

A Ferences Kutató Tanárok Tudományos Körének folyóirata

ACTA PINTÉRIANA

2



2016

Acta Pintériana

A Ferences Kutató Tanárok Tudományos Körének Folyóirata

2. szám

2016

acta-pinteriana.hu

ISSN 2416-2124

Az Acta Pintériana a Ferences Kutató Tanárok Tudományos Körének folyóirata. Ez a szervezet a Magyarok Nagyasszonya Ferences Rendtartomány fenntartásában működő intézmények tudományos kutató szakembereit fogja össze és a Ferences Alapítvány égisze alatt működik. Lapunk Pintér Ernő ferences atyáról (1942-2002), a szentendrei Ferences Gimnázium hajdani tanáráról, a nemzetközi hírű malakológus kutatóról kapta a nevét. A folyóirat elsődleges célja, hogy bemutassa a tudományos kör tagjainak új kutatási eredményeit a szakmai közönség számára. Ezen felül szívesen közöljük minden olyan szerző cikkét, aki valamilyen módon (személyében vagy kutatási témájában) a ferencességhez, vagy a ferences intézményekhez kapcsolódik.

Az Acta Pintériana elektronikus formában, évente egyszer jelenik meg. A lapban közölt írások a folyóirat weblapjáról szabadon letölthetők, tartalmuk a cikkek 1. oldalán található hivatkozási formával idézhető.

Kiadó: Ferences Alapítvány, 1024 Budapest, Margit körút 23.

Szerkesztőség: 2000 Szentendre, Áprily Lajos tér 2.
tel.: +36-26-311-195, e-mail: acta.pinteriana@gmail.com

Főszerkesztő: Soós Sándorné Dr. Veres Rózsa

Szerkesztő: Dr. Mészáros Lukács

A szerkesztőbizottság tagjai: Bagyinszki Ágoston, Dr. Barsi Balázs, Dr. Borbély Venczel, Dr. Dobszay Benedek, Békefiné Dr. Lengyel Zsófia, Dr. Harsányi Ottó, Joóné Dr. Fónagy Anna, Dr. Marek Viktor, Dr. Várnai Jakab

A 2. szám lektorai: Békefiné Dr. Lengyel Zsófia, Dr. Harsányi Ottó, Dr. Papp Sándor, Dr. Sánta Imre

Acta Pintériana

A Ferences Kutató Tanárok Tudományos Körének Folyóirata

2. szám

2016

- Klór-acetanilid típusú herbicidek adszorpciójának vizsgálata talajokon és talajalkotókon.**
Adsorption of chloroacetanilide type herbicides on soils and soil components.
Békefiné Lengyel Zsófia & Földényi Rita 5
- Deformáció és feszültségeloszlás mérésének új lehetőségei az iparban hordozható digitál-holografikus mérőkamerával.**
New measurement possibilities of deformation and stress distributions by portable digital-holographic gauge camera.
Borbély Venczel, Kiss Tamás Rafael, Szigethy András & Gyimesi Ferenc 23
- Biogenezis: Az élő és élettelen közötti határsáv problémája.**
Biogenesis: On the Borderland Between Living and Nonliving States of Matter.
Bagyinszki Péter Ágoston OFM & Mészáros Lukács 39
- A klasszikus „Két könyv”-metafora eszmetörténetéhez.**
The Two Books prior to the Scientific Revolution.
Giuseppe Tanzella-Nitti
Fordította: Nemes Krisztina; lektorálta és sajtó alá rendezte: Bagyinszki Péter Ágoston OFM 55

Klór-acetanilid típusú herbicidek adszorpciójának vizsgálata talajokon és talajalkotókon

Békefiné Lengyel Zsófia^a & Földényi Rita^b

^a Ferences Gimnázium, 2000 Szentendre, Áprily L. tér 2.
Temesvári Pelbárt Ferences Gimnázium, 2500 Esztergom, Bottyán J. u. 10.
bekefine.zsofi@gmail.com

^b Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Intézeti Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.
foldenyi@almos.uni-pannon.hu

Békefiné Lengyel Zs. & Földényi R. (2016): Klór-acetanilid típusú herbicidek adszorpciójának vizsgálata talajokon és talajalkotókon. Adsorption of chloroacetanilide type herbicides on soils and soil components. Acta Pintériana, 2, 5-22.

A mezőgazdaság nagyfokú kemizálása okozta környezetvédelmi problémákkal folyamatosan számolnunk kell, ezért a kijuttatott szerek környezeti sorsát fontos ismernünk. Az általunk vizsgált két klór-acetanilid típusú talajherbicidet hazánkban korábban igen széles körben használták, ezért elsősorban felszín alatti, de felszíni vizeinkben is kimutathatóvá váltak. A talajban bekövetkező adszorpciónak alapvető szerepe van a szerek mobilitásában. Ez indokolta vizsgálatainkat, amelyek során a hatóanyagok adszorpcióját tanulmányoztuk jellegzetes magyarországi talajokon (csernozjomon, barna erdőtalajon és homoktalajon). A sztatikus egyensúlyi kísérletek során különböző közegeket alkalmaztunk (víz, 0,1 mol/l NaNO₃ és 0,1 mol/l pH=7,0 foszfátpuffer), amelyek közül vizsgálatainkhoz a foszfát-puffert választottuk, mivel az ekkor alkalmazható folyadékkromatográfiai elválasztás UV detektorral (HPLC-UV) rendkívül jól reprodukálható eredményt adott. A talajok humuszmentesített változatain és az egyik legjellegzetesebb talajalkotón, a kvarcon is megtörtént az adszorpció vizsgálat, amely rávilágított, hogy a talajok ásványos részén levő humuszanyag-fedések az adszorpció szempontjából aktív helyeket takarnak be.

A mérési eredmények általában kétlépcsős adszorpciós izotermát eredményeztek, amelyekre az eddig ismert egyenletek nem illeszthetők. Ezekre az izotermákra egy új egyenlet érvényes, amely figyelembe veszi az adszorptívum molekuláiból keletkező asszociátumok kialakulásának lehetőségét is.

A bomlásvizsgálat eredményei rámutatnak arra, hogy mindkét anyag hosszú ideig megmarad a talajban anélkül, hogy elbomlana.

Bevezetés

A mezőgazdasági vegyszerek túlzott használata a környezetben sajnos több esetben is káros következményekhez vezetett. Ide sorolható, amikor a Pó folyó vízgyűjtő területéről nagy mennyiségben bemosódott műtrágya az Adriai tengerbe jutva a sárga algák elszaporodásához vezetett. A növényvédőszer (peszticidek) közül a biológiailag rendkívül nehezen lebontható, rákkeltő hatású DDT vált a leghírhedtebbé. Alkalmazását Magyarországon tiltották be először, amelyet azóta számtalan hatóanyag követett. Bár el kell ismerni veszélyességüket, peszticidek nélkül a

mezőgazdaság nagyon sok kárt szenvedne. A legcélszerűbb megoldás az lenne, ha adott szert adott talajon természetett növények védelmére használnának megfelelő biológiai, kémiai és talajtani vizsgálatokat követően.

Az itt bemutatásra kerülő munka két – korábban Magyarországon is gyártott és nagy mennyiségben kijuttatott – klór-acetanilid típusú gyomirtószer hatóanyag környezeti kémiai vizsgálatát tűzte ki célul. Az acetoklór és propizoklór talajherbicidek, ezáltal a talajt és a felszín alatti vizeket fokozottan szennyezhetik. A korábban gyártott és felhasznált szerek nyomai akár évekig változatlanul maradhatnak, bomlástermékeik pedig még hosszabb ideig jelen lehetnek a talajban és a természetes vizekben. A fentiek alapján kijelenthető, hogy talajon bekövetkező megkötődésük tanulmányozása fontos, hiszen gyenge adszorpció miatt illetve eső- és öntözővíz hatására kimosódhatnak, ezért veszélyeztethetik a talajt, majd a talajvizet. Figyelembe kell vennünk azt is, hogy a hatóanyagok erőteljes adszorpciója az egyes talajokon erózió révén felszíni vizeink szennyezéséhez vezet.

Szakirodalmi áttekintés

Talaj, humuszanyagok, talajkolloidok

A talaj sokkomponensű, háromfázisú, polidiszperz rendszer. Szilárd fázisa ásványi és szerves anyagokból áll, folyadék fázisa a talajoldat, gázfázisa a talajlevegő. Polidiszperzitására jellemző, hogy a durva homokszemcséktől a kolloid szemcsetartományig a legkülönbözőbb méretű szilárd szemcsék megtalálhatók benne. A talaj alkotórészeinek általában több, mint 95%-a ásványi anyag. Ennek összetétele rendkívül változatos, fizikai és kémiai tulajdonságai igen különbözőek, így a talajok víz- és tápanyag-gazdálkodását, fizikai és kémiai viselkedését nagymértékben befolyásolják (STEFANOVITS et al. 1999). A szilikátok a talajalkotó ásványok igen változatos csoportját képezik. Főleg rétegszilikátok, amelyek közül a talajokban az agyagásványok fordulnak elő jelentős mennyiségben.

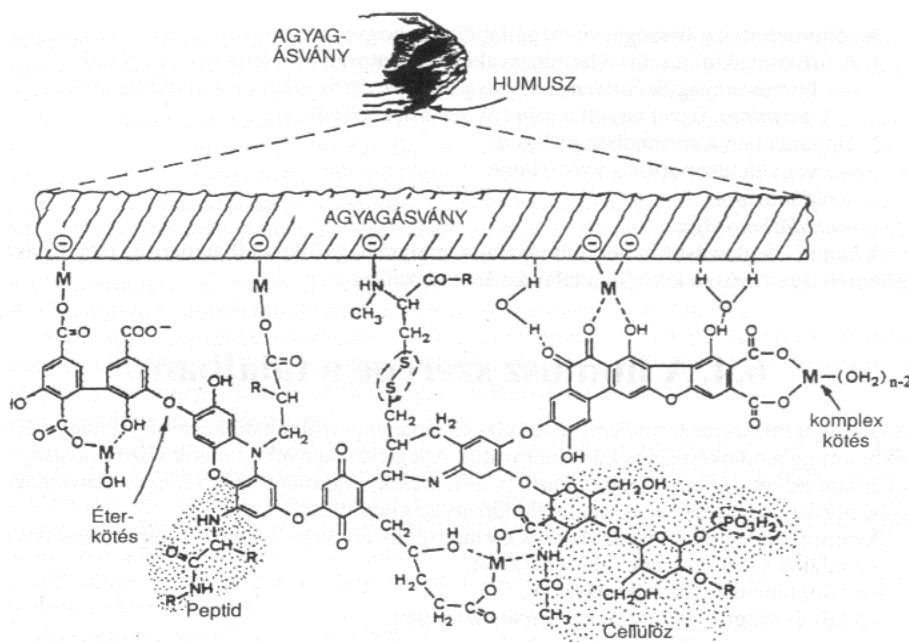
A talajban található szerves anyagokat tágabb értelemben a következő nagy csoportokba sorolhatjuk:

- a talaj élőlényei és a talajon élő növények gyökérzete
- az elhalt növényi és állati maradványok
- a maradványok elbomlása során felszabadult, illetve újraképződött szerves vegyületek.

A szerves anyagok utánpótlásának fő forrásai a növényi maradványok. A szerves maradványok átalakulása bonyolult lebontó és építő mikrobiális folyamatok illetve biokémiai reakciók következménye. A könnyen bontható szerves anyagok – megfelelő feltételek között – gyorsan mineralizálódnak. A nehezen bontható vegyületek jelentős része pedig polimerizálódva és nitrogéntartalmú anyagokkal összekapcsolódva nagy molekulájú, bonyolult szerkezetű vegyületekké, humuszanyagokká alakul (DI GLÉRIA et al. 1957).

A humuszanyagok különböző komponensei nem egyforma erővel kötődnek a talaj ásványi részéhez. A szabad humuszanyagok azok, amelyek a CaCO_3 -hoz, agyagásványokhoz, a Fe- és Al-vegyületekhez nem kapcsolódnak. A gyengén kötött humuszanyagok közé tartozik a Ca^{2+} által koagulált, valamint az agyagásványokhoz és a Fe_2O_3 -hoz, Al_2O_3 -hoz lazán kapcsolódó humusz. A Fe- és Al-hidroxidokhoz (oxidokhoz) erősen kötött szerves anyagok alkotják a nehezen kioldható humuszfrakciót. Végül a humusznak van egy nem mobilizálható része, amely a lúgos és erős savakkal történő kezelés hatására sem oldható ki a talajból. A humuszanyagok pontos kémiai szerkezete a mai napig sem felderített. Ennek az az alapvető oka, hogy a humusz igen változatos méretű és különböző szerkezetű molekulákból, összetett anyagcsoportokból áll. A humuszanyagok döntő szerepet játszanak a talajok szerkezetének kialakításában. Mivel a huminsavak kétvegyértékű fémionokkal alkotott sói vízben nem oldódnak, a Ca-humátok által összeragasztott aggregátumok vízállóak és porózusak. A

huminsavak Fe- és Al-oxidokkal/hidroxidokkal társulva – agyagásványok jelenlétében – szintén tartós szerkezeti elemek kialakulásához vezetnek. Igen jelentős szerkezetkialakító tényező a szerves és az ásványi kolloidok összekapcsolódásával létrejött agyag–humusz komplexum, amelynek sémáját az **1. ábra** mutatja (STEFANOVITS et al. 1999).



1. ábra. A szerves–ásványi komplexum felépítésének sémája (STEFANOVITS et al. 1999 nyomán)

Figure 1. Structure of the organic-mineral complex (after STEFANOVITS et al. 1999)

A kolloidokra jellemző 1-500 nm-es mérettartománnyal szemben a talajokban 2 μm -es szemcseátmérőt fogadtak el felső határnak, amelyet az agyagásványok lemezes szerkezete és több talajkolloid nagy belső felülete tesz indokoltá.

Növényvédőszer, klór-acetanilidek a környezetben

A mezőgazdasági termelés növekedésével a múlt század közepe táján egyre inkább kívánatosá vált olyan anyagok kifejlesztése, amelyek segítségével a termés mennyisége növelhető, illetve megakadályozható a kártevők elszaporodása. A különféle növényvédőszerkezetek ezeket a célokat szolgálják. Mint arról a bevezetésben is szó volt, alkalmazásuk során elsősorban a talajherbicidek, de végül minden peszticid kapcsolatba kerül a talajjal, ahol különféle folyamatokon megy keresztül. Ezek a következők: abszorpció és felszívódás a növényekbe és az állatokba; fennmaradás a vegetációban, majd a termésben, adszorbeálódás a talajon, párolgás, erózió, kapilláris áramlás, lebomlás. Mint a felsorolásból is érzékelhető, ezek a folyamatok sem helyileg, sem időben nem különíthetők el egymástól, ezért egymásra is kölcsönösen hatnak (KÁROLY 1985).

Valamely szer hatékonysága mellett fontos szempont annak a környezetre gyakorolt hatása, ezért jelentős súllyal bírnak azok a kutatások, amelyek célja a növényvédőszerkezetek környezeti sorsának tanulmányozása. Ilyen módon a talajhoz való kötődés, a bomlás mechanizmusa és a bomlástermékek, a talajban való mozgás vizsgálata az érdeklődés középpontjába került. Fontos kérdés, hogy a szerkezet maradványai, bomlástermékeire milyen sors vár.

Az acetoklór a világ sok helyén alkalmazott klór-acetanilid típusú herbicid, amelyet legnagyobb mennyiségben kukoricaföldeken használnak. Az Egyesült Államok területén széles körben alkalmazzák a farmgazdaságokban, vagyis szinte az ország egész területén. Sokféle vizsgálatot végeztek az esetleges szermaradékoknak és bomlástermékeknek a felszíni vizekben illetve a talajvízben való kimutatására, ugyanis az USA Környezetvédelmi Ügynöksége, az EPA szerint az acetoklór és bomlástermékei mérsékelten perzisztensek, mindemellett nagyon mozgékonyak is lehetnek a talajban, attól függően, hogy a talaj milyen tulajdonságokkal rendelkezik. Ez arra utal, hogy az acetoklór-maradványok viszonylag nagy eséllyel kerülhetnek be a felszíni és talajvizekbe.

Az acetoklór jelenlétét folyóvizekben és esővízben már engedélyezésének első évében (1994) vizsgálni kezdték. Pontos adatok ekkor még nem álltak rendelkezésre, de a becslések szerint a farmerek 10%-a alkalmazta az új szert. Minnesota államban a Blue Earth folyó mentén végzett mérésekből kiderült, hogy az 1994 tavaszától nyár végéig tartó mintavételezés során minden egyes folyóvíz- és esővíz-mintában kimutatták az acetoklórt 10–250 ng/l koncentrációban (CAPEL et al. 1995). Az Egyesült Államok középnyugati részén hasonló eredményekre jutottak (KOLPIN et al. 1996). A szer ilyen mértékű jelenléte indokoltá tette a folyamatos vizsgálatokat.

Nem csak magukat a vegyületeket kutatták a felszíni és talajvizekben, hanem a bomlástermékeiket is (KALKHOFF et al. 1998). Több klór-acetanilid típusú herbicidet vizsgálva arra az eredményre jutottak, hogy mind az eredeti vegyületek, mind a metabolitok megtalálhatók a vizsgált vizekben, valamint arra, hogy a bomlástermékek jóval stabilabbak, mint az eredeti szerek.

A klór-acetanilidek mezőgazdasági alkalmazásának következményeivel Magyarországon is foglalkoztak (SOLYMOSNÉ & FERENCZI 2007). Az 1995-2005 között a Velencei-tó vízgyűjtő területén zajló vizsgálatok során az acetoklór 16, míg a propizoklór 7 mintában volt kimutatható. Acetoklór esetében gyakrabban előfordult kiugróan nagy (10 mg/l feletti) koncentráció-érték is.

Adszorpciós elméletek

Az előbbieken említett környezeti viselkedés, illetve a környezetben való transzport szoros összefüggésben van a növényvédőszer adszorpciós tulajdonságaival, így a hatóanyag molekulái (adszorptívum) és a talaj (adszorbens) közötti kölcsönhatással. Az adszorpció határfelületen bekövetkező koncentrációváltozást jelent (leggyakrabban gázok, oldott molekulák szilárd felületen történő megkötődése), mértéke függ mind az adszorbens, mind az adszorptívum tulajdonságaitól. E tekintetben lényeges az adszorbens fajlagos felületének nagysága, a kapilláris kondenzáció, az adszorbens porozitása, a felületi energia nagysága és az adszorptívum minősége is (ROHRSETZER 1999).

EVERETT (1986) szerint minden határfelületre egy adott komponens adszorpciója vagy felületi többlete (n_i^σ) úgy definiálható, mint a rendszerben ténylegesen jelenlévő komponens mennyiségének és annak a mennyiségnek a különbsége, ami akkor lenne jelen (a tényleges rendszerrel azonos térfogatú referencia rendszerben), ha a térfogati koncentrációkat az érintkező fázisokban egy - a határfelülettel párhuzamosan - megválasztott geometriai megosztó felület (Gibbs-féle megosztó felület, rövidítve: GDS) elválasztaná. Ezt legegyszerűbben az alábbi egyenlettel írhatjuk le:

$$n_i^\sigma = n_i - (V^\alpha c_i^\alpha + V^\beta c_i^\beta) \quad (1)$$

ahol n_i az i -edik komponens összes anyagmennyisége, c_i^α és c_i^β a koncentrációk az α - és β -tömbfázisban, V^α illetve V^β a Gibbs-felület által definiált két fázis térfogata.

Oldatból történő adszorpció esetén (szilárd-folyadék határfelületen), ha a szilárd test fajlagos felülete (F) ismert, n_i^σ felületi többlet-koncentrációként is kifejezhető ($\Gamma_i = n_i^\sigma/F$). A megfelelő

fajlagos mennyiségeket ($q = n_i^{\sigma}/m$) akkor használjuk, ha a szilárd test fajlagos felületét nem ismerjük kellő biztonsággal. Híg oldatokban az oldószer egyensúlyi móltörtje, $x_{osz} \rightarrow 1$, tehát $c_{osz} \gg c$, ahol c_{osz} az oldószer, c pedig az oldott anyag egyensúlyi koncentrációja.

A híg oldatokból történő adszorpció esetére a fentiek alapján érvényes egyenlet:

$$q = \frac{V \cdot (c_0 - c)}{m} \quad (2)$$

ahol q az adszorptívum fajlagos adszorbeált mennyisége (pl. $\mu\text{mol/g}$), V az egyensúlyi oldat térfogata (ml), c_0 az adszorptívum kezdeti, míg c az egyensúlyi koncentrációja ($\mu\text{mol/ml}$) – ez utóbbit mérjük, m pedig az adszorbens (pl. talaj) tömege (g).

Ha állandó hőmérsékletet alkalmazva a fajlagos adszorbeált mennyiséget (q) az egyensúlyi koncentráció (c), illetve gázok esetében a parciális nyomás (p) függvényében ábrázoljuk, akkor az adszorpció izotermát kapjuk. Az adszorpcióról szóló elméleteket a különböző izotermák alapján először gázokra alkották meg, de bizonyos megkötésekkel oldatok esetében is alkalmazhatók (CARMO et al. 2000). Folyadékfázisú adszorpció esetére leggyakrabban a Freundlich- és a Langmuir-féle izoterma-egyenleteket tárgyalják a szakirodalomban.

A Freundlich-féle izoterma (3) az adszorbensen heterogén kötőhelyeket feltételez:

$$q = k \cdot c^{1/n} \quad (3)$$

ahol q a fajlagos adszorbeált mennyiség, k és $1/n$ az adott adszorbens - adszorptívum párra jellemző, hőmérséklettől függő állandók, c az egyensúlyi oldatkoncentráció.

A Langmuir-féle izotermaegyenlet (4) levezetése a következő feltételezéseken alapul:

- egymástól független, azonos erősségű vonzási helyeken, az ún. aktív centrumokon történik az adszorpció;
- az adszorpció kötési erőssége minden kötőhelyen ugyanakkora, függetlenül attól, hogy a szomszédos centrum foglalt-e vagy sem, ezért a felület energetikailag homogénnek tekintendő;
- az adszorpció során monomolekulás réteg alakul ki (telítést érünk el).

$$q = \frac{K \cdot q_T \cdot c}{1 + K \cdot c} \quad (4)$$

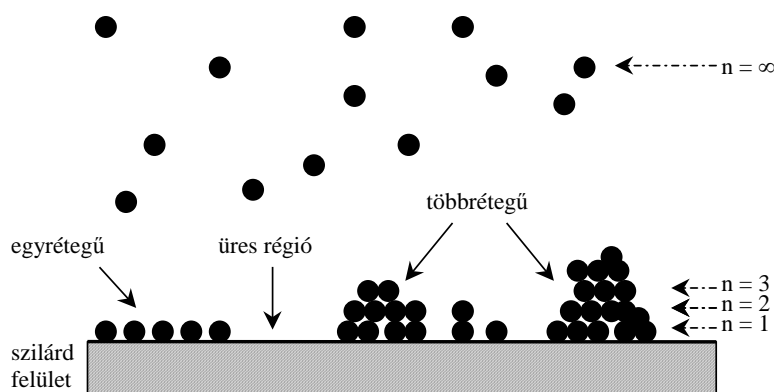
ahol q a fajlagos adszorbeált mennyiség, K az adszorpció együttható; q_T a monomolekulás adszorpció kapacitás, c az oldat egyensúlyi koncentrációja.

A BET-elmélet szerint a monomolekulás réteg kialakulása után az adszorpció nem szűnik meg, hanem az első rétegre továbbiak képesek lerakódni (SZÁNTÓ 1995). Az egyes rétegek kialakulását a **2. ábra** mutatja (VALSARAJ 1995). Az elmélet megalkotói feltételezték, hogy a tulajdonképpeni adszorpció kötési csupán a felület és az első molekularéteg között alakul ki, míg a további rétegek lényegében az elsőre kondenzálódnak.

Növényvédőszer adszorpciója talajon

A talajnak mind az agyagásványos, mind a szerves frakciója fontos szerepet kap az adszorpció folyamatokban. A múlt század közepétől használatos növényvédőszer elsősorban szerves

vegyületek, amelyek vízdoldhatósága korlátozott. Talajon történő megkötődésüket ezért a híg oldatokból való adszorpció alapján kell tárgyalnunk. A vizsgált anyag egyensúlyi megoszlását a talaj és a víz között az izoterma-egyenletek általános alakjával jellemzik, amelyben az adszorbeált anyag mennyisége az egyensúlyi koncentráció függvénye. A hidrofób szerves anyagoknak a talajokon bekövetkező megkötődése az ún. DR-modell segítségével (Distributed Reactivity Model) írható le (WEBER et al. 1992), amely szerint az adszorbens különböző aktivitású helyekkel rendelkezik. A talaj alapvetően sokkomponensű, háromfázisú rendszer, amely szervetlen és szerves anyagokból áll, s ezeken az adszorpció egyedi izotermákkal jellemezhető. A szerves szennyezők adszorpciója a szervetlen ásványi összetevők felületén nemlineáris Langmuir-izotermákkal írható le. A talaj szerves összetevőinek egyik része a geológiailag idősebb szerves frakció (kerogén, szenek stb.), amely viszonylag hidrofób felület. Ezen a szennyezők retenciója a Freundlich-izotermával írható le. A talaj szerves anyagainak másik típusa geológiailag fiatalabb anyag (humuszanyagok stb.), ami jó megoszlást tesz lehetővé a hidrofób molekulák számára, így az anyag retenciója lineáris izoterma egyenlettel jellemezhető. A DR-modell egyesíti ezeket a lineáris és nemlineáris adszorpciós izotermákat, tehát a teljes adszorbeált mennyiség bármilyen oldat-koncentrációnál közelítőleg az egyedi izotermák összegeként adható meg. A DR-modell az összeadódó mennyiségeket a különféle talajösszetevők tömegtörtjei alapján súlyozza. A talajösszetevők felelősek a részfolyamatokért, a különböző aktivitású helyeken történő adszorpcióért. Az adszorbens és az oldott anyag számos különböző tulajdonsága fogja végül is meghatározni, melyik retenciós folyamat dominál. A talaj esetében ezek a tulajdonságok a pórusszerkezet, az anyag által hozzáférhető felület, a felület polaritása, a szervesszén-tartalom, a talaj szerves anyagának kétféle frakciója stb.



2. ábra. Egy- és többrétegű adszorpció szilárd felületen (VALSARAJ 1995 nyomán)
Figure 2. Mono- and multilayer adsorption on solid surface (after VALSARAJ 1995)

A peszticidek környezeti sorsában a szorpció két formája játszik szerepet: az adszorpció és az abszorpció. Megkülönböztetésük az alapján történik, hogy a molekulák milyen mértékben lépnek kölcsönhatásba a szorbens fázissal. Adszorpció esetén az oldott anyag az oldat és az adszorbens határfelületén halmozódik fel, míg az abszorpció egy adott komponensnek az egyik fázisból a másikba való átmenetét jelenti, amelynek során az abszorbens és/vagy az abszorptívum kémiai szerkezete akár meg is változhat. Az abszorpció a talajban gyakran olyan folyamat, amelyben az oldott anyag molekulái csak néhány nanométer mélységben hatolnak be a szorbens fázisba (WEBER et al. 1991).

A növényvédőszer talajban való viselkedése több különböző és gyakran egyidejűleg jelen levő folyamatot foglal magába, amelyeket nagymértékben befolyásolnak a különféle fizikai, fizikai-kémiai, biokémiai, közvetlen és klimatikus tényezők. A talaj adszorpciós szempontból legaktívabb része a humuszanyag, amely polidiszperz, polielektrolit karakterű, reakcióképes funkciócsoportokat tartalmaz, felületaktív tulajdonságokkal rendelkezik, így molekuláján hidrophil és hidrophób helyek

egyaránt jelen vannak. Mindezek a tulajdonságok lehetővé teszik a szerves növényvédőszerrel való kölcsönhatást, ami igen sokféle lehet (SENESI 1992): elektrosztatikus kölcsönhatás, hidrogénhid-kötés, komplexek kialakulása, hidrofób adszorpció.

Hidrofób adszorpció játszódik le a humuszanyagok hidrofób aktív helyei és a nempoláris peszticidek között. Az elnevezés arra utal, hogy a folyamat felfogható az oldószer és a felület közötti egyszerű megoszlásként. Ehhez kapcsolódik a széles körben elfogadott ún. filmmodell (CHIOU et al. 1979, KARICHKOFF et al. 1979) is, amely a hidrofób természetű, nyomnyi mennyiségben jelenlevő anyagok vizes és szilárd fázis közötti megoszlását írja le. Az egyik fázist a víz, a másikat egy szerves filmréteg jelenti, ami a talajrészecskéket, illetve üledéket borítja. Tulajdonképpen maga a szerves talajkomponens is adszorpció révén kötődik a poláris szerves komponens felületére, amelyen többé-kevésbé összefüggő filmszerű bevonatot képez.

Fontos megjegyezni, hogy a hatóanyag adszorpciós és mobilitási képessége egymással ellentétes tulajdonságok. Ebből következik, hogy ha egy vegyület nagyobb mértékben adszorbeálódik a talajon, akkor kisebb valószínűséggel éri el a talajvizet, mivel kevésbé lesz képes onnan kimosódni.

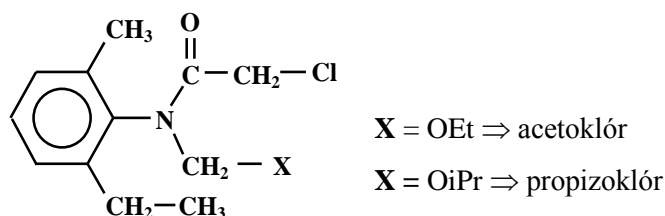
Kísérleti rész

Felhasznált anyagok

Az oldatokat minden esetben kétszer desztillált vízben (ioncserélt víz kálium-permanganát jelenlétében desztillálva) készítettük el. A különböző közegek kialakításához alt. minőségű nátrium-nitrátot, kálium-dihidrogén-foszfátot és dinátrium-hidrogén-foszfátot használtunk. Az összes szerves szén (TOC) meghatározásához alt. minőségű nátrium-peroxo-diszulfátot ill. 85%-os foszforsavat alkalmaztunk. A folyadékkromatográfiás elemzésekhez eluensként HPLC minőségű acetonitrilt és tetrahidrofuránt használtunk. Extrahálószerként nagy tisztaságú diklór-metánt és izo-oktánt, az infravörös felvételekhez pedig spektroszkópiai minőségű szén-tetrakloridot és kálium-bromidot alkalmaztunk.

A kísérletekhez a Nitrokémia 2000 Rt által rendelkezésünkre bocsátott acetoklór és propizoklór standard-eket (99,3% és 98,2%) használtuk. A két anyag általánosan a **3. ábrán** látható szerkezeti képlettel jellemezhető.

A kísérletek háromféle talajon, ezek szervesanyag-mentesített változatain, valamint az egyik legjellemzőbb talajalkotón, a kvarcon történtek.



3. ábra. Az acetoklór és propizoklór szerkezeti képlete
Figure 3. Structure of acetochlor and propisochlor

Talajok: csernozjom (származási hely: Balatonfőkajár), barna erdőtalaj (származási hely: Tés), savanyú homoktalaj (származási hely: Dabrony). Mindhárom esetben a talaj felső 30 cm-es rétegét használtuk. A szervesanyag-mentesített talajok (később: humuszmentes talajok) ezekből készültek hidrogén-peroxidos kezeléssel (KÉZDI 1976). A talajok jellemzőit az **1. táblázatban** foglaljuk össze.

1. táblázat. A talajok jellemzői

	Csernozjom	Barna erdőtalaj	Homoktalaj
pH (H ₂ O)	7,73	6,35	6,27
Összes só	–	–	–
Összes szerves szén (szilárd TOC)	25,18 mg C/g	12,5 mg C/g	9,19 mg C/g
Leiszapolható rész	55,87%	42,64%	18,40%
Fajlagos felület (BET)	11,02 m ² /g	4,34 m ² /g	1,33 m ² /g
Legnagyobb mennyiségben jelenlevő frakció	<0,1 mm (39,4%)	<0,1 mm (85,5%)	0,1-0,25 mm (40,7%)
Főbb ásványi alkotók (röntgen-diffrakció):			
<i>Kvarc</i>	30,6%	48,4%	63,9%
<i>Szmektit</i>	32,4%	14,3%	8,3%
<i>Albit</i>	9,8%	12,6%	15,1%
<i>Klorit</i>	5,3%	6,6%	2%
<i>Csillám</i>	4,2%	7,8%	2,4%
<i>Kaolinit</i>	1,6%	1,2%	-
<i>Mikroklin</i>	1,7%	2,3%	2,8%
<i>Amorf</i>	5,9%	5,2%	3,9%

2. táblázat: A fajlagos felület változása hidrogén-peroxidos kezelés hatására

Talaj	Kezelés előtt	Kezelés után
Csernozjom	11,02 m ² /g	15,56 m ² /g
Barna erdőtalaj	4,34 m ² /g	5,73 m ² /g
Homoktalaj	1,33 m ² /g	0,62 m ² /g

A humuszmentes talajok készítése során a fajlagos felület a **2. táblázat**ban bemutatott módon változott.

A talajalkotóként kiválasztott kvarcot fehérvárcsurgói homokból állítottuk elő oly módon, hogy azt

1 mol/l-es töménységű sósavval kezeltük, majd desztillált vízzel mostuk. A kvarc fontosabb jellemzői: szemcseméret < 0,5 mm, fajlagos felület: 0,24 m²/g.

A sztatikus egyensúlyi kísérletek kivitelezése

A kísérletek háromféle közegben folytak: kétszer desztillált vízben, 0,1 mol/l NaNO₃-oldatban továbbá 0,1 mol/l pH=7,0 foszfát-pufferben, 25 °C-on.

Figyelembe véve a két növényvédőszer oldhatóságát az adott közegben, az acetoklór és propizoklór standard-ekből 85 mg/l koncentrációjú törzsoldatokat készítettünk, amelyekből 0–85 mg/l (acetoklór esetében 0–315 μmol/l, propizoklór esetében 0–300 μmol/l) koncentrációtartományban 20 tagú hígítási sort állítottunk elő a megfelelő közegben (víz, NaNO₃-oldat, foszfát-puffer).

A talajok és humuszmentes talajok esetében 7 g talajt, míg a kvarcnál 5 g-ot duzzasztottunk 5 ml vízzel 1 napig. A beduzzasztott adszorbensekhez 65 ml adott koncentrációjú növényvédőszer-oldatot adtunk, majd 150 löket/perc sebességgel 1 órán keresztül rázattuk. Az egyensúly beállása érdekében 24 órát állni hagytuk. (Minden mérési sorozatban készítettünk növényvédőszer-mentes, ún. talajoldatvak mintákat is.) Az egyensúly beállta után a mintákat 25 percig centrifugáltuk 3000 fordulat/perc sebességgel. A felülúszót redős szűrőn szűrtük a vizes fázisban esetlegesen megmaradó szilárd részek eltávolítására. A szűrlet első 10 ml-ét kiöntöttük, mivel a szűrőpapír az oldatból megkötheti a meghatározandó molekulákat. A szűrlet többi részében az egyensúlyi koncentráció közvetlenül mérhető az összes szerves szén meghatározásával, illetve folyadékkromatográfiával.

Analitikai módszerek

Összes szerves szén meghatározása (TOC): A vizes oldatok szervesanyag-tartalma a benne lévő összes szerves szén mérésével megadható, amelyhez Foss-Heraeus liquiTOC készüléket használtunk. A műszer alacsony hőmérsékleten (72°C) nátrium-peroxo-diszulfát és UV-fény hatására oxidálja a szerves vegyületeket. A kalibrációhoz a megfelelő növényvédőszer törzsoldatát használtuk standardnak. A talajoldatvak átlagokat az egyes mintákra kapott – ugyancsak átlag – értékekből levontuk.

Nagynyomású folyadékkromatográfia (HPLC): A folyadékkromatográfias méréseket Perkin-Elmer Series 200 készüléken végeztük, 125 mm C18 kolonnán. Az injektálás 20 μl-es “Rheodyne loop” segítségével történt. Az alkalmazott eluens 50% acetonitril, 30% víz, 20% tetrahidrofurán összetételű volt. Áramlási sebességnek 0,7 ml/perc értéket választottunk. A detektálás λ=218 nm hullámhosszon diódasoros detektorral történt. Minden alkalommal analitikai mérőgörbét vettünk fel, amelyhez az oldatokat a törzsoldat megfelelő hígításával készítettük el. Ennek segítségével határoztuk meg az egyes koncentrációkat.

Bomlásvizsgálat talajon, felezési idő meghatározása

A vizsgálat célja az volt, hogy a növényvédőszereknek az általunk alkalmazott körülmények között ellenőrizzük a stabilitását, felezési idejüket meghatározzuk és lehetőség szerint néhány bomlásterméket kimutassunk, azonosítsunk. Ehhez az adott talaj 15 g-ját 10 ml vízzel duzzasztottuk, majd az így kapott mintát 140 ml 42,5 mg/l 0,1 mol/l pH=7 foszfát-pufferrel készített növényvédőszer-oldattal rázattuk össze (ez acetoklór esetén 157,52 μmol/l, propizoklór esetén 149,75 μmol/l koncentrációnak felel meg). Az egyensúly beállta után a lombikokból mintát vettünk (kb. 0,2 ml-t).

Ezt „Anotop 10” (0,02 μm) membránszűrőn szűrtük, majd HPLC-vel elemeztük. Ez jelentette a $t = 0$ időpontot. A továbbiakban a lombikokat szobahőmérsékleten zárva tartottuk, és először rövidebb, majd hosszabb időközönként vettünk mintát. Amikor a koncentráció elérte a kiindulási érték felét, a kísérletet leállítottuk. A bomlásvizsgálat során keletkezett, gázkromatográfiás körülmények között elemezhető bomlástermékeket megpróbáltuk azonosítani. Ehhez a bomlásvizsgálatokból nyert talajokat üvegszűrőn szűrtük, majd a levegőn szárított mintákból 5 g-ot mértünk be. A mintát extrakció, szűrés, szétválasztás és újabb extrakció után GC-MS-sel elemeztük. A folyadékfázis vizsgálatához a bomlásvizsgálatokból visszamaradt oldat 50 cm^3 -ét extraháltuk, a szerves fázisokat szárítottuk, szűrtük, majd szobahőmérsékleten légköri nyomáson bepároltuk. A mintát 5 cm^3 izooktánban vettük fel, ezután került sor a GC-MS-sel történő elemzésre.

Tömegspektrometriás elemzés (GC-MS): Az alkalmazott készülék HP 5890II-es gázkromatográf HP 5971A MS detektorral. A gázkromatográfhoz HP-1 kolonnát használtunk, amelynek jellemzői: 15 m x 0,25 mm x 0,25 μm film. A hőmérsékleti program a következő volt: 50 °C 2 perc, majd 10 °C/perc fűtési sebességgel 250 °C-ra emeltük a hőfokot. A vivőgáz hélium volt, míg az ionizáló feszültség 70 eV.

Infravörös spektroszkópia (IR): A talaj-vakokból, az egyensúlyi kísérletekből (az izotermák első és második lépcsőjéhez tartozó egy-egy, a hatóanyagra nézve viszonylag tömény minta), valamint a bomlásvizsgálatokból nyert légszáraz mintákból 0,0150 g-ot mértünk be, ehhez 0,1500 g KBr-ot adtunk, porítottuk és összekevertük. Ezután Bio-Rad FTS 165 készülékkel DRIFT feltét alkalmazása mellett készítettük a 256 scan-ből álló felvételeket, amelyekhez háttérként a talaj-vakokat használtuk. Az infravörös elemzések előtt az egyensúlyi kísérletekhez felhasznált közegeken kívül diklór-metán oldószerben is végrehajtottuk az adszorpciós kísérleteket. Ez az oldószer szinte korlátlanul oldja a klór-acetanilideket, ezért a vizes közeghez képest nagyobb koncentrációnál is tanulmányozhatóvá válik az adszorpció, jelen esetben az adszorbens és az adszorptívum közötti kölcsönhatás. A kivitelezést egyetlen koncentráció értéknél (1%) acetoklórral valósítottuk meg minden adszorbens esetében, amelyet centrifugálás és szárítás után ugyancsak DRIFT feltét segítségével vizsgáltunk. A spektrumok értékelhetősége miatt a tiszta acetoklór és propizoklór hatóanyagról oldószer nélkül ATR feltét alkalmazásával, míg 10 %-os szén-tetraklorid-oldatokról KBr-ablakkal rendelkező küvetében készítettünk felvételt.

Eredmények, értékelés

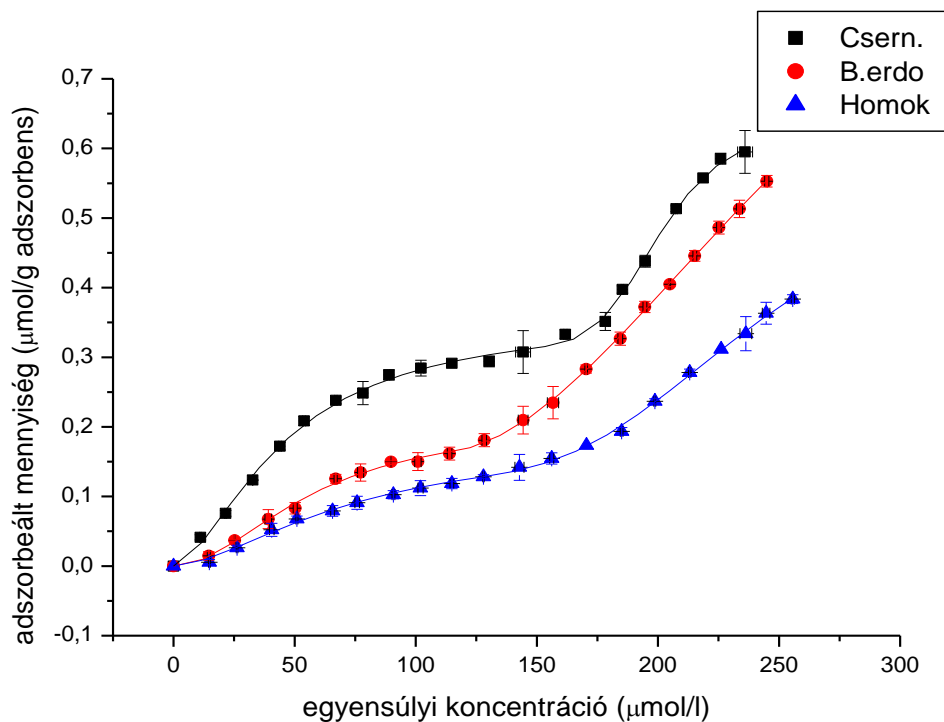
Adszorpciós izotermák

A kísérletek kezdetekor először megfelelő mérési módszert kerestünk vizsgálataink elemzésének céljából. Így elsőként az összes szerves szén (TOC) meghatározásával próbálkoztunk. A módszer segítségével az egyensúlyi koncentráció mérhető, majd a kiindulási koncentrációk ismeretében kiszámítható az adszorbeált mennyiség. Az első sorozatban tiszta vízben folytak a kísérletek. A második sorozatban 0,1 mol/l koncentrációjú NaNO_3 -oldat volt a közeg (állandó ionerősség), végül a harmadik sorozatban az állandó ionerősség és az adott pH-érték biztosítására 0,1 mol/l koncentrációjú pH=7,0 foszfát-puffert alkalmaztunk közegként. A nátrium-nitrátos és a foszfát-pufferes közeg jól modellezik a mezőgazdasági termelésben felhasznált nagymennyiségű nitrát- és foszfátműtrágyát, emellett a tiszta víznél reprodukálhatóbb körülményeket biztosítanak. A foszfát-puffer hatására oldatba kerülő jelentős mennyiségű humuszanyag a mérést megbízhatatlanná tette, mivel ezt a készülék (ill. a reagens) csak részben volt képes oxidálni. Ezért ezt a sorozatot nem a TOC-készülékkel, hanem folyadékkromatográfiával elemeztük, hiszen az elválasztási módszer segítségével

a vizsgált hatóanyag csúcsa jól elkülönült a zavaró hatású komponensektől. A nitrát nagy UV-abszorbananciája miatt keletkező csúcs elválaszthatatlan volt az egyébként kis UV-elnyeléssel rendelkező klór-acetanilidektől, ezért ebben az esetben a HPLC nem volt alkalmazható.

Ezek után úgy találtuk, hogy a folyadékkromatográfiás meghatározás megbízhatóbb, mivel ekkor jól definiált körülmények között lehet végezni a mérést (amely biztosítja a reprodukálhatóságot), és a humuszanyagok jelenléte sem zavarja a meghatározást. Mivel ez az analitikai módszer a kétféle só alkalmazó modell-rendszer közül a foszfát-pufferrel készített oldatok elemzésére alkalmas, ez utóbbi közeggel dolgoztunk tovább.

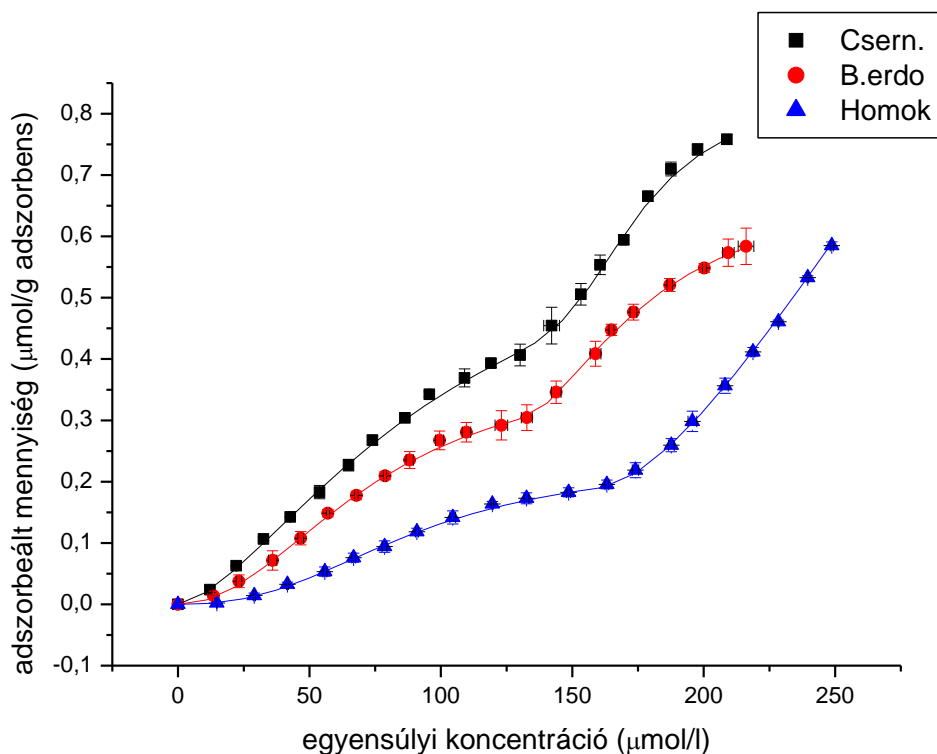
Az acetoklór (4. ábra) és a propizoklór (5. ábra) adszorpcióját összehasonlítva a három különböző talajon megállapítható, hogy mindkét növényvédőszer esetében a csernozjom talajon kötődött meg a legtöbb anyag, a barna erdőtalajon kevesebb és a homoktalajon a legkevesebb. Mind a hat izotermán két lépcső látható. Az első lépcső a monomolekulás réteg kialakulását jelenti, a közel vízszintes szakasz pedig a monomolekulás telítettséget (MADER et al. 1997; CARMO et al. 2000). A második lépcső újabb növényvédőszer-réteg kialakulását jelezheti, amelyről feltételezhető, hogy a molekulák az első réteg molekuláihoz kötődnek, tehát a kölcsönhatás nem a felület és a második réteg molekulái között jön létre, hanem az első és a második réteg molekulái között. Különösen feltűnő, hogy az első lépcsőről leolvasható monomolekulás telítettség a csernozjom talajnál 2–3-szorosa a homoktalajnál megállapítható értéknek, ami igen jó összhangban van a két talaj szervesanyag-tartalmában jelentkező különbséggel, hisz a csernozjom összes szerves széntartalma 2,73-szorosa a homoktalajénak (vö. 1. táblázat). Ugyanakkor elgondolkodtató, hogy a csernozjom talajra meghatározott fajlagos felület több mint nyolcszorosa a homoktalajénak (vö. 1. táblázat), tehát ez utóbbi felületi többletkoncentrációja kb. négyszeres.



4. ábra. Acetoklór adszorpciója háromféle talajon 0,1 mol/l foszfát-puffer közegben (pH=7,0; 25 °C), elemzés folyadékkromatográfiával (HPLC)

Figure 4. Adsorption of acetochlor on three different soils in 0.1 mol/l phosphate buffer solution (pH=7.0; 25 °C), analysis by HPLC

Az adszorbeált mennyiségek közötti különbségeket (a csernozjomé a legnagyobb, a homoké a legkisebb) a talajok eltérő szervesanyag-tartalma, fajlagos felülete és a felület minőségében jelentkező eltérés okozhatja. A felület és a növényvédőszer-molekulák közötti kölcsönhatás létrejöttének feltétele, hogy a felületen e molekulák megkötésére alkalmas kötőhelyek legyenek. A talajban megtalálható szervesetlen felületek legkevésbé reakcióképes része a semleges sziloxán felület, amely nem rendelkezik töltéssel és permanens dipólusmomentummal. Emiatt az ilyen felület nem lép erős kölcsönhatásba a vízmolekulák hidrogénhidkötés-hálózatával, ezért hidrofób felületnek tekintjük. A homoktalajban jelen levő nagy mennyiségű kvarc (64%) semleges sziloxán felülete hidrofób tulajdonsága révén meghatározó szerepet játszik a két klór-acetanilid adszorpciójában.



5. ábra. Propizoklór adszorpciója háromféle talajon 0,1 mol/l foszfát-puffer közegben (pH=7,0; 25 °C), elemzés folyadékkromatográfiával (HPLC)

Figure 5. Adsorption of propisochlor on three different soils in 0.1 mol/l phosphate buffer solution (pH=7.0; 25 °C), analysis by HPLC

Érdekesnek látszott megvizsgálni az adszorpciót szervesanyag-mentesített talajokon is, mivel így választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy a talajok humusztartalma milyen mértékben befolyásolja az adszorpciót. A szerves anyag eltávolítása során a talajok fajlagos felülete megváltozott (ld. 2. táblázat), s újabb kötőhelyek megjelenésével számolhatunk.

A vizsgálat eredményeit az adszorpcióban legnagyobb különbséget mutató homoktalaj és annak humuszmentesített változata valamint a kvarc esetében szemléltetjük (l. 6-7. ábra). Itt azonban megjegyezzük, hogy a legkevesebb acetoklór a humuszmentes csernozjomon, azután a humuszmentes barna erdőtalajon kötődött meg, míg a legtöbb a humuszmentes homoktalajon. A propizoklór izotermái közel azonos lefutásúak, de megállapítható, hogy mindkét klór-acetanilidből nagyobb mennyiség kötődött meg a szervesanyag-mentes talajok egységnyi tömegén, mint az eredeti talajokon. Ezt a jelenséget a csernozjom és a barna erdőtalaj esetében azzal magyarázhatjuk, hogy a szerves anyag a talaj szemcséinek felületén valószínűleg kötőhelyeket fed be, amelyeket a humuszmentesítés

során lényegében szabaddá teszünk, miközben megnő a fajlagos felület (ld. 2. táblázat), ezért nagyobb mértékű lesz az adszorpció.

A homoktalaj esetében a talaj fajlagos felülete jelentősen csökkent (l. 2. táblázat), ennek ellenére az adszorpció mértéke jelentősen megnőtt. Ennek oka, hogy a szerves anyag eltávolítása ugyan csökkentette a fajlagos felületet, de valószínűleg kötőhelyeket tett szabaddá. Ezek a megállapítások összhangban vannak azokkal a vizsgálatokkal, amelyek során megállapítást nyert, hogy a talajban a szervesanyag-fedések a felület legaktívabb részei (TOMBÁ CZ et al. 1996).

A **6. ábra** és a **7. ábra** jól mutatja, hogy a kvarc, a humuszmentes homoktalaj és a homoktalaj adszorbensek összehasonlításakor mindkét növényvédőszer fajlagos adszorbeált mennyisége a humuszmentes talajon volt a legnagyobb. A propizoklór esetében ezután a kvarc következik, majd pedig a homoktalaj. Az acetoklór esetében a kvarcon és a homoktalajon közel azonos mértékű a megkötődés. Ez a jelenség különösen elgondolkodtató, hiszen e három adszorbens közül egyedül a homoktalajnak van szervesanyag-tartalma, ami a legnagyobb fajlagos felületet eredményezi, mégis itt a legkisebb a monomolekulás telítettség mindkét vegyület esetében. Ez ismételtén a kvarc mint talajalkotó hidrofób felületének adszorpcióban betöltött szerepét támasztja alá.

Izotermáink többségénél a mérési pontokra nem illeszthető sem a Freundlich- sem a Langmuir-izoterma. Munkánk hozzájárult egy új izoterma egyenlet (5) leírásához, amely igen jól alkalmazható a bemutatott izotermákra (CZINKOTA et al. 2002).

$$q = \sum_{i=1}^s \left\{ \frac{q_{Ti} \cdot K_i \cdot (c - b_i + |c - b_i|)^{n_i}}{2^{n_i} + K_i \cdot (c - b_i + |c - b_i|)^{n_i}} \right\} \quad (5)$$

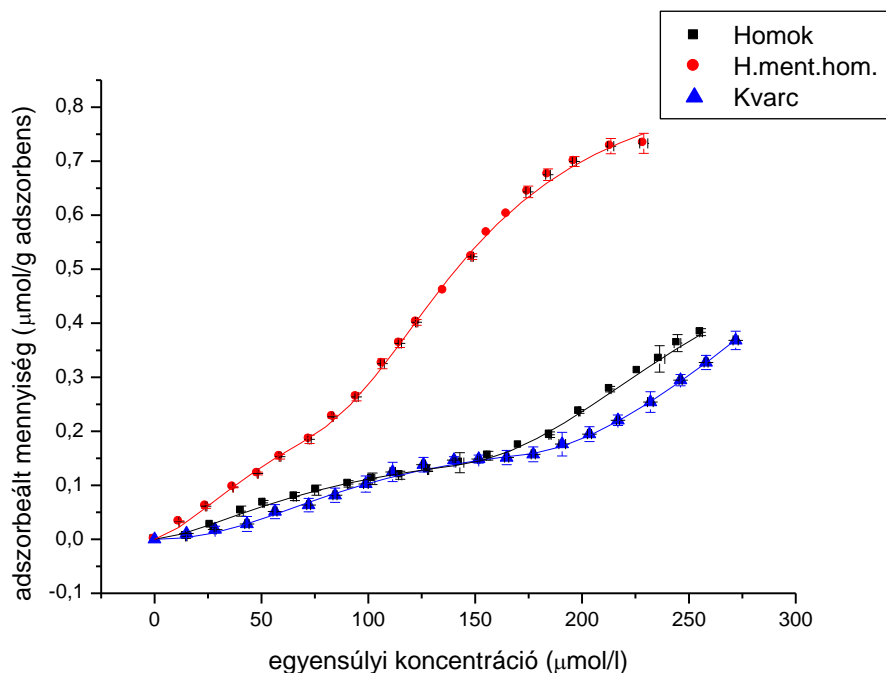
ahol s az izoterma lépcsőinek száma. Amint látható, mindegyik adszorpciós lépés a következő négy paraméterrel jellemezhető: q_{Ti} az adszorpciós kapacitás, K_i az egyensúlyi állandó, b_i a határkoncentráció és n_i az átlagos asszociációfok a görbe i -edik lépcsőjére vonatkoztatva.

A két klór-acetanilid esetében legtöbbször két lépcsős izotermát kaptunk ($s = 2$). Az izotermákra illesztett egyenletből számított állandók alapján a következő megállapításokat tehetjük:

Az első lépcsőhöz tartozó adszorpciós kapacitás értékeit tekintve q_1 ugyanazon adszorbensen a propizoklórnál minden esetben nagyobb, mint az acetoklórnál (a humuszmentes homoktalaj esetében közel egyforma érték). Az eredeti talajokat és humuszmentesített változataikat összehasonlítva megállapítható, hogy az acetoklór esetében a szerves anyag eltávolítása az adszorpciós kapacitás értékeinek jelentős növekedését okozta. A propizoklór esetében is tapasztalható ez a növekedés (kivéve csernozjom), de kisebb mértékben. Ezeket a tapasztalatokat alátámasztják a fentebb említett korábbi vizsgálatok is (TOMBÁ CZ et al. 1996), amelyek szerint a humuszanyagok eltávolítása után pórások válnak szabaddá.

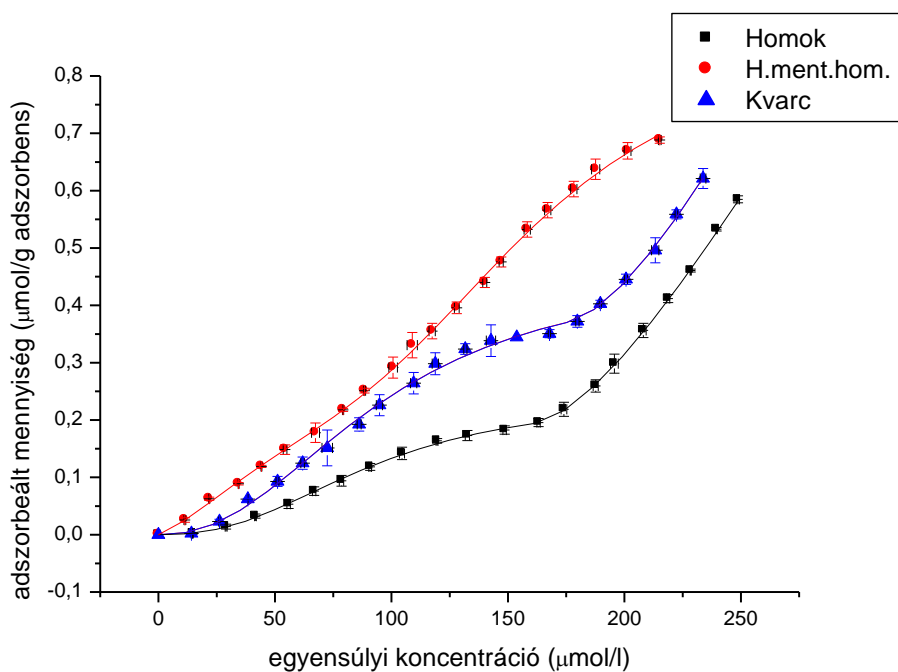
Az izotermákról leolvasható monomolekulás telítettséghez tartozó adszorbeált mennyiség minden esetben kisebb, mint az illesztett egyenletből számított adszorpciós kapacitás. Ebből arra következtetünk, hogy a második réteg előbb kezd el kialakulni, mint hogy az első rétegben minden lehetséges aktív helyet elfoglalnának az adszorbeálódó molekulák, azaz a második réteg kialakulása független attól, hogy a monomolekulás réteg telített-e vagy sem.

A második lépcsőhöz tartozó q_2 adszorpciós kapacitás értékei a kvarc esetében kiugróan magasak, és a propizoklór kétszerese az acetoklórénak. Ennek oka, hogy a propizoklór apolárisabb jellegű molekula, mint az acetoklór, így e vegyület esetében nagyobb mértékben érvényesül a hidrofób kölcsönhatás.



6. ábra. Acetoklór adszorpciója homoktalajon, humuszmentes homoktalajon és kvarcon 0,1 mol/l foszfát-puffer közegben (pH=7,0; 25 °C), elemzés folyadékkromatográfiával (HPLC)

Figure 6. Adsorption of acetochlor on sand, humicfree sand and quartz in 0.1 mol/l phosphate buffer solution (pH=7.0; 25 °C), analysis by HPLC



7. ábra. Propizoklór adszorpciója homoktalajon, humuszmentes homoktalajon és kvarcon 0,1 mol/l foszfát-puffer közegben (pH=7,0; 25 °C), elemzés folyadékkromatográfiával (HPLC)

Figure 7. Adsorption of propisochlor on sand, humicfree sand and quartz in 0.1 mol/l phosphate buffer solution (pH=7.0; 25 °C), analysis by HPLC

A K_1 egyensúlyi állandókat összehasonlítva kisebb egyensúlyi koncentráció értékeknél ($c < b_2$) a propizoklór mozgékonyabbnak tekinthető a vizsgált talajokban, mint az acetoklór, míg nagyobb koncentráció-értékeknél az acetoklór tovaterjedésével számolhatunk jobban.

A határkoncentrációkat tekintve b_1 mindig 0-nak adódott, ugyanakkor az asszociáció mértékét jelentő $n_1 > 1$. Mindez arra utal, hogy az első lépcső esetében asszociátumok kialakulásával bármekkora egyensúlyi koncentráció értéknél számolhatunk a felületen, de az oldatban nem.

A második lépcsőhöz tartozó b_2 határkoncentráció-értékek egybeesnek a második lépcső kezdetéhez tartozó egyensúlyi koncentrációkkal, ami azt jelenti, hogy a második molekularéteg kialakulásával egy időben más összetételű asszociátumok képződnek ($n_1 \neq n_2$), azaz a második réteg molekulái nem csak egymással, hanem az első réteg molekuláival is kölcsönhatásba lépnek. A humuszmentesítés hatására a b_2 határkoncentrációk jelentős mértékben csökkennek mindkét növényvédőszer esetében, azaz sokkal kisebb egyensúlyi koncentrációknál indul el az újabb réteg kialakulása.

Az asszociációs fokot jellemző állandók (n_1 és n_2) értékei arra utalnak, hogy a második rétegben általában nagyobb méretű asszociátumok alakulnak ki, mint az első rétegben (n_2 általában nagyobb, mint n_1). Ezek az adatok alátámasztják, hogy az első lépcső kialakulásában főként az adszorbens-adszorptívum között, míg a második lépcsőnél elsősorban az adszorptívum és az oldott anyag között létrejött kölcsönhatás a meghatározó.

Infravörös spektroszkópiai vizsgálatok

Mind az acetoklór, mind a propizoklór esetében az tapasztalható, hogy a tiszta, oldószermentes hatóanyag 1675 cm^{-1} -nél jelentkező karbonil vegyértékrezgési sávja az adszorbenssel történő kölcsönhatás következtében $10\text{--}15 \text{ cm}^{-1}$ -nel nagyobb hullámszámok felé tolódik el.

Az izoterma első és második lépcsőjéhez tartozó minták spektrumai ugyan nem mutattak lényegi eltérést, hangsúlyozandó, hogy a kvarcra készített felvételek esetében a karbonilnak tulajdonítható elnyelési sáv két egymáshoz közeli hullámszámnál is jelentkezik, amelyek értéke 1686 és 1675 cm^{-1} . Az utóbbi érték éppen a tiszta hatóanyag C=O vegyértékrezgésének helye, ami a hozzá képest 11 cm^{-1} -es eltolódással együtt spektroszkópiai szempontból támasztja alá azt a korábbi feltételezést, hogy az adszorpció során mindenképpen számolni kell a felületen létrejött asszociátumokkal. Az ennél nagyobb mértékű eltolódást (1700 cm^{-1} felett) valószínűleg a klór-acetanilid molekula és a felület között létrejött hidrogénhid-kötések okozzák.

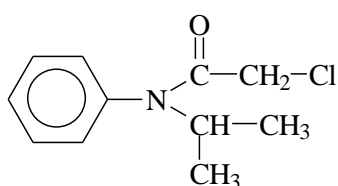
Bomlásvizsgálatok

Az általunk meghatározott mérési pontokra az ilyenkor használatos egytagú, elsőrendű kinetikát leíró függvény (KÁROLY et al. 1985) helyett kéttagú, ugyancsak elsőrendű kinetikát leíró függvényt sikerült illeszteni:

$$y = A_1 \cdot e^{(-x/t_1)} + A_2 \cdot e^{(-x/t_2)}$$

ahol A_1 és A_2 az első illetve a második bomlási folyamat reakciósebességi állandói, t_1 és t_2 az első illetve a második bomlási folyamat felezési ideje.

A bomlási reakció első lépése barna erdőtalajon a leggyorsabb, a második lépés pedig homoktalajon a leglassúbb mindkét herbicid esetében. A felezési időkből arra lehet következtetni, hogy a két anyag hosszú ideig megmarad a talajban anélkül, hogy elbomlana ($t_1 < 10$ nap minden esetben, míg $t_2 > 300$ nap). Szabadföldi kísérletekben (FERENCZI 1998) a felezési idők jóval rövidebbek, mivel ott más körülmények között van az anyag. Hatnak rá az időjárás elemei, valamint hatékonyabban érvényesülhet a mikroorganizmusok lebontó tevékenysége. Ebben a kísérletsorozatban az acetoklór felezési ideje kb. 17 napnak, a propizoklóré kb. 10 napnak adódott, ami igen rövid az általunk meghatározott felezési időkhöz képest (t_2). Mivel a talaj és a talajvíz között igen jó az anyagok megoszlása, ezért az esővíz vagy az öntözés részben kimossa a talajból. A jó megoszlás egyrészt előnyös, mivel mindkét anyag talajherbicid, így hatásuk kifejtésének érdekében megfelelő ideig a talajban kell maradniuk, másrészt viszont hátrányos, mert amíg a talajban vannak, addig szennyezők, valamint a talajjal kapcsolatba kerülő élőlényekre káros hatással lehetnek, ugyanakkor a kimosódás miatt talajvíz-szennyezőkké válnak.



8. ábra. 2-klór-[N-(1-metil-etil)-N-fenil]-acetamid
Figure 8. 2-chloro-[N-(1-methylethyl)-N-phenyl]-acetamide

250 nap elteltével mind a vizes, mind a szilárd fázist vizsgáltuk a keletkezett bomlástermékek tanulmányozása céljából. A vizes közeget a megfelelő előkészítés után GC-MS-sel, a szilárd fázist GC-MS-sel és infravörös spektroszkópiával is megvizsgáltuk. GC-MS segítségével a kiindulási anyagok mellett csak egyetlen anyagot lehetett kimutatni a talajokon és a vizes közegben egyaránt. A **8. ábrán** bemutatott szerkezettel rendelkező vegyület (M^+ : 211) a felvétel alapján mindkét klór-acetanilid esetében jelen volt, mivel az adatbázisban található azonos szerkezetű anyag spektrumával mintától függően 91-99%-os egyezést mutatott.

Az infravörös spektroszkópiás vizsgálatok eredményeképpen a homoktalajon a kiindulási vegyület indikátoraként megválasztott karbonil csoport 1675 cm^{-1} -nél nagyobb értékeknél jelentkezett, míg a csernozjom és a barna erdőtalaj esetében a kisebb értékeknél ($1599, 1641\text{ cm}^{-1}$) található sávot illetve sávokat nem tulajdoníthattuk egyértelműen a karbonilnak, ami a kiindulási molekula átalakulására utal. A hidrogénhíd-kötésekre utaló $1710\text{-}1741\text{ cm}^{-1}$ között található vállszerű elnyelési sáv az adszorpcióhoz hasonlóan ezekben a mintákban is látható volt. Mindezeket túl a csernozjom talajon felvett spektrumban megjelent egy primer alkoholra utaló C–O vegyértékrezgési sáv, ami újabb típusú bomlástermékre utal, de ennek szerkezetét az általunk alkalmazott módszerekkel nem tudtuk egyértelműen igazolni.

Összegzés

Az adszorpciós vizsgálataink eredményei magyarázatként szolgálnak arra a tényre, hogy a két klór-acetanilid típusú herbicid közül a talajvízfigyelő kutakban az acetoklór jelent meg gyakrabban és nagyobb koncentrációban (SOLYMOSNÉ & FERENCZI 2007), hiszen ez a vegyület kisebb mértékben kötődik a talajhoz, ami nagyobb mobilitást eredményez.

A laboratóriumi körülmények között kivitelezett bomlásvizsgálatok során mindkét vegyület meglehetősen stabilnak mutatkozott, de a propizoklór kicsit gyorsabban bomlik, mint az acetoklór. A szabadföldön kivitelezett kísérletek (FERENCZI 1998) hasonló eredményre vezettek, de ilyen körülmények között a felezési idő lényegesen kisebb. Az acetoklór megjelenése a talajvízmintákban tehát egyrészt kisebb adszorpciós képességének, másrészt nagyobb stabilitásának tulajdonítható.

Irodalom

- CAPEL P. D., MA L., SCHROYER B. R., LARSON S. J. & GILCHRIST T. A. (1995): Analysis and detection of the new corn herbicide acetochlor in river water and rain. *Environmental Science & Technology*, 29(6): 1702-1705.
- CARMO A. M., HUNDAL L. S. & THOMPSON M. L. (2000): Sorption of hydrophobic organic compounds by soil materials: Application of unit equivalent Freundlich coefficients. *Environmental Science & Technology*, 34(20): 4363-4369.
- CHIOU C. T., PETERS L. J. & FREED V. H. (1979): A physical concept of soil-water equilibria for non-ionic organic compounds, *Science*, 206: 831-832.
- CZINKOTA I., FÖLDÉNYI R., LENGYEL ZS. & MARTON A. (2002): Adsorption of propisochlor on soils and soil components - Equation for multi-step isotherms. *Chemosphere*, 48: 725-731.
- DI GLÉRIA J., KLIMES-SZMIK A. & DVORACSEK M. (1957): Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 99-100.
- EVERETT D. H. (1986): Reporting data on adsorption from solution at the solid/solution interface. *Pure and Applied Chemistry*, 58 (7): 967-984.
- FERENCZI M. (1998): Növényvédőszer hatóanyagok környezetvédelmi vizsgálatai a Balaton vízgyűjtőjén lévő szántóföldi modellterületen, Doktori (PhD) értekezés, Keszthely.
- HAMAKER J. W. (1975): The interpretation of soil leaching experiments. In: R. HAQUE & V. H. FREED: *Environmental dynamics of pesticides*. Plenum Press, New York and London, pp. 115-133.
- KALKHOFF S. J., KOLPIN D. W., THURMAN E. M., FERRER I. & BARCELÓ D. (1998): Degradation of chloroacetanilide herbicides: The prevalence of sulfonic and oxanilic acid metabolites in Iowa groundwaters and surface waters. *Environmental Science & Technology*, 32(11): 1738-1740.
- KARICHKOFF S. W., BROWWN B. J. & SCOTT T. A. (1979): Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments. *Water Research*, 13(3): 241-248.
- KÁROLY G. (1985): Gyomirtószeres és a talaj kapcsolatának vizsgálata. Műszaki doktori értekezés, Veszprém.
- KÁROLY G., FERENCZI M. & BODOR T. (1985): Gyomirtószeres bomlásdinamikai vizsgálata három talajtípuson. *Agrokémia és Talajtan*, 34(1-2): 53-62.
- KÉZDI Á. (1976): Talajmechanikai praktikum, Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 1-170.
- KOLPIN D. W., NATIONS B. K., GOOLSBY D. A. & THURMAN E. M. (1996): Acetochlor in the hydrologic system in the midwestern United States, 1994. *Environmental Science & Technology* 30(5): 1459-1464.
- LENGYEL ZS. (2002): Klór-acetanilid típusú herbicidek adszorpciójának vizsgálata talajokon és talajalkotókon, Doktori (PhD) értekezés, Veszprém.
- LYMAN W. J., REEHL W. F. & ROSENBLATT D. H. (1982): *Handbook of chemical property estimation methods*, McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 2-4.
- ROHRSETZER S. (1999): *Kolloidika*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 1999., 166-170., 200-202., 208-211.
- SENESI N. (1992): Binding mechanisms of pesticides to soil humic substances. *The Science of the Total Environment*, 123-124: 63-76.

- SOLYMOSNÉ MAJZIK E. & FERENCZI M. (2007): Felszín alatti vizek növényvédőszer-koncentrációjának vizsgálata a Velencei-tó vízgyűjtő területén. *Növényvédelem*, 43(10): 467-476.
- STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 18-24., 71-83., 92-94.
- SZÁNTÓ F. (1995): A kolloidika alapjai, JATE Press, Szeged, pp. 54-61., 86-91.
- TOMBÁ CZ E., LÁMFALUSI E., SZEKERES M. & MICHÉLI E. (1996): Humuszanyagok hatása a talajok felületi tulajdonságaira. *Agrokémia és Talajtan*, 45(3-4): 238-248.
- VALSARAJ K. T. (1995): Elements of environmental engineering-thermodynamics and kinetics, Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 178-179.
- WEBER W. J. JR., MCGINLEY P. M. & KATZ L. E. (1991): Sorption phenomena in subsurface systems: concepts, models and effects on contaminant fate and transport. *Water Research* 25(5): 499-528.
- WEBER W. J. JR., MCGINLEY P. M. & KATZ L. E. (1992): Distributed reactivity model for sorption by soils and sediments, *Environmental Science & Technology*, 26(10): 1955-1962.

Deformáció és feszültségeloszlás mérésének új lehetőségei az iparban hordozható digitál-holografikus mérőkamerával

Borbély Venczel^a, Kiss Tamás Rafael^a, Szigethy András^a, Gyimesi Ferenc^b

^a TECHNOORG LINDA Tudományos Műszaki Fejlesztő Kft., H-1044 Budapest, Ipari Park u. 10.
bvenczy@gmail.com

^b HOLOMETROX Holografikus Méréstechnika Kft., H-2131 Göd, Körös u. 17.

Borbély V., Kiss T. R., Szigethy A., Gyimesi F. (2016): Deformáció és feszültségeloszlás mérésének új lehetőségei az iparban hordozható digitál-holografikus mérőkamerával. New measurement possibilities of deformation and stress distributions by portable digital-holographic gauge camera. Acta Pintériana, 2, 23-37.

A holografikus interferometria felületi elmozdulások vizsgálatára alkalmazható mérési eljárás. Ipari elterjedését a hagyományos, speciális körülményeket igénylő holografikus képrögzítési és rekonstruálási technológia hátráltatta. Jó felbontású digitális érzékelők elterjedésével, holografikus igényeknek megfelelő kisméretű lézerek megjelenésével, illetve nagy sebességű számítógépek segítségével a holografikus mérés technika jelentős teret nyerhet a különböző ipari mérésekben. Az itt bemutatásra kerülő, teljes mértékben magyar fejlesztésű Lézer-SÓLYOMSZEM (L-Ssz) digitál-holografikus kamera deformációt és feszültséget mérő holografikus interferometriai készülék, amely hordozható kivitelű, bel- és kültéri mérésekre egyaránt alkalmas – így számtalan területen bevethető az ipar különleges igényeinek megfelelően. A mérőkamera alkalmazási lehetőségeit, a teljesség igénye nélkül, egy tucat mérési lehetőséget keresztül ismertetjük.

Bevezetés

A L-Ssz mérőkamera hologramok segítségével dolgozik. A hologram készítésének elvi vázlatát az **1. ábrán** láthatjuk.

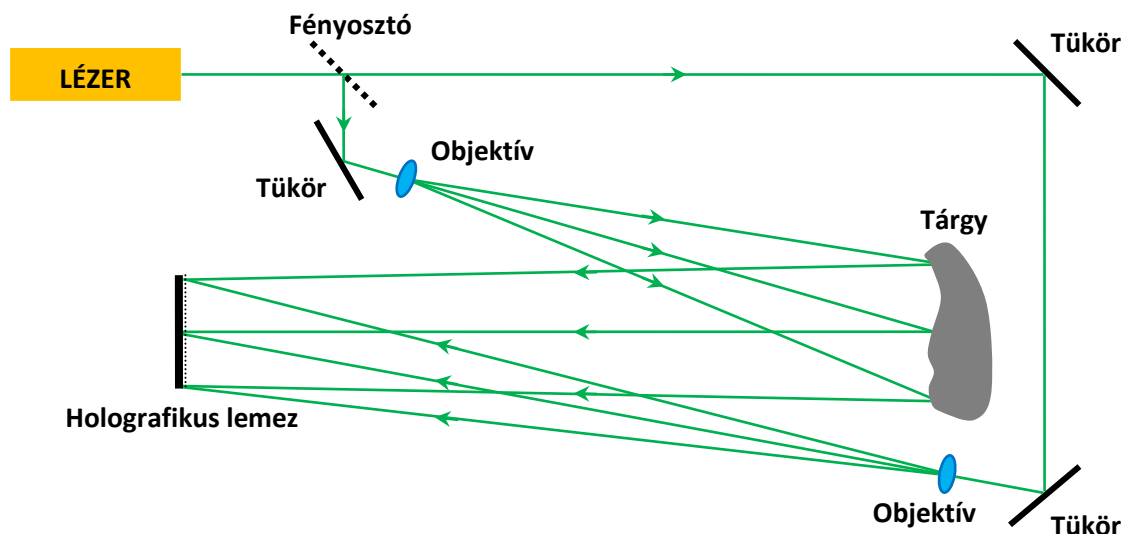
A lézerből érkező nyalábot egy fényszórtó segítségével kétfelé osztjuk. Az egyik nyaláb objektíven áthaladva megvilágítja a tárgyat, a másik az ú.n. referencianyaláb. A tárgyról visszaverődő fény a referencianyalábbal találkozáva létrehoz egy interferenciaképet. Az interferenciaképet az érzékelővel (holografikus lemez vagy CCD) rögzítve kapjuk a hologramot.

A holografikus interferometria (HI) a holográfia mérés technikai alkalmazása. Nagy érzékenységevel tized mikrométeres tartományba eső alakváltozások vizsgálhatók akár a vizsgált tárgy teljes felületén egyidejűleg. Érintésmentességének köszönhetően a roncsolásmentes diagnosztikai eljárások közé sorolják.

A mérési módszer a vizsgált tárgy két állapotának összehasonlításán alapszik. Először holografikus felvétel készül a tárgy alapállapotáról, majd valamilyen úton deformáljuk, illetve önmaga deformálódhat, és ezt követően készül a második felvétel.

Az analóg HI-ban e második felvétel ugyanarra a holografikus lemezre készült. A vegyi előhívást követően a hologramot felvételi helyére visszatéve láthatóvá vált a két állapot közötti eltérés az alap- és a deformált állapotot rögzítő hullámok interferenciájaként, a deformációra jellemző

interferometrikus csíkkrendszer segítségével, mint térképen a szintvonalak. A gyakorlatban néhány másodpercig tartó felvételek készítéséhez rezgés- és légáramlatoktól mentes, sötétíthető környezetre volt szükség.



1. ábra. A hologram készítésének elvi vázlata
Figure 1. Theoretical arrangement for recording holograms

Az analóg holográfiát alkalmazó interferométerek speciális igényei hátráltatták a mérés technika széleskörű ipari alkalmazásának elterjedését. Laboratóriumi szinten a HI mérési módszerek több mint ötven éve általánosan ismertek, elfogadottak, de kereskedelmi eszközként – laboratóriumi sikereik ellenére – mérsékelten terjedtek el. A HI első hazai sikerét fémjelzi a BME Fizika Tanszék Koherens Optikai Laboratóriumában 1975 és 1985 között kifejlesztett HIM-3 elnevezésű hordozható holografikus interferometriai mérőrendszer, amelyet 3D-s deformáció- és rezgésvizsgálatra használtak ipari körülmények között (FÜZESSY et al. 1983).

Nagy felbontású digitális érzékelők elterjedésével lehetőség nyílik, hogy a hologramokat számítógépen rögzítsük milli- vagy mikroszekundumos expozíciós idővel. Az egyre nagyobb számolási kapacitással rendelkező számítógépek másodpercek alatt több hologram interferogramját képesek előállítani, modellezve a fény terjedését és rekonstruálva a tárgy különböző állapotainak hologramját. Az interferogramok gyors előállítása és könnyen kezelhetősége mellett óriási előnye a digitális holográfiának, hogy számolások útján a fény fázisa által hordozott információ is numerikusan elérhető, megjeleníthető. Mindezeket egybevéve, lehetővé válik, hogy kevésbé speciális körülmények között is mérni lehessen.

2009-ben indult el az itt bemutatandó Lézer-SÓLYOMSZEM (L-Ssz) digitál-holografikus mérőkamera fejlesztése a TECHNOORG LINDA Tudományos Műszaki Fejlesztő Kft.-ben (GYÍMESI et al. 2009, GYÍMESI et al. 2010, FÜZESSY et al. 2012, GYÍMESI et al. 2013, KATULA et al. 2015, DOBRÁNSZKY et al. 2015, GYÍMESI et al. 2016a, 2016b, 2016c.), amely már digitális alapokon áll, s bár különleges, egyedi alkalmazási irányoknak is megfelelő fejlesztése folytatódik (a TECHNOORG LINDA Kft. és a HOLOMETROX Holografikus Mérés Technika Kft. együttműködésével), jelenlegi formájában már készen áll az ipar által igényelt kihívásokra.

Az alábbiakban a L-Ssz mérőkamerát és alkalmazási lehetőségeit mutatjuk be egy tucat tipikus alkalmazási mintapéldán, melyeket a L-Ssz holokamera eddigi sikeres félszáz alkalmazásából válogattunk ki.

A L-Ssz digitál-holografikus mérőkamera

A L-Ssz a vizsgált tárgyfelület pontjainak elmozdulását méri holografikus úton, három irányban, szubmikrométeres pontossággal. Mérési érzékenysége alapesetben $0,1 \mu\text{m}$, felső méréshatára $10 \mu\text{m}$. A mérés látótere alapesetben $30 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, térbeli felbontóképessége $0,05 \text{ mm}$. Minden alapparamétere, igény esetén, jelentősen növelhető: érzékenysége kb. $0,01 \mu\text{m}$ -ig, felső méréshatára kb. $500 \mu\text{m}$ -ig, látótere kb. 5-szörösére, térbeli felbontóképessége kb. $0,005 \text{ mm}$ -ig.

A L-Ssz holokamera az igényeknek megfelelően alkalmazkodik a különböző jellegű mérésekhez. A tárgybefogások, illetve a mérési körülmények határozzák meg, hogy a L-Ssz holokamera milyen helyzetében van a tárgy, illetve a vele szemben lévő érzékelő. A **2.a. ábrán** olyan változatát látjuk, ahol a mérőkamera érzékelője lefele néz és a lábakon fekvő sík felületre helyezett asztalon rögzítjük a tárgyat. Ez a megoldás kb. $500 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ méretű tetszőleges jellegű tárgyak vizsgálatára ad lehetőséget jelenlegi felépítésben. A **2.b. ábrán** látható megvalósításban a L-Ssz holokamera érzékelője felfelé néz és a tárgyat három pontra helyezzük a berendezés fölé. Ezáltal a méretnövekedésből adódó, érzékelő irányú alakváltozások minimalizálhatók és csak a mérni kívánt deformációk kerülnek előtérbe. Ez a megoldás kiválóan alkalmas nem túl nagyméretű nyomástartó edények vizsgálatára, ahol a nyomásnövekedés okozta alakváltozás nemkívánatos elmozdulásai jelentősen befolyásolnák a vizsgálni kívánt, sok esetben jóval kisebb elmozdulással járó valós deformációt. Függőleges felületű tárgyak mérésére a L-Ssz holokamera vízszintes állásban is használható. Ennek egyik megvalósítása látható a **2.c. ábrán**, ahol a berendezés a vizsgált tárgyat tartó eszközre van rászerezve. Különösen nagy tárgyak esetén (pl. óriási tartály) a különálló L-Ssz holokamera használható (**2.d. ábra**), de akár miniatürizált változata is megvalósítható, ahol maga a mérőkamera kapcsolódik rá tárgyra.

A L-Ssz holokamera általános alkalmazási lehetőségei

A L-Ssz holokamera alkalmazási lehetőségei két nagy csoportba sorolhatók: deformáció vizsgálata, illetve feszültségeloszlás mérése, utóbbihoz felhasználva a diagnosztikai lyukfúrás következtében felszabaduló feszültség okozta elmozdulásmezőt.

A deformáció vizsgálatánál közvetlenül a vizsgált tárgy alakváltozásának, illetve a belőle közvetlenül számolható mennyiségek mérése a cél.

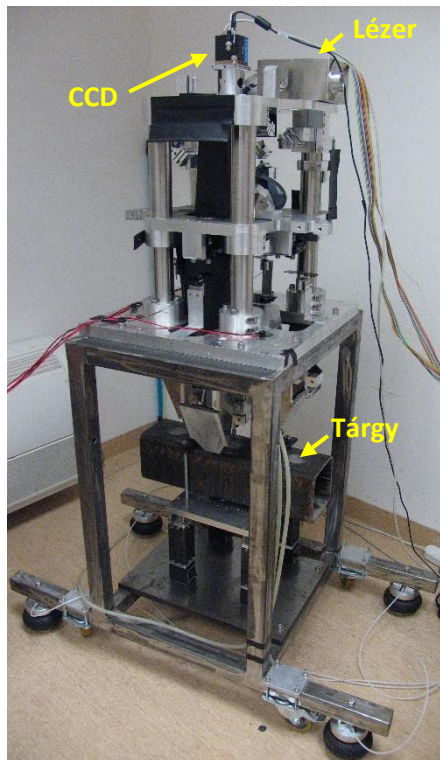
A L-Ssz holokamerával különböző alapanyagok, valamint késztermékek terhelésmentes eldeformálódása (öregedés, fáradás stb.), illetve megmunkálásukkor, a járulékos terhelés következtében (megfogás, befogás, összepréselés stb.) jelentkező deformációk vizsgálhatók. A deformálódás időbeli lefolyása is követhető több lépésben (pl. zsugorodás, duzzadás stb.).

Megfelelő operatív terhelés alkalmazásával kritikus pontok keresése és minősítése, a homogenitás-inhomogenitás ellenőrzése, illetve a terhelés időbeli követése (pl. kúszás) válik lehetővé. Ugyanakkor a terhelésátadás megfelelősége is ellenőrizhető szabad, kötéses, illetve áttételes, illesztő réteges érintkezéseknél. A terhelhetőség és a terhelésátadás deformációs feszültségváltozás alapján is megadható.

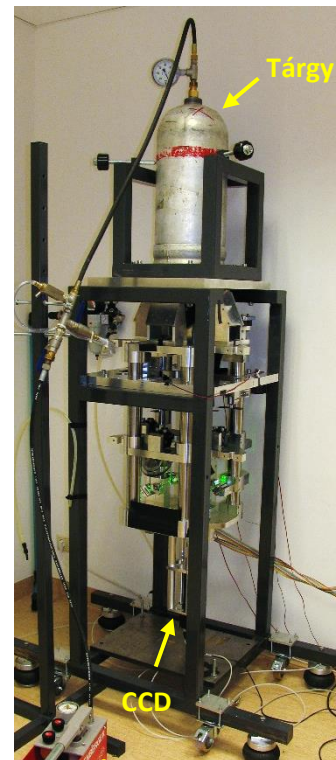
Különböző teszt-terhelések alkalmazásával nem látható szerkezeti és anyaghibák, kötési hibák mutathatók ki, repedések viselkedése követhető.

A feszültségeloszlás vizsgálata speciális terhelés alkalmazásával valósítható meg: a vizsgált anyagba diagnosztikai lyukat fúrva a furat a tárgyban lévő feszültség hatására deformálódik. Ebből a deformációból adható meg a tárgyban lévő feszültség. Ez a módszer részben-roncsolásmentes technológiának tekinthető a HI szemszögéből. A mérőbéllyeges feszültségmérési eljárásához

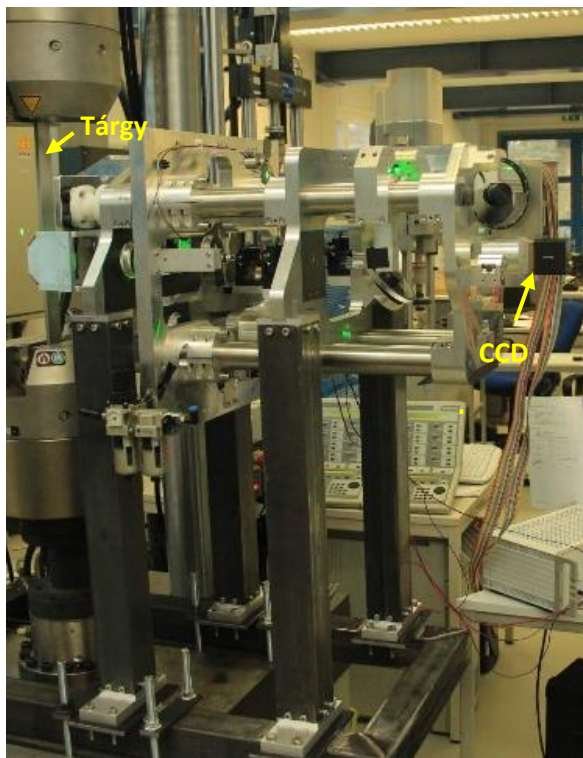
viszonyítva sokkal gyorsabb, speciális fogyóeszközt, illetve sima felületet nem igénylő, a vizsgálati terület minden pontját egyidejűleg mérő eljárás bármilyen anyagú, illetve alakú tárgyon. Továbbá, a tárgy több pontban való egymás utáni, pásztázó mérésére is felhasználható, valós feszültségeloszlást megjelenítve rajta.



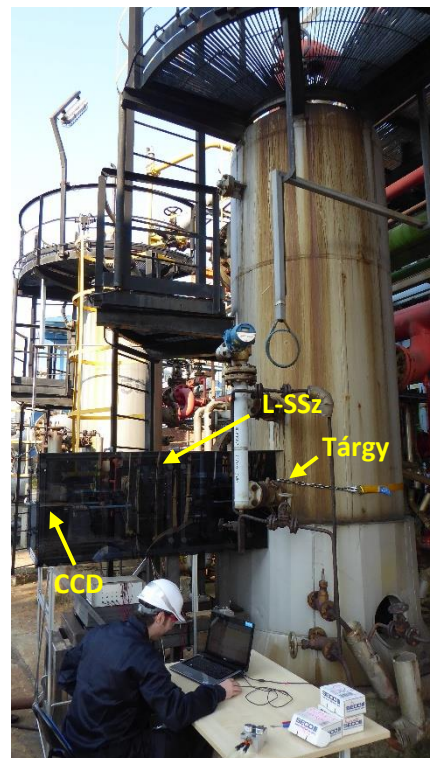
a.



b.



c.



d.

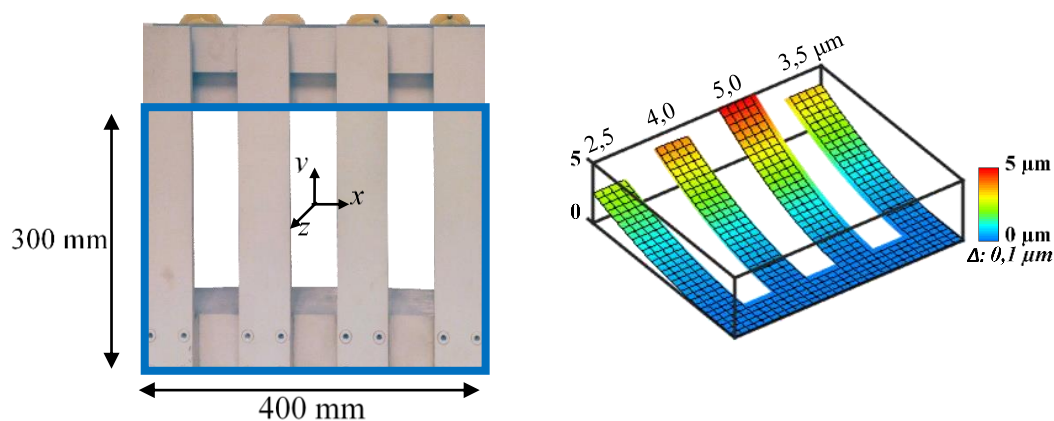
2. ábra. A L-Ssz holografikus mérőkamera hardveres megvalósulásai
Figure 2. Hardware realisations of L-Ssz holographic gauge camera

A maradó, illetve az aktuálisan bevitt feszültség kimutatása késztermékekben, megmunkálást követően vagy a különböző módon előkészített alapanyagokban az egyik, és sok esetben az egyetlen vizsgálati lehetőség. Megfelelő teszt-terheléssel szerkezeti és anyaghibák, kritikus pontok, illesztések közötti rendellenességek, illetve homogenitás-inhomogenitás vizsgálható a feszültségeloszlás alapján.

Tipikus alkalmazási mintapéldák

Az alábbiakban néhány tipikus alkalmazási lehetőséget mutatunk be. A több mint 50 sikeresen végrehajtott mérésből elsősorban azokat a méréseket ismertetjük, amelyek a mérőkamera sokszínűségét, különleges, egyedi mérési lehetőségeit tükrözik: nagyméretű és kisméretű érdekes tárgyak, folyamatok időbeli követése, méréshatárt meghaladó elmozdulások, szokatlan körülmények.

A **3. ábrán** nagyméretű (300 mm × 400 mm) modelltárgy négy konzolgerendájának síkra merőleges deformációját látjuk. A konzolgerendákat különböző módon terheltük mikrométer orsókkal. A L-Ssz holokamerával mért deformáció a mikrométerorsó segítségével ellenőrizhető, validálható. Azonos nagyságú terhelést alkalmazva lehetőség nyílik arra, hogy az egyes konzolgerendákat összehasonlítsuk, ezáltal eltéréseiket, kritikus pontjaikat kimutassuk.



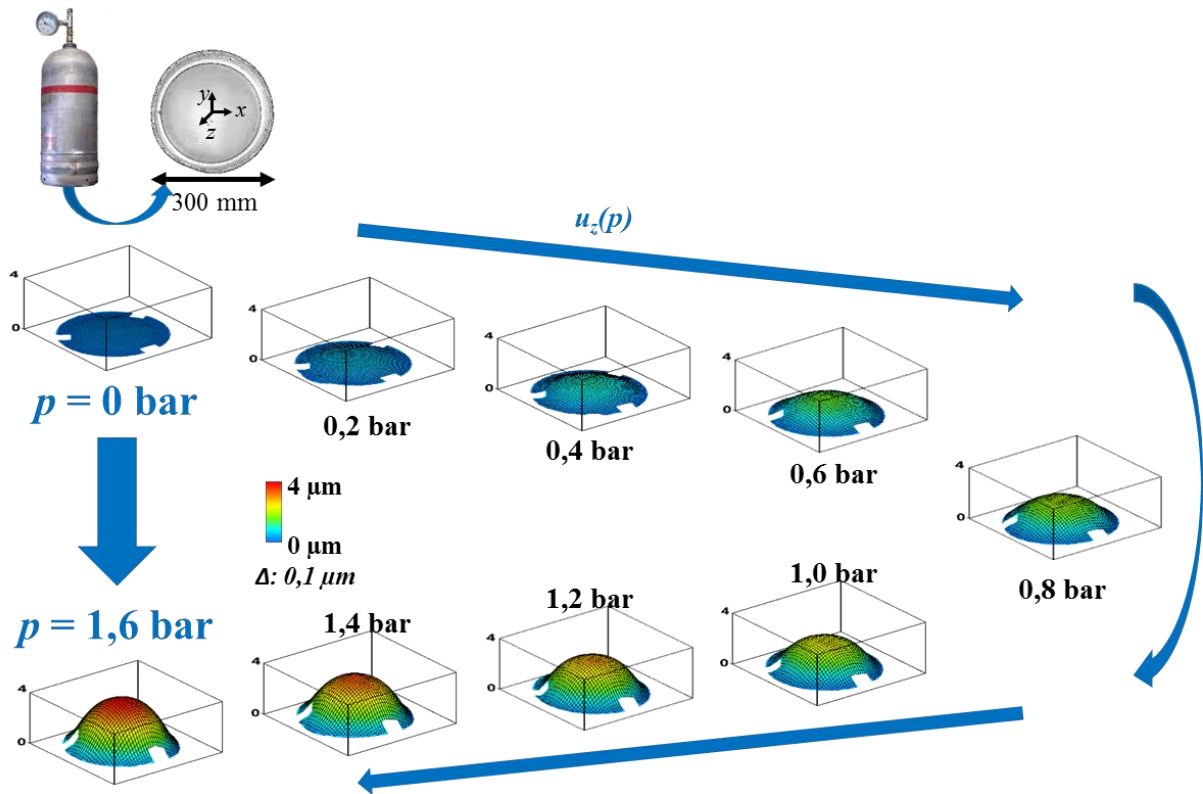
3. ábra. Konzolgerendák deformációja mikrométerorsóval (tetején) végzett különböző nagyságú terhelések hatására

Figure 3. Deformations of cantilever beams performed by micrometer srew (at top) with different loads

A **4. ábrán** gázpalack fenék felületre merőleges deformációjának követését láthatjuk növekvő nyomás hatására. A teljes felület mérése a palack fenék alakváltozásának egyidejű vizsgálatát teszi lehetővé. Egyre nagyobb nyomás hatására eltérően viselkedő kritikus pontok, anyaghibák mutathatók ki.

A palack belsejében kialakult, illetve esetünkben további szimulált korróziós hibák kívülről lokalizálhatók a mérőkamerával (**5. ábra**). Az eltérő átmérőjű és mélységű vakfuratok különböző lehetséges korróziós hibákat képviselnek. Megfigyelhető, hogy a palackban növelt nyomás hatására a palack fenekén, az idő során korrózió útján képződő falvastagság csökkenés (x-szel jelölt) már kis, szokásos töltési nyomáson (kb. 5 bar) is megjelenik. A legkisebb, 2 mm átmérőjű, 1 mm mély szimulált korróziós lyuk viszont csak nagy, nyomáspróbánál alkalmazott nyomásnál (20 bar) válik láthatóvá. A kis lyukak láthatóvá tételéhez a deformált hibákat tartalmazó felületből (bal oldali oszlop) kivontunk egy virtuális felületet és azok különbségét jelenítettük meg (jobb oldali oszlop). A virtuális felület a mért felületre illesztett speciális polinom, amely a kisméretű lokális hibákat nem képes

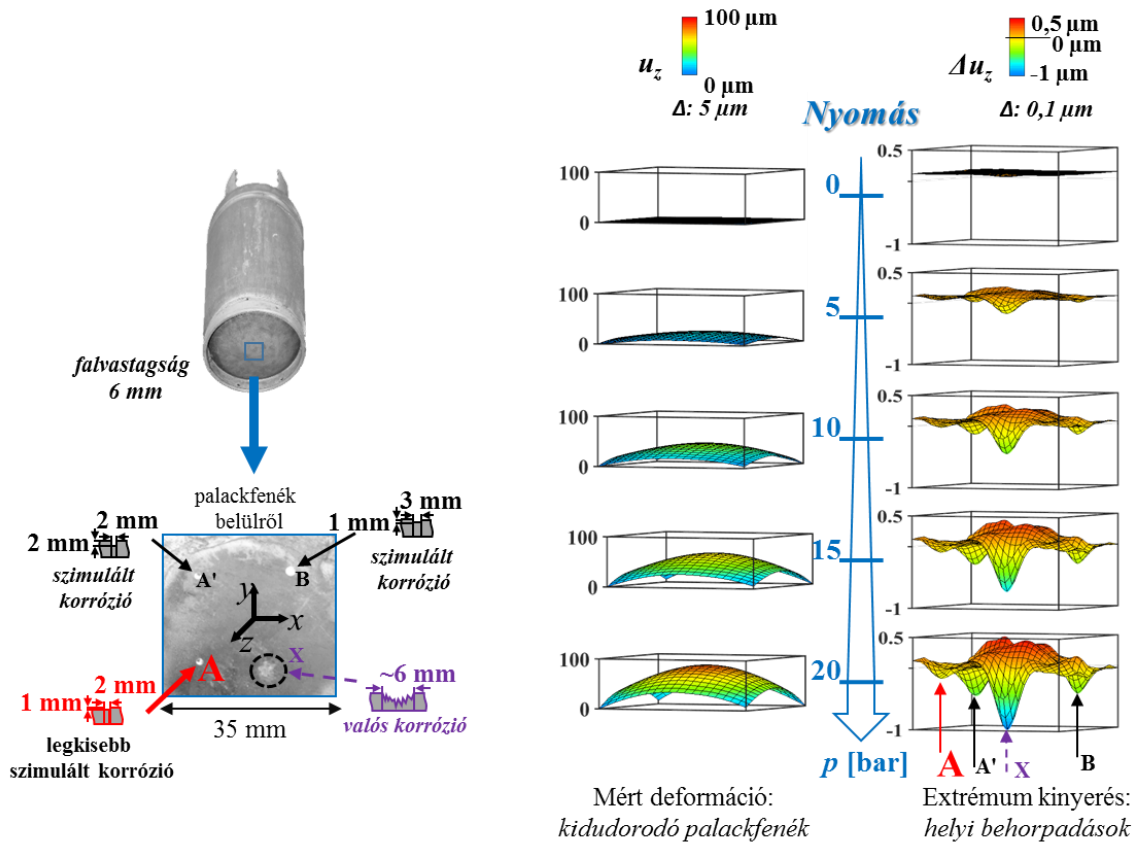
követni, így nem tartalmazza őket. Ezt a folyamatot „extrémum kinyerésnek” nevezzük. A teljes mérést 40 lépésben végeztük, egyrészt a folyamatos végigkövetés miatt, másrészt az egyes lépéseken kialakuló sűrű csíkrendszerek elérték a digitális holografikus interferometria felső méréshatárát. Ezáltal az egy lépésre jellemző néhány mikrométeres méréshatárt terjesztettük ki közel 50-szeresen.



4. ábra. A teljes gázpalack fenék deformációjának követése a nyomásnövekedés függvényében
 Figure 4. The complete deformation process of bulging of a pressure vessel bottom

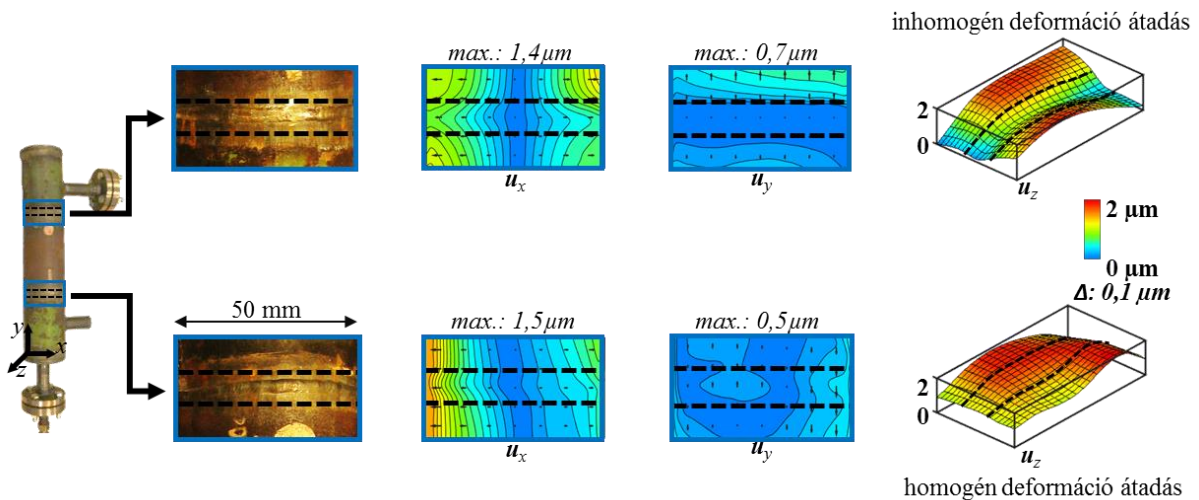
A 6. ábrán belső nyomással rendelkező nyomáscső részeinek összeillesztésekor alkalmazott különböző minőségű hegesztési varratok viselkedését látjuk. Az alsó varratnál a hegesztésre kerülő részek megfelelően elő voltak készítve, a felső varrattal egyszerűen csak összehegesztették a két részt. Az ábrán mindhárom irányú elmozduláskomponens (u_x , u_y , u_z) megfigyelhető. Az alsó varrat mérési eredményeiből kiderül, hogy a varrat a környezetéhez hasonló módon deformálódik. A felső varrat síkbeli komponenseiből (u_x és u_y) látható, hogy a varrat kevésbé deformálódik, mint a környezete, és a síkra merőleges u_z komponens látványosan meg is jeleníti ezt: öv-szerűen belevág a felfúvódó csőbe. A méréssel hegesztési varratok minősíthetők, ugyanis a rossz hegesztési varratok a többszöri deformálás hatására könnyebben eltörnek, szétválnak, mivel kevésbé rugalmasak. Ez a minősítési módszer egyedi, mivel a kötések vizsgálatára a terhelésátvitel a legmeggyőzőbb lehetőség, mégis hiányzik a hegesztési varratok ellenőrzésének eszköztárából.

Egymással érintkező felületek terhelésátvitelét figyelhető meg a 7. ábrán. A gömbkülső-kúpbelső megoldás flexibilis, önbeállító terhelési módot biztosít különböző precíz terheléseknél. A kúpbelst tartalmazó közelem síkfelületű próbatesthez csatlakozik a kúpbelstvel átellenes oldalon. A mérési eredmények azt mutatják, hogy a terhelésátvitel is nemkívánatos eldeformálódásokkal jár. A közelem közel $2 \mu\text{m}$ -t kipúposodott, a szélein is $0,5\text{-}1 \mu\text{m}$ -t elhajlott, a síkfelülettel érintkező felülete is meggömbült. A mérés pontosan megtervezett precíziós terhelések ellenőrzésére, követésére használható.



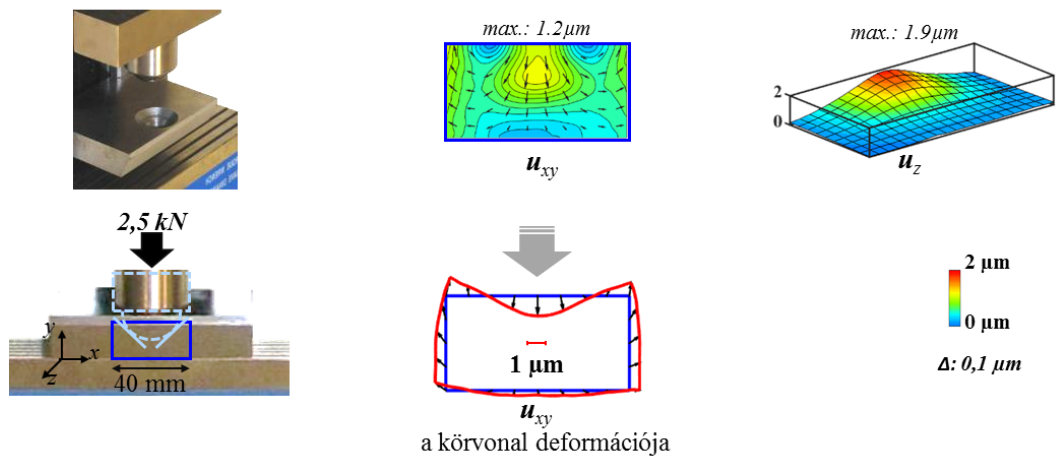
5. ábra. Palack alakváltozása extra nagy nyomás hatására és a kis deformációk kinyerése a belső falvastagság hibák kimutatására

Figure 5. Monitoring of extra-large pressure deformation and extraction of tiny deformation extrema on it at corroded pressure vessel bottom



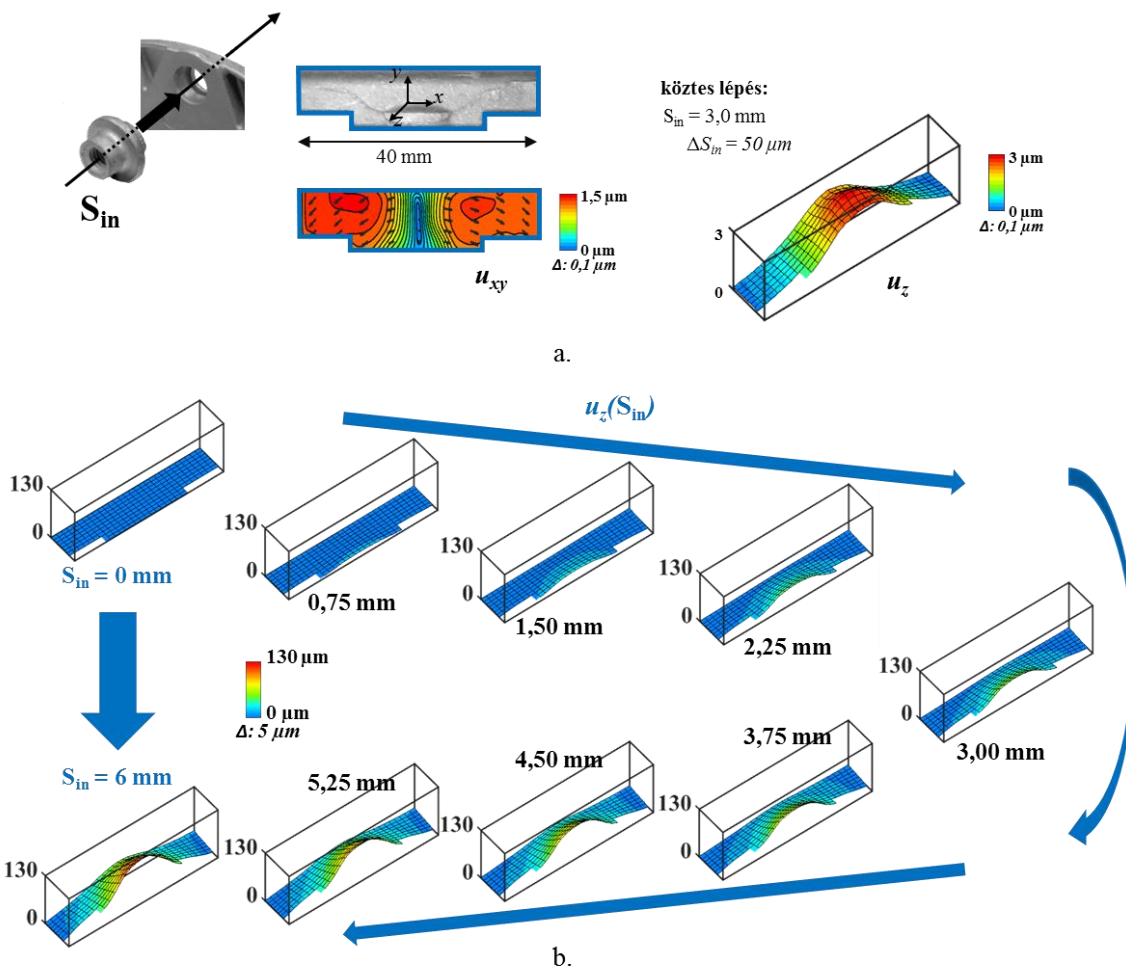
6. ábra. Különböző minőségű hegesztési varratok összehasonlítása környezetükkel és egymással minősítés céljából

Figure 6. Deformation of different welds for comparison with surroundings to control their deformation transfer property



7. ábra. Önbeállító terhelésátadó rendszer fogadó elemének deformációja gömbkülső-kúpbelso felületek érintkezésénél.

Figure 7. The deformation of the receiving element of the self-adjusting load-transfer system at the contact of outer spherical and inner conical surfaces

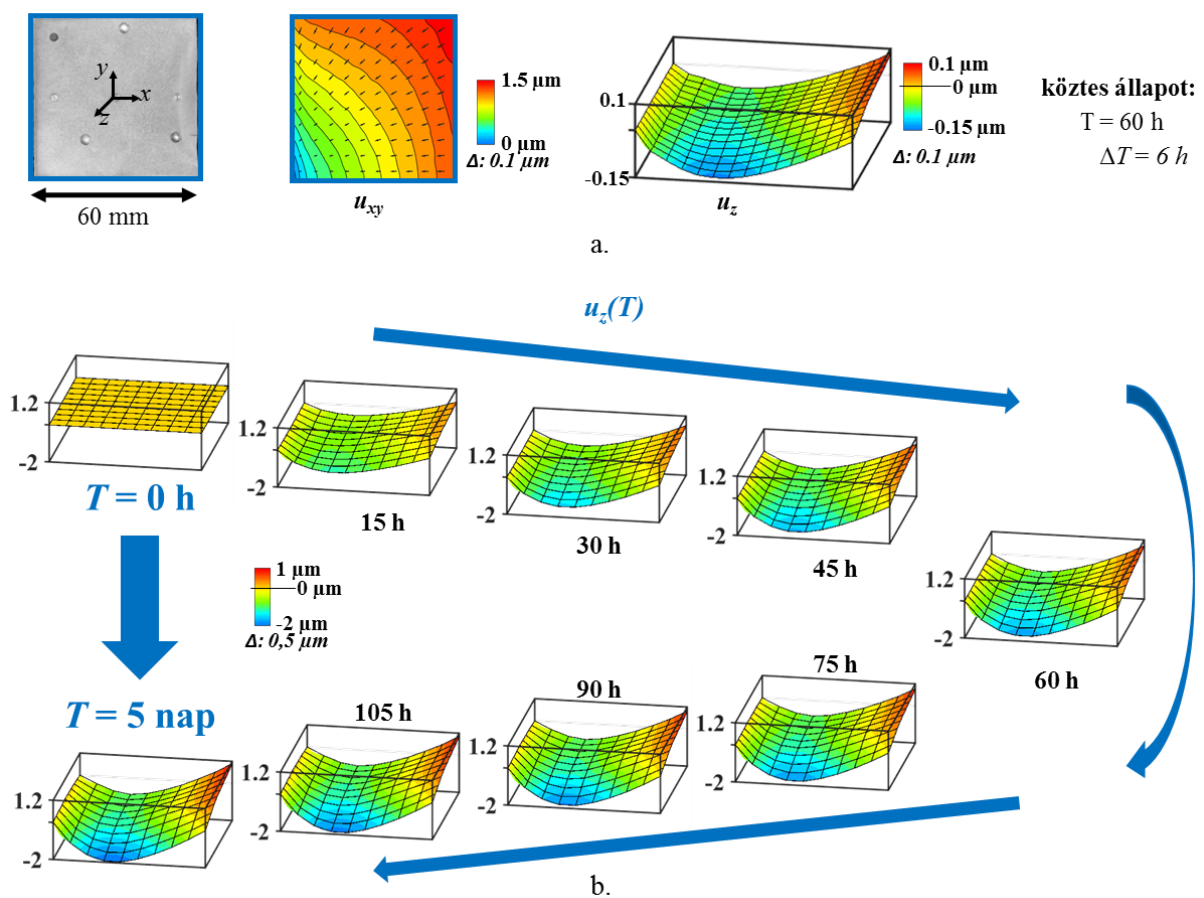


8. ábra. Alumínium dugattyú és hüvely összepréselése során létrejövő deformáció egy köztes lépésben (a.) és a teljes összepréselési folyamat során (b.).

Figure 8. The deformation of pressing of aluminum sleeve and a steel pin into each other: an intermediate step (a.) and the complete deformation process (b.)

Hosszabb ideig tartó folyamatok monitorozása fontos lehet különböző munkafázisok követésénél. A **8.a. ábrán** bal oldalt felül látható hüvelybe egy lépésben belepréselt dugattyú egyszerre túl nagy terhelést jelenthet a lyuk környezetének, a lyuk széle eltörhet, elrepedhet. Az 50 lépésben végigkövetett fokozatos benyomással a folyamat részleteiben vizsgálható. A **8.a. ábrán** egy köztes lépés deformációjának síkbeli (u_{xy}), illetve síkra merőleges komponensét (u_z) láthatjuk. Megfigyelhető, hogy a várt síkra merőleges kidudorodás mellett síkban a tárgy benyomódik, és szélein kissé visszahajlik. A **8.b. ábrán** a teljes deformáció filmszerű követésének néhány kiragadott lépését láthatjuk az u_z komponens esetén.

Hasonlóan több lépésben végigkövethető különböző, már megszilárdult öntvények alakváltozása kiöntés után. A **9.a. ábrán** fröccsöntött műanyag lapka zsugorodása közben kiragadott köztes állapot síkbeli (u_{xy}) és síkra merőleges deformációs komponense (u_z) figyelhető meg. A **9.b. ábrán** a teljes, 150 lépésben, 5 nap alatt rögzített zsugorodási folyamat követhető végig néhány kiragadott állapot síkra merőleges komponense segítségével. Látható, hogy a lapka zsugorodás közben még el is görbült.

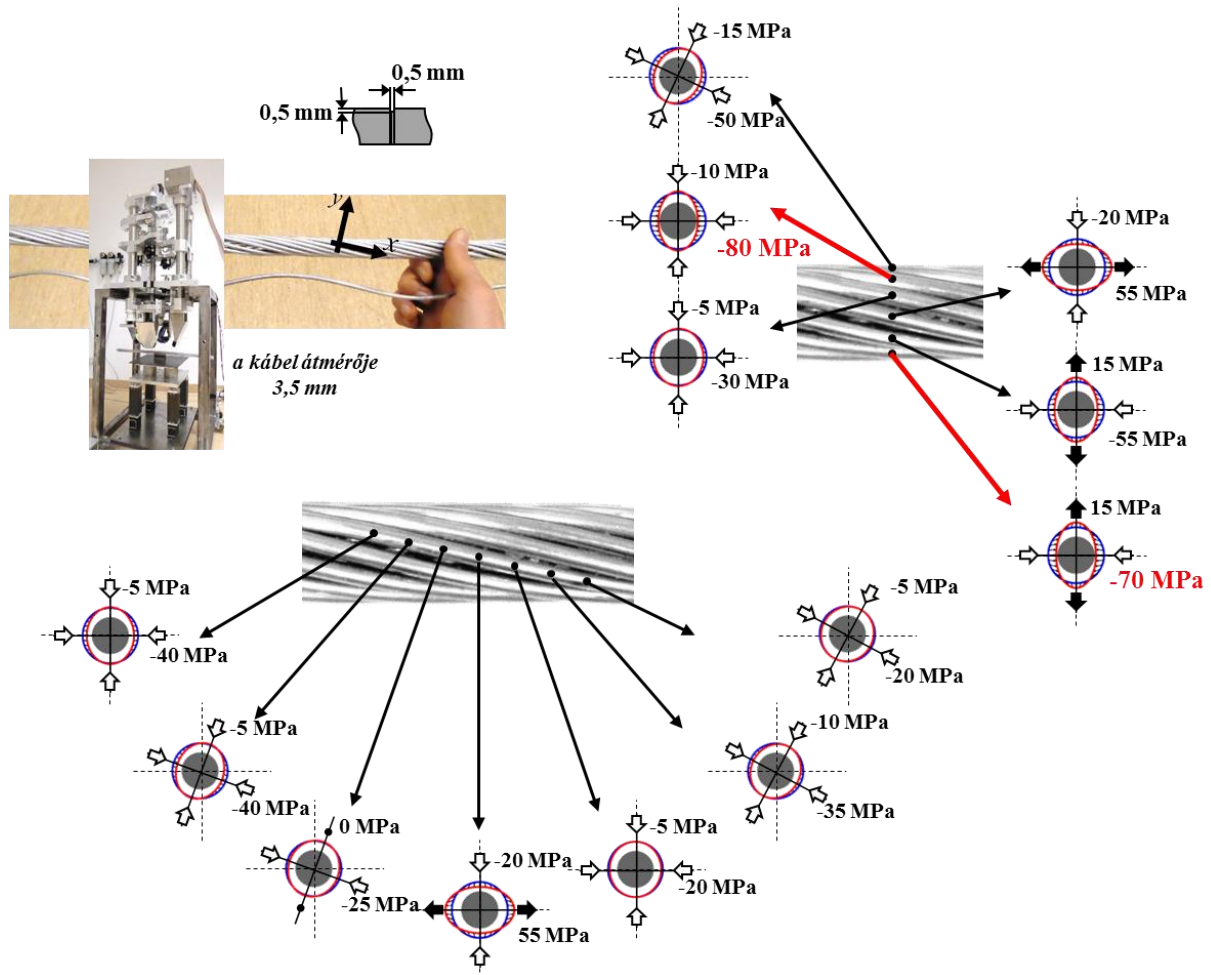


9. ábra. Fröccsöntött műanyag lapka zsugorodása során létrejövő deformáció egy köztes állapotban (a.) és a teljes zsugorodási folyamat során (b.).

Figure 9. The deformation of self-shrinkage of injection molded plastic plate: an intermediate step (a.) and the complete deformation process (b.)

Feszültségeloszlás mérésére is számtalan lehetőség kínálkozik az iparban. A **10. ábrán** összecsavart kábelköteg egyes, kívül lévő szálaiban mért maradó feszültséget (jobb oldalt), illetve egy szálaban megvizsgált maradó feszültségeloszlást láthatjuk (alul). A feszültségméréshez fúrt lyuk deformálódásából meghatározhatók a fő feszültségirányok és nagyságok. Az értékek kiszámolásához a furat körül felvett mérőkör (kék színnel jelölt kör) eldeformálódását (piros színnel jelölt

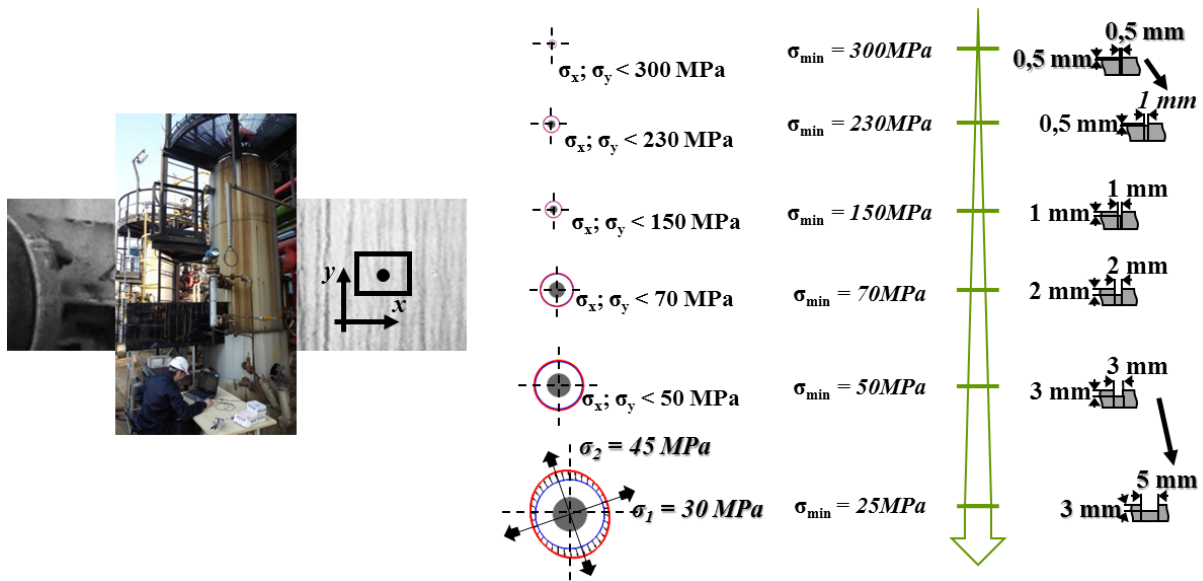
eldeformálódott kör) alkalmazzuk. A mérés felhasználható arra, hogy megjósoljuk a kábel elvágásakor bekövetkező elhajlási tendenciákat. Összességében kismértékű feszültség figyelhető meg a szálakban, illetve a kiválasztott szál mentén. Néhány szálban nagyobb feszültségérték is látható pirossal kiemelve. A vizsgált tárgy kis mérete miatt kis átmérőjű, illetve mélységű diagnosztikai furatot igényelt. Az alkalmazott 0,5 mm átmérőjű és 0,5 mm mélységű furat egyébként alig látható, nem okoz jelentős károsodást még az ilyen kisméretű tárgyakban sem, vagyis a módszer tekinthető részben roncsolás-mentesnek.



10. ábra. Összecsavart kábel egyes külső szálaiban (jobb oldalt fent), illetve egy szálban (alul) mért feszültségértékek és irányok.

Figure 10. Residual stress in wires of twisted multicore aluminum cable: in different wires (right above) and in one wire (below).

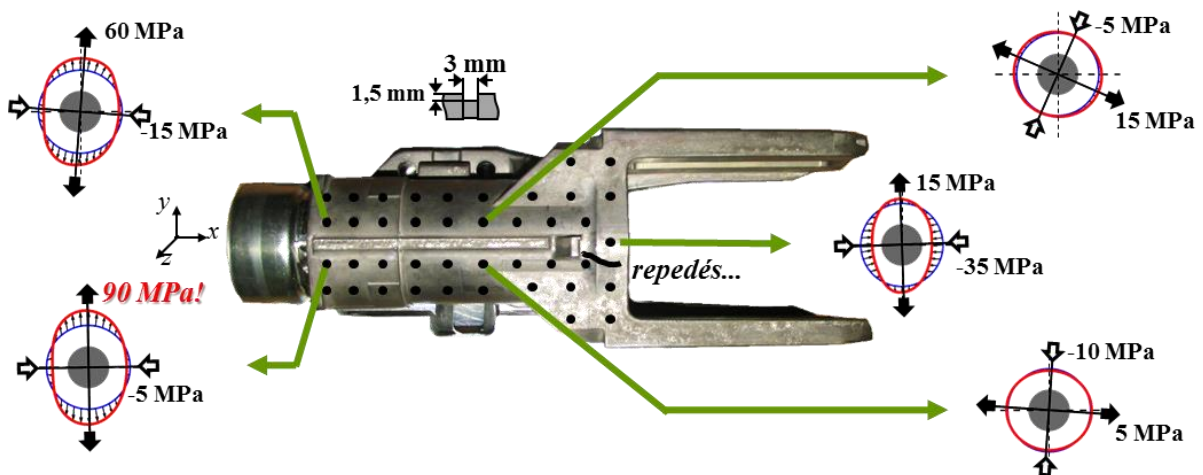
A **11. ábrán** hosszú ideje használaton kívüli nyomástartályban mért maradó feszültséget láthatjuk. Ez esetben a legkisebb furatátmérőről és mélységről indulva mindkét paramétert egyre növelve vizsgáltuk a feszültséget, felügyelve a deformációs választ. Az első értékelhető deformációs válasznál a lyukfúrással leálltunk. Ezt az eljárást kontrollált és minimalizált lyukfúrási módszernek nevezzük. Ezáltal a diagnosztikai furat által okozott kárt lehet minimalizálni. Amint látható, a szükséges 30-45 MPa kimutatására 5 mm átmérőjű furatra volt szükség. 300 MPa-os veszélyesen nagy feszültség egyébként már 0,5 mm átmérőjű diagnosztikai lyukkal is láthatóvá tehető. A mérés további érdekessége, hogy egy telephelyen, szabad ég alatt végeztük, vagyis a L-Ssz mérőkamera nomád körülmények között, szinte bárhol használható, nem igényel laboratóriumi, ideális körülményeket.



11. ábra. Maradó feszültség régen használt nyomástartályban kontrollált és minimalizált lyukfúrási módszerrel: fokozatosan növekvő mélységű és átmérőjű furattal.

Figure 11. Residual stress in pressure vessel (after long term use): measured with controlled and minimized incremental blind-hole-drilling.

A 12. ábra összepréselt kormányhüvely néhány tetszőlegesen kiválasztott pontján mérhető feszültségértékeket mutatja. A mérési eredmények azt tükrözik, hogy a hüvely közepe táján alig van feszültség. Ezt támasztja alá a két kiválasztott középső pont feszültségértéke és iránya. A jobb oldalon látható repedés valószínűleg nagy feszültség miatt jött létre, felszabadítva az ott lévő feszültség jelentős részét, de a mellé fűrt diagnosztikai lyuk még minimális feszültségről árulkodik. A bal oldali részen szintén nagy feszültségeket mértünk, tehát ott repedés várható. A 12. ábrán a digitális holografikus interferometriával megvalósított feszültségmérés egyik előnyét is láthatjuk: teljes feszültség-eloszlási térkép készíthető, ha adott távolságokban végigpásztázzuk a rendelkezésre álló felületet.

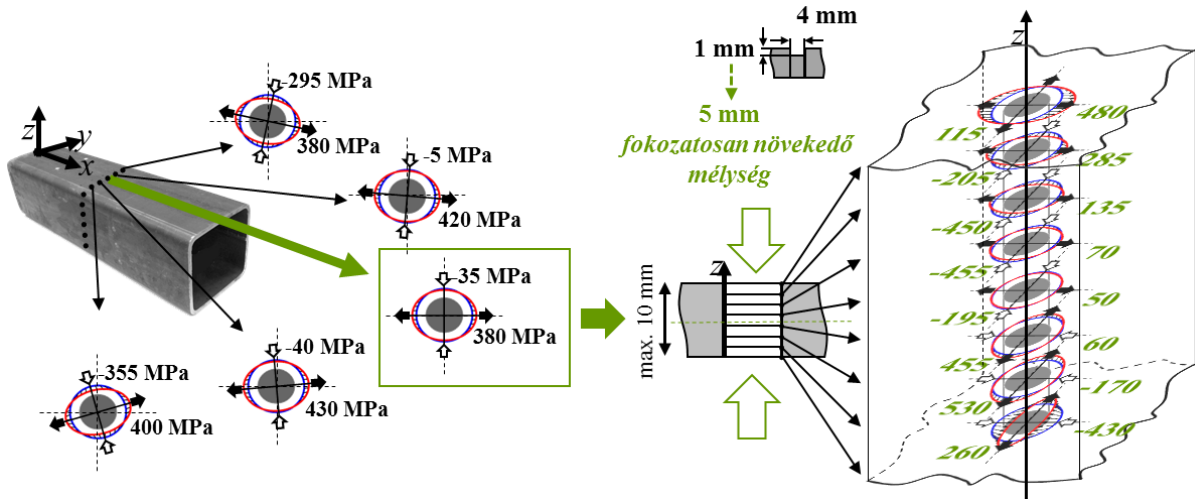


12. ábra. Feszültségeloszlás összepréselt kormányhüvely néhány kiválasztott pontjában.

Figure 12. Stress distribution at few points of a compressed steering bush.

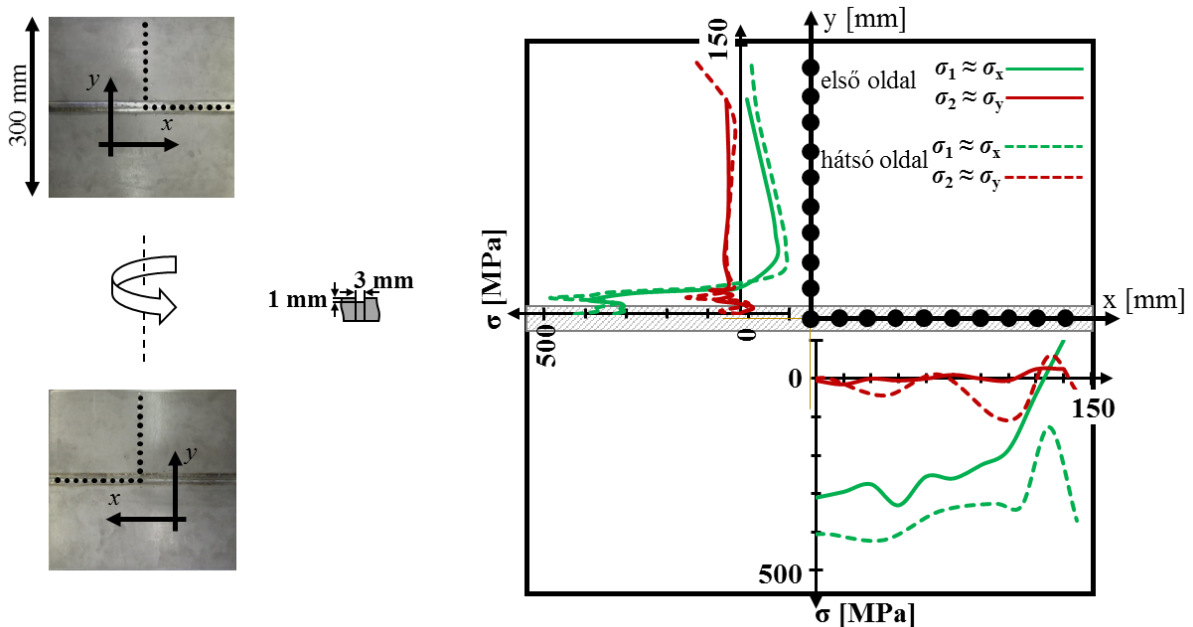
A 13. ábra hegesztett zártszelvény feszültségeloszlását szemlélteti nagyság és irány szerint egy vonal mentén (bal oldalt), illetve mélységben (jobb oldalt). A vonal menti eloszlásnál középre szimmetrikus feszültségi irányelfordulás tapasztalható. A mélységi vizsgálatoknál fokozatosan

növeltük a diagnosztikai furat mélységét a falvastagság közepéig, majd szemből fűrtünk szintén a közepéig. A felületre kivetített hosszanti (x) irányú feszültség értéke csökken a falvastagság közepéig, és teljes átfúrást vizsgálva a feszültség iránya megfordul. Ez a mérés a L-Ssz mérőkamera egy újabb extra tulajdonságát igazolja: mélységi feszültségeloszlás is vizsgálható vele.



13. ábra. A maradó feszültség eloszlása egy vonal mentén (bal oldalt), illetve mélységben (két oldalról, jobb oldalt) hegesztett zártszelvényben

Figure 13. Residual stress distribution in welded hollow section along a contour-line (left) and through full depth (right, from two sides)

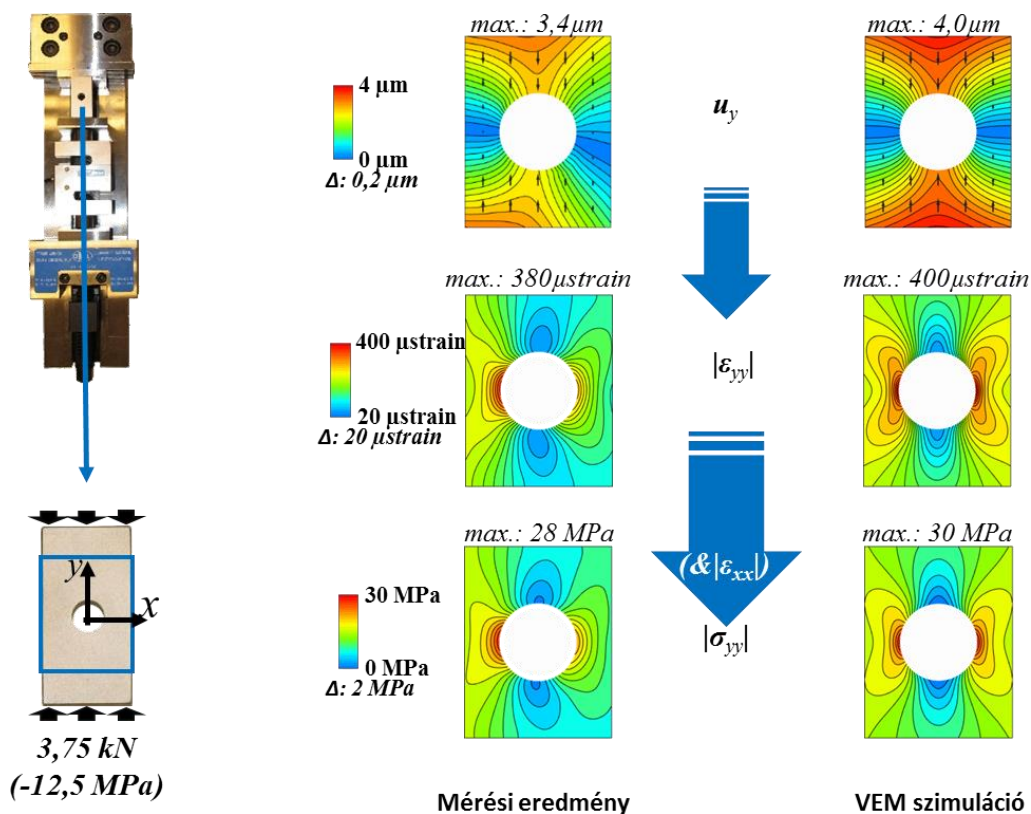


14. ábra. A maradó feszültség eloszlása hegesztett rozsdamentes acéllemezben varrat mentén és varratra merőleges irányban a lemez első és hátsó oldalán

Figure 14. Residual stress distribution along the weld and along a perpendicular line in stainless steel plate at both sides

A **14. ábrán** rozsdamentes hegesztett acéllemez feszültségeloszlásának grafikonjai láthatók a lemez első, illetve hátsó felületén mért adatokból a hegesztési varrat mentén, illetve arra merőlegesen. A fő feszültségirányok többségében a hegesztési varrattal párhuzamosan, illetve varratra merőlegesen találhatóak mindkét oldalon, így közösen megjeleníthetők.

A L-Ssz holografikus mérőkamera mérései és a végeleemes modellezés (VEM) szimulációi között szoros kapcsolat figyelhető meg. A **15. ábrán** egy összenyomott lyukas alumínium modelltárgyat láthatunk. Az összenyomás mérési eredményei (bal oldali oszlop) nagymértékben egyeznek a VEM szimuláció útján született eredményekkel (jobb oldali oszlop), vagyis a mérés felhasználható a szimuláció igazolására. Mindez relatív megnyúlás (ε_{yy}) és az aktuálisan kialakuló feszültség (σ_{yy}) esetén is megfigyelhető.

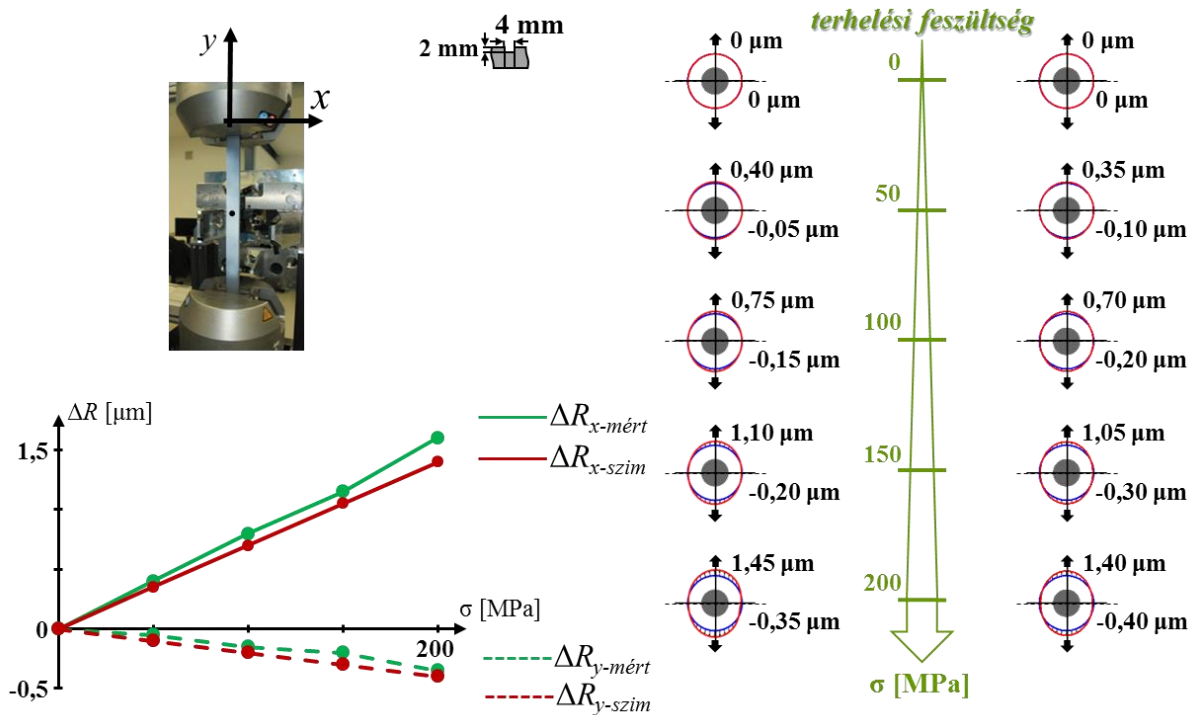


15. ábra. Deformáció (u_y), relatív megnyúlás (ε_{yy}) és feszültség (σ_{yy}) lyukas alumínium tömbben: mérési eredmény (bal oldali oszlop) és VEM szimuláció (jobb oldali oszlop)

Figure 15. Deformation (u_y), relative elongation (ε_{yy}) and stress distribution (σ_{yy}) in aluminum block with hole: measurement (left column) and finite element simulation (right column)

A **16. ábrán** látható mérésben azt illusztráljuk, hogy a VEM szimuláció megjósolhatja a diagnosztikai furat körüli mérőkörön létrejövő elmozdulást a szimuláció során alkalmazott feszültség függvényében, ezáltal feszültségi skálát előállítva. A feszültségi skála felhasználható hasonló anyagú valós tárgyban a feszültségértékek meghatározására, és nem szükséges empirikus skálákat létrehozni. Előnye az, hogy szinte tetszőleges paraméterekkel rendelkező tárgyakhoz előállíthatók ily módon feszültségi skálák. A **16. ábrán** a bal oldali oszlopban a szakítógépen szerkezeti acél konzol megnyújtásával végzett növekvő nagyságú feszültségen létrejövő mérőkör elmozdulásokat, jobb oldalon pedig a VEM szimuláció eredményeit láthatjuk. A mérőkörök mellett megjelenő elmozdulásértékeket jeleníti meg a **16. ábra** bal alsó sarkán lévő grafikon. Látható, hogy nincs jelentős eltérés a mért és a szimulált értékek között. A minimális eltérés oka az lehet, hogy a

valóságban nem feltétlen ideális, irodalomban szereplő paraméterekkel rendelkező anyagokkal mértünk. A szimuláció tehát felhasználható feszültségskálák létrehozására, ezáltal a mért elmozdulás értékek feszültség értékekké konvertálására.



16. ábra. Hosszirányban meghúzott szerkezeti acél konzol deformációja szakítógépen (bal oldali oszlop) és VEM szimulációval (jobb oldali oszlop) – az empirikus skálák kiváltására.

Figure 16. Hole-drilling stress-relief deformation of a loaded steel bar in measurements (left column) versus simulation (right column) – to replace empirical scales by simulation.

Összegzés

A digitális holográfia elterjedésével a holografikus interferometria elhagyhatja a laboratóriumi körülményeket és kiszolgálhatja az ipar által támasztott igényeket. Ennek egyik előfutára a L-Sz holografikus mérőkamera, amelynek jelenlegi változata, nagy pontosságával, részbeni vagy teljes érintésmentességével és egyidejűleg vagy lépésenkénti teljes felületre kiterjedő vizsgálati módszerével, több területen is megállja a helyét deformáció vizsgálat, illetve feszültségeloszlás mérés terén. A bemutatott mintapéldák a L-Sz mérőkamera sokszínű alkalmazási lehetőségeit tükrözik a deformáció- és feszültségmérés területein.

Irodalom

DOBRÁNSZKY J., LÓRINC Zs., GYÍMESI F., SZIGETHY A. & BITAY E. (2015): Laser welding of lean duplex stainless steels and their dissimilar joints. 8th European Stainless Steel and Duplex Stainless Steel Conference, Graz, Austria, pp. 138-147.

- FÜZESSY Z., ÁDÁM A., BOGÁR I., GYÍMESI F. & SZARVAS G. (1983): Hologram Interferometric Measuring System For Industry, *Proceeding SPIE 0398, Industrial Applications of Laser Technology*, October 26, 1983, p. 111.
- FÜZESSY Z., GYÍMESI F. & BORBÉLY V. (2012): Upgrading Holographic Interferometry for Industrial Application by Digital Holography, in: "Optical Imaging and Metrology: Advanced Technologies". In: OSTEN W. & REINGAND N. (Eds.): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 413-437.
- GYÍMESI F., FÜZESSY Z., BORBÉLY V., RÁCZKEVI B., MOLNÁR G., CZITROVSZKY A., NAGY A. T., MOLNÁRKA G., LOTFI A., NAGY A., HARMATI I. & SZIGETHY D. (2009): Half-magnitude extensions of resolution and field of view in digital holography by scanning and magnification. *Applied Optics* 48(31): 6026-6034.
- GYÍMESI F., FÜZESSY Z. & BORBÉLY V. (2010): Maradó feszültség, illetve aktuális feszültség mérése minilyuk-fúrásos digitális holografikus interferometriával. GTE Hegesztési Szakosztály konferenciája, 31. Balatoni Ankét: Nyomástartó rendszerek és a gazdasági recesszió (2010. október. 14., Siófok).
- GYÍMESI F., BORBÉLY V., KISS T. R., SZIGETHY D., SZIGETHY A. & BOGÁR I. (2013): Új alakuló lehetőségek a hegesztések ellenőrzésében Lézer-Sólyomszem/V holografikus mérőkamerával. *Hegesztéstechnika*, 24(1): 49-54.
- GYÍMESI F., SZIGETHY A., BORBÉLY V. & KISS R. T. (2016 a): Structural integrity measurement possibilities by L-FE digital-holographic gauge camera. *International Conference on Combined Digital Optical & Imaging Methods applied to Mechanical Engineering*, Monte Verita, Ascona, Switzerland, pp. 93-96.
- GYÍMESI F., SZIGETHY A., BORBÉLY V. & KISS R. T. (2016 b): New measurement possibilities of deformation anomalies and complete stress field distributions by portable digital-holographic gauge camera. *21st European Conference on Fracture, ECF21*, 20-24 June 2016, Catania, Italy. ScienceDirect, *Structural Integrity Procedia* 2: 2307–2314.
- GYÍMESI F., SZIGETHY A., BORBÉLY V. & KISS R. T. (2016 c): New deformation and stress measurement possibilities for structural integrity assessment - by L-Fe digital-holographic gauge camera, *20th Anniversary Structural Integrity Workshop*, 13-15. October 2016, Miskolc, Hungary, in press.
- KATULA L., KOVÁCS L., GYÍMESI F., SZIGETHY A. & BORBÉLY V. (2015): Hegesztési maradó feszültségek kísérleti vizsgálata. *Acélszerkezetek*, 12(4): 67-75.

Biogenezis: Az élő és élettelen közötti határsáv problémája

Bagyinszki Péter Ágoston OFM^a & Mészáros Lukács^b

^a Sapientia Szerzetesi Hittudományi Főiskola, 1052 Budapest, Piarista köz 1.
bagyinszki.agoston@sapientia.hu

^b Ferences Gimnázium, 2000 Szentendre, Áprily Lajos tér 2.
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Őslénytani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.
lg.meszaros@gmail.com

Bagyinszki P. Á. & Mészáros L. (2016): Biogenezis: Az élő és élettelen közötti határsáv problémája. Biogenesis: On the Borderland Between Living and Nonliving States of Matter. Acta Pintériana, 2, 39-53.

Jelen tanulmányban három lépésre bontva tárgyaljuk a földi élet és a bioszféra keletkezésével összefüggő kérdések közül azokat, amelyeket a természettudományok és a kereszténység párbeszéde szempontjából ma kiemelkedően fontosnak ítélnünk.¹ Első lépésben a szervetlen és a szerves, az élettelen és az élő közötti átmenet, illetve elmosódott határsáv mai problematikája tisztázandó. Második lépésben a bioszféra jellemző evolutív egység gondos leírásának kell kiemelt figyelmet szentelnünk. Végül a hierarchikus tagoltság, valamint a rétegzettségben is megnyilvánuló dinamikus egység feszültségben álló evolúciós szempontjait kell párbeszédbe hozzuk egymással.²

Az élettelen és az élő közötti minőségi határ kérdése

Az élet absztrakt meghatározásának nehézségei

Hétköznapi helyzetekben legtöbbször gond nélkül meg tudjuk ítélni, hogy valami élő-e vagy sem. Ebben sokat segít, hogy ismerjük az élőlények jellegzetes működéseit, vagyis az általános életjelenségeket: a táplálkozást, a légzést, a mozgást, az ingerelhetőséget, a növekedést és a szaporodást. A józan észnek az élettelen és élő közötti minőségi határt megállapító ítéletét tükrözi vissza a hagyományos metafizika „létezők hierarchiájára” vonatkozó elgondolása is.

A klasszikus életkritériumok azonban mégsem alkalmasak az élet illetve az élőlények pontos meghatározására. Az élőlények ugyanis – bizonyos életszakaszaikban – nem mutatnak egyszerre minden életjelenséget, míg egyes „intelligens” gépek az említett kritériumok alapján egyértelműen élőnek lennének tekinthetők. Az sem segít, ha nem a felsorolt életjelenségek összességét tekintjük az

¹ E dolgozat a korábbi általánosabb gondolatmenetünket mélyíti el a földi élet és bioszféra keletkezésének konkrét összefüggésében. Vö.: BAGYINSZKI P. ÁGOSTON – MÉSZÁROS LUKÁCS: Az evolúciós elv és a létezők hierarchiája. Illeszkedik-e egymáshoz a természettudományok evolúciós elve és a létezők hierarchiájának vallástörténeti eszméje?, *Sapientiana* 9 (2016/1) 1–13.

² Néhány szemléletmódot alakító szerző és munka: TÓTH KÁLMÁN – FREUND TAMÁS – RÓZSA HUBA: *Teremtés a tudományban*, Szent István Társulat, Budapest, 2011; PAUL HAFNER: *Mystery of Creation*, Gracewing, Leominster, 1995; valamint PIETRO RAMELLINI és GIUSEPPE TANZELLA-NITTI szerteágazó munkái az általunk is vizsgált kérdés interdiszciplináris megközelítéséhez.

élet kritériumának, hanem az élő rendszer bennfoglalt képességét arra, hogy adott körülmények között életjelenségeket mutasson fel. Az öreg állat például elvesztette növekedési vagy szaporodási képességét, mégis él. Problémákra az sem jelent megoldást, ha azt mondjuk, hogy valamely élőlénynek legalább élete egy szakaszában, és legalább potenciálisan rendelkeznie kellett, vagy kell ezekkel a tulajdonságokkal. Például egyes hangyafajok dolgozói kromoszómáisan determinálva vannak arra, hogy életüket szaporodás nélkül éljék le. Tovább nehezíti a helyzetet, hogy az „élőt” nem csak az étellelentől (amely sohasem volt élő) kell pontosan elhatárolnunk. Az élő ellentéte a halott is, amely valaha élő volt, de bizonyos időponttól kezdve visszafordíthatatlanul élettelennek tekintendő.

Az élő és a halott között van az „életképes” állapot, amely azokra az élőlényekre jellemző, amelyek valamilyen okból átmenetileg szüneteltek életjelenségeiket, de még visszatérhetnek az életbe. Ilyenek például a téli, nyugalmi állapotba vonult fák, a kiszáradt mohák, vagy a baktériumspórák. Ezek az életképes lények a klasszikus életkritériumok alapján nem élnek, egészséges logikánk azonban mégis inkább az élőkhez, mintsem az élettelenekhez vagy a halottakhoz sorolja őket. Az életműködés hiánya, a folyamatok leállása az élet megszűnését jelenti, amely azonban nem azonos a halállal. Az élő és élettelen közötti – általában élesnek és kontrasztosnak feltételezett – minőségi határ megmarad ugyan, de ilyen módon inkább elmosódott határsávnak mutatkozik.

Az élet mint szervezett egység

Az európai természettudomány a XVII. században még azt tekintette „élőnek”, ami mozog. Amikor a jobbra mozdulatlan növényvilág is teljes jogú tagja lett az élők birodalmának, a biokémiai szerves jelleg vált az élő és az élettelen közötti megkülönböztető jeggyé. A XVIII. század végén aztán bebizonyosodott, hogy a szerves anyagok a szén vegyületei, amelyeket *in vitro*, laboratóriumban is elő lehet állítani. A XIX. századi biológia szerint élőnek az tekinthető, ami az előzőekben felsorolt öt általános életjelenséget együttesen képes felmutatni. Bár ez a megközelítés általánosan elfogadottá vált, már keletkezésének idején sem lehetett tökéletesnek tekinteni: a klasszikus biológia ugyanis számos kivételt ismert.

Az élet meghatározásának problémájára a XX. század második felében Gánti Tibor (1933–2009) vázolta fel a legfigyelemreméltóbb megoldást.³ Gánti az életkritériumokat két csoportra osztotta. A „reális vagy abszolút életkritériumok” minden élőlény egyéni létéhez szükségesek, és az élő egyednek valamilyen szinten folyamatosan, minden állapotában mutatnia kell azokat. Van azonban az életjelenségeknek egy olyan csoportja, amelynek jelenléte nem szükséges kritériuma az egyes egyedek élő állapotának, de amely az élővilág fennmaradása szempontjából nélkülözhetetlen: ezek a „potenciális életkritériumok”.

Reális vagy abszolút életkritériumok:

(1) *Az élő rendszernek inherens módon egységesnek kell lennie.* Egy ilyen rendszer tulajdonságai nem tehetők össze – addíció módján – részeinek tulajdonságaiból, és az egész sem osztható úgy részekre, hogy a részek hordozzák az egész tulajdonságait.

(2) *Az élő rendszernek anyagcserét kell folytatnia.* Olyan nyílt rendszerről van tehát szó, amely környezetéből anyagot és energiát vesz fel, illetve ad le, sőt, instabil rendszer lévén, saját működését külső anyag- és energiaforrás nélkül nem is tudja fenntartani.

(3) *Az élő rendszernek inherensen stabilnak kell lennie.* A rendszer folyamatos működése a külső környezet változásainak ellenére is állandó marad.

³ GÁNTI TIBOR: *Az élet princípiuma*, Gondolat, Budapest, 1978.

(4) *Az élő rendszernek olyan alrendszerrel kell rendelkeznie, amely a teljes rendszer számára hordoz használható információkat. Az alrendszer tehát önmagán túlmutató információkkal is rendelkezik.*

(5) *Az élő rendszerekben végbemenő folyamatoknak szabályozottnak és vezéreltnek kell lenniük. A szabályozás a rendszer fennmaradásához, a vezérlés az élőlények egyirányú folyamatainak (szaporodás, egyedfejlődés, differenciálódás) irányításához szükséges.*

Potenciális életkritériumok:

(1) *Növekedés és szaporodás képessége.* Az élet e képességek nélkül nem terjedhetett volna el a Földön.

(2) *Öröklődő változás képessége.* Az élet enélkül a változó környezetben nem maradhatott volna fenn.

(3) *A halandóság képessége.* Az élőlények szervezetének anyaga enélkül nem kerülne vissza a természetes körforgásba, az élet „éhen pusztulna”.

Észre kell vennünk, hogy a korábbi anyagi („szerves”) és működési („mozgás”, „életjelenségek”) alapú meghatározás helyett Gántinál a szervezethez kerül előtérbe. Az élet, mint az anyag bizonyos fokú szervezett állapotából fakadó minőség jelenik meg, miközben hangsúlyt kap az is, hogy ennek a szerveződési szintnek olyan „emergens” tulajdonságai vannak, amelyek csak részben magyarázhatók meg az alacsonyabb szintek tulajdonságaival.⁴

A magas fokú szervezethez jellemezhető élő rendszer eljuthat egy olyan állapotba, ahol a működések lelassulnak, esetleg le is állnak, de a szervezethez még mindig fennáll. Ilyenkor az élőlény *életképes* állapotban van. A teljes és tartós működéshiány azonban veszélyezteti a rendszer szervezethezét. Ha az életképes élőlény életfolyamatai újra beindulnak, illetve megfelelő intenzitásúvá válnak, ismét élő állapotról van szó. Ellenkező esetben a működés kritikusan lelassul, leáll, a szervezethez irreverzibilis módon felbomlik, és bekövetkezik a halál.

Az élettelen és az élő közötti minőségi határ klasszikus problémája ma tehát elsősorban a magas fokú szervezett biokémiai rendszerek emergens tulajdonságai felől közelíthető meg számunkra. A kortárs természettudomány számára elveszett a tartalma az élőben lévő „többlét-összetevőre” (életerő, életelv, stb.) hivatkozó elméleteknek. Ezek helyét az élet megjelenéseinek növényi, állati, emberi formáiban egyaránt az anyagi rendszerek egyre magasabb szintű és többrétegű szervezethez, önszervező képessége helyettesítette be. Az élő és élettelen közötti elmosódott határsávot tehát azok az emergens tulajdonságok keretezik, amelyek a szerveződés alacsonyabb szintén még nincsenek meg, de egy magasabb szinten már megjelentek. A határsáv összetett jelenségei pedig az evolúciós folyamatban bontakoznak ki, az egyszerűbb rendszerektől a bonyolultabbak felé haladva.

Szervetlen és szerves dinamikus egysége

A evolúcióból standard paradigmájának megjelenése

A letűnt idők élővilágáról tanúskodó fossziliákat már a bronzkor embere is „gyűjtötte” és a sírokba helyezte. A kövületek helyes értékelése természetesen sokáig váratott magára. Kopernikusz (1473–1543) rendszere már évszázadok óta közismert és elfogadott volt, amikor még mindig általánosan

⁴ Vö. BAGYINSZKI P. ÁGOSTON – MÉSZÁROS LUKÁCS: Az evolúciós elv és a létezők hierarchiája. Illeszkedik-e egymáshoz a természettudományok evolúciós elve és a létezők hierarchiájának vallástörténeti eszméje?, *Sapientiana* 9 (2016/1) 1–13, lásd különösen 11–12.

uralkodott az a felfogás, hogy a Föld fiatal képződmény, valamennyi növény- és állatfaj egyetlen napon keletkezett, a fossziliák pedig a vízözön tanúi.

A XVIII. század első felében Carl von Linné (1707–1778), annak ellenére, hogy ő maga – legalábbis élete legnagyobb részében – a fajok állandóságában, változatlanóságában hitt, az arisztotelészi logika nevezéktani alkalmazásával megteremtette az alapot az élővilág sokféleségének egzakt vizsgálatára. Ez igen fontos előzménye volt az evolúciós elv megszületésének, mert magát a gondolatot nem a kőületek értelmezésének, hanem a jelenlegi változatos élővilág magyarázatának igénye hívta létre.

Bár Georges Cuvier (1769–1832), az összehasonlító anatómia megteremtője szintén fixista volt, tehát a fajokat változatlanoknak tekintette, felismerte, hogy különböző korokban különböző életközösségek éltek. Az eltéréseket katasztrofális kihalások okozták, majd a vidéket újabb élőlények népesítették be.

Az evolúciós elmélet megalapítójának Jean-Baptist Lamarck (1744–1829) tekinthető, aki szerint a fejlődés lassú tökéletesedési folyamat, amely csaknem beláthatatlan földtörténeti időt igényel. Ez a folyamat azonban nem egyszerű és egyirányú: a törzsfajtagái vakon végződnek. Lamarck nem ismerte fel a természetes szelekció jelentőségét, az élőlények változása mögött elsősorban a szerzett tulajdonságok öröklődését sejtette.

Charles Darwin (1809–1882), akit a közvélemény az evolúcióelmélet atyjaként ismer, valójában a változások legfontosabb okát, a fajon belüli sokféleség és a természetes szelekció párharcát ismerte fel. Darwin ennek ellenére nem volt szélsőségesen „darwinista”: a mai elnevezéssel élve az adaptív evolúciós mechanizmusok mellett más folyamatok létét is feltételezte.

Az evolúció belső mechanizmusainak feltárása csak a XX. századi molekuláris genetika és populációgenetika fejlődésével vált lehetségessé. Ugyanerre az időre tehető az összehasonlító anatómia és a sejtszintű biológia módszereinek robbanásszerű fejlődése. Az új eszközök közül (SEM, CT) sokat vett át a paleontológia is. A földtan eredményei közül a paleontológia számára a két legfontosabb: az abszolút időszámítás és a lemeztektonika – ezek felbecsülhetetlen jelentőségűek a fossziliák értelmezésében.

Az élet kezdeti evolúcióját modellező kísérletekkel kapcsolatban elsősorban Harold C. Urey (1893–1981), Alexander Oparin (1894–1980), Stanley Miller (1930–2007) és Sidney W. Fox (1912–1998) nevét kell megemlítenünk.

Az élővilág struktúrája

Minden élőlény – a vitatott hovatartozású vírusok kivételével – sejtes felépítésű. A sejt az élővilág legkisebb, önálló biológiai működésre (tehát az életre) képes egysége. Az élő sejt igen sokféle szerves és szervetlen vegyületből áll, kezdve az egyszerű anyagoktól – mint például a víz vagy a konyhasó – az óriási molekulásúlyú polimer makromolekuláig. Az utóbbiak jelentik minden élő anyag alapvető és mindenütt jelenlévő egységeit. Makromolekuláris szerkezetükben tartalmazzák mindazt a sokféle, bonyolult funkciót, amely a sejt zökkenőmentes, önfenntartó működéséhez szükséges. E tekintetben különleges és döntő jelentőségük van a nukleinsavaknak, a fehérjéknek, a szénhidrátoknak és a lipideknek.

Az eukarióta sejt rendelkezik egy határoló réteggel, amely a környezetétől elválasztja, és lehetővé teszi számára a szelektív anyagfelvételt és leadást, hogy így, bizonyos határok között, dinamikus egyensúlyban tudja biztosítani a belső környezet állandóságát. Ez a réteg a lipid-fehérje kettősmembránból felépülő sejthártyája, amelyet a növényi, bakteriális és gombasejt esetében még egy védelmi funkciót ellátó sejtfa is körülhatárol. A sejthártyán belül helyezkedik el a citoplazma, a sejt életéhez szükséges anyagokkal és a sejt szervecskékkel. A legfontosabb sejt szervecskék: a lebontó

folyamatokban kémiai energiát termelő mitokondrium, az anyagátalakítást végző lizozómák, endoplazmatikus retikulumok és Golgi-rendszer, valamint a növényi sejt esetében a fotoszintézis helye, a szintest. A sejtmag az örökítő információt tartalmazó nukleinsavakkal kiemelt szerepet tölt be a sejtalkotók között. A fejlődés alacsonyabb fokán álló prokarióta sejt nem rendelkezik körülhatárolt sejtmaggal, csak – szintén nukleinsavakból álló – maganyaggal. Ezen kívül számos más szempontból egyszerűbb felépítésű, mint az eukarióta sejt.

A szövetes állatokban és növényekben a sejtek sajátos működésre alkalmas szövetekké szerveződnek, amelyek azután szerveket és szervrendszereket építenek fel. Ezek a szervek alkotják a biológiai individuumot, az egyed, amelynek életműködései a szerves molekulák, sejtek, szövetek, szervek és szervrendszerek, valamint az egyed szintjén egyaránt értelmezhetők.

Természetes földi környezetükben az egyedek úgynevezett egyedfeletti szerveződési szintekben találhatók meg. Az azonos fajhoz tartozó egyedek időben és térben együtt élő, természetes szaporodási közösségét *populációnak* nevezzük. Azok a különböző fajhoz tartozó populációk, amelyek egy élőhelyen élnek, és egymásra valamilyen hatást gyakorolnak, egy társulás (*biocönózis*) tagjai. Az említett hatás lehet például az, hogy az egyik populáció tagjai elfogyasztják a másik tagjait. A társulások élő összetevői és a rájuk ható élettelen tényezők együttes rendszere az *ökoszisztéma*. Ez egy tényleges funkcionális egység, amely optimális esetben egyensúlyban van, de néhány (szélsőséges esetben akár egyetlen) tényező megváltozása az egész ökoszisztéma rendjét felboríthatja. Az ökoszisztémák együttesen alkotják a földi élővilág és az élettér komplex együttesét, a *bioszférát*. Ha az élettelen és az élő közötti elmosódott határsáv problematikáját az evolúciós elv mentén szerveződő mai univerzumképünk összefüggésében szeretnénk megérteni, akkor nem elegendő csupán a mikroszkopikus folyamatok felől vizsgálódnunk, hanem ugyanilyen fontos a bioszféra, mint planetáris rendszertani egység figyelembe vétele. A következőkben tehát a bioszféra evolúciója felől nézve is megvizsgáljuk az élettelen és az élő közti határsáv kérdését.

A bioszféra

A Földön jelenleg több millió faj él. Az ismert formákat Robert H. Whittaker (1924–1980) és Tom Cavalier-Smith (1942–) rendszerező munkája nyomán öt országba (regnum) soroljuk.⁵ Az első regnumba a sejtmag nélküli prokarióta egysejtűek (*Monera*), a másodikba a sejtmaggal rendelkező eukarióta egysejtűek (*Protista*), a harmadikba a gombák (*Fungi*), a negyedikbe a többsejtű növények (*Plantae*), az ötödikbe az állatok (*Animalia*) tartoznak. Bár a legújabb kutatások alapján ezek közül nem minden csoport bizonyult homogénnek, és későbbi kutatók pl. Lynn Margulis (1938–2011), Carl R. Woese (1928–2012), vagy akár maga Cavalier-Smith is jelentősen tovább fejlesztették a fenti rendszert⁶, a gyakorlatban legtöbbször az öt országos rendszer fogalmait használjuk. A besorolásba nem illeszthetők be a vírusok, amelyek a legtöbb kutató szerint élő sejtekből kiszabadult, bizonyos életjelenségeket mutató makromolekuláris rendszerek. Az egyes országokba tartozó élőlényeket – rokonsági fokuk alapján – a Linné-i hagyományoknak megfelelően kisebb rendszertani kategóriákba (törzs, osztály, rend, család, nem) soroljuk. A nemekbe tartozó fajok számára Linné kettős nevezéktant vezetett be. A név, az arisztotelészi logikát követve, a nem nevét (*genus proximum*) és a faji elkülönítő

⁵ ROBERT H. WHITTAKER: New Concepts of Kingdoms of Organisms, *Science* 163 (jan. 10. 1969) 150–160; THOMAS CAVALIER-SMITH: The evolutionary origin and phylogeny of microtubules, mitotic spindles and eukaryote flagella, *Biosystems* 10 (1978/1–2) 93–114.

⁶ LYNN MARGULIS – KARLENE V. SCHWARTZ: *Five Kingdoms. An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*, W.H. Freeman & Company, New York, 1997; CARL L. WOESE – WILLIAM E. BALCH – LINDA J. MAGRUM – GEORG E. FOX – RALPH S. WOLFE: An ancient divergence among the bacteria, *Journal of Molecular Evolution* 9 (1977) 305–311; THOMAS CAVALIER-SMITH: A revised six-kingdom system of life, *Biological Reviews* 73 (2007/3) 203–266.

nevet (*differentia specifica*) tartalmazza. Így például az ember (*Homo sapiens*) az állatok országába (*Animalia regnum*), a gerincesek törzsébe (*Vertebrata philum*), az emlősök osztályába (*Mammalia classis*), a főemlősök rendjébe (*Primates ordo*), az emberfélék családjába (*Homonidae familia*) és az ember nembe (*Homo genus*) tartozik.

A kőületek tanúsága szerint a prokarióta élőlények már igen korán (több mint 3,5 milliárd éve) benépesítették bolygónkat. Ezek a mai baktériumokra és kéalgákra emlékeztető szervezetek sokáig egyeduralkodók voltak az élővilágban. Életműködéseiknek köszönhető sok kőzet, ásvány, a légköri oxigén és az ózonpajzs kialakulása a Földön. Az első eukarióták több mint 1 milliárd éve jelentek meg. Egyes 600 millió év körüli fossziliák már többsejtű állatokra utalnak. Mintegy 590 millió évvel ezelőtt az élővilágban megjelent a szilárd váz, ami a fosszilizálódás lehetőségeit radikálisan megnövelte. Ezért az ettől számított földtörténeti óidő (*Paleozoikum*) élővilágáról már sokkal pontosabb ismereteink vannak. A Paleozoikumban minden mai állattörzs kialakult, a növények közül pedig csak a zárvatermők nem voltak jelen. A 235 millió évvel ezelőtt kezdődött földtörténeti középidőben (*Mezozoikum*) jelentek meg a zárvatermők, a madarak és az emlősök. A két, ma legjelentősebb gerinces állatsoport a hullók uralkodó szerepe miatt a Mezozoikumban még nem tudott domináns módon elterjedni. A 67 millió éve kezdődött és ma is tartó földtörténeti újkorban (*Kainozoikum*) a madarak, az emlősök és a zárvatermők az egész Földet meghódították. A szorosan értelmezett mai élővilág a pleisztocén időszak jégkorszakainak megszűnte után, néhány tízezer éve alakult ki.

Az élet megjelenése a standard paradigma szerint elbeszélve

Az élet első ismert jeleit tartalmazó kőzetek tanúsága szerint az élő rendszerek igen korán, mintegy 3,7–3,9 milliárd éve jelentek meg a Földön. Az élő rendszer keletkezésének legvalószínűbb elmélete az *abiogén szintézis* vagy *kémiai evolúció*. Az úgynevezett abiotikus kísérletek, amelyek az ősi környezetet rekonstruálják, sikeresen példazzák, hogy az élő rendszer létrejöttéhez szükséges makromolekulák (fehérjék, poliszacharidok és nukleinsavak) monomerei az egyszerűbb szerves molekulákból kialakulhattak. Más kísérletek életszerű jelenségeket (egyszerű anyagcsere, szaporodás) mutató kémiai rendszereket (mikrogömbök, koacervátumok) állítottak elő hasonló környezetben.

A következőképpen rekonstruálhatjuk a történetet: Mintegy 4 milliárd évvel ezelőtt a Föld felszíni hőmérséklete 100 Celsius fok alá süllyedt, ami egyrészt lehetővé tette az ósocéán kialakulását, másrészt megengedte a hőre denaturálódó makromolekulák – mint például a fehérjék – fennmaradását. A légkör redukáló jellegű volt, tehát elemi oxigént nem (vagy csak rendkívül kis koncentrációban), hidrogént viszont tartalmazott. Az ilyen, gyengén redukáló környezetben törvényszerűen jelenlévő ammónia, metán, víz és egyéb molekulákat különböző energetikai hatások (elektromos kisülés, UV-sugárzás) érték. Az így energizált kémiai reakciók következtében egy sor egyszerű szerves molekula keletkezett: aminosavak, cukrok és nukleinsav-bázisok. Ezek a vegyületek lassan felhalmozódtak az óceánokban, így jött létre az ún. „ősleves”. Hosszú idő alatt az „ősleves” alkotó egyszerű vegyületek kémiaiilag kondenzálódtak, így monomerekből kialakultak a polimer makromolekulák.

Legújabb ismereteink szerint a makromolekulák létrejöttéhez az egyszerű (pl. bepárlódás következtében létrejövő) koncentrációnövekedés nem lett volna elegendő, így alkotóiknak nagy fajlagos felületű ásványok felszínén kellett megkötődniük, hogy azok katalitikus hatására a biomolekulák létrejöhessenek („őspizza” elmélet).

A folyamat természetesen az itt leírtól több ágból is összetevődhetett. Bizonyos elképzelések szerint például a tenger alatti forró vulkáni képződmények is szerepet játszhattak benne. Nem jelentenek viszont igazi megoldást az élőlények létrejöttének „extraterresztrikus” modelljei (melyek

szerint az élet első csírái meteorok, vagy üstökösök közvetítésével érkeztek a világról), mert ezek nem megválaszolják az eredeti kérdést, csak elodázzák az arra adott választ.

A kísérletek igazolták, hogy a sejtthártyára emlékeztető „öshártya” egy – az említetthez hasonló – makromolekulákat tartalmazó rendszerben spontán módon kialakulhat. Ilyen membrán képezhetette alapját a prokarióta sejt környezettől való elhatárolódásának. A komplex fehérje–lipid membránnak, a genetikai kódnak és sok más tényezőnek a kialakulását ma még homály fedi, de jó esélyünk van ezek megfejtésére is. A fehérjék és a nukleinsavak egymást segítő együttműködések megjelenését (a DNS hordozza a fehérjék felépítéséhez szükséges információt, míg a fehérjék stabilizálják a DNS szerkezetét) például a közelmúltig nehéz volt elképzelni. A ribozimek („enzimatikus” hatású RNS molekulák) felfedezése azonban segíthet megérteni a földtörténet ezen korai időszakának katalitikus folyamatait.⁷

A prokarióta–eukarióta átmenetről már világosabb elképzeléseink vannak. A sejtmaghártya az endoplazmatikus retikulum nevű sejtalkotóból, a mitokondrium és a szintest pedig az eredeti sejt és más kisméretű prokarióták közötti tartós együttélésből jött létre.

A bioszféra evolúciója a standard paradigma szerint

Darwin – a korát messze meghaladó zseniális meglátással – az evolúció mozgatóerejének az egyedek sokféleségét és a sokféleségből a környezetnek leginkább megfelelő változatokat kiválogató *természetes szelekciót* tartotta. Ez a felfogás alapjában véve azóta is megállja a helyét, de ma már tudjuk, hogy az evolúció ennél valamivel bonyolultabb módon működik. Az evolúciós mechanizmusokat makroevolúciós és mikroevolúciós szinten szoktuk értelmezni. Előbbi alatt a tulajdonságok és a fajok megváltozásának folyamatát, utóbbi alatt az ehhez szükséges genetikai átalakulások mechanizmusát értjük.

Az 1950-es évek szintetikus evolúcióelmélete azzal az optimista hozzáállással jött létre, hogy az evolúciós mechanizmusok mikroevolúciós szintje megmagyarázza a makroevolúciós változásokat. Ez az elképzelés koncepciójában helyes, de már a XX. század végére nyilvánvalóvá vált, hogy sejt szintű biológiai ismereteink rohamos bővülésével egyre több olyan, az evolúció mélyén munkáló folyamat tárul fel, amelyek makroevolúciós értelmezése folyamatos kihívást jelent.⁸ Ez a dinamizmus a természettudomány alapvető jellegzetességei miatt máig jellemzi az evolúciókutatást.

Mikroevolúciós értelmezésben a sokféleség megjelenése a mutációknak és a rekombinációnak köszönhető. Az első az információt hordozó nukleinsav-molekula véletlenszerű megváltozása. A második a szülői kromoszómapárok véletlenszerű szétválása az ivarsejtek kialakulásakor lezajló kromoszómaszám-felező sejtosztódás során. Tágabb értelemben ide soroljuk a meglévő genetikai információnak az ivarsejtek találkozásakor történő „újrakombinálódását” is.

A szelekció az a környezeti hatás, amely az adott környezetnek nem megfelelő géntípusokat kiküszöböli, és így a megfelelőeket elterjeszti. A szelekció rendkívül sokféle módon valósulhat meg: lehet például teljes vagy részleges; eltérő szelekció hathat homozigótákra és heterozigótákra stb. Állandó környezetben a mutációk és a rekombinációs folyamatok fenntartják a sokféleséget, a szelekció pedig kiküszöböli a nem megfelelő változatokat, tehát a populáció (természetes szaporodási közösség) alléljainak (géntípusainak) gyakorisága nem változik meg. Amennyiben azonban a környezet átalakulásával a szelekció is megváltozik, az allélgyakoriság valamilyen irányban eltolódhat. Az evolúció populációgenetikai definíciója pedig éppen ez: „a populáció allélgyakoriságának megváltozása az egyik nemzedékről a másikra”.

⁷ SZATHMÁRY EÖRS: Az élet keletkezése, *Magyar Tudomány* 48 (2003/10) 1220–1247.

⁸ VIDA GÁBOR (1985): *Evolúció V. Az evolúciókutatás perspektívái*. Natura, Budapest, 1985.

A fenti folyamatot *adaptív evolúciónak* nevezzük. Az élőlények ugyanakkor rendelkeznek a nem adaptív evolúciós változás képességével is. Ez véletlenszerűen bekövetkező folyamatokat jelent, mint például a genetikai sodródás (egy allél véletlenszerű eltűnése kis létszámú populáció kivándorlása esetén), a növényi hibridek keletkezése, vagy a *poliploidia* (többszörös kromoszómaszerelvény) kialakulása.

A makroevolúciós fajkeletkezés alapja a genetikai izoláció. Ez azt jelenti, hogy két populáció olyan sokáig nem folytat géncserét, hogy allélgyakoriságuk nagymértékben eltérővé válhat. Ez olyan morfológiai-fiziológiai vagy sejtbológiai változásokat eredményezhet, hogy többé nem képesek szaporodni egymással. A genetikai izoláció legtöbbször földrajzi elkülönülés útján valósul meg (*allopatrikus speciáció*), de néha történhet azonos élőhelyen is (*szimpatrikus speciáció*). Az új faj létrejötte tehát nem jelenti egy minden tulajdonságában új élőlény megjelenését. A létrejött species egyes tulajdonságai előremutatóak (*apomorfok*), mások visszamutatóak (*pleziomorfok*). Ezt nevezzük az *evolúció mozaikos voltának*.

A fajkeletkezés és az új tulajdonságok megjelenése, dinamizmusa történhet graduális evolúcióval (kis léptékű, sorozatos átalakulásokkal) vagy pontozott egyensúllyal (hirtelen, jelentős mértékű változással). Az utóbbi mechanizmusban megkülönböztetjük a *speciáció* (fajkeletkezési) és a *szttázis* (nyugalmi) állapotokat. A közös származású fajok különféle környezetekbe kerülhetnek. Az eltérő szelekció így változatos formákat hozhat létre egy rendszertani csoporton belül. Ez a *divergencia* jelensége. Különböző csoportba tartozó (tehát nem rokon) fajok viszont hasonló környezetbe kerülve hasonlóvá válhatnak (*konvergencia*).

Az élővilág fejlődése soha nem választható el a Föld arculatának változásától. Az élettelen környezet, mint az élettér egy része, a szelekciós tényezőkkel befolyásolja az élőhelyen kialakuló *ökológiai fiülkék* számát és milyenségét. A megváltozó abiotikus tényezők (pl. az éghajlat vagy a vízmélység) megváltoztatják a fiülkét, amire az élővilág evolúcióval vagy kihalással válaszol. Ugyanakkor az élőlények maguk is megváltoztatják környezetüket, ami visszahat rájuk és más élőlényekre. Így például a fotoszintetizáló szervezetek oxigéntermelése lehetővé tette az ózonpajzs kialakulását, aminek következtében az élővilág megjelenhetett a szárazföldön. Tekintetbe véve, hogy a környezet megváltozása végső soron kiszámíthatatlan, és hogy az élőlények belső evolúciós mechanizmusaiban is sok a véletlenszerű elem, – szaktudományos szinten – nem támasztható alá a törzsfelődés folyamatának az esetleges irányítottsága, amelyet filozófiai szinten néha feltételeznek.

A standard paradigma szakmai kritikája és az evolúciós elv magyarázó ereje

A kritikus hozzáállás legtöbb esetben a természettudományok mára rendkívül erős specializálódásából és a közvéleménynek ebből adódó viszonylagos tájékozatlanságából fakad. Az ellenérzések másik csoportja azon alapul, hogy az élővilág történetének felvázolásában és a változások belső mechanizmusának feltárásában – mint minden más természettudományos területen – több homályos fejezet is van.⁹

Megválaszolható kérdések természetesen mindig vannak és lesznek a Föld és a bioszféra történetének kutatói számára. Az evolúciós elv azonban így is több (anevolucionista és rejtett antievolucionista megfogalmazásban) „jól működő, de bizonyítatlan elméleti modellnél”. Az evolúció jelenbeli ténye, ugyanezen folyamat múltbeli lehetősége (sőt, erős valószínűsége) a fosszilis bizonyítékokkal alátámasztva már elégséges a természettudomány számára ahhoz, hogy az evolúciót

⁹ Az evolúciós elv szakmai kritikájával kapcsolatos kérdéseket részletesebben tárgyaltuk egy korábbi cikkünkben, lásd BAGYINSZKI P. ÁGOSTON – MÉSZÁROS LUKÁCS: Az evolúciós elv és a létezők hierarchiája. Illeszkedik-e egymáshoz a természettudományok evolúciós elve és a létezők hierarchiájának vallástörténeti eszméje?, *Sapientiana* 9 (2016/1) 1–13, különösen 4-7.

tekintse a ma megfigyelt élővilágot létrehozó folyamatnak. Annál is inkább, mert jelenleg nem létezik más kielégítő magyarázat a földi élet mintázatának logikájára. Ez a magyarázat azonban a földi bioszféra szerteágazó jelenségeit a dinamikus egységet képező világegyetemről alkotott modern elképzeléseinkbe is képes bekapcsolni.

A bioszféra evolúciója és hierarchikus tagoltsága

Az önszerveződés tendenciája az univerzumban

Az *anyag* szónak van egy ontológiai és egy természettudományos jelentése. Az utóbbi értelemben az anyag annak a realitásnak a megnevezése, amely közvetít a szervetlen és a szerves folyamatok között.¹⁰ Ontológiai értelemben azonban hibát követünk el, ha az egész valóságot megkíséreljük szervetlen folyamatokra redukálni: ekkor a végeredményként kapott világnézetet *materializmus*nak vagy *redukciós naturalizmus*nak nevezhetjük.

A redukciós naturalizmus lényegi tétele az, hogy az anyag igazi természete a létezés szervetlen dimenziójában nyilvánul meg. Ez az állítás azonban már több, mint természettudományos kijelentés. Valójában világnézeti opcióról van szó, amely a tudománytörténet hosszú szakaszát jellemezte. A redukciós naturalizmus (materializmus) szerint az élettelenből az élőbe, a biológiai természetűből a pszichológiai természetűbe való átmenet szoros értelemben nem létezik, mert a magasabb szerveződési szintek jelenségei a szervetlen „anyag” epifenomenonjainak tekintendők. Paul Tillich (1886–1965) találó megállapítása szerint az élet ontológiai realitását negligáló redukciós naturalizmus „bizonyos értelemben a halál ontológiája”¹¹. A redukciós naturalizmus anyag fogalmával kapcsolatban – különösen amikor abból a létezés magasabb szintjein kibontakozó jelenségek ontológiai másodlagosságát állító filozófia sarjad – joggal vetődik fel a *petitio principii* gyanúja: ha már a világmépi premisszáinkban (lásd a „buta anyagra” vonatkozó előítéleteket) jelen van a „világ varázstalanításának” a gondolata, akkor miért lepődünk meg azon, hogy ezekből a premisszákból naturalista világmépi sarjad?

Az anyag „materialista mitológiája” szaktudományos szempontok alapján is erősen vitatható. A természeti folyamatokat szemlélhetjük „alulról” (a részecskefizika irányából, a molekulák felől), vagy „felülről” (a bioszféra egésze felől, az asztrofizika és kozmológia irányából). Mindkét olvasat jogosnak látszik, mindkettő más-más kutatási problémákhoz és eredményekhez vezet. Redukcionista előítélet az, hogy a „felülről” kiinduló olvasat másodrendűnek tekintendő. A szaktudományok közti mély belső összefüggések ellenére a kémia soha nem vált feleslegessé a fizika fejlődésével, a biológia pedig nem válik „alkalmazott kémiává”. Egyre inkább rádöbbenünk, hogy a sokrétű valóság jogosan közelíthető meg a vizsgálódás különböző szintjein, az adott szintnek megfelelő fogalmi és módszertani eszköztárral. A hierarchikusan szemlélt anyagi valóságban minden magasabb szinthez új minőségek tartoznak, és minden magasabb szint leírásának sajátos nyelvezet felel meg. Logikailag lehetséges ugyan, hogy egy bizonyos szintet hierarchikusan mélyebb szint nyelvén írjunk le, ám az ilyen leírás általában rendkívül bonyolult és szinte már érthetetlen. Egyfelől a hierarchikus síknak megfelelő nyelv alkalmazása leegyszerűsíti a leírást, és emiatt célszerűtlen lenne kiküszöbölni az elméletek pluralizmusát. Másfelől a különböző szintek a komplex anyagi valóságnak egy-egy valós arculatát

¹⁰ Vö. PAUL OVERHAGE – KARL RAHNER: *Das Problem der Hominisation. Über den biologischen Ursprung des Menschen*, Freiburg, Herder, 1961. Ez a klasszikus tanulmány véleményünk szerint megfelelő alapozást nyújt az e cikkben tárgyalt problematika filozófiai szempontjának kifejtéséhez. A filozófiai tárgyalás elmélyítésével azonban – terveink szerint – majd egy későbbi cikkben foglalkozunk.

¹¹ PAUL TILlich: *Rendszeres teológia*, Osiris, Budapest, 2002, 387. (ford. Szabó István)

képviselik, ezért a természet többarcúságának hiteles kifejezői. A lét minden szintje külön elméletet igényel.

Az élettelen és az élő között húzódó határsávot korábban az emergencija-jelenségekkel határoztuk meg, de ezek természetéről még részletesebben szólnunk kell. *Emergenciának* nevezzük az anyagi valóság azon tulajdonságát, hogy ha hierarchikusan mélyebb szintről magasabb szervezetségi szintre lépünk, akkor minőségileg új tulajdonságok megjelenésével is számolnunk kell. A biológia összefüggésében például emergens tulajdonságoknak tekintik a metabolizmusok, a biológiai információ, a célszerűség és az alak megjelenését. Az emergencia fogalma a redukció fogalmának ellenpólusa. Redukcióról és emergenciáról egyaránt beszélhetünk „erős”, illetve „gyenge” értelemben. Az erős redukciós állítás azt tartalmazza, hogy egy hierarchikus szint jelenségeit egy alatta fekvő szint elméletéből nem csupán megközelítőleg, hanem matematikai levezetésekkel kimerítően értelmezni tudjuk. Ha a két szint között az összeegyeztetés lehetséges, de csak kiegészítő feltevések segítségével, vagy csak közelítések útján, akkor gyenge redukcióról beszélünk. Az erős emergencia-kijelentés azt jelenti, hogy egy hierarchikusan magasabb rétegnek olyan tulajdonságai vannak, amelyek nem származtathatóak le hierarchikusan mélyebben fekvő rétegekből semmiféle rétegek közötti csatolási törvény segítségével. A gyenge emergencia-állítás nyitva hagyja a kérdést, hogy megmagyarázható-e, és ha igen, hogyan magyarázható meg az új megjelenése. Azt viszont állítja, hogy a világnak réteges szerkezete van, és hogy minden rétegnek saját tulajdonságai és törvényei vannak. A redukció és emergencia csak akkor mondanak ellent egymásnak, ha mindkét fogalmat erős változatában használjuk. Ismereteink szerint a „világfolyamatnak” alapvető jellegzetessége az emergencia-tulajdonság. A modern természettudomány számára a valóságnak különböző arcai vannak. Csak valamennyi komplementáris leírás összessége ábrázolja a (legtágabb értelemben vett) természet osztatlan valóságát. Ezeknek a felismeréseknek a fényében magának az *anyagnak* a fogalma is kitágul, többértévé válik. A továbbiakban szűknek bizonyul az „anyag materialista mítoszából” leszármaztatott anyagfogalom a valóság természettudományos megragadásához.

A természettudomány által tanulmányozott önszerveződési folyamatok filozófiai értelmezéséhez alapvető az anyag megfelelő ontológiai alapra helyezett megértése. Az *öntranszcendencia* fogalma kulcsfontosságú számunkra az anyag dinamikus ontológiai tulajdonságainak a leírásához. Ez a fogalom magában hordozza az anyag teremtettségének autonómiatulajdonságát, és egyúttal a világfolyamatban kibontakozó emergencia-tulajdonságról is számot ad. Az öntranszcendencia paradox fogalom egy olyan gondolkodás álláspontjáról, amely elszigetelten szemléli a létezőt, mert e felfogás voltaképpen azt állítja, hogy a létező tud adni magának valamit, amiye még nincs. E paradoxon azonban feloldódik, ha tekintetbe vesszük Isten teremtett világhoz fűződő transzcendens-immanens első okságát, amelynek a teremtmény saját léte és működése köszönhető. Mivel ez az okság transzcendens a teremtményhez képest, nem veszi át a teremtmény tevékenységét. Ugyanakkor ez a kapcsolat immanens is, azaz a teremtményben működik, ami lehetővé teszi, hogy egy anyagi dolog véges mivoltában és működésében „felülmúlja önmagát”. A filozófiailag igényesen kidolgozott öntranszcendencia-fogalom (az emergencia fogalmával összekapcsolva) kulcsot kínál az élettelen és élő közötti minőségi határsáv létrejöttének értelmezéséhez.

A természettudomány az élet jelenségét az univerzum bizonyos tér-idő tartományában megnyilvánuló lokális önszerveződési folyamatként tudja elhelyezni. Úgy tűnik, hogy az életjelenségeket egyszerre jellemzi rövid távon bizonyos időbeli stabilitás, hosszabb távon pedig alapvető instabilitás. Kozmológiai távlatban az életfolyamatokat nagyfokú dinamikus komplexitáshoz kapcsolódó *fluktuációkként* tekinthetjük.

A földi élet megjelenése térben és időben – az esetleges „őscsoda” kérdése

A szervetlen és szerves formák közti minőségi határ problémája az evolúció elméletével kapcsolatban csúcsosodik ki – részben erre vezethető vissza a közgondolkodás elkeseredett ellenállása is az elmélettel szemben. Vajon van-e „természetes” átmenet a szervetlen és a szerves állapot között? Korábban vallásos gondolkodók azon az alapon érveltek Isten létezése mellett, hogy mivel nincs birtokunkban arra vonatkozó magyarázat, hogy miképpen alakult ki a szerves élet a szervetlenből, így az *első sejt* előállítását joggal tulajdoníthatjuk isteni beavatkozásnak. A biológia szaktudományos logikája azonban elutasította e természetfölötti okság alkalmazását, és megkísérelte a szerves életformák előállításának feltételeit a lehető legalaposabban feltárni – nem kevés sikerrel.

Fontos észrevennünk azt, hogy a szerves és szervetlen anyagformák közötti átmenet problémája valójában az arisztotelészi léthierarchia és az evolucionista szempontok konfliktusaként jelentkezik. Az első a létrendek és fajok örökkévalóságát, időtlenségét hangsúlyozza egy statikus világnép alapján, míg a második ugyanezen valóságok megjelenésének feltételeit hangsúlyozza a modern dinamikus világnép alapján. Nem szükségszerű azonban, hogy ez a különbség feloldhatatlan konfliktust teremtsen. Az anyag fogalmáról alkotott (azt egyoldalúan a szervetlen léthez kapcsoló) előítéletekben van a tényleges forrása annak, hogy a szerves formákat a szervetlenektől csak egy metafizikai „életelv” posztulálásával vélik elhatárolhatónak. Az apóriára¹² megoldást kínáló, általunk helyesnek tartott természetfilozófiai koncepciót fentebb az *öntranszcendencia* és az *emergencia* fogalmaival értelmezett anyagiség leírásával már körvonalaztuk. Most mégis a „csodálatos teremtői működés” hagyományos vallásfilozófiai problematikájának mélyebb megértéséhez az egyik legigényesebben kidolgozott ilyen típusú modellt részletesebben is szemügyre vesszük.

A Thaxton – Bradley – Olsen természettudós szerzőcsoportnak 1983-ban jelent meg *Az élet eredetének rejtélye. A kortárs elméletek újraértékelése*¹³ (The mystery of life's origin) címmel egy könyve, amelyben az abiotikus evolúció elméletének a gyenge oldalait vették vizsgálat alá. Miután szaktudományos igénnyel összefoglalták a standard elgondolással szembeni kétségeiket, a könyv utolsó fejezetében számba veszik a földi élet megjelenésére vonatkozó eredetelméletek szerintük elvileg lehetséges öt csoportját. Az első elképzelés szerint új természeti törvények felfedezése teheti majd érthetővé a szervetlenből a szerves állapotba való átmenet evolúciós szakaszát. A második elképzelés az „általános pánspermia-elmélet” címen ismert elgondolást elemzi. A harmadik elképzelés Francis Crick (1916–2004) és Leslie Orgel (1927–2007) nyomán az „irányított pánspermia-elmélet” nevet kapta. Negyedik elvi lehetőségként az „egyedi teremtés a kozmoszon belüli Teremtő által” című koncepciót tárgyalják, elsősorban Fred Hoyle (1915–2001) és Chandra Wickramasinghe (1939–) ötletei nyomán. Végül a szerzők maguk (nyilván némi vallási háttérrel), az ötödik lehetőség melletti állásfoglalásukat sugallják, amely az „egyedi teremtés a kozmoszon kívüli Teremtő által” nevet kapta. Számunkra most csak ez az ötödik lehetőség az érdekes, mert bizonyos kritikai szempontok megfogalmazására kínál alkalmat.

A fenti szerzőhármás elgondolása szerint az ötödik típus is tudományos hipotézis formájába önthető, a következő módon: Szerintük tényként csupán annyiból indulhatunk ki, hogy „az anyag valaha egyszerű szerkezetű, semleges és élettelen volt. Egy későbbi állapotában viszont már az élet megszületéséhez és fennmaradásához megfelelő mértékű biológiai összetettség jellemezte. Az egyedi teremtés elve abban tér el az abiogenezistől, hogy úgy gondolja: a forrás, mely az életet létrehozta, értelemmel bír [...]. Egy értelmes Teremtő információval ruházta fel az élettelen anyagot.”¹⁴ E

¹² Az „apória” itt használt jelentésének kifejtését, lásd BAGYINSZKI P. ÁGOSTON – MÉSZÁROS LUKÁCS: Apóriák, avagy természettudomány és teológia párbeszédében, *A Szív* 102 (2016/szeptember) 28–31.

¹³ CHARLES B. THAXTON – WALTER L. BRADLEY – ROGER L. OLSEN: *Az élet eredetének rejtélye. A kortárs elméletek újraértékelése*, Harmat, Budapest, 1997. (ford. Székács András)

¹⁴ Uo. 232.

hipotézis mellett szóló érvek a következők: „amennyiben a korai Föld (valóban) oxidáló jellegű volt, ez nem csupán a teremtés mellett szólna, de egyben meglehetősen nehezzé tenné a kémiai evolúció pusztá feltételezését is. Emellett a Föld lehülése és az első élő szervezetek megjelenése között eltelt idő rövid volta (170 millió év) szintén a teremtés feltételezését támasztja alá. Az élet teremtése mellett szól természetesen a prekambriumi üledékek oly kicsiny nitrogéntartalma is (nem létezett ősleves). Az egyedi teremtés emellett összhangban áll azzal a határvonallal, amely az abiotikus laboratóriumi eredmények és a vizsgáló személy által elkövetett beavatkozás révén elért eredmények között megállapítható. Amennyiben az első élőlényt értelemmel rendelkező Teremtő hozta létre, a laboratóriumi kísérletekben megismert határvonal valós lehet, mely a kísérleti előrelépésektől vagy az új természeti folyamatok felfedezésétől függetlenül létezik. Egy értelemmel bíró Teremtő megvalósíthatta a konfigurációs entrópia jelentős mértékű munkai igényének bevitelét, amely a makromolekulák felépítéséhez és a sejtek összeállításához volt szükséges”¹⁵. A szerzőcsoport szerint itt egy életképes tudományos hipotézisről van szó, még akkor is, ha a tudományos közvélemény idegenkedik egy ilyen természetfeletti tényező közreműködésétől. Azonnal látható, hogy itt a *kreacionista* gondolkodási modellnek¹⁶ egy olyan változatáról van szó, amely egy konkrét földtörténeti pillanatban egyedi „molekuláris biológiai csodát” vagy „őscsodát” feltételez. Ezt a Thaxton, Bradley és Olsen által javasolt hipotézist most nem szaktudományos vagy tudományelméleti kritikának vetjük alá (bár mindkettőnek bizonyosan lenne létjogosultsága), hanem vallásfilozófiai kritikát fogalmazunk meg. Véleményünk szerint teológiai-filozófiai koncepciók hibát is magában rejt ez a gondolkodásmód.

Filozófiai szempontból tesszük fel tehát a lényegi kérdést: feltételezzünk-e (feltételezhetünk-e) „őscsodát” a tudományos világképünkben? Előzetesen megállapíthatjuk, hogy azok, akik hisznek abban, hogy sajátos értelemben vett csodák csakugyan történnek, többnyire arról is meg vannak győződve, hogy ezeknek az eseményeknek van valamilyen vallásos jelentőségük. A csodák a vallásos ember számára az Istennel való kapcsolatban nyerik el értelmüket. A vallásos ember számára az sem kétséges, hogy Isten éppúgy jelen van mindabban, ami nem számít csodának, mint a csodákban. A keresztény hit pedig hitvallásszerűen egyetlen nagy Csodáról tud, amelynek vannak ugyan lényeges tér-időbeli referenciapontjai, de ez a Csoda alapvetően mégis az egész teremtett valóság átalakulását érinti. Ezeket fontos leszögeznünk, mert a következőkben nem a teológiailag értelmes Csoda kritikájáról lesz szó, hanem csupán az abiogenezis vélt nehézségeit áthidaló spekulatív őscsoda kritikájáról.

Egy közkeletű, ám felszínes meghatározás szerint a csodák törést jelentenek az anyagi világ történéseinek természetes rendjében. David Hume (1711–1776) nyomán ezt a következőképpen pontosíthatjuk: „a természet törvényeinek az Istenség különleges akaratából vagy valamely láthatatlan lénynek közbejöttével történő megszegése”¹⁷. Mások szerint már az események rendkívül valószínűtlen, jótékony hatású véletlen egybeesése is csodának tekinthető, ha vallásos értelmezést adunk neki. Az ehhez hasonló csodafogalmak kritikája megtalálható Brian Davies (1951–) könyvében.¹⁸ A továbblépést az jelentheti, ha a csodának egy korrigált meghatározásával rámutatunk az élettelen és élő közti határt áthidalni hivatott „őscsodában” rejlő merőben filozófiai problémákra.

Arra a klasszikus keresztény gondolkodók által képviselt tételre támaszkodhat a korrigált csodafogalom, hogy a teremtő Isten a világ teremtett rendjének közvetítésével (ld. másodlagos okok), a

¹⁵ Uo. 244.

¹⁶ Vö. BAGYINSZKI P. ÁGOSTON – MÉSZÁROS LUKÁCS: Az evolúciós elv és a létezők hierarchiája. Illeszkedik-e egymáshoz a természettudományok evolúciós elve és a létezők hierarchiájának vallástörténeti eszméje?, *Sapientiana* 9 (2016/1) 1–13, lásd különösen 2–4.

¹⁷ Idézi BRIAN DAVIES: *Bevezetés a vallásfilozófiába*, Debrecen, Kossuth, 1999, 218. (ford. Rakovszky Zsuzsa et al.)

¹⁸ Lásd BRIAN DAVIES: *Bevezetés a vallásfilozófiába*, Debrecen, Kossuth, 1999, 218. (ford. Rakovszky Zsuzsa et al.)

világban működve létre tudja hozni személyes működésének az ember számára felismerhető és érthető jelét, vagyis azt, amit csodának nevezünk. Ennek jegyében el kell utasítanunk az Isten közvetlen beavatkozásaira, esetenkénti „törvényszegéseire” támaszkodó újkori csodafogalmat. Egyaránt vitatható az az istenfelfogás és az a világfogalom is, amely ennek a koncepciónak alapjául szolgál. Ha ugyanis úgy képzeljük el Isten teremtő működését a világon belül, hogy Isten több ízben új „kezdetekkel” áll elő a világban, amelyeknek semmi közük nincs a már meglévőhöz (ha tehát Isten tevékenységéről a „másodlagos okoktól” függetlenül beszélünk), akkor átváltoztatjuk Istent más, világon belüli tényezőkkel összehasonlítható tényezővé, és ezzel, akaratlanul, tagadjuk Isten egyszerre immanens és transzcendens valóságát. Továbbá ezek a „kezdetek”, amelyeknek teljességgel külsődleges és irracionális a dinamikus univerzumhoz fűződő kapcsolata, ebben a világban mindig idegen események volnának, amelyek sértenék a világ egységének és érthetőségének elvét. A „beavatkozásos” csodafogalomra nem lehet hitet és rációt integráló gondolarendszert építeni. Nem arra hivatkozunk tehát, hogy a modern ismeretanyag szellemi keretei nem tudnak befogadni csodának tekintendő eseményeket, hanem arra mutatunk rá, hogy egy világgépet alkotó elemként megkonstruált ősi csodaesemény („őscsoda”) nem férne össze a *fides et ratio* ősi keresztény elvével.¹⁹

A véletlen és a gondviselés szembeállításának apóriája

Az előző alfejezetben egy Isten teremtő tevékenységének részeként értelmezett „őscsoda” lehetőségének átgondolásához kerestünk szempontokat. Most Isten világban megvalósuló normális tevékenységéről szeretnénk képet alkotni a biológiai evolúcióval összefüggésben. Milyen módon konkretizálhatjuk Istennek azt a sajátos tevékenységét, amit hagyományosan *gondviselésnek* nevezünk?

Jacques Monod (1910–1976) *A véletlen és a szükségszerűség* (Le Hasard et la Nécessité) című 1970-ben megjelent könyvének második fejezetében fejti ki alapvető tételét. Eszerint a kései modernitás korában felsejlő egyetlen tudományos elmélet – amely magában foglalja a relativitás- és kvantumelméletet, az elemi részek elméletét, a kozmológiát és a biológiát – csak általánosságban mondhatja meg előre, hogy a tárgyak vagy események mely osztályai léteznek, milyen tulajdonságokkal és viszonylatokkal, de nem mondhatja meg előre egyetlen partikuláris tárgynak vagy eseménynek sem a létezését vagy az ismérveit. Az elmélet alapján ez a tárgy vagy esemény (pl. az Androméda-köd, a Vénusz bolygó, a Mount Everest, a tegnapi zivatar, ez a kavics vagy ez a baktérium) nem szükségszerűen, hanem csupán esetlegesen létezik: összeegyeztethető (kompatibilis) a természet alaptörvényeivel. Monod úgy véli, hogy ezzel a tétellel szemben az összes vallás, majdnem minden filozófia, és részben maguk a tudományok is az emberiség elkeseredett erőfeszítéséről tanúskodnak: megpróbálják kétségbe vonni saját esetlegességünket. Vajon igaza van-e Monod-nak, amikor ezt a kihívó állítást megfogalmazza?

Mindenekelőtt érdemes tudatosítanunk azt, hogy a keresztény filozófia már az újkort megelőzően világosan állította a véletlen események létét és szerepét. Hivatkozhatunk pl. Aquinói Szent Tamásra (1225–1274), aki az isteni okságot (ún. elsődleges ok) soha nem keverte össze a világ belső logikájával (ún. másodlagos okok), és az utóbbira való tekintettel síkraszállt a valós véletlenek léte mellett (ld. *Summa Theologiae*, I, q. 22, a. 2.). Az esetlegesség, mint minden evilági dolog alaptulajdonsága hangsúlyosan megfogalmazódik a nyugati filozófiai hagyományban. A klasszikus tárgyalás azonban a véletlen és az esetlegesség mögött mindig rámutatott egy vertikális (kontra:

¹⁹ Vö. BAGYINSZKI P. ÁGOSTON: Az üdvtörténet a végjáték felől nézve, in Hetesi Zsolt – Teres Ágoston (szerk.): *Vallás és tudomány*, Manréza Szimpózium 2004/Dobogókő, Magyar Jezsuita Rendtartomány – ELTE Csillagászati Tanszék, Budapest, 2005, 1–19, különösen 5–6.

horizontális) okságra is, amely a világ jelenségei mögött értelmet, akaratot, szervező bölcsességet, intencionalitást (elrendelő szándékot) feltételez.

Az maradt a konkretizálandó kérdés, hogy ez az *Isteni Értelem* mi módon fejt ki hatását a mi tapasztalati világunkra, avagy „hogyan működik a gondviselés”. Amikor ezt a kérdést az ún. „teológiai fizikalizmus” gondolkodási mintája szerint próbálták megválaszolni, akkor születtek a mélyebb elemzésben tarthatatlan elgondolások a világfolyamat, és konkrétan a biológiai evolúció célra irányítottaságáról, a közvetlen emberre irányuló megtervezettségéről stb. Ebben a gondolkodási mintában a véletlen és a gondviselés valóban két, egymást kizáró alternatívát képez: vagy van véletlen, és akkor ezen a ponton kiszorul a világból a gondviselő Isten ujja, vagy mindenben jelen van a gondviselés keze, és akkor minden véletlen csak látszat. Monod erre a dilemmára reagál a fentebb idézett gondolataival. Ezt a dilemmát azonban pusztán filozófiai szempontok alapján is hamisnak kell tartanunk. A következőkben egy olyan filozófiai modellt vázolunk fel, amely rámutat a véletlen és a gondviselés szembeállításának elhibázottságára.

Univerzumképünk szerint a világot dinamikus matematikai strukturáltság, több szinten megnyilvánuló „szabadsági fokok” (pl. mikroszkopikus véletlen), bizonyos kompaktság és nyitottság jellemzik. Isten világban megvalósuló tevékenységéről már többször hangsúlyoztuk, hogy azt csak transzcendens-immanens módon szabad elgondolnunk, mint amely ontológiai háttérfeltételként kapcsolódik a teremtett létezőkhöz. Nincsenek külön „belépési pontjai” Isten tevékenységének a világunkban: a világ egészére ható okságként kíván Ő hatást kifejteni a világ részeinek általunk megtapasztalt, összetett alakzataira. Távoli hasonlatként a szabad emberi cselekvéshez hasonlíthatjuk Istennek a világhoz fűződő kapcsolatát. Ahogy nem okoz természettudományos szemmel (pl. biokémiai értelemben) rendkívüliséget az ember intencionális viselkedése, úgy Isten gondviselő működése sem vonja magával a világ – általa teremtett – belső rendjének a megbontását. És ahogy az emberi viselkedés mégis értelmes egészé állhat össze a cselekvő alany által, valami módon a teremtett világban is kirajzolódhat a dolgoknak bizonyos *háttéri értelme*. Ennek az analógiának sok hiányossága van, előnye viszont, hogy szemléletes. Lényege, hogy komplementaritásban fogja fel az okság két rendjének kapcsolatát. Első látásra problémának tűnhet, hogy ebből a modelltől nem lehet levezetni olyan isteni szabadságot, amely minden szempontból korlátlan lenne a világban. Erre azonban nincs is szükség, mert az isteni mindenhatóság nem jelenti azt, hogy Istennek a világban mindarra képesnek kell lennie, ami abszurditást az ember fantáziája elgondolni képes.

A biológiai evolúció folyamatában tehát komolyan vehetjük az esetlegességeket, a véletlenszerűségeket, a folyamat szabadságát. Nem kell egy terv végrehajtásaként vagy empirikusan megragadható célra irányítottságban értelmeznünk a folyamatot ahhoz, hogy háttéri értelmet ismerhessünk fel benne. Háttéri értelem pedig nem olyasmit értünk, ami csak egy folyamat beprogramozott végső szakaszára vonatkozhat.

A bioszféra teremtettségének eszmei tartalma

A bioszféra – vagyis a földi élet – keletkezésének problematikája abban különbözik az univerzum eredetének problémájától, hogy a biogenezisnél lényeges tényező az időbeliség is. Közel 4,6 milliárd évvel ezelőtt, bolygónk kialakulásakor a bioszféra még nyilvánvalóan nem létezett, ma pedig benne élünk. A földi életet tehát térben és időben behatárolt, a kozmikus folyamaton belül keletkező valóságként kell felfognunk, és ez a „teremtettség” naiv fogalmának pontosítását követeli meg tőlünk.

Filozófiai koncepcióinkban a Teremtő nem a csodálatos közvetlen beavatkozásokkal vagy „őcsodákkal”, de nem is zárójelbe tehetően van jelen az általa teremtett világban, hanem az önszerveződés–öntranszcendencia útját járó folyamatokban fedezhetjük fel a jelenlétét. Az ilyen folyamatoknál a szabad és autonóm kibontakozás ontológiai háttérfeltételei fejezik ki a teremtői és

gondviselői közreműködést. Isten láthatatlanul, transzcendens–immanens módon van jelen a világban. Mi magunk – teremtmények lévén – csak a puszta létbeliséget tapasztaljuk közvetlenül a teremtés egész folyamatából, de ez a létbeliség a maga evolutív szabadságában önmagán túlra mutat.

A vázlatosan bemutatott gondolatrendszerünkben nincs ellentmondás a *létezők hierarchiájának* eszméje és az *evolúciós elv* között. Ontológiai szempontból az evolúciós történések lényege abban ragadható meg, hogy az öntranszcendencia (önfelülmúlás, minőségi többé válás) a létezőt alkotó létezési aktusból fakad: a véges létezőben a lét egészének dinamizmusa dolgozik fokozatosan a minőségi növekedés, differenciált kibontakozás, a korlátok bizonyos felülmúlásának irányában. Ennek az öntranszcendenciának az útja sok esetlegességen, véletlenszerűségen halad keresztül, mert bizonyos belső szabadsággal jellemezhető folyamatról van szó. Maga az önszerveződési- és öntranszcendentálási tendencia azonban – a háttérben Teremtőt feltételező – világfolyamat lényegéhez látszik tartozni. Bár a minőségi növekedésnek a tér-időbeli konkrét útját nem lehet előre megmondani, az élettelen és az élő közötti határsáv meghaladásának lehetősége így mégis bele van oltva a teremtett létbe magába, amelyet a Gondviselés hordoz.

A klasszikus „Két könyv”-metafora eszmetörténetéhez The Two Books prior to the Scientific Revolution¹

Giuseppe Tanzella-Nitti

Fordította: Nemes Krisztina

Lektorálta és sajtó alá rendezte: Bagyinszki Péter Ágoston OFM^a

^a Sapientia Szerzetesi Hittudományi Főiskola, 1052 Budapest, Piarista köz 1.
bagyinszki.agoston@sapientia.hu

Tanzella-Nitti, G. (2016): A klasszikus „Két könyv”-metafora eszmetörténetéhez. [The Two Books prior to the Scientific Revolution.] - Fordította: Nemes Krisztina; lektorálta és sajtó alá rendezte: Bagyinszki Péter Ágoston OFM. Acta Pintériana, 2, 55–75.

E tanulmány témája a tág értelemben vett isteni kinyilatkoztatásnak a természetben, valamint a Szentírásán keresztül megvalósuló két módja közti kapcsolat vizsgálata, különös tekintettel a 17. századig számos szerző által előszeretettel alkalmazott „Két könyv”-metaforára. Az egyházatyák többségének véleménye szerint a *Természet könyve* éppen úgy egyetemes, mint a *Szentírás*, s a két könyv tartalma bizonyos értelemben egyenértékű. A középkori szerzők azt hangsúlyozzák, hogy a bűn miatt meggyengült az emberi értelem képessége arra, hogy a *Természet könyvé*n keresztül ismerje fel Istent. Ezért válik szükségessé egy „harmadik” könyvnek, a *Kereszt könyvé*nek olvasása. Raimundus de Sabunde (1385–1436) kapcsolódó klasszikus munkája fontos szerepet játszik abban, hogy megérthessük, milyen történelmi fejlődésen ment keresztül a metafora a reneszánsz idején és a modern korban. Ezzel a fejlődéssel összhangban nőtt a *Természet könyvé*nek autonómiája a *Szentírással* szemben, ami utat nyitott a Szentírás által közvetített istenképtől különböző pogány istenképek újraeledése felé. A „Két könyv”-metafora használatának ez az új módja a 18. században a deizmus, a 19. században pedig a naturalizmus kialakulásához vezetett, így a modernitás mélyebb megértéséhez is kulcsot jelent.

*Omnis mundi creatura
quasi librum et pictura
nobis est et speculum.²*

(12. századi Himnusz)

Bevezetés

A tudomány és a teológia kapcsolatáról korunkban kibontakozó diskurzus gyakran él a *Természet könyve* és a *Szentírás könyve* közötti összehasonlítás lehetőségével. Ez az összehasonlítás alapvetően két módon értelmezhető.

¹ A fordítás alapjául szolgáló angol szöveg megjelenési helye: *Annales Theologici* 18 (2004) 51–83. A cikk szerzője olasz katolikus teológus, a Vatikáni Csillagvizsgáló munkatársa. A cikk fordításának és magyar nyelvű közlésének jogát a szerző átadta Bagyinszki Péter Agostonnak.

² ALAIN DE LILLE: *Himnusz*, 12. század, in PL 210,579.

Tágabb értelemben a természetről a tudomány által és a zsidó–keresztény kinyilatkoztatás olvasása által megszerzett tudásformák összehasonlítására utal, mely utóbbi a természetet úgy értelmezi, mint a teremtést. Ebben az esetben ez a megközelítés egyszerűen csak a vallás és tudomány széles témájának egy más szemszögből történő vizsgálata.

Létezik azonban egy másik, jóval érdekfeszítőbb módja ennek az összehasonlításnak. Valójában a „könyvre” utalhatunk egészen konkrét és meghatározott értelemben is, mint olyan dokumentumra, amit valaki írt valaki más számára azzal a céllal, hogy érthető tartalmat közvetítsen; tehát úgy utalhatunk rá, mint egy olyan szövegre, melynek az író eredeti és valódi szándékait tükröző helyes értelmezése és magyarázata valószínűleg csak bizonyos erőfeszítések árán sikerülhet. De feltesszük a kérdést: hogyan lehet valóban jelentésközvetítő a metafora értelmezésének e második módja? Még ha mindannyiunk számára világos is, hogy mit értünk a Szentírás könyve alatt, az már kevésbé lehet világos, hogy mit értünk az alatt, amikor a világegyetemről beszélünk úgy, mint egy „könyvről”. Nyilvánvalóan metaforával állunk szemben, melynek használata különböző árnyalatokban valósulhat meg: Milyen mértékben engedhető meg, hogy úgy tekintsünk a természetre, mint egy könyvre? Hogyan alkalmazták ezt a vallásos közezből származó metaforát a történelem során?

Mikor a *két könyv* közötti kapcsolatról van szó, elsőként az jut eszünkbe, hogy mi történt a 17. századtól kezdődően, vagyis attól a korszaktól kezdve, amikor az úgynevezett „tudományos forradalom” kezdte megkérdőjelezni a teológustársadalom néhány fontos alaptételét. Ebben a kontextusban kezdtünk el beszélni a *két könyv* közötti „ellentétről”. A modern korszak előtt e metafora használata kevésbé tűnik problematikusnak, és a hozzá kapcsolódó kérdések sem különösen érdekesek. Valójában a könyv képe irodalmi körökben széles használatnak örvendett már jóval Galilei és Kepler százada előtt is. Ebben a cikkben éppen arra kívánok összpontosítani, hogy mi történt a tudományos forradalom előtt, és három fő kérdést próbálok körüljárni:

- a) Hogyan kapcsolódott egymáshoz a *két könyv*, és elődeink miképpen gondolkodtak arról, hogy az egyik tartalma segíthet a másik megértésében?
- b) Milyen fejlődési ívet figyelhetünk meg a *két könyvet* érintő fő eszmetörténeti áramlatokban?
- c) Milyen következményei vannak annak, ha elfogadjuk, hogy a természet értelmezhető úgy, mint egy valódi és igaz *könyv*?

Míg az első két kérdés történelmi perspektívában mozog, a harmadik a kortárs tudományfilozófia horizontján helyezi el a témát.³ Ez utóbbi kérdés teljes megválaszolása azonban nem tartozik jelen dolgozat céljai közé, ezért mindössze néhány megjegyzésre szorítkozom a témával kapcsolatban, s arra kérem az olvasót, hogy kérdéseivel forduljon a téma bőséges irodalmához.

A Szentírás lapjain „könyvnek” tekintik-e a Természetet?

Mindenki számára ismeretes, hogy a *Szentírás* a teremtett világot *Isten Igéjéből* eredezteti: „Isten szólt: »Legyen világosság«, és lett világosság” (Ter 1,3). Ezt az *Ige* és a *Világ* közti kapcsolatot megerősíti az Újszövetség is, mely tanúsítja, hogy az egész világegyetem a testté lett Igétől függ: „ezekben a végső napokban Fiában szólt hozzánk, akit a mindenség örökösévé tett, aki által az időket

³ A történelmi perspektívával kapcsolatban ld. DAVID C. LINDBERG – RONALD L. NUMBERS (eds.): *God and Nature. Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*, University of California Press, Berkeley – London, 1986; JOHN HEDLEY BROOKE: *Science and Religion. Some Historical Perspectives*, Cambridge UP, Cambridge, 1991; magyarul megjelent: *Tudomány és vallás. Történelmi áttekintés*, Kalligram, Pozsony, 2011; JOHN J. CLARKE (ed.): *Nature in Question. An Anthology of Ideas and Arguments*, Earthscan, London, 1993; ALISTAIR C. CROMBIE: *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*, vols. 1–3., Duckworth, London, 1994.

is teremtette. [...], ő tartja fenn hathatós szavával a mindenséget” (Zsid 1,2–3). A teológiai és filozófiai irodalom ezen a bibliai alapon alkalmaz a teremtett világra metaforákat, amelyek ilyen értelemben kezelik az Igét. Szavak által vagy szöveget mondunk, vagy himnuszokat imádkozunk, vagy dalokat éneklünk. Ha tehát a teremtményeket egy könyv betűihez vagy egy kórus hangjaihoz hasonlítjuk, az összhangban áll az *Ige-Logoszra* épített teremtésteológiával. Érdekes megjegyezni, hogy amikor más képeket használunk – például ha azt mondjuk, hogy a természetben található dolgok olyanok, mint a *lábnyom*, mint a nyomok vagy mint a Teremtő Isten *tükre* – akkor az eltérő terminológia eltérő asszociációkat hoz magával. Fontos tehát tudatosítani, hogy a természetet könyvhöz hasonló metafora különösen alkalmas a keresztény teremtésteológia bizonyos összefüggésrendszerének szemléltetésére.

Ha figyelmünket arra irányítjuk, hogy a Szentírás hogyan képzeli el és miképpen ábrázolja a világegyetemet, de mindenekelőtt az eget, akkor legelőször a sátor- vagy a függőnymetaforával találkozunk. Az égbolt sátorként terül vagy inkább borul a Föld fölé, mint azt a Zsoltárok több versében vagy Jób és Izajás könyvében olvashatjuk.⁴ Az itt használt igék (heb. *natá*) a sátor leverésére és kifesztésére utalnak, vagy ritkább esetben valamilyen anyag kiterítésére.⁵

Néhány esetben – s leginkább az utolsó ítélet apokaliptikus kontextusában – egy érdekes kifejezéssel találkozunk. A következőt olvassuk Izajás próféta könyvében: „Mint a könyvtekercs, összegöngyölnének az egek, és seregük úgy le hull, mint a falevél, mint a szőlő, s mint a fügefáról a levél” (Iz 34,4). Ezzel majdnem azonos megfogalmazás található a Jelenések könyvében: „Az ég összehúzódott, mint egy felgöngyölt könyvtekercs. Minden hegy és sziget elmozdult a helyéről” (Jel 6,14). Ezek az idézetek arra mutatnak rá, hogy a kifesztett sátormetaforán belül a sátorlap olyan, mint egy könyvtekercs; vagyis az egek kifesztésével (vagy megteremtésével) ellentétes tevékenység az egek felgöngyöltése vagy visszagöngyöltése, vagyis az, amit a tekerccsel tesznek. Mivel a „tekercs” nem más, mint a Bibliában a könyv jelölésére használt szó, ezért ebben talán annak jelzését fedezhetjük fel, hogy az egekre tekinthetünk úgy is, mint egy sátorlapra, és úgy is, mint egy tekercsre. Ezeket az egek megalkotásakor „kifesztették”, és az új teremtés beteljesedésekor majd „visszagöngyölik”. Pusztán filológiai tekintetben ugyan nem rendelkezünk elég adattal, hogy levonjuk a következtetést: a Szentírás úgy látja a természetet, mint egy könyvet, de e néhány vers ennek a gondolatát sugallja.

Fontos megemlítenünk azt is, hogy a Szentírásban, különösen a Jelenések könyvében két másik metaforát is találunk: az *Élet könyvét* és a *Történelem könyvét* (vö. Jel 20,12). Az 5. fejezetben egy titokzatos tekercs ünnepélyes látomását találjuk, amelynek mindkét oldalán volt írás, azaz kívül is és belül is (vö. Jel 5,1; Iz 2,9). Aztán egy angyal nagy hangon azt kérdi: „Ki méltó rá, hogy kibontsa a tekercsot, feltörje pecsétjeit?” (Jel 5,2). Majd megjelenik Isten Báránya, átveszi a titokzatos tekercsot a trónon ülő Magasságos Istentől, s az angyalok és a vének kiáltásban törnek ki: „Méltó a Bárány, akit megöltek, hogy övé legyen a hatalom, a gazdagság, a bölcsesség, az erő, a tisztelet, a dicsőség és az áldás” (Jel 5,12). Ennek a jelenetnek a jelentésére még visszatérünk tanulmányunk végén.

⁴ „Ha megparancsolja, nem kel föl a nap sem, pecsétje elveszi a csillagok fényét. Maga feszítette ki az ég sátorát, tenger magas árját lába alá gyűrte. Ő alkotta a Göncölszekeret, a Kaszást meg a Fiastyúkot is, s Délnek Kamaráit” (Jób 9,7–9); „Áldjad, lelkem, az Urat! Uram, Istenem, mindennél nagyobb vagy! Fönségbe és méltóságba öltözzöl, a fény, mint köntös, úgy fog körül. Az eget kifesztéd, mint a sátor, lakóhelyed a vizek fölött rendezted be. A felhőket fogatként használod, a szelek szárnyán szállsz tova. A szeleket követéddé teszed, a haragos villámot szolgálóddá” (Zsolt 104,1–4); „Nézzétek: én alkottam a földet, és én teremtettem az embert is, aki lakja. Az én kezem terjesztette ki az egeket, és én sorakoztattam fel minden seregüket” (Iz 45,12); „Az Úr hatalmával megalkotta a földet; bölcsességével megteremtette a világot, és okosságával kifesztette az egeket” (Jer 10,12; 51,15). Vö. még Iz 44,24; 51,13; Zak 12,1. Egy másik szót (heb. *piel*) találunk az Iz 48,13-ban, melynek jelentése analóg: „Az én kezem rakta le a föld alapjait, és az én jobbom feszítette ki az eget. Ha szólítom őket, egyszerre jelentkeznek.”

⁵ Vö. GERHARD JOHANNES BOTTERWECK – HELMER RINGGREN – HEINZ-JOSEF FABRY (eds.): *Theological Dictionary of the Old Testament*, vol. 9., Eerdmans, Grand Rapids (MI) – Cambridge (UK), 1998, 381–387.

Pillanatnyilag elegendő annyit hangsúlyoznunk, hogy a „természet mint teremtés” és „mint könyv” közt fennálló irodalmi társítás azon a rokonságon alapul, ami a világ és az Ige között fennáll, és amely kapcsolat figyelemreméltóan teológiai jellegű. Isten Igéje által teremt, és a világ az isteni Logoszt közvetíti, azaz Isten szavait tartalmazza és fejezi ki.

Az egyházatyák és a kora keresztény írók Scotus Erigenáig

Azoknak a szerzőknek a száma, akik a *Természet könyvéről* beszéltek, igen nagy. Az, hogy a gondviselő Teremtőt művének megfigyeléséből kiindulva egy filozófiai ösvényen haladva próbáljuk felfedezni, s az, hogy a teremtés művén keresztül ő beszél hozzánk, olyan gondolatok, amelyek az emberi kultúra teljes történelme során, a kezdetektől egészen napjainkig jelen vannak. Mindenesetre úgy tűnik, hogy először a kora keresztény irodalomban kezdett világosan kirajzolódni az a szemlélet, mely úgy tekintett a természetre, mint egy könyvre. Bár nem zárhatjuk ki, hogy korábbi kultúrákban is létezhetett ez a megközelítés, hiszen a Mediterráneumban már Krisztus előtt 3500 óta használtak különböző írásrendszereket, annyi azonban bizonyos, hogy ez a szemlélet vallásos környezetben alakult ki.

Az egyházatyák két fő területen alkalmazzák ezt a megközelítést: az egyik a „kozmológiai érv”, amely által arra hívnak minden jóakarátú embert, hogy a teremtmények rendjének és szépségének megfigyeléséből ismerjék fel a Gondviselő-Teremtőt; a másik a kozmikus liturgia, mely a természet működéseinek Istent ünneplő és dicsőítő összjátékában valósul meg. Remete Szent Antal (3. sz.), akinek élete valószínűleg a remete életmód első példája, ezt így fejezi ki: „a teremtett természet az én könyvem, mely mindig rendelkezésemre áll, valahányszor Isten szavait akarom olvasni”⁶. Mint arra nem sokkal később Ninivei Szent Izsák rámutatott, a *természetet* előbb kapták az emberek, mint a *Szentírást*.⁷ Az egyházatyák közül Nagy Szent Baszileiosz (329/330–379), Nüsszai Szent Gergely (335–394), Szent Ágoston (354–430), Johannes Cassianus (kb. 360–430/435), Aranyszájú Szent János (kb. 344/347–407), Szír Szent Efrém (306–373) és Hitvalló Szent Maximosz (kb. 580–662) írásaiban explicit utalásokat találunk a *Természet könyvére*. Ha ezekhez még hozzáadnánk azokat a szerzőket is, akik implicit módon utalnak a *Természet könyvére*, például azokat, akik azt mondták, hogy Isten „a teremtésen keresztül beszél hozzánk”, a felsorolás sokkal hosszabbra nyúlna, és ellenőrizhetetlenné válna.⁸ A mi céljainkhoz azonban elegendő, ha csak néhányat idézünk, majd ezek alapján megpróbáljuk összefoglalni a fontosabb vezérgondolatokat.

A keleti egyházatyá, Nagy Szent Baszileiosz szerint „Teremtőnk képére és hasonlatosságára teremtettünk mi, emberek, akik intellektussal és ésszel is meg vagyunk áldva, hogy természetünk teljes legyen, és megismerhessük Istent. Ily módon a teremtmények szépségének folyamatos szemlélésével mintha betűket és szavakat néznénk, belőlük tudjuk kiolvasni Isten bölcsességét és minden dolgok feletti gondviselését.”⁹

Annak ellenére, hogy Szent Ágoston védekező érvei inkább antropológiai, mint kozmológiai természetűek, a nyugati egyházatyák közül ő az, aki több bekezdést is szentel a *Természet könyvének*,

⁶ Idézi SZÓKRATÉSZ SZKHOLASZTIKOSZ: *Historia Ecclesiasticae*, IV, 23, in PG 67,518; magyarul megjelent VANYÓ LÁSZLÓ (szerk.): *Szókratész egyháztörténete*, Ókeresztény Írók 9., Szent István Társulat, Budapest, 1984. (ford. Baán István)

⁷ „A Természet volt az első könyv, amit Isten nekünk, racionális lényeknek adott; a tintával írott tanítások csak az ember bűnbeesése után adattak” (NINIVEI SZENT IZSÁK: *Sermones ascetici*, V).

⁸ Lásd pl. SZENT ATHANASZIOSZ: *Expositio in Psalmum XVII*, 4, in PG 27,124C; magyarul megjelent VANYÓ LÁSZLÓ (szerk.): *Szent Athanasziosz művei*, Ókeresztény Írók 13., Szent István Társulat, Budapest, 1991. (ford. Baán István); ARANYSZÁJÚ SZENT JÁNOS: *Homilia ad populum antiochenum*, IX, 2, in PG 49,105.

⁹ NAGY SZENT BASZILEIOSZ: *Homilia de gratiarum actione*, 2, in PG 31,221C–224A; magyarul megjelent VANYÓ LÁSZLÓ (szerk.) *Nagy Szent Baszileiosz művei*, Ókeresztény Írók 16., Szent István Társulat, Budapest, 2001.

melyekben gyakran találunk érdekes összehasonlításokat a Szentírással. Az itt következő idézet ebből a szempontból nagyon világosan fogalmaz: „Arra kell hallgatnod, ami az isteni könyv betűivel meg van írva; a világegyetem könyvét kell szemlélned. A Szentírás lapjait csak azok olvashatják, akik tudnak írni-olvasni, míg a világegyetem könyvét mindenki, még az írástudatlanok is olvashatják.”¹⁰ „Néhány ember – olvashatjuk a *Sermones*-ben – könyvet olvasva próbálja felfedezni az Istent. Létezik azonban egy nagyszerű könyv: a teremtett dolgok megjelenése. Nézz fel, s nézz le, jegyezd, olvasd. Isten, akit fel akarsz fedezni, nem tintával írta betűit; odatette az általa teremtett dolgokat éppen a szemed elé. Kérhetsz-e ennél hangosabb hangot?”¹¹ A *Confessiones* 13. fejezetének egyik helyén az égbolt mint a könyv metaforája vegyül azzal a bibliai képpel, hogy a csillagos égbolt úgy terül fölénk, mint egy bőr. Isten épp az után adott bőrlőzetest mezítelen ősszüleinkre, miután bűnbe estek, így mutatván meg irántunk való kegyelmét; ehhez hasonlóan az égbolt is egy bőr, amely szintén Isten kegyelmét mutatja, mert ha az emberek olvasnak benne, mint egy könyvben, megtudhatják Isten akaratát, s erényes és becsületes életet élhetnek.¹² A teremtésre utalva Ágoston azt mondja: „Nincs más könyvekről tudomásunk, hogy a kevélységet annyira összetörnék, s annyira széjjelzúznák az engesztelődésnek ellenálló és a maga bűneit védő ellenséget.”¹³ Az emberekkel ellentétben az angyaloknak nem kell olvasniuk az égből, mivel ők mindig látják Isten arcát, és tökéletesen ismerik Isten akaratát: valójában maga Isten az ő könyvük.¹⁴

¹⁰ „Liber tibi sit pagina divina, ut haec audias; liber tibi sit orbis terrarum, ut haec videas. In istis codicibus non ea legunt, nisi qui litteras noverunt; in toto mundo legat et idiota” (SZENT ÁGOSTON: *Enarrationes in Psalmos* 45, 7, in PL 36,518).

¹¹ „Alius, ut inveniat deum, librum legit. Est quidam magnus liber ipsa species creaturae: superiorem et inferiorem contuere, attende, lege. Non deus, unde eum cognosceres, de atramento litteras fecit: ante oculos tuos posuit haec ipsa quae fecit. Quid quaeris maiorem vocem?” (SZENT ÁGOSTON: *Sermones*, 68, 6, in PLS 2, 505).

¹² „Az ég ugyanis felgöngyölködik, mint a könyv, de most, mint sátorponyva feszül fölöttünk. Isteni írásod tekintélye fölségesebb, pedig átlépték már a halál küszöbét a hajdan ezt nekünk parancsolatra megíró halandók. És tudod Uram, nagyon jól tudod, hogy az embereket miképpen övezted bőrköntőssel, mikor a bűnben halandók lettek. Ezért bőrköntős gyanánt terítetted széjjel Könyved szövedékét, egybehangzó beszédeidet. Halandó emberek szorgos keze útján feszítetted őket fölénk. – Caelum enim plicabitur ut liber et nunc sicut pellis extenditur super nos. Sublimioris enim auctoritatis est tua divina Scriptura, cum iam obierunt istam mortem illi mortales, per quos eam dispensasti nobis. Et tu scis, Domine, tu scis quemadmodum pellibus indueris homines, cum peccato mortalis fierent. Unde sicut pellem extendisti firmamentum libri tui, concordēs utique sermones tuos, quos per mortalium ministerium superposuisti nobis (SZENT ÁGOSTON: *Confessiones*, XIII, 15, 16; magyarul megjelent: *Vallomások*, Gondolat, Budapest, 1987. [ford. Városi István]).

A természet könyvének morális értékéről ld. még a *Contra Faustum* c. művet: „Ám ha azzal kezdted volna, hogy úgy tekintesz a természet könyvére, mint a mindent teremtő Isten alkotására, s ha elhitted volna, hogy a te véges értelmű hibázhat, amikor valami helytelennek tűnt ahelyett, hogy megkockáztatod, hogy Isten munkájában találj hibát, akkor nem jutottál volna ezekre az istentelen ostobaságokra és szentségtörő ábrándokra, melyekkel afelől való tudatlanságodban, hogy mi is valójában az ördög, minden gonosztságot Istenre halmozol – At si universam creaturam ita prius aspiceres, ut auctori Deo tribueres, quasi legens magnum quendam librum naturae rerum atque ita si quid tibi te offenderet, causam te tamquam hominem latere posse tutius credere quam in operibus Dei quicquam reprehendere auderes, numquam incidisses in sacrilegas nugas et blasphemata figmenta, quibus non intellegens, unde sit malum, Deum implere conaris omnibus malis,, (SZENT ÁGOSTON: *Contra Faustum*, XXXII, 20).

¹³ „Neque enim novimus alios libros ita destruentes superbiam, ita destruentes inimicum et defensorem resistantem reconciliationi tuae defendendo peccata sua” (SZENT ÁGOSTON: *Confessiones*, XIII, 15, 17).

¹⁴ „Magasztalják nevedet Uram. Dicsérjenek téged egükön túl sereglő angyalaid. Nekik nincs arra szükségük, hogy e boltozatra föltekintsenek és olvasással ismerjék igédet. Mindenkor látják ugyanis orcádat és arról olvassák az idők betűi nélkül, hogy mit szándékozik örök akaratod. [...]. Be nem csukódik könyvük sem tekercsük föl nem göngyölködik, mert te vagy ez a Könyvük és te maradsz mindörökre. – Laudent nomen tuum, laudent te supercaelestes populi angelorum tuorum, qui non opus habent suspicere firmamentum hoc et legendo cognoscere verbum tuum. Vident enim faciem tuam semper et ibi legunt sine syllabis temporum, quid velit aeterna voluntas tua [...]. Non clauditur codex eorum nec plicatur liber eorum, quia tu ipse illis hoc es et es in aeternum” (ibid., XIII, 15, 18).

Témánkkal kapcsolatban Hitvalló Szent Maximosz figyelemreméltóan nagy hatását tapasztalhatjuk századokon keresztül, főként a középkorban. Egyik művében, az *Ambiguában*, Krisztus megdicsőülésének eseményéhez fűzött kommentárjaiban a *természetet* és a *Szentírást* két ruhához hasonlítja, melyeket a megtestesült Logosz kapott ajándékba; a természeti törvény az ő embersége, a Szentírás által kinyilvánított isteni törvény pedig az ő istensége. Ezt a két törvényt *két különböző könyv* közvetíti számunkra, a *Természet könyve* és a *Szentírás könyve*. Mindkettő ugyanazt a Logoszt foglalja magában és fedi föl, ugyanolyan méltósággal rendelkeznek, s ugyanazokat a dolgokat tanítják. Maximosz még ennél is egyértelműbben fogalmaz: a *két könyv* tartalma nagyjából megegyezik, s annak, aki ismerni és teljesíteni akarja Isten akaratát, mindkettőre szüksége van.¹⁵ A *Természet könyvének* olvasásakor a Logosz mély misztériuma nem tűnik el, s nem is pusztul el.

„A természeti törvény fenntartja és támogatja az egész világegyetem harmóniáját. Az anyagi testek olyanok, mint a könyv betűi és szótagjai; olyanok, mint az első, alapvető, hozzánk közelebb levő elemek, melyek azonban csak részleges tudást engedélyeznek. Bár egy ilyen könyvnek vannak általánosabb és egyetemesebb szavai is, melyek tőlünk távolabb találhatók, a bennük rejlő ismeret bonyolultabb és nehezebb rá szert tenni. Ugyanaz az isteni Logosz, aki bölcsességgel írta ezeket a szavakat, ölt testet bennük kimondhatatlanul és kifejezhetetlenül. Ezeken a szavakon keresztül teljességgel kinyilatkoztatja magát, de miután alaposan elolvastuk őket, csak azt a tudást érhetjük el, ami ő, mert ő nem egyike ezeknek a bizonyos dolgoknak. Az igazság egyetlen és egységes reprezentációja felé csak úgy haladhatunk, ha tisztelettel összegyűjtjük az ő manifesztálódásainak összes különböző formáját, ő pedig analógiák útján a látható, teremtett világból felfedi magát előttünk mint Teremtő.”¹⁶

Itt érdemes rámutatnunk, milyen nagyszerű kritikai egyensúly lelhető fel Hitvalló Maximosz munkájában. Egyrészt megállapítja, hogy szükséges a természeti törvény ismerete, s fenntartja, hogy minden, ami a *Szentírásban* található, az megtalálható a *természetben* is (mely kijelentés néhány évszázaddal később már problematikusnak bizonyult, mint azt később látni fogjuk). Másrészt, a görög hagyomány örököséként tudomása van arról, hogy Isten ismerete a *Természet könyvének* keresztül hiányos és rejtett marad, s mindenképpen alacsonyabb rendű, mint az a tudás, amelyet a *Biblia* közöl velünk.

A 9. században Johannes Scotus Erigena (kb. 810–877) felidézi Maximosz megdicsőült Krisztus-Logosz képét. Itt az anyagi teremtmények mintegy Krisztus emberi ruhájaként jelennek meg.¹⁷ Az üdvtörténet kezdetén, mondja Scotus Erigena, Ábrahám nem arra hivatott el, hogy a Szentírásból ismerje fel Istent, hiszen az akkor még nem is létezett, hanem abból, hogy felnéz a csillagos égboltra.¹⁸ A kelta teológus munkáiban szintén jelen van az a gondolat, hogy Isten a *két könyvön* keresztül nyilatkoztatja ki magát. A *Természetre* és a *Szentírásra* egyaránt tekinthetünk úgy, mint teofániára. „Az örök fény két módon mutatja meg magát a világnak, a Szentíráson és a teremtményeken keresztül.

¹⁵ „A Szentírásban az Ige mint Logosz rejtőzik; a teremtett világban úgy, mint az Alkotó és a Teremtő. Így hát megállapítom, hogy mindkettőre szüksége van annak, aki értelmesen akar Isten felé fordulni. Szüksége van a Szentírás spirituális olvasatára és a természet teremtményeinek spirituális szemlélésére. Így tehát a természeti törvény és az írott törvény ugyanazzal a méltósággal bír, s ugyanazokat a dolgokat tanítja úgy, hogy egyik sem ér sem többet, sem kevesebbet, mint a másik.” (SZENT MAXIMOSZ: *Ambiguorum*, 10, in PG 91,1128C).

¹⁶ SZENT MAXIMOSZ: *Ambiguorum*, 10, in PG 91,1129A.

¹⁷ Ezzel a szerzővel kapcsolatban ld. J. SCOTUS ERIGENA: *The voice of the Eagle. The Heart of Celtic Christianity*, Lindisfarne Books, Great Barrington (MA), 2000.

¹⁸ Vö. „Nam et Abraham non per literas scripturae, quae nondum confecta fuerat, verum conversione siderum Deum cognovit.” „Hiszen Ábrahám sem az Írás betűiből – még meg sem volt akkor az Írás –, hanem a csillagok forgásából ismerte meg Istent.” (J. SCOTUS ERIGENA: *De divisione naturae*, in PL 122,723–724; magyarul megjelent: A természet felosztásáról, in Redl Károly [szerk.]: *Az égi és földi szépről. Források a későantik és a középkori esztétika történetéhez*, Gondolat, Budapest, 1988, 260).

Isten ismerete semmi más módon nem újul meg bennünk, csakis a Szentírás jeleiben (lat. *apices*) és a teremtmények formájában (lat. *species*).¹⁹

Ha a fenti idézeteken túl figyelembe vesszük azt is, hogy ugyanebben a korszakban a szerzők többsége hogyan fogalmazta meg a hit és az értelem közötti kapcsolat mibenlétét, az alábbi következtetésekre jutunk:

- a) Az egyházatyák a „kozmológiai érvet” alkalmazzák (hogy a természetből kikövetkeztessék a Logosz-Istent vagy az istenit), amely ismert volt már a platonikus, az arisztotelianus és a sztoikus filozófiai rendszerekben is, s arra használják, hogy fölemelkedjenek általa a teremtett lényektől a Teremtőig. A metafora, melyben a természet Isten egyik könyve, világosan jelen van. Ha a teremtményeket nem is hasonlítják betűkhöz vagy szavakhoz, melyek az Isten által írott könyvet alkotják, annyi azért bizonyos, hogy Isten beszél hozzánk a természetten keresztül. A végszót gyakran veszik a Szentírásból, ami szilárd alapot nyújt egy ilyen út járhatóságának megalapozásához.²⁰
- b) A *Természet könyve* olyan egyetemes, mint a *Szentírás könyve*, s bizonyos mértékig e kettő tartalma egyenértékű. Néha megesisik, hogy a *Természet könyve* egyetemesebbnek és érthetőbbnek bizonyul, mint a *Szentírás könyve*. A teremtés ott van mindenki szeme előtt, forrásához erkölcsi és spirituális szempontból egyaránt fordulhatunk.
- c) A *Természet könyvének* ismerete fontosnak tűnik, s néhány szerző számára elengedhetetlennek is ahhoz, hogy helyesen értsük a *Szentírás könyvét*, mivel a természet dolgainak megfigyelése és tanulmányozása során megszerzett ismeret megelőzi Isten kinyilatkoztatott szavainak ismeretét.²¹

¹⁹ „Dupliciter ergo lux aeterna seipsam mundo declarat, pre Scripturam videlicet et creaturam. Non enim aliter in nobis divina cognitio renovatur, nisi per divinae scripturae apices et creaturae species. Eloquia disce divina, et in animo tuo eorum concipe intellectum, in quo cognoscas Verbum. Sensus corporeo formas ac pulchritudines rerum perscipe sensibilibium, et in eis intelligens Dei Verbum. Et in his omnibus nichil aliud tibi veritas declarabit praeter ipsum qui fecit omnia, extra quem nichil contemplaturus es, quia ipse est omnia.” „Mármost az örök világosság kétszeresen tárulkozik fel a világnak, tudniillik az Írásban és a teremtményben. Mert meg nem újul mibennünk másként az isteni megismerés, hanem csak az isteni Írás csúcspontjai (*apices*), valamint a teremtmény ékességei (*species*) által. Tanulmányozd az isteni beszédeket, fogadd lelkedbe azok értelmét, s megismeheted az Igét. Tested érzékeivel fogd fel az érzékelhető dolgok formáit és szépségét, s bennük megismeheted Istent, az Igét. És mindezekben az igazság nem mást fog feltárni előtted, hanem csak Őt, aki mindeneket teremtett, s Őrajta kívül nem is fogsz mást látni, mivel Ő – minden.” (J. SCOTUS ERIGENA: *Homilia in prologum Sancti Evangelii secundum Joannem*, ch. XI, in SC 151, 254; magyarul megjelent: Szentbeszéd János szent evangéliumának prologusához, in Redl Károly [szerk.]: *Az égi és földi szépről. Források a későantik és a középkori esztétika történetéhez*, Gondolat, Budapest, 1988, 247).

²⁰ Vö. Bölcs 13,1–9; Róm 1,18–20; ApCsel 14,13–18 és 17,22–27. Hangsúlyoznunk kell, hogy az ilyen filozófiai megközelítés nem feltétlenül nyugszik egy szilárd metafizikai rendszeren, amint majd például a középkori teológiában látni fogjuk. Az egyházatyák a józan észre, a Gondviselés fogalmára, valamint morális és esztétikai érvekre alapozzák érvelésüket. Ráadásul a kozmológiai utat gyakran társítják az antropológiai úthoz, vagyis azt feltételezik, hogy a pogányok is képesek felismerni Istent a lelkiismeret diktálta erkölcsi imperatívuszokban és a boldogságra, valamint a szeretetre való emberi törekvésben.

²¹ Ezt a doktrínát vallja nyíltan többek közt NAGY SZENT BASZILEIOSZ: „Mi van előbb, az ismeret vagy a hit? Mi azt mondjuk, hogy egészében véve a tudományok esetében a hit megelőzi a tudást, de tanításunkban, még ha valaki azt mondja is, hogy az ismeret a hit előtt kezdődik, azzal egyet kell értenünk – ám ez az ismeret az emberi értelemmel mérhető össze. A tudományok esetében, először is el kell hinnünk, hogy az alfát valóban így hívják, majd pedig mikor már megtanultuk a betűket és kiejtésüket, akkor sajátíthatjuk el pontosan a betű erejének fogalmát. De Istent érintő hitünket megelőzi annak gondolata, hogy Isten létezik, s erre a gondolatra az ő műveinek szemlélése során jutunk. A teremtett világból megfigyelés útján ismerjük fel az ő bölcsességét, hatalmát, jóságát és minden láthatatlan attribútumát” (NAGY SZENT BASZILEIOSZ: *Epistula*, 235, 1, in PG 32,872B). Ugyanerről a témáról TERTULLIANUS: „Azt állítjuk, hogy Istent először a természetten keresztül ismerjük meg, s utána ismerjük fel őt a doktrínákban. A természetten keresztül szerzett ismeret Isten művéből érkezik, a doktrínákból szerzett ismeret pedig az imádságból. – Nos definimus, Deus primo natura

d) Ami az erkölcsi és az etikai dimenziót illeti, a természeti törvény (pl. azon erkölcsi parancsok tekintetében, melyek speciálisan az emberi természetre vonatkoznak) és a kinyilatkoztatott isteni törvény rokonságban áll egymással. Az elsőt Isten írta bele a teremtett lények világába és az emberi lelkiismeretbe, a másodikat ugyanez az Isten nyilatkoztatja ki a Szentírásban.

Középkori szerzők: Szentviktori Hugó és Szent Bonaventura

A „Két könyv”-metafora tovább él a középkorban is, csakúgy, mint a köztük fennálló viszonyt vizsgáló teológia.²² A *Természet könyvére* tett különböző felhangú és mértékű utalásokat találunk többek között Clairvaux-i Szent Bernát (1090–1153), Szentviktori Hugó (kb. 1096–1141), Szent Bonaventura (1217–1274), Aquinói Szent Tamás (1224–1274), Thomas Chobham (kb. 1160–1233/36), Dante Alighieri (1265–1321), Kempis Tamás (1380–1471) és Raimundus de Sabunde (kb. 1385–1436) műveiben, velük foglalkozunk a dolgozat következő részében.

A középkori szerzők között kettő érdemel nagyobb figyelmet: Szentviktori Hugó és Szent Bonaventura, a következőkben őket fogjuk tárgyalni.²³ Mindkét szerző azt hangsúlyozza, hogy a *Természet könyvének* egyetemes megértését nehezíti az ember büntől sebzett természetének realitása. A *Szentírás könyve* egyfajta „gyógyító hatást” gyakorol a *Természet könyvére*: az ősbűn és a személyes bűneink miatt ugyanis nem egyszerű feladat felismerni Istent a természet látványában. Ezért egy „harmadik” könyv kerül előtérbe, a *Kereszt könyve*. Magát Krisztust, az ő megtestesülését és a megváltás művét egy nagyszerű könyvhöz hasonlítják, melynek olvasása szükséges a másik kettő helyes megértéséhez. Ebben az értelemben Jézus Krisztus szerepe nagyon érdekes kettős szerepnek tűnik. Valójában összekötő kapocsként működik a *két könyv* között. Amikor úgy tekintünk rá, mint a megtestesült Bölcsességre, akkor különleges kapcsolatot mutat a *Szentírás könyvével*; amikor pedig a megtestesült Igeként tekintünk rá, akkor főként a teremtéssel hozzuk összefüggésbe.

Szentviktori Hugó rámutat, hogy a *Természet könyvének* helyes olvasásához a lelki embernek szüksége van világias érdeklődését meghaladó, spirituális figyelmére:

cognoscendum, deinde doctrina recognoscendum: natura ex operibus; doctrina ex praedicationibus” (TERTULLIANUS: *Adversus Marcionem*, I, 18, in PL 2,266).

Érdemes megjegyezni, hogy ugyanezre a tanításra emlékeztet hasonló megfogalmazásban II. JÁNOS PÁL enciklikája, a *Fides et ratio*, 36: „Az Apostolok Cselekedeteinek tanúsága szerint a keresztény igehirdetés kezdettől fogva szembesült a korabeli filozófiai tanításokkal. E könyv elbeszéli, hogy Szent Pál Athénban vitatkozott »néhány epikureus és sztoikus filozófussal« (ApCsel 17,18). Az Apostol Areopágoszon tartott beszédének egzisztenciális elemzése kiemeli, hogy ismételten hivatkozik a többnyire sztoikus eredetű népies meggyőződésre. És ez nem volt véletlen. Az első keresztények, ha azt akarták, hogy a pogányok megértsék őket, beszédeikben nem hivatkozhattak »Mózesre és a prófétákra«; a természetes istenismeretre és minden ember erkölcsi lelkiismeretének hangjára kellett támaszkodniuk (vö. Róm 1,19–21; 2,14–15; ApCsel 14,14–16)”.

²² Az iszlám hagyományok vizsgálata meghaladja dolgozatom terjedelmét. Mindazonáltal egy a Koránra vetett átfogó pillantás azt mutatja, hogy a „könyv” szó soha nem utal kifejezetten a természetre, hanem mindig a Koránra s a benne foglalt törvényekre, amelyekre úgy tekintenek, mint a *par excellence* könyvre. Néhány iszlám szerző megjegyezte, hogy a Korán verseit mind *ayat*-nak, azaz „jelek”-nek nevezik, mint a természeti jelenségeket, ami arra utal, hogy a Koránra tekinthetünk úgy, mint egy emberi szavakra lefordított természetes szöveg hasonmására. Ld. SEYYED HOSSEIN NASR: *Religion and the Order of Nature*, New York, Oxford UP, 1996. A *Katolikus Egyház Katekizmusa*, 108. közvetett utalást tesz a keresztény és az iszlám hagyomány különbségére: „A keresztény hit mégsem »könyvvallás«. A kereszténység Isten »Igéjének« a vallása: egy olyan Igéé, amely nem írott és néma szó, hanem »megtestesült és élő Ige«. Szükségünk van tehát arra, hogy Krisztus, az élő Isten örök Igéje a Szentlélek által megnyissa értelmünket, hogy megértsük az Írásokat, nehogy olyanok maradjanak, mint a holt betű.”

²³ A középkorral kapcsolatban ld. JESSE M. GELLRICH: *The Idea of the Book in the Middle Age*, Cornell UP, Ithaca – London, 1985.

„Mert ez az egész látható világ egy Isten ujjával írott könyv, melyet isteni hatalom teremtett; s az egyes teremtmények olyanok benne, mint a figurák, akik nem emberi akaratból származnak, hanem az isteni hatalom alkotja őket, hogy általa megmutassa Isten láthatatlan dolgainak bölcsességét. Amint az írástudatlan ember, aki egy nyitott könyvet lát, s az abban található ábrákat nézi, de nem ismeri fel a betűket, a bolond világi ember éppen így nem érzékeli, hogy mi tartozik Isten szelleméhez (vö. 1Kor 2,14). A formát és a szépséget a teremtmények külsején látja anélkül, hogy megértené belső lényegüket. A lelki ember ezzel szemben képes mindent megítélni, s amikor a mű szépségét szemléli, egykettőre felismeri, milyen nagyon tisztelnünk kell a Teremtő bölcsességét.”²⁴

E középkori mester Isten bölcsességét olyan könyvtekercshez hasonlíttja, melyet egyaránt megírtak kívül (a teremtés műve) és belül (a Szentírás). A természetet az első, a Bibliát a második könyvnek nevezi. Az Ige megtestesülése pedig egy „harmadik könyvtekercs”, melyre úgy tekint, mint amelynek szintén van külső és belső oldala: az első Krisztus látható emberi természete, a második pedig láthatatlan isteni természete.²⁵ Ezen képek mindegyike arra a *mindkét oldalán írott* könyvtekercsre emlékeztet bennünket, amelyről Ezekiel próféta és Szent János a Jelenések könyvében beszél.²⁶ Szentviktori Hugó *De Arca Noe Morali* (1125/30) című művében három könyvről és három ígéről beszél, ám három különböző jelentéssel. Az első könyv vagy ige jelent minden emberi cselekedetből származó dolgot; a második könyv/ige az Isten által véghezvitt teremtés; s a harmadik könyv/ige maga a Bölcsesség, vagyis a testté lett Ige. Ebben az esetben Jézus Krisztus mint a Megtestesült Bölcsesség lép a Szentírás helyébe, amelynek ő a beteljesítője.²⁷

Szent Bonaventura gyakran használja műveiben a könyvmetaforát. Az olyan kifejezések tehát, mint *liber naturae*, *liber mundi* vagy *liber creaturae*, a természet, a világ és a teremtés szinonimái.²⁸

²⁴ „Universis enim mundus iste sensibilis quasi quidam liber est scriptus digito Dei, hoc est virtute divina creatus, et singulae creaturae quasi figurae quaedam sunt non humano placito inventae sed divino arbitrio institutae ad manifestandum invisibilium Dei sapientiam. Quemadmodum autem si illiteratus quis apertum librum videat, figuras aspicit, litteras non cognoscit: ita stultus et animalis homo qui non percipit ea quae Dei sunt (vö. 1Kor 2,14) in visibilibus istis creaturis foris videt speciem sed intus non intelligit rationem. Qui autem spiritualis est et omnia dijudicare postest, in eo quidem quod foris considerat pulchritudinem operis, intus concipit quam miranda sit sapientia Creatoris” (SZENTVIKTORI HUGÓ: *Eruditiones Didascalicae*, Book VII., ch. 4, in PL 176,814B).

²⁵ „Sapientia liber erat scriptus intus, opus sapientiae liber erat scriptus foris. Voluit autem postea adhuc, aliter scribi foris sapientiam ut manifestius videretur et perfectius cognosceretur, ut oculus hominis illuminaretur ad scripturam secundam, quoniam caligaverat ad primam. Fecit ergo secundum opus post primum et illud evidentius erat, quoniam non solum demonstravit sed illuminavit. Assumpsit carnem non amittens divinitatem, et positus est liber scriptus intus et foris; in humanitate foris, intus in divinitate, ut foris legeretur per imitationem, intus per contemplationem; foris ad sanitatem, intus ad felicitatem; foris ad meritum, intus ad gaudium. [...] Liber ergo unus erat semel intus scriptus, et bis foris. Foris primo per visibilibus conditionem, secundo foris per carnis assumptionem. Primo ad jucunditatem, secundo ad sanitatem; primo ad naturam, secundo contra culpam; primo ut natura foveretur, secundo ut vitium sanaretur, et natura beatificaretur” (SZENTVIKTORI HUGÓ: *De sacramentis*, Book I., Pars VI., ch. 5, in PL 176,266–267).

²⁶ Vö. Ez 2,9–10; Jel 5,1.

²⁷ „Tres sunt libri. Primus est quem facit homo de aliquo; secundus, quem creavit Deus de nihilo; tertius quem Deus genuit Deum de se Deo. Primus est opus hominis corruptibile; secundus est opus Dei, quod nunquam desinit esse, in quo opere visibili invisibilis sapientia Creatoris visibiliter scripta est; tertius est non opus Dei, sed sapientia, per quam fecit omnia opera sua Deus, quam genuit non fecit, in qua ab aeterno cuncta, quae facturus erat, secundum sententiam providentiae et praedestinationis praescripta habuit. Et hic est liber vitae, in quo quidquid semel scriptum fuerit, numquam abolebitur, et omnes, qui meruerint pervenire usque ad ejus inspectionem, vivent in aeternum” (SZENTVIKTORI HUGÓ: *De Arca Noe Morali*, Book III., ch. XII, De tribus libris, in PL 176,643–644). „Item tria sunt verba. Primum est verbum hominis, quod prolatum desinit; secundum est verbum Dei, id est opus Dei, quod creatum non invariabiliter subsistit, nec tamen aliquando desinit; tertium est verbum Dei, quod genitum, non creatum, finem et principium nescit, neque ullam mutabilitatem recipit, et hoc est, verbum vitae” (ibid., Book III., ch. XIII, De tribus verbis, in PL 176,643–644).

²⁸ Lásd pl. SZENT BONAVENTURA: *Itinerarium mentis in Deum*, I, 14; magyarul megjelent: A lélek zárándokútja Istenbe, in *Szent Bonaventura misztikus művei*, Szent István Társulat, Budapest, 1991, 39–40. (ford., bev., jegyz. Barsi Balázs – Várnai Jakab)

Ugyanakkor nyilvánvalóan megmutatkozik nála annak szükségessége, hogy ne csak a természetet keresztül, hanem a Szentíráson, valamint egy harmadik „könyvön”, *Krisztus, a Megváltó könyvének* keresztül ismerjük meg Istent. Ezt támasztja alá az alábbi két rendkívül fontos szöveg:

„A bűnbeesés előtt az ember rendelkezett a teremtett dolgok ismeretével, s azok képei vezették el őt Isten ismeretére. Mikor az emberi lények a bűnbeesés miatt kiűzettek az Édenből, elvesztették e tudásukat, s nem létezett senki, aki képes lett volna minden dolgot visszavezetni Istenhez. Úgy tűnt hát, hogy ez a könyv, ami a világ, elpusztult, meghalt. Ezért volt szükség egy másik könyvre, melynek segítségével meg lehet világítani a korábbi könyvet, hogy a dolgok igaz jelentését megismerhessük. Ez a könyv nem más, mint a Szentírás, amely a Világ könyvével kapcsolatos metaforákat, képeket és tanításokat tartalmazza. Ily módon a Szentírás könyve helyreállítja az egész világot, és újra lehetővé teszi, hogy az utóbbi arra vezessen bennünket, hogy ismerjük, dicsérjük és szeressük Istent.”²⁹

„Ha spirituális dolgokat szeretnénk szemlélni, akkor fel kell vennünk a keresztet, mintha az egy könyv volna. [...] A bölcsességnek ez a könyve maga Krisztus, akit maga az Atya írt belülről, mivel Isten hatalmából jön, és maga írt kívülről akkor, amikor emberi testbe öltözött. Mindazonáltal, ez a könyv volt kinyitva a keresztben, s ez az a könyv, amelyet olvasnunk kell azért, hogy megérthessük Isten bölcsességének mélységeit.”³⁰

Bár ezek a szövegek különféle értelmezésekre adnak lehetőséget például a tekintetben, hogy vajon főleg az értelmünket sebezte-e meg az áteredő bűn, vagy istenismeretünk is meggyengült bűneink következtében, az alapvető tanítás mégis világosan kirajzolódik belőlük. A *Szentírás könyve* és a *Kereszt könyve* bizonyos elsőbbséget élvez a *Természet könyvével* szemben, legalábbis abban a tekintetben, hogy mennyire vagyunk képesek felismerni Istent. Szent Bonaventura ugyanakkor nem tagadja meg a *Természet könyvétől* a kronológiai tekintetben őt megillető elsőbbséget a *Szentírás könyvével* szemben, amint azt a következő, *Breviloquiumból* származó idézet is mutatja:

„Az első alapelvről a Szentírás és a teremtmények révén szereztünk tudomást. A *Természet könyve* által úgy mutatja magát, mint a hatalom elve, a *Szentírás könyve* által pedig úgy, mint a helyreállítás elve. S mivel a helyreállítás elvét lehetetlen ismernünk anélkül, hogy előtte meg ne ismernénk a hatalom elvét, bár a Biblia főként a megváltás művéről beszél nekünk, szólnia kell azonban a teremtés művéről is.”³¹

²⁹ „Certum est quod homo stans habebat cognitionem rerum creaturarum et per illarum repraesentationem ferebatur in Deum ad ipsum laudandum, venerandum, amandum; et ad hoc sunt creaturae et sic reducuntur in Deum. Cadente autem lumine, cum amississet cognitionem, non erat qui reduceret eas in Deum. Unde iste liber, scilicet mundus, quasi emortuus et deletus erat; necessarius autem fuit alius liber, per quem iste illuminaretur, ut acciperet metaphoras rerum. Hic autem liber est Scripturae, qui ponit similitudines, proprietates et metaphoras rerum in libro mundi scriptarum. Liber ergo Scripturae reparativus est totius mundi ad Deum cognoscendum, laudandum, amandum” (SZENT BONAVENTURA: *Collationes in Hexaemeron*, XIII, 12).

³⁰ „Si volumus spiritualia contemplari, oportet tollere crucem ut *librum*; quo erudiamur; de quo libro in Deuteronomio: *Tollite librum istum et ponite eum in laterae arcae foederis Domini* [cf. Dt 31,26]. *Arca foederis Domini* est beata Virgo, in qua omnia arcana sunt recondita. *Liber sapientiae* est Christus, qui scriptus est *intus* apud Patrem, cum sit ars omnipotentis Dei; et *foris*, quando carnem assumpsit. Iste liber non est apertus nisi in cruce; istum librum debemus tollere, ut intellegamus arcana sapientiae Dei” (SZENT BONAVENTURA: *Sermones de Tempore*, Feria VI, in Parasceve, sermo II, n. II).

³¹ „Cum primum principium reddat se nobis cognoscibile et per Scripturam et per creaturam, per librum creaturae se manifestat ut principium effectivum, per librum Scripturae ut principium reparativum; et quia principium reparativum non potest cognosci, nisi cognoscatur et effectivum: ideo sacra Scriptura, licet principaliter agat de operibus reparationis, agere nihilominus debet de opere conditionis, in quantum tamen ducit in cognitionem primi principii efficientis et reficientis.” „A kezdet mibenléte részint a Szentírásból, részint a teremtett világból válik megismerhetővé számunkra: a teremtett világ könyvében úgy nyilvánul meg, mint létrehozó ok, a Szentírás könyvében pedig úgy, mint helyreállító ok. Mivel azonban a helyreállító ok csak akkor ismerhető meg, ha a létrehozó okot is megismerjük, a Szentírásnak, amely ugyan elsősorban a helyreállítás munkáját tárgyalja, nem kevésbé kell tárgyalnia a teremtés munkáját is, annyiban, amennyiben az elvezet a teremtő és újjáteremtő ok

Annak ellenére, hogy itt a természet ismeretének a Szentírás lapjain *keresztül* történő elsajátításával foglalkozunk, világos, hogy egy ilyen ismeret összehasonlításért kiált a természet ismeretének az értelem útján történő elsajátításával.

A ferences mester műveinek más fejezetei a kívül és belül írott könyvtekercs képét idézik fel, mely kép különböző szintű összefüggéseket tár fel. Első szinten minden dolog olyan, mint a kívül megírt könyvtekercs, amennyiben arra szorítkozunk, hogy Isten hatalmának csupán következményeként olvassuk őket. Ez az a lépés, amelynél a természetfilozófusok, úgy tűnik, megállnak, bár a teremtmények „belül is meg vannak írva”, mikor Isten nyomaiként vagy képeiként (lat. *vestigia*) ismerjük fel őket. A második szint tehát túlmutat az anyagi és önmagukban értelem nélküli dolgok „kívülről megírt könyvtekercsén”, és az értelemmel bíró, spirituális teremtmények – mint az emberek és az angyalok – lelkiismeretük/tudatuk mélyén, „belülről megírt könyvtekercséig” hatol. Maga a Szentírás is két oldalán megírt könyvtekercsnek bizonyul. A külső írások a Szentírásnak azokra a jelentéseire utalnak, amelyek egyértelműek és világosak, míg a belső írások a rejtett értelmű, nehezebben megfejthető jelentésrétegekre és részekre vonatkoznak.³²

A könyvmetaforát más középkori mesterek is használták, köztük Aquinói Szent Tamás. Úgy tűnik, hogy Szent Tamás gyakran világosan használja ezt a megközelítést, bár nehéz teljes listát összeállítani az idézetekből, ha kutatásunk csak a *liber naturae* vagy a *liber creaturarum* kifejezésekre korlátozódik, hiszen a mondanivaló sokszor a tágabb szövegösszefüggésből válik érthetővé.³³

Mindazonáltal érdemes felidézni, hogy Aquinói Szent Tamás volt az, aki megalkotta annak összetett szabályrendszerét, hogy milyen kapcsolat áll fenn a természet megfigyeléséből származó istenismeret és a Szentírás tanulmányozásából eredő istenismeret között. Egy számos egyházi dokumentumban évszázadokon át idézett mondata megerősíti, hogy a természetes emberi értelem képes bizonyos tudást szerezni a spirituális valóságról, mint például Isten létéről, az emberi lélek halhatatlanságáról, a gondviselő Teremtővel szemben érzett erkölcsi felelősségről stb., maga Isten azonban ezeket az igazságokat a Szentírás lapjain is ki akarta nyilatkoztatni, hogy az emberiség e jelenlegi üdvtörténeti pillanatában mindenki számára megalapozott bizonyossággal, hibák hozzákeveredése nélkül, könnyen elérhetőek legyenek.³⁴

Összefoglalásképpen elmondhatjuk, hogy a középkor egy úgynevezett *teológiai realizmust* vezet be a „Két könyv”-metafora kérdésében. Az emberi értelem képes arra, hogy a *Természet könyvét* olvassa,

ismeretéhez.” (SZENT BONAVENTURA: *Breviloquium*, Pars II, ch. 5; magyarul megjelent: *A hit rövid foglalata. Breviloquium*, Kairosz, Budapest, 2008, 74–75. [ford. Dér Katalin]).

³² Vö. SZENT BONAVENTURA: *Collationes in Hexaemeron*, XII; valamint *Breviloquium*, ch. XII.

³³ Egyértelmű utalások találhatók a *Super Epistolam ad Romanos*, ch. I, lect. 6-ban és két másik műben is, melyek eredetisége kétséges: *Expositio in Apocalypsim*, ch. 3. és *Sermo V de Dominica secunda de Adventu*.

³⁴ „Az ember üdvözüléséhez szükséges volt, hogy bizonyos, emberi értelmet meghaladó igazságok ismeretessé váljanak az ember előtt az isteni kinyilatkoztatás útján. Még azokat az Istennel kapcsolatos igazságokat illetően is, amelyeket az emberi értelem képes volt felfedezni, szükséges volt, hogy az embert az isteni kinyilatkoztatás is tanítsa, mert az Istenről emberi ésszel megtudható igazság csak kevesek által és hosszú idő elteltével ismerhető meg, s e tudásba mindig sok tévedés keveredik. Pedig az ember egész üdvössége, ami Istenben van, ennek az igazságnak a tudásától függ. Ezért aztán annak érdekében, hogy az ember üdvözülése biztosabban és megfelelőbb módon véghezvihető legyen, szükséges volt, hogy isteni kinyilatkoztatás útján megtanítsák neki ezeket az igazságokat. Szükséges volt tehát, hogy az emberi értelemre épült filozófiatudomány mellett létezzen egy kinyilatkoztatásra épülő szent tudomány is.” „Ezért az ember üdvösségéhez szükséges, hogy isteni kinyilatkoztatás által olyan dolgokról értesüljön, amelyek értelmét meghaladják. Arra is isteni kinyilatkoztatásnak kell oktatnia az embert, ami értelme által Isten megismerhető, mert Istenről az értelem által csak kevés ember, hosszú idő alatt és számos tévedéssel elegyítve szerehetne ismereteket, pedig ettől függ az ember egész üdve, ami Istenben van. Ahhoz tehát, hogy az emberek megfelelő módon és biztosabban üdvözülhessenek, szükséges, hogy Istenről isteni kinyilatkoztatás által szerezzenek ismereteket. Az emberi értelemmel vizsgálódó filozófiai tudományokon kívül szükség van tehát egy szent tudományra is, amely a kinyilatkoztatáson alapul.” (AQUINÓI SZENT TAMÁS: *Summa Theologiae*, I, q. 1, a. 1; magyarul megjelent: *A teológia foglalata. Első rész, Telosz*, Budapest, 1994, 21–23. [ford., bev., jegyz. Tudós-Takács János]). Erre a doktrínára emlékeztetett az I. és a II. Vatikáni Zsinat is (vö. *Dei Filius*, DH 3005; DV 6).

és ezáltal felemelkedjen Istenhez, de figyelembe kell vennünk, hogy az ember gondolkodó képessége milyen sebeket kapott a bűnbeesés következtében. Ez a nagyszerű könyv továbbra is Teremtőnkhez³⁵ köt bennünket, de spirituális és megvilágosodott látásra van szükségünk ahhoz, hogy ezt a kapcsolatot felismerhessük.³⁶ A középkori szerzők nem veszítenek optimizmusukból, viszont úgy tűnik, hogy idővel egyre realistábbak. Ioannes de Forda (kb. 1140–1214) szavaival valójában azt mondhatjuk, hogy „rendelkezésünkre áll a *Teremtés könyve*, a *Szentírás könyve* és a *Kegyelem könyve* (*est enim liber creaturae, liber scripturae et est liber gratiae*)”³⁷. A *Természet könyve* nem veszíti el egyetemességét, hanem krisztológiai összefüggésbe ágyazódik, s ezért olyan teológiai kategóriákkal kerül kapcsolatba, mint a megtestesülés, a megváltás, a bűnbeesés és a kegyelem. A középkori mesterek tehát kitágítják a könyvmetaforát Krisztusra és Istenre. Dante *Isteni színjátékának* gyönyörű versei szerint maga Isten a könyv, a kötet, melynek oldalai szétszórva hevernek a világ minden szögletében, s ami lehetővé teszi, hogy a Teremtés önmagában egy könyv legyen: „S mélyében az egységet vettem észre, a Minden elemeit egy kötetben, valaki egybefonta egy füzérbe; jelenség és lényeg széttéphetetlen egysége oly tisztán, s oly érthetően, hogy elgondolni se lehetne szebben.”³⁸

A korai reneszánsz: Raimundus de Sabunde esete

Külön figyelmet érdemlő mű a *Theologia Naturalis seu Liber Creaturarum* (1436), Raimundus de Sabunde munkája, egy katalán születésű tudósé, aki az orvostudomány és a teológia doktora, professzor, majd a Toulouse-i Egyetem rektora (1428–1435). Raimundus értekezésének címe a különböző európai könyvtárakban található kéziratpéldányokon kis eltérésekkel olvasható: *Liber Naturae sive Creaturarum* (Paris), *Scientia Libri creaturarum seu Naturae et de Homine* (Toulouse), *Liber Creaturarum sive de Homine* (Clermond-Ferrand) stb. Az alcímet (*Theologia naturalis*) a kiadók tették hozzá a második kiadástól kezdve, azaz 1485-től. Ez a könyv figyelemreméltóan nagy sikereket ért el: tizenhat kiadást ért meg, és számos nyelvre lefordították, köztük franciára is, mely fordítás Michel de Montaigne tollából született 1569-ben. A 18. század kezdetéig különböző kiadók dolgoztak a könyvön, s különféle célok érdekében újrendezték és átszerkesztették a tartalmát.³⁹

³⁵ „Invisibilia Dei, apostolo teste, a creatura mundi per ea quae facta sunt intellecta conspiciuntur, et est velut communis quidam liber et catena ligatus sensibilis mundus iste, ut in eo sapientiam Dei legat quicumque voluerit” (CLAIRVAUX-I SZENT BERNÁT: *Sermones, De Diversis*, IX, 1); „Totus enim mundus diversis creaturis plenus est; quasi liber scriptus variis litteris et sententiis plenus in quo legere possumus quicquid imitari vel fugere debeamus” (THOMAS CHOBHAM: *Summa de arte praedicandi*, ch. 7).

³⁶ „Si rectum cor tuum esset, tunc omnis creatura speculum vitae et liber sacrae doctrinae esset” (KEMPIS TAMÁS: *Imitatio Christi*, II, 4; magyarul megjelent: *Krisztus követése*, Ecclesia, Budapest, 2014. [ford. Jelenits István]).

³⁷ IOANNES DE FORDA: *Super extremam partem Cantici canticorum sermones*, Sermo 104, 1.

³⁸ DANTE ALIGHIERI: *Isteni színjáték. Paradicsom*, Eötvös Kiadó, Budapest, 2014, XXXIII, 85–90. (ford. Simon Gyula); „Nel suo profondo vidi che s’internava / legato con amore in un volume / ciò che per l’universo si squaderna: / sustanze e accidenti e lor costume / quasi conflati insieme, per tal modo / che ciò ch’io dico è un semplice lume” (*Commedia. Paradise*, XXXIII, 85–90).

„A vers végén a zarándok látomása az egész világegyetemről mint egy könyvről, melynek lapjai szétszórva hevernek az anyagi világ különböző rétegeiben, csupán megerősíti, hogy Dante felfogásában a teremtés egy könyv, s hogy a költő erős késztetéssel bír, hogy képzelőerejével összekapcsolja és egységgé rekonstruálja a teremtés gazdag, kitárulkozó változatosságát.” (GIUSEPPE MAZZOTTA: *Dante’s Vision and the Circle of Knowledge*, Princeton UP, Princeton (NJ), 1993, 18.). Több okból kifolyólag jutottunk arra a következtetésre, hogy a „kötet” szó itt „könyv”, nem pedig egyszerűen „tér” jelentésben áll. Az *Isteni színjáték* más párhuzamos lapjain úgy találjuk a kötet szót, mint amely különböző „kórusokból” vagy „lapokból” áll (vö. *Paradicsom*, II, 76 és XII, 121). Dante *Isteni színjátékának* filológiai elemzéséről ld. CHARLES SINGLETON: *Commedia. Elements of Structure*, Harvard UP, Cambridge (MA), 1957.

³⁹ Vö. MICHEL DE MONTAIGNE: *An Apology for Raymond Sebond*, Penguin Books, London 1987. (trans. ed. and noted M. A. Screech); Raimundus-ról ld. még JAMUE DE PUIG: *Les Sources de la pensée philosophique de Raymond Sebond (Ramon Sibiuda)*, H. Champion, Paris, 1994.

A mű célját a szerző nyilvánvalóan és világosan kifejti az előszóban: a *Természet könyvének* ismerete lehetővé teszi számunkra, hogy igaz és tévedhetetlen módon, túl nagy erőfeszítés nélkül megértsünk minden igazságot, mely a teremtett dolgokkal, az emberrel és Istennel kapcsolatos. A *Természet könyve* elmondja nekünk mindazt, ami tökéletesedésünkhöz és erkölcsi kiteljesedésünkhöz szükséges, hogy ennek a könyvnek az olvasásán keresztül eljuthassunk az örök üdvösséghez. Ráadásul – teszi hozzá Raimundus – hála a *Természet könyvéről* való ismereteinknek, képesek vagyunk tévedés nélkül megérteni a *Szentírás könyvének* tartalmát.⁴⁰ A *Természet könyvében* egyetlen teremtmény sem több, mint egy Isten uja által írt szó vagy betű, s ezek a szavak és betűk együtt egyfajta kéziratot alkotnak, amelyben az emberi teremtmény képviseli a legfontosabb szót.⁴¹

A két könyv közötti kapcsolatot Raimundus részletesen kifejti, de oly módon, amely – legalábbis néhány dolog tekintetében – eltér a középkori mesterek tanításától. Mindkét könyvet ugyanaz az Isten adta nekünk; az elsőt a világ teremtése által kaptuk, a második később íródott. Úgy tűnik, a *Természet könyve* bizonyos elsőbbséget élvez, mert az erről való tudásunk megelőzi és megerősíti a *Szentírás könyvét*; olyan, mint egy kapu, amelyen át belépünk a Bibliába, és mint a fény, mely megvilágítja a *Szentírás* szavait.⁴² Míg a *Természet könyvének* ismerete mindenki számára elérhető, a *Szentírás könyve* kizárólag a klerikusok számára hozzáférhető. Mindazonáltal, a *Szentírás könyvét* az inspirálta, azért íródott, hogy segítsen bennünket helyesen olvasni a teremtmények könyvét, hiszen olyanok voltunk, mint a vakok⁴³ – e megállapítás bizonyára az emberi bűnökre történő célzás, ami közelebb viszi Raimundust a középkor teológusaihoz. Raimundus bizonyára sok kortárs tudományfilozófust meglepő ismeretelméleti optimizmussal kijelenti, hogy mi nem tudjuk meghamisítani vagy félreértelmezni a *Természet könyvét*, s hozzáteszi, hogy a könyv tanulmányozása megóv a téveszméktől. A *Szentírással* ellentétben a *Természet könyvének* betűit nem lehet kitörölni, s nem is veszhetnek el.⁴⁴ Mindkét könyvre szükségünk van, s a két könyv nem mond ellent egymásnak. Tartalmukban nem különböznek: minden, ami szerepel az elsőben, az megtalálható a másodikban is. Csupán abban térnek el egymástól, hogy milyen módon tanítják és bizonyítják az azonos tartalmakat: a Teremtmények könyve a racionális bizonyító eljárás (*per modum probationis*) segítségével tanít, míg a *Szentírás* Isten tekintélyén alapul, és előírások, parancsok és buzdítások útján (*per modum praecepti, mandati, monitionis et exhortationis*).⁴⁵

⁴⁰ „Ista scientia docet omnem hominem cognoscere realiter, infallibiliter, sine difficultate et labore omnem veritatem necessariam, homini cognoscere, tam de homine, quam de Deo, et omnia, quae sunt necessaria homini ad salutem et ad suam perfectionem, et ut perveniat ad vitam aeternam. Et per istam scientiam homo cognoscet sine difficultate infallibiliter, quidquid continetur in sacra Scriptura. Et quidquid in sacra Scriptura dicitur et praecipitur, per hanc scientiam cognoscitur infallibiliter cum magna certitudine” (RAIMUNDUS DE SABUNDE: *Theologia naturalis seu Liber creaturarum*, Prologus, F. Frommann Verlag, Stuttgart – Bad Cannstatt, 1966, 27–28; facsimile kiadás 1852, Sulzbach).

⁴¹ „[...] quaelibet creatura non est nisi quaedam littera, digito Dei scripta; et ex pluribus creaturis, sicut ex pluribus litteris, est compositus liber unus, qui vocatur liber creaturarum. In quo libro etiam continetur ipse homo, et est principaliter littera ipsius libri” (ibid., 35–36).

⁴² „Et ideo liber creaturarum est porta, janua, introductorium and lumen quoddam ad librum sacrae Scripturae, in quo sunt verba Dei; et ideo ille praesupponit iste” (ibid., Titulus, CCXI, 311).

⁴³ [Liber] „Scripturae datus est homini secundo; et hoc in defectu primi libri, eo quia homo nesciebat legere in primo, eo quia erat caecus. Sed tamen primus liber, creaturarum, est omnibus communis; sed liber Scripturae non est omnibus communis, quia solum clerici sciunt legere in eo” (ibid., Prologus, 36). Az eredendő bűnre történő utalás nyilvánvalóbbá válik a *Prologus* vége felé: „Quam quidem sapientiam nullus potest videre nec legere per se in dicto libro semper aperto nisi sit a Deo illuminatus et a peccato originali mundatus” (ibid., Prologus, 38).

⁴⁴ „Primus liber, naturae, non potest falsificari, nec deleri, nec false interpretari. Ideo, haeretici non possunt eum false intelligere; neque aliquis potest fieri in eo haeticus. Sed secundus potest falsificari et false interpretari et male intelligi” (ibid., 36–37).

⁴⁵ Vö. ibid., Titulus, CCXII, 314–315.

Raimundus de Sabunde arra törekszik, hogy megtartsa a kettő közti egyensúlyt, de a téma nagyon kényes, Raimundus érvelésének pedig van néhány kritikus pontja. A *Természet könyvének* a Szentírás rovására történő túlértékelésének veszélye valóban fennáll: valaki például azt gondolhatná, hogy minden, ami a Bibliában található, egyszerűen megtudható a teremtmények megfigyelése útján. Igaz, Raimundus sok helyen hangsúlyozza, hogy a *Szentírás könyve* „nagyszerűbb és magasabb szintű”, mint a *Természet könyve*, mert magasabb rendű dolog az isteni tekintéllyel párbeszédet folytatni, mint bebizonyítani valamit az emberi elme segítségével. A Raimundus által felhozott érvek mindemellett bizonytalanok és néhol kétértelműek. Ha megpróbáljuk összegezni gondolatait, azt mondhatjuk, hogy az ismeretszerzés szempontjából a *Természet könyve* élvez elsőbbséget, és alapvetőbb jelentőségű: a benne feltárolt tudás egyetemesebb, az ember természetéhez igazodik, azaz az emberi elmére szabott⁴⁶; méltóság tekintetében a *Szentírás könyvének* nagyobb az értéke, tekintve, hogy a benne található szavak milyen tekintélyen nyugszanak.⁴⁷ A természet elsőbbsége a *Szentírás* szolgálatában áll, mivel az utóbbiban található tudásra irányul: így minden dolog megtalálja újra a maga ellensúlyát, csakúgy, mint Raimundus a maga útját.⁴⁸

Nem meglepő, hogy a *Liber Creaturarumot* különböző és néha egymásnak ellentmondó módokon értelmezték. Néhány tudós a mű értelmezésében annak veszélyét látta, hogy csökkenti a Szentírás jelentőségét, és ezzel meggyengíti az Egyház tekintélyét. Mások a természet teológiájának szép példáját látták Raimundus de Sabunde művében, mely összhangban áll a korai századok és a középkor keresztény filozófiájával.⁴⁹ Az érvelésben rejlő implicit problémák miatt IV. Pál pápa 1559-ben a tiltott könyvek listájára tette a művet, majd néhány évvel később, 1564-ben IV. Piusz már csak a *Prologusra* korlátozta a tiltást, és azt kérte, hogy a könyv minden későbbi kiadásához fűzzenek teológiai magyarázatot.

A Raimundus művéhez kapcsolódó eseményeken és véleményeken túl nincs kétség afelől, hogy a *Liber Creaturarum* tartalma bizonyos mértékben különbözik a középkorban általános teológiai látásmódoktól. Először is – és valószínűleg a szerző szándékától eltérően – mi olyan kísérletet találunk benne, mely megpróbál morális tanítást kiolvasni a természetből oly módon, hogy elvben *mellőzhetőek* volnának a Szentírás könyvei. A *Természet könyvére* ebben a rendszerben tekinthetünk úgy, mint egy önmagában, függetlenül létező könyvre. Úgy gondolom, talán ebből a szempontból mondhatjuk azt, hogy az út immár nyitva áll egy „modern természetvallás” felé, mely anélkül próbál morális és spirituális értékeket közvetíteni, hogy a Biblián alapuló kinyilatkoztatott vallásra támaszkodna. Mindez legalábbis utat nyit két eszmetörténeti áramlat számára.

Az első eszmei áramlat a természet első „laikus szakralizációja”, ami alatt a Scotus Erigena, a kelta kereszténység, Hildegárd von Bingen vagy Assisi Szent Ferenc által képviselt természetre vonatkozó kifejezetten keresztény jellegű szakrális látásmódtól való elhajlást értjük. Egy új, laikus vallás alakul ki, melynek megvannak a maga szertartásai, imái és morális előírásai, s amelyek könnyen és veszélyesen elhajolhatnak a varázslatok és az ezoterikus hagyományok irányába. Mindez a reneszánsz világában népszerűsége tesz szert, és olyan álfilozófiává áll össze, ami egészen napjainkig érezteti a hatását.

A második eszmei áramlat a felvilágosodás korának deizmusában ölt alakot, amikor megjelenik az Ész és a Természet kultusza, amely félretolja és gyakran bírálja a kinyilatkoztatott vallásokat. Ez

⁴⁶ „Et ideo conveniunt ad invicem, et unus non contradicit alteri. Sed tamen primus est nobis connaturalis, secundus supernaturalis” (ibid., Prologus, 37).

⁴⁷ Vö. ibid., Titulus CCXV, 322–324.

⁴⁸ „Et sic apparet summa concordia, summa consonantia, et summa convenientia inter librum Sacrae Scripturae et librum creaturarum; et quod liber creaturarum servit et famulatur libro Sacrae Scripturae quasi imperanti, mandanti et praecipienti, et apparet, quod non differunt nisi in modo dicendi et loquendi; quia unus loquitur per modum probationis, et alter per modum praecepti et auctoritatis” (ibid., Titulus CCXII, 315).

⁴⁹ A *Liber Creaturarumot* ismerte és értékelte többek között Nicolaus Cusanus, Hugo Grotius, Blaise Pascal, Kaniziusz Szent Péter, Szalézi Szent Ferenc, Georg Wilhelm Friedrich Hegel, Giovanni Regoli is.

utóbbiakra úgy tekintettek, mint ellentmondásos tanokra, az intolerancia és a megosztottság forrásaira, miközben az éssen alapuló természetvallás jelképezte a felvilágosodás programjában az egyetlen olyan erőt, amely képes békés módon újraegyesíteni az egész emberiséget.

Noha Raimundus de Sabunde műve táplálhatta volna az egységet képviselő eszmei gyökereket is, a benne megfogalmazódó ilyen irányú gondolatok mégsem fejtették ki hatásukat elég széles körben. Mindazonáltal Raimundus meglátásai még napjainkban is inspirálhatnak a vallás és a tudomány között megvalósuló párbeszédet, amennyiben elmélyítik a *két könyv* közötti kapcsolat vízióját.

A modern kor tudományának hajnalán: ki tudja elolvasni a *Természet könyvét*?

Témánk szempontjából a reneszánsz korba való átmenetnek különös jelentősége van.⁵⁰ A patrisztikus kor és a skolasztika nem ismeri a *két könyv* között fennálló dialektikus ellentét gondolatát, amelynek értelmében a kettő kölcsönös egymáshoz hasonlítása mint megoldandó probléma jelentkezik. A szerzők nem törekszenek arra, hogy kimutassák a kettő között meglévő, a szó jelenkori értelmében vett „harmóniát”. Inkább az isteni kinyilatkoztatásban gyökerező és mindkettőben egyaránt meglévő méltóságot, valamint a kettőnek azt a közös szerepét szeretnék megmutatni, hogy képesek jelezni az egyetlen igaz Isten ismeretéhez vezető utat. A bűnbeeséssel és a megváltással megjelölt emberi történelem realitása, hogy a *két könyv* kölcsönös ismeretelméleti kapcsolata megkerülhetetlen, és a krisztológiában konkretizálódik. A modernitást megelőzően a *két könyvet* még anélkül értelmezik és helyezik egymás mellé, hogy szükség lenne bármiféle konfliktus sebeinek begyógyítására vagy kezelésére. A 15–16. században jó néhány szerző továbbra is fenntartja, hogy a teremtmények Isten könyvébe írott szavak, s ezt a metaforát használják retorikai és spirituális célokra egyaránt: közéjük tartozik Nicolaus Cusanus (1401–1464), Luther Márton (1483–1546) vagy Luis de Granada (1505–1588), s az ő esetükben a kép mentes a versengés mindennemű problémájától.⁵¹

Ezzel szemben a Philippus Paracelsus (kb. 1493–1541) által képviselt elmélet egészen más helyzetet teremt. Raimundus de Sabunde művének sajátos értelmezését követően a *Természet könyve* kezdi egy olyan olvasat lehetőségét nyújtani, amely kész konfliktusra lépni a Szentírással. Nem is annyira a tartalmak ellentétéről van itt szó, inkább az olvasók és a nyelvezetek ellentétéről. Azokkal a tudósokkal és teológusokkal szemben, akik műveiket a Bibliára alapozták, Paracelsus kijelentette: „A természet fényéből kell jönnie a felvilágosodásnak, hogy a *liber naturae* érthetővé váljon, s anélkül a felvilágosodás nélkül nem lehet meg sem a filozófus, sem a természettudós.” Majd valamelyik követője hozzátette: „A többiek csak tanuljanak a tankönyvekből, míg mi azt a nagy képeskönyvet tanulmányozzuk, melyet Isten nyitott ki számunkra a szabad ég alatt.”⁵² A természettudományok és a kísérleti megfigyelés terén a reneszánsz korban létrejött fejlődés nyomán elterjedt az az elképzelés, hogy az ember képes megközelíteni az isteni világot a Szentírás, a teológia, a skolasztikus filozófia és természetesen mindennemű egyházi közvetítés nélkül. Itt most nem Isten léte forog kockán, s az sem, hogy mi a legjobb forrás (a természet vagy a Szentírás) ahhoz, hogy megértsük, kik vagyunk, és merre tartunk. A reneszánsz tudósok számára továbbra is nyilvánvaló, hogy a *Természet könyvét* maga Isten

⁵⁰ Vö. ALLEN G. DEBUS: *Man and Nature in the Renaissance*, Cambridge UP, Cambridge, 1978; EUGENIO GARIN: *Rinascite e rivoluzioni. Movimenti culturali dal XIV al XVII secolo*, Laterza, Bari, 1975; EUGENIO GARIN: *La cultura filosofica del Rinascimento italiano*, Bompiani, Milano, 1994.

⁵¹ Lásd pl. NICOLAUS CUSANUS: *De Berillo*, 36; valamint *Idiota de sapientia*, I, 5. Ez utóbbi megjelent magyarul: *Az együgyű ember és a bölcsesség*, Farkas Lőrinc Imre Kiadó, 2001. (ford. Révész Mária Magdolna)

⁵² Vö. ERNEST R. CURTIS: *European Literature and the Latin Middle Ages*, Princeton UP, Princeton (NJ), 1990, 322; WILL E. PEUCKERT: *Paracelsus, Die Geheimnisse. Ein Lesebuch aus seinen Schriften*, Dieterich, Leipzig, 1941, 172–178.

írta. A hangsúly azon van, hogy ők képessé váltak arra, hogy közvetlenül olvassák ezt a könyvet, s dicsőítsék és imádják a világ Alkotóját. A harmónia a természetfilozófia és a teológia, a *természet és a Szentírás*, a természetes és a kinyilatkoztatott erkölcsi törvények között, az a harmónia, amely hosszú időn keresztül a megtestesült Logosz két természete, az emberi és az isteni köré épült, itt megtörni látszik. A *Természet könyvének* „spirituális” olvasata még mindig lehetséges, de már nem *keresztény* többé, mint azt később a deizmus filozófiája és a romantika szellemisége megmutatja. A keresztény közegben született eszme, mely szerint a világ egy könyv, a reneszánsz korszakban szekularizálódik, és elidegenedik teológiai eredetétől.

A Galileo Galilei (1564–1642) által vallott felfogás e folyamatra gyakorolt hatásainak részletes elemzése meghaladja jelen dolgozat célkitűzéseit.⁵³ Mindazonáltal szeretnék néhány megjegyzést tenni ezzel kapcsolatban, mert Galilei úgy használja a metaforát, hogy azzal tovább szűkíti azok körét, akik a világegyetem könyvének avatott olvasói lehetnek. Az igaz, hogy Paracelsus-szal szemben, valamint azzal ellentétben, amit később a deisták állítanak, Galilei szemében a *két könyv* Szerzője minden kétséget kizáróan a zsidó–keresztény kinyilatkoztatás Istene. Galilei a Castellinek írt jól ismert levélében (1613) például ezt írja: „a Szentírás és a természet egyaránt az isteni Igéből ered, az előbbi, mint amit a Szentlélek diktált, s az utóbbi, mint Isten parancsának leginkább szabálykövető végrehajtója”⁵⁴. A tudós számára nyilvánvaló, hogy „a Természet nagy könyve – mint azt a *Párbeszéd a két legnagyobb világrendszerről, a ptolemaiosziról és a kopernikusziról* (1632) című műve előszavában írta – a természetfilozófia kutatásainak méltó tárgya”⁵⁵. A hangsúly azonban elmozdult: a *Természet könyvének* olvasása már elsősorban a természettudósokra, nem pedig a teológusokra tartozik.

Az *Aranymérleg* (1623) híres oldalát véleményem szerint pontosan ennek fényében kell olvasnunk:

„A filozófiát ebbe a nagyszerű könyvbe, a világegyetembe írták bele, mely szüntelen nyitva áll a szemünk előtt. Ám ezt a könyvet nem érthetjük, ha előtte meg nem tanuljuk megérteni a nyelvet és olvasni a szavakat, amelyek alkotják. Ez a könyv a matematika nyelvén íródott, jelei a háromszögek, körök és más geometriai formák, melyek nélkül az ember számára lehetetlen akár egy szót is megérteni belőle; nélkülük az ember csak egy sötét útvesztőben bolyong.”⁵⁶

Galilei 1641-ben, egy Fortunio Licetinek címzett levélben a világegyetem-metaforát egyértelműen korának kulturális intézményeivel szemben használja, melyeknek könyvei már meghaladottak, mert „most a filozófiakönyv az, amely folyton nyitva áll a szemünk előtt; de mivel más betűkkel íródott, mint a mi ábécénk betűi, nem mindenki által olvasható; ennek a könyvnek a betűi pedig háromszögek, négyszögek, körök, gömbök, kúpok, gúlák és egyéb matematikai formák, melyek az ilyen típusú

⁵³ A filozófiai és történelmi kontextussal kapcsolatban ld. WILLIAM R. SHEA: *Galileo's Intellectual Revolution*, Macmillan, London, 1972; KENNETH J. HOWELL: *God's Two Books. Copernican Cosmology and Biblical Interpretation in Early Modern Science*, University of Notre Dame Press, Notre Dame (IN), 2002; TREVOR H. LEVERE – WILLIAM R. SHEA (eds.): *Nature, Experiment, and the Sciences. Essays on Galileo and the History of Science in Honour of Stillman Drake*, Kluwer Academic, Dordrecht – London, 1990. Vö. még LOUIS DUPRÉ: *Passage to Modernity. An Essay in the Hermeneutics of Nature and Culture*, Yale UP, New Haven, 1993.

⁵⁴ „Procedendo di pari dal Verbo divino la Scrittura sacra e la natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, e questa come osservantissima esecutrice de gli ordini di Dio” (GALILEO GALILEI: Lettera a P. Benedetto Castelli, Firenze, 21. dicembre 1613, in Antonio Favaro [ed.]: *Le Opere di Galileo Galilei*, vol. V., Giunti – Barbera, Firenze, rpt. 1968, 282).

⁵⁵ GALILEO GALILEI: Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Dedicato al Gran Duca, in *ibid.*, vol. VII., 27; magyarul megjelent: *Párbeszéd a két legnagyobb világrendszerről, a ptolemaiosziról és a kopernikusziról*, Kriterion, Bukarest, 1983.

⁵⁶ „La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi [sic] è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto” (*Il saggiaiore*, in *ibid.*, vol. VI., 232).

olvasás számára a legalkalmasabbak”⁵⁷. Érdeemes rámutatni, hogy a korai egyházatyák korától kezdve a metafora jelentése meglepően átalakult. Míg Szent Ágoston azt állíthatta, hogy „mindenki, még az írástudatlan emberek is képesek arra, hogy olvassák a világegyetem könyvét”, Galilei nézete szerint mindazok, akik képesek elolvasni, egy sokkal szűkebb körhöz tartoznak. Raimundus de Sabunde állítása, mely szerint a *Természet könyve* mindenki számára elérhető, míg a *Szentírást* csak a klerikusok képesek elolvasni, Galilei szavaiban tükröződik, csak nála a *Világ könyvének* egyetemessége csorbul.

A Johannes Kepler (1571–1630) által képviselt nézet ebben a tekintetben kissé különbözőnek látszik. A *Természet könyve* a cseh csillagász szemében is racionális értelmezés után kiált, ám ő képes volt racionalizmusát a miszticizmus és a spiritualitás köntösébe burkolni. A csillagászok a Legfőbb Istenség főpapjai, a világegyetem pedig éppen az ő könyvük. Tartalma azonban több mint egyszerűen geometria vagy matematika, mivel úgy lehet használni, mint egy liturgikus könyvet, mely segít ünnepelni és imádni a Teremtő Istent, valamint imádkozni hozzá. Galileihez hasonlóan Kepler is úgy tartotta, hogy a természet a tudósok könyve, nem pedig a teológusoké, de anélkül, hogy kizárólagosan „racionális” olvasatot tulajdonított volna neki abban a kortárs értelemben, amelyben mi ezt a szót használjuk.⁵⁸ A világegyetem könyve szintén alkalmas az imádkozásra és az imádásra, s ily módon visszanyeri egyetemességének egy részét.⁵⁹ A csillagásznak nem tiltják meg, hogy teológus legyen.

Miután láttuk ezeket a különböző, egymásnak némileg ellentmondó motívumokat, a „Két könyv”-metafora belép a modern korba. Ami a *Természet könyvét* illeti, a racionális és a spirituális olvasási módok egészen máig fennmaradtak, csak közben megváltozott a vallási közeg, amely arra készíti az olvasókat, hogy kellő óvatossággal tegyenek különbséget a különféle olvasási módok között.

⁵⁷ „Ma io veramente stimo il libro della filosofia, esser quello che perpetuamente ci sta aperto dinanzi agli occhi; ma perché è scritto in caratteri diversi da quelli del nostro alfabeto, non può esser da tutti letto: e sono i caratteri di tal libro triangoli, quadrati, cerchi, sfere, con, piramidi et altre figure matematiche, attissime per tal lettura” (GALILEO GALILEI: *Lettera a Fortunio Liceti*, gennaio 1641, in *ibid.*, vol. XVIII., 295).

⁵⁸ „Mivel mi, csillagászok vagyunk a Legfőbb Istenség főpapjai a Természet Könyvére vonatkozóan, úgy illik, hogy ne saját szellemünk dicsőségét próbáljuk öregbíteni, hanem mindenekelőtt Isten dicsőségét” (JOHANNES KEPLER: *Letter an Herwat von Hohenburg*, 26. 3. 1598, n. 91, in Max Caspar [Hrsg.]: *Johannes Kepler. Gesammelte Werke, Briefe I.* [1590–1599], Bd. XIII., Beck, München, 1937ff, 193.). „Mivel épp a világegyetem az a Természet Könyve, amelyben a Teremtő Isten kinyilatkoztatta és ábrázolta önnön lényegét, s az emberrel való szándékait, egy szavak nélküli írásban” (*Epitome Astronomiae Copernicanae*, in *ibid.*, Bd. VII., 25). „Arra törekszem, hogy kisvártatva megismertethessem az emberekkel mindezeket a dolgokat Isten dicsőségére, aki azt akarja, hogy a Természet Könyvén keresztül ismerjük meg. Minél inkább sikerül őket felemelni, én annál boldogabb leszek, s egyáltalán nem lesz bennem irigység. Ez az, amit tenni akarok, hiszen teljes egészében Istennek szenteltem magamat. Teológus szerettem volna lenni. Hosszú időn át nehézségekbe ütköztem, de most nézd és lásd, hogyan fogják dicsérni Istent a művem által” (*Letter to M. Maestlin*, 3. 10. 1595, n. 23, in *ibid.*, Bd. XIII., 40). Vö. még *Mysterium Cosmographicum. Praefatio*, in *ibid.*, Bd. 1., 5. Ld. még OLAF PEDERSEN: *The Book of Nature*, University of Notre Dame Press – LEV, Notre Dame – Città del Vaticano, 1992, 44–45.

⁵⁹ Egy másik példa a *Természet könyvének* a tudomány kontextusán belüli „univerzálisabb” olvasására Sir Thomas Browne, a fizikus, aki Galilei és Kepler kortársa volt. *Religio Medici* (1643) című munkájában úgy vélte, hogy a Természet könyve mindenki által könnyen érthető: „Így két Könyv létezik, amelyekből összeállítom az *Istenségemet*; Isten írott könyvén kívül létezik egy másik, szolgájának, a Természetnek a könyve, amely valójában az az egyetemes és nyilvános kézirat, mely itt hever kiterítve mindenki tekintete előtt: azok, akik sosem tudták meglátni őt az egyik könyvben, felfedezték őt a másikban” (part I, ch. 15). Az „Istenség” itt „teológia” vagy „teológiai tanulmányok” értelemben szerepel. Vö. ERNST R. CURTIUS: *European Literature and the Latin Middle Ages*, 323. Thomas Browne doktrínájának kortárs, személyes kontextusban való értelmezésére tett kísérletéről ld. ARTHUR PEACOCKE: *The Religion of a Scientist. Explorations into reality (Religio Philosophi Naturalis)*, *Zygon* 29 (1994/4) 639–659.

Olvashatjuk-e a Természetet úgy, mint egy Könyvet? Vajon értelmezhető ez a metafora napjainkban is?

Felidézve a „Két könyv”-metafora eszmetörténeti gyökereit, különösen a Természet mint könyv képzetét, fel kell tennünk a kérdést: az ilyen képes beszéd milyen módon segítheti ma a teológusok és a természettudósok munkáját? Ez igen tág és izgalmas területe a reflexiónak, ezért kiemelt figyelmet érdemel.

A *teológia* szempontjából mindenekelőtt érdemes megemlíteni, hogy az egyházatyák és a fentebb említett klasszikus szerzők meglátásaival összhangban a mi korunkban II. János Pál pápa is alkalmazta a Természet mint könyv képet.⁶⁰ A *Fides et ratio* (1998) kezdetű enciklikában a Bölcsesség könyve egyik – az Isten által teremtett dolgokból analógia útján megszerezhető istenismeretről szóló – részének értelmezésekor (Böl 13,1–9) II. János Pál megállapítja: „Ez azt jelenti, hogy elismerjük, a csodálatos »természet könyve« az isteni kinyilatkoztatás első szakasza, melyet, ha az emberi elme alkalmas hozzáállásával olvasunk, elvezet bennünket a Teremtő ismeretéhez” (19). Néhány évvel később egy általános kihallgatáson a 18. [19] Zsoltárra helyezve a hangsúlyt ugyanez a pápa a következőt mondja: „Azok számára, akik kíváncsi füllel és nyitott szemmel járnak, a teremtés műve olyan, mint egy első kinyilatkoztatás, aminek megvan a maga díszes nyelve: majdhogynem egy másik szent könyv, melynek betűi és szavai a világegyetemben mindenütt jelenlévő számtalan teremtett dolog.”⁶¹

Teológiai szempontból tehát elfogadott, hogy a materiális világegyetemet úgy közelítsük meg, mint az isteni kinyilatkoztatás részét. Azért tűnhet ez szokatlannak számunkra, mert a Katolikus Egyház a nyugati egyházszakadás után többnyire csak szűkebb értelemben, olyankor használta a „kinyilatkoztatás” kifejezést, amikor Isten üdvtörténeti-természetfeletti megnyilatkozásairól volt szó. Például az I. (1869–1870) és a II. (1962–1965) Vatikáni Zsinat dokumentumaiban, amikor a teremtésről vagy a természetről esett szó, az Isten „tanúságtétele”, „tanúbizonyosága” vagy „önkinyilvánítása” szóhasználatot követték, kerülve a „kinyilatkoztatás” kifejezést.⁶² A kinyilatkoztatás szó azonban a Katolikus Egyház Katekizmusában (1992, 1997²), valamint II. János Pál beszédeiben már a teremtés kontextusában is újra megjelenik.⁶³

Ha a teremtésről beszélhetünk úgy, mint egy könyvről, amelyben Isten felfed valamit önmagából, akkor a teremtés művének rendelkeznie kell a megszólítás és a jelentéshordozás képességeivel, valamint isteni célirányitottságot foglalhat magában. A szemlélődő ember nem korlátozhatja a teremtéssel kapcsolatos tapasztalatát csak az esztétikai élmények szintjére, hanem fel kell tennie magának a szépség Alkotójával kapcsolatos kérdéseiket is (vö. Böl 13,5). A könyv mint írott szöveg mindig valamilyen üzenetet hordoz, amely valakihez szól; és ezt jóval egyértelműbben teszi, mint egy önmagában jelentés nélküli panorámaélmény. Az a teológiai gondolat, hogy a teremtés az isteni kinyilatkoztatás előcsarnoka, azon a közvetlen kapcsolaton alapul, mely a Teremtést az Ige-Logoszhoz fűzi, akiben minden dolog teremtett. Ugyanígy a teológiai tartalom abban a krisztológiai

⁶⁰ Vö. GIUSEPPE TANZELLA-NITTI: The Book of Nature and the God of Scientists according to the Encyclical „Fides et ratio”, in *The Human Search for Truth. Philosophy, Science, Faith. The Outlook for the Third Millennium*, St. Joseph’s UP, Philadelphia, 2001, 82–90.

⁶¹ II. JÁNOS PÁL: *General Audience*, Róma, 2002. január 30., 6.

⁶² Vö. *Dei Filius*, 2; DV 3, 6.

⁶³ Vö. „Így a teremtés kinyilatkoztatása elválaszthatatlan az egy Isten népével kötött Szövetségének kinyilatkoztatásától és megvalósításától. A teremtés úgy lett kinyilatkoztatva, mint az első lépés e Szövetség felé, mint Isten mindenható szeretetének első és egyetemes bizonyosága (KEK 288). „Isten, még mielőtt az igazság szavaival nyilatkoztatta volna ki magát az embernek, a Teremtés – az ő Igéjének, Bölcsességének műve – egyetemes nyelven nyilatkoztatta ki magát: az egész világ rendjéből és harmóniájából – amit a gyermek és a tudós egyformán föl tud fedezni” (KEK 2500). Vö. még II JÁNOS PÁL: *Üzenet a XV. Ifjúsági Világnapra*, 2000. augusztus 15.

dimenzióban bontakozik ki, amely szerint a Logosz átjárja az egész teremtett világot: ezt az általa és érte teremtett világot (vö. Kol 1,16).

Ha mindezt végiggondoljuk a vallások közti párbeszéd szempontjából, szintén figyelemre méltó belátásokra juthatunk. Ha a *Természet könyve* mindenki előtt nyitva áll, és nyilvánvalóvá teszi az igaz Isten önkinyilatkoztatását, akkor e tény elfogadásának közös alapján egy jelentőségteljes párbeszéd veheti kezdetét, tekintve, hogy az egyszerű, esztétikai dimenzió egy megbízható filozófiai kerettel egészül ki, mely tisztelettel fordul az emberi racionalitás minden követelménye felé. Azokra való tekintettel, akik sohasem voltak tanúi Isten történelmi kinyilatkoztatásainak, „a teremtés ígéje” a Szentírás vagy más spirituális közvetítés helyett valóban betölthetné az üdvözítő kinyilatkoztatás szerepét. Rá kell mutatnunk azonban arra, hogy a természet *önmagában* senkit sem „vált meg”, senkit sem „üdvözít”. A teremtés művének azon képessége, hogy felébressze és átalakítsa az emberi szíveket, hogy szeressék Teremtőjüket, erősen függ attól a kapcsolattól, amely a természeti világ és Krisztus üdvözítő embersége között áll fenn, aki maga a teremtés középpontja és igazi távlata (vö. Kol 2,9; Ef 1,10).

Végül pedig, ha a teológia újra késztetést érez, hogy felnyissa a *Természet könyvét* – melynek sokan inkább a *bezárását* javasolták, vagy mert túl nehéznek találták az olvasását, vagy mert Galilei és Darwin óta e könyv számukra leginkább problémák forrásává vált –, az azt jelenti, hogy a természettudomány eredményeire tekinthetünk úgy, mint a teológiai elmélkedés tárgyára, amely valódi segítséget nyújthat a teológia számára Isten Igéjének jobb megértésében.⁶⁴

Ha a *természettudományok* szemszögéből tekintünk a kérdésre, a könyvmetaforát könnyen összeköthetjük az érthető és racionális világegyetem képzetével, amely illeszkedik a kísérletek és elméletek segítségével kivitelezhető „olvasás” gondolatához. Korunk interdiszciplináris vitáiban tudatosult, hogy a világ matematikai leírásának lehetősége maga is meghökkenítő tény.⁶⁵ Ha rácsodálkozunk arra, hogy a természeti világ egy rendezett, nem kaotikus, Isten által írott könyv logikáját hordozza, és Isten üzenete olvasható ki belőle, ez hatással lehet arra a lelki beállítottságra is, amellyel a tudós a szakmai tevékenységét végzi. Az itt következő Georges Lemaître-től származó idézet nagyon találó ebben a vonatkozásban:

⁶⁴ Vö. GIUSEPPE TANZELLA-NITTI: Le rôle des sciences naturelles dans le travail du théologien, *Revue des Questions Scientifiques* 170 (1999) 25–39. Ugyanerről a témáról ld. bővebben: Scienze naturali, utilizzo in teologia, in Giuseppe Tanzella-Nitti – Alberto Strumia: *Dizionario Interdisciplinare di Scienza e Fede. Cultura scientifica, filosofia e teologia*, 2. vol., Urbaniana UP – Città Nuova Editrice, Roma: 2002, 1273–1289 (ennek angol fordítása megtalálható az „Interdisciplinary Encyclopedia of Religion and Science” weboldalon, <http://www.disf.org/en>).

⁶⁵ E témával kapcsolatban az Einstein által feltett kérdést szokás idézni: „Azt mondhatjuk, hogy a világ örök rejtélye az, hogy miért érthető [...], az a tény, hogy érthető, az valóban maga a csoda.” (Physik und Realität, *Journal of Franklin Institute* 221 [1936/3] 313–347). A természet érthetőségének kérdéséről lásd pl.: EUGENE WIGNER: The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences, *Communications in Pure and Applied Mathematics* 13 (1960) 1–14; magyarul megjelent WIGNER JENŐ: A matematika meghökkenítő hatékonysága a természettudományokban, in Ropolyi László (szerk.): *Wigner Jenő válogatott írásai*, Typotex, Budapest, 2005, 151–178. (ford. Györgyi Géza – Szegedi Péter); MICHAEL HELLER: Scientific Rationality and Christian Logos, in Robert Russell – William R. Stoeger – Georg V. Coyne (eds.): *Physics, Philosophy and Theology. A Common Quest for Understanding*, LEV – University of Notre Dame Press, Città del Vaticano, 1988, 141–149; JOHN D. BARROW: *Pi in the Sky. Counting, Thinking, and Being*, Clarendon Press, Oxford, 1992; PAUL DAVIES: *The Mind of God. Science and the Search for Ultimate Meaning*, Simon & Schuster, London, 1992; magyarul megjelent: *Isten gondolatai. Egy racionális világ tudományos magyarázata*, Kulturtrade, Budapest, 1996 (for. Béresi Csilla); PAUL DAVIES: The Intelligibility of Nature, in Robert Russell – Nancey C. Murphy – Chris J. Isham: *Quantum Cosmology and the Laws of Nature*, Vatican Observatory Publications – The Center for Theology and Natural Sciences, Città del Vaticano, 1993, 145–161. A teológiai perspektíváról: GIUSEPPE TANZELLA-NITTI: Gesù Cristo, Rivelazione e Incarnazione del Logos, in *Dizionario Interdisciplinare di Scienza e Fede*, vol. 1., 693–710 (angol fordításban: *Jesus Christ, Incarnation and Doctrine of Logos*, web page „Interdisciplinary Encyclopedia of Religion and Science”, <http://www.disf.org/en>).

„Mindegyikük (azaz hívő és nem hívő tudósok egyaránt) arra törekszik, hogy megfejtse a természet palimpszesztjét, amelyen egymásra rakódva és összekeveredve megtaláljuk a világ hosszú fejlődésének különböző állomásai által otthagytott nyomokat. A hívőnek talán annyi előnye van, hogy hiszi: a rejtvénynek van megoldása. Számára, amikor a tudományos megértés terén már minden erőfeszítést megtettek, még mindig van mögöttes tartalom, hiszen ő a természetben egy intelligens lény alkotását látja. Bizhat abban is, hogy ha felvetődött egy probléma, az azért történt, hogy megtalálják a megoldását, s a megoldás lehetőségét keresve némi joggal bizhat az emberiség jelenlegi vagy jövőbeli képességeiben. Lehet, hogy ez nem biztosít számára új forrásokat a kutatásához, de segíti abban, hogy megtartsa egészséges optimizmusát, ami nélkül nem lehet hosszú időn keresztül kitaró erőfeszítéseket tenni.”⁶⁶

Vannak olyan tudósok, akik úgy beszélnek kutatási tevékenységükről, mint egyfajta „párbeszédről”, mely köztük és a természet között zajlik, felfedezéseikről pedig úgy, mint a „kinyilatkoztatás” tapasztalatáról. John Polkinghorne szerint „A fizikusok fárasztó munkával elsajátítják a matematika gazdag eszköztárát, mert a tapasztalat azt mutatja, hogy ettől várható a legjobb eredmény, és hogy ez a fizikai világ megértésének a leghatékonyabb módja. A matematika nyelvét tanuljuk, mert ez az egyetlen, melyen keresztül a világegyetem »beszél« hozzánk.”⁶⁷ A természetre úgy tekinthetünk tehát, mint egy titokzatos, vonzó partnerre, aki megjelenik a tudós előtt: „Néha egy felkavaró élmény vagy egy misztikus megérezés hatására az ember minden kétséget kizáróan tudatára ébred annak, hogy kapcsolatba lépett azzal a Valósággal, amely a jelenségek tarka világa mögött áll. Ő maga teljességgel meg van győződve erről, mégis képtelen ezt a bizonyosságot mással megosztani. Mintha egy személyesen neki címzett magánkinyilatkoztatást kapott volna.”⁶⁸ Az ilyesfajta érzések leírására szolgáló szavakon túl ezek a tapasztalatok következetesen illeszkednek ahhoz az elképzeléshez, hogy a világot „el tudjuk olvasni”, hogy üzenetet közvetít számunkra, hogy a világegyetem rendelkezik valamiféle „kozmosz kóddal” – mely kifejezés igen népszerűvé vált a tudományos ismeretterjesztésben. Következésképpen úgy tűnik, hogy a századok múlása és a filozófiai paradigmák változása ellenére a természetre továbbra is tekinthetünk úgy, mint egy könyvre.⁶⁹

Értekezésünk elején említettük, hogy a Jelenések könyvének egyik legünnepelesebb látomása úgy mutatja a Bárányt, mint aki a Legfőbb Istenség trónjánál egy könyvtekerectet kap, melynek pecsétjeit csakis ő méltó feltörni. Ebben a látomásban a tekeres felnyitását nemcsak a különböző nyelvű népek és nemzetek dicsérik, hanem minden élőlény: „Majd hallottam, hogy minden teremtmény a mennyben, a földön, a föld alatt és a tengerben levőkkel együtt ezt mondta: »A trónon ülőnek és a Báránynak áldás, tisztelet, dicsőség és hatalom örökkön-örökké!«” (Jel 5,13; ld. 5,7–13). Más szóval úgy tűnik, hogy minden történelem könyve, melynek a Bárány a bírása és megváltója, s minden természeti teremtmény könyve összegződik, és benne foglaltatik abban az egyetlen *Könyvben*, amelynek

⁶⁶ ODON GODART – MICHAL HELLER: Les relations entre la science et la foi chez Georges Lemaître, in *Pontificia Academia Scientiarum. Commentarii*, vol. 3., n. 21, 11; idézi II. JÁNOS PÁL: Discourse to the Pontifical Academy of Sciences, November 10, 1979, in *Osservatore Romano*, English week ed. (November 26, 1979) 10.

⁶⁷ JOHN C. POLKINGHORNE: *One World. The Interaction of Science and Theology*, Princeton UP, Princeton (NJ), 1987, 46; magyarul megjelent: *Egyetlen világunk. A tudomány és a teológia kölcsönhatásai*, Kalligram, Pozsony, 2008. (ford. Kertész Balázs)

⁶⁸ EDWIN HUBBLE: *The Nature of Science and Other Lectures*, Huntington Library, San Marino (CA), 1954; idézi OLAF PEDERSEN: Christian Belief and the Fascination of Science, in William R. Stoeger – Georg V. Coyne (eds.): *Physics, Philosophy and Theology. A Common Quest for Understanding*, LEV – University of Notre Dame Press, Città del Vaticano, 1988, 133. A tudósok tevékenységéhez kötődő emberi és vallási tapasztalatokról ld. ENRICO CANTORE: *Scientific Man. The Humanistic Significance of Science*, ISH Publications, New York, 1977.

⁶⁹ A társadalmi képzetek modern kori átalakulásának kérdéséhez ld. BAGYINSZKI ÁGOSTON: Charles Taylor az észak-atlanti civilizáció elvilágiasodásáról, *Sapientiana* 3 (2010/2) 45–56; valamint BAGYINSZKI ÁGOSTON: Hogyan járulhat hozzá a ferences intellektuális hagyomány a „reáliák” és a „humaniórák” összebékítéséhez?, *Acta Pintérian* 1 (2015) 5–14. (a szerk.)

pecsétjeit egyedül a Megtestesült Ige méltó felnyitni. A *Történelem könyve* és a *Természet könyve* ugyanahhoz a *Könyvhöz* tartozik, melynek első és utolsó szava, a kezdete és a vége, az alfája és az ómegája a *Megtestesült Logosz* (vö. Jel 1,8; 21,6; 22,13).