

kerül felhasználásra néhány megállapítás (*l. táblázat*). A bányászati és ércfeldolgozási technológia, valamint a környezetvédelmi követelmények fejlődése miatt új kihívásokkal egészül ki a bányászattal szemben támasztott követelményrendszer.

#### IRODALOM

Benkovics István – Erős György (2001): A hazai uránbányászat megszüntetése és a társaság jövőbeli lehetőségei. *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat*, 134, 206–211.

Berta Zsolt – Földing G. – Szreda G. – Gorjánác Z. – Várhegyi A. (2008): Az uránbányászati rekultiváció hosszú távú monitoring rendszere. *Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat*, 141, 7–12.

A mai korszerű bányászatban lehetőség nyílik a legveszélyesebb és a költségesebb munkafolyamatok gépesítésre (*5. és 6. ábra*).

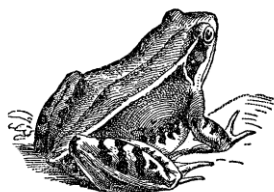
Kulcsszavak: *mecseki uránbányászat, rekultiváció, bányanyitás, kormányhatározat*

Berta Zsolt et al. (2009): *A magyar uránipar rekultivációja a nemzetközi tapasztalatok függvényében*. Nemzetközi Konferencia, Pécs

Csövári Mihály (1998): A mecseki uránércbányászat és -feldolgozás legfontosabb anyagmérleg adatai. ETO: 622.7.012:622.349.5(439.127)

Konrád Gyula – Barabás András (2001): *Zárójelentés a mecseki uránlelőhelyről*. Mecsekérc Zrt., (Adattár), Pécs

Németh J. et al. (2001): *Az uránbányászat története*. Mecsekérc Zrt., Pécs



## AZ ATOMENERGETIKA NÉHÁNY KÖZEGÉSZSÉGÜGYI VONATKOZÁSA

Köteles György

az MTA doktora, ny. igazgató-főorvos,

Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet  
koteles@osski.hu

#### Bevezetés

Az energiatermelő iparágak közül mindeddig az atomenergia alkalmazása váltotta ki a legszélesebb körű és leghevesebb vitákat a társadalomban. Az aggodalmakat kiváltó ok egyértelmű, hiszen a köztudatban az atom szó hallatán az atombombák hatása merül fel. A félelmekhez hozzájárult a világon mindeddig előfordult három, a környezetet is érintő súlyos atomerőműi baleset. Rövid gondolatsoromban kitérek a nukleáris fűtőelem ciklus három állomása, az uránbányászat, az atomerőmű működtetése és a radioaktív hulladékártórállás néhány, a közegészségügyet érintő vonatkozására. Hangsúlyozni kívánom ezeken túlmenően a széles körű nemzetközi és országos szabályozás szerepét, valamint az alapos ismeretterjesztési tevékenység fontosságát a legkülönbözőbb társadalmi rétegekben és korosztályokban.

#### Uránbányászat

A múlt század második felében vált nyilvánvalóvá, hogy a különböző földalatti bányászati tevékenység kockázatainak és ártalmainak túl, mint a porbelégzés és következményes szilikózis, a vibráció, a nehéz fizikai megterhelés, a zajártalom, a nehézfémek inkorporációja,

a földkérgi eredetű sugárzás gamma és alfa komponensei komplexen hatnak, és ezen túl a földkérgi eredetű radon és bomlástermékeinek belégzése az emelkedett tüdőrák-gyakoriság, pontosabban a hörgőrák előfordulásának az oka. Nagy nemzetközi metaanalízisek kimutatták, hogy a kórokozás függ a radon koncentrációjától és a kitettség időtartamától. Ezt az expozícióértéket munkaszint hónap/év egységekben szokás megadni, az angol irodalomban *working level month per year* (WLM/yr). Ez magában foglalja a radonkoncentrációt Bq/m<sup>3</sup> egységben, a munkában eltöltött hónapot huszonöt nappal és napi hat órával számítva és az így kifejezett hónapok számát évente. A magyarországi uránbányában 1974-ig ez az érték jóval meghaladta a szellőztetések korszerűsítése utáni értékeket, mely 8 WLM/év. Azaz egy tízéves szolgálat alatt 80, húszéves szolgálat alatt 160 WLM a kumulált expozíció. Ezt megelőzően az értékek a legnagyobb mértékben exponált személyeknél több száz WLM-et is elértek. Értehetően a magyar uránbányászok tüdőrákkockázata többszöröse volt a lakossági értéknek.

Megjegyzendő, hogy bár a kockázat növekedése arányos a levegőben lévő radonkoncentrációval, de a kockázatot nagymértékben növeli a dohányzás is.

Hazánkban az MTA Bányászati Ergonómiai és Bányaeészségügyi Tudományos Bizottsága több intézmény bevonásával széles körű vizsgálatokat folytatott, amelynek fejlődését és eredményeit közzölték (Köteles – Varga, 2007; Ungváry et al., 2009). A bizottság elnökei Ungváry György, majd Tigyi József voltak. Megjegyzem, hogy a részt vevő intézmények, intézetek ezen koordinált kutatások előtt is folytattak releváns felméréseket, kutatásokat. Így kiterjedt vizsgálatok történtek például a sugár-expozíció és a citogenetikai mutatók (kromoszóma-aberrációk) összefüggésének kimutatására, a kockázat mértékének becsülésére, a bányamunka befejezését követő időszakban is az egészségi állapot követésére. Utóbbin belül az egyének egyéb egészségi mutatóira, mint például a szérum antioxidáns kapacitására, valamint egyes tumormarkerek, citokinek jelenlétére az exponált szervezetben. Követéssel vizsgálatainkkal azt is kimutattuk, hogy tartósan nagy expozíciónak kitett bányászokban a bányamunka befejezése után évek múlva is jelen vannak citogenetikai elváltozások (Mészáros et al., 2004). Ez is nyilvánvalóan utal a fokozott kockázatra. A valamikori uránbányászok egészségének követező vizsgálata igen indokoltnak bizonyult.

#### A lakosság radonexpozíciója

A bányászok epidemiológiája ráirányította a figyelmet a lakosság expozíciójára, vajon ott is nő-e a kockázat? Az első feladat a lakóterek levegőjének elemzése volt, az esetlegesen előforduló radon jelenlétére. Nagy meglepetésre több országban emelkedett szintet találtak az épületek bizonyos hányadában, azaz magasabbat, mint amit a korszerű sugárvédelmi ajánlások meghatároztak referenciaszintként. A radonkoncentráció kialakulása függ a talaj jellegétől és az építőanyag természetétől is.

Hazánkban is több felmérés történt (Hármori et al., 2004; Kocsy et al., 2010). Utóbbi adatai szerint 248 helységben 280 épületet vizsgálva megállapították, hogy az átlagos radonkoncentráció  $93 \pm 83 \text{ Bq/m}^3$  volt, azaz a tartomány  $7\text{--}780 \text{ Bq/m}^3$  közötti volt.

Az illetékes nemzetközi szakmai-tudományos szervezetek meghatározták azokat a radonszinteket, amelyeknél a munkahelyeken és belső terekben, lakóterekben, *indoor* körülmények között mért szintek nem lehetnek magasabbak. Ezek a sugárvédelmi ajánlások az évek során egyre óvatosabbak lettek. Jelenleg munkahelyekre  $1500 \text{ Bq/m}^3$ , lakóterekre  $100\text{--}300 \text{ Bq/m}^3$  értékeket adnak meg. Hazai szabályozás csak munkahelyekre van, nevezetesen  $1000 \text{ Bq/m}^3$ , lakóhelyiségekre még nincs szabályozás.

Uránbányászati vidékeken a lakosság expozíciója is nőhet a belsőtéri radonkoncentráció miatt. Mintamérések az uránbánya környéki és távolabbi községekben, lakóépületekben is jeleztek különbségeket az átlagértékekben, főleg ha a bányászattól visszamaradó meddőt is használtak építőanyagként (Gorjánác et al., 2006). Ezen emelkedett értékek okait és csökkentésének módját kutatni kell.

#### A környezet vizsgálata

A bányakörnyék környezetének vizsgálata folyamatos feladat. További fontos tevékenység a bánya bezárása után a bányakörnyék rekultivációja. Ez utóbbi szakmai ajánlásokkal/javaslatokkal kezdődik, hatósági előírásokkal folytatódik, míg a kivitelezés műszaki és környezetellenőrzési (monitorozási) tevékenységgel párosulva valósul meg. A végső cél a tárnák biztonságos lezárása, a meddőhányók, zagyártározók kellő fedése annak érdekében, hogy a levegő radonkoncentrációja közelítse a környék távolabbi részein adódó

átlagot. A hazai rehabilitációs tevékenység is ebben a szellemben folyt a '90-es évektől.

#### Atomerőművek működtetése

Az atomerőművek mindennapos, szabályszerű működtetése esetén is folyamatos vizsgálatnak kell alávetni a foglalkoztatási kategóriába tartozó személyeket, munkavállalókat, a környező lakosságot és a környezet expozícióját, az erőmű által a környezetbe bocsátott radioaktív anyagokkal való szennyezést.

Az atomerőművi dolgozók daganatos megbetegedésének előfordulásával kapcsolatban egy 1999-ben publikált hazai felmérés megállapította, hogy a sugárveszélyes munkakörben foglalkoztatottak daganatos halálzási arányszámai nem haladják meg sem az országos, sem a Tolna-megyei mutatókat, valójában jelentősen kisebbek is azoknál. Tehát a sugárveszélyes munkavégzés következtében nem lépett fel kimutatható egészségkárosodás, daganatos halálzási többletkockázat (Kerekes et al., 1999). Nemzetközi vizsgálatok is

ezt bizonyítják.

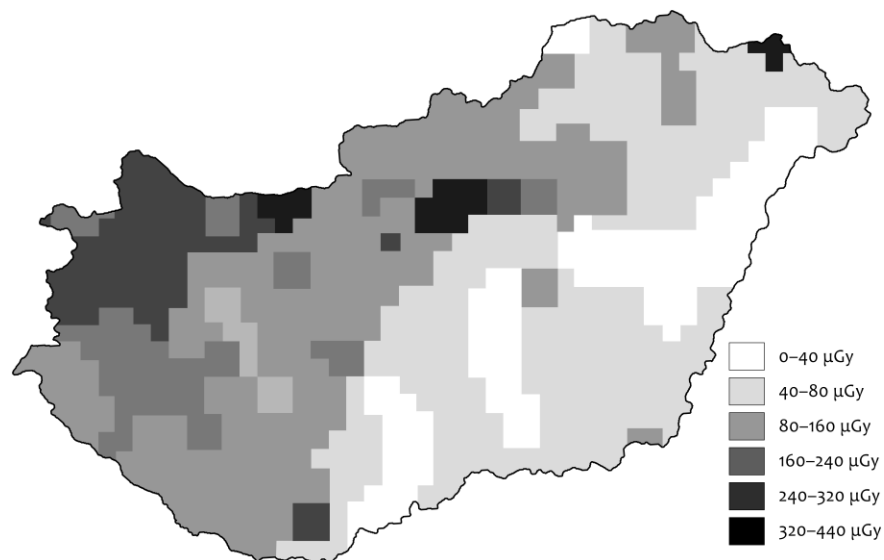
Ami a *lakosság érintettségét* illeti, Magyarországon mintegy harminc éve működik a Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (HAKSER) az erőmű környezetében. Ezen hosszantartó és széles körű felmérés alapján meg tudható, hogy a 30 km-es körzeten belül a lakossági expozíció tized mikro-sievert tartományban van, azaz megfelel kb. egyórányi természetes forrásokból származó sugárterhelésnek. Azaz  $0,1 \mu\text{Sv}$  vs  $3\text{--}4 \text{ mSv}$  (Kövendiné et al., 2012). Érdekes ilyen kis dózisoknál figyelembe venni, hogy a sugárbiológia egyre több olyan ismeretet tár fel, miszerint a kis dózisok néhány tíz mSv nagyságrendben nemhogy növelnék a daganatos megbetegedési kockázatot, de még csökkentik is az egyéb okokból keletkezőket is. Ezt hormetikus hatásnak nevezik (Köteles, 2009).

#### Atomerőművi balesetek

A világon jelenleg több mint négyszáz atomerőmű működik. Mindaddig három na-

fokozat	esemény	csoportosítás
7	nagy baleset • <i>major accident</i>	baleset
6	súlyos baleset • <i>serious accident</i>	
5	baleset környezeti kockázattal • <i>accident with off-site risk</i>	
4	baleset jelentősebb környezeti kockázat nélkül <i>accident without significant off-site risk</i>	rendkívüli esemény
3	súlyos rendkívüli esemény • <i>serious incident</i>	
2	rendkívüli esemény • <i>incident</i>	eltérés
1	anomália • <i>anomaly</i>	
0	eltérés • <i>deviation</i>	kiseb, mint egy eltérés
	biztonságot nem veszélyeztető rendkívüli esemény <i>incident not related to safety</i>	

1. táblázat • Nukleáris balesetek fokozatai a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség beosztása szerint



1. ábra • A környezeti háttérsugárzás levegőben mért dózisének növekedése 1986. július végéig az ország különböző területein a csernobili atomerőműi baleset következtében (Köteles, 2002)

gyobb méretű baleset történt a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség nukleáris eseményskálája alapján osztályozva (1. táblázat). A táblázatot annak érdekében állították össze, hogy baleset után a gyors értesítéssel a jellegről is tájékoztatást lehessen kapni. A három balesetnek környezeti hatásai is voltak. Nevezetesen az Egyesült Államokban a pennsylvaniai Three Mile Island-en, 1977-ben 5-ös fokozatú, 1986-ban Csernobilban 7-es fokozatú és 2011-ben Fukushima-ban szintén 7-es fokozatú baleset történt.

Magyarországot a csernobili baleset érintette, hiszen az egész Európát betérítette, bár a radioaktív szennyezés különböző mértékű volt. Nálunk is meglehetősen heterogén volt a szennyezés (1. ábra). A hazai lakosság különböző expozíciós utakon keresztül (külső expozíció, belégzés, lenyelés), a korcsoportoktól függően mintegy 0,1–0,3 mSv összes sugárterhelést kapott. Ez a természetes forrá-

soktól származó évi sugárterhelés (3–4 mSv) tized vagy akár harmincad része, azaz kb. kétheti expozíciónak felel meg. A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) legújabb ajánlásai (ICRP103, 2007) már arra utalnak, hogy ilyen kis dózisonál értelmetlen egészségi kockázati értékeket számolni. De ha mégis, a korábbi filozófia alapján, akkor is legfeljebb egy-két halálos kimenetelű megbetegedés származhat ettől évente. Vegyük figyelembe, hogy manapság hazánkban évente mintegy harmincezer ember hal meg rosszindulatú betegségek következtében.

#### A radioaktív hulladék elhelyezése

A radioaktív hulladékok radioaktivitás-tartalmuk alapján kis, közepes és nagy aktivitású kategóriákba sorolhatók. Nemzetközi és hazai kutatások alapján a kis és közepes aktivitásúak végleges elhelyezése megoldottnak tekinthető. Hazánkban kiterjedt kutatások,

felmérések előzték meg a kis és közepes radioaktivitású hulladékok elhelyezésére szánt, Bataapátiban létesített hulladéktároló tervezését, telepítését, megépítését. Ez már működik. A múlt év december 5-én volt a hivatalos átadása. Természetesen már korábban is, így évtizedek óta működik a püspökszilágyi tároló. Mindkét telephely folyamatos környezeti sugárvédelmi ellenőrzés alatt áll.

A nagyaktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezése világszerte kutatás tárgya. Hazánkban is még hosszabban tartó elemzések és kutatások szükségesek, mint a múltban, a jövőben is, feltehetően a bodai aleurolitregben létesítendő tároló építéséhez. A kiegészítő fűtőelemeket jelenleg a paksi atomerőmű területe mellett létesített tárolóhelyen tartják.

#### Nemzetközi szervezetek a sugárvédelemben

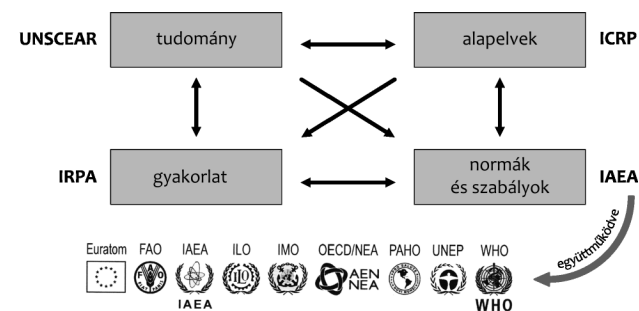
Az elmúlt évtizedek során kialakult az a rendszer, amelyik bármely nukleáris, vagy ionizáló sugaras technológia alkalmazásának sugárvédelmi feltételeit széles körű, nemzetközi szakembergárda és intézmények közreműködésével szabályozza. Ezek a kormányközi és nem kormányközi, szakmai szervezetek rendszerint ajánlásokat dolgoznak ki, ame-

lyeket a tagállamok jogrendjükbe illesztnek (2. ábra). A sugárvédelmet hazánkban is törvények és ezeken alapuló rendeletek írják elő.

#### Az ismeretterjesztés fontossága

A korszerű és folyamatosan korszerűsödő technológiák társadalmi elfogadottsága érdekében, a kockázat/haszon józan értékeléséhez feltétlenül szükséges a tudományos ismeretterjesztés (Köteles, 2007). Ennek tartalmaznia kell néhány fontos alapismeretet, például

- az ionizáló sugárzás életünk velejárója;
- a természetes szint jó támpont a „sok és kevés” megítélésében;
- a sugárzás dózisa jól mérhetőek;
- a mesterséges forrásokból származó többszörös sugárzás ellenőrizhető;
- biológiai hatások és kockázataik jól ismertek, kellő sugárvédelemmel megelőzhetőek, csökkenthetőek;
- erre a megfelelő jogszabályi, műszeres, szervezeti feltételek adottak;
- minden műszaki folyamat magában rejti a balesetek lehetőségét;
- számos radiológiai és nukleáris technológiai mai civilizációnkban nélkülözhetetlen, biztonságos alkalmazásukat nemzetközi



2. ábra • A sugárvédelem nemzetközi hálózatának négy oszlója:

UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; ICRP: International Committee on Radiological Protection; IRPA: International Radiation Protection Association; IAEA: International Atomic Energy Agency

- előírások és nemzeti jogszabályok segítik;
- az atomerőművek kiváltása más energiaforrásokkal csak nagyon lassú és költséges fejlesztési feladat;
- hazailag ez idő szerint szükségünk van rá, sőt a bővítésére is;
- a baleset megelőzésére és bekövetkeztekor a károk csökkentésére fel kell készülni, mint eddig is és ezután is nagy felelősséggel.

Ebben mindannyiunknak van feladatunk. Ezzel a tevékenységgel csökkenthetjük a sokszor tudatlanságból vagy akár rosszindulatú számításból gerjesztett – akár hiszterikusan megnyilvánuló – aggályokat.

Kulcsszavak: *radonexpozíció, egészségügyi kockázat, atomerőmű balesetek, sugárvédelem*

## IRODALOM

- Gorjánác Zorán – Várhegyi A. – Kovács T. – Somlai J. (2006): Population Dose in the Vicinity of Closed Hungarian Uranium Mine. *Radiation Protection Dosimetry*, 118, 448–452. doi: 10.1093/rpd/nci363
- Hámori Krisztián – Tóth E. – Köteles Gy. – Pál L. (2004): A magyarországi lakások radonszintje (1994–2004). *Egészségtudomány*, 48, 283–299. • [http://www.informed.hu/?tPath=/view/&documentview\\_type=save&documentview\\_site=1&documentview\\_id=5676](http://www.informed.hu/?tPath=/view/&documentview_type=save&documentview_site=1&documentview_id=5676)
- ICRP103 (2007): *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. International Commission on Radiological Protection Publ. 103. • <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- Kerekes Andor – Ótós M. – Fülöp N. – Veress L. – Turai I. (1999): Study of Cancer Mortality of Radiation Workers at the Paks NPP. In: *Proceedings of the IRPA Regional Conference on Radiation Protection in Central Europe, 99, Budapest*
- Kocsy Gábor – Kerekes A. – Turai I. (2010): Radon Concentration in Hungarian Dwellings. *Népegészségügy*, 88, 205.
- Köteles György (szerk.) (2002): *Sugáregészségtan*. Medicina, Budapest

Köteles György (2007): Atomkori dilemmák. *Magyar Biotikai Szemle*, 13, 150–158.

Köteles György – Varga József (szerk.) (2007): *Az uránbányászok egészségi állapota követéses vizsgálatának dokumentumai*. MTA Bányászati Ergonomiai és Bányaelegségtudományi Tudományos Bizottság, Budapest

Köteles György J. (2009): Low Dose Response: Hormesis and Adaptive Response. In: Kovács Tibor – Somlai János (szerk.): *V. Magyar Radon Fórum Környezetvédelmi Konferencia*. Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém, 9–17.

Kövendiné Kónyi Júlia et al. (2012): Környezeti sugár-egészségtudományi mérési eredmények 2010-ben. *Egészségtudomány*, 56, 41–56.

Mészáros Gabriella – Bognár G. – Köteles Gy. J. (2004): Long-term Persistence of Chromosome Aberrations in Uranium Miners. *Journal of Occupational Health*, 46, 310–315. • [http://joh.sanei.or.jp/pdf/E46/E46\\_4\\_10.pdf](http://joh.sanei.or.jp/pdf/E46/E46_4_10.pdf)

Ungváry György – Galgóczy G. – Köteles Gy. – Ruzsa Cs. – Varga J. – Nagy I. – Bognár G. – Galgóczi E. – Paksy A. (2009): Findings of a Follow-up Health Study of Uranium Miners in Hungary. *Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 15, 279–289. • [http://www.omfi.hu/cejoem/Volume15/Vol15No4/CE09\\_4-01.html](http://www.omfi.hu/cejoem/Volume15/Vol15No4/CE09_4-01.html)

# A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSA A KÖRNYEZETRE VESZÉLYES ANYAGOK LEBONTÁSA ÉS EGÉSZSÉGÜNK VÉDELME CÉLJÁBÓL – INNOVATÍV MEGOLDÁSOK A VEGYSZERMENTES FERTŐTLENÍTÉS TERÜLETÉN

Dékány Imre

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,  
Szegedi Tudományegyetem  
Általános Orvostudományi Kar  
Orvosi Vegytani Intézet, Szeged  
[i.dekany@chem.u-szeged.hu](mailto:i.dekany@chem.u-szeged.hu)

Janovák László

PhD, tudományos munkatárs,  
Szegedi Tudományegyetem  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Fizikai Kémiai és Anyagtud. Tanszék, Szeged,  
Nanocolltech Kft., Szeged

Tallós Szabolcs

PhD-hallgató,  
Szegedi Tudományegyetem  
Általános Orvostudományi Kar  
Mikrobiológiai és Diagnosztikai Intézet

Buzás Norbert

a kémiai tudomány kandidátusa, egyetemi docens,  
Szegedi Tudományegyetem Természettudományi  
és Informatikai Kar Műszaki- és Anyagtud. Intézet,  
Nanocolltech Kft., Szeged

Nagy Erzsébet

az orvostudomány doktora, egyetemi tanár,  
Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Mikrobiológiai és Diagnosztikai Intézet

## Bevezetés

A napfény hatására számos félvezető fém-oxid (például: titán-dioxid, cink-oxid) vizes közegben diszpergálva ún. fotooxidációs tulajdonságokat mutat, ami azt jelenti, hogy a fény segítségével felhasználhatók a környezetünkben lévő káros anyagok lebontására (Mogyorósi et al., 2002). Előnyös a tisztítási folyamatban az is, hogy a fotooxidációs lebontás során kizárólag a napfény energiáját használjuk. Az ún. félvezető fotokatalizátorok működésének lényege, hogy megfelelő energiájú fotonok elnyelése a részecskék vegyértéksáv-

jából egy elektront a vezetési sávba gerjeszt, miközben egy pozitív töltés (lyuk) marad vissza a félvezető vegyértéksávjában (Fujishima et al., 2007). A titán-dioxid fotokatalitikus tulajdonságait egy japán kutató, Akira Fujishima fedezte fel 1967-ben, a fotokatalizátor felszínén lejátszóó folyamatot pedig Honda–Fujishima-hatásnak nevezte el (Fujishima – Honda, 1972). A vezetési sáv elektronjának a redukciós, a vegyértéksávban maradt lyuknak pedig az oxidációs potenciálja nagy. A titán-dioxid felületén kialakuló pozitív töltésű lyukak alkalmasak a víz oxigénre és hidrogénre történő elbontására, míg a vezetési