzésünket, az akkori szokásnak megfelelően, a Pedagógus Továbbképzési Intézet javaslatára *engedélyezte* Pokorni Zoltán, majd utóbb Magyar Bálint. Írásában szíveskedik foglalkozni a tanított anyagunkkal. *Teljes terjedelmében megtalálható 129 kötetünkben*: „ZMTE Elektronikus könyvtár. Az 53. számtól csak digitálisan www.zmte.org Az Acta Historica Hungarica Turiciensia minden száma megtalálható a ZMTE honlapján, azon kívül az OSZK Magyar Elektronikus Könyvtárában (MEK) és az Elektronikus Periodika Archívumban (EPA), az

első 52 szám az Európai Digitális Könyvtárban (European Library). Felvették a Svájci Nemzeti Könyvtár Katalógusába (Helveticat) az időszakos és online kiadványok közé. Hivatkozható az MTA Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) egyéni adatbázisában.”

Feltétele a továbbképzés engedélyei megadásának az, hogy a tananyag könyvnyen elérhető legyen.

A könyv, amiből Honti professzor idéz, az első oktatási segédkönyvünk. A továbbképzés irányítója tudományos tanácsunk. *Vezetője* akkor Zachar József, az MTA doktora (történelemtudomány), *a legszebben kitiűntetett magyar történész volt.* Elődje volt Pandula Attila, szintén az MTA (történelemtudomány) doktora, utóda pedig Gedai István kandidátus, a Magyar Nemzeti Múzeum főigazgatója. Szervezője a két miniszter és a két intézmény vezetője által megbízott Darai Lajos Mihály, kandidátus, MTA munkabizottsági tag és a főiskola (azóta egyetem) tudományos főigazgató helyettese, tudományos tanácsunk egyik titkára. A segédkönyv 635 oldal, 27 szerző 42 dolgozata 4 világrész 11 országából. Lektorra: Csámpai Ottó (Pozsony) kandidátus, habilitált egyetemi docens, Darai Lajos Mihály (Székesfehérvár) kandidátus, Lukács László (Székesfehérvár) kandidátus, egyetemi tanár, Rókusfalvy Pál (Budapest) az MTA doktora, ny. egyetemi tanácsvezető és Zachar József.

Megtiszteltetésnek veszem, hogy Honti professzor írásában megemlíti minket. A fenti kötet szerzői: Cey-Bert Róbert Gyula (Bangkok) kandidátus, Csapó I. József (Nagyvárad) akadémiai doktor, a Székely Nemzeti Tanács elnöke, Csajághy György (Pécs), Csámpai Ottó, Cser Ferenc (Melbourne) kandidátus, Darai Lajos Mihály, Dudás Rudolf (Vancouver), Du Yaxion (Beijing) a Kínai Tudományos Akadémia intézeti igazgatója, Farkas József (Mátészalka) dr. univ., múzeumigazgató, Frisnyák Sándor (Nyíregyháza) az MTA doktora, Fodor István (Budapest) az MTA doktora, a Magyar Nemzeti Múzeum címzetes főigazgatója, Götz László (St. Pölten) dr. univ., Henkey Gyula (Kecskemét) kandidátus, Herényi István (Budapest) kandidátus, Horváth Lajos dr. univ., az Országgyűlési Levéltár főlevéltárosa, Juba Ferenc (Bécs) dr. univ., tengerészkapitány, Kálnási Árpád (Debrecen) kandidátus, Kováts Zoltán (Szeged) kandidátus, Költő László (Kaposvár) dr. univ., megyei múzeumigazgató, Nagy Ákos (Adelaide) dr. univ., Nagy Kálmán (Budakeszi) ny. huszárezredes, Parádi József (Budapest) kandidátus, Rókusfalvy Pál, Sancz Klára Lujza ny. muzeológus, Szekeres István (Budakalász) írástörténet kutató, Szegfű László (Szeged) az MTA doktora, Tomka Péter (Győr) kandidátus.

A továbbképzés során – többek között – oktatott még: Erdélyi Géza (Rimaszombat) kandidátus, a Szlovák Köztársaság református püspöke, Gáspár Róbert (Pécs), J. Újváry Zsuzsanna (Budapest) kandidátus, Kókai Sándor (Nyíregyháza) kandidátus, intézeti igazgató, Prokopp Mária (Budapest) professor emeritus, Szabó Péter (Székesfehérvár) kandidátus, rektor, Szederkényi Tibor Szeged/Pécs az

MTA doktora, Váralljay Csocsán Jenő (kandidátus) ny. oxfordi professzor, Vizi László Tamás (Székesfehérvár) kandidátus, rektorhelyettes.

Személy szerint ők lennének azok a bizonyos „blöffölők”, a „sarlatánságnak a felsőoktatásba történő átplántálói”. Két magyar oktatási miniszter: Pokorni Zoltán és Magyar Bálint pedig – a Pedagógus Továbbképző Intézet javaslatára – voltak szívesek ezt *alapítani és indítani*: „A magyar történelem oktatásának tartalmi és módszertani megújítása” címen.

Tisztelt Honti László professzor úr, remélem, a fentiek segítik jobb megismerésünket, és kérem, fogadja őszinte nagyrabecsülésem kifejezését. Csihák György, a Zürichi Magyar Történelmi Egyesület elnöke, mint a kötetek egyik írója és az oktatás egyik résztvevője is. (Amennyiben megtisztel azzal, hogy személyem felkelti szíves érdeklődését – kérem, tekintse meg honlapunkon, hogy kikkel alapítottam ezt az egyesületet.)

Hálás köszönet a *Magyar Tudománynak* véleményünk közléséért.

IRODALOM

Honti László (2015): Quo vadis, schola hungarica? Tények vagy blöffök képezik-e a tananyagot? *Magyar Tudomány*, 176, 2, 202–209. <http://www.matud.iif.hu/2015/02/11.htm>

VÁLASZ CSIHÁK GYÖRGY ÍRÁSÁRA

RESPONSE TO GYÖRGY CSIHÁK'S WRITING

Honti László

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár
hontilas@t-online.hu

„A kutatók többsége... nem szívesen vitatkozik. Sajnálja idejét és szellemi erőit egy-egy bizonytalan állítás cáfolására, mert a cáfolat több munkát kíván, mint amennyivel már valami önállót lehet alkotni.”
(*Hadrovics, 1969, 94.*)

Ez fokozottan igaz akkor, amikor nem bizonytalan állításokra, hanem tudománytalan ötletekre kell időt pazarolni.

A címben megnevezett úr értetlenkedését fejezi ki amiatt, hogy egy kb. hat évvel ezelőtti írásomban (Honti, 2015) foglalkoztam az általa is tárgyalt kérdésekre az általa szerkesztett kötetben adott válaszokkal. Az én hajdani dolgozatomban szereplő *tények* értelmezésével aligha lehet bárkinek is problémája, a *blöff* pontosabb mibenléte azonban az esetleges félreértések végett talán igényel némi magyarázatot: „Nagyhangú, üres v. félrevezető kijelentés” (*Magyar értelmező kéziszótár*, Pusztai, 2003, 137.).

A következőkben nem kívánok kitérni a Csihák felsorolta személyek sokaságára (tudományos kérdésekben ugyanis nem népszavazáson foglalunk állást), csak a magam szakmai ismeretei alapján írok arról, jogosan szoltam-e egyet nem értő módon a Csihák György szerkesztette, 2002-ben megjelent mű tartalmáról. Az általa szerkesztett kötet némely más szerzőinek munkáiról is kritikusan írtam a korábban megjelent könyveimben (például Honti, 2012), ezért itt felesleges lenne az ott előadottakat megismételnem.¹

Mivel Csihák fenti írásában arról igyekszik meggyőzni engem és más olvasót is, hogy teljesen rendjén való a 2002-ben megjelent kötet szerzőinek nézetrendszere, a kötetben szereplő némely állításokat szembesítem a tényekkel, amelyekhez tudományos kutatóként mindig is ragaszkodtam, igyekezve a tévedéseket elkerülni. Csihák néhány pontosan idézendő kijelentését teszem nagyon röviden vizsgálat tárgyává.

¹ Meg kell jegyezmem, hogy a Csihák, 2002a talán nem minden szerzőjéről nyilatkoztam kritikusan; köztük egy, a nemrég elhunyt Fodor István régész kitűnő mestere volt a szakmájának.

(1) „Nyelvünk ragozó (agglutináló), így nyelvünk rokona minden ragozó nyelv: például az ún. finnugor, a török-tatár, az egyes észak-, közép- és dél-amerikai indián, az avar, a hun, a szkíta, az etruszk, a pelazg, az ibér, a régi egyiptomi, a szumér” (Csihák, 2002b, 55.). Hát ez bizony igencsak csinos együttes! Az én ismereteim szerint azonban a ragozó vagy agglutináló nyelv fogalma az ún. tipológiai rokonság kategóriájába tartozik, az ebbe a körbe sorolható nyelvek nem feltétlenül rokonai („testvérei” stb.) egymásnak, de azonos típust képviselnek. A genetikai rokonság viszont azt jelenti, hogy közös forrásból származnak bizonyos nyelvek, ennek legnyilvánvalóbb bizonyítéka, és talán még a tudatlan nyelvhasználatok számára is felfogható, hogy például az olasz, a francia, a spanyol stb. egy családnak a tagjai, lévén a latin leszármazottai. Tehát anyanyelvünk egészen másféle rokonságban van például a törökkel, mint például a finnel.

(2) „Nyelvrokonunk és embertani rokonunk korunk egyik legsikeresebb népe[,] a japán is” (Csihák, 2002b, 55.). „Minden népet külső testi megjelenése, valamint szellemi és tárgyi műveltsége határoz meg” (Csihák, 2002c, 70.). – Genetikai nyelvrokonságról az én ismereteim szerint nem lehet szó a magyar és a japán esetében, embertanilag nyilván rokonaink a japánok éppen úgy, mint például az eszkimók és a busmanok, lévén minden ember ugyanannak a fajnak a képviselője. Nem lehetek biztos abban, hogy Csihák látott már japán embert, annak „külső testi megjelenése” ugyanis eléggé különbözik az európaiétól, így a magyarétól is; a hozzám eljutott nyilvánvalóan nem szakszerű és nem tudományos információk alapján úgy tűnik, hogy komoly különbségek vannak az európai és a japán mentalitás és kultúra között is.

(3) „Honfoglalóink, de inkább hon-visszafoglalóink azzal a tudattal jöttek a Kárpát-medencébe, hogy őseik földjére térnek vissza” (Csihák, 2002b, 56.). Vagyis: „Nem jöttünk mi sehonnan sem!” (lásd Honti, 2012, 150–151.). Ennek lelkes támogatója az a két székesfehérvári működésű személy, Cser Ferenc és Darai Lajos, akik Csihák fenti írása szerint érdemdús szakemberek (vajon a nyelvtudomány vagy az őstörténet-kutatás terén?), és így nyilatkoztak: „Mi itt születtünk, itt hoztunk létre kultúrát, itt alakult ki a nyelvünk és az innen a sztyeppeiek hatására nyugatra, északra és délre elvándorlók vitték az alapnyelvet, amelyet a hódítókkal ötvöztek és így jött létre Európa számos nyelve” (Cser–Darai, 2010, 85., vö. még Cser–Darai, 2007, 108.). – Sapiienti sat. . .

(4) „Ezer táján egy népnek volt Európában saját betűírása: a magyarnak, az ún. székely-magyar rovásírás, amely tökéletesebben adja vissza a magyar nyelv hangzóállományát, mind [sic!, H. L.] a latinbetűs írás” (Csihák, 2002b, 57., vö. még Csihák, 2002c, 72.). Ehhez két apró megjegyzés kívánkozik: (a) az újlatin nyelvű

népeknek megvolt és megvan a saját írásuk, amelyet elődeik, a latin nyelvű rómaiak alakítottak ki más népektől átvett „nyersanyag” alapján, továbbá a germánoknak és a szávoknak is volt saját írásrendszerük, a rúnairás, illetve a glagolita írás (a cirill írás később jött létre); (b) alig hiszem, hogy a rovásírás „tökéletesebben adja vissza a magyar nyelv hangzóállományát”, egyes hangokra ugyanis egy-nél több karakter is van, míg a rövid és a hosszú magánhangzók jobbára azonos karakterekkel jelöltetnek benne, például † = i, í és ∅ = o, ó.

(5) „A mi zenei anyanyelvünk sajátos ötfokúságának párhuzamai viszont ma már csak Belső-Ázsiában találhatók” (Csihák, 2002b, 57). – Vikár László erről viszont így tájékoztatott: „ami a volgai török és finnugor népek mai szájhagyományában a magyar népzenevel rokon, az többnyire a török népek kultúrájára jellemző” (Vikár, 1977, 294., vö. még Vikár, 1988). Vagy Csihák tájékozatlan az általa említett kérdésben, vagy az én földrajzi ismereteimmel van baj, én ugyanis úgy tudom, hogy a Volga és a Káma nem Belső-Ázsiában van...

(6) „Szellemi és tárgyi műveltségünkkel való kapcsolódásunk a többi néphez, kultúrához nem mindenben követi se vérszerinti [sic!, H. L.], se nyelvi kapcsolatainkat. Ezek a kapcsolatok elsősorban az ókori kelethez és a mai Belső-Ázsiához kötnek bennünket” (Csihák, 2002b, 55). „Ha Európa az Uráltól a brit szigetekig terjed, akkor emberemlékezet óta Európában vagyunk, jelenleg pontosan a közepén. Rokonaink, elődeink, őseink és a hozzájuk tartozó népcsoportok természetesen élhettek, vagy élhetnek ma a világ bármely pontján” (Csihák, 2002b, 57). – Csihák talán kiséghetett volna minket azzal, szerinte hol és mikor kerültünk kapcsolatba az ókori keleti és a Belső-Ázsiában honos kultúrákkal és azok hordozóival, vagyis az ottani népekkel...

(7) „A tudomány tipikusan olyan dolog, amelyet csak alulról fölfelé lehet építeni. Megtévesztő lehet az a tény, hogy gyakran megfigyelhető a tudományos életben ennek a fordítottja: először valamiféle elmélet születik és ezt követi az adatok kiválogatása aszerint, hogy alátámasztják-e az elméletet, vagy a kutatást csak abba az irányba viszik, ahonnan az elméletet alátámasztó adatot remélik. Ha az adat nem támasztja alá az elméletet, akkor igyekeznek az adatot agyonhallgatni, megsemmisíteni, az adat ismerőjét nevetségessé tenni, esetleg szintén eltüntetni, mondjuk csak az adott szakmából. Aki a tudományban így viselkedik, azt nevezhetjük álmodozónak, dilettánsnak. Ebből a szempontból tárgyitalan az illető neve, tudományos vagy máségyéb [sic!, H. L.] rangja, foglalkozása” (Csihák, 2002c, 67.). – Ezzel kapcsolatban egy kemény kérdés fogalmazódott meg bennem: vajon nem az idézett szerző által is képviselt és propagált tudományosságra illenek az idézetben foglaltak?

(8) „Meg kell jegyezzük, ez a szó, hogy »magyar« – eddigi ismereteink szerint – írásban először a Kr. u. 14-ik századból adatható. Ebből értelemszerűen adódik, hogy ezt megelőző időben magyart emlegetni vagy fordítási hiba, vagy pongyolaság. Helyesebb az eleink, őseink, rokonaink kifejezés” (Csihák, 2002c, 70–71.). – Csihák eddigi ismeretei komoly renoválásra szorulnak, egyelőre talán az is elég, ha megnézi a TESz (2: 816) és az EWUng (2: 923) *magyar* szócikkét; nem írom ide az ott található adatokat avégett, hogy Csihák tudományos műben személyesen ellenőrizze saját állításának hitelességét.

(9) „Közel negyvenezer ember tudományosan végzett mérése, embertani adatainak feldolgozása és közreadása révén tudjuk, hogy a magyarság több mint fele ma a törökös típusokkal kapcsolatba hozható embertani formát mutatja... Az embertan ezen adatainak hitelességét erősíti az a tény, hogy a társadalomtudományok – tehát a szellemi és a tárgyi műveltségünk – adatai, szinte kivétel nélkül megerősítik néprokonságunk ezen főirányát. A rokonság tudata így élt a magyarság tudatában egészen a múlt század elejéig, mikoris a szkita (szittyia) őstől származtatott magyarság rokonainak tartotta az avarokat és a hunokat – valamennyien a turkok családjába tartoznak” (Csihák, 2002c, 71.). – Be kell vallanom, én eddig nem szereztem tudomást a magyarság törökös típusának ilyen nagy mértékéről, Csihák informáltsága tehát ezen a téren is mintha fölülmúlná az én ismereteimet... Annak viszonylag bő szakirodalma van, hogy az avarok és a hunok nyelvéről csak igen bizonytalan feltevések vannak (erről lásd például Honti, 2012 passim).

(10) „A nyelvészet–tudomány, valóságos eredményeit tiszteletben kell tartani, az őstörténetkutatására [sic!, H. L.] alkalmas tudományos módszertant dolgozott ki. A nyelvészek a nyelveket ragozó (aggliguláló) [???, H. L.] és hajlító (flektáló), valamint izoláló és inkorporáló fő csoportokba sorolják. A maguk tudományos rendjében kidolgozták a nyelvek genetikai, nyelvcsaládi leszármazási elvét, mely szerint a magyart az erősen ragozó nyelvek közé sorolják. Az összehasonlító nyelvtudomány eszközével meghatározták például a finnugor nyelvcsaládot, aminek két ágát vallják: a finnt és az ugart” (Csihák, 2002c, 71.). – A nyelvcsaládokba való besorolás a rokonsági (genetikai) viszonyok alapján történik, a ragozó nyelv minősítés pedig tipológiai kategória. A finnugor nyelvcsalád két ága pedig helyesen: finn-permi és ugor.

(11) „A finnugor nyelvészet hatására(.) ma minden érdemleges, írott anyagban az áll, hogy a magyar finnugor nép, rokonaink a finnugorok. Ezt még kiegészítik azzal is, hogy az egyes finnugor nyelvek a hajdanvolt, egységes finnugor nyelvből származnak, ezt a nyelvet ezen népek ősei egy közös őshazában beszélték, ahol együtt éltek. Nyelvészeti módszereikkel igyekeznek ezt az őshazát megha-

tározni: az elmúlt ötven év szakirodalmában összesen kilenc helyre. A feltételezett finnugor ősnyelvnek eddig semmi írásos bizonyítéka nincs” (Csihák, 2002c, 71–72.). – Itt több dolgot is kellene kommentálnom, de csak kettőre szorítokozom. (a) A finnugor/uráli nyelvtudományi kutatások során többféle és változó szempontok szerint próbálták szakemberek meghatározni a hajdani őshaza területét. Az indogermán nyelvcsalád esetében hasonló mennyiségű és hasonló próbálkozásoknak lehetünk szemtanúi, lásd például Mallory, 1991, 144. (b) „A feltételezett finnugor ősnyelvnek eddig semmi írásos bizonyítéka nincs” – sőt: nem is lesz. Az ún. finnugor és/vagy uráli alapnyelv csak az ún. nyelvészeti rekonstrukcióval érhető el bizonyos fokig, de ugyanez vonatkozik számos más nyelvcsoporthoz és nyelvcsaládra is, például a germán és a szláv nyelvek csoportjára is.

(12) „A nyelvek genetikai, leszármazási elméletét a kutatók többsége mára elvetette – a finnugor nyelvészek nem... Magyarországon nincs széleskörű összehasonlító nyelvészet” (Csihák, 2002c, 72.). – Nehéz lenne ezekre lakonikusan válaszolni, legjobban csak viccnek tekinteni ezeket a kijelentéseket...

(13) Hóman Bálinttól olvasható egy hosszú idézet (Csihák, 2002c, 75.), de nem közli a forrást. A szerkesztőnek, ha érti a munkáját, ilyen nem szabad eltérnie, miként ismernie kell a helyesírási szabályokat is, tehát például a „tízszekerakkora” (i. m. 75.) szarvashiba; rejtélyes továbbá, miért szabdalt föl egyes nem sorvégi szavakat kötőjelekkel, például mond-juk (i. m. 73), művelt-ségével (i. m. 74), honfoglalók (i. m. 75).

Úgy vélem, felesleges volna megfogalmaznom a tanulságokat, megteheti ezt az olvasó könnyűszerrel!

IRODALOM

- Cser F. – Darai L. (2007): *Az újkőkori forradalom népe*. Budapest: Frig Kiadó
- Cser F. – Darai L. (2010): *Kárpát-medencei magyar ősiség*. (Kisenciklopédia 12) Budapest: HUN-idea, http://www.magtudin.org/Cser_Darai_Karpat-medencei_magyar_osiseg.pdf
- Csihák Gy. (szerk.) (2002a): *Magyar történelem. Tízezer év – ezer oldalról*. Oktatási segédkönyv. Zürich–Budapest: A Zürichi Magyar Történelmi Egyesület Tudományos Tanácsa, <http://mek.oszk.hu/05900/05939/05939.pdf>
- Csihák Gy. (szerk.) (2002b): A magyar nemzet múltja. In: Csihák Gy.: *Magyar történelem. Tízezer év – ezer oldalról*. Oktatási segédkönyv. Zürich–Budapest: A Zürichi Magyar Történelmi Egyesület Tudományos Tanácsa, 55–66. <http://mek.oszk.hu/05900/05939/05939.pdf>
- Csihák Gy. (2002c): A magyarok őstörténete. In: Csihák Gy.: *Magyar történelem. Tízezer év – ezer oldalról*. Oktatási segédkönyv. Zürich–Budapest: A Zürichi Magyar Történelmi Egyesület Tudományos Tanácsa, 67–77. <http://mek.oszk.hu/05900/05939/05939.pdf>
- EWUng – Benkő L. (Hrsg.) (1995): *Etymologisches Wörterbuch des Ungarischen*. Band II. Kor–Zs. Budapest: Akadémiai Kiadó

- Hadrovics L. (1969): Hozzászólás Moór Elemér „Péncz szavunk származása...” c. cikkéhez. *Nyelvtudományi Közlemények*, 71, 93–94. <http://www.nytud.hu/nyk/reg/071.pdf>
- Honti L. (2012): *Anyanyelvünk atyafiságáról és a nyelvrokonság ismérveiről. Tények és vágyak.* (Segédkönyvek a nyelvészet tanulmányozásához 143) Budapest: Tinta Könyvkiadó
- Honti L. (2015): Quo vadis, schola hungarica? Tények vagy blöffök képezik-e a tananyagot? *Magyar Tudomány*, 176, 2, 202–209. <http://www.matud.iif.hu/2015/02/11.htm#3>
- Mallory, J. P. (1991): *In Search of the Indo-Europeans. Language, Archeology and Myth.* London: Thames and Hudson, <https://bit.ly/3eUNqzD>
- Pusztai F. (főszerk.) (2003): *Magyar értelmező kéziszótár.* Második, átdolgozott kiadás. Budapest: Akadémiai Kiadó
- TESz 2. – Benkő L. (szerk.) (1970): *A magyar nyelv történeti-etimológiai szótára.* Második kötet. H-Ó. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Vikár L. (1977): A magyar népzene volgai török és finnugor kapcsolatai. In: Bartha A. – Czeglédy K. – Róna-Tas A. (szerk.): *Magyar őstörténeti tanulmányok.* Budapest: Akadémiai Kiadó, 291–303.
- Vikár L. (1988): *A volga-kámai népek zenéje. Fejezetek a finnugor és török dalhagyományról.* Doktori értekezés tézisei. Budapest

Köszöntő

PÁRBESZÉDEINK ZSUZSÁVAL. A 90 ÉVES FERGE ZSUZSA KÖSZÖNTÉSE

DIALOGUES WITH ZSUZSA. SALUTATIONAL FOR ZSUZSA FERGE AT 90

Szelényi Iván

az MTA rendes tagja



(Forrás: Wikimedia Commons,
CC BY-SA 3.0)

Restellem, de nem emlékszem pontosan se az időpontra, se az alkalomra, amikor először találkoztam Ferge Zsuzsával. De nem tévedhetek sokat, ha azt mondom, első találkozásunkra 1961 őszén kerülhetett sor a Központi Statisztikai Hivatal könyvtárában.

A külföldi folyóirattár őre voltam (a könyvtárba majd' ezer folyóirat járt). Nagyon élveztem a könyvtárosi munkát, végig kellett böngészniem minden beérkező folyóiratszámot, s tanácsot kellett adnom olvasóimnak, hol mit találnak. S olvasóim között kiváló emberek voltak: Ferge Zsuzsától Hegedüs Andrásig és Cseh-Szombathy Laciig (és könyvtáros kollégáim is kiválóak voltak, Dányi Dezső igazgató mellett itt dolgozott Bibó Pista, Perjés Géza s egy ideig Andorka Rudi is.

Itt írtam az első – nem túl jó – cikkemet *A szabadidő problémái a polgári szociológiában* címmel, ami megjelent a *Demográfia* nevet viselő, kiváló folyóiratban. De míg én csak irodalmat ismertettem, Zsuzsa már javában empirikus munkát végzett: ebben ez időben készült az ő irányítása alatt a KSH pompás időmérleg felvétele. Mondhatnám Zsuzsára – aki alig idősebb nálam – úgy tekintettem, mint példaképre, tanítómesteremre. Ekkortájt már előkészületben volt, megint csak Zsuzsa irányítása alatt, a világszínvonalú 1963-as társadalmi rétegződés- és mobilitáskutatás, s ez a két empirikus vizsgálat – az 1964–65-os amerikai tanulmányutam mellett – állított rá arra az empirikus szociológiai pályára, amiről életem során néha le-letévedtem, de amihez mindvégig hű maradtam.

Zsuzsa kutatási lehetőségei azonban a KSH-ban korlátozottak voltak. Én időközben átkerültem az MTA Szociológiai Kutató Csoportjához, amelynek idővel a tudományos titkára is lettem. A nagy álmom az volt, hogy Zsuzsát ide átcsalogassuk. Ez végül is sikerült, s ezután munkakapcsolatunk még intenzívebbé vált, s 1967–68 körül elkezdődött közöttünk az életemet meghatározó jelentőségű párbeszéd.

Erre a dialógusra lakásszociológiai kutatásaim adták az alkalmat, no meg az a tény, hogy Zsuzsa korszakalkotó, a társadalmi rétegződés elméletével foglalkozó könyve után egyre inkább a szociálpolitika iránt kezdett érdeklődni.

A lakásszociológiai kutatásaink során Konrád Gyurival arra a következtetésre jutottunk, hogy az államszocialista rendszerben a társadalmi egyenlőtlenségeket az állami redisztribúció hozza létre, s ezeket az egyenlőtlenségeket a társadalmilag hátrányos helyzetben levő rétegeknek a piaci tranzakciókkal kell kiegyensúlyozniuk. Úgy képzeltük, hogy a társadalmi egyenlőtlenségeknek egy új elméletét alkottuk meg. A kapitalista piacgazdaságok elemzésére épülő közgazdaságtan és szociológia azt állapította meg, hogy piacgazdaságokban az egyenlőtlenségeket a piac hozza létre, amit az állam jóléti redisztribúcióval tud mérsékelni a hátrányos helyzetben levők érdekében. Gyurival úgy gondoltuk, hogy a szocialista redisztributív gazdaság ennek éppen a tükörképe: itt az egyenlőtlenségeket a domináns redisztributív mechanizmusok hozzák létre, s azokat a hátrányos helyzetben levők piaci mechanizmusokkal próbálják mérsékelni (több évtizeddel később jöttem rá, az ötlet távolról sem új, Adam Smith is azt képzelte, a feudalizmusról a kapitalizmusba való átmenet idején, hogy a piacnak kiegyenlítő hatása van a feudális privilégiumokkal szemben). Mi ebből az „új” elméletből egy akkor radikálisnak tűnő következtetést vontunk le: ha jóléti redisztribúcióval akarunk segíteni a szegényeken, azt csak úgy lehet elérni, ha a gazdagabbakat áttereljük a piacra: az olcsóbb (és mérsékeltbb színvonalú) állami lakásokhoz a szegényebbek akkor tudnak hozzájutni, ha a társadalom hierarchiájának csúcán állók magasabb minőségű lakásukat a piacon szerzik meg (ezt egyébként az 1970-es, 1980-as évek magyar lakásreformjai nagyjából meg is valósították). Nincs jóléti redisztribúció anélkül, hogy ne lenne piac a gazdagok számára. A szociálpolitikai konzekvenciák messzemenőek voltak: mi Gyurival az „univerzális biztosítási rendszerek” ellen foglaltunk állást. Olyan rendszer mellett érveltünk, amelyben a magasabb jövedelműek magukat a piacon látják el, s így teremtenek lehetőséget a szegényebbeknek arra, hogy hozzájussanak az államilag szubvencionált javakhoz vagy szolgáltatásokhoz. Ez egyben a „rászorultsági” elvet jelentette: az kapja az államilag szubvencionált javakat, aki rászorul; aki meg tudja fizetni a piaci árat érte, az vásárolja meg ezeket a javakat vagy szolgáltatásokat a piacon. Gyurival már 1968-ban liberálisok – egy kis restelkedéssel azt is mondhatnám, „neoliberálisok” – voltunk, még mielőtt ezeket a fogalmakat Kelet-Európában kitalálták volna.

Mondanom se kell, Zsuzsa mindezzel nagyon nem értett egyet. Zsuzsa már akkor egy svéd típusú szociáldemokrata állásponton volt, s határozottan az univerzális biztosítási rendszerek mellett foglalt állást, s ebben a kérdésben immár ötven éve folyik közöttünk a párbeszéd. Mi inkább olyan állásponton voltunk, amit később „új szociáldemokráciának” kereszteltek el, Tony Blair, Gordon Brown és Bill Clinton nyomán (s amit egy rövid ideig mintha Gyurcsány és az ő nyomán az MSZP is vallott volna, amikor még jóléti rendszerváltásról beszéltek).

Hogy is mondjam: politikailag ma inkább szimpatizálok Zsuzsával, mint saját magammal, de analitikailag az álláspontom – s a közöttünk folyó dialógus lényege – változatlan. Zsuzsa máig az univerzális biztosítási rendszerek mellett áll, én a mai napig azt gondolom, csak az kapjon államilag szubvencionált javakat vagy szolgáltatásokat, aki arra rászorul, s aki azokat a piacon nem tudja megvásárolni.

Neoliberális azonban – remélem – nem vagyok, de még liberális is csak botcsinálta. Azért önmagam védelmében s annak illusztrálására, hogy párbeszédünk Zsuzsával miért barátok közötti eszmecsere, s nem ellentáborok küzdelme, hadd tegyek a korábbi diagnózishoz néhány módosító megjegyzést.

Soha nem hittem el, hogy a „szabad piac” mindent megold. Ebben a kérdésben sokat vitatkoztam Liska Tiborral. Én mindig úgy értelmeztem Konráddal közös elméletünket, hogy az jellegzetesen a szocialista redisztributív gazdaságra érvényes: amikor kialakul a tőkés piacgazdaság az egyenlőtlenségeket meghatározó tényező a piac lesz, s az így létrejött egyenlőtlenségeket az államnak jóléti redisztribúcióval kell ellensúlyoznia. Piac kell, amíg a redisztribúció domináns, de jóléti redisztribúcióra van szükség, mihelyst a piac válik dominánssá.

Már Ausztráliában éltem emigrációban, amikor írtam egy tanulmányt az „állami termelő módról”. Ebben a dolgozatban azzal érveltem – s ez nagyon közel áll az Obama–Biden-adminisztráció politikájához és azt hiszem Zsuzsa álláspontjához –, hogy az államnak nem tulajdonosként kell működni, de szabályoznia kell a beruházási folyamatokat, s korlátoznia kell a magántőke spekulációs hajlamait. Valóban kevesebb állam kell, de az államnak, miközben kisebb lesz, hatékonyabbnak kell lennie. A '90-es években ezt Ladányi Jánossal pontosítottuk a posztkommunista országok körülményeire – megint csak az „új szociáldemokrácia” szellemében –, az „esélyteremtő államról” írtunk: az állam engedje a piacot működni, ahol működik, s avatkozzon közbe a szegények javára, ahol a piac kudarcot vall (hozza helyzetbe az esélyteleneket...). Amikor 1982-ben először visszaengedtek Magyarországra, a legtöbb közgazdász kollégám és barátom számára az állampártiságom már avított volt. Zsuzsa meghívott, hogy a tanítványainak tartsak előadást – valahol az Üllői úton volt a székhelyük –, s ott barátok között találtam magamat. S ez volt talán az a pillanat, amikor Zsuzsa és én közelebb álltunk egymáshoz, mint bármikor máskor.

Még egy módosításra van szükség. Bár én mindig a rászorultsági elvet vallottam (s vallom) az univerzális biztosítási rendszerekkel szemben, Zsuzsához ha-

sonlóan soha nem fogadtam el a „means-testing”, a „szegénységi igazolványok” rendszerét. Az emberek hivatali kategorizálása rászorulókra és rá nem rászorulókra a szegények számára megalázó s egyben nehézkes és költséges művelet. Munkásságomnak talán ez a legsérülékenyebb pontja: lehet-e érvelni rászorultsági elv mellett s a rászorultság hivatali/hatósági minősítése ellen? Nincs-e Zsuzsának igaza abban, hogy az egyetlen megoldás az univerzális biztosítás? Én a magam csinálta csapdából a „piac elcsábításának” elvével próbáltam kimászni: ha van magasabb minőségű piaci alternatíva, azok, akik meg tudják fizetni a piaci árakat úgyis inkább a piaci szolgáltatásokat választják a szociális juttatások helyett. Lényegileg így működik az amerikai Medicare (egészségügy) vagy Social Security (nyugdíjbiztosítás) rendszere. Ezek ugyan kvázi univerzális rendszerek, 65 éves kortól mindenki kap orvosi ellátást a Medicare rendszerében, de a módosabbak azért magánbiztosítást kötnek, hogy magasabb színvonalú egészségügyi szolgáltatásokhoz jussanak. A közgazdaságtan újabb iskolájában (behavioral economics) azt, amit én a piac csábításának mondtam, a „nudge” (mondjuk így: oldalba lökés) fogalmával helyettesítik, s ennek nagy hatása volt Obama egészségügyi reformjára. Ennek lényege: nem kell kényszeríteni a magasabb jövedelműeket magán egészség- vagy nyugdíjbiztosításra, de a szabályozási rendszerek adhatnak „nudge-ot”, oldalba lökhetik az állampolgárt, hogy biztosítsa magát, például oly módon, hogy amikor munkát vállal, automatikusan beiratják egy magánbiztosítási rendszerbe, ahonnan kiléphet, de a kilépésről magának kell határoznia.

Ötven éve diskurálunk ezekről a kérdésekről Zsuzsával, mainapság azokon az egyre ritkuló alkalmakkor, amikor egy kávé mellett megint eszmét cserélhetünk. Szeretném azt hinni, hogy ötven éve folyó párbeszédünk a liberalizmus mintája: meg tudunk egyezni abban, hogy miben nem értünk egyet, s ötven év alatt egyszer se haragudtunk meg a másakra, mert más volt a véleménye. Akadnak illiberális liberálisok, akik az ellenvéleményt nem tűrik, minket nem erről a fáról metszettek. Makacs tanítvány voltam, ötven éve kitartottam a magam igaza (mániái?) mellett, de lestem a szavaidat, tanultam belőlük, s ha van Ferge-iskola Magyarországon, szeretném, ha befogadnátok tiszteletbeli tagnak.

Drága Zsuzsám, kilencvenedik születésnapod alkalmából kívánom neked, hogy még sok-sok évig találj magadnak vitapartnereket, olyanokat, amilyenek mi voltunk. Ha nem kívánod vissza nekem, akkor azt is mondanám: bis hundertundzwanzig.

Ki a tudós?

KUTATÓ VS. TUDÓS

Hozzászólás Péter László a *Magyar Tudomány* 2020. októberi számában megjelent *Természettudósnak lenni vagy nem lenni* című cikkéhez

RESEARCHERS VS. SCIENTISTS

Izsák János

a biológiai tudomány doktora, ny. egyetemi tanár
ijanos@caesar.elte.hu

Ki a „tudós”? Ki a „kutató”? (Alább az idézőjeleket jobbra elhagyom.) Időszerű vagy éppen örök kérdések ezek. A vonatkozó cikk megállapításaihoz lelkesen csatlakozom. Mint már a cikk címéből kiderül, Péter László a kérdést bölcsen a természettudomány területére korlátozza. Revelációt ígérő válaszra persze sem ő, sem a remélt hozzászólók nem vállalkozhatnak. Számos időszerű kérdés, szempont felmerülése viszont a cikk kapcsán talán remélhető.

Igen, már az MTA nevében is ott áll a „Tudományos” jelző, és nem Magyar Kutatási Akadémiáról beszélünk (ha manapság többnyire ilyesmire gondolunk is). Hogy gondolatainkban jól elkülönül a tudósi és a kutatói karakter, azt bizonygatni nem kell. A tudósi karakterhez közel áll a *polihistor* megjelölés is, bár utóbbi mára már-már értelmét veszítette. Persze az előfordul, hogy a kétféle karakter vagy habitus ugyanazon személyben lakozik. Valami olyasmi mondható, hogy a tudós – szemben a kutatóval – a saját kutatási terveinek nagy részét feláldozva, életpályáján belső igénytől hajtva törekszik viszonylag széles körben megismerkedni egymástól viszonylag távol álló szakterületekkel. Például szakdolgozati témavezetőként nem restell kutatási területétől viszonylag távol álló szakdolgozati témákat kiírni. Vagy sokféle szakterületről merítve ír figyelemfelkeltő szándékkal tudományt népszerűsítő ismeretterjesztő folyóiratokban. Vagy legalább egészen távoli diszciplínák terén tesz szert pallérozottságra. Más oldalról – mint tudjuk – a kutató teljes szakmai ismeretanyaga éppenséggel meg is haladhatja a tudósét.

A tudósi alkat elismertetése – pláne az MTA berkeiben – reménytelen (még ha természettudományokról van is szó). Tudósok (vagy inkább-tudósok) esetére nem is nagyon való az értékelés tisztje az MTA-nak, már csak azért sem, mert a tudósi

„teljesítmény” értékelési lehetősége eleve sokkal korlátozottabb, mint a kutatóié. Az akadémikussá válás folyamatában is a kutatói sikeresség az alapvető szempont. De a tudósi attitűdnek és meritumnak az elismerése az MTA-énál szélesebb körben is messze elmarad a kutatói teljesítmény elismerésétől. Gondoljunk például a pályázatok (oh, pályázatok...) rendszerére: például a szakirodalomban való búvárkodás kapcsán nem jelentkezik országra szóló műszerigény, utazási igény, hasonlók. Mindezen azonban kár lamentálni, ilyen a dolgok, a világ természete.

Az MTA kutatóintézeiteiben a tudósi alkattal szemben szükségképpen szintén a kutatói alkat megfelelése dominál. A „tudósi” alkat másodlagosan kerül mérlegelésre. De, hogy valami féloldalasság vagy legalábbis valamiféle hiányérzet kialakul mindezzel kapcsolatban a szakmai hajszába belekényszerülő nemzetközi és a magyar tudományos közéletben, az egyértelmű. Az is elmondható, hogy manapság – kényszerűen – világviszonylatban is egyre távolodik a tudósi és a kutatói karakter. Így azután a tudósi karakter (legyek megengedőbb: „tudósi beütés”) egyre ritkább. Még az ún. iskolateremtő tevékenység is inkább kötődik akadémiai megítélés szerint áttételesen a kutatói tevékenységhez. Pedig nagy számban volnának kívánatosak tudóstársadalmunkban, egyetemi életünkben „tudós” habitusú kollégák.

Világos, hogy a fent érintett arányok nagymértékű megváltoztatását nem lehet elérni, és az nem is volna kívánatos. De igenis, bizonyos erőfeszítés megtétele, az arányok valamelyes módosítása kívánatos lenne.

Mi az tehát, amit az MTA természettudományi oldala a felsőoktatás más „erőivel” karöltve megtehetne? Javasolható volna például vonatkozó tárgyú előadás-sorozat szervezése a tudós vs. kutató témakörben. Vagy fel lehetne karolni például természettudósok életútjának, szakmai pályájának behatóbb ismertetését. Az MTA természettudományos osztályain ad hoc munkabizottságok időről időre javasolhatnák irodalmi feldolgozásra valamilyen pályázat keretében manapság a kívánatosnál kevésbé kultivált vagy egyenesen elhanyagolt és az általános figyelemtől távol került kérdéskörök felelevenítését. Ebbe hangsúlyozottan bekapcsolódhatnának a *tudományegyetemek*. Merthogy utóbbi intézmények a magyar tudományosság alapvetően fontos letéteményesei...

Könyvszemle

SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

VÉKÁS LAJOS: FEJEZETEK A MAGYAR MAGÁNJOGTUDOMÁNY TÖRTÉNETÉBŐL

Vékás Lajos, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, egyetemi tanár könyve 2019 végén jelent meg. A kötet nyolc, saját tudományterülete, elsősorban a magánjog (polgári jog) meghatározó, kimagasló jelentőségű művelőjének számító hazai jogtudós életútját és tudományos pályáját ismerteti meg az olvasóval. A szerző, könyvének bevezető részében kiemeli, hogy a nyolc jogtudós pályájának bemutatásával és tudományos tevékenységének értékelésével célja a magyar magánjogtudomány elmúlt két évszázadáról való kép alkotása. Hangsúlyozza, hogy nem állt szándékában szisztematikus és átfogó tudománytörténetet írni. A kötetben közzétett tanulmányok a jogtudósok születési idejének sorrendjében követik egymást.

A tudósportrék sorát *Frank Ignác (1788–1850): A rendi magyar magánjog tudományos összefoglalója* című tanulmány nyitja. Frank Ignác magyar reformkorral összefüggő tudományos életműve a történelmi magyar jogra (ius patrium) épül. A *Principia iuris civilis Hungarici* és *A közigazság törvénye Magyarhonban*, mely utóbbi a korábban latin nyelven publikált munka magyar nyelvű változata, ma is figyelmet érdemlő művek. *A közigazság törvénye Magyarhonban* című munkája V. Ferdinánd rendeletéhez kapcsolódik. Az uralkodó az ország rendjeinek kívánságára ugyanis 1844-ben, a mű első részének, illetve első kötetének megjelenését megelőző évben elrendelte a tudományok magyar nyelven való tanítását. Az osztrák szerzők hatása a magyar nyelvű terminológiában is (például a „dologbani” és a „dologhozi” jogok közötti megkülönböztetés) kifejezésre jut. Frank Ignác az irodalom, a törvényhozás és a törvénykezés (bíráskodás) korában használatos szaknyelvét mellőzve, korábban nem ismert kifejezéseket használt. A Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává történő választását követően *Ősiség és elévülés* címmel tartott székfoglaló előadásában az ősiség kérdését szélesebb összefüggésben, elsősorban a hitelhez kapcsolva elemezte. 1849 júliusának végén Bécsbe rendelték, abból a célból, hogy részt vegyen a Magyarországot érintő jogi kérdésekkel foglalkozó bizottság munkájában. Egyik munkájában az

ösiség (aviticitas) történeti fejlődését, természetét és ennek felszámolásával összefüggő teendőkkel kapcsolatos nézeteit fejtette ki. Kiemelendő, hogy Frank Ignác, hasonlóan a 18. században élt és Egerben oktató professzorhoz, Huszty Istvánhoz, a *Jurisprudentia practica seu commentarius novus in Ius Hungaricum* című, háromkötetes, több kiadást megért munka szerzőjéhez, a magyar magánjogot Werbőczytól függetlenül, maga alkotta rendszerben mutatta be. Az „europaizálódás” irányába ható változás a magyar civilisztikában, a német pandektisztika Friedrich Carl von Savigny nevéhez kapcsolódó irányzatának hatása, Frank Ignácnál mutatható ki legkorábban, aki jóllehet következetesen ellenezte a kodifikációt, mégis, Szalay László találó szavaival, „egy új aera úttörőjének” tekinthető. Frank Ignác az 1823-ban közzétett, még az észjogi irányzat (Vernunftrecht), elsősorban Christian Wolff hatását tükröző *Specimen elaborandarum institutionum iuris civilis Hungarici* című művében a magyar földtulajdoni viszonyok tárgyalásánál római jogi fogalmakat használ. Műveiben hivatkozott a korábban ismert, már hatályban lévő magánjogi kódexekre, így a Porosz Általános Törvénykönyvre, a francia Code civilre és az Osztrák Polgári (Magánjogi) Törvénykönyvre éppúgy, mint a francia, osztrák és német magánjogi szakirodalomra. Frank Ignác munkáiban a feudális, hűbéri magyar magánjogot dolgozta fel nemzetközi mércével mérve is magas színvonalon. Vékás Lajos hangsúlyozza, hogy Frank Ignác a magyar magánjogot belső fejlődés, nem pedig gyökeres átalakítás útján kívánta korszerűsíteni, a kor igényeivel összhangba hozni.

A kötet második, egyben legnagyobb terjedelmű, leghosszabb tanulmányának címe: *Grosschmid Béni (1852–1938) és a Polgári Törvénykönyv*. Grosschmid Béni, aki egyetemi hallgató korában nevét Zsögöd Benőre változtatta, majd 1904-től ismét Grosschmid Béni néven tette közzé munkáit, Vékás Lajos szerint a magyar magánjogtudomány magas színvonalának folyamatosságát biztosítja Frank Ignác után, és Szladits Károlyra hivatkozva rámutat arra, hogy Grosschmid európai mércével mérve is eredeti gondolkodó, „szuverén szellem”, aki nem tartozik sem a történeti jogi iskolához sem pedig az érdekkutató irányzathoz. A *Fejezetek kötelmi jogunk köréből* (a továbbiakban *Fejezetek*) című, két kötetben publikált, két kiadást is megért monumentális munka Grosschmid Béni legjelentősebb és legeredetibb műve. Vékás Lajos a tanulmány egyik alfejezetében a *Fejezetek* jelentőségét és aktualitását a tulajdonátruházás jogi természetével kapcsolatos nézetek vonatkozásában vizsgálja. A teljesség igénye nélkül utalunk arra, hogy Grosschmid ebben a művében a kötelelem (obligatio) kétpólusú struktúráját elemezve kiemeli, hogy a relatív szerkezet nem tekinthető zártnak. Figyelemmel van a többalanyú kötelmi helyzetekre is. Vékás Lajos önálló alfejezetben mutat rá arra, hogy Grosschmid Béni érdeme a polgári törvénykönyv monista kódexként való koncipiálása, mely hatással volt a 2013. évi V. törvény, a 2014. március 15-én hatályba lépett új magyar Polgári Törvénykönyv monista kódexstruktúrájának elfogadására. A tanulmány ötödik alfejezete foglalkozik Grosschmid gondolatai-

nak hatásával az új polgári törvénykönyv öröklési jogában. Vékás Lajos rámutat Grosschmid törvényes öröklésről írt tervezetének hatására a későbbi törvényhozásra, kiemelve *A köteles rész* című tanulmányának jelentőségét. A portré utolsó részében Grosschmid „gondolatainak tükrében” az özvegyi jogot, az ági öröklést és a kötelesrészt vizsgálja.

A kötet harmadik tudósportréja (*Szászy-Schwarz Gusztáv, 1858–1920*) a magánjog és a római jog jeles művelőjének, a budapesti Királyi Tudományegyetem professzorának és a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjának, Szászy-Schwarz Gusztávnak az életpályáját és tudományos munkásságát tekinti át. Vékás Lajos a portré első részében Szászy-Schwarz Gusztáv jogi személyről írt munkáit elemzi, kiemelve, hogy a jogtudós teóriájának kiindulópontja a római jog jeles művelője, Alois von Brinz nevéhez fűződő célvagyon elmélet. A tanulmány szerzője utal arra, hogy Szászy-Schwarz saját teóriáját a monisztikus nézetek egyikének tartja. Kiinduló tétele szerint a jogalanyiség vonatkozásában nem lehet különbséget tenni a fizikai személy és a jogi személy között. Vékás Lajos részletesen foglalkozik Szászy-Schwarz Rudolf von Jheringről írt tanulmányával. Jhering több kiadást megért *Geist des römischen Rechts auf den verschiedenen Stufen seiner Entwicklung* és az alanyi jog fogalmát tisztázni hivatott, „epizódnak szánt”, *Zweck im Recht* című műveit Szászy-Schwarz, aki Göttingenben Jhering tanítványa volt, és akit „Mesterének” tekintett, egészen eredeti, újszerű módon vizsgálja. Vékás Lajos egyetért Szászy-Schwarz megállapításával, aki szerint Jhering mindkét műve befejezetlen maradt. Kritikai éllel állapítja meg, hogy Szászy-Schwarz, bár elismeri a „Mester” 1861-ben publikált, a *culpa in contrahendo* doktrínáját megalapozó tanulmányának értékét, nem hangsúlyozza a tanulmány korszakos jelentőségét. Szászy-Schwarz Gusztáv felismeri Jhering *Der Kampf ums Recht* című esszéjének kivételes gondolati gazdagságát, melyben a német jogtudós a „Geist” és a „Zweck” vezérgondolatait egyesíti. Vékás Lajos a portré utolsó részében Szászy-Schwarz Gusztáv kodifikációs munkásságát tekinti át. Az 1900-ban közzétett *A magyar általános polgári törvénykönyv tervezete. Szászy-Schwarz az első szöveg* öröklési jogi részének (1794–2043.§§) szerzője. Az első tervezet öröklési jogi részében található szabályok, vonatkozik ez különösen a törvényes öröklés szabályozására, tekintélyes része megtalálható az első magyar Polgári Törvénykönyvben éppúgy, mint a 2013. évi V. törvényben. Szászy-Schwarz *Codificationalis dolgozatok* címmel 1902-ben közzétett tanulmánykötete a 21. század polgári jogásza számára is hasznosítható gondolatokat tartalmaz mind a magánjogi kodifikációval, így például az „általános rész” mellőzése tekintetében, mind pedig egyes jogintézmények, így például az ági öröklés vonatkozásában.

A kötet negyedik, *Szladits Károly (1871–1956) és Magánjogi iskolája* című portréja a magyar magánjogtudomány egyik legjelentősebb művelőjét mutatja be. Szladits magát Grosschmid Béni, akit egyik munkájában „praeceptor Hun-

gariae”-nek nevez és Szászy-Schwarz Gusztáv tanítványának vallja. A „Sub auspiciis Regis” doktorrá avatott Szladits Károly bíróságon kezdte jogászai pályáját. Magántanári képezést fiatalon, 1908-ban szerzett a Budapesti Egyetem Jog- és Államtudományi Karán. 1917-ben lett ugyancsak Budapesten a magyar és az osztrák magánjog nyilvános rendes egyetemi tanára. A Magyar Tudományos Akadémia 1932-ben levelező, 1943-ban pedig rendes tagjává választotta. A jogtudomány képviselői közül elsőként tüntették ki Kossuth-díjjal 1953-ban. Vékás Lajos a portré első részében Szladits fiatalkori politikai orientációját és annak lehetséges állomásait tekinti át. A portré Szladits Károly tankönyveivel és tudományos munkásságával foglalkozó részében a szerző Szladits *A magyar magánjog vázlat* (*Vázlat*), több kiadásban és átdolgozott formában megjelent munkájának elemzése kapcsán kiemeli, hogy a *Vázlat* általános tanai struktúrájának hatása a mai polgári jogi tankönyvirodalomban is kimutatható. A továbbiakban a Szladits által szerkesztett, hatkötetes, 1938 és 1942 között megjelent *Magyar magánjog* jelentőségére mutat rá. A „magnum opus” általa írt általános részében Szladits megfogalmazza a polgári magánjog jellemző vonásait, melyek a 21. század második évtizedében is érvényesek. A portré utolsó részében Vékás Lajos a Szladits-iskolával foglalkozva megállapítja, hogy a Szladits-iskola tagjainak egy szűkebb kör, és pedig a Szladits vezette magánjogi szeminárium résztvevői tekinthetők, melynek legjobbjai monografikus igényű munkák szerzői. Szladits Károly életpályája szemléletes példája a tudományos kutatásban és a professzori szintű utánpótlás nevelésében egyaránt megmutatkozó kivételes tehetség harmóniájának.

A könyv ötödik tanulmánya (*Nizsalovszky Endre, 1894–1976*) Nizsalovszky Endre munkásságát értékeli. Nizsalovszky 1929-ben szerzett magántanári képezést Debrecenben. Tanári pályáját is a Debreceni Egyetemen kezdte meg a kereskedelmi és a váltójog professzoraként. 1938-ban került a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemre, ahol a polgári törvénykezési jog tanszék professzora volt. Szladits Károly nyugalomba vonulását követően vette át a magyar magánjogi tanszéket 1943-ban. Az általa vezetett katedrákat meghívás alapján nyerte, ami a kivételes szakmai elismerés jele. Aktív szerepet vállalt különösen a Magyar Tudományos Akadémián és a Magyar Jogász Egyletben. 1949-től politikai támadások érték. 1956-ban az MTA Állam- és Jogtudományi Bizottsága elnökévé választották. 1956-ban került sor a Magyar Tudományos Akadémia főtítkárává választására. 1957 szeptemberében egyetemi tanári tisztségéből azonnali hatállyal elbocsátották, és megfosztották akadémiai tisztségeitől is. Első publikációja 1921-ben jelent meg. Bár a szociális tárgyú írásokkal nem hagyott fel, az 1920-as években főképpen társasági jogi és valorizációs témákkal foglalkozott. 1928-ban jelentek meg első nagyobb lélegzetű dologi jogi és zálogjogi munkái, így az *Értékjog és zálogjog* és a *Magyar magánjog mai érvényben*. II. *Dologi jog*. Az 1930-as években jogbölcseleti, kereskedelmi jogi és perjogi munkákat publikált *A látszat*

a jogban, *Az érdekkutató jogtudomány a magánjogban, A kereskedelmi törvény és joggyakorlata, Grossschmid és a kereskedelmi jog, Az alanyi magánjog és a perjog és Perképeség – jogképesség* címmel. Az évtized végén jogszabálytannal, társadalompolitikával és jogtörténettel foglalkozott: *Apponyi társadalompolitikája. Serlegbeszéd, Magánjogi kodifikáció. Illés József jubileuma alkalmából és A római jog szelleme*. A második világháború után több tankönyvet írt: *Kötelmi jog II., Kötelmi jog I., Magyar családi jog, Magyar polgári jog I.* általános rész. Az 1950-es években részt vett a Polgári Törvénykönyv kodifikációjában. Családi joggal, szerzői joggal és jogtörténettel, később pedig orvos-egészségügyi joggal foglalkozott. Az ekkor született monográfiái később angol, francia és német nyelven is megjelentek. Kutatásai eredményeire a nemzetközi szakmai közvélemény is felfigyelt. 1984-ben egykori tanítványai a *Tanulmányok a jogról* című posztumusz kötettel tisztelegtek emléke előtt. Több írása ekkor kerülhetett először az olvasók elé. Egy évtizeddel később az Eötvös Loránd Tudományegyetem és a Magyar Tudományos Akadémia rehabilitálta. 1994-ben jelent meg a tiszteletői által jegyzett *Nizsalovszky Endre Emlékkönyv* című kötet. Nizsalovszky Endre a katedrán kiválóan ötvözte az elméleti és a gyakorlati megközelítést, egyben nagy gondot fordított az egyes magánjogi jogintézmények elméleti-történeti alapjainak bemutatására is. A tanulmány szerzője a jogtudós néhány jelentős művének rövid bemutatására is vállalkozik. Műveinek belső értéke, gazdag tudományos munkássága alapján válik a magánjogot magas szinten művelő jogtudósok méltó társává.

Vékás Lajos könyvének hatodik portréja (*Világhy Miklós, 1916–1980*) Világhy Miklós professzornak, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjának életútját ismerteti meg az olvasóval. Világhy Miklós a Pázmány Péter Tudományegyetem Jog- és Államtudományi Karán szerzett diplomát 1939-ben. Szladits Károly tanítványa volt. Első tudományos dolgozata, mely a tulajdonjog-fenntartás kérdését elemezte, még hallgató korában, 1937-ben jelent meg. Ezt követte a perlési megbízásról írt munkája, melyet a Szladits Károly 70. születésnapja alkalmából kiadott ünnepi kötetben, 1941-ben publikált. A tíz éven át joggyakorlat területén működő Világhy Miklós 1949-ben kezdte meg oktatói munkáját. A Pázmány Péter Tudományegyetem Jog- és Államtudományi Karán (1950 szeptemberétől az Eötvös Loránd Tudományegyetem [ELTE] Állam- és Jogtudományi Karán) először a Munkajogi Tanszéket, később a II. számú Polgári Jogi Tanszéket vezette. Három éven át volt a kar dékánja, majd mandátuma lejártát követően, az 1956/1957. évi tanévben betöltötte az ELTE rektori tisztségét is. Három éven át, 1962 és 1965 között az egyetem tudományos rektorhelyettese volt. Világhy Miklós tudományos munkásságában a magyar polgári jog anyagának átfogó feldolgozása, a szellemi alkotások jogi védelme – különös tekintettel az iparjogvédelemre –, a gazdasági jog kérdése és a jogi személyiség problémája tekinthetők centrális jelentőségűnek. Kiemelendők továbbá a nemzetközi magánjoggal kapcsolatos

kutatásai. Kiemelendő, hogy mint tekintélyes professzor különös figyelemmel kísérte a római jogi kutatások hazai és nemzetközi eredményeit.

A könyv hetedik tanulmánya (*Eörsi Gyula, 1922–1992*) Eörsi Gyula egyetemi tanár, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagjának életútját és tudományos munkásságát elemzi. Vékás Lajos tanulmánya bevezető részében hangsúlyozza, hogy az 1978-ban Állami-díjjal, 1983-ban pedig Akadémiai Aranyéremmel kitüntetett Eörsi Gyula tudományos működése „két korszakhatár közé esik”. Tanulmányait a budapesti Pázmány Péter (1950. szeptember 15. óta Eötvös Loránd Tudományegyetem) Jog- és Államtudományi Karán folytatta. Tanulmányai befejezését követően 1948–1949-ben állami ösztöndíjjal a Sorbonne-on volt vendéghallgató. 1947–1948-ban bírósági aljegyző a központi kerületi járásbírószágon, majd 1951-ig törvényszéki bíróként főelőadó az Igazságügyi Minisztériumban, előbb a magánjogi, ezt követően pedig a törvényelőkészítő osztályon. 1951-ben konzulként működik az Amerikai Egyesült Államokban, New York Cityben és Washingtonban. 1952-ben visszatér Magyarországra. 1952 és 1957 között az Igazságügyi Minisztérium Törvény-előkészítő Főosztályának vezetője. Félállásban az ELTE Polgári Jogi Tanszékén lett egyetemi docens azt követően, hogy korábban már oktatott a Közgazdaságtudományi Egyetemen és a Szegedi Tudományegyetemen. 1956-ban kapja meg egyetemi tanári kinevezését. 1978-ban az ELTE rektorává választották, ezt a tisztségét 1984. június 30-ig viselte. Egyetemi állása mellett az MTA Állam- és Jogtudományi Intézet polgári jogi osztályának vezetője, később igazgató-helyettese. 1986-ban kutatóprofesszori megbízást kap. 1967-ben, illetve 1970-ben a Dar-es Salam-i Egyetem, 1973-ban pedig a Stockholmi Egyetem vendégprofesszora. 1952-ben védte meg az állam- és jogtudományok kandidátusi, 1956-ban akadémiai doktori értekezését. 1962-ben lett az MTA levelező, 1973-ban pedig rendes tagja. Akadémiai tisztségei mellett a Magyar Iparjogvédelmi Egyesület alelnöke, valamint a német Gesellschaft für Rechtsvergleichung tagja és tiszteletbeli doktora volt. Vékás Lajos kiemeli, hogy Eörsi Gyulának meghatározó szerepe volt a szovjet mintát követő, ideológiai alapokon nyugvó jog, jogtudomány és jogi oktatás meghonosításában. Fő kutatási területe a polgári jog volt. Emellett foglalkozott összehasonlító polgári joggal (magánjoggal), a jog és a gazdaság közötti kapcsolattal és iparjogvédelemmel. Az 1950-es években a szocialista polgári jog elméleti alapjait rakta le, könyvet írt a tervszerűdésekről és a kártérítési jogról. Behatóan foglalkozott a polgári jogi felelősség elméleti és gyakorlati kérdéseivel is. A portré szerzője utal Eörsi Gyula Világhy Miklóssal társszerzőként írt, több kiadásban megjelent polgári jogi tankönyvének jelentőségére.

A kötet utolsó, nyolcadik portréja (*Magánjogi kérdések jogelméleti megközelítése Peschka Vilmos [1929–2006] műveiben*) a 2001-ben Széchenyi-díjjal kitüntetett Peschka Vilmos, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja tudományos munkásságát mutatja be, melynek tengelyében a jogelmélet és a magánjogtudo-

mány áll. Peschka Vilmos az Eötvös Loránd Tudományegyetemen folytatott jogi tanulmányokat. 1957 szeptemberétől 1999-ben történt nyugalomba vonulásáig a Magyar Tudományos Akadémia Állam- és Jogtudományi Intézetében dolgozott főállásban, pályája utolsó szakaszában kutatóprofesszorként. 1960-ban lett az ELTE Polgári Jogi Tanszékének oktatója. Egyetemi tanári kinevezést 1972-ben kapott. *A jogviszonyelmélet alapvető kérdései* címmel 1960-ban jelent meg nyomtatásban 1958-ban megvédett kandidátusi értekezése. *Jogforrás és jogalkotás* című értekezésével 1968-ban szerezte meg az állam- és jogtudományok doktora címet. Peschka Vilmos már korai munkáiban kritizálta a szocialista normativizmust. Nézete szerint a Legfelsőbb Bíróság jogszabály-értelmezés során meghozott irányelveivel és elvi döntéseivel ténylegesen jogot alkot. A jog értéke vonatkozásában a döntő elem az, hogy mennyiben járul hozzá az emberi lényeg megvalósulásához. *A modern jogfilozófia alapproblémái* című, 1972-ben megjelent könyvében a nyugat-európai jogfilozófia problémafelvetései ismertetésével és elemzésével járult hozzá a magyar jogtudomány gazdagításához. Jelentősek érett alkotói korszakában írt munkái, így az 1979-ben megjelent *A jogszabályok elmélete*, az 1988-ban kiadott *A jog sajátossága és az Appendix „A jog sajátosságához”* című művei. Vékás Lajos portréjában Peschka Vilmosnak a magánjogi kodifikációval, a magánjogtudomány jogbölcséleti alapjaival és a jogügyletek értelmezésével foglalkozó munkáit elemzi részletesebben. Anton Friedrich Justus Thibaut és Friedrich Carl von Savigny kodifikációs vitájával foglalkozva hangsúlyozza, hogy Peschka Vilmos a „Kodifikationsstreit” alapkérdésében Savigny jogbölcséleti és teoretikus alapokon nyugvó nézetét fogadja el. Vékás Lajos a továbbiakban utal a kodifikációs vita aktualitására az 1959-ben elfogadott első magyar Polgári Törvénykönyv és a 2013. évi V. törvény (második magyar Polgári Törvénykönyv) előkészítésénél. Peschka Vilmos több fiatalkori tanulmányban is elemezte a magyar magánjogtudomány jogbölcséleti alapjait, különös figyelemmel a történeti jogi iskola hatására Frank Ignác, Wenzel Gusztáv, Suhayda János, Zlinszky Imre, Herczeg Mihály és Grosschmid Béni műveire. Bár a „kötelező ideológiai elfogultság” nyomta rá bélyegét ezekre a munkáira, gondolatgazdagáguk miatt ma is tájékozódási alapot jelentenek a hazai magánjogtudomány filozófiai alapjai, forrásai vonatkozásában. A portré utolsó részében Vékás Lajos Peschka Vilmosnak a jogügyletek értelmezésével foglalkozó gondolatait tekinti át, rámutatva azoknak a bírói gyakorlatban való figyelembevételének lehetőségére és szükségességére. Peschka Vilmos joggal tekinthető a 20. század utolsó évtizedeiben alkotó legjelentősebb hazai jogfilozófusnak, akinek munkássága a magánjogtudomány területén ma is figyelmet érdemel.

A kitűnő stílusban megírt, magas színvonalú, kisonográfianak is tekinthető tanulmányok egy hiánypótló, kitűnő arányokkal megszerkesztett kötetben olvashatók. A magyar magánjogtudomány jeles alakjait bemutató, négy esetben – Nizsalovszky Endre, Világhy Miklós, Eörsi Gyula és Peschka Vilmos – személyes

visszaemlékezésre is támaszkodó tudósportrékat magában foglaló kötet joggal tarthat számot a jogtudományi kutatásokat folytatók, a jogásztársadalom valamennyi tagja és a jogtudó értelmiségünk iránt érdeklődő szélesebb olvasóközönség érdeklődésére.

(Vékás Lajos: Fejezetek a magyar magánjogtudomány történetéből. Budapest: HVG-ORAC Kiadó, 2019, 185 o.)

Hamza Gábor

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár
Eötvös Loránd Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar

ÁRNYÉKOKTATÁS

A tekintélyes *Educatio* folyóirat tematikus lapszámokban adja közre az oktatási rendszer és folyamat kutatásainak széles érdeklődésre számot tartó hazai eredményeit. A 2020/2. szám hazai kutatóknak az árnyékoktatással foglalkozó tanulmányait tartalmazza. A tematikus szerkesztés Biró Zsuzsanna Hanna (Wesley János Lelkészképző Főiskola) és Gordon Győri János (Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar) munkája.

Az árnyékoktatás-kutatások alapfogalmait (fogalomtörténetét), történetét, nemzetközi elterjedését bemutató tanulmányt (Gordon Győri János) egy, a sajátos gazdasági ágazat méretéről, növekedési teljesítményéről, a működés szervezeti-menedzselési feltételeiről szóló nemzetközi összehasonlítás követi (Polónyi István). A hazai árnyékoktatás fontos metszeteiről: a különóráról (Szemerszki Marianna), illetve az iskolán kívüli tanulás egyéb formáiról terepkutatások, kérdőíves felmérések, statisztikai adatok alapján készült tanulmányokat olvashatunk (Imre Anna). A kínálati oldalról az angol magán nyelvoktatás piacáról, a piacra lépés indokairól készült cikk tájékoztat (Biró Zsuzsanna Hanna). A nagyobb tanulmányok sorát az árnyékoktatás közeljövőjét taglaló cikk zárja (Setényi János). A szám szerkesztői nemzetközi összehasonlításra – inkább kitekintésre – is lehetőséget adó, információban gazdag könyvismertetések is közreadnak az árnyékoktatás kelet-ázsiai, főként dél-koreai (Lehotka Ildikó), Japán-beli (Deák Dorottya) és grúziai (Holle Alexandra) helyzetéről.

Az árnyékoktatás – ez a mindennapi életben sok évtizede széles körben elterjedt társadalmi jelenség – csak kisebb része az iskolán kívüli pedagógiai tevékenységnek, illetve az iskolai tanterven kívüli oktatásnak. A komplementer halmaz felől közelítve: a különszám szerzői következetesen nem foglalkoznak az egyetemi-főiskolai különképzésekkel, továbbá a felnőttoktatással. Ugyancsak nem tárgyai az elemzéseknek az emberi (tudás)tőkének az iskolák tanterveiben többnyire mellékesen szereplő (amúgy az emberi kultúra sok ezer éve meghatározó) olyan elemei, mint a zene, a tánc, a sport iskolán (tanrenden) kívüli oktatása. Az árnyékoktatás definíciója helyett a szerzők rendszerint csak felsorolják a jellegzetes működési formáit. Ide tartoznak „az otthoni magánoktatás, a magántulajdonban levő tutori intézmények, az előfizetett tanulási programok, az internet alapú magánoktatás, az iskola utáni programok” (Polónyi, 192.).

Egy másik lista szerint a szűkebben vett árnyékoktatás tartalmát tekintve:

- „kiegészítő, vagyis olyan tantárgyat fed le, amelyet az iskolákban szokásos módon oktatnak,

- piaci áron zajló privát oktatási tevékenység,
- az oktatási rendszer átfogó részében elméleti vizsgatantárgyként is alkalmazható tantárgyat fed le” (Gordon Győri, 174.).

A definíciót kerülő felsorolások egyik lehetséges magyarázata, hogy az árnyékoktatás térben szétszórta és többféle tulajdoni és szervezeti formában zajlik. Egyszemélyes vállalkozások éppúgy terei ezeknek a tevékenységeknek, mint országos hálózattal, felelős menedzsmenttel működő iskolavállalkozások. A helyszíne lehet iskolaépület, bérelt vagy tulajdonolt ingatlan és berendezése, de akár lakás vagy egy kávézó is. Az eladó jellemzően piaci árat kér, de szolgáltatása esetenként kedvezményes áron is kapható. Vásárlója rendszerint a háztartás, de találtunk példát a szolgáltató vagy igénybe vevő állami támogatására is.

A határkijelölés bizonytalanságaihoz az is hozzájárult, hogy az árnyékoktatás kutatása alig három évtizeddel ezelőtt kezdődött. „Mégis figyelemre méltó, hogy egy olyan oktatási tevékenység-típusról hosszú ideig nem vesz tudomást az oktatáskutatás, amelynek igen sok változata, létmódja van, a világ minden táján elterjedt, és a társadalom számos rétege aktívan érintett benne. Már pedig éppen ez történt az árnyékoktatással: hosszú évtizedeken keresztül alig vagy még inkább egyáltalán nem vettek tudomást erről a jelenségről a kutatók és a szakemberek – sem itthon, sem nemzetközileg.” (Gordon Győri, 171.)

A további intenzív kutatást, a lemaradás csökkentését, az árnyékoktatás nagy és gyorsan növekvő terjedelme is indokolja. Polónyi István idézi tanulmányában, hogy egy évtizeddel ezelőtt az árnyékoktatást használó tanulók aránya a PISA 2009 felmérés huszonegy országa közül a „sereghajtó” Dániában sem volt elhanyagolható (18,4%). Ugyanekkor Japánban már a tanulók 56%-a, Dél Koreában 80,2%-a vette igénybe az árnyékoktatás valamely formáját (Polónyi, 191.). A magyar érintettség 39,3% volt. A piac gyorsan bővül, és – legalábbis a koronavírus-járvány előtt – a szakértők további gyors növekedésére számítottak: „az árnyékoktatási (*private tutoring*, illetve *private supplementary tutoring*) piac igen dinamikusan növekvő piaci szegmentum. Egy elemzés szerint a globális magántulajdon-oktató piac 279,3 milliárd dollárt ér el 2027-re, és a 2020–2027 közötti időszakban 7% összetett növekedési rátával növekszik.” (Polónyi, 200.)

A gyors növekedés forrása, motorja esetünkben a magánkezdeményezés. Az árnyékoktatás működését, szervezeti-vállalkozási formáit, terjedelmét döntően nem az állam, hanem az állami oktatási rendszertől független piaci szereplők kooperációja és versenye befolyásolja. Számos esetben az állam ellenében működik sikeresen: „Az egyik említésre méltó vonatkozás az, hogy az árnyékoktatást formális jogi eszközökkel lehetetlen betiltani, noha többször megkísérelték már. ...Egy másik fontos ismeret erről a kutatási területről az, hogy az állami

jogi szabályozáson kívül létezik a terület szabályozásának egy másik fajtája is: a szakma céhszerű önszabályozása.” (Gordon Győri, 182.)

Az állam (a szabályozó) bizalmatlanságát, esetenként ellenséges viselkedését az árnyékoktatás nem kívánatos társadalmi hatásaival magyarázzák, indokolják. A kutatók egyetértenek abban, hogy az iskolán kívüli oktatás növeli az ország emberitőke-állományát. Állandó vita tárgya viszont ennek a tőkének a társadalom egyes csoportjai közötti eloszlása. Másként: az árnyékoktatás növeli-e és milyen mértékben az egyenlőtlenséget, rontja vagy javítja a kimaradók továbbtanulási vagy a karrier esélyeit? Korrigálja, enyhíti vagy konzerválja az állami oktatás hibáit vagy hiányosságait?

A magyar árnyékoktatás részterületein végzett kutatások egyenlőtlenség-növelő hatásokat jeleznek: „a különféle délutáni foglalkozásokon részt vevők aránya képzési típusok szerint is jelentős eltérést mutat, a gimnáziumtól a szakközépfiskoláig, szakiskoláig lineárisan csökkenő”. Továbbá „elsődlegesen a családi hatások érvényesülnek, a szülők iskolai végzettsége mellett a szülők iskolai bevonódása is szerepet játszik abban, ha a tanuló inkább a magánórákat választja”. Különösen áll ez az idegennyelv-oktatásra: „Az idegennyelvi-különórák igénybevétele inkább a magasabb társadalmi státusz elérését szolgálja, s az átlagosnál jobb képességű, jobb társadalmi helyzetű tanulók élnek vele.” (Szemzenszki, 217.)

Hasonló tendenciáról olvashatunk egy másik, a magyarországi helyzetet elemző tanulmányban: „a tehetséggondozásban részt vevők háromnegyede (74%-a) érettségizett vagy diplomás szülők gyermeke... Az iskolán kívüli foglalkozások esetében a részvétel eltolódik a diplomával rendelkező csoportok irányába: az idegen nyelvi, zenei és sportfoglalkozások esetében az érintett tanulók fele 48-60% arányban diplomás szülők gyermeke.” (Imre, 224.)

Az egyenlő esélyek hívei sem feltétlenül az árnyékoktatás visszaszorítását szorgalmazzák. A finn példa azt mutatja, hogy van esély az árnyékoktatás fontos elemeinek, tapasztalatainak hasznosítására az állami oktatási szektorban: „a finn oktatáspolitikai alapértéke, az esélyegyenlőség, útját állja az iskolán kívüli tanulás kibontakozásának és az iskolával való összekapcsolódásának. Az egyenlőség elérése céljából – eredetileg a korrepetálás kelet-európai szocialista mintái alapján fejlesztették ki a különoktatást, amely egyre nagyobb tanulócsoportokat ér el egyre differenciáltabb formában, egyre nagyobb közkiadásokat generálva. 2001 és 2010 között a különoktatást kapott tanulók száma 60%-kal nőtt, és már megjelent a gimnázium szintjén is. A különoktatást kapott 9. évfolyamosok száma ugyanebben az időszakban megkétszereződött. A finn általános iskolások kb. 9%-a kap rendszeres különoktatást, a fiúk aránya a lányok kétszerese. Mindez iskolán belül, közpénzből finanszírozott különoktatás” (Sztényi). Ma még nem tudjuk, mikor, mely országokban, és milyen sebességgel követik a finn rendszert. Ezért az életszerű, ha a kutatási tervek készítői azzal

számolnak, hogy az oktatási rendszer tevékenysége két részből áll: a jól látható árnyékot vető részből és a rendszerszinten nem látható árnyában tevékenykedőből. Nagy a valószínűsége annak, hogy oktatáspolitikai formálói is – akaratlanul – együtt kezelik majd a kettőt. Jó esetben annak tudatában, hogy a tudástőke elosztási mechanizmusának kimenete egy irányba mutat. A társadalmi szerkezetben lent levők az állami rendszerben alulteljesítenek, a piaci jellegű árnyékoktatásban pedig nem akarnak vagy nem tudnak részt venni.

(EDUCATIO – tematikus szám, 2020/2. Vol. 29.)

Laki Mihály

közgazdász, az MTA doktora

Kitekintés

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

EGYETLEN VAKCINA VALAMENNYI KORONAVÍRUS ELLEN

Béta-koronavírusok elleni univerzális vakcina lehetőségét ígéri amerikai kutatók új stratégiája. Ebbe beleértendők azok a vírusok, amelyek már okoztak járványt – SARS-CoV-2, SARS, MERS –, és azok is, amelyek állatokról ugyan még nem „kerültek át” emberre, azaz az embert egyelőre még nem képesek megfertőzni, de ez bármikor bekövetkezhet.

A stratégia kulcseleme egy olyan fehérje nanorészecske, amelyhez kémiai kötéssel más fehérjék kapcsolhatók. A kutatók többféle koronavírus tüskefehérjéjének azt a részét „lógatták” a nanoszerkezetre, amelynek segítségével elvileg kötődni tudnak az emberi sejtek ACE-2 receptoraihoz. (Az emberi sejtekbe történő bejuttatáshoz ezt a receptort használja a világjárványt okozó SARS-CoV-2 is.)

A konstrukció makákó majmokban erős immunválaszt váltott ki, de mivel a különböző vírusok tüskefehérjéi nagy hasonlóságot mutatnak, a védettség nemcsak a kísérlet során „felaggatott” koronavírus típusokkal szemben alakult ki, hanem másfélék ellen is.

A kutatók szerint ötletük alkalmas olyan vakcina kidolgozására, amely az összes potenciálisan betegséget okozó koronavírus ellen védelmet fog biztosítani.

Saunders, K. – Lee, E. – Parks, R. et al.: Neutralizing Antibody Vaccine for Pandemic and Pre-emergent Coronaviruses. *Nature*, published online 10 May 2021. peer-reviewed paper, accepted for publication, DOI: 10.1038/s41586-021-03594-0, <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03594-0>

FOTOSZINTETIZÁLÓ AGY

A sztrók okozta agykárosodás kivédésére bizarr, ám ötletes eljárást publikáltak kínai kutatók az Amerikai Kémiai Társaság egyik lapjában.

Az egereken tesztelt nanofotoszintetikus terápia lényege, hogy beteg állatok agyát közeli infravörös fényvel sugározták be. Az ebbe a hullámhossztartományba eső sugárzás átjut a koponyacsonton. Az agyba előzőleg olyan nanorészecskéket juttattak, amelyek a közeli infravörös fényt látható fényre konvertálják. Ezeket a látható hullámhossztartományba eső fotonokat pedig képes hasznosítani egy ősi egysejtű fotoszintetizáló kék-zöld alga vagy cianobaktérium, a *Synechococcus elongatus*. A sztrókos állatok agyába *Synechococcus* sejteket is beinjektáltak. A feltételezés az volt, hogy a kék-zöld alga a látható fény segítségével fotoszintetizál, amelynek során elfogyasztja a sérült sejtek miatt felhalmozódó szén-dioxidot, ugyanakkor az agy számára oxigént is termel.

A világon emberek milliói szenvednek el agyi érkatasztrófát, amelynek egyik formája, az agytrombózis során a vérrög elzárja az adott terület vérellátását. A kialakuló oxigénhiány és szén-dioxid-többlet az idegsejtek pusztulásához vezet, és az érintett agyterülethez tartozó funkciók – mozgás, beszéd, beszédértés, emlékezet stb. – akár életre szólóan károsodhatnak.

Jelenleg a vérrög intravénás gyógyszeres feloldásával vagy endoszkópos eltávolításával kezelik az agytrombózist, ám ezek a beavatkozások csak abban az esetben eredményesek, ha egy mindössze 4,5–6 órás időablakban történnek. A kínai kutatók kísérleti rendszerének célja tehát, hogy a fotoszintetizáló szervezet segítségével biztosítsák a sérült terület oxigénellátását, és ezzel megelőzzék további idegsejtek pusztulását.

Lin Wang és munkatársai közleményükben arról számolnak be, hogy a nanofotoszintetikus terápia hatására javultak a sztrókon átesett egerek idegrendszeri funkciói, és bizonyították, hogy az agyban az infarktusos területen új erek is képződtek.

A kutatók szerint az eljárás előbb-utóbb alkalmas lesz emberek kezelésére is, az első klinikai vizsgálatokig azonban még sok a teendő. Egyebek között emberre is optimalizálni kell a rendszert.

Wang, J. – Su, Q. – Lv, Q. et al.: Oxygen-Generating Cyanobacteria Powered by Up-conversion-Nanoparticles-Converted Near-Infrared Light for Ischemic Stroke Treatment. *Nano Letters*, 19 May 2021. DOI: 10.1021/acs.nanolett.1c00719

MEGLEPŐ LÉLEGEZTETÉS

Végbélben keresztül is képesek emlősök oxigént felvenni – állítják japán kutatók (Tokyo Medical and Dental University), és közleményük már a megjelenés pillanatában nagy vitát és indulatokat váltott ki.

Takanori Takebe és munkatársai abból indultak ki, hogy ha bizonyos halak – például harcsák – képesek a bélrendszerükön keresztül „lélegezni”, az emlősök végbéléből pedig bizonyos gyógyszerhatóanyagok fel tudnak szívódni, akkor lehetséges-e, hogy az oxigén emlősöknél is be tud jutni a végbélből a vérbe.

A kérdésre igennel válaszoltak. Oxigénhiányossá tett egereken és sertéseken bizonyították, hogy a végbélből is történhet oxigénfelvétel. Az állatoknak olyan beöntést adtak, amely az oxigént igen jól oldó fluorszénhidrogén folyadékot tartalmazott, és azt tapasztalták, hogy a beöntés javított az oxigénhiányos állapotban. (Hasonló folyadékot használnak koraszülötteknél az éretlen tüdő védelmére.) Az egerek állapota stabilizálódott, míg a sertések vérében az oxigénszint kb. 15 százalékkal nőtt.

A japán kutatók abban bíznak, hogy olyan országokban, ahol kevés lélegeztető berendezés áll rendelkezésre, ez az eljárás segíthet a covidos betegek gyógyításában. Sok szakember megkérdőjelezi ezt. Egyesek például azzal érvelnek, hogy az oxigénnel dúsított folyadék károsíthatja a bélflóra anaerob viszonyok között élő fontos élettani szerepet betöltő baktériumait, és ezzel súlyos betegségeket idézhet elő. Más szakemberek azzal érvelnek, hogy az oxigénpótlásnak ez a módja sosem lesz igazán hatékony, megint mások pedig provokatívnak, egyszersmind ötletesnek és ígéretesnek tartják az eljárást.

Okabe, R. – Chen-Yoshikawa, T. F. – Yoneyama, Y. et al.: Mammalian Enteral Ventilation Ameliorates Respiratory Failure. *Clinical and Translational Resource and Technology Insights*, Published: 14 May 2021. DOI: 10.1016/j.medj.2021.04.004, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666634021001537>

SZÉN-DIOXID + FÉNY = SZÉN??

Fényenergiával gerjesztett felületi plazmonok segítségével új kémiai reakcióutak nyílhatnak, azaz olyan termékek keletkezhetnek, és/vagy a reakciók során olyan szelektivitás érhető el, amelyek a hagyományos kémiai reakciók világában ismeretlenek voltak.

Az utóbbi időben egyebek között a szén-dioxid-gáz plazmonok segítségével történő átalakítását is vizsgálták. A plazmonok fémek vezető elektronjainak fénysugárral történő gerjesztése révén keletkező elektromágneses hullámok. A széndioxid redukciója – a globális klímaváltozás miatt – jelenleg feltehetően a legfontosabb és az egyik legtöbbet kutatott kémiai reakció a Földön.

Kanadai kutatók most nagy tisztaságú szén-dioxid-gáz kémiai reagens nélküli, széné történő redukcióját írták le. A reakciót nanoszerkezetű ezüstfelületen zöld fényel gerjesztett felületi plazmon katalizálta. Az eredménynek rendkívül fontos elméleti és gyakorlati vonatkozásai vannak, hisz felveti az üvegházhatású gáz napenergiával történő redukciójának, egyúttal értékes molekulákká, energia-hordozókká történő alakításának lehetőségét. Az eredmény jelentős lépés a mesterséges fotoszintézis megvalósításának irányába.

Walia, J. – Rashid, S. – Killaire, G. et al.: Reconfigurable Carbon Quantum Emitters from CO₂ Gas Reduced via Surface Plasmons. *Optica*, 2021. 8, 5, 708–709. DOI: 10.1364/OPTICA.424170, <https://www.osapublishing.org/optica/fulltext.cfm?uri=optica-8-5-708&id=451118>

AKIK ROSSZKOR SZÜLETTEK

A bűnözés és a rendőrségi letartóztatási adatok elemzésekor a szociológusok általában demográfiai és gazdaságszociológiai mutatókkal, illetve a morális állapotokkal összefüggő információkkal keresnek összefüggéseket. Modelljeikben a bűnözési előrejelzések is hagyományosan ezeket a mutatókat használják.

Egy hosszú, átfogó és alapos amerikai felmérés most azt a meglepő eredményt hozta, hogy az elmúlt negyed század során – mikor az Egyesült Államokban jelentős szociális átalakulások zajlottak – arra, hogy valaki 17 és 23 éves kora között letartóztatott legyen, legnagyobb hatása annak volt, hogy az illető melyik évtizedben született.

A vizsgálat eredetileg arra irányult, hogy 1057 Chicago környékén született gyermek fejlődését miképp befolyásolja a család, a környezet és az iskola. A felmérésben részt vevőket négy korcsoportba osztották, a legidősebbek 1980-ban, a legfiatalabbak 1995-ben születtek. Kiválasztásuk az akkori amerikai városi lakosságot reprezentáló arányok szerint, véletlenszerűen történt. Több mint harmaduk bevándorló családból származott. 23 éven keresztül követték nyomon a sorukat, részletesen vizsgálták a környezetüket, szomszédságukat is.

2018-ban az összes résztvevő 23 éves koráig keletkezett rendőrségi aktákat összesítették, és megállapították, hogy az egyes korcsoportok között a letartóztatások számában jelentős különbségek vannak. A legidősebb és a legfiatalabb korcsoport között például majdnem kétszeres különbség volt. Mindez nem magyarázható az életmódbeli és a közeli szociális háttérben lévő különbségekkel. A hátrányos helyzetű családokban a '90-es években született gyerekek negyede volt 23 éves koráig legalább egyszer letartóztatva, míg a hasonló családokban a '80-as évek elején született fiataloknál ez az arány 70 százalék volt.

Az eredményeket vizsgálva a kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy a letartóztatások mérlegelésekor nem az volt a döntő, hogy a gyanúsított kicsoda, vagy mit követett el, hanem ugyanilyen fontos vagy esetleg meghatározó volt, hogy mindez mikor történt.

Neil, R. – Sampson, R. J.: The Birth Lottery of History: Arrest over the Life Course of Multiple Cohorts Coming of Age, 1995–2018. *American Journal of Sociology*, March 2021. 126, 5, DOI: 10.1086/714062

VÍZKEZELÉS NAPFÉNNYEL

Az ivóvizek mikroszennyezői világszerte egyre nagyobb problémát jelentenek. Ilyenek például a nehezen lebomló szteroid hormonok, amelyek már kis koncentrációban is egészségkárosodást okozhatnak. A hagyományos szennyvízkezelési eljárások során nem bomlanak le, ezért a természetes vizekben egyre több van belőlük. Ez az egész élővilág számára veszélyt jelent. A szteroidok az ivóvizekbe is bekerülnek.

A Karlsruher Institut für Technologie munkatársai fotokatalitikus eljárást dolgoztak ki a szerves mikroszennyezők eltávolítására. A fotokatalizátor a palládium-porfirin, melyet polimer membránra vittek fel. Ezt látható fénnel besugározva erősen oxidáló hatású ún. szinglet oxigén keletkezik, amely a stabil szerves molekulákat is képes oxidálni. Az oxidációs reakciók ártalmatlan termékeket eredményeznek.

Az egyik vezető katalitikus folyóiratban megjelent tanulmányban a kutatók leírják, hogy kísérleteik során a fotokatalitikus reaktort 60–600 liter víz/négyzetméter membrán/óra terheléssel működtették. A betáplált vízben a nagyobb vízterhelésnél a biológiailag legaktívabb szteroid hormon, az ösztradiol koncentrációja 85 százalékkal, míg a legkisebb áramlási sebességnél 98 százalékkal csökkent.

Lyubimenko, R. – Gutierrez Cardenas, O. I. – Turshatov, A. et al.: Photodegradation of Steroid-hormone Micropollutants in a Flow-through Membrane Reactor Coated with Pd(II)-porphyrin. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2021. 291, 120097. DOI: 10.1016/j.apcatb.2021.120097

Kiegészítés

**A XXVI. PRIMER PREVENCIÓS FÓRUM
(2020. MÁJUS 14.) ELŐADÁSAINAK KIVONATAI**



**AZ IDŐSÖDŐ TÁRSADALOM EGÉSZSÉGÜGYI KÉRDÉSEI
ÉS MEGOLDÁSI LEHETŐSÉGÜK**

**HEALTH ISSUES
AND SOLUTIONS IN AN AGING SOCIETY**

A konferencia fővédnöke:

Prof. Dr. Merkely Béla, a Semmelweis Egyetem rektora

Védnökök:

Dr. Müller Cecilia országos tisztifőorvos, Dr. Pándics Tamás

Szerkesztők:

Tompa Anna, Falus András

A neurotoxicitás és a korai öregedés összefüggései

Tompa Anna

Semmelweis Egyetem Népegészségtani Intézet, Budapest
tompa.anna@med.semmelweis-univ.hu

A neurotoxikus károsodások az idegsejtek által alkotott hálózatok egészére kihatnak az összefonódó kapcsolatrendszer miatt. Az idegrendszer sejtjei között vannak kiemelten érzékeny sejt típusok, mint például a hipokampusz piramissejtjei, a kisagyi Purkinje-sejtek vagy a bazális ganglion dopaminerg sejtjei. A hipokampusz szelektíven érzékeny a trimetilinre már igen alacsony koncentrációban, aminek hatására membránvédő stannin képződik, és az érintett régiót gyulladásozó mikrogliasejtelemek veszik körül. A kisagyban, ami a mozgáskoordináció központja, két fő típusú sejt fordul elő, a GABA-termelő Purkinje-sejt és a glutamátot termelő szemcsés sejt. Mindkét típus igen érzékeny a toxikus hatásokra, bár genézisük különböző. A Purkinje-sejtek már az embrionális életben is jelen vannak, míg a szemcsés sejtek csak a születés után fejlődnek ki. Ezért a granuláris sejtek védekező képessége a külső toxikus ártalmakkal szemben igen gyenge. Ebből a különbségből adódóan, az intrauterin életben ható neurotoxinok elsősorban Purkinje-sejt-károsodást okoznak, míg a születést követő toxinok főleg szemcsés sejteket károsítanak. A közepagyban található a szubsztancia nigra (fekete szemcsés sejt), ami a mozgáskoordinációt befolyásolja, és az agyat látja el dopaminnal. Károsodása esetén alakul ki a Parkinson-kór, amelynek lényege a dopamin hiánya. A Parkinson-kórban szenvedők gondolkodása és tanulási képessége lelassul, koordinációs és tájékozódási zavarok lépnek fel a klasszikus tremor mellett.

Az idegsejtek és a mikrogliasejtek között állandó morfológiai és biokémiai kapcsolat van, és az együttműködés az idegi mechanizmusok szelektivitásának feltétele. Ennek a kapcsolatnak köszönhető a vér-agy gát kialakulása, ugyanis csak a gliasejteken keresztül juthat bármely anyag a központi idegrendszerbe, mert a véreket ezek a sejtek szorosan körülveszik, és csak aktív transzport révén kerülhet be bármi az agy állományába. Amennyiben ez a *barrier* megsérül, az agy védtelenné válik a toxikus hatásokkal szemben. Kismolekulájú anyagok számára a vér-agy gát nem jelent akadályt, ilyen az ammónia vagy a nitrogén-oxid (NO), ami igen fontos reguláló szerepet játszik az agyi kapillárisok vérkeringésének szabályozásában.

A vér ammóniatartalma 7,4 pH mellett maximum 1-2%, ami még nem toxikus az idegsejtekre. Viszont veseelégtelenség esetén a kreatininszint emelkedésével párhuzamosan nő a vér ammóniatartalma, ami könnyen átjut az agy-vér gáton, és az asztrocitákba kerül. Itt glutamattá alakul a glutaminszintézis révén. Rangoo Throne szerint a magas ammóniaszint megemeli az asztrocitán belüli kalcium-

szintet, ami gátolja a nátriumfelvételt az extracelluláris térből, így az a sejten kívül felhalmozódik, és vizet von el a környezetéből. Ennek következtében az asztrocita zsugorodik, ami a kalciumkoncentráció további emelkedéséhez vezet, így a sejt volumene csökken. Ez a helyzet kedvez a klórionok posztszinaptikus beáramlásának a nátrium-kálium-klór co-transzporter (NKCC-1) fehérje aktív közreműködésével. A posztszinaptikus neuronvégződés izgalma miatt GABA szaporodik fel, aminek hatására a klór elhagyja a sejtet, és depolarizáció alakul ki. Ez az alapja a vesekárosodás és a májelégtelenség okozta agyi károsodások kialakulásának. Mindezek a toxikus károsodások fiatalok esetében is korai öregedéshez vezetnek, aminek elkerülése a helyes életmóddal, az alkohol, drog és a dohányzás elkerülésével lehetséges.

Az öregedés epigenetikája

Falus András

Semmelweis Egyetem Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet, Budapest
falus.andras@med.semmelweis-univ.hu

Az elmúlt évtizedben megtudtuk, hogy az öregedést mind az osztódó, mind a nem osztódó sejtekben az epigenetikai információk változásai kísérik. Ezek az epigenetikai változások különböző szinteken fordulnak elő, ideértve a hiszton posztranzlációs módosításainak és a DNS metilációjának megváltozott mintáit és a megváltozott nem kódoló RNS- (például mikro-RNS) expressziót és az autofágia szintjének módosulását az öregedés során. Az egészséges immunválaszban a memória T- és B-sejtek szintjének immungerontológiai változása mögött álló epigenetikai változásokról is új adatokat tudunk meg. Ide tartozik a COVID-ban kimutatott, életkorfüggő citokinvihar jelensége is.

Meglepő módon, bizonyos típusú epigenetikai információk transzgenerációs módon működhetnek, és befolyásolják az utódok élettartamát. Ez a kizárólagos genetikai meghatározottság helyett azt jelenti, hogy élettartamunk epigenetikailag is meghatározott; az étrend és más környezeti hatások az epigenetikai információk megváltoztatásával befolyásolhatják életünk időtartamát. Tekintettel az epigenetikai információk reverzibilis jellegére, ezek a kutatások izgalmas lehetőségekre utalnak az öregedés és az életkorral összefüggő betegségek, terápiás beavatkozásának szempontjából.

Az egészségügy válasza a társadalom öregedésére

Balázs Péter

Semmelweis Egyetem Népegészségtani Intézet, Budapest
balazs-peter@windowslive.com

Az emberi közösségek öregedése a demográfiai ciklusok oldaláról nézve többszörösen összetett folyamat. Miután a társadalom „öregedésének” kérdése kilépett a tudományos keretből, és a napi publicisztikában is állandósult, célszerű tisztázni a jelenség sokoldalúságát. Populációs szinten az öregedés azt jelenti, hogy növekszik az idősebb korosztályok aránya (hazai 65 év feletti: 2001-ben 11,8%, 2011-ben 13,2%, 2019-ben 19,3%). Az átlagéletkor növekedése viszont nettó egyenleg, vagyis az életkor hosszabbodása mellett azt is jelentheti, hogy az adott népességben csökken a fiatalkorúak száma. Ezzel szemben a születéskor várható élettartam növekedése pozitív jelenség. Magyarországon 1900-ban 36,56 év (ffi), illetve 38,15 év (nő) volt, 2018-ban 72,56 év (ffi), illetve 79,19 év (nő). Statikus korfa mellett az öregedés a születéskor várható élettartam növekedéséből adódna, viszont erre telepedett rá negatív hatásként a születések számának drasztikus csökkenése. A biológiailag lehetséges életkor emelkedése másfelől a fejlettebb országokban tömegessé tette a krónikus és degeneratív, mentális és szomatikus betegségek prevalenciáját, ráadásul a gondokat a meg nem született gyermekek és unokák hiánya miatt az öregkori magány is fokozza. Mindez felvette az egészségben megélhető életévek számításának igényét is. Összességében az öregedő társadalmakban a szociális gondozást és az orvosi ellátást is jelentős párhuzamos terhelés éri. Történelmi tény, hogy a középkori és a korai újkori kórháznak nevezett intézmények elsősorban szociális feladatokat teljesítettek, és elsősorban a nagycsaládok látták el az idősebb családtagok gondozását. A 19–20. század orvoslásának tudományos forradalma a hospitalizáció jellegét is döntően átalakította. Magyarországon 1945 után a szélsőbaloldali politika külön többletterhet generált, amennyiben a hagyományos családi közösségeket és a szociális egyházi intézményeket is szétzúzta. Mindez az előző századból örökölt kórházi rendszerünket egyre növekvő nyomás alá helyezte. Az egészségügy az ezredforduló után hatalmas kihívással néz szembe, ugyanis az öregedés miatt a szociális és az egészségügyi ellátó hálózat közötti egyre szélesedő mezőben kell helytállnia. A klasszikus paradoxon ma is érvényes, miszerint a szociálisan rászorulóknak előbb-utóbb betegek lesznek, a betegek pedig előbb-utóbb szociálisan rászorulókká válnak. A helyzet megoldása tehát sürgető, de az egészségpolitikának az érdemi változások eléréséhez rövid távon is súlyos társadalmi konfliktusokat kell vállalnia. Ehhez nagyon erős társadalmi felhatalmazásra és nemzeti egyetértési minimumra volna szükség.

Csoda 5 perc alatt – Orvostanhallgatók idős emberek demenciájához kapcsolódó attitűdjeinek megváltoztatása virtuális valóság segítségével

Kollár János

Semmelweis Egyetem Magatartástudományi Intézet, Budapest
kollar.janos@med.semmelweis-univ.hu

A vizsgálat célja orvostanhallgatók idős emberek demenciájához kapcsolódó attitűdjeinek pozitív irányba történő megváltoztatása, valamint az időskori demencia jelentőségére, megelőzésére történő figyelem felhívása volt. Magyar ($n = 20$) és külföldi ($n = 20$) orvostanhallgatók vettek részt egy személyenkénti ötperces kísérletben, amely során virtuálisvalóság-technika segítségével, két életszerű helyzetben átélhették, milyen egy idős, demenciában szenvedő ember világlátása, környezetével, hozzátartozóival való kapcsolata. A kísérlet előtt és után egy-egy kérdőívet töltöttek ki, melyen Likert-skála segítségével pontozták a különböző dimenziókhoz tartozó, a demenciával kapcsolatos attitűdjeiket, és emellett szöveges visszajelzést is adhattak. A kvantitatív értékeléshez Wilcoxon-féle előjeles rangpróbát használtunk.

Az eredmények szerint a magyar és külföldi hallgatók attitűdjei a legtöbb esetben szignifikánsan pozitívan változtak az alábbi dimenziókban: az időskori demencia kutatásának jelentősége ($Z = 18$, $p < 0,078$ és $Z = 7,5$, $p < 0,187$ egyenként), az idős, deméntált emberek élete nehézségének megítélése ($Z = 20$, $p < 0,0078$ és $Z = 27,5$, $p < 0,002$ egyenként), az idős, deméntált emberekkel kapcsolatos empátiájuk mértéke ($Z = 32$, $p < 0,00112$ és $Z = 55,5$, $p < 0,0005$ egyenként), az idős, deméntált emberek gondolkodásának megértésére vonatkozó képességük ($Z = 79$, $p < 0,0001$ és $Z = 59$, $p < 0,026$ egyenként), valamint annak valószínűsége, hogy saját, időskori demenciájuk megelőzése érdekében lépéseket fognak tenni ($Z = 27,5$, $p < 0,002$ és $Z = 27,5$, $p < 0,002$ egyenként).

Az idősödő munkavállalók aktív életkorának meghosszabbítása

Felszeghi Sára

Miskolci Egyetem, Budapest
sarafelszeghi@gmail.com

Az idősödő munkavállalók kérdésköre közös feladat és kihívás az Európai Unióban. Olyan megoldandó feladatokat jelent, mint a nyugdíjak értékállósága, az egészségügyi ellátás színvonalának megtartása, a tartós ápolásra szorulóknak ellátása, valamint a szociális ellátórendszer fenntarthatósága.

Az idősödő munkavállalókkal kapcsolatos EU-politikában számos dokumentum született. Ilyen az Amszterdami Szerződés (1997), amely az idősökkel szembeni diszkrimináció megszüntetését fogalmazza meg, tekintettel arra, hogy a koralapú (71%) diszkrimináció a vezető diszkriminációk közé tartozik, jóval megelőzve például az etnikait (62%). Az ENSZ Idősebb Személyek Nemzetközi Évéhez kapcsolódva született meg a Towards a Europe for All Ages (Európa minden korosztály számára) 1999-ben. Ez tizenhárom dokumentumban az idősödő társadalom következményeinek kezelésére vonatkozó stratégiát tartalmazza az új évezredre.

Négy területen fogalmazott meg fejlődési mutatókat. Az egyik terület például a munkavállalók képességeinek megtartását célozza meg, amelyet az élethosszig tartó tanulás révén és a rugalmas munkakörülmények elősegítésében lát megvalósíthatónak. A korai nyugdíjba vonulás trendjének megfordítását a fokozatos nyugdíjba vonulás lehetőségeinek megvizsgálásában és a nyugdíjrendszerek fenntarthatóvá és rugalmassá tétele révén gondolja elérhetőnek. Ezek megvalósítása, a nemzeti sajátosságok betartása mellett, az egyes országok jogrendszerében került megfogalmazásra. A témát, a „Sérülékeny csoportok – gyermekek, fiatalok, nők, terhes nők, idősek, külföldi vendégmunkások – foglalkoztatása”, a 33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről, az Idősödő munkavállaló foglalkoztatása alcím alatt a 10/B. § paragrafus (1) és (2) bekezdésében, valamint a rendelet 8. számú mellékletében szabályozza.

A kutatók között nincs egyetértés abban, mi számít biológiai szempontból az öregkor határának, vagy abban milyen életkortól minősül a munkavállaló idősödőnek.

Az OECD definíciója alapján a munkavállaló akkor számít idősödőnek, ha belepert a munkában töltött életének második felébe, de még nem érte el a nyugdíjkorhatárt. Az európai statisztikák idősödőnek a 45–54 éveseket tekintik.

Az emberi öregedést leginkább a szervrendszerek homeosztatisz tartálékának folyamatos beszűkülése jellemzi. Ez a csökkenés a harmadik évtizedben kezdődik, majd fokozatosan és lineárisan, de egyénenként változó módon folytatódik.

Az öregedési elméletek különböző irányból közelítik meg ezt a folyamatot (szabad gyökök elmélete, teloméra elmélet, neuroendokrin elmélet), egyben azonban közösek: az öregedés folyamatát le lehet lassítani, azaz az időskorra fel lehet és fel is kell készülni! Az egészségdeterminánsok közül a genetika 15–30%-ban, az életmód 55–75%-ban határozza meg az egészséget. A megelőző orvoslásban áttörést jelentett az epigenetikai öröklődés. A Karolinska Intézet (Stockholm) kutatói arra a következtetésre jutottak, hogy a stresszoldás megváltoztatja a gének működését, valamint a mozgás DNS-demetilációt eredményez. Ennek ismeretében, egyértelmű, hogy az egészségkárosító rizikófaktorok csökkentése minden területre (környezet, tevékenység, egyéni sajátosságok) ki kell hogy terjedjen. Az életünk legnagyobb idejét (az alvást kivéve) a munkahelyen töltjük, így a foglalkozás-egészségügyi szakorvosnak jelentős szerepe van a munkavállalók aktív életkorának meghosszabbításában. A rizikótényezők felmérése (kockázatelemzés) a munkakörnyezetre (térkövetelmények, megvilágítás, zaj stb.), a munkavégzésre (túlzott fizikai megterhelés, túlnyomásban végzett munka, fokozott pszichés megterhelés stb.), valamint az egyénre (alkat, életkor, morbiditás stb.) egyaránt ki kell terjedjen. A munkaköri alkalmassági vizsgálatok során a munkavállalót erő megterhelések függvényében vizsgálja az egyén szervezetének igénybevételét, különös tekintettel az életkori sajátosságokra. Az egyének a kor előrehaladtával egyre különbözőbbek lesznek egymástól, így nem helyes a korosodás sztereotípiájáról beszélni (fontos az egyénre szabott kockázatelemzés!). A képességek, lehetőségek és a korlátok ismeretében helyesebb, ha a „kronológiai kor” helyett a „funkcionális kor” vesszük figyelembe. A munkaképességi index segítségével megítélhető, milyen mértékben tudja a dolgozó ellátni munkakörét.

Az értéktartományok kijelölik a foglalkozás-egészségügyi teendőket és a végrehajtandó munkahelyi egészségfejlesztési programokat is. Ez utóbbi kiváló eszköz a foglalkozás-egészségügyi szakorvos kezében az aktív életkor meghosszabbításához. A komplex programnak figyelembe kell venni az egyén morbiditási mutatóit, az életkor sajátosságait, illetve az egyéb rizikófaktorokat.

A rizikófaktorok csökkentése/megszüntetése felöleli az addiktológiai programokat (dohányzásról való leszoktatás, alkoholabúzus elleni program stb.). A káros szokások elhagyásából származó előny még a 65 év feletti korban is számottevő, továbbá a stresszoldó/stresszkezelő tréningeket (megelőzi a pszichoszomatikus betegségek kialakulását, megváltoztatja a gének működését stb.).

A jóga, meditáció hatásos stresszoldók. A fizikai aktivitásnak, az ízületek mozgástartományát megőrző és helyreállító gyakorlatokat, izomerősítő gyakorlatokat, mozgáskoordinációs gyakorlatokat, általános erőnlétet javító gyakorlatokat kell tartalmaznia. A fizikai aktivitás a fizikai állapotjavításon túl, a kognitív képességeket, a DNS demetilációs folyamatot, valamint a kalcium csontokba való beépülését is pozitívan befolyásolja. A Barabási Albert László által megalkotott „inaktivitás disease”-ra (betegség-hálózat) jellemző a szervezet alacsony szín-

tű, de állandó gyulladáshoz vezető aktivitása, mely gyorsítja az öregedést (teloméra rövidülés). A mozgás tehát, az egyik alapvető tényező az öregedés megelőzésében, amelynek bármilyen formája választható, legalább heti három-négy alkalommal, 30 perc időtartamban. A helyes táplálkozás zöldségeket, gyümölcsöt, halat, rost-dús ételeket tartalmaz, a túlságosan magas zsírtartalmú marha-, disznó- és birka-hús mértéktelen fogyasztása azonban káros. A regeneráció ölelje fel az alvás-ébredéssel megfelelő ritmusát (hét-nyolc órát aludni naponta), a rugalmas munkaidőt, a hosszabb szabadságokat stb.

Az élettani tartalékok csökkenése az idős személyt sokkal sérülékenyebbé teszi bármilyen további kóros környezeti vagy farmakológiai behatással szemben. A munkáltatónak felelőssége és kötelessége megteremteni azokat a munkafeltételeket, amelyek mellett az idősödő munkavállalót a legkisebb megterhelés éri, ezek az ún. „idősbarát munkahelyek”. Nagy előnyük, hogy rövid idő szükséges a beilleszkedéshez, a termelékenység nő, a csökkent megterhelés kevesebb megbetegedést eredményez (a munkából kiesett napok száma alacsonyabb lesz), ezen túl lehetőséget is jelent a szakmai fejlődéshez, ezzel is plusz motivációt biztosítva a munkavállalónak. Így az „idősbarát munkahely” a munkáltató részéről nem karitatív tevékenység, hanem jól megtérülő befektetés!

A kutatások és a munkáltatói esettanulmányok azt mutatják, hogy a legtöbb idősebb munkavállaló pont olyan hatékony, mint a fiatalabb társai (legalább hetvenéves korig), ugyanolyan sikeres a képzéseken, ritkábban van rövid idejű betegállományban, lassabb munkáját kiegyenlíti a többéves tapasztalaton alapuló döntésekkel.

A foglalkozás-egészségügynek jelentős szerepe van az aktív életkor meghosszabbításában, mely bár a munkavállalóra irányul, egyaránt profitál belőle a munkáltató és a társadalom is.

„Életerőnket nem őrizhetjük meg tiszta levegő, tiszta víz, egészséges táplálék és tiszta gondolatok nélkül” (Gandhi).

Idős korral járó szembetegségek epidemiológiája

Nagy Zoltán Zsolt

Semmelweis Egyetem Szemészeti Klinika, Budapest
nagy.zoltan_zsolt@med.semmelweis-univ.hu

A szembetegségek gyakorisága az életkor előrehaladtával növekszik. A leggyakoribb korfüggő szemészeti betegség a szürkehályog, ezt követően az időskori makuladegeneráció (Age-related Macular Degeneration, AMD), a zöldhályog (glaukóma), a diabéteszes retinopátia (DR) és a degeneratív myopia okozzák a legtöbb problémát. Világszerte közel 290 millió ember él jelentős látásproblémával, ezek közül közel 40 millió ember vak, akiknek 80%-a ötvenévesnél idősebb.

A hályogműtétek száma globálisan körülbelül 34 millió évente, Magyarországon az éves műtétszám 85 000 körül mozog. Előfordulási gyakoriságban az AMD követi a szürkehályog esetek számát. Az ötven év feletti korosztály érintett leginkább a makuladegeneráció szempontjából, amelynek két formáját különítjük el: a száraz (nem neovaszkuláris) és a nedves (neovaszkuláris vagy exsudatív) formák. A száraz típusú makuladegeneráció a gyakoribb, az esetek közel 80–85%-áért ez a felelős, a nedves típus 10–15%-ban alakul ki. Fontos rizikótényezőnek számít az életkor, a genetikai predispozíció, az etnikai hovatartozás (európaiakban gyakoribb), a dohányzás, a magas vérnyomás, az elhízás, a magas napsütéses órák száma. A nemrégiben bevezetett anti-VEGF-kezelés a nedves típusú makuladegenerációban jelentősen javította az érintett betegek látásának megőrzését.

A glaukóma a negyvenévesnél idősebb korosztály közel 2%-át érinti. A Földön közel 73 millió ember glaukómás, ezek 20%-a mindkét szemére megvakul. Alattomos betegség, mert későn okoz tüneteket, a kialakult látótérkiesés visszafordíthatatlan.

Az I-es típusú diabéteszben tízéves időtartam után a diabéteszes retinopátia előfordulási gyakorisága 60–80%-os. A proliferatív retinopátia tizenöt évnyi betegség után közel 25%-os gyakoriságú. A II-es típusnál az érintettség kedvezőbb, a proliferatív tünetek is általában később lépnek fel, természetesen a vércukorérték rendezésétől nagyon függenek. A cukorbetegség körében 20–25-ször több a vak, mint a normál populációban. A súlyos esetek számát 5% alá tudjuk csökkenteni az időben elkezdett szűréssel és az időben elvégzett szemfenéki lézerkezeléssel, valamint vitrektómiával.

A degeneratív myopia előfordulási gyakorisága alacsony, minden korosztályt érint, idősebb életkorban a degeneráció eléri a makuláját, és igen jelentős látásromlást tud okozni, a centrális látás (olvasóképesség) elvesztése igen gyakori következmény.

A daganatok célzott terápiáját befolyásoló életkori sajátosságok

Peták István

Semmelweis Egyetem, Budapest
istvan.petak.dr@gmail.com

2020-ban a daganatbiológiai kutatások eljutottak oda, hogy teljes genomszekvenálással a daganatok 95%-áról megállapítható milyen „driver” génhiba felelős a daganat kialakulásáért az adott betegben. A célzott és immunterápiák száma meghaladta a 130-at. A kemoterápiás kezeléseket esetében a szakma szabálya az, hogy a rossz állapotú (ECOG 3–4) beteget nem szabad aktívan kezelni. Azonban fontos megfigyelés, hogy a célzott kezeléseket esetében a hatás hamarabb következik be, mint a mellékhatás ezért rossz állapotú betegek esetében is sikerrel alkalmazhatók. Ez különösen fontos az idősek daganatos betegségeinek kezelése esetében. A célzott terápiák gyógyszereinek nagy része otthon is szedhető, a mellékhatások kezelése ritkábban igényel hospitalizációt. Ez most, a Covid19 idejében különösen fontos, amikor minimalizálni kell az idősek kórházi látogatását. A célzott terápiák mellett lehetőség van az immuncheckpoint inhibitorok használatára. Ebben különös lehetőség, hogy az USA Élelmiszerbiztonsági és Gyógyszerészeti Hivatala (FDA) daganattípustól függetlenül törzskönyvezte a PD-1-gátló pembrolizumabot azokban a daganatokban, ahol a „Tumor Mutation Burden”, azaz a mutációterhelés magas vagy a mikroszatellita instabil. Minden idős, daganatos beteg számára, akinél a kemoterápia kontraindikált, ez egy lehetőség. A célzott és immunterápiák jó életminőséget tesznek lehetővé az idős, daganatos betegek ellátása során, ezért ebben a betegpopulációban is különösen fontos ezeknek a terápiás lehetőségeknek a kihasználása.

Geroprotekció: mit mond a modern öregedéstudomány az egészséges öregedés lehetőségeiről?

Somogyvári Milán, Sóti Csaba

Semmelweis Egyetem Orvosi Vegytani, Molekuláris Biológiai és Patobiokémiai Intézet, Budapest
somogyvari.milan@med.semmelweis-univ.hu, soti.csaba@med.semmelweis-univ.hu

Az orvostudomány évszázados fejlődésének köszönhetően korunkban hosszabb ideig élhetünk, mint eddig bármikor: a születéskor várható élettartam megduplázódott a 20. század elejéhez képest. Ennek nyilvánvaló áldásos következményei mellett sajnálatos kísérőjelensége, hogy az emiatt idősödő társadalomban a vezető halálokok között egyre nagyobb arányban fordulnak elő olyan kórok, amelyek esélye a korrall növekszik, vagyis öregedéshez kapcsolható betegségeknek nevezhetők. Ezekre tekinthetünk úgy is, mint az öregedésnek hívott rendszerbetegség tüneteire. Ilyenek a szív- és érrendszeri kórok, a daganatos és neurodegeneratív megbetegedések, vagy akár a kettes típusú cukorbetegség.

Az öregedés általános jelenség az élővilágban, amelynek jellemzői egyformán megfigyelhetők egymástól rendszertanilag távoli élőlényeken, s a mögöttes molekuláris mechanizmusok is meglehetősen megtartottnak (filogenetikailag konzervatívnak) bizonyultak az evolúció során. Munkánk során mi elsősorban a *Caenorhabditis elegans* fonálférgen mint modellállaton keresztül próbálunk betekintést nyerni ezekbe az életfolyamatokba, és eddigi eredményeink révén sikerült is bővítenünk ez irányú ismereteinket. Ez a modellrendszer rövid élettartama és generációs ideje miatt különösen alkalmas ilyen irányú vizsgálatokra. Csupán az utóbbi évtizedekben világszerte számos olyan gént, illetve jelátviteli útvonalat azonosítottak, melyek szerepet játszanak nem csupán az élettartam, de a betegségekkel és különféle stresszekkel szembeni ellenállás képességének szabályozásában, s melyek egyaránt megtalálhatóak nem csupán a *C. elegans*hoz hasonló modellrendszerekben, hanem az ember sejtjeiben is. Mindez rávilágított arra, hogy az öregedés nem csupán a károsodások véletlenszerű felhalmozódásának eredménye, hanem szabályozott, és ami talán még fontosabb, befolyásolható folyamat. Megerősítik ezt azok az általánosan megfigyelhető élettani jelenségek és életmódbeli sajátosságok, melyek a természetben és bizonyos emberi közösségekben is együtt járnak a hosszú és egészséges élettel.

Magának az öregedés folyamatának a vizsgálata hozzásegít bennünket ahhoz, hogy megértsük az öregedéshez kapcsolt kórokra való hajlamosság változását. Ez alapján nem csupán célzott beavatkozásokkal, de életmódbeli változtatások révén is hozzátehetünk a minél hosszabb ideig egészségben töltött évek számához.

Tapasztalatok az ápolóhallgatók körében alkalmazott öregségi szimulátoros oktatással kapcsolatban

Rajki Veronika

Semmelweis Egyetem Egészségtudományi Kar Ápolástan Tanszék, Budapest

rajki.veronika@se-etk.hu

Az egészségügyi szakemberek képzésében ma már nem annyira újdonság az egyes szimulátorok, illetve a szimulációalapú oktatás mint eszköz és módszer alkalmazása. Ennek ellenére még mindig ritkának mondható lehetőség. Öregségi szimulátorokat 2017 tavasza óta használunk a Semmelweis Egyetem Egészségtudományi Karán. Az éppen aktuális teljes idejű képzésben tanuló harmadéves magyar és külföldi ápolóhallgatók számára a Geriátria tantárgy keretein belül adott a lehetőség ezen eszközök kipróbálására. Az élménypedagógia/tapasztalati tanulás módszerével élve ezen eszközök segítségével a fiatal hallgatóink közvetlenül tapasztalhatják meg és élhetik át, hogy hozzávetőlegesen milyen lesz majd idős emberként járni, mozogni, leülni, lépcsőzni, tapintani, látni vagy éppen hallani. Számukra ez a tevékenységközpontú tapasztalati tanulás az élményszerzés mellett hasznos is, hiszen az öregedés folyamatával kapcsolatos ismereteik elmélyítése, rendszerezése is könnyebben megvalósul általa. Végül, de nem utolsósorban, az idősek iránti empátiájuk is fejleszthetővé válik. Ugyanis az ápolói empátia az idősekkel szemben mindig is nagy jelentőséggel bírt, de különösen fontos az idősebb társadalmakban. Jelen előadás ezt a módszert, az eszközöket és az öregségi szimulátorainkkal kapcsolatos tapasztalatainkat igyekszik bemutatni.

Az időskori mentális és fizikai leépülést késleltető megoldások (jó gyakorlatok)

Szemán Zsuzsanna

Semmelweis Egyetem Mentálhigiéné Intézet, Budapest
szeman.zsuzsanna@public.semmelweis-univ.hu

A prezentáció az épített környezetnek és az internetnek az idős ember fizikai és mentális jóllétének megőrzésében játszott szerepét mutatja egy nyomonkövetéses intervenció kutatás, valós élethelyzetek és jó példák elemzésével. Rávilágít, hogy a megfelelő lakókörnyezet kialakítása miként ellensúlyozhatja a funkcióvesztések következtében fellépő problémákat, hogyan segíti az önállóság megőrzését.

Az internetes tudás, az internet nyújtotta lehetőségek ismeretének hiánya ma már társadalmi kirekesztődéshez vezet. Egy nyomonkövetéses kutatás ugyanakkor bebizonyította, hogy a Skype, az internet használatának a megtanulása még a beteg, gondozásra szoruló, számítógépet nem ismerő idősök esetében is pozitív hatású: oldotta a magányt, új célokat jelentett, és jótékonyan hatott az idősök személyiségére, megmaradt és bővült interperszonális kapcsolati rendszerük. A tanulási folyamatban a tanítói szerepet betöltő nagyon fiatal, 14–16 éves generációnak kiemelt szerepe volt, a tudásátadás folyamata erősítette a generációk közti kapcsolatokat.

B E T E K I N T É S

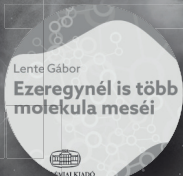
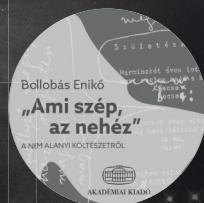
Sorozatszerkesztő: Pomázi Gyöngyi

A sorozat betekintést nyújt különböző tudományágakba, szakterületekbe röviden, tömören, élvezetesen.

Az olvasó megtudja, mivel foglalkozik az adott tudomány vagy terület, és mi a célja, „haszna”.

A szerzők a téma szakértői, akik szeretik a tárgyukat, elkötelezettek, nagy tudással rendelkeznek. A művek célja a megismertetés, a tudás átadása, olykor bizonyos tévképzetek eloszlatása megbízható szakemberek kalauzolásában.

A *Betekintés* többféle szakterületet dolgoz fel abban a reményben, hogy a megismerés, a különböző területekbe való bepillantás gazdagítja a gondolkodásunkat.



Féléves előfizetési díj:
6990 Ft

Digitális kiadás: <https://mersz.hu/betekintes/>



AKADÉMIAI KIADÓ

www.akademiai.hu

A következő szám tartalmából

- STEAM (Science–Technology–Engineering–Art–Mathematics), Művészet/Tudomány határterületek az alkotásban
- Átadható („fertőző”) daganatok az állatvilágban és az emberben
- Járvány, betegség és ahhoz való viszony a 17. század végi egodokumentumokban
- Bolyongás a matematikában és határán (Interjú Lovász Lászlóval Abel-díja kapcsán)

2

0

2

1

Útmutató a cikkek megírásához:

www.magartudomany.hu/utmutato

A folyóiratra vonatkozó, szerzőknek szóló közlési elvek a fenti hivatkozásra kattintva találhatóak.



AKADÉMIAI KIADÓ

Tartalom

■ TEMATIKUS ÖSSZEÁLLÍTÁS: A PAKS II. ATOMERŐMŰ TELEPHELYVIZSGÁLATÁNAK TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

VENDEGSZERKESZTŐK: Aszódi Attila, Ádám József

Aszódi Attila, Ádám József: **Bevezető**

Aszódi Attila, Babcsányi Boglárka: **A telephelyvizsgálat a nukleáris biztonság szolgálatában**

Horváth Ferenc, Tóth Tamás, Koroknai Balázs, Wórum Géza, Földvári Koppány: **A telephely környezetének geofizikai és tektonikai jellemzése**

Tóth László, Győri Erzsébet, Mónus Péter, Gribovszki Katalin, Kiszely Márta, Trosits Dalma, Grenerczy Gyula:

A paksi telephely szeizmicitása és földrengés-veszélyeztetettsége

Mező Gyula: **Hidrogeológiai kutatások a Paks II. atomerőmű telephelyvizsgálati programjában**

Katona Tamás János: **Kihívások és válaszok: a külső veszélyek kezelése a korszerű nukleáris tervezési gyakorlatban**

■ TANULMÁNY

Benczúr András: **Az információ hordozóiról – az információ új nézőpontból.**

II. Információ, kiszámítás és informatika

■ VÉLEMÉNY, VITA

Csihák György: **Quo vadis magyar nemzetnevelés? Amikor hiánycikk a magyar nemzetnevelés**

Honti László: **Válasz Csihák György írására**

■ KÖSZÖNTŐ

Szelényi Iván: **Párbeszédeink Zsuzsával. A 90 éves Ferge Zsuzsa köszöntése**

■ KI A TUDÓS?

Izsák János: **Kutató vs. tudós**

Hozzászólás Péter László a *Magyar Tudomány* 2020. októberi számában megjelent

Természettudósnak lenni vagy nem lenni című cikkéhez

■ KÖNYVSZEMLE

SIPOS JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

Vékás Lajos: **Fejezetek a magyar magánjogtudomány történetéből – Hamza Gábor**

Árnyékoltatás – Laki Mihály

■ KITEKINTÉS

GIMES JÚLIA GONDOZÁSÁBAN

■ KIEGÉSZÍTÉS

A XXVI. Primer Prevenációs Fórum (2020. május 14.) előadásainak kivonatai

Ára: 980 Ft



2

0

2

1