Életünk a víz

Tematikus lapszám

MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE HAVONTA MEGJELENŐ FOLYÓIRATA • LXX. ÉVFOLYAM • 2015. NOVEMBER • ÁRA: 850 FT

A lap megjelenését a Nemzeti Kulturális Alap támogatja

Nemzeti Kulturális Alap

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával készült

Egy új fejezet a GC/MS-ben:

Thermo SCIENTIFIC
A Thermo Fisher Scientific Brand

A **Q Exactive™ GC Orbitrap GC/MS/MS** az érzékenység, a nagyfelbontás és tömegpontosság eddig elérhetetlen kombinációját nyújtja a legnagyobb kihívást jelentő analitikai feladatok megoldásához. Mivel egyedülálló teljesítménye a legkomplexebb minták teljes körű kvantitatív és kvalitatív jellemzését is lehetővé teszi, segítségével egy új fejezet nyílhat az élelmiszeranalitikai, bűnügyi, metabolomikai, klinikai és gyógyszeripari vizsgálatokban.

a Q Exactive™ GC Orbitrap GC/MS/MS

• további információ: thermoscientific.com/QExactiveGC

Kizárólagos képviselet:

UNICAM Magyarország Kft., 1144 Budapest, Kőszeg utca 27.

Telefon: +36 1 221 5536 • Fax: +36 1 221 5543

E-mail: unicam@unicam.hu • Web: www.unicam.hu

20 éves
UNICAM
Magyarország Kft.

MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA
HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL
LXX. évf., 11. szám, 2015. november

A Magyar Kémikusok Egyesületének – a MTESZ tagjának – tudományos ismeretterjesztő folyóirata és hivatalos lapja

Szerkesztőség:
Felelős szerkesztő: KISS TAMÁS
Olvasószerkesztő: SILBERER VERA
Tervezőszerkesztő: HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:
ANDROSITS BEÁTA, BANAI ENDRE, JANÁKY CSABA, LENTE GÁBOR, NAGY GÁBOR, PAP JÓZSEF SÁNDOR, ZÉKÁNY ANDRÁS
Szerkesztőségi titkár: SÜLI ERIKA

Szerkesztőbizottság:
SZÉPVÖLGYI JÁNOS, a szerkesztőbizottság elnöke, SZEKERES GÁBOR örökös főszerkesztő, ANTUS SÁNDOR, BECK MIHÁLY, BIACS PÉTER, BUZÁS ILONA, HANCSÓK JENŐ, JANÁKY CSABA, JUHÁSZ JENŐNÉ, KALÁSZ HUBA, KEGLEVICH GYÖRGY, KOVÁCS ATTILA, KÖRTVÉLYESI ZSOLT, KÖRTVÉLYESSY GYULA, LIPTAY GYÖRGY, MIZSEY PÉTER, MÜLLER TIBOR, NEMES ANDRÁS, RÁCZ LÁSZLÓ, SZABÓ ILONA, TÖMPE PÉTER, ZÉKÁNY ANDRÁS

Kapják az Egyesület tagjai és a megrendelők
A szerkesztésért felel: KISS TAMÁS

Szerkesztőség: 1015 Budapest, Hattyú u. 16.
Tel.: 36-1-225-8777, 36-1-201-6883
Fax: 36-1-201-8056
Email: mkl@mke.org.hu

Kiadja a Magyar Kémikusok Egyesülete
Felelős kiadó: ANDROSITS BEÁTA
Nyomdai előkészítés: Planta-2000 Bt.
Nyomás és kötés: Mester Nyomda
Felelős vezető: ANDERLE LAMBERT
Tel./fax: 36-1-455-5050

Terjeszti a Magyar Kémikusok Egyesülete
Az előfizetési díjak befizethetők a CIB Bank 10700024-24764207-51100005 sz. számlájára „MKL" megjelöléssel
Előfizetési díj egy évre 10 200 Ft
Egy szám ára: 850 Ft. Külföldön terjeszti a Batthyany Kultur-Press Kft., H-1014 Budapest, Szentháromság tér 6.
1251 Budapest, Postafiók 30.
Tel./fax: 36-1-201-8891, tel.: 36-1-212-5303

Hirdetések-Anzeigen-Advertisements:
SÜLI ERIKA

Magyar Kémikusok Egyesülete,
1015 Budapest, Hattyú u. 16.
Tel.: 36-1-201-6883, fax: 36-1-201-8056,
e-mail: mkl@mke.org.hu

Aktuális számaink tartalma, az összefoglalók és egyesületi híreink, illetve archivált számaink honlapunkon (www.mkl.mke.org.hu) olvashatók

Index: 25 541
HU ISSN 0025-0163 (nyomtatott)
HU ISSN 1588-1199 (online)

KEDVES OLVASÓK!

A vízmolekula a maga sajátos fizikai-kémiai tulajdonságaival a földi élet egyik meghatározó alkotója. A víz életteret nyújt az óceánok, tengerek, folyók és állóvizek élőlény-közösségeinek, a szárazföldön alapvető építőeleme a növények, állatok és emberek biológiai rendszerének. Értelemszerűen nélkülözhetetlen az emberiség mezőgazdasági és ipari igényeinek kielégítése, továbbá a fenntartható fejlődés szempontjából.

Sajnos, mind a mezőgazdasági, mind az ipari termelés során jelentős mennyiségű szennyezőanyag jut felszíni vizeinkbe, amelyek veszélyeztetik ivóvízbázisainkat is. A világ számos országában, így hazánkban is a kommunális és az ipari szennyvíztisztítás a tápanyag-eltávolítás szempontjából már megfelelő szinten áll, de a biológiailag aktív szerves mikroszennyezők (például gyógyszermaradványok, kozmetikai és tisztítószerek) csekély biológiai lebonthatóságuk miatt a felszíni vizekbe jutnak, eddig még ismeretlen hosszú távú hatást gyakorolva a vízi ökológiai rendszerre. Ráadásul a növekvő átlagéletkor miatt növekvő gyógyszerfogyasztással és a várható életszínvonal-emelkedés miatt egyre nagyobb detergens- és kozmetikaiszer-felhasználással számolhatunk. Ezért európai projektek indulnak a szennyvíztisztító művek fejlesztésére a mechanikai és a biológiai tisztítást követő oxidációs és/vagy adszorpciós elven működő utótisztítási fokozat bevezetésére. Felszíni vizeink vonatkozásában ez a lépés a Víz Keretirányelv szerinti „jó" minőségi és mennyiségi állapot elérését és megőrzését célozza.

Termál- és gyógyvizeink kémiai összetételüknek köszönhetően már évszázadok óta az európai fürdőkultúra egyik elismert helyszínévé tették hazánkat. Napjaikban is érezhetjük a gyógyturizmus jelentős fejlődését, amely az egészségipar meghatározó elemévé vált.

A klímaváltozás következményeként a víz körforgásában is előnytelen változásokkal kell számolnunk, amelyek szélsőséges csapadékképződéssel és hosszabb aszályos időszakok kialakulásával jellemezhetők. Ezért sürgős teendőink vannak az árvizek és a belvizek megelőzése, a vizek visszatartása és szabályozott távozása, valamint az öntözött területek művelése, azaz a vízgazdálkodás területén.

Vízépítő mérnökök és technológusok, kémikusok, biológusok, hidrológusok és ökológusok összefogására, továbbá jelentős anyagi erőforrásra van szükség a Föld lakosságának egészséges ivóvízzel való ellátásához, a felszíni vizek szennyezőforrásainak csökkentéséhez és a klímaváltozás által befolyásolt biodiverzitás megőrzéséhez.

Záray Gyula
egyetemi tanár
az ELTE Környezettudományi Kooperációs Kutatóközpont igazgatója

TARTALOM

Baranyai András: Elméleti módszerek a víz fizikai kémiájában 342
Weidinger Tamás, Tasnádi Péter: Víz a légkörben 344
Lévai Zsuzsa, Mézes Gábor: A parti szűrés szerepe az ivóvízellátásban 350
Vargha Márta: Ivóvízminőség és -szabályozás Magyarországon 353
Bánffi István, Szabó István: A magyarországi szikvízgyártás múltja és jelene. A palackba zárt szellem 358
Mádlné Szőnyi Judit, Erőss Anita: Budapest langyos és termál forrásai: hasznosításuk története 361
Alapi Tünde, Dombi András, László Zsuzsanna, Schrantz Krisztina: Kémiai oxidációs eljárások a vízkezelésben 367
Pap Zsolt, Hernádi Klára: Heterogén katalizátorok a víztisztításban. Kitekintés a jövő víztisztító technológiái tükrében 370
Ács Éva, Borics Gábor, Boda Pál, Csányi Béla, Duleba Mónika, Engloner Attila, Erős Tibor, Földi Angéla, Grigorszky István, György Ágnes Irma, Kiss Keve Tihamér, K. Szilágyi Enikő, Lukács Balázs András, Nagy-László Zsolt, Pozderka Virág, Sály Péter, Szalóky Zoltán, Szekeres József, Trábert Zsuzsa, Várbíró Gábor: Magyarország felszíni vizeinek ökológiai állapotértékelő módszerei 374

Címlap:
Árvíz 2009-ben (Schäffer László felvétele)

Baranyai András
ELTE Kémiai Intézet

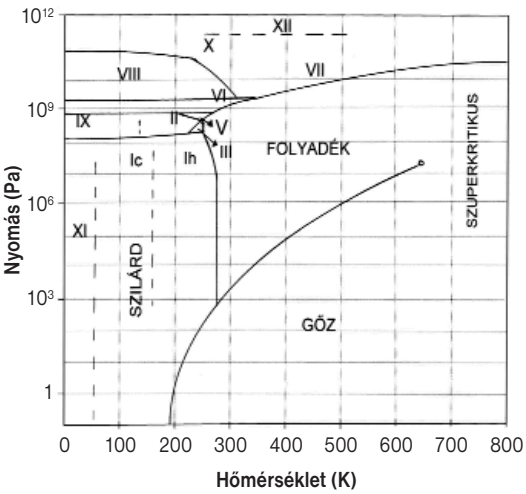
Elméleti módszerek a víz fizikai kémiájában

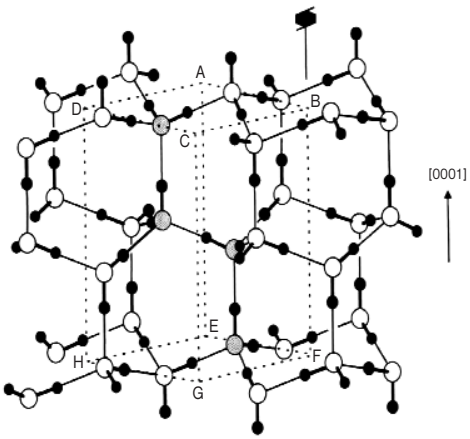
A mindennapi életben a víz az a kémiai anyag, amellyel a leggyakrabban találkozunk. Ezért nem is gondolunk arra, hogy mennyi különleges tulajdonsága van ennek az egyszerű molekulának, illetve a belőle felépülő gáz, folyékony vagy szilárd halmazállapotú fázisoknak és oldatainak.

Az egy oxigén- és két hidrogénatomból felépülő molekula többféle izotóp-összetételben is előfordul. Túlnyomó többségben azonban csak az O^{16} és a H^{1} összetevőket tartalmazza. Rajta kívül csak az OD_2 molekulát szokták gyakrabban vizsgálni és kísérletekben alkalmazni. A vízmolekula különlegessége néhány viszonylag egyszerű tulajdonságára vezethető vissza. A kovalens kötésben lévő hidrogén kapcsolódni képes nagy elektronegativitású atomokhoz (ilyen például a nitrogén, az oxigén és a fluor atomja). Ez a kölcsönhatás a kovalens kötésnél jóval gyengébb, de a különálló molekulák elektronfelhőjének kölcsönös polarizálhatósága miatt keletkező van der Waals-erőknél jóval erősebb. A vízben található hidrogénkötések erőssége optimális abból a szempontból, hogy nagy kohézióval tartják össze a szilárd vagy folyadékfázisokat, mégis, szobahőmérsékleten a hidrogénkötések felszakadnak, és újraképződnek. Fontos sajátság, hogy a molekula elektronszerkezete a tetraéderes elrendezést preferálja, azaz ha lehetséges, minden vízmolekula négy hidrogénkötésben vesz részt, kettőben mint hidrogénion, azaz protondonor, kettőben mint protonakceptor. Ez következik a molekula geometriájából. Gázfázisban a HOH szög 104,52°, amely alig kisebb a tetraéderes elrendeződés szögénél, 109,47°-nál.

A víz további kedvező tulajdonsága, hogy a molekula kismértékű disszociációra képes. Szobahőmérsékleten minden tízmilliomodik molekula van disszociált állapotban, azaz felszakadt O–H kötéssel. Így a víz protonok átadásával, illetve elvételével is részt vehet a hidratációban. A protonátadási folyamat több molekulára is kiterjedhet, lehetővé téve a töltésvándorlást a vízben anélkül, hogy a levált proton érdemben elhagyná molekuláris környezetét. Ezért a hidrogén-, illetve a hidroxidionok mozgékonysága vízben egy nagyságrenddel nagyobb, mint a hasonló méretű, egységnyi töltésű ionoké.

1. ábra. A víz fázisdiagramja (a jégfázisok sorszámmal vannak jelölve)





2. ábra. A hétköznapi, hexagonális jég térszerkezete. A szürkével jelölt oxigének határozzák meg az elemi cella négy molekuláját

A víznek 15 kristályos és három amorf módosulata ismert szilárd fázisban **(1. ábra)**. A módosulatok sokfélesége abból fakad, hogy a hétköznapi, hexagonális jég sűrűsége (0,917 g/cm^3) kicsi. Összenyomva a szerkezet továbbra is szeretné megtartani a hidrogénkötéseket, mert azok biztosítják a kristály összetartó erejét. Ezért a nyomás alatt keletkező polimorf módosulatok változatos rácsokba rendeződnek, hogy a négy hidrogénkötést előállítsák. A másik tényező, ami a módosulatok számát növeli, hogy majdnem minden módosulatnak létezik egy proton-rendezett és proton-rendezetlen verziója **(1. táblázat)**. A rendezettség azt jelenti, hogy egy adott kristálytani pozícióban a hidrogénkötések ugyanabba az irányba mutatnak. A rendezetlen hexagonális jégnek is van egy rendezett párja **(2. ábra)**.

A jég kristályos módosulatainak sokfélesége is jól mutatja a víz rendkívül változatos viselkedését. Ez a rendkívüliség azonban a víz szinte minden tulajdonságában jelen van. Ha egy „rendesen” viselkedő analóggal, a metánnal vetjük össze, akkor több mint hatvan tulajdonságáról mondhatjuk el, hogy anomális. A „normális” viselkedésű anyagokban ugyanis a tulajdonságok a hőmérséklet vagy a nyomás függvényében monoton csökkennek vagy nőnek, szemben a víz számos szélsőértéket (maximumot vagy minimumot) mutató viselkedésével **(3. ábra)**. Közismert a két legszembetűnőbb sűrűséganomália: a víz 4 °C-on a legsűrűbb (F görbe) és a fagyáskor keletkező kristályos fázis, a hexagonális

1. táblázat. Jégfázisok

	Stabil					Metastabil		
Proton-rendezetlen	Ih	III	V	VII	–	Ic	IV	XII
Proton-rendezett	XI	IX	XIII	XV	II	–	–	XIV

jég sűrűsége jóval kisebb, mint a vízé. (Ezért tud kitelelni a tavak élővilága.)

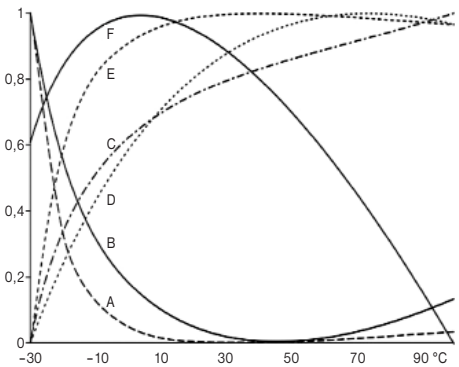
A további anomáliákra csak néhány példát említünk. Az XH_2, illetve YH_4 típusú molekulák egy atmoszférán mért olvadás- és forráspontja, valamint a kritikus hőmérsékletük a molekula atomi tömegének növekedésével általában emelkedik (például a szénoszlop esetében).

Eltérő azonban a víz viselkedése. A vízre mind a három hőmérséklet drasztikusan nagyobb, mint amekkorát a molekulatömege alapján várhatnánk. Az izobár hőkapacitásnak minimuma van 40 °C körül (A görbe). Az izoterm kompresszibilitásnak minimuma van 50 °C közelében (B görbe). A hangsebességnek maximuma van 70–80 °C környékén (D görbe).

Az szélsőérték-viselkedés szemléletesen magyarázható a transzporttulajdonságok nyomásfüggésénél. A víznek egy egyszerű folyadékhoz képest szerkezete van. A nyomás mérsékelt növelése rombolhatja ezt a szerkezetet. Alacsony hőmérsékleten, ahol a hőmérséklet okozta szerkezetrombolás még nem nyilvánul meg, a nyomás növelése csökkenti a viszkozitást (D) és a diffúziót is. Nagy nyomásoknál már az egyszerű folyadékokra ismert hatás érvényesül: az összenyomott folyadékban a transzportfolyamatok lassulnak, azaz ezeknek a tulajdonságoknak is szélsőértéke van a nyomás függvényében.

A víz élet szempontjából fontos tulajdonsága a nagy hőkapacitás, ami az élő szervezetek hőmérsékleti stabilitását biztosítja, valamint a nagy relatív permittivitás, ami a szervezetben bőven található töltések hosszú távú kölcsönhatását árnyékolja le. Érdekes továbbá, hogy 0 és 100 °C között a víz sűrűségének változása mérsékelt, mindössze ~4%, ami igen előnyös a mindennapi életben (például a hőcserélőkben, főzéskor).

Egyetlen vízmolekula vagy csak néhány molekulából álló vízklaszter esetleg más részecskék részvételével is jól tanulmányozható a kvantumkémia segítségével. Ennél nagyobb rendszerek, különösen a makroszkopikus méretekben megnyilvánuló viselkedés vizsgálata már meghaladja a kvantumkémia mai teljesítőképességét.



3. ábra. 1 és 0 közé normált szélsőérték-viselkedés néhány tulajdonságra a hőmérséklet függvényében

Ilyenkor klasszikus modellekhez fordulunk, amelyek a mechanika és a klasszikus elektrosztatika fegyvertárát felhasználva készítenek molekuláris modelleket. A modellek teljesítőképessége meglepően jó, egyrészt azért, mert a hidrogénkötések energiájának túlnyomó része elektrosztatikus kölcsönhatás; másrészt a molekula geometriája már önmagában is indikálja a tetraéderes koordináció igényét. További előnyük, hogy bár a kvantummechanika elengedhetetlen az intramolekuláris mozgások korrekt leírásához, intermolekuláris kölcsönhatások esetében nem kielégítő a teljesítménye. (A legismertebb nehézség az ún. báziskiterjedés problematikája.)

A szemiempirikus potenciálokat kémiai evidenciákból és makroszkopikus adatokból lehet származtatni. A hetvenes évek óta száznál több vízmodell született, de ezeknek csak a töredéke vált széles körben népszerűvé. A modelleket két csoportba lehet sorolni. A „central force” modellekben a molekulán belüli oxigén-hidrogén kölcsönhatást is klasszikus potenciállal jellemezték. A másik esetben a molekulát merev entitásként jelenítették meg. Az előbbi módszerek használata csökken, mert a belső mozgások klasszikus leírása durva közelítés, nem szólva arról, hogy a rezgések nagy frekvenciájának köszönhetően a számítás időigénye nagy.

A modellezést a statisztikus mechanika Monte Carlo-módszerével vagy a klasszikus hamiltoni mechanikán alapuló molekuladinamika felhasználásával végezzük. A véletlen számok alkalmazásával dolgozó Monte Carlo-módszer hátránya, hogy néhány speciális rendszertől eltekintve kevésbé alkalmazható, mivel időfüggő folyamatok leírására nem képes. Így a vízhalmazok szimulációiban inkább a molekuladinamikai leírás dominál. A molekuladinamikai program lényege, hogy a részecskék közötti kölcsönhatásból erőket számol. Az erők hatására létrejövő sebességek és elmozdulások numerikus integrációval keletkeznek diszkrét időlépések sorozatán keresztül. A legjobb molekuladinamikai kódokban nagyon sok technológia van, amelyek előállítják például az állandó hőmérséklet és nyomás peremfeltételeit, a Coulomb-erők számolását, a szimplektikus integrátort.

Bár a víz számos anomáliával rendelkezik, nagyon jól hozzáférhető, kísérletileg ismert. Mi szükség van akkor modellezésére? Valóban, a kondenzált fázisbeli polarizálhatóságtól eltekintve a víz tulajdonságai ismertek. Kivétel a víz túlhűtött állapotban feltételezett alsó kritikus pontja, amely két, szerkezetében eltérő folyadékállapot egyensúlyához tartozik. Az, hogy ilyen egyensúly létezik-e, kísérletileg eldönthetetlen, mert a feltételezett hőmérsékleteken a víz már üveges állapotot vesz fel. Valójában az ötlet is a nagy és a kis sűrűségű üveges fázisok vizsgálatából indult ki.

Fontosabb feladat azonban a víznek mint oldószernek a szerepe. A biológiai óriásmolekulák poláros és apoláros csoportot is tartalmaznak, ezért a hidratációban a vízmolekulának képesnek kell lenni mindenfajta környezetben a korrekt viselkedésre. Hasonlóan különféle, néha technológiai fontosságú felületi problémák esetében is fontos ez a képesség.

A víz kondenzált fázisban jelentős mértékben polarizálódik, töltések közelében ez a hatás még erősebb. A gázfázisú 1,85 D-ről akár 3,5 D-re is (D: debye, a dipólusmomentum egysége). Az utóbbi két évtizedben a számítógép-kapacitás növekvésével egyre több kísérlet történt arra, hogy polarizálható vízmodelleket fejlesszenek ki. A mi kutatásunknak is ez volt a célja. Az általunk kifejlesztett BK3 potenciál a jelenlegi legjobb klasszikus vízpotenciál az irodalomban. Ehhez számos számítást, szimulációt végeztünk már létező modellekkel, hogy kiválasszuk azokat a jellemzőket, amelyek lehetővé teszik, hogy a víz tulajdonságait széles állapotjelző-tartományban is pontosan becsüljük. Elengedhetetlen volt, hogy a modell továbblépjen az eddigi konvenciókon. Parciális ponttöltések helyett Gauss-töltéseloszlásokat, Lennar–Jones-potenciál helyett exponenciális taszítást és r^{-6}-os vonzást, a polarizációhoz pedig klasszikus rúgóra helyezett töltéseket alkalmaztunk. A modell továbbra is merev, mivel a rezgések kvantummechanikai beépítése két nagyságrenddel növelné a számításigényt, noha csak a hőkapacitás és a rezgési spektrum pontos becsléséhez elengedhetetlen a rezgések korrekt leírása.

IRODALOM
[1] M. Chaplin, lásd http://www.lsbu.ac.uk/water/data.html, kísérleti adatok és értékelésük vízről.
[2] Baranyai András, Magyar Tudomány (2011) 12. szám.
[3] Kiss T. Péter, Baranyai András, J. Chem. Phys. (2013) 138, 204507.

Weidinger Tamás – Tasnádi Péter
ELTE Meteorológiai Tanszék | weidi@caesar.elte.hu | tasi@caesar.elte.hu

Víz a légkörben

Und wenn darauf zu höhrer Atmosphäre
Der tüchtige Gehalt berufen wäre,
Steht Wolke hoch, zum Herrlichsten geballt,
Verkündet, festgebildet, Machtgewalt,
Und, was ihr fürchtet und auch wohl erlebt,
Wie's oben drohet, so es unten bebt.
Goethe: Cumulus[1]

A földi légkör sajátossága, hogy benne a víz mindhárom fázisban előfordul.

A Naprendszer más bolygóin is találunk vizet. A leginkább kutatott Mars egyenlítői területein a hőmérséklet akár 0 °C fölé is emelkedhet, így a felszínen előfordulhatnak vízcseppecskék (vizes oldatok), viszont az alacsony felszíni nyomás (6–7 hPa) miatt a légkörben csak víz és szén-dioxid alkotta jégfelhők vannak. A négy külső gázbolygó (Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és Neptunusz) nem rendelkezik szilárd felszínnel, de a légkörük mélyebb rétegeiben – a belső hőjüknek köszönhetően – vízfelhőket is detektáltak. Itt fontos felhő- és csapadékalkotó az ammónia (Bérczi et al., 2002). A Jupiteren és a Szaturnuszon a légköri viharok során villámokat is megfigyeltek. Sok érdekességet rejtenek e bolygók holdjai is; ilyen például az Enceladus (a Szaturnusz holdja), ahol a szilárd kéreg alatt nagy kiterjedésű víz-óceán lehet, hasonlóan az Arktisz alattihoz vagy az Antarktisz jégkérge alatti tavakhoz. Szintén jelentős mennyiségű víz és jég van a Jupiter holdjain. „Vizes hely" a mi Holdunk is, ahol a pólusok környékén – az állandóan fagyott felszín alatt – ott a jég.

A manapság oly divatos exobolygók vizsgálata során szintén találtak vízfelhőket (Szabados, 2011, Kreidberg et al., 2014).

E rövid kitekintés után térjünk vissza a Földre, s nézzük meg a víz szerepét a légkörben! A víz földi megjelenésének szépséges és leginkább látható formái a felhők, amelyek a költőóriás Goethét is lenyűgözték.[2] A felhők létezése a földi hőmérséklet-tartomány és a víz különleges tulajdonságai közötti finom egybeesésnek köszönhető.

A víz különleges anyag, nélküle nem alakulhatott volna ki és nem maradhatna fenn a földi élet (testünk több mint 90%-ban vízből áll). Arisztotelész a tűz, a levegő és a föld mellett a vizet is az őselemek közé sorolta. Pontos összetételét csak 1811-ben állapították meg. (Dalton 1808-ban még úgy gondolta, hogy a víz egy hidrogén- és egy oxigénatomból áll.)

A víz részt vesz azokban a folyamatokban, amelyek hosszabb távon befolyásolják a földi klímát, rövid távon pedig a napi időjárást. Mindezeket a folyamatokat úgy szabályozza, hogy testünk összetételével ellentétben tömegaránya mind a Földön, mind a légkörben igen csekély.

Nézzünk néhány számadatot! A Föld össztömege $5{,}98 \cdot 10^{21}$ tonna, ennek körülbelül 0,22 ezred része ($1{,}33 \cdot 10^{18}$ tonna) a víz, amelynek 96,5%-a az óceánokban található. A légkör össztömege ennek a vízmennyiségnek durván 4 ezreléke ($5{,}6 \cdot 10^{15}$ tonna), s a benne lévő víz ismét csak a levegőtömegnek a 2,5 ezreléke ($14{,}4 \cdot 10^{12}$ tonna) (Czelnai et al., 1991). Ez azt jelenti, hogy még az igen nagy nedvességtartalmú levegő sem tartalmaz 20–25 grammnál több vizet köbméterenként. Az évi csapadék és párolgás földi átlagban évente 1000 mm körüli. Hazánk átlagos csapadékmennyisége 600–650 mm, s közel ennyi a párolgás is.

A légköri víz sokoldalú hatásai rendkívül kicsiny effektusokon múlnak, szinte azt mondhatjuk, hogy a víz úgy szabályozza a légköri folyamatokat, ahogyan a néhány ppm-nyi szennyező a félvezetők áramát. A következőkben a vízgőz szerepét és hatásmechanizmusát mutatjuk be a legfontosabb légköri folyamatokban.

- A víz döntő hatást gyakorol a Föld energiaháztartására, a mechanizmus kettős. Egyrészt erősen üvegházhatású gáz, mivel az infravörös sugárzás széles spektrumát elnyeli, mintegy kétharmados arányban felelős az üvegházhatás miatti hőmérséklet-emelkedésért. Másrészt a Földön naponta $1{,}44 \times 10^{12}$ tonna csapadék hullik, ami azt jelenti, hogy a légkörben lévő víz gyakorlatilag 10 naponként kicserélődik (ez a tartózkodási idő). A Föld felszínén a víz párolgása óriási energiát emészt fel, ami azután a légkörben szabadul fel újra, amikor a pára vízcseppekké vagy jégszemekké kondenzálódik. A légkör ezredrészét kitevő víz a Napból érkező összenergia 23%-ának a forgalmát bonyolítja le a Föld felszíne és a légkör között.
- A Föld kb. 2/3-át borítja felhőzet. A felhőképződés folyamatai a víz telítési gőznyomásának, a víz túlhűthetőségének és a levegő túltelíthetőségének finom folyamatain múlnak. A felhőzet a sugárzás visszaverése miatt csökkenti a felszínre jutó napsugárzást, míg a hosszúhullámú sugárzást visszaveri, illetve visszasugározza. Összességében a felhőzet csökkenti, a vízgőz, mint üvegházhatású gáz, növeli a felszínre jutó energiát. A két hatás közel azonos. Ezért is bonyolult a légkör. Nehéz előre jelezni a vízgőz jövőbeni változásainak az éghajlati rendszerre gyakorolt hatását.
- A Föld légköre erős elektromos tevékenységet mutat. A felhőkben végbemenő töltésszétválásért a zivatarfelhőkben keletkező, mozgó és ütköző jégszemcsék és vízcseppek felelősek.
- A levegőben lévő vízcseppeken és jégszemcséken megtörő fény csodálatos tüneményekkel, szivárvánnyal és halójelenségekkel gyönyörködtet bennünket.

[1] Tartalmi fordítása:
S mintha becses tartalma miatt
a magasabb légrétegekbe érni volna hivatott,
oly magasra nyúlik, pompásan gömbölyödve,
tömör alakja hatalmat hirdet,
s mitől féltek s mit átéltek:
fent a fenyegető (ég), alant remeg (a föld).

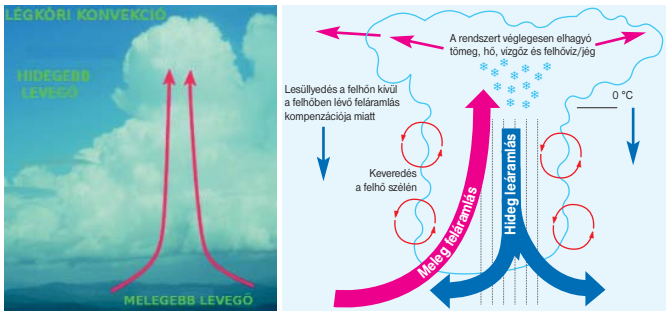
[2] Goethe nemcsak a felhőket csodálta, hanem nagyra tartotta a felhők csoportokba sorolásának megalkotóját L. Howard (1772–1864) angol gyógyszerészt is. Cikkünk mottója Goethének a felhőtípusokról írott kis ciklusából származik.

- Végül nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy a víz jó oldószer és a tengervíz sótartalmának rendkívül kis (ezrelékes) változásai szabják meg a nagy, mélységi tengeráramlásokat.

Konvekció: a légköri víz különleges tulajdonságainak érvényesítője

Mindezek a hatások a víz molekulaszerkezetéből, sajátságos tulajdonságaiból fakadnak. Érvényesülésükhöz azonban a légkör és a tenger melegedési mechanizmusából fakadó konvekció is szükséges. A légkör a Napból érkező rövidhullámú sugárzás nagy részét átengedi. A rövidhullámú sugárzást a felszín nyeli el, és hosszúhullámú sugárzássá konvertálja. Ez a sugárzás melegíti a légkört. A légkör tehát a gáztűzhelyre tett lábas vízhez hasonlóan alulról melegszik, a tenger pedig felülről. A légkör ezért alapvetően instabil, folyamatosan konvekciós áramlások indulnak benne, ami a fel- és leszálló mozgások bonyolult rendszerét eredményezi. A felszálló áramlások ragadják magukkal és tartják magasban a kicsiny vízcseppeket és jégszemeket. Emiatt juthatnak érvényre a víz különleges hatásai. A felülről melegedő tengerek ennél sokkal stabilabbak, a mélységi keveredés folyamata nagyon lassú, és első pillantásra létezése is szinte érthetetlen.

Amikor a felszínközeli meleg levegő felemelkedik, kialakulnak a termikek, majd amikor az emelkedő levegő eléri a kondenzációs szintet, megjelennek a gomolyok, amelyekből megfelelő körülmények (labilitás, nedvesség, szélnyírás) esetén zivatarfelhők alakulnak ki. Ezt szemlélteti az **1. ábra**.



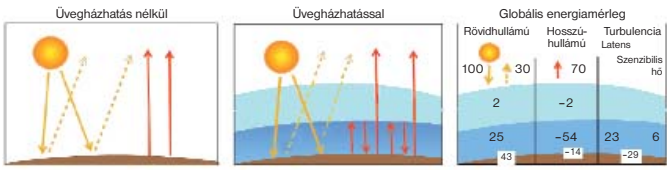
1. ábra. A konvekció kialakulása, a meleg levegő mozgása a növekvő gomolyfelhőben (balra). Csapadékot adó zivatarfelhő (Cumulonimbus – Cb) sematikus képe (jobbra) a beáramló nedves levegővel, a csapadék hűtötte leszálló levegővel és a felhőtetőnél megfigyelhető kiáramlással (a jellegzetes üllő kialakulása) (research.metoffice.gov.uk/research/nwp/numerical/physics/convection.html alapján)

Feláramlásra kényszerül a hegységen átkelő levegő, de feláramlást látunk a mérsékeltövi ciklonok frontálzónáiban is. Itt a hideg levegő kényszeríti emelkedésre a nála könnyebb meleg levegőt. Kialakul a frontálzónák több száz kilométer széles felhőzónája, amit jól ismerünk az időjárás-jelentésekből. Érdekességként megjegyezzük, hogy a mérsékelt övi ciklonok a környezetüknél hidegebb képződmények, tehát kialakulásukban és fejlődésükben nem a kondenzációs folyamatok a meghatározók. Ez csak másodlagos instabilitást jelent.

A fő ok a Föld forgásából származó tehetetlenségi hullámmozgás (3–5 ilyen különböző fázisban levő, ún. Rossy-hullám futja körbe a Földet a mérsékelt övben). Ahogy „a fedő lezárja a lábast”, úgy zárja le az alsó légkör (troposzféra) folyamatait a tropopauza. E felett, a sztratoszférában ismét melegszik a légkör, ami az ózonréteg sugárzáselnyelésének köszönhető.

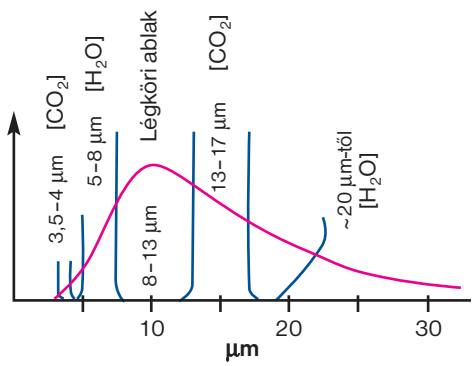
A víz mint a légköri sugárzási folyamatok alakítója

A légkör külső határára érkező rövid hullámhosszú (4 µm alatti) napsugárzás értéke kb. 342 Wm^{-2}. Ne feledjük el, hogy ez az r_F sugarú Föld felületére érkezik, ami négyszerese a vetületének ($r_F^2\pi$). A bejövő energia 30%-a visszaverődik a világűrbe, míg a fennmaradó kb. 70% elnyelődik a légkörben és a felszínen. A meteorológus szóhasználatával: a Föld-légkör rendszer globális albedója 30%. Ennek kialakításában a Föld 2/3-át borító felhőzet magas albedója, illetve a víz- (~8%) és talajfelszín (12–30%) alacsonyabb albedója játszik szerepet. A sokszor felhőbe burkolózó jég- és hófelszíneknek is magas (50–90%) az albedójuk. A felszínről visszavert rövidhullámú sugárzás és a felszín hosszúhullámú kisugárzásából származó energia egy része szintén elnyelődik a légkörben. A légkör hosszúhullámú kisugárzásának egy része ismét visszajut a felszínre, másik része elhagyja a Földet. A felszínre jutó sugárzási többlet (a légkör nélküli Földhöz képest) jelenti az üvegházhatást **(2. ábra)**.



2. ábra. A légköri üvegházhatás és a légkör energiaháztartása

A legfontosabb üvegházhatású gázok a vízgőz, a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, a halogénezett szénhidrogének és az ózon. A vízgőz és a szén-dioxid jelentősebb hosszúhullámú sugárzáselnyelési sávjait a **3. ábrán** mutatjuk be. Felhívjuk a figyelmet a 8–13 µm-es tartományra, ahol csak néhány kisebb elnyelési sáv található. Ez a légköri ablak, ahol a hosszúhullámú sugárzás szinte zavartalanul távozhat. Ez a szerencsénk; az üvegházhatás csak mérsékelt erősségű.



3. ábra. A vízgőz és a szén-dioxid legfontosabb hosszúhullámú elnyelési sávjai. A Planck-függvény a 288 K átlaghőmérsékletű felszín kisugárzására vonatkozik

Az üvegházhatás 33 °C-kal növeli a felszínközeli átlaghőmérsékletet. A legnagyobb hozzájárulást a vízgőz adja. A többi üvegházhatású gázzal ellentétben, amelyeknek a légköri tartózkodási ideje évtizedes-évszázados nagyságrendű, a vízgőzé kevesebb, mint két hét.

A kutatások igazolták, hogy a vízgőz önmagában nem lenne képes tartósan biztosítani az üvegházhatásból származó többlethőmérsékletet (Bartholy et al., 2011). A hosszú tartózkodási idejű üvegházhatású gázok hiányában egy-két évtized alatt a Föld

felszínének szinte teljes egésze eljegesedne (légkörfizikai és -dinamikai okok).

A víz mint üvegházhatású gáz (+), és a felhőzet alkotójaként mint a rövidhullámú sugárzást visszaverő (–), illetve a hosszúhullámú sugárzást elnyelő, majd a felszín (+) és az ég felé kisugárzó (–) légköri alkotó, összetett módon befolyásolja a felszíni hőmérsékletet.

A felhőzet önmagában csökkenti a globális átlaghőmérsékletet (Lábó és Geresdi, 2010).

Összességében a felszín sugárzási energia többlettel rendelkezik (29%), míg a troposzféra több energiát sugároz ki, mint amennyit kap. A sugárzási folyamatok önmagukban nem magyarázzák a légkör energiaháztartását. Kell még két tag – a szenzibilis (vagy látható) hőszállítás és a párolgás (vagy látens hőszállítás). Ez a légköri turbulencia, a felszín-bioszféra-légkör kölcsönhatások birodalma *(3. ábra)*.

Ami biztos: növekvő üvegházhatású gázkoncentráció növekvő felszínre jutó sugárzást, vagyis melegedést okoz. A növekvő hőmérséklet pedig növekvő felszínközeli vízgőz-koncentrációt jelent (1 K hőmérséklet-növekedés hozzávetőlegesen 1% relatív nedvességemelkedést). A felhőzet eloszlásának, szerkezetének és mennyiségének jövőbeni alakulása, az aeroszol sugárzásgyengítő hatásának változása azonban további kutatásokat igényel.

Felhő- és csapadékképződés

A felhő- és csapadékképződés és a vele járó energiaszállítási folyamatok már kifejezetten a víz különleges tulajdonságainak és a légkör alulról való melegedéséből fakadó konvekciónak a következménye. A légkör energia-egyensúlyának kialakításában a víz azért játszik meghatározó szerepet, mert a jég olvadáspontja a hasonló molekulatömegű anyagokhoz képest nagyon magas, s így végbemehet a troposzférában a párolgás-lecsapódás folyamata. A földi anyagok között a víz fajhője egyébként az egyik legnagyobb (cseppfolyós állapotban kb. 4200 $Jkg^{-1}K^{-1}$). A párolgás is „hatalmas" energiabefektetést igényel, 1 kg víz elpárologtatásához ~2,5 millió joule energia szükséges. Mindezek mögött a hidrogénhídkötés rejtőzik, hiszen a párolgáshoz gyakorlatilag az összes hidrogénhídkötést fel kell törni.

A csapadékképződés során a felemelkedő nedves levegő a hőmérséklet csökkenésével gyorsan telítetté válik, és a vízgőz kicsapódik. A felhőkben kicsapódó víz a légkört melegíti. Ez az oka annak is, hogy a hegységeken átkelő, csapadékot adó levegő a leszálló oldalon melegebb lesz. Ez a lezúduló főnszél – például az Erdélyi medencében fújó Nemere – szárítja a hegyek szél mögötti oldalát.

A telítési és kicsapódási folyamat azonban két meglepetéssel is szolgál. Az elsőt a laboratóriumi kísérletek adják: a tiszta víz rendkívüli mértékben, akár 100%-kal is túltelíthető. A másodikat pedig a felhők, amelyekben a tapasztalat szerint a légköri vízpára túltelítettsége legfeljebb 0,3–0,5% lehet. A jelenség megértéséhez a homogén és inhomogén nukleáció kérdésének tisztázása adja a kulcsot. A tiszta vízpára homogén nukleációval kondenzálódik, s a nukleuszok egyenletes kialakulása csak nagy túltelítés esetén valósulhat meg. A levegőben azonban mindig vannak kicsiny részecskék, amelyek a víz kondenzációs magvaivá válhatnak, s az így létrejövő heterogén nukleáció már kisebb túltelítés esetén is végbemehet.

A csapadékképződés egyik kulcskérdése, hogy hogyan keletkezhet a zivatarfelhőben nagyjából félórányi idő alatt hatalmas zápor, esetleg jégeső is. A bonyolult folyamat máig sem tisztázott minden részletében, egyik elemét mégis érdemesnek látjuk kiemelni.

A csapadékképződés meggyorsítása a jég- és vízfelszínek közötti kicsiny különbséghez kapcsolódik. A zivatarfelhőkben többnyire együtt léteznek a kis jégszemcsék és a túlhűlt vízcseppek. A telítési gőznyomás a túlhűlt cseppek felett általában nagyobb, mint a jégszemcsék közelében. Emiatt diffúziós áram indul a vízcseppek felől a jégszemcsék felé.

A víz átpárolog a jégre. A meghízó jégszemcsék súlya megnő, és emiatt lefelé zuhannak, „kiesnek" a felhőből. (A csapadék lehet jégeső, de az esőcseppek megolvadása esetén közönséges eső is.)

Villámok, töltésszétválasztás

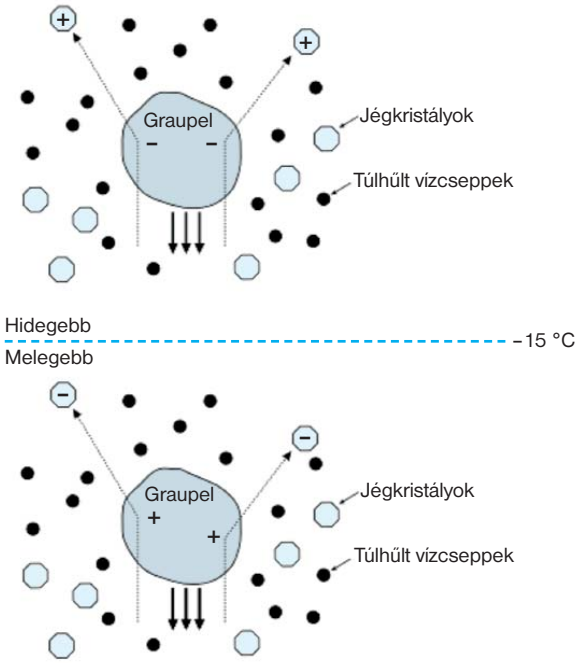
A heves konvekció képes nagyobb aeroszol-részecskék magasban tartására és felfelé sodrására is. Mivel a víz a felhőkben mindhárom halmazállapotában létezhet, az aeroszol-részecskék lehetnek vízcseppek és jégszemek is. Mindez a vízmolekula poláros tulajdonsága miatt különleges elektromos tulajdonságokat is indikál. A tapasztalat szerint az ionoszféra és a Föld hatalmas gömbkondenzátort alkot, amelynek pozitív fegyverzete az ionoszféra, a negatív pedig a Föld felszíne. A hatalmas kondenzátor azonban, amelynek feszültsége mintegy 400 kV, „szivárog," és mintegy fél óra alatt kisülne, ha nem lenne töltésutánpótlás. A töltésutánpótlás forrását sokáig keresték, ma már tudjuk, hogy a zivatarfelhők biztosítják a folyamatos feltöltést. A zivatarfelhőkben szétváló töltéseket pedig a villámok szállítják a földre (Uman, 1987).

A rendkívül érdekes és sok részletében még nem felderített témakörből most egyetlen kérdéskört emelünk ki: miért válnak szét a zivatarfelhőben a pozitív és a negatív töltések? A kérdésre jelenleg nem adható egyértelmű válasz, sokféle folyamat képzelhető el, ami töltésszétváláshoz vezet, problémát okoz azonban a gyors időbeli fejlődés. A zivatarfelhők élettartama hozzávetőlegesen egy óra.

Annyi azonban bizonyos, hogy az elektromos folyamatokban a felhő jégszemcséi és vízcseppjei alapvető szerepet játszanak. Két hatást mindenképpen figyelembe kell venni: az egyik a jól ismert megosztás jelensége, a másik a jégszemcsék ütközésekor lezajló töltésszétválás. Az induktív elméletek szerint a lefelé eső nagyobb jégszemcsék töltéseloszlását a felhő elektromos tere megosztással inhomogénné teszi, s amikor a jégszemek ütközés következtében vagy melegebb zónába érkezve a melegedés miatt széttöredeznek, akkor a tapasztalat szerint a kisebb jégszemek pozitív töltésűvé, a nagyobbak negatívvá válnak. A kicsiket azután a feláramlás magával ragadja, és a felhő tetejére viszi, míg a nagyobbak tovább esnek lefelé, s ott negatív zónát képeznek.

Jelenleg inkább elfogadott, hogy a töltésszétválás többé-kevésbé független az elektromos térerősségtől. Az elmélet szerint a töltéseloszlás a könnyű jégkristályok és a nagyobb graupelek ütközésén s a felhőben lévő túlhűlt víz mennyiségén múlik. Laboratóriumi mérések szerint a felhőelemek ütközését követően a részecskék töltésének előjele a hőmérséklettől függ. Ütközés után a lefelé eső graupelek töltése –15 °C-nál alacsonyabb hőmérsékleten negatív, a jégkristályoké pedig pozitív lesz. A –15 °C-nál magasabb hőmérsékleti tartományban a töltések éppen ellenkező módon alakulnak, a nagy graupelek töltése lesz pozitív, és a kicsiny jégkristályoké negatív **(4. ábra)**. Az elmélet szerint a kritikus –15 °C-os szinten negatív töltések halmozódnak fel. Ez már megmagyarázza a –15 °C-os izotermánál megjelenő negatív töltésű tartományt, s a felette a feláramlással felfelé sodort könnyű pozitív jégkristályokból kialakuló pozitív tartományt (Saunders, 2008).

A –15 °C-os szint alatt a lefelé mozgó graupelek pozitívvá válnak. Belőlük alakul ki a felhő alján a pozitív tartomány. Az ütközés során a feltöltődés kvalitatívan a jégszemcsék és a graupelek



4. ábra. A töltésszétválasztás vázlatos mechanizmusa –15 °C alatt és felett

különböző növekedésével magyarázható. Mindkét részecske a túlhűlt vízcseppek befogásával és a vízpára depozíciójával és kondenzációjával növekedik: –15 °C alatt a jégszemcsék, felette a graupelek növekedése gyorsabb. Az ütközések során a vastagabb külső vízréteggel rendelkező részecskéből kerül át folyadék és ezzel együtt negatív töltés a másikra. Ennek megfelelően a vékonyabb vízréteggel borított részecske negatív, a vastagabbal borított pozitív lesz.

A helyzet persze nem ilyen egyszerű, a különböző hőmérséklet- és páratartalom-eloszlású felhőkben más-más hatások alakítják ki a felhők elektromos tulajdonságait, s nem is mindig ugyanolyan töltéseloszlással.

A víz szerepe a légköri folyamatok fejlődésében

A cikk korábbi részében már megismerkedtünk a konvekcióval és a zivatartevékenységgel. A következőkben a trópusi ciklonokkal, az általános cirkuláció mozgásrendszereivel, majd az óceáni hatásokkal foglalkozunk.

Trópusi ciklonok, hurrikánok

A nagyon heves konvekciós folyamatok és a magas páratartalom miatt fellépő extrém látens hőszállítás és felhőképződés különlegesen pusztító következményei a hurrikánok. Emanuel (1991) állítása szerint évente körülbelül 50 örvénylő rendszer alakul ki a trópusi vizek fölött, amely hurrikánná fejlődik, ezek közül jó néhány el is éri a szárazföldet.

A pusztító erejű szelekkel és felhőszakadással járó hurrikánok amellett, hogy gyakran emberi áldozatokat is szednek, mindig igen komoly anyagi károkat okoznak. A hurrikánok keletkezésének feltétele a különlegesen meleg tengervíz. A „hurrikán-csíra” a meleg (kb. 27 °C-os, azaz 300 K hőmérsékletű) óceánfelszín fölött keletkező nyomási depresszió, amelyben a felszínnel érintkező nedves légtömeg összeáramlik és hevesen emelkedik. A beáramló levegőt a Coriolis-erő forgatja meg, ezért a hurrikánok az 5. és a 15. szélességi körök között keletkeznek, ahol a tengervíz nagyon meleg és a Coriolis-erő is elegendően nagy. A heves felszínen a levegő gyorsan hűlne, a nagy páratartalom kicsapódása azonban hatalmas felhőket hoz benne létre, és a felszabaduló hő miatt a ciklon közepe továbbra is meleg: kialakul a „forró torony”-nak nevezett képződmény, ami már a heves vihar előjele. A trópusi ciklon különlegessége a vihar közepén kiépülő szem, amelyben a lefelé áramló levegő feloszlatja a felhőket **(5. ábra)**.

5. ábra. Az Andrew hurrikán fejlődése, 1992. augusztus 23-, 24- és 25-én

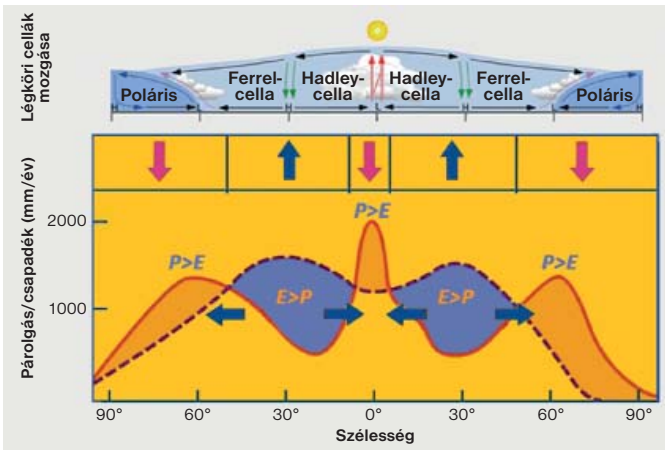
Érdekes, hogy a trópusi ciklonokat gyakran modellezik termodinamikai szempontból Carnot-körfolyamattal. Ezzel a közelítéssel a hurrikánok mintegy 33%-os hatásfokkal konvertálnák a meleg tengervíz energiáját a vihar szelének kinetikus energiájává (Fejős és Tasnádi, 2013).

Az általános cirkuláció mozgásrendszerei, a csapadék eloszlása a Földön

Az általános cirkuláció is döntően a konvekciós folyamatok következménye.

A globális légkörzés nagyléptékű modelljét három egymásba kapcsolódó cirkulációs cella alkotja **(6. ábra)**. Az Egyenlítő térségében felemelkedő levegő mintegy másfélszer megkerülve a Földet a Hadley-cella leszálló ágában éri el a térítőköröket. A mérsékelt övet az indirekt forgásirányú Ferrel-cella, míg a magas szélességeket a direkt forgási irányú poláris cella jellemzi. Ez utóbbi két cella gyenge intenzitású. A mérsékelt és a magas szélessége-

6. ábra. Az általános cirkuláció sematikus képe, benne a szélességi körök szerint átlagolt csapadék (P) és párolgás (E) mennyisége



ken a Rossby-hullámokban kialakuló ezer km-es karakterisztikus méretű ciklonok-anticiklonok felelősek a hő- és a vízgőzszállításért. Ezek a függőleges tengelyű örvények alakítják az időjárást. Jól látszik a *6. ábrán* a Ferrel-cella határán kialakuló polárfronti zóna. Természetesen a cellák intenzitása és helyzete az év során változik a Nap járásával. Nyáron a Ferrel-cella s így a ciklonok, anticiklonok pályája északabbra tolódik, míg télen délebbre. Hazánk időjárását is a ciklonok, anticiklonok határozzák meg. Télen gyakoribbak az Atlanti-óceán térségéből érkező ciklonok, mint a nyári félévben. Természetesen fontosak a regionális hatások, például a mediterrán ciklonok vagy a téli időjárásunkat alakító, Kárpát-medencében „megülő" hideg légpárna.

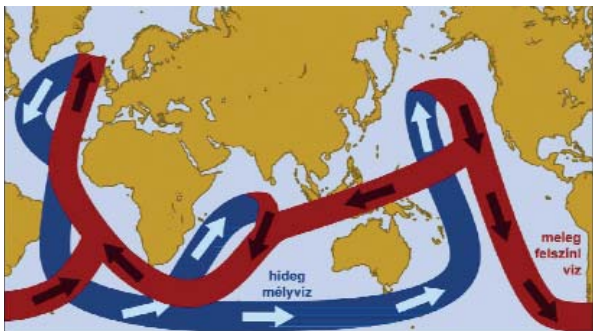
Az áramlási rendszer meghatározza a párolgás és a csapadék szélességi körök szerinti eloszlását is. Az egyenlítői, illetve a mérsékelt és a magas szélességeken számíthatunk csapadéktöbbletre *(6. ábra)*. A szubtrópusi óceánokból a legnagyobb a párolgás. Nem ellentmondás, hogy ezeken a szélességi körökön vannak a Föld nagy sivatagjai is. Az általános cirkuláció mozgásrendszerei alakítják a nedvesség szállítását az Egyenlítő, illetve a mérsékelt öv felé. Az évi csapadék és párolgás összességében egyensúlyban van. A légköri folyamatok után nézzük a Föld 71%-át borító óceánokat!

Óceáni hatások

A szél hajtotta nagy óceáni köráramlatok a pólusok felé meleg, az Egyenlítő felé hideg tengervizet szállítanak. Ezek az áramlások az óceánok néhányszáz méteres felső rétegében zajlanak, s roppant víztömegeket szállítanak. A Golf-áram vízhozama például 100 millió m^3s^{-1}, ami hozzávetőlegesen 1000-szerese az Amazonasénak és 20 000-szerese a Dunáénak.

A köráramlatok a globális klímában legfeljebb néhány tízévnyi skálán okoznak változásokat. A tengerészek azonban már régen észrevették, hogy az óceánok nemcsak a felületi rétegben, hanem a mélyrétegekig átkeverednek. Ezek már évszázados, vagy néhány évezredes skálán is befolyásolhatják a klímát. Kialakulásuk nem magyarázható pusztán a felszíni áramlások ismeretében. Hasonlattal élve: ami a légkörben a víz, az az óceáni folyamatokban a só.

Az alulról melegedő légkörben a vízgőz fázisátalakulási hője „fűti az emelkedő levegőt", s teszi labilissá. A felülről melegedő és párolgó óceánban a sókoncentráció emelkedése növeli a víz sűrűségét, és megindítja a lefelé áramlást, az óceán mélységi átkeveredését. Az óceánok vertikális, mélységi vízkörzését termohalin cirkulációnak nevezzük, mert a hőmérsékleti különbségek mellett döntő szerepet játszik a sótartalom változása. A magasabb szélességeken az óceánok hideg vize alábukik, és a mélyben szétterülve az alacsonyabb szélességek felé halad. A mélyben áramló víz a kontinuitás miatt természetesen valahol ismét a felszínre emelkedik, majd a pólusok felé vándorol. A következőkben ennek a mélységi vízkörzésnek a tulajdonságait vázoljuk.



7. ábra. A nagy óceáni szállítószalag. Piros színnel a meleg felszíni, míg kék színnel a hideg mélyóceáni áramlatokat jelöljük (az Egyenlítő felé haladó felszíni áramlatok a környezetüknél hidegebb, míg az alacsonyabb szélességek felé tartó áramlatok a környezetüknél melegebb víztömeget szállítanak)

A termohalin cirkuláció lényegét legjobban szemléltető „nagy óceáni szállítószalag" elképzelést Broecker alkotta meg 1991-ben (Broecker, 2010). A szállítószalag kiterjed mind az északi, mind a déli félteke óceánjaira. A mélyben mozgó hideg áramlat utánpótlása valahol az Atlanti-óceán északi részén van **(7. ábra)**. Mindazonáltal a termohalin cirkuláció pontos hajtóereje máig vitatott, egyes tulajdonságait azonban már biztosan megismertük.

Az Atlanti-óceánon észak felé mozgó meleg áramlat a légkörrel való kölcsönhatás, a párolgás, a csapadékhullás és a hőcsere miatt lehűl, sűrűsége mind a hőmérséklet-csökkenés, mind a sótartalom növekedése miatt megnő. Ennek köszönhető a Nyugat-Európa partjai mentén kialakuló enyhe telű óceáni éghajlat, ami a Föld legfelhősebb területei közé tartozik. Az észak-atlanti vizeken – a nagy felszíni sókoncentráció és a mélységgel alig változó hőmérséklet miatt – az óceáni vízoszlop rétegződése instabillá válik, és a Golf-áramlat alábukik. A lefelé áramló víz nagy mélységig átkeveredik, és a konvektív keverés hatására nagy tömegű homogén „víztest", úgynevezett mély óceánvíz keletkezik. Az újonnan keletkező víztömeg az alámerülés helyétől horizontálisan távolodik, tulajdonságait (sótartalom, hőmérséklet, sűrűség) csak fokozatosan, újabb víztömegekkel keveredve változtatja meg. Ezután a mély óceánvíz ismét felemelkedik, a felette lévő rétegekkel turbulensen keveredve megváltoztatja tulajdonságait, és visszaáramlik keletkezési helye felé.

A nagy szállítószalagot vizsgálva felmerül a kérdés, vajon miért nem keletkezik mély óceánvíz a Csendes-óceánon. A Csendes- és az Atlanti-óceán közötti különbség kétségtelenül indokolható a szárazföldek elhelyezkedésével, illetve a tengerfenék domborzatával, hiszen az Atlanti-óceán zártabb melléktengerei jobban ked-

1. táblázat. Az éves és az évszakos átlaghőmérséklet (2 m-es magasságban mérik) és a csapadékösszeg változása hazánkban a 2021–2050-es időszakra. Az OMSZ-nél futott REMO5.0 regionális éghajlati modell (25 km-es rácsfelbontás) bemenő adatait az ECHM/MP1-OM német globális éghajlatmodell (Hamburg, Max Planck Intézet) szolgáltatja, melynek rácsfelbontása 200 km
(Szépszó és Horányi, 2008 alapján)

Célprognózis: 2021–2050, referencia-periódus: 1961–1990										
Modell/Változás	**REMO5.0 beágyazott regionális éghajlati modell**					**ECHM/MP1-OM globális éghajlati modell**				
	Év	*Tavasz*	*Nyár*	*Ősz*	*Tél*	*Év*	*Tavasz*	*Nyár*	*Ősz*	*Tél*
Hőmérséklet ΔT (°C)	1,4	1,1	1,4	1,6	1,3	1,7	1,3	1,9	2,1	1,5
Csapadék ΔPrecip (%)	–1	–7	–5	3	7	–4	–6	–15	0	5

veznek a sótartalom megőrzésének és további dúsulásának, mint a Csendes-óceán nagy nyílt tere. Az igazi ok azonban akkor található meg, ha megvizsgáljuk a két térség párolgási és csapadékviszonyait, valamint a felszíni vízáram hőmérsékletét és sótartalmát. Érdekes, hogy a nagy óceáni köráram működését ismét egy kicsiny, a légköri vízzel kapcsolatos hatás, a párolgás mértéke befolyásolja.

Az Atlanti-óceán felszíni sótartalma 35, a Csendes-óceáné csak 32 ezrelék. Az Észak-Atlanti-óceán édesvíz-utánpótlása (csapadék és folyóvíz) 1040 mm $év^{-1}$, párolgása 1030 mm $év^{-1}$. A Csendes-óceán északi részére vonatkozóan ugyanezek az adatok rendre 910 mm $év^{-1}$ és 550 mm $év^{-1}$. Megtaláltuk tehát a döntő különbséget. A Csendes-óceán vize sokkal inkább hígul, mint az Atlanti-óceáné (Wright, 2004).

Meglepő a Csendes-óceán csekély párolgása! A nagy szállítószalag azonban magyarázatot ad erre is. Az Atlanti-óceánon a szállítószalag folyamatosan meleg vizet hoz a felszínen. A Csendes-óceánon pedig éppen a mélyből felbukó hidegebb víz terül szét. A hideg tengerfelszín lehűti a felette lévő levegőt, így csökkenti annak párabefogadó képességét, és ezzel csökken az óceán párolgása is. Az óceán sótartalma nem növekszik. A számítások szerint a Csendes-óceán felszínéről a víz, csekély sótartalma miatt, még akkor sem süllyedne a mélybe, ha hőmérséklete 0 °C lenne. Paradox módon tehát éppen a felszín alacsony hőmérséklete akadályozza meg, hogy a Csendes-óceánban a víz sűrűsége elegendő nagy legyen az alábukáshoz és az óceáni mélyvíz képzéséhez.

Csapadék, párolgás és az aszályhajlam: globális folyamatok, hazai trendek

A konvektív folyamatok, majd az általános cirkuláció és az óceánok mozgásrendszereinek áttekintése után ismerkedjünk meg a hazai éghajlati viszonyokkal s a közeljövő várható tendenciáival egy melegedő Földön!

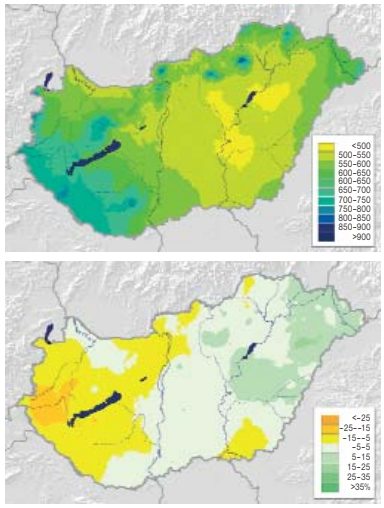
A Kárpát-medence éghajlatát három hatás (óceáni, kontinentális, mediterrán) alakítja. Magyarországon az évi középhőmérséklet 10–11 °C; az átlagos évi csapadék 600–650 mm, az Alpokalján 700–750 mm feletti, míg Hortobágyon 500 mm alatti **(8. ábra)**. Az évi csapadék kismértékben meghaladja az évi párolgást. Az aszály éghajlatunk sajátossága, amivel együtt kell élnünk.

Sokakat érdeklő téma az éghajlatváltozás. Elfogadott tény, hogy az üvegházhatású gázok növekvő kibocsátásának következményeként nő a globális átlaghőmérséklet. Hazai kutatások szerint ez a növekedés a Kárpát-medencében meghaladja a globális átlagot.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) és az ELTE Meteorológiai Tanszékén folynak olyan kutatások, amelyek a globális és a beágyazott (Kárpát-medence térségére vonatkozó) regionális éghajlati modellek alapján elemzik a 21. század lehetséges változásait.

Nézzünk néhány eredményt a 2021-től 2050-ig terjedő időszakra! 2050 nincs messze. Ha visszatekintünk, ugyanolyan távol van, mint 1980, s arra még jól emlékszünk. Az OMSZ korai modellszámításai (Szépszó és Horányi, 2008; **1. táblázat**) és a későbbi részletesebb, több regionális éghajlati modell feldolgozásán alapuló vizsgálatok (Bartholy et al., 2011; Bartholy és Pongrácz, 2013) hasonló eredményeket szolgáltattak.

Az elmúlt 30 évben a hazai évi középhőmérséklet emelkedése az OMSZ adatai szerint 1,2–1,8 °C volt. Hasonló arányú változásra számíthatunk az elkövetkező 2021–2050-es időszakban is. A csapadék az egyik legváltozékonyabb éghajlati elem. Az egyik évben leeshet az átlagérték fele, a másikban a másfélszerese. Nem



8. ábra. Az átlagos évi csapadékösszeg 1971–2000 (felül) és az éves csapadékösszeg %-os változása 1960 és 2009 között (alul)
(adatok forrása: Bartholy és Pongrácz, 2013, Országos Meteorológiai Szolgálat – www.met.hu)

látunk trendszerű változást az országos átlagban az 1971 és 2000 közötti 30 évben; az egyes kistájakon azonban igen. Dunántúlon csapadéknövekedést, az Alföldön inkább csökkenést detektáltak *(8. ábra)*. A 2021–2050-es időszakra az éves csapadékmennyiségben kismértékű (1–7%) csökkenés valószínűsíthető. A várható szárazodás mértéke tavasszal lesz a legnagyobb. Télen kismértékű csapadéknövekedésre számíthatunk (lásd Anda et al., 2011 jegyzetét is).

A külföldi modellszámításokkal egyezően növekszik majd az időjárási szélsőségek gyakorisága, kevesebb fagyos napra, több és hosszabb hőhullámra s gyakoribb nyári aszályokra számíthatunk, de nő a nagy csapadékos helyzetek valószínűsége is. Gyakrabban találkozunk majd az ideihez hasonló, szélsőséges nyári időjárással.

A kilátások nem biztatóak, de a változások üteme még lehetőséget ad egy klímabarát gazdaság kialakítására, ami rajtunk is múlik.

IRODALOM

Anda A., Burucs Z., Kocsis T., 2011: Globális környezeti problémák és néhány társadalmi hatásuk. e-jegyzet, Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ.

Bartholy J., Bozó L. és Haszpra L. (szerkesztők), 2011: KLÍMAVÁLTOZÁS – 2011 Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Fólium Nyomda Kft, Budapest, 287.

Bartholy J., Pongrácz R. (szerk.), 2013: Klímaváltozás. e-jegyzet, Eötvös Loránd Tudományegyetem.

Bérczi Sz., Hargitai H., Illés E., Kereszturi Á., Opitz A., Sik A., Weidinger T., 2002: Bolygólégkörök atlasza. ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Uniconstant, Budapest–Püspökladány, 28.

Broecker, W. S., 2010: The great ocean conveyor: discovering the trigger forabrupt climate change, Princeton Press, Princeton, 176.

Czelnai R., Götz G., Iványi Zs., 1991: Bevezetés a Meteorológiába II. A mozgó légkör és óceán. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 403.

Emanuel, K. A., 1991: The theory of hurricanes. Annu. Rev. Fluid Mech. (1991) 23, 179–196.

Fejős Á.,Tasnádi P., 2013: Hogyan működnek a hurrikánok, Légkör, 58, 136–142.

Kreidberg, L., Bean, J. L., Désert, J.–M., Benneke, B., Deming, D., Stevenson, K. B., Seagar, S., Berta-Thompson, Z., Seifahrt, A., Homeier, D., 2014: Clouds in the atmosphere of the super-Earth exoplanet GJ 1214b. Nature, 505, 69–72.

Lábó E., Geresdi I., 2010: A felhők szerepe az éghajlatváltozásban. Földrajzi Közlemények, 134, 2. 115–127.

Saunders, C., 2008: Charge Separation Mechanisms in Clouds. Space Science Review, 137, 335–353.

Szabados L., 2011: Víz az univerzumban. Magyar Tudomány,12. sz.

Szépszó, G., Horányi, A., 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. Időjárás, 112, 3–4, 203–231.

Uman, M. A, 1987: The Lightning Discharge, Academic Press, Orlando, 1987.

Wright, J., 2004: Global fluxes of heat and freshwater. Ocean Circulation ed. Bearman Gerry, The Open University, Milton Keynes, Butterworth-Heinemann, 240.

Köszönetnyilvánítás. A szerzők köszönetet mondanak Lázár Dórának (ELTE Meteorológiai Tanszék) az ábrák elkészítésében nyújtott segítségéért.

Lévai Zsuzsa – Mézes Gábor
Fővárosi Vízművek Zrt.

A parti szűrés szerepe az ivóvízellátásban

„… sehol mesterséges szűrőkhöz nem fordultak, ahol más mód kínálkozott tiszta egészséges vízhez juthatni…”
Wein János

Hogyan működik a parti szűrés?

Parti szűrésű rendszernek akkor tekintünk egy vízbázist, ha az ott található vízmennyiség valamilyen hányada (általában legalább 50 százaléka) felszíni forrásból származik (folyóvíz vagy állóvíz), és egy jó vízvezető, üledékes közeg közvetítésével jut el a víztermelő kutakba. A parti szűrésű víz termelése esetén tehát elsősorban a felszíni vizeket használjuk, csak a velük érintkező vízvezető rétegek, például kavics, kavicsos homok vagy homok által megszűrve. A parti szűrés tekinthető a felszín alatti vízbeszerzés egy speciális formájának is. A víz ugyanis nem a talajban található, mint a mélyfúrású kutaknál, hanem magában a folyóban.

A természetes, parti szűrésű rendszerek lényege, hogy a víz a felszín alatti szűrődési folyamatoknak köszönhetően megtisztul. A folyamat a folyómeder alatti kavicsterasznak közvetlenül a folyóvízzel érintkező pár centiméternyi vastagságában megy végbe. Ez ultralassú szűrés, ami a folyóvizet megtisztítja, az alatta lévő réteg pedig a szűrlet eltávolítását végzi. E szűrési folyamat működtetése a réteg vagy kavicsterasz megcsapolása révén a kutakból történő vízkivételen keresztül valósul meg. Az ivóvizet a felszíni vízfolyás mentén található vízvezető, víztározó kőzetekből termelik ki. Az úgynevezett parti szűrésű víz e geológiai kőzetek homok- és kavicságyán megszűrt vizet jelenti. A homokos-kavicsos üledék fizikai és – oxigén jelenlétében, a kavicson képződött biofilm segítségével – biológiai szűrést végez. A mederágyi kavicsréteg nemcsak a folyóvíz vízadó rétegbe szivárgását, tisztítását teszi lehetővé, hanem mint szállító közeg a termelőkutakig való vízáramlást is szolgáltatja.

Nemcsak Európában, hanem az egész világon alig található komoly, a Budapestet ellátóhoz hasonló parti szűrésű rendszer. Egyrészt a kitermelt vízmennyiség, másrészt pedig az ehhez kapcsolódó tudományos, szakmai tevékenység és kivitelezési technika (csáposkút) miatt ez a módszer „vizes hungarikumnak” tekinthető. Bár elméletileg más folyók (például a Rába) mellett is van lehetőség parti szűrésű kutak üzemeltetésére, az ilyen jellegű ivóvíz-termelési technikák többnyire a Dunához kötődnek. Ennek oka, hogy a Szigetköztől a Mohácsi-szigetig tartó kavicshomok rétegek rendkívül sok és rendkívül jó minőségű ivóvíz nyerésére adnak lehetőséget. Jelenleg a Dunából utánpótlódó parti szűrésű vízkészletet fogyaszt elsősorban Budapest (évi átlagban naponta kb. 0,45 millió m^3), amelyet főleg a Szentendrei-szigetről, a Csepel-szigetről, a Margit-szigetről és a folyópart egyéb helyeiről termelnek ki. Kisebb mértékben Győr (40 000 m^3/d), Baja, Szekszárd, Kalocsa, Visegrád, Vác, Szentendre, Leányfalu, Dunabogdány, Dunaújváros, Érd, a Velencei-tó környéke, Ercsi, Mohács, Pécs, Komló, valamint több kisebb-nagyobb község ivóvízellátása is ezen az úton biztosított. Számos telep van a Sajó és a Hernád rendszerében (Miskolc – Keleti csúcsvízmű) és néhány a Rába, a Dráva–Mura mentén (Nagykanizsa).

A parti szűrés működése és hatékonysága rendkívül érzékeny a felszíni vízfolyás vízjárására. Fenntartása, a megfelelő biológiai tisztítási hatásfok megőrzése csak ott lehetséges, ahol a biológiai szűrőréteg természetes tisztulási ritmusa – a megfelelő gyakoriságú árhullámokkal, árvizekkel és alacsony vízállású időszakokkal – biztosított. A kitermelhető víz mennyiségét és minőségét mind az alacsony vízállású időszakok, mind a levonuló árhullámok erősen befolyásolják, miközben a nagyobb mértékű vízszintváltozások megtisztítják a szűrőréteget. Fokozott veszélyt jelent ugyanakkor minden olyan mesterséges emberi beavatkozás – így főként a duzzasztóművek és egyéb folyószabályozási műtárgyak megépítése –, amely a vízszintváltozást megakadályozza. Minden egyes mederbeavatkozást (kotrás, vízlépcsők) csak a megfelelő környezeti hatástanulmányok után, rendkívül körültekintően lehet végezni, kiemelten vizsgálva a vízadó rétegre vonatkozó hosszú távú hatást. Mint minden vízforrás (talajvizek, rétegvizek), a parti szűrésű vízbázis is sérülékeny, ezért arra kell törekedni, hogy minimalizáljuk a környezetszennyezés mértékét, nagy hangsúlyt helyezve a környezet- és vízbázis-védelemre.

A vízminőség és a parti szűrés összefüggései

A víz fertőtlenítésének az a célja, hogy az emberi fogyasztásra szánt vízben élő, egészségre káros mikroorganizmusok elpusztuljanak, illetve elveszítsék fertőzőképességüket. Fertőtleníteni kell az ivóvizet minden olyan esetben, amikor a vízvizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy időszakosan vagy állandó jelleggel fennáll a bakteriológiai szennyeződés veszélye.

A parti szűrés során lejátszódó víztisztítási folyamatokat négy csoportba sorolhatjuk: hidrodinamikai (hígítás révén), mechanikai (természetes szűrés), biológiai (a mikroorganizmusok általi tápanyaglebontás), fizikai kémiai (szorpció, csapadékképződés, pelyhesítés, koaguláció, redoxfolyamatok). Ezek a folyamatok a szerves és szervetlen szennyezőanyagokat, valamint a mikrobiológiai kórokozókat részlegesen vagy teljes mértékben eltávolítják a folyóvízből, és mire a folyóvíz a termelőkútig ér, teljesen vagy részben megtisztul. A tiszta víz csupán fertőtlenítést igé-

nyel. Erre a fertőtlenítésre is elsősorban a kiterjedt csőhálózatok miatt van szükség.

A termelt víz az eredeti felszín alatti víz (háttérvíz) és a felszíni víz (folyóvíz) keveréke. A parti szűrésű vízbázisoknál fontos ismerni, hogy a termelt víz milyen arányban származik a folyóból, illetve a háttérvízből. A rendszer a talajvíz-szennyeződésekre érzékeny, így a kutak esetében törekedni kell arra, hogy a háttérvízből származó részarány minél kisebb legyen.

Parti szűrés a világ különböző pontjain

Az első parti szűrésű vízbázis 1810-ben a Clyde folyó mentén (Glasgow Waterworks, Nagy-Britannia) kezdte meg a termelést. A 19. század közepére már több területen használták Európában, majd később a világ számos pontján. Mára már nagyon elterjedt víznyerési forma. Észak- és Dél-Amerika szinte minden országa a felhasználók között van. Afrikában csak a Nílus mentén írtak le ilyen típusú vízbázist, míg Ausztrália és Óceánia területén is csak említi a szakirodalom. Ázsia területén, elsősorban a nagy országokban (Kína, India) számos kutatás zajlik azzal a céllal, hogy parti szűrésű vízbázisokat építsenek ki a társadalom növekvő ivóvízszükségletének fedezésére. Néhány esetben, például Ázsia egyes szennyezett folyói mentén a kitermelt víz minősége még parti szűrés után sem megfelelő minőségű, de mindenképpen tisztább, mint a nyers folyóvíz, így hatékonyabban és olcsóbban tisztítható tovább. Éppen ezért a világ nagy részén alkalmazható technológia, amely a fejlődő országok óriási ivóvízigényének kielégítéséhez nagymértékben hozzá tud járulni.

Európa legtöbb országa használ parti szűrésű vizet. Svájcban legnagyobb ennek a típusú vízbázisnak a jelentősége, a hálózati vizek 80 százalékát fedezik így. Franciaországban a hálózati víz 50, Finnországban 48, Németországban 6, Hollandiában csupán 7 százaléka biztosított parti szűrés által.

Kis Vízmű-történelem a parti szűrés jegyében

Budapest közüzemű vízellátása közel 150 éves múltra tekint vissza. A részletes geológiai feltárások, a jó minőségű vizet adó területek felkutatása terén kiemelkedő eredményeket ért el Bürgermeister Antal, akinek már az apja is kútfúró mester volt. Világosan látta, hogy az idegen vállalkozók által javasolt „műszűrő" nem alkalmazható. Határozottan állította, hogy „építészeti alapvetése egy vízvezetéki építkezésnek csak a helyi viszonyok figyelembevétele mellett dolgoztathatik ki sikeresen, mert: a Dunának.... kövecsrétegein tisztult jó vize mindenkor a legnagyobb mennyiségben szolgálatunkra van." Ezzel lényegében kijelölte a fejlesztési irányokat is.

Ezt a kijelentést alig három évvel később tett is követte. Közben egy természeti csapás, az 1866. évi kolerajárvány is siettette a vízmű megvalósítását. A városi közgyűlés 1867. szeptember 24-én úgy döntött, hogy a vízművet közköltségen építteti meg és házilag üzemelteti, a terveket pedig egy „hírnévvel bíró szakértővel" készíttetti el. Erre a feladatra William Lindleyt kérték fel. Az angol mérnök tervei alapján ideiglenes vízmű épült a pesti oldalon. A város vízigénye ekkor 58 600 köbláb, azaz 1850 köbméter volt. Lindley a vízművet 9100 köbméter kapacitással a mai Parlament helyére tervezte és építette meg. Innen számítjuk a Fővárosi Vízművek fennállását, bár Pest–Buda–Óbuda egyesülésével a főváros csak 5 év múlva jött létre, és a vízmű is csak Pestet szolgálta ki. A fogyasztók gyors szaporodása miatt a víztermelés és a csőhálózat hamar elégtelennek bizonyult. Az igények kielégítésére időnként nyers Duna-vizet kevertek az ivóvízhez, emiatt szaporodtak a minőségi panaszok. Korábban is volt már olyan nézet, hogy a kútvíz nem jó, mert betegségeket okoz. Erre még „bizonyítékot" szolgáltatott az első vízmű vízminősége körül kialakult fiaskó is. A mesterséges szűrés hívei a budai oldali mesterséges szűrők jó vízminőségét dicsérték. Nem ismerték fel, hogy nem a kút a hibás, hanem a kutak helye; olyan termelőhelyeket kell kiaknázni, ahol az előzetes talajvizsgálatok szerint tiszta, jó szűrőképességű kavicsréteg van.

Ekkor lépett színre Wein János, aki 1869-től Lindley mellett tevékenykedett; ő távlatokban és vízellátási rendszerekben gondolkodott. Mint bányamérnök azt is megfogalmazta magában, hogy csakis a talajban lejátszódó természetes szűrés lehet a jövő vízművének alapja. Ezt a véleményét a korábbi talajkutató fúrások eredményei és több szakvélemény is megalapozták. A természetes szűrés híveit ért sorozatos támadások arra késztették, hogy szakértői bizottságot küldetett ki a megfelelő víznyerő területek felkutatására, meghatározására. A feltáró fúrások eredményeképpen a bizottság Újlakon, Óbudán, az Óbudai-sziget északi végén, Pesten az Újpesti-szigeten és a Duna jobb partján látott lehetőséget fejlesztésre. Ennek megfelelően Budán az Újlaki területen, Pesten az ideiglenes vízmű bővítéseként indultak meg a munkálatok. 1892-ben széles körű vizsgálatok, valamint hazai és külföldi szakértők véleménye alapján kezdődött el a parti szűrésű vízbeszerzés rendszerének kiépítése a Duna mentén. Wein határozottan leszögezte, hogy a mesterséges szűrővel csak azt lehetne nyerni, hogy „drága pénzen silány szurogátumát [pótlékát, pótszerét] állítottuk fel annak, amit a természet különös kegye úgyszólván ingyen oly bőségesen nyújt és amit ha fel nem használunk, egész Európa előtt nevetség tárgyává leszünk".

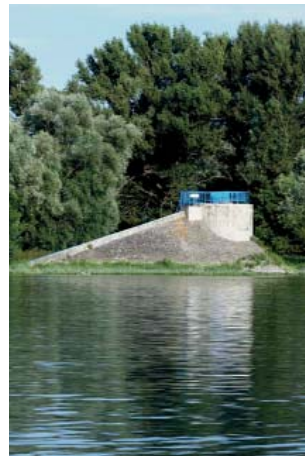
A végleges vízmű kiépítését a Káposztásmegyeri Főtelep építésével 1893. április 1-jén kezdték meg azzal, hogy a tervezett teleppel szemben fekszik a Szentendreisziget, ahol szükség esetén a vízmű, a vízszerzési lehetőségek kiterjesztése nehézségek nélkül megoldható lesz. Ezzel a határozattal mintegy 80 évre kijelölték a fejlesztési lehetőségeket. Wein, illetve az ő távlatokat átölelő elképzelései teljes győzelmet arattak. A parti szűrés mellett érvelve Wein János leszögezte: „Hogy tovább példát fel ne hozzak, csak azt említem fel, hogy amennyire az én tárgyismeretem ér, sehol mesterséges szűrőkhöz nem fordultak, ahol más mód kínálkozott tiszta egészséges vízhez juthatni. Fővárosunkban, hol a Duna annyi eséssel bír, hogy minden évi többszöri megáradásai alkalmával egész medrét feltúrja, úgy hiszem, a szűrőfelület bedugulásától nincs mit félni."

A Fővárosi Vízművek parti szűrésű vízbázisai

A Fővárosi Vízművek Zrt. Magyarország legnagyobb vízszolgáltató vállalata. A lakossági- és iparivíz-szolgáltatás napi 450 000–650 000 köbméter jó minőségű ivóvíz továbbítását jelenti a város és környéke alatt futó több mint 5000 kilométeres csőrendszeren keresztül.

Budapest vízellátása 100 százalékban parti szűrésre épül. A Fővárosi Vízművek Zrt. kezelésében lévő, a Duna menti kavicsteraszba telepített több mint 700 parti szűrésű kút biztosítja az ivóvizet. Kútjaink naponta összesen 1 millió köbméter ivóvíz kitermelését és továbbítását teszik lehetővé, vagyis mintegy 500 ezer köbméterrel többet, mint amennyit Budapest lakossága egy átlagos nap leforgása alatt elfogyaszt.

A Budapesttől északra, a Szentendreiszigeten, valamint a folyó jobb és bal partján elhelyezkedő védett területek alkotják



Kutak, kútsorok

az északi vízbázist, amely a fővárosi ivóvízellátás mintegy 80 százalékát teszi ki. Az innen érkező vízmennyiség mintegy 1,5 millió ember vezetékes vízzel történő ellátásához elegendő. A Szentendrei-sziget mind mennyiségi, mind minőségi adottságait tekintve kiemelkedő vízbázis-komplexum. Az itt található kutakból kinyert víz a természetes szűrést követően további tisztítást nem igényel, és biztonsági fertőtlenítés után juttatják a hálózatba. Fertőtlenítésre UV-besugárzással kombinált klóros fertőtlenítést alkalmaznak. A klórozás az ivóvízhálózatban történő szállítás során bekövetkező szennyeződések hatástalanítása szempontjából is alapvető jelentőségű. Így a szolgáltatott ivóvíz Budapest teljes területén megőrzi jó minőségét, és a közegészségügyi elvárásoknak megfelelő marad. A terület adottságainak köszönhetően a kutaktól kiépített csöveken keresztül egészen Békásmegyerig a gravitáció továbbítja a vizet, és csak innen válik szükségessé a szivattyúk üzemeltetése, ami jelentős költségmegtakarítást eredményez. Többek közt ennek is köszönhető, hogy Budapesten országos viszonylatban is alacsony a vízdíj.

A Duna Budapest alatti szakaszán, a Csepel-sziget, Ráckeve és Szigetszentmiklós között elhelyezkedő területet nevezzük déli vízbázisnak, amely a fővárosi vízszükséglet mintegy 15–20 százalékát fedezi. Déli vízbázisunk geológiai adottsága miatt jelentős vas- és mangántartalommal bír, ezért ezen alkotók koncentrációjának csökkentése érdekében Ráckevén és Csepelen vízkezelő műveket üzemeltetnek. Az alkalmazott technológia a vas- és mangánionok ózonnal végzett oxidációján alapul, mert így a továbbiakban nem oldható, kicsapódik, tehát kiszűrhető; az oxigént Ráckevén lassú elektromos kisüléssel levegőből, míg Csepelen folyékony oxigénből állítják elő. A vízkezelés során keletkező csapadékot homokszűrőkkel távolítják el. A vizet a szűrést követően klóros fertőtlenítés után juttatják a hálózatba. Csepelen az íz- és szaghatások eltávolítására aktívszén adszorbereket is beépítettek, és különbség van az iszapkezelés módjában is. Ráckevén az iszapot szikkasztó földmedencékbe vezetik, míg Csepelen a mosóvizet ülepítik, majd a rendszer elejére visszavezetik, az ülepedett iszapot besűrítik és kipréselik. A csekély mennyiségű száraz iszapmaradék hulladékként kezelhető.

A parti szűrésű víztermelés főszereplői: a kutak

Az eredeti tervek szerint a folyó menti kavicsteraszok megcsapolására a legelőnyösebb megoldást, a galériákat kívánták alkalmazni, végül azonban a kivitelezések megkönnyítése érdekében a hasonló működést biztosító kútsorok mellett döntöttek. Így alakult ki a parti szűrésen alapuló, aknakutakra, csápozott aknakutakra, később csáposkutakra épülő vízbeszerzési rendszer. A kutakat a vízparttól 10–30 méterre létesítik, mivel utánpótlásukat a felszíni vízből kapják. A kitermelés módja és a kitermelt víz minősége is azonos a felszín alatti vizekével és azok részének is tekinthető. A kút megcsapolja a medret, és abba vizet is táplál vissza – a mederrel folyamatos hidraulikai kapcsolatban áll.

Kezdetben cső-, illetve aknakutakat telepítettek. A nagyobb vízhozamú csáposkutakat olyan helyekre telepítették, ahol vastag kavicsréteg található. Mint nevük is mutatja, a függőleges csőből oldalirányba 30–40 méter hosszú perforált csövek, „csápok” nyúlnak ki. Ezeknek a felületén kis nyílásokon, réseken szivárog be a talajvíz a csőbe. Ahol a kavicsréteg vastagsága megengedi, két sorban is elhelyezkedhetnek a csápok. A nagy kutaknak 8–10, a kicsiknek 2–3 csápja van. Az 1960-as évektől Budapest vízigénye jelentősen megnövekedett, így olyan víznyerő műtárgy kifejlesztése vált szükségessé, amely gyorsan megépíthető, kedvező a bekerülési költsége és nagy mennyiségű víz kinyerésére alkalmas. E szempontok figyelembevételével építették meg az első „törpe csáposkutat”, majd a partszakasz mentén, 250–300 méterenként több kút megépítésével kútsorok jöttek létre, és így az egész partél megcsapolására alkalmas, komplett termelőtelepek épültek ki. A vízadó réteg hatékony megcsapolásában a kúttípus fontos szerepet játszik. Ennek a fajlagos költségek alakulását tekintve talán a leggazdaságosabb műtárgya a csáposkút. A víztermelő-rendszer kialakítása kútsor megépítését teszi szükségessé. A víztermelés optimalizálásában (maximalizálásában) a vízkiemelés módja játszik szerepet. A szifonált cső- és aknakutakkal szemben a csáposkút aknáiból búvárszivattyúk segítségével egyedileg emelik ki a vizet. A csáposkutakból álló kútsor üzemeltetése akkor ideális, ha a partszakasz terhelése egyenletes, azaz a vízigényeknek megfelelő terhelésváltozást nem az egyes kutak, hanem a kútsor egésze viseli el. A kútsor azonos üzemeltetése a szivattyúk hajtásszabályozásával érhető el.

A parti szűrésű víz jelentősége

Összefoglalva tehát a parti szűrés nagy tömegű víz beszerzését teszi lehetővé káros hidrogeológiai hatások nélkül, mivel viszonylag kis területről rövid idő alatt pótlódik, minősége mégis jobb, mint a felszíni vízé, és bizonyos körülmények biztosítása esetén kezelés nélkül használható ivóvíz céljára.

Escherichia coli baktériumok pásztázó elektronmikroszkópos felvétele

Vargha Márta
Országos Közegészségügy Központ, Országos Környezetegészségügyi Igazgatóság, Vízihigiénés osztály
vargha.marta@oki.antsz.hu

Ivóvízminőség és -szabályozás Magyarországon

A hazai ivóvíz-szabályozás az Európai Unió 98/83/EK ivóvíz-irányelvén alapul, amelyet a hazai jogrendbe a 201/2001 (X.25) Kormányrendelet ültet át. Az irányelv mintegy 60 paraméter vizsgálati gyakoriságát és határértékét adja meg, a hazai szabályozás néhány további kémiai és biológiai vizsgálatot ír elő, illetve az uniós szabályozásnál szigorúbb határértéket rögzít egyes paraméterekre vonatkozóan. Világszerte egyre gyakoribb a kockázatalapú megközelítés alkalmazása az ivóvíz előállítása és monitorozása során. A hazai gyakorlatnak az ún. ivóvízbiztonsági tervezés 2009 óta része, és a közelmúltban az uniós irányelvbe is bekerült.

Ivóvízkészletünk legnagyobb része mélyfúrású rétegvíz-kutakból és parti szűrésű kutakból származik, emellett karsztvizet és felszíni vízkivételt is alkalmaznak a hazai vízművek. A közüzemi ellátás szinte a lakosság egésze számára biztosított. Minőségi szempontból országos szinten a legnagyobb problémát a mélységi vizekben természetesen jelen levő szennyezők (kiemelten az arzén) okozzák. A Nemzeti Ivóvízminőség-javító Program, amelynek legtöbb beruházása 2015-ben zárul, öt elsőbbségi vízszennyező (arzén, bór, fluorid, nitrit és ammónium) eltávolítását, illetve képződésének megszüntetését tűzte ki célul. Ezt követően a jövőbeli feladatot a hálózat eredetű vízminőségi problémák jelentik, különösen az elöregedett hálózatokban fellépő másodlagos mikrobiológiai növekedés és az ólomkioldódás.

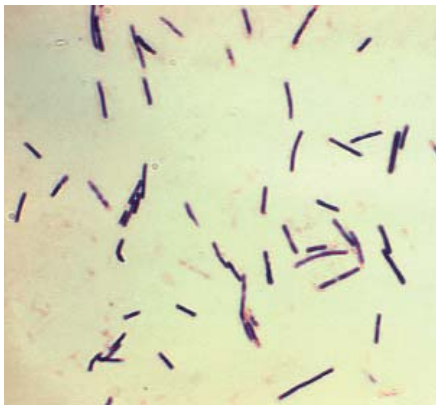
Az európai uniós és a hazai ivóvíz-szabályozás

Magyarországon már a 2004. évi európai uniós csatlakozást megelőzően megkezdődött az ivóvíz-szabályozás harmonizációja az uniós előírásokkal. A 201/2001 (X.25) Kormányrendelet az ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről [1] (továbbiakban: Kmr.) már a 98/83/EK európai uniós ivóvíz-irányelv [2] átültetésének tekinthető. Az irányelv és ennek nyomán a Kmr. I. melléklete összesen több mint 50 paraméter vizsgálatát írja elő. A tagállamoknak ugyanakkor lehetőségük van arra, hogy további tényezőkre vezessenek be határértéket, vagy az uniós előírásoknál szigorúbb határértéket vezessenek be. Az előírások enyhítésére ugyanakkor csak átmenetileg van lehetőség, az Európai Uniónak benyújtott átmeneti eltérési kérelem alapján. Magyarország élt ezzel a lehetőséggel: arzénre 2009-ig 50 µg/l, majd 2012 decemberéig 20 µg/l átmeneti határérték volt érvényben az irányelvi 10 µg/l helyett, bórra ugyanezen határidőkkel 5, illetve 3 mg/l (az irányelvi határérték 1 mg/l), fluoridra 1,7 mg/l (1,5 mg/l helyett). Az átmeneti határértékek az érintett települések meghatározott csoportjára vonatkoztak (ahol a vízminőségi probléma tartósan fennállt), 2012 decembere óta valamennyi településen az uniós előírásoknak kell megfelelni [3]. Ahol a hálózati víz minősége továbbra sem megfelelő, ott alternatív forrásokból kell biztosítani az egészséges ivóvizet. Más tagállamokban ugyancsak befejeződött vagy végéhez közelít az átmeneti eltérési időszak (pl. Olaszországban szintén az arzén, Franciaországban a szelén miatt), és az Európai Bizottság álláspontja szerint a jelenlegi tagállamokban nem lesz lehetőség további kérelmek benyújtására.

Azon paraméterek, amelyekre a szabályozás határértéket határoz meg, egészséghatásuk és a vizsgálat célja alapján több csoportra bonthatóak. Elsődlegesek a vízminőség szempontjából az ún. fekális indikátor baktériumok (*Escherichia coli* és *Enterococcus*), amelyek szennyvíz eredetű szennyezés kimutatására szolgálnak, és ezért jelenlétük az ivóvízben nem elfogadható. A kémiai szennyezők közül külön csoportba kerültek az adott koncentrációtartományon kívül igazoltan vagy vélelmezetten egészségre káros elemek, így különböző szerves és szervetlen mikroszennyezők (pl. benzol, benz(a)pirén, triklór- és tetraklór-etilén, illetve arzén, bór, fluorid, cianid), a nehézfémek (higany, kadmium, nikkel, ólom és réz), a fertőtlenítési melléktermékek (trihalometánok, bromát), valamint a peszticidek és azok bomlástermékei. Ez utóbbiakra általános határérték vonatkozik; vizsgálni az adott területen alkalmazott és releváns vegyületeket kell. Az uniós irányelvhez képest ez a lista a magyar szabályozásban három többletparamétert tartalmaz, a cisz-1,2-diklóretilént (határérték: 50 µg/l) és két fertőtlenítéssel összefüggő tényezőt (klorit: 0,20 mg/l, kötött klór: 3 mg/l). A trihalometánokra (THM) a korábbi hazai szabályozást megtartva az uniósnál szigorúbb határérték van érvényben (100 helyett 50 µg/l).

A fenti paraméterkört az indikátorok listája egészíti ki, amelyeknek elsősorban az üzemellenőrzésben és a fogyasztói megfelelőség értékelésében van szerepük, nem szükségszerűen egészségkárosítóak. Idetartoznak az érzékszervi paraméterek (íz, szag, szín), a fizikai-kémiai tulajdonságok (zavarosság, pH), a víz természetes összetevő ionjai (pl. nátrium, ammónium, szulfát, klorid) és egyes bakteriális szennyezést jelző indikátorok (telepszám 22 °C, coliform szervezetek, *Pseudomonas aeruginosa, Clostridium perfringens*). Magyar sajátosság a keménység-határérték bevezetése az indikátorok között (50–350 mg/l CaO), valamint a mikroszkópos biológiai vizsgálat. Ennek során egy liter tömörített mintában vizsgálják fénymikroszkóposan felismerhető képletek (algák, gombák, véglények, nematodák és egyéb férgek, vasmangán baktériumok, szennyezettségjelző

baktériumok és magasabb rendű szervezetek) jelenlétét. A vizsgálatnak elsősorban a felszíni víz által befolyásolt vizek esetén van jelentősége, de nagyon hasznos különböző vízkezelő technológiák (pl. a biológiai ammóniummentesítés) üzemellenőrzésére is.



Clostridium perfringens **fotomikrográfiás felvétele**

A fenti csoportok között a különbséget elsősorban a határérték-túllépés esetén előírt beavatkozás jelenti. Míg a potenciálisan egészségkárosító vegyületek határértéket meghaladó vizsgálati eredménye, illetve a fekális indikátorok jelenléte esetén azonnal és mérlegelés nélkül meg kell tenni a megfelelő intézkedéseket a megfelelő vízminőség helyreállítására, addig az indikátor-paraméterek nem megfelelőségekor a túllépés okának kivizsgálását és az esetleges egészséghatás eseti értékelését követően kell szükség esetén beavatkozni.

A Kmr. részletesen szabályozza a víziközmű-üzemeltetők és a felügyeletet ellátó népegészségügyi hatóságok feladatait. Hatálya alá tartozik valamennyi közműves ivóvíz-szolgáltatás és azok az egyedi vízellátó rendszerek, amelyek vagy 10 m^3/napnál több vizet szolgáltatnak, vagy ezt a közellátásban, illetve kereskedelmi célokra hasznosítják. A szolgáltatók kötelezettsége a megfelelő vízminőség biztosítása és ellenőrzése, valamint határérték-túllépés esetén a helyreállító intézkedések elvégzése. Az ellenőrzés gyakorisága – összhangban az ivóvíz-irányelv előírásaival – a szolgáltatott vízmennyiség függvénye, a legkisebb vízműveknél évi négy ellenőrző és évi egy részletes vizsgálatot végeznek, a legnagyobb vízműveknél (mint a Fővárosi Vízművek) akár naponta történik ellenőrző vizsgálat. A Kmr. a mikrobiológiai paraméterekre az uniós vizsgálati irányszámok kétszeresét írja elő. A részletes vizsgálatok valamennyi paraméterre kiterjednek, az ellenőrző vizsgálatok csak a legfontosabb szennyezésjelző tényezőkre. Ezeket a vizsgálatokat fogyasztói végpontokon végzik, az illetékes népegészségügyi hatósággal egyeztetett ütemterv szerint. A kijelölt vizsgálati pontok általában utcai közkifolyók vagy közintézmények (pl. polgármesteri hivatal, orvosi rendelő, iskola). Emellett az ivóvíz-szolgáltatók további vizsgálatokat végeznek a vízkezelő technológia különböző pontjain az üzemeltetés ellenőrzése céljából. Esetleges határérték-túllépésről az illetékes népegészségügyi hatóságot, szükség esetén a lakosságot is tájékoztatják.

Az ivóvízminőség-felügyelet

Az ivóvíz-felügyelet minisztériumi szinten több tárca között oszlik meg: a vízkivételi és víztisztító művek a Belügyminisztérium ellenőrzése alá tartoznak, ugyanakkor a szolgáltatott ivóvízminőségért nemzeti szinten az Emberi Erőforrás Minisztérium Egészségügyi Államtitkársága felel. Területi szinten a felügyeletet a megyei és járási kormányhivatalok látják el: az 5000 főnél többet ellátó vízművek esetén a megyei kormányhivatal népegészségügyi főosztálya, míg a kisebb vízműveknél a járási kormányhivatal népegészségügyi osztálya illetékes. A vízművektől érkező eredmények mellett a hatóság is végez ivóvízvizsgálatot, amelynek száma az önellenőrző vizsgálatok 10%-a, de legalább településenként évi egy minta. A népegészségügyi hatóságok szakmai irányítását az Országos Tisztifőorvosi Hivatal (OTH) és az Országos Közegészségügyi Központ (OKK) végzi.

Az ivóvízminőségre vonatkozó adatokat mind az ivóvíz-szolgáltatók, mind a hatóságok negyedévente jelentik az OKK által kezelt országos ivóvízminőségi adatbázisba. Ez az adatbázis képezi alapját az éves ivóvízminőségi országjelentésnek [4], az Európai Unió felé történő 3 évenkénti kötelező adatszolgáltatásnak [5], egyéb statisztikai értékeléseknek, és nem utolsósorban a lakossági tájékoztatásnak. Az OKK honlapján [6] kereshető, térképes formátumban folyamatosan elérhetőek az ivóvíz minőségére vonatkozó, település szintű információk. 2015-ben fejeződik be az ivóvízadatok gyűjtésének korszerűsítése: a korábbi Excel-alapú adatgyűjtést vékony kliens technológiájú online adatszolgáltatás váltja fel, amely lehetővé teszi, hogy a szolgáltatók, a hatóság és a központi felügyeleti szerv egyidejűleg ugyanazon adatokhoz férjen hozzá.

A hálózati víz minőségéért a szolgáltató csak az átadási pontig felel (ami a gyakorlatban a vízórát jelenti). Ugyanakkor a belső elosztóhálózatban a víz minősége jelentősen megváltozhat: a nem megfelelő anyagú vezetékekből vagy szerelvényekből egészségre káros anyagok (lágyítók, nehézfémek) oldódhatnak be, illetve a kioldódó anyagok tápanyagot jelentenek a csövek felületén baktériumok megtelepedéséhez és elszaporodásához. A hálózatban történő ún. másodlagos vízromláshoz hozzájárul a víz hőmérséklete is: rosszul szigetelt rendszerekben, ahol a hideg víz hőmérséklete meghaladja a 20 °C-ot, fokozottan kell problémára számítani. Mivel a vízminőség ellenőrzése minden egyes épületben lehetetlen feladat, viszont a megfelelő vízminőségnek minden otthonban és intézményben teljesülnie kell, az ellenőrzés a vízzel érintkező anyagok engedélyezése során történik. Hazai forgalomba a Kmr. rendelkezése szerint csak az OTH által nyilvántartásba vett csőanyag vagy szerelvény kerülhet, amelyet az OKK előzetesen bevizsgált a fent ismertetett közegészségügyi szempontok (elsősorban a szerves és szervetlen anyagok kioldódása) szerint. Az ivóvízkezelő technológiák, ideértve a háztartásokban használatos hálózati víz utókezelő berendezéseket, ivóvízbiztonsági engedély kötelesek, amelyet ugyancsak az OTH állít ki az OKK szakvéleménye alapján.

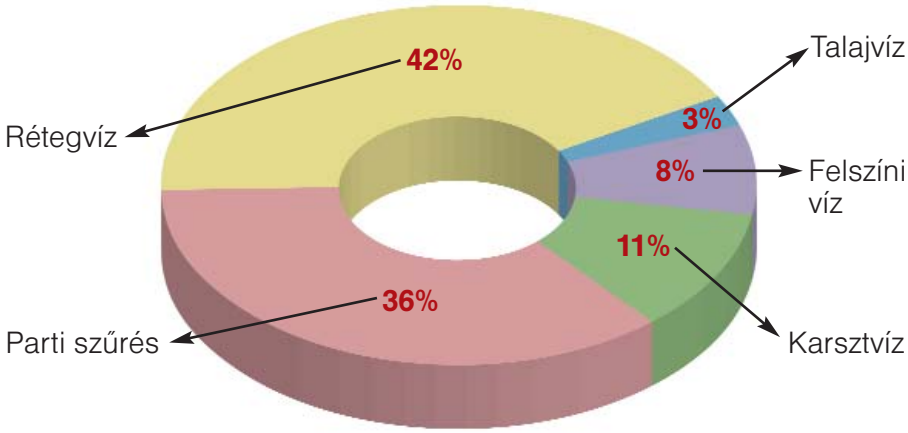
Az ivóvízbiztonsági tervezés

A megfelelő minőségű ivóvíz biztosítása európai szinten egészen a közelmúltig jellemzően a „végtermék", vagyis a szolgáltatott ivóvíz minőség-ellenőrzésén alapult. Ugyanakkor ez részint túl kevés, részint túl késő a fogyasztók egészségvédelme szempontjából, mivel csak a vízminőség utólagos igazolását teszi lehetővé, hiszen a vizsgálatok eredménye napokkal, időnként hetekkel azután áll rendelkezésre, hogy a vizet már megitták. Az könnyen belátható, hogy az évi 1–4 vizsgálat, amit a kis vízművekben végeznek, nem ad információt a tényleges vízminőségről az év egészében, ugyanakkor még napi vízmintavétellel sem biztosítható, hogy egy esetleges kifogást időben észlelnek, hiszen például a kórokozók megjelenése a vízrendszerben egy heves esőzést vagy csőtörést követően akár néhány óra alatt megtörténhet. Vagyis a vizsgálatok számának emelése – ha ilyen módon törekednénk a vízbiztonság növelésére – jelentős költsége ellenére sem garantálna valós védelmet. Ráadásul az uniós szabályozás értelmében – ugyan eltérő gyakorisággal – valamennyi paraméter rendszeres vizsgálata kötelező, akkor is, ha egy

anyagot soha nem mutattak ki az adott vízrendszerben, és a víznyerés adottságai alapján előfordulása nem is várható.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) mintegy 10 évvel ezelőtt új, kockázatalapú megközelítést javasolt [7], amely mára – különböző terminológiával ugyan – a világ számos részén alapvetővé vált. Az eredeti WHO-kiadvány az (ivó)vízbiztonsági tervezés kifejezést használja, a magyar gyakorlatban is ezzel a megnevezéssel honosodott meg, bár a „tervezés" nem teljesen fedi le a preventív, sok tekintetben az élelmiszeriparban használatos HACCP rendszerrel analóg szemléletmódot. Az ivóvízbiztonsági tervezés alapelve, hogy a rendszer teljes, a vízbázistól a fogyasztói csapig tartó feltérképezését követően azonosítani kell a rendszerben levő valamennyi veszélyt, majd a veszélyesemények előfordulásának valószínűsége és következményeinek súlyossága alapján kockázati értéket rendelni hozzájuk. A különböző kockázatokhoz (prioritási sorrendben) az üzemeltetési rendszerben megfelelő megelőző és helyreállító beavatkozásokat, valamint ellenőrzőpontokat kell rendelni. A rendszerben levő kockázatok ismeretében már azt megelőzően lehetőség van a beavatkozásra, hogy valamely esemény hatása a vízminőségben megmutatkozna, így tényleges egészségvédelem érhető el.

A Kmr. 2009 óta írja elő ivóvízbiztonsági terv készítését az ivóvíz-szolgáltatóknak [8]. A kötelezettség először csak a nagy vízművekre terjedt ki (5000 ellátott fő felett), gördülő határidők alapján. A 100 000 főnél nagyobb lakosságot ellátó vízműveknek 2012, az 50 000 felettieknek 2013, az 5000 felettieknek 2014 július 1-ig kellett megfelelni a kötelezettségnek. A Kmr. 2013. novemberi módosítása a kötelezettséget a kis vízművekre is kiterjesztette (valamennyi 50 feletti közszolgáltatóra), 2016. július 1-i határidővel. A tervet az illetékes népegészségügyi hatóság hagyja jóvá, az OKK szakvéleménye alapján. A folyamatos felülvizsgálat központi eleme a vízbiztonsági tervezésnek: a jóváhagyott terveket az üzemeltetők évente felülvizsgálják, az esetleges változásokról a hatóságot értesítik. Ötévente a hatóság végez felülvizsgálatot.



1. ábra. Az ivóvíz megoszlása a nyersvíz eredete szerint (forrás: Belügyminisztérium)

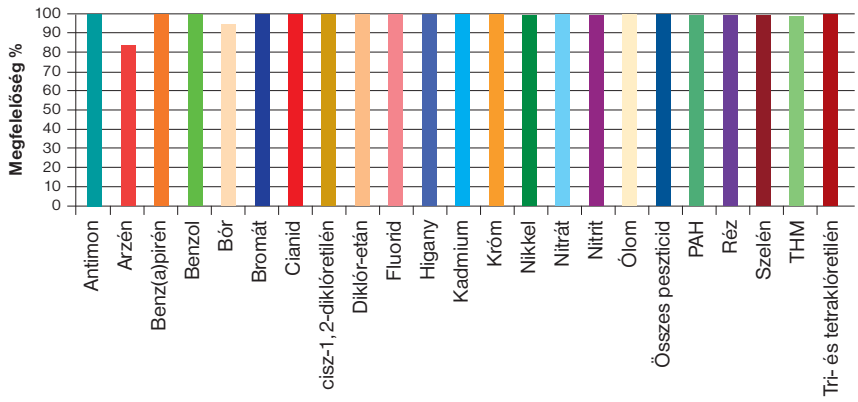
Az ivóvíz-irányelv nem tartalmaz hasonló előírást. Ennek ellenére számos tagállam gyakorlatának része, akár jogszabályi kötelezés alapján (pl. Nagy-Britanniában), akár támogató szabályozási környezet mellett önkéntesen (pl. Németország, Portugália). 2015 áprilisában került sor az irányelv II. (vizsgálati gyakoriságot szabályozó) és III. (vizsgálati módszereket leíró) mellékletének módosítására, amelynek néhány gyakorlati jellegű pontosításon (vizsgálati szabványok aktualizálása, vizsgálati módszerek elvárt teljesítményjellemzőinek megadása, mintavételi utasítások) mellett a legfontosabb eleme a kockázatalapú ellenőrzés lehetőségének megteremtése volt. Az új rendelkezés lehetőséget ad arra, hogy a vízművek kockázatelemzést végezzenek a rendszerükben, és ennek eredménye alapján egyes paraméterek vizsgálati gyakoriságát jelentősen csökkentsék vagy teljesen elhagyják. Ugyanakkor ez magában foglalja azt is, hogy szükség esetén az irányelv által nem szabályozott paramétereket is vizsgálni kell, amelyek az adott vízellátó rendszerben kockázatot jelentenek. A módosítást valamennyi tagállam egyhangúlag elfogadta, ami jól mutatja a kockázatalapú megközelítés széles körű támogatottságát.

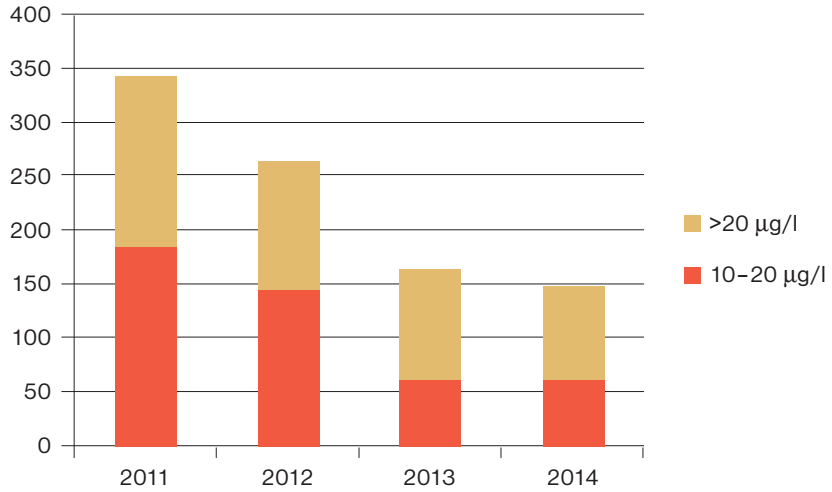
Magyarország ivóvízminősége

A hazai ivóvizek legnagyobb része (közel 80%-a) mélységi rétegvíz vagy parti szűrés eredetű, emellett karsztvíz, felszíni vízkivétel és talajvíz is hozzájárul az ellátáshoz **(1. ábra)**. A közműves ivóvízellátás a lakosság több mint 95%-a számára biztosított, ami gyakorlatilag a gazdaságosan megvalósítható maximumot jelzi. Arra vonatkozóan nincs felmérés, hogy a fennmaradó mintegy 500 000 lakos közül hányan fogyasztják ellenőrzött egyedi vízellátó rendszerek, és hányan a saját ásott vagy fúrt kútjuk ismeretlen minőségű vizét. Közegészségügyi kockázatot elsősorban az utóbbiak jelentenek.

Az ivóvíz eredete és a nyersvíz minősége az ivóvízminőséget elsődlegesen befolyásoló tényező. Kémiai szempontból a hazai ivóvizek minősége általában megfelel a Kmr. követelményeinek **(2. ábra)**. A legtöbb paraméter megfelelősége országos szinten 99% feletti, peszticid, szerves mikroszennyező határérték feletti mennyiségben csak elvétve fordul elő ivóvizeinkben. A nehézfémek határérték feletti koncentrációja esetszámban alacsony, a nyersvizek szennyezettsége elenyésző. Célzott felmérések ugyanakkor azt mutatják, hogy az ólom koncentrációja a fogyasztás helyén (lakásokban, középületekben) sok esetben határérték feletti, elsősorban a régi városmagokban, ahol még mindig jelentős számban vannak részben vagy egészben ólom

2. ábra. A kémiai paraméterek országos szintű megfelelősége (az összes vizsgálat százalékában kifejezve), az önellenőrző és hatósági vizsgálatok egyesített eredménye alapján, 2013-ban





3. ábra. A határérték feletti arzéntartalmú hálózati ivóvízzel ellátott települések számának változása 2011 és 2014 között

anyagú elosztóhálózatok az épületeken belül, amelyekből ólom oldódhat ki.

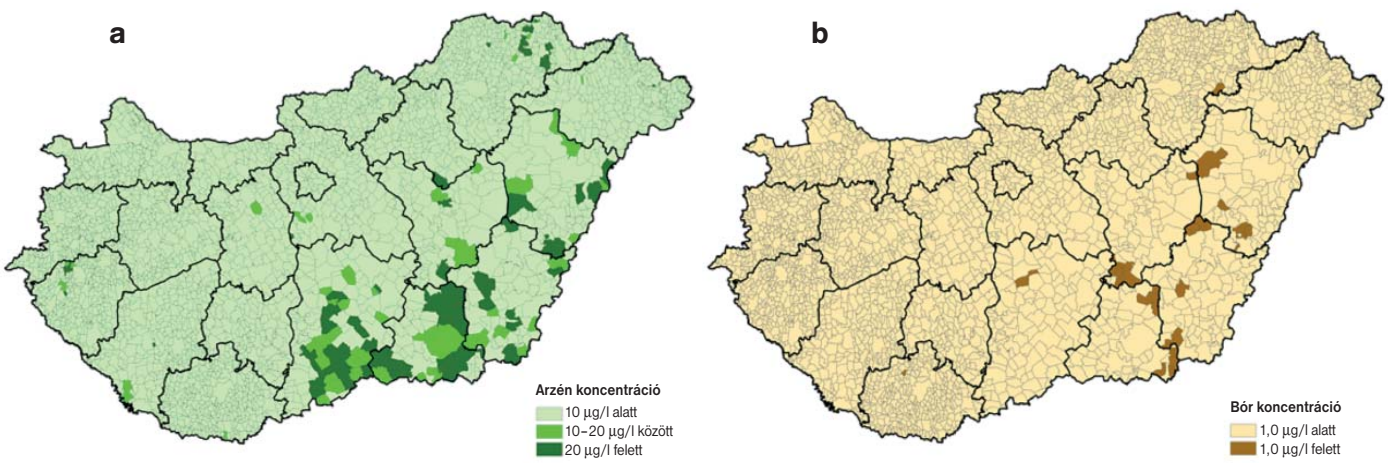
Az ország egyes régióiban (különösen az Alföld déli és keleti részén, valamint a Dunántúl déli régióiban) az ivóvíznyerésre használt rétegvizek az ivóvízre vonatkozó jelentős, akár 100 µg/l-t meghaladó koncentrációban tartalmaznak arzént (arzenit és arzenát formában). Megfelelő kezelés nélkül a nyersvízben jelen levő arzén az ivóvízben is megjelenik. A probléma elsőként az 1980-as években vált ismertté, és ezt követően megkezdődött az ivóvízminőség-javító beruházások első köre, amelynek célja az volt, hogy a WHO-ajánláson [9] alapuló hazai 50 µg/l határértéknek minden településen megfeleljen az ivóvíz. Ezt az 1990-es évek közepére szinte maradéktalanul sikerült megvalósítani. Ugyanakkor az újonnan rendelkezésre álló tudományos bizonyítékok [10] miatt a WHO, és ennek nyomán az uniós szabályozás is szigorúbb, 10 µg/l határértéket vezetett be. Hazai és nemzetközi epidemiológiai vizsgálatok efelett már emelkedett karcinogénkockázatot állapítottak meg [11,12]. Hangsúlyozandó, hogy a szervezet arzénbevitelét már 10 µg/l koncentrációnál is döntően az ivóvíz adja, az élelmiszerrel felvett mennyiség nem jelentős. Bár egyes tengeri halak és egyéb tengeri eredetű élelmiszerek nagy mennyiségű arzént tartalmaznak, ez szerves formában kötött arzén, amely a szervezetből kiürül, ezért lényegesen kevésbé tekintendő toxikusnak, mint a szervetlen arzén. Az uniós határérték meghatározásakor nem számoltak az egyéb forrásból eredő arzénbevitellel, így a hazai határérték kialakításánál sem lehet szempont a lakosság alacsony tengerihal-fogyasztása.

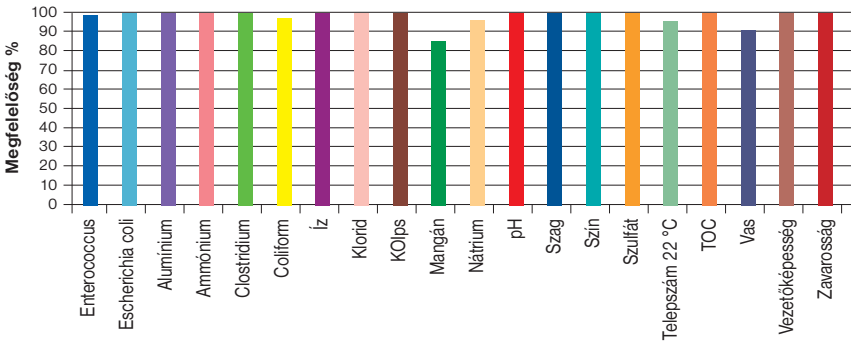
Az új határérték (amely az átmeneti eltérési időszak lejárta után, 2012 decemberében lépett életbe) újabb beavatkozást igényelt. Ez volt a 2007-ben elindult Ivóvízminőség-javító Program egyik elsődleges célja, amelynek keretében az érintett települések pályázhattak a megfelelő tisztítási technológia vagy egyéb megoldás (pl. vízátvezetés, új vízbázis) kiépítésére. A programban való részvételre az arzén mellett a bór, a fluorid, a nitrát és a nitrit (illetve a nitritképződés kockázatával járó ammónium) kifogásoltsága adott lehetőséget. A program legtöbb beruházása 2015-ben lezárul, és így szinte minden településen kémiai szempontból megfelelő minőségű víz áll majd rendelkezésre. A beruházások megvalósulásáig nagyon sok vízműnél átmeneti beavatkozásokkal (pl. technológiai beállítások, vegyszeradagolás módosítása) érték el, hogy a szolgáltatott víz arzéntartalma ne haladja meg a 10 µg/l-t **(3. ábra)**. Ennek köszönhetően az eredetileg érintett 900 000 lakos több mint fele már hálózaton jut egészséges ivóvízhez. A többi településen a hálózati víz fogyasztását a népegészségügyi hatóság korlátozta, és átmeneti ivóvízellátást rendelt el, amelynek keretében minden lakosnak biztosítani kell ivás, főzés céljára 3 l megfelelő minőségű ivóvizet. Ezt sok településen telepített konténeres arzénmentesítő berendezésekkel, máshol ivóvízszállítással (palackos vízzel vagy lajtoskocsival) oldották meg.

A bór jelenléte az ivóvízben mind az érintett települések és lakosok számát, mind az egészségkockázatot tekintve eltörpül az arzén jelentősége mellett **(4. ábra)**. A bór összesen 38 településen volt az átmeneti eltérési időszakot követően a határérték (1 mg/l) felett a szolgáltatott ivóvízben, ezek közül eddig 9 településen sikerült megfelelően lecsökkenteni. Ugyanakkor a WHO által javasolt 2,4 mg/l határértéket mindössze 3 településen haladja meg, így a bór esetében jelentős lakossági egészségkockázattal nem kell számolni.

A fluorid a harmadik paraméter, amelyre Magyarországon átmeneti határérték (1,5 mg/l helyett 1,7 mg/l) volt érvényben 2012-ig. Fluorid-kifogás mindössze három Jász-Nagykun-Szolnok megyei településen van, ezeken is alig több mint 10%-kal haladja meg a határértéket.

4. ábra. Az arzén (a) és a bór (b) miatt érintett települések területi eloszlása (2013)





5. ábra. A mikrobiológiai és indikátor-paraméterek országos szintű megfelelősége (az összes vizsgálat százalékában kifejezve), az önellenőrző és hatósági vizsgálatok egyesített eredménye alapján, 2013-ban

Az Ivóvízminőség-javító Programban való részvételre jogosító vízminőségi kifogások közül a nitrát elsősorban mezőgazdasági eredetű szennyező, jelenleg már csak néhány településen vár megoldásra. A nitrit leggyakrabban a nagy ammóniumtartalmú nyersvizekből keletkezik mikrobiológiai úton; az elöregedett hálózatokban megtelepedett baktériumok jelentősen hozzájárulnak a képződéséhez, így az ammóniummentesítés mellett a hálózatok rekonstrukciója is fontos lehet. Nitrithatárérték-túllépés 2013-ban mintegy 100 településen volt, de ez nem szükségszerűen jelent folyamatos kifogást, a legtöbb településen a probléma csak időszakosan jelentkezik. Az érintett településeken a népegészségügyi hatóság 2007 óta fokozott ellenőrzési kötelezettséget rendelt el, ez nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a túllépések száma az elmúlt időszakban jelentősen csökkent. A nitrit előfordulásának legjelentősebb egészségkockázata, hogy a vérbe kerülve a hemoglobint irreverzibilisen methemoglobinná oxidálja, és ezáltal az oxigénfelvételt akadályozza. Az így kialakult kórkép a methemoglobinémia, vagy „kékkór”. A nitrát a szervezetben nitritté redukálódhat (különösen a csecsemők bélrendszerében, amely reduktív környezet), és ugyanilyen módon fejti ki hatását. Magyarországon vezetékes ivóvízzel összefüggő esetet évtizedek óta nem diagnosztizáltak, de a nem megfelelő vízminőségű magánkutak (jellemzően ásott tanyasi talajvízkutak) miatt előfordul évi egy-két eset.

Az ammónium a leggyakrabban kifogásolt paraméter az indikátorok közül **(5. ábra)**. Jelenléte elsősorban geológai eredetű, nem antopogén forrásból (mezőgazdaságból vagy kommunális szennyvízből) származik. Gyakran arzénnel, illetve vassal és mangánnal együttesen fordul elő. Bár az ivóvízben jellemző koncentrációkban közvetlen egészséghatása nem ismeretes, a nitritképződés prekurzoraként szükséges az eltávolítása.

A vas és a mangán szintén gyakori szennyező a hazai ivóvizekben *(5. ábra)*, koncentrációjuk akár a határérték tízszeresét is elérheti. Elsősorban érzékszervi problémát jelentenek (fémes íz, barnás-feketés kicsapódás miatt), illetve a hálózatban lerakódva elősegítik a korróziót és a biofilmképződést. Legutóbbi kutatások az ivóvíz nagy mangánkoncentrációját egyes neurológiai elváltozásokkal hozták összefüggésbe.

A kémiai indikátorok közül egyéb határérték-túllépés általában regionálisan fordul elő. Az Alföld egyes területein jellemző a meleg (>20 °C), nagy nátrium- és szulfáttartalmú, kis keménységű (<50 mg/l CaO) vizek előfordulása. Bár Magyarország nagyobb részén közepesen vagy erősen kemény az ivóvíz, a felső határértéket (350 mg/l) ritkán haladja meg.

Mikrobiológai minőség tekintetében nem regionális, hanem lokális hatások érvényesülnek. Bár a fekális indikátorok országos szintű kifogásoltsága alacsony (*E. coli* esetén 0,6%, *Enterococcus* esetén 1,8%), minden észlelt probléma potenciálisan fertőzésveszélyt jelezhet, ezért kivizsgálásuk és elhárításuk minden esetben elengedhetetlen. Az indikátor baktériumok (coliform és telepszám 22 °C) kifogásoltsága valamivel magasabb (4–5%), ami elsősorban az elosztóhálózatok rossz állapotára vezethető vissza. A telepszámra az irányelv és a Kmr. nem határoz meg konkrét határértéket, kifogásoltságot a szokatlan változás vagy trendszerű emelkedés jelez. A gyakorlati alkalmazhatóság érdekében a népegészségügyi hatóságok területi határértékeket állapíthatnak meg.

Következtetések

Magyarországon jó esély van rá, hogy az Ivóvízminőség-javító Programnak köszönhetően 2015/2016-ra a lakosság túlnyomó részének kémiai szempontból megfelelő ivóvíz álljon rendelkezésére. A következő lépést az elosztóhálózatok rekonstrukciója jelenti. Az ólomvezetékek cseréje a vízművek oldaláról folyamatos, de az épületek belső hálózatában még sok helyen jelen van. Növekvő nyomás van az azbeszttartalmú (ún. eternit) csövek kiiktatására is, bár ezek esetében a káros egészséghatás nem igazolt. Sok helyen a vezetékek mai vízfogyasztáshoz képest túlméretezett átmérője miatt megnövekedett tartózkodási idő a vezetékek korróziójához és jelentős biofilmképződéshez vezetett, és ez gyakori mikrobiológiai kifogást eredményez, amire szintén csak az érintett szakaszok cseréje jelent megoldást.

A kockázatalapú szemlélet bevezetése az európai szabályozás szintjén is újabb támogató tényező a gyakorlati alkalmazás irányában. Az eddig elkészült ivóvíz-biztonsági tervek jelenleg is folyamatos bevezetése a mindennapi gyakorlatba helyi és országos szinten is elősegíti az elsőbbségi problémák azonosítását és megoldását, és így jelentős előrelépést hozhat az egészséges ivóvíz biztosítása terén mindenki számára.

IRODALOM

[1] 201/2001 (X.25) Kormányrendelet az ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről. http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=58066.296431
[2] European Council Directive 98/93/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human use. Official Journal of the European Communities. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0083:20031120:HU:PDF
[3] Az Európai Bizottság C (2012) 3686 (2012.5.30.) határozata a Magyarország által az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló 98/83/EK tanácsi irányelv alapján kért eltérésről.
[4] http://oki.antsz.hu/files/dokumentumtar/Ivovizminoseg2013.pdf
[5] http://cdr.eionet.europa.eu/hu/eu/dwd/
[6] http://oki.antsz.hu
[7] WHO Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd edition, 2004.
[8] 65/2009 (III. 21.) Kormányrendelet a 201/2001 Kormányrendelet módosításáról. http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=125172.179931
[9] WHO Guidelines for Drinking Water Quality, 1st edition, 1984.
[10] WHO Guidelines for Drinking Water Quality, 4th edition, 2011.
[11] Leonardi G, Vahter M, Clemens F, Goessler W, Gurzau E, Hemminki K, Hough R, Koppova K, Kumar R, Rudnai P, Surdu S, Fletcher T., Inorganic arsenic and basal cell carcinoma in areas of Hungary, Romania, and Slovakia: a case-control study. Environ Health Perspect (2012) 120(5), 721–726.
[12] IPCS (2001) *Arsenic and arsenic compounds*. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 224). http://www.inchem. org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm
[13] Bouchard FM, Sauvé S, Barbeau B, Legrands M, Brodeur ME, Bouffard T, Limoges E, Bellinger DC, Mergler D, Intellectual Impairment in School-Age Children Exposed to Manganese from Drinking Water. Environ Health Perspect (2011) 119, 138–143. http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1002321

Bánffi István[1] – Szabó István[2]

[1]BÁNFFI & BÁNFFI Kft., Szeged

[2] Sz.I. Kft., Budapest

A magyarországi szikvízgyártás múltja és jelene

A palackba zárt szellem

Van egy hagyományos, eredeti, minden ízében magyar termék, amit a boroskancsó mellett szódavíznek, a kisiparos szakmában pedig szikvíznek neveznek. A szóda eredetileg egy növény latin nevéből származik (*Salsola soda*), amely magyarul *sziki ballagófű* vagy *sófű* néven ismert. Ennek hamujából nyerték a nátrium-karbonátot, más néven a szódát, amely az üveg- és szappangyártás nélkülözhetetlen alkotója volt. A szódavíz onnan kapta nevét, hogy a gyártásához eredetileg szódát használtak fel, pontosabban használt fel Jedlik Ányos, aki a magas szénsavtartalmú víz gyártási technológiáját hazánkban kidolgozta és lehetővé tette annak nagyüzemi gyártását.

Jedlik Ányos, a győri bencés gimnázium fizikatanára, 1826-ban kezdett kísérletezni savanyúvizek mesterséges előállításával, amelyről már korábban olvasott az *Annalen der Physik* folyóiratban. A szénsavas víz nagyobb volumenű gyártását először a genfi órás-ékszerész Jacob Schweppe és társai, Henry Albert Gosse és Nicolas Paul valósították meg, akik azonban a készítési módot titokban tartották. Jedliknek nem is volt szüksége külső segítségre, hiszen kísérletei gyorsan eredményre vezettek. Mint írja: „... az eljáráshoz olyan készülék szükséges, amely a víznek szénsavval való telítésére alkalmas, a szénsavgáznak saját készülékével való fejlesztése által...", aminek módját a következőképpen írja le: „A szénsavgáz fejlesztésére szolgáló első edénybe beleöntjük a három vagy négy rész vízzel hígított kénsavak bizonyos meghatározott mennyiségét. Ezután porrá tört krétát, őrölt márványt, vagy ami sok tekintetből jobb, szitált (fa) hamut annyi vízzel keverünk össze, hogy folyékony pépet alkosson, és ezt ugyanabba az edénybe nyomjuk egy erre a célra való dugattyúval. Miután a fejlődő gáz a levegőnek legnagyobb részét egy szabad nyíláson át kihajította, az edényt légmentesen lezárjuk. A hamunak többször megismételt adagolásával a szénsavgáz az első edényből átnyomul a másodikba egy olyan csövön keresztül, amely a második edény aljáig ér. Ez a második edény szódának vagy hamuzsírnak oldatát tartalmazza, amely a gázt a netalán magával szállított kénsavgőzöktől megtisztítja. Az így megmosott és sűrített szénsavgázt egy csap megnyitásával tetszés szerint lehet áthereszteni egy harmadik hengeres edénybe, amelyben a telítésre szánt víz van. A kézzel mozgásban tartott edényben a víz gázt könnyen elnyel. Az elnyelt szénsavgázt a hamunak adagolásával addig pótoljuk, míg a kénsav azzal telítetté nem válik. Ennek megtörténte után az első edény alján lévő csapot megnyitva a mész- és kálium-szulfátot sűrített szénsavgázzal kinyomatjuk és az edényt újra megtöltjük..."

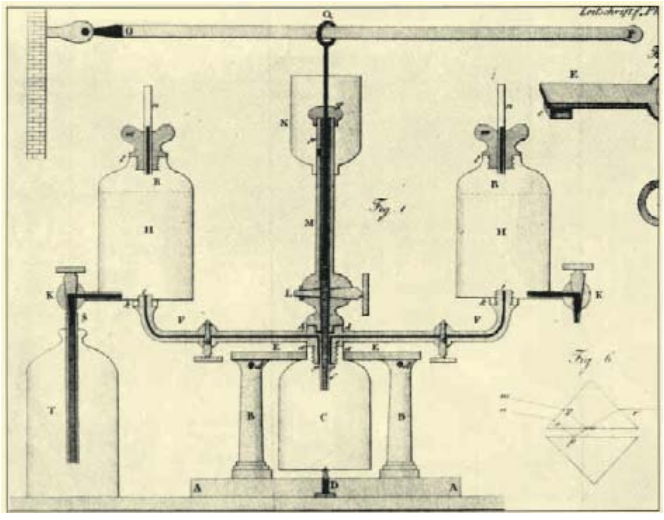
Jedlik Ányos (1800–1895)

Sok délutánt töltött Jedlik Ányos a Pallos nevű győri bádogos műhelyében, ahol megszületett az elképzelt készülék, ami természetesen a kisiparos tudását is dicséri. Jedlik latin nyelvű értekezésében ismertette az általa kifejlesztett berendezést, amelyet a bécsi egyetem két tanára, A. Baumgartner és A. Ettinghausen méltónak talált arra, hogy az értekezést németre lefordítsák és azt saját lapjukban közreadják **(1. ábra)**.

Jedlik szerint: „... Minden savanyúvizet lehet utánozni és olcsón készíteni, sőt tetszés szerinti szénsavtartalmúvá tenni, mi akkoron, midőn az úgynevezett Sodaviz még nem készíttetett, elég érdekes vala."

A készülék sikeresen működött, a készterméket felfogó edényben összegyűlt szikvíz, vagy szódavíz íze üdítő, kellemes volt.

1. ábra. Jedlik szódavízkészítő gépének sematikus felépítése. Részlet a Zeitschrift für Physik und Mathematik 1830. évi 7. kötetéből



2. ábra. A Favorit Szénsavgyár reklámja

Legelőször a rendházban tette le az asztalra, és rendtársai elismerően fogyasztották.

Termékétől Jedlik azt remélte, hogy az 1830-as években dúló kolerajárvány idején a szikvizet ivók kisebb eséllyel betegednek meg. Ahogy Radnai Gyula idézi a szódájáról előadást tartó tudóst: „Talán azon betegségekben sem lenne célirányatlan ital, mellyekben a szénsav által történendő izgatás a belső részekre jótékonyan hat. Mondhatom, volt alkalmam cholera idejében némelly ismerőseim közül tapasztalni, mennyire epedtek ezen ital után, s nem keveset enyhítettek kínzó állapotukon, midőn az orvos engedelmébül vele élhettek. Illy neme a savanyú vizeknek természetben nem találtatik: mert a szénsavval egyesült víz többféle ásványos részekkel érintésben lévén, azokbul kisebb vagy nagyobb mennyiségben mindenkor valamit magába vesz."

Jedlikben nemcsak a feltaláló tehetsége volt meg, a gyakorlati alkalmazás iránt is volt érzéke. Időközben Budapestre került és Pozsonyból 1841. augusztus 27-én érkezett meg már a pesti lakásába az a tökéletesített berendezés, amellyel 1841. szeptember 6-án bemutatta a természetvizsgálók pesti második nagy gyűlésében a mesterséges savanyúvizet és készítésének módját. A gyűlést követő ebéden magyaros vendégszeretettel kínálgatta készítményeit. Kétféle savanyúvizet kínált a megjelenteknek: egyik palackban elkészítette a savanyúvizek legegyszerűbbikét, amely csak közönséges vizet és abban oldott szén-dioxidot tartalmazott. Ez az ún. tiszta szódavíz nagyobb mértékben tudta magában tartani a szabad szén-dioxidot, mint a másik, amely a szén-dioxidon kívül többféle sót is tartalmazott.

Ebben az időben Magyarországon még nem volt szódavízgyártás. Jedlik úgy gondolta, hogy a Pozsonyból felhozatott berendezést kissé *átalakítva*, megnagyobbítva, nagyobb tételben is tud olcsó és ízletes savanyúvizet előállítani. Háztartási naplójának tanúsága szerint nagyobb mennyiségű kénsavat, *magnesia albát, soda carbonicát* és hamut vásárolt, több ezer üvegpalackot és dugót szerzett be. 1842-ben már naponta egy–három napszámos gyártotta a szódavizet. A háztartási naplóból kitűnik, hogy Jedlik gépével nem szifonfejes, hanem dugóval ellátott palackba töltötték a szikvizet. 1843 elejétől átadta a gyár irányítását unokaöccsének, Szabó Alajosnak, aki 1848-ig vezette az üzemet.

„De azért bármíly jövedelmezö üzletnek mutatkozott is a savanyúvizek mesterséges gyártása, Jedlikből mégsem lett szódavízgyáros" – mondta Eötvös Loránd 1897-ben.

Kezdetben a gyógyszerészek gyártották a szikvizet: mivel nem volt még palackos szén-dioxid, vegyi úton kellett előállítani, ami szakértelmet igényelt. Wagner Dániel gyógyszerész, az első magyar vegyészdoktor a Magyar Tudós Társasághoz benyújtott és pályadíjjal jutalmazott dolgozatában vegyészeti gyár alapítását javasolta. A mai Soroksári úton megépített üzem 1866-ban kezdett működni: szifonfejet és szikvizet is gyártottak. Wagner Dániel lehetett az első szakember Magyarországon, aki szifonfejjel ellátott palackba töltötte a szikvizet.

A következő években már oly mértékben elterjedt az országban a szikvízgyártás, hogy szükségessé vált annak az alábbi rendelettel történő szabályozása:

A m. kir. belügyministériumnak 1869. évi január hó 27-én 649. sz. alatt kelt rendelete,

valamennyi törvényhatósághoz szikvíz gyártása körül követendő rendszabályok iránt.

Tapasztaltatott, hogy az utóbbi időben felette nagy elterjedést nyert és a közönség részéről hűsítő ital gyanánt használtatni szokott szikvíz nem mindig a kellő nagy tisztasággal és egészségellenes hozzátételek szoros mellőzésével állíttatik elő.

Tekintettel azon körülményre, miszerint a szikvíz nagyobb mérvben és folytonos élvezete az egészségre ártalmassá, sőt veszélyessé is válhatik, ha annak készítéséhez ólom-, rész- vagy horganyból készült edények használtatnak, melyeknek felülete élenyült, tekintve továbbá azt, hogy a szikvíz undorítóvá, sőt egészségtelenné válhatik, ha a készítéséhez használt víz nagyobb mennyiségű sókat vagy szervi anyagokat tartalmaz, a fogyasztó közönség egészségének megóvása szempontjából, az országos közegészségi tanács meghallgatása után és egyetértőleg a földmivelés-, ipar- és kereskedelmi magyar kir. ministériummal, a szikvíz gyártása körül következő óvrendszabályok megtartása rendeltetik el…

Budán, 1869. évi január hó 27-én.

A minister helyett:
Szlávy József, államtitkár

Az 1900-as évek elején már több mint 2000 szikvízkészítő működött Magyarországon. A korabeli iparos rangsorban a szikvízkészítők az előkelő 3. helyet foglalták el létszám tekintetében a gyertyaöntők és a szappanfőzők mögött. Az elkövetkező évtizedekben az üzemeltetéshez szükséges háttéripar is megerősödött, köszönhető ez a rendkívül nagy versenynek. Gyártók voltak például az Egyesült Magyarhoni Üveggyárak Részvénytársaság, az Egyesült Gép- és Fémárugyárak Rt., Süss és Friedmann, Végh Károly és Társa, Vető Sándor, Hazslinszky Gyógyszerész és Társai **(2. ábra)**, Fischer József, Kont Oszkár. Beszálltak a szikvízüzletbe a sörgyárak is, megteremtve saját töltőüzemüket. Ilyen volt a Dréher sörgyár is. A kézzel működtetett gépeket később felváltotta a benzin- vagy elektromos motor által hajtott berendezés. A 19. század végi millenniumi ünnepségeken is jelen volt a szódavíz mint a kor újdonsága. A szikvízgyártást számtalan szabadalom kísérte az évek során. A gépek működési elvei, a szifonfejek, az üvegek formái mind szabadalom által védettek voltak **(3. ábra)**.

A szikvíz, és ami mögötte van, az a magyar gasztronómia csodálatos fejezete. Nem véletlenül nevezik Magyarország kultuszitalának, hiszen a jómódú polgárok és az egyszerű néprétegek is szívesen fogyasztották **(4. ábra)**. Ott volt ez az ital a vendéglők, rendezvények, lakodalmak a háztartások asztalán. A szódavíz az

3. ábra. Szódásüvegek

emberek szomját oltotta, borral keverve pedig jókedvüket is fokozta. A tradicionális szódavízből és jófajta hazai borból készített fröccs fogyasztásának sajátos kultúrája alakult ki Magyarországon **(5. ábra)**. A szódavízzel megfelelő arányban kevert bor megtartja eredeti ízét és zamatát, viszont csökken az alkoholtartalma, frissítőbbé válik. Ezáltal a fröccs élvezeti értéke különleges, fogyasztása üdítőleg hat a testre és a szellemre egyaránt. Ahogy Márai Sándor erről igen szemléletesen ír: „S a magyar, mikor feltalálta ezt a csodálatos, bölcs és óvatos vegyüléket, mely elég tömény ahhoz, hogy sarkallja a borozgató férfi képzelőerejét, s ugyanakkor eléggé szelídített, hogy ne ártson a nemesebb szerveknek, mély élettapasztalatról tett bizonyságot." A bor és a szóda különböző arányú keverékét más-más néven nevezték el, mint például kisfröccs, nagyfröccs, hosszúlépés. A szakirodalom szerint több mint hatvan fröccsfajta létezik.

A szikvíz diadalútja az 1950-es években, az államosítás után megtorpanni látszott. A szakmában dolgozók kitartásának, és nem utolsósorban a szikvízkedvelő fogyasztóknak köszönhetően ez az ital a mai napig fennmaradt. A „szegények üdítőjét" a szocializmusban az alapvető élelmiszerek közé sorolták, mint a tejet, a kenyeret. Több mint harminc éven át 1,10 forint volt egy liter szikvíz. Az 1980-as években kissé enyhült az iparosok, vendéglátósok és kereskedők korlátok közé való szorítása, ennek köszönhetően egyre több szikvízkészítő üzem működött. A szikvízkészítés szabad ipar volt, ami azt jelentette, hogy a tevékenység folytatása nem volt szakmunkás végzettséghez kötve.

4. ábra. Korabeli plakát

5. ábra. Vendéglői kép az 1900-as évek elejéről

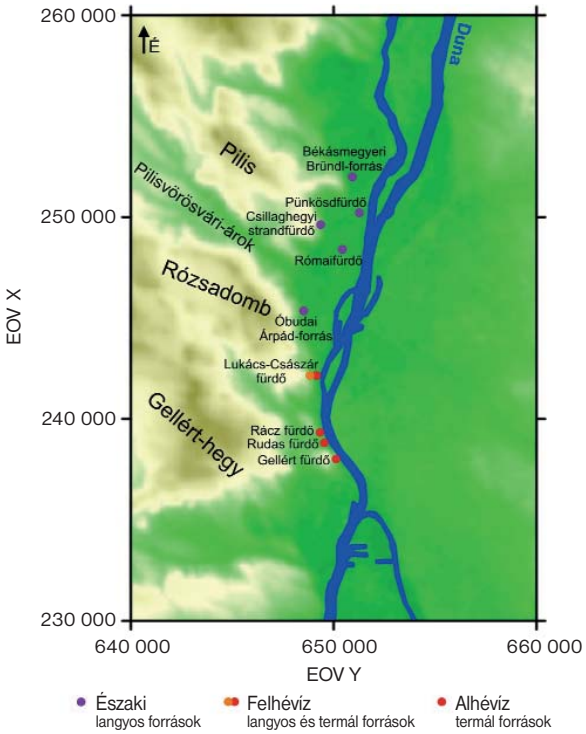
Az ipar történetének újabb korszaka a rendszerváltás utáni időszakhoz köthető, amikor megjelentek az eldobható műanyag palackos ásványvizek, amelyek alapjaiban átrendezték a „vizes" piacot. A „bubisok" erőteljes expanzióba kezdtek és egyre-másra hódították meg a szikvíz által régóta uralt területeket. A szikvízkészítők hamar felismerték, hogy a piaci igényekhez a szódás társadalomnak kötelező idomulnia, így Nagy Lajos szabadalmának köszönhetően a 90-es évek elején megjelentek az első szikvizes műanyag palackok. Ez egyébként komoly technológiai kihívást jelentett, mivel az új forma miatt a szakmának át kellett alakítania a technológiai folyamatokat, és olyan újításokat kellett bevezetnie, amelyekkel gazdaságossá vált a műanyag palackok töltése. Az első időszakban a gyártók az eldobható, ún. egyutas palackokat részesítették előnyben, de 1994-ben az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat már csak a tartós, kétutas palackok töltését engedélyezte. A tartós műanyag flakonok megjelenésével a szikvízgyártás robbanásszerűen fellendült és több új vállalkozás is indult. A szikvízkészítőknek 1998 elején át kellett állniuk a rozsdamentes ballonok használatára, ami komoly gazdasági kihívást jelentett a szódás társadalom számára. A víz tisztaságának garanciájában, a tárolás minőségében, az egységes megjelenésben megbízható standardizálás történt, amelynek pozitív hatásait a fogyasztók és a szikvízkészítők is egyaránt élvezhették. Nem sokkal később, 1997-ben a 237/1997. (XII.22) Kormányrendelet a szikvízgyártó szakmának előírta az Európai Unió szabályaival konform HACCP élelmiszerbiztonsági rendszer kialakítását is, amelyet három évvel később, 2000-ben vezettek be. Ezt megelőzte az OKJ-s képzés kidolgozása, amely az előzővel együtt a szakmai minőség további javulását eredményezte.

A szikvizes közösség jelentős előrelépésnek tekintette a 2004-ben odaítélt „Garantáltan Hagyományos és Különleges (GHK)" termékvédjegyet, majd a 2010-ben elnyert „Hagyományok-Ízek-Régiók" védjegyet is. A szakma képviselői és a termékek további elismerését jelentette a „hungarikum" minősítés, melytől további piaci növekedést remélnek.

Mádlné Szőnyi Judit – Erőss Anita
ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék | szjudit@ludens.elte.hu

Budapest langyos és termál forrásai: hasznosításuk története

Budapest méltán viseli a fürdőváros címet. A langyos és termálforrások három csoportban, koncentráltan jutnak a felszínre a Duna jobb partján: északi langyos források, Felhévíz és Alhévíz **(1. ábra)**. Az adatokat részben az ezzel foglalkozó szakirodalomból, részben a történettudományok körébe tartozó dokumentumokból gyűjtöttük össze szakdolgozatok és tudományos diákköri munkák keretében (Lieb I. 2004; Frész R. 2008; Kis-Csitári T. 2010). E kutatások jelentősége és fontossága abban rejlik, hogy belőlük a források korai, természetes állapotáról kaphatunk



1. ábra. A langyos és meleg forráscsoportok, fakadási helyeik Budapesten (Alföldi L. et al., 1968 nyomán módosítva)

képet. Az emberi beavatkozással nem befolyásolt vízviszonyok elemzése természettudományos szempontból azért jelentős, mert segíti a hidrogeológiai rendszer működésének jobb megértését. Ezek a kutatások más szempontból azért is lényegesek, mert rajtuk keresztül a múlt egy fontos eleméről, a – főváros fejlődése szempontjából is alapvető – forrásokról és használatuk fejlődéséről szerezhetünk információt. Ezeken keresztül képet kaphatunk a városi vízgazdálkodás történeti múltjáról, de a környezet átalakításáról, az ember és környezete együttélésének időbeli változásáról is információt nyerhetünk. Végül a múlt dokumentumai példázzák a vizekkel való takarékosság és többcélú használat fontosságát, melyek a mai modern vízgazdálkodás szempontjából is kulcskérdésnek számítanak.

Északi langyos források

A mai Budapest különleges értékét ismerték fel a kelták, majd utánuk a rómaiak, amikor Óbuda területén várost alapítottak Akink, illetve Aquincum néven. Mindkét szó jelentése „jó víz", illetve „bő víz", ami a hegyek, dombok előterében fakadó bővizű langyos karsztforrásokra utal (Farkas in Csemez et al. 1998). A források vizét a rómaiak ivó- és fürdővíznek használták és vízvezetéken szállították városukba, Aquincumba. A Magyarország területén kialakult római városok közül Aquincum rendelkezett a legfejlettebb vízvezeték-hálózattal. Két „*aquaeductusa*", magasvezetéke volt, egy észak–déli és egy kelet–nyugati irányú (Póczy K. 1980). Az aquaeductus pilléreket áthidaló, boltíveken nyugvó falazattal készült, a forrásokból emelőszerkezettel juttatták a vizet a pillérek tetején beépített kővályúba (Póczy K. 1980). A római civilizációval együtt terjedt el hazánk területén is a fürdőkultusz, ahol elsődlegesen a közös fürdőzésen volt a hangsúly; azaz, a tisztálkodás és a testedzés szolgálatába állították a fürdőzést, mely egyúttal kikapcsolódásnak is számított. A „thermákban" zajlott a kockázás, birkózás, zsonglőrmutatványok, labdázás, tudományos viták, szavalatok. Ugyanakkor a római építészet egy technikai újítással is kiegészítette a balnaeumot, a fürdőhelyiségek aláfűtésével. Ez az eljárás a *hypocaustum*, a padlóba épített meleglevegő-fűtés vagy fűtőkamra (Póczy K. és Hajnóczy Gy. 1960).

A Flórián téri katonai fürdőt (*Thermae Maiores*) 1778-ban Schönwisner István tárta fel (Póczy K. és Hajnóczy Gy. 1960). A tornacsarnok hideg, langyos és forró vizű medencéi, fürdőkádak, izzasztókamra és tágas padlófűtéssel ellátott termek szolgálták a katonák felfrissülését **(2. ábra)**.

2. ábra. A katonai fürdő maradványai

FOTÓ: KIS-CSITÁRI T.

Óbudai Árpád-forrás

Az északi langyos forráscsoport forrásai közül ez a legdéliebb fekvésű. Az eredeti betonaknás forrásfoglalás cölöpalapozása a római korból származik. A középkorban a forrás elfolyó vize malmot hajtott. A 19 °C-os langyos vizet fürdési célra egyáltalán nem használták. Később a forrás az Óbudai Fehérítőgyárat látta el a szükséges vízmennyiséggel, ezenkívül egy bolgárkertészetnek szolgáltatott vizet az öntözéshez (Tarics S. 1941). A forrás közelében működő Selyemkikészítő Gyár ipari vízigénye az 1950-es, '60-as években jelentősen megnőtt. 1973-ban a karsztforrás közelében egy 80 m mélységű megfigyelő kutat létesítettek (Scheuer Gy. 2006a).

Rómaifürdő

A mai Rómaifürdő területén számos kisebb forrás fakadt, melyek tavat képeztek. A tófenekén a források bugyborékolva, apró kráterekből törtek fel, homokot és mészszemcséket lebegtetve. Mátyás király korában a tó partján kórház állt (Papp F. 1942). 1515-ben a tóparti épületeket a Szent Lélek keresztes lovagok lakták, és az okirat szerint e területet akkor „Sicambria mezőnek" hívták (Molnár J. 1873). A Rómaifürdő az egykori Duna-ártér területén helyezkedik el, mely mocsaras térség volt *(1. ábra).* A feltörő vizek energiáját a 18–19. században három lőpormalom hajtására használták (Beck B. 1988). 1895-ben létesült itt a strandfürdő. A forrásokat és a természetes tavat földgáttal vették körül. Az így kialakított medence belső falát kővel és fával burkolták (Lorberer Á. in Csemez A. et al. 1998).

1930-ban a Rómaifürdőt akkori tulajdonosa, a Ringer család részvénytársasággá alakította. 1949-ben került a Fővárosi Gyógyfürdők és Gyógyforrások Vállalat kezelésébe. A forráscsoport hozama az 1940-es években csökkeni kezdett. A Fürdőigazgatóság 1953-ban elrendelte a medencefeneken feltörő források közül négy kimélyítését, és kútgyűrűkkel való kibélelését (Beck B. 1988). Az 1950-es évek végén a források hozama tovább csökkent és a strandfürdőt 1958-ban bezárták. Az 1959-től 1965-ig tartó felújítással a budapesti fürdőkultúra egyik érdekessége tűnt el, ugyanis korábban a fürdőzők magában a forrástóban fürödtek (Csörnyei S. 1967).

A felújítási munkák keretében 19 fúrás mélyült, közvetlenül a források szomszédságában (Scheuer Gy. 2006b). Az eredeti forrásmedencét három részre tagolták, és a jelentősebb forrásokat (14 ilyen volt) külön-külön, aknákkal foglalták. A régészek a feltárások során felfedezték, hogy mind a 14 forrásnak fejlett műszaki szintű foglalata volt, és valamennyi építményben állt egy feliratos oltárkő, valamelyik vízzel kapcsolatos római istenségnek szentelve (Póczy K. 1980). Ez azt bizonyítja, hogy a forrásokat már a rómaiak is foglalták (Csörnyei S. 1967).

Az átépítés során három különálló medencét alakítottak ki, úszómedencét, gyermekmedencét és strandmedencét (Csörnyei S. 1969). Az újjáépített Római strandfürdő 1964-ben nyílt meg újra, de a csúcsfogyasztási időszakokban észlelhető hozamcsökkenés miatt 1987-ben egy újabb 120 m mélységű kutat fúrtak a strand ÉNy-i részén (Beck B. 1988).

Csillaghegyi strandfürdő

A Rómaifürdő után a főváros legrégebbi strandja a Csillaghegyi strandfürdő *(1. ábra).* Az első strandra utaló írás 1858-ból származik Szabó J. geológus tollából. A feltörő források vize egy 1,3 m mély, téglával falazott medencében gyűlt össze, amely 22,75 °C hőmérsékletű vizet szolgáltatott. Szabó J. szerint a források eredetileg itt is egy tóban törtek fel, illetve tavat tápláltak. Az elfolyó vizet pedig malmok hajtására használhatták a medence mellett. Az egykori megfigyelések arra utalnak, hogy a malom lapátjaira vastagon rakódott le a vízből kivált mész (Csörnyei S. 1969).

A fürdő jelentősebb fejlesztésére az első világháborút követően, 1919-ben került sor, amikor a régi falazott medence helyett három vasbeton medencét építettek (Vitéz A. 1980). „A régi medence fenekén feltörő és a kavicsrétegben szétfolyó forrásvíz megfogására a forrásokat teljesen kitisztították, és foglalták. Az így foglalt Árpád-forrásra az új medencét ráépítették" (Beck B. 1988). A forrásfoglalás Zsigmondy Béla nevéhez fűződik (Dobos I. 1973).

1925-ben itt épült meg Magyarország első hullámfürdője (Beck B. 1988). Az újabb medencék több vizet igényeltek a rendszeres vízcsere biztosításához. Ezért a megnövekedett vízigény kielégítésére 1929-ben kutat fúrtak, mely a József-kút elnevezést kapta (Liber E. 1934). Később, 1934-ben egy újabb kutat (II. számú kút – Közkutas-kút) mélyítettek 137 m-ig, míg 1935-ben került sor a III. számú kút (Szivattyús-kút) fúrására, aminek talpmélysége 500 m. Ezekkel a kutakkal már biztonsággal el tudták látni a strand medencéit (Beck B. 1988).

Az 1950-es években indultak meg a strand korszerűsítési munkálatai, amikor már a Fővárosi Fürdőigazgatóság kezelésében működött (Vitéz A. 1980). 1954 és 1962 között a vízhiányos időszakokban a József-kút kivételével a kutak és az Árpád-II.-forrás vizét a Fővárosi Vízművek hálózatára vezették (Alföldi L. et al. 1968). 1971-ben az úszómedencét szűrő-forgató berendezéssel látták el (Meskó Cs. 2001), ettől kezdve télen is üzemelt.

Pünkösdfürdő

A fürdő történetének kezdete Ember Sándor ügyvéd nevéhez köthető, aki a jó üzlet reményében Dunához közeli ingatlanján kutat fúratott (Vitális S. 1935) *(1. ábra).* A mélyfúrású kút létesítése 1934 tavaszán kezdődött, és pünkösd napján 556 méter mélység elérésével fejeződött be, ahonnan sikerült vizet feltárni. Innen ered a Pünkösdfürdő elnevezés. A felszínre jutó víz hőmérséklete 25,4 °C volt, mennyisége pedig 1800 l/perc (Beck B. 1988). A tulajdonos megbízta Hajós Alfrédot, a Margitszigeti Sportuszoda tervezőjét, Magyarország első olimpiai bajnokát, a fürdő megtervezésével. 1935. július 6-án két medencével és a gyermekmedencével meg is nyílt a strandfürdő. Két évvel később került sor a harmadik medence építésére (Beck B. 1988).

A fürdő 1950-ben államosítással került a Fővárosi Gyógyfürdők és Gyógyforrások Vállalat tulajdonába. 1953-ban a lecsökkent vízhozam (950 l/perc-ről 750 l/perc-re) miatt a kutat korszerűsítették, de a kitermelhető vízmennyiség már nem volt elegendő az előírt napi vízcseréhez. A hiányt korábban parti szűrésű vízzel pótolták, majd 1965-ben megkezdődött egy távvezeték megépítése a Római fürdőtől, ami 1966-ban el is készült. Az idevezetett vízzel töltik a nagymedencét, míg a Pünkösdfürdő kútja a kis- és a gyermekmedence vizét biztosítja (Csörnyei S. 1969). A strandot 2002–2003-ban korszerűsítették: valamennyi medencét vízforgató berendezéssel látták el, a létesítmény élménymedencével, csúszdás gyermekmedencével és egy 25 fős finn szaunával bővült.

Békásmegyeri Bründl-forrás

A forrás, mely az északi langyos forráscsoport legészakibb tagja, legkorábbi említése 1920-ból, Schafarzik F. „A Budapesti ter-

3. ábra. A Császár malom és a Császár fürdő 1856-ban
(J. Richter acélmetszete L. Rohbock rajzáról)

mális vízhálózatnak egy eddigelé geológiailag nem méltatott forrásáról" című cikkéből származik. A forrás a Békásmegyeri Téglagyár Rt. gyártelepe mellett található és a nép Bründl-forrásnak nevezi. A telek akkori tulajdonosa, Zuhrmühl Márton a forrást cementfalazatú medencébe foglaltatta, amelyet a lakosság számára falusi mosodának rendezett be. A kifolyó víz hőmérséklete 18 °C volt. Azt is megállapította, hogy a forrásvíz meszes, amit a medence falazatán kivált mész is jelez. 1920-ban a Zuhrmühl család a területen fürdőt létesített Attila-strandfürdő néven, amelynek vízbázisa a Bründl-forrás volt. A forrás vizét a szomszédos téglagyár üzeme is felhasználta (Liber E. 1934). Az Attila-fürdő 1920 és 1945 között e forrás hasznosításával működött, de a második világháborúban megsemmisült. Ezért 1945 óta a forrás vize hasznosítatlanul elfolyik. Az egykori strandmedence ma is megtalálható tönkrement állapotban (Peregi Zs. és Scheuer Gy. 1969). A II. világháború után a forrás környéke évtizedekig romos állapotú maradt. 1967-ben karsztvízszint-észlelő fúrást telepítettek mellé, majd 1982-ben vizét kivezették a közeli útárokba. A forrás 1991-ben teljesen elapadt, de 1993 tavasza óta újra működik (Lorberer Á. in Csemez A. et al. 1998).

„Felhévíz", a Lukács fürdő és környezete

A Rózsadomb és a Duna közötti folyóparti régióban ősidők óta használják a különböző hőmérsékletű forrásvizeket *(1. ábra)*. A fürdőhely már a rómaiak idejében az ember gyógyulását szolgálta, csakúgy, mint a legtöbb budai forrás (Dobos I. 1994). Anonymus hunokról szóló leírása szerint Attila és serege az V. század közepén itt telepedett le, s egyes krónikások alapján ugyancsak e meleg források mellett táboroztak annak idején Árpáddal az élükön a magyarok. Gézavására volt az az ősi település, révátkelőhely a mai Margit híd budai oldalán, amelyet még I. Géza király 1075 körül alapított, s amelynek első írásos említését egy 1148-ból származó oklevélben találhatjuk. A keresztes lovagok betegápolásra szerveződött trinitárius rendjének kolostora, temploma és kórháza működött itt, amelyhez fürdő is tartozott. A templom alapfalait 1906-ban a Bem mozi alatt tárták fel.

A fürdőhely mögötti dombvidékre vonatkozó első utalások II. Endre király okirataiban találhatók. Ezek a Szemlő-hegyet (a s. l. Rózsadomb része) Baba- vagy Bába-hegyként emlegetik, a közeli, magasabb hegyekkel való összehasonlításban. Újlak és a Víziváros közötti területen alakult ki az Országút (Landstrasse) nevű városrész, amely nevét a rajta áthaladó országút nyomvonaláról kapta. Ez nagyjából a Margit körút helyén volt. A településnek ezt a részét a 15. századtól már Felhévízként említik.

A középkorban Felhévíz Buda önálló jogállású elővárosa lett. Nevét a területén nagyszámban előforduló meleg forrásokról kapta. A „Fel" előtag arra utal, hogy a felső hévizekről van szó, szemben a tőle délre fakadó és a későbbi Rudas, Rác és Gellért fürdőt tápláló „Alsó" hévizekkel. Felhévíz a középkorban virágzó településsé vált. A mai Lukács és Császár fürdők helyén álló egykori fürdőket jelentős gyógyhelyként tartották számon.

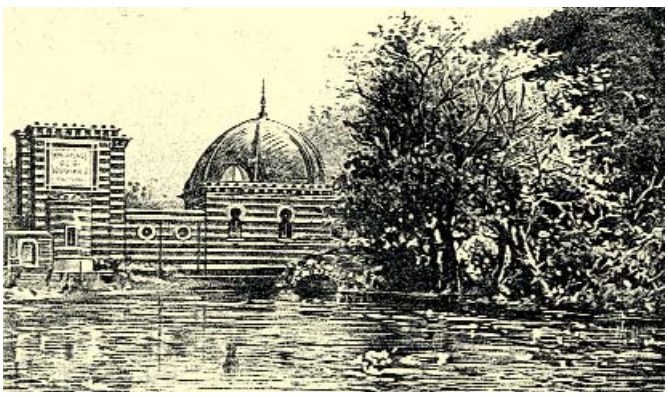
A török idők jelentették a terület első virágkorát. A török hódoltság elől nyugatra menekülő esztergomi érsek, Oláh Miklós emlékezetből írt (1536) Felhévízről, mely „társas egyházáról és ízléses házakkal körülvett hőforrásairól híres… Némelyek közülük a Duna-parttól alig tízlépésnyire találhatók a szabad ég alatt, ezekben szoktak fürödni a földművesek és a szőlőmunkások úgy, hogy csak a fejük és a válluk látszik ki…" (Dobos I. 1994). A Lukács fürdő az 1500-as években mint úri gőzfürdő erős, timsós vizéről volt nevezetes. A timsós medence falai és kupolájának romjai még a 19. században is álltak (Liber E. 1934).

A török hódoltság idején megnőtt a nyugati világ érdeklődése Magyarország iránt. Wernher György Herberstein Zsigmond báró felkérésére írta meg a magyarországi gyógyforrásokról és vizekről szóló művét, amely először 1549-ben Bázelben jelent meg. Ebben rögzíti, hogy a forró és a hideg vizek egymás tőszomszédságában fakadnak a felszínre. A víz annyira forró, hogy benne a tojás is megfő **(3. ábra)**.

A török hódoltság idején e területen komoly változások mentek végbe: míg korábban a források vizét „csak" gyógyászati és fürdőzési célokra használták, ekkoriban négy alulcsapott vízimalmot építettek a források hasznosítására. Buda 12. helytartójának, Musztafa pasának a nevéhez fűződik egy négytornyú, puskaport és gabonát őrölő, 80 garatra járó malom építése, amely télen is zavartalanul működött a forrásvízzel. Evlia Cselebi történetíró Barutcháne Ilidzseszikénti (Lőporraktár fürdőként), majd később Császár malom néven említi ezeket *(3. ábra)*. A malmokat 1860-ban leszerelték ugyan, de a tornyok kerek alapját sokáig a 40 °C-os forrásvíz felfogására használták (Dulácska G. 1882). Szintén Musztafa pasa nevéhez kötődik, hogy a fürdővel szemben 1568-ban halastavat alakítottak ki, amelynek nevét a korabeli „hydrografok" adták, akik szerint a kiásatott tóban különböző halak éltek (Magyar Királyi Kincstár, 1883). Később a Malomtó nevet kapta, s ma is így ismert **(4. ábra)**.

Az egyetlen, e területen megmaradt török fürdőt is Musztafa pasa építtette 1570-ben. Kupolája ma a Hild-udvar és az Irgal-

4. ábra. A Malomtó a népgőzfürdővel 1885-ben
(Lieb I. 2004 alapján)



masrendi Kórház modern szárnya közé beékelődve látható. A fürdő közepét nyolcszögű, ötlépcsős fürdőmedence foglalja el, amelyet félgömbkupola fed. A fürdő vízellátását a helyszínen fakadó meleg források biztosították. Egy 1687-ben kiadott királyi rendelet a forrásokat és az összes fürdőt kincstári vagyonná nyilvánította (Liber E. 1934), majd közel száz évig bérlők kezelték.

1800-ban a külföldről hazatérő híres magyar botanikus és hidrográfus, Kitaibel Pál a halastó (Malomtó) vizébe számos halfajt telepített. Ezek hamar kipusztultak, de a tavi rózsa (*Nymphaea thermalis*) megmaradt. A virágot (Dulácska G. 1882) a Nagyvárad melletti hévforrások vizét elvezető Pece patakból hozta. E ritka növény csodájára jártak még a külföldi botanikusok is egészen addig, míg 1865-ben dr. Heinrich, a Lukács fürdő akkori bérlője a tavi rózsákat kitépette.

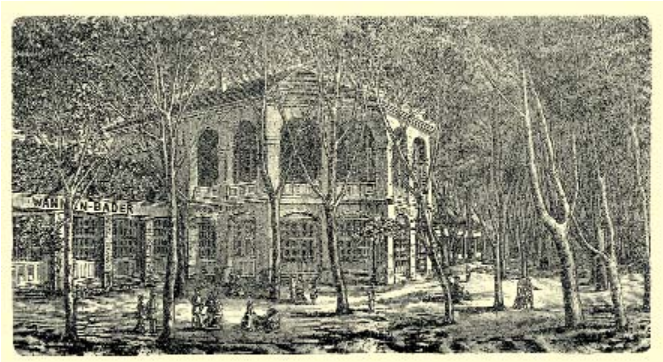
Az 1850-es évektől használják a Lukács nevet a fürdőre. Eredetében azonban nem tudtak közös nevezőre jutni. A mai fürdő kialakításához az első lépést Palotai Fülöp tette meg, aki lebontatta a Császár malmot, és 1885-ben először az uszoda, majd a Malomtó mellett a Népgőzfürdő *(4. ábra)*, végül a gyógyszálló és az iszapfürdő épült fel. Az iszapfürdőben tizenhét különböző hőmérsékletű természetes forrás jutott felszínre egymás szomszédságában. A területen a langyos (20–22 °C) források a Rózsadomb közelében, a meleg források (max. 60 °C) a Dunához közelebb jutottak a felszínre.

A Malomtó fekvése révén állandó forgalmi zavarokat okozott a Bécs—Budapest közötti országúton, 1882-től tervezeteket adtak be a probléma orvoslására. A Fővárosi Közmunkák Tanácsa úgy gondolta, nem lehet a tavat teljesen lecsapolni. Feltételezték ugyanis, hogy e munkákkal a meglévő és esetleg még fakadó forrásokat is befolyásolnák. Ezeket arra az 1858-as tapasztalatra alapozták, amikor a tó lecsapolását követően a Császár fürdő nagy medencéjéből és a Lukács egyik medencéjéből is teljesen kiszáradt a víz, sőt még a Rudas fürdő vízszintje is lecsökkent. A tó lecsapolásának megszüntetésével és eredeti vízszintjének helyreállításával az említett medencék is újra megteltek vízzel. Ezzel bebizonyosodott, hogy a Malomtó és a források között szoros kapcsolat van, és a tó vízszintje befolyásolja a források hozamát (Liber E. 1934).

Az egykori Országút, a mai Frankel Leó utca kiszélesítésének munkálatai 1896 tavaszára fejeződtek be. Az építkezés alatt voltak olyan fázisok, amikor mégis szükség volt a tó megcsapolására. Ezekről az eseményekről Liber E. (1934) a következőket írta: „Ezeknél a munkálatoknál a víz színét le kellett süllyeszteni. Ebből a célból függőleges aknát építettek, amelyen át a tó vize a levezető csatornába zuhogott. 1896. február 20-án történt a megcsapolás, aminek következtében 2 nap alatt a tó tükre 175 cm-t apadt, 1,2 mm percenkénti sebességgel, egészen március 12-ig. Tehát 21 napon át körülbelül 1 millió köbméter vízmennyiség ömlött a Dunába."

A terület fejlődésének további lendületet adott 1893-ban a Szt. Lukács Gyógyfürdő Részvénytársaság megalapítása **(5. ábra)**. Az egyemeletes fürdőépület eredeti formájában valószínűleg Hild József klasszicista stílusú műve, amelyet 1924-ben átalakítottak. A fürdő udvarán, a falakon ma is láthatók a gyógyvíznek köszönhetően felgyógyultak hálatáblái. Mellettük egy csavart kőoszlopon Szent Lukács 1760-as évekből származó szobra áll. A szobrot a fürdő államosítása után az 1950-es években el akarták távolítani, de ez meghiúsult, ugyanis az eltávolítással megbízott munkás leesett az állványzatról, ezután már senki sem vállalkozott a szobor leemelésére.

A Lukács mindkét világháborút átvészelte. A fürdőt és az 1899-től itt palackozott „Kristály" ásványvizet az egész világon ismerték. Nemcsak kellemes üdítőital volt, hanem az étvágytalanságra és a gyomor- és bélhurutos panaszokra is segítségül szolgált. A fürdő második világháborúban lerombolt épületeit a háború után helyreállították, de nem mindegyik töltötte be korábbi szerepét. Az egykori szálloda helyére a Reuma Kórház és a Balneológiai Kutató Intézet került, a kórház beleolvadt az Országos Reuma és Fizioterápiás Intézetbe. A Lukács fürdőben létesült Budapest első Komplex Fizioterápiás Osztálya 1979-ben.



5. ábra. A Lukács fürdő és az udvar (Dulácska G. 1882)

Az államosítás után az egyesült Lukács és Császár fürdőt a gyógyászati részlegekkel együtt a Fővárosi Fürdőigazgatóság vette kezelésbe. A szennyezések miatt veszélyeztetett források mellett egyre több fúrt kutat létesítettek, melyek révén biztosítani tudták a megfelelő vízminőséget. Napjainkban a Lukács Gyógyfürdőt, a többi budapesti gyógyfürdővel együtt, a Budapest Gyógyfürdői és Hévizei Zrt. működteti. Területén termál gőzfürdő, uszoda, iszapfürdő, kádfürdő és ivócsarnok üzemel. A fürdőt 1999 és 2002 között átépítették, azóta is folyamatosan korszerűsítik. A medencéket vízforgató berendezéssel látták el és élménymedencét alakítottak ki az egykori iszaptó helyén. A területet ma a fürdő mellett a Budai Irgalmasrendi Kórház használja.

„Alhévíz", a Gellért fürdő és környezete

Az „alhévízi", azaz a Gellért-hegy előterében fakadó forráscsoport vizét három fürdő hasznosítja, ezek a Gellért, a Rudas és a Rác fürdők *(1. ábra)*. A mai Gellért gyógyfürdő területén feltörő „csodahatású" forrásokról már a 15. századból találunk feljegyzéseket. A Margit-legenda szerint – amelyet egy domonkos apáca másolt 1510-ben – a Szent Gellért-hegy tövében volt II. Endre magyar király leányának, Szent Erzsébetnek az „ispotálya", amelyben ő maga is ápolta, fürdette a betegeket (Liber E. 1934, Vitéz A. 1980, Beck B. 1987). Irodalmi források a mai Gellért fürdő területét jelölik meg az egykori fürdőkórház helyéül (Liber E. 1934).

Gellért fürdő

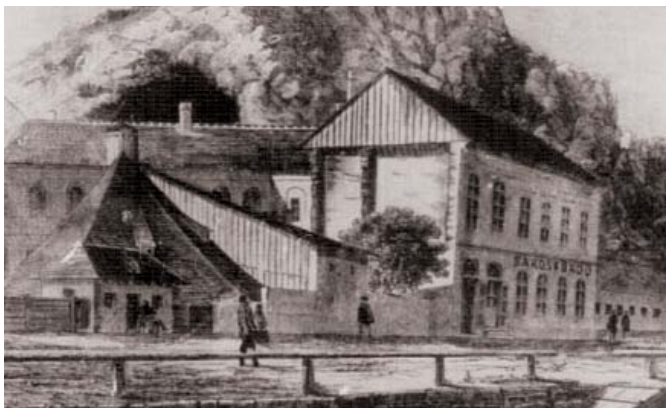
A Gellért fürdő említésének első nyomai 1433-ból ismertek Bertrandon de la Brocquière munkájából, amelyet az idősebbik Wernher György 1551-ben Bécsben megjelent *Hypomnemation de admirandis Hungariae aquis* című feljegyzése rögzít (Liber E. 1934). A mai Gellért fürdőt közfürdőnek nevezi, amely fölött egy meredek kőszikla emelkedik. A Mátyás király korából származó iratokban szereplő „Alhévíz" városrész nevet is e helyre vonatkoztatják (Beck B. 1987).

A törökök kedvelték ezt a fürdőt, mivel nagyobb és forróbb vizű volt, mint a többi korabeli budai fürdő. „Ezért valamennyi fürdőnek eleibe helyezték" — mondja Wernher —, amelyet Pur-

gatóriumnak (*Wageweier*) is neveznek. Ugyanis a bűnösök bűneik nagysága szerint a tisztítótűzben szigorúbb vagy enyhébb büntetést nyernek, a forrásvíz emelkedő hőmérséklete miatt. Úgy véli, hogy a Gellért forrásait a törökök foglalták.

Brown angol orvos 1673-ban megjelent útleírásában is megemlíti az akkori Wageweier–Purgatorium nevű fürdőt, amit a törökök Aga fürdőnek, Adzeika Ilidzsának, vagyis „nyílt, szabad fürdő”-nek neveznek (Vitéz A. 1980, Beck B. 1987). A fürdőcsarnokot faragott kövekből a törökök építették. Hammer 1675-ben említi, hogy „a Gellért-hegy aljában, melyet a törökök Karghabairinek neveznek, fekszik a Sárosfürdő, vagy Blocksbad” (Tarczy Z. 1883, Liber E. 1934).

Buda várának visszafoglalása után I. Lipót a romba dőlt fürdőt udvari orvosának, Warfenbergi Ilmer Frigyesnek ajándékozta, melyet 1809-ben nyilvános árverésen Sagíts István vett meg. A fürdő igénytelen épülete szorosan a hegy sziklafalánál, a barlang alatt állt. A nagy közös fürdőn kívül három kőfürdője és nyolc kádfürdője volt. A medence vize tiszta, világoskékbe játszó volt; fenekén és falain a forrásvízzel feltörő rendkívül finom forrásiszap – helyesebben dolomitliszt, dolomitkristályok halmaza – jött a felszínre, majd ülepedett le, mikor ezt az iszapot felbolygatták, a víz sáros elszíneződést mutatott. Erről kapta a fürdő magyar elnevezését (Sárosfürdő) (Schams 1822, Beck B. 1987) **(6. ábra)**.



6. ábra. A budai Sárosfürdő a 19. század végén
(Dobos I. archívumából)

1894-ben, amikor az akkori Ferenc József híd építését és a Gellért tér rendezését megkezdték, a régi fürdőépületet, amely az új híd tengelyébe esett, az állam kisajátította és lebontatta. A forrásvizeket összegyűjtő medencét, új rendeltetésének megfelelően, korszerűsítették, és ettől kezdve a fürdőosztályok gyógyvízellátását szolgálta (Beck B. 1987). A régi, híres gyógyforrások vízellátására telepített új gyógyfürdőt és szállót 1912-től 1918-ig építették Szent Gellért Gyógyfürdő és Szálló néven. Az építkezést az első világháború jelentősen hátráltatta.

A gyógyfürdő 1927-ben a mesterséges hullámfürdőt is magába foglaló strandfürdővel, 1934-ben pedig egy télen-nyáron üzemelő, pezsgő vizű fedett uszodával bővült (Liber E. 1934). Az 1980-as évek elején került sor a Gellért gyógyfürdő kádosztályainak, iszaposztályainak korszerűsítésére, valamint a fürdőhöz kapcsolódó orvosi osztályok teljes átépítésére (Vitéz A. 1980).

Rudas fürdő

A fürdő a Gellért-hegy keleti sziklaoldala alatt fekszik (Gerlóczy Zs. és Hankó V. 1891). A fürdő elnevezése nem tisztázott. Joanovits Pál szerint Buda visszafoglalása után a tabáni szerbek és bosnyákok „Rudna ilidzsé”-nek nevezték. Ez a név pedig a délszláv „ruda” (bánya) szóból származhat, vagyis megfelel a Mineralbad német elnevezésnek: ásványos fürdő. A „Ruda” szó pedig megkapta a magyar „-s” képzőt (Beck B. 1987).

7. ábra. A Rudas fürdő medencéje a török időkből
(Dobos I. archívumából)

Az sem deríthető ki egyértelműen, hogy a török idők alatt épült-e a fürdő, vagy már annak előtte is létezett. Buda végleges 1541-es török megszállása alatt Buda korábbi építészeti emlékei túlnyomórészt elpusztultak. A törökkori épületekhez is ezek kőanyagát használták fel. Az ekkor a Gellért-hegyen álló Szent Gellért-templom köveiből derviskolostort építtetett Mohamed pasa. A derviskolostor – Istvánffy Miklós és Miller János szerint (Beck B. 1987) – az akkor Kis-forrásnak nevezett Hungária-forrással állott kapcsolatban, melyet a törökök már ismertek és köré téglával burkolt medencét építettek (Beck B. 1987). A Rudas a török hódoltság alatt indult nagyobb arányú fejlődésnek **(7. ábra)**.

A fürdő első pontosabb leírását Aaschiknak (Mohamed Ben Omer Ben Bajefid) a bécsi levéltárban lévő, 1597-ből származó kéziratában találjuk (Beck B. 1987). A forrás olyan bővizű volt, hogy két malmot is hajtott. 1608-ból keltezett kézirat szerint a fürdő vize olyan forró, hogy a tojást is megfőzi. 1686-ban hosszas ostrom után Buda felszabadult a török uralom alól. Az ostromot a Rudas fürdő viszonylag épségben vészelte át. I. Lipót a törököktől visszafoglalt területeket, így a budai fürdőket is kincstári tulajdonnak tekintette, s a Kamarával kezeltette.

1691-ben kétszer három évi használatra átengedték a városnak a mai Rudas és Rác fürdőket, majd a Rudas fürdőt végleg a kincstár vette át.

1711-ben épült fel a mai Erzsébet híd közelében a repülőhíd, amelyről a fürdő a „Bruckbad” nevet kapta. Az 1800-as évek elején a legelterjedtebb elnevezései a „Pestherbad, Bruckbad, Hidegfürdő” nevek voltak.

1829-ben a város elhatározta a fürdő teljes átépítését, ekkor nyerte el a fürdő jelenlegi alakját. Az alapozás során tárták fel a jelenleg is meglevő (Diana-) és Hygeia-forrásokat. Buda város közgyűlése a Rudas fürdő irányítását 1866-ban saját irányítása alá vonta, és elrendelte mielőbbi átépítését.

Az átépítés első nagy tervét 1876-ban Ybl Miklós készítette. Az úszócsarnok 1896-ban nyílt meg. Az első világháború alatt és

közvetlen utána a fürdő óriási forgalmat bonyolított le. 1923-ban kezdődött el és 1924-ben fejeződött be a Hungária-forrás ivócsarnokának építése. 1924-ben felépítették, és 1933-ban kibővítették a fürdő épületében lévő ivócsarnokot is (Vitéz A. 1980, Beck B. 1987).

A fürdő 1944. december 24-én üzemelt utoljára, mert a második világháborúban jelentős károsodás érte. Ezt követően csak 1946 elején nyílt meg újra. 1964. október 18-án az erősen leromlott műszaki állapotban lévő uszodarészt bezárták, és megkezdődött a teljes felújítás. A török medence, majd a kádfürdő rész legutóbbi rekonstrukciója 2004 és 2005 között zajlott le. A fürdő legutóbbi átépítése 2014-ben fejeződött be.

Rác fürdő

A fürdőt valószínűleg Zsigmond császár építtette. Molnár János 1863-ban megjelent munkájában arra hivatkozik, hogy a Rác fürdő épületében Corvin Mátyás királynak a címerét lehet látni egy nagy márványlapon. Ebből arra következtethetünk, hogy a fürdő Mátyás király budai fürdő építkezésének a maradványa. Evlia Cselebi budai fürdőkkel foglalkozó leírásában a fürdőt „Debbag-Chane" fürdőjének nevezi, amely elnevezés az ottani tímárműhelyekre utal. Megemlíti, hogy a forrás kéntartalmú vizét az aranyművesek fényesítési munkálatok során is hasznosították (Vitéz A. 1980).

A Rác nevet a fürdő I. Lipót idején kaphatta, a török után a Tabánba települő szerbekről. 1860-ban Heinrich Nepomuk János orvos vásárolta meg, és Ybl Miklós tervei szerint tetemes költséggel átépíttette (Liber E. 1934). 1931-ben Árpád-házi Szent Imre herceg halálának 900. évfordulóján nevezték el Szent Imre fürdőnek, de napjainkban újra a Rác fürdő elnevezés használatos (Liber E. 1934, Beck B. 1987).

A fürdő épülete Budapest ostroma alatt súlyos, mintegy 85%-os károsodást szenvedett. A háború utáni nyilvános megnyitására 1945 októberében került sor. A romos épületrészek elbontása 1959–60-ban megtörtént, és a megmaradt fürdőrész felújítása 1965-re készült el. Jelenleg az utóbbi évtizedben teljesen átépített és korszerűsített fürdő zárva tart.

Összefoglalás

Budapest langyos és termál forrásai egyedülálló módon a város belterületén, a Duna jobb partján jutnak felszínre. A település kialakulása is e kivételes természeti adottságnak köszönhető. A történelem folyamán a fürdőkultúra legnagyobb virágkora a római korra és a török időkre tehető. Ugyanakkor a mai főváros élete szempontjából is éppen olyan nélkülözhetetlenek a forrásokra települt korszerű fürdők, mint a korábbi évszázadokban. A forrásokat kezdetben foglalással vették igénybe és közvetlenül került vizük felhasználásra. A tisztálkodási, balneológiai, gyógyászati célok mellett – csakúgy, mint napjainkban – a fürdők a szórakozás és a kultúra számára is otthont adtak. E vizek energetikai hasznosítására is már a római korban sor kerülhetett, hiszen padlófűtés céljából a forrásvizek hőjét is igénybe vették. Később a források energetikai célú használatának meghatározó formája volt a vízimalmok működtetése a középkorban, melyekkel az ország puskapor- és gabonakészleteinek őrlését végezték. A 19. században a forrásokat fokozatosan fúrt kutakkal helyettesítették a víz minőségének megőrzése és a felhasználható vízmennyiség növelése érdekében. Természetesen több fürdő is létesült kizárólag fúrt kutakra alapozva, a korábbi források közelében. A kutakon keresztüli vízhasználat megtette negatív hatását, amennyiben a természetesen utánpótlódó vízkészletekhez képest több vizet használtak. A 19. század végén és napjainkban is egyre inkább előtérbe kerül, hogy a vizek balneológiai célú felhasználása mellett azok hőjét is kiaknázzuk fűtési célból. Az egykori forrásokra települt fürdők egy része sajnálatos módon ma zárva tart, holott átépítésük és korszerűsítésük megtörtént. Láthatjuk, hogy a langyos és termálforrások használata évezredeken átívelő fővárosunkban és nélkülözhetetlen eleme volt és lesz a jövőben is életünknek.

A múlt dokumentumaiból sokat tanulhatunk a természetes hidrogeológiai rendszer működéséről (források hol, milyen hozammal és összetétellel jutottak felszínre), a vízgazdálkodás átalakulásáról és a sokcélú (hőhasznosítást is beleértve) és takarékos vízhasznosításról. Ezekkel kapcsolatos részletkérdéseket a bevezetőben említett szakdolgozatok tárgyalják bővebben. Mindezek a következtetések a modern vízgazdálkodás számára is fontos adalékkal szolgálnak.

IRODALOM

Alföldi L., Bélteky L., Böcker T., Horváth J., Korim K., Liebe P., Rémi R. (szerk.) (1968): Budapest hévizei. VITUKI, Budapest, 365.

Beck B. (szerk.) (1988): A fővárosi fürdők 75 éve. Pallas Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 319.

Csörnyei S. (1967): A Római fürdő felújítása. Hidrológiai Tájékoztató, 57–63.

Csörnyei S. (1969): Budapest fürdői. Pannónia Filmstúdió, Budapest, 207.

Dobos I. (1973): A 100 éves Budapest gyógy- és melegvizű fürdői. Hidrológiai Tájékoztató, 7–11.

Dobos I. (1994): Balneológia, gyógyfürdőügy, gyógy-idegenforgalom, 15, 2.

Dulácska G. (1882): A Lukácsfürdő. Magyar Kir. Egyetemi Ny., Budapest.

Farkas P. (1998): Óbuda-Békásmegyer földrajzi képe. In: Csemez A., Lorberer Á., Molnár M. (szerk.): Mesél Óbuda földje. Guckler Károly Természetvédelmi Alapítvány, Budapest, 11–27.

Frész R. (2008): A Gellért, a Rudas és a Rác fürdő forrásainak és kútjainak retrospektív kutatása. Szakdolgozat, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 117.

Gerlóczy Zs., Hankó V. (1891): Budapest fürdői és ásványvizei. Lampel Róbert Rt. Könyvkiadó-vállalat, Budapest, 163.

Kis-Csitári T. (2010): Az észak-budai langyos források állapotértékelése a használat kezdetétől napjainkig. Szakdolgozat, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 77.

Liber E. (1934): Budapest-fürdőváros kialakulása különös tekintettel a székesfőváros községi fürdőpolitikájára. I-III. Székesfővárosi házinyomda, Budapest, 596.

Lieb I. (2004): A Lukács fürdő bemutatása. Földtani és hidrogeológiai viszonyai, történetének felkutatása és forrásainak retrospektív vizsgálata. Szakdolgozat, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 42.

Lorberer Á. (1998): Felszíni és felszín alatti vizek. In: Csemez A., Lorberer Á., Molnár M. (szerk.): Mesél Óbuda földje. Guckler Károly Természetvédelmi Alapítvány, Budapest, 43–67.

Magyar Királyi Kincstár (1883): A Lukácsfürdő fürdőhelyei és ásványvizeinek ismertetése.

Meskó Cs. (2001): Gyógyfürdők. Fővárosi Önkormányzat, Főpolgármesteri Hivatal, Budapest, 62.

Molnár J. (1873): A hévvizek Buda környékén. Eggenberger, Budapest.

Papp F. (1942): Budapest meleg gyógyforrásai. A Budapesti Központi Gyógy- és Üdülőhelyi Bizottság Rheuma és Fürdőkutató Intézet kiadványa, Budapest, 252.

Peregi Zs., Scheuer Gy. (1969): A békásmegyeri Attila forrás vízföldtani viszonyai. Hidrológiai Tájékoztató, 104–106.

Póczy K., Hajnóczy Gy. (1960): Római fürdők Budán. Képzőművészeti Alap Kiadóvállalata, Budapest, 44.

Póczy K. (1980): Közművek a római kori Magyarországon. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 154.

Schams F. (1822): Vollständige Beschreibung der königl. freyen Haupt Stadt Ofen in Ungarn. Univ. Druck, Ofen, 672.

Scheuer Gy. (2006a): A Budapest III. ker. óbudai mészképző paleo-hévforrások összehasonlító vizsgálata a mai Árpád forrással. Hidrológiai Tájékoztató, 39–42.

Scheuer Gy. (2006b): Az észak-budai (III. ker.) Üröm-hegy, Péter-hegy környéki pleisztocén paleo-hévforrások összehasonlító vízföldtani vizsgálata a maiakkal. Hidrológiai Közlöny, 86. 4, 45–53.

Tarics S. (1941): Újabb adatok a budapesti langyos forrásokhoz. Hidrológiai Közlöny, 20, 84–88.

Tarczy Z. (1883): A budai Sárosfürdő. Poldini Nyomda, 29.

Vitális S. (1935): A békásmegyeri új artézi kút. Hidrológiai Közlöny, 15, 164–178.

Vitéz A. (szerk.) (1980): Budapest gyógyfürdői és fürdői. Panoráma, Budapest. 207.

Alapi Tünde[1] – Dombi András[2] – László Zsuzsanna[3]– Schrantz Krisztina[1]

[1] SZTE TTIK Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

[2] SZTE TTIK professor emeritus

[3] SZTE Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet

Kémiai oxidációs eljárások a vízkezelésben

Vizeink számos összetevője elengedhetetlen ahhoz, hogy bennük élet legyen, ugyanakkor bizonyos komponensek éppen ezt az életet veszélyeztetik mind a felszíni, mind a felszín alatti vizeinkben. A szennyvizek szinte kivétel nélkül tartalmaznak olyan összetevőket, amelyeket változatlan formában nem lehet kijuttatni a befogadóba. Ezek lehetnek biológiai eredetűek és élettelen anyagok, melyek mennyiségének csökkentéséről, átalakításáról vagy eltávolításáról gondoskodni kell. Az esetek jelentős hányadában fizikai és biológiai módszereket alkalmaznak. Vannak azonban olyan esetek, amikor kémiai módszerek bevetése szükséges. A kémiai módszerektől való idegenkedést a szakmában többnyire a költségek növekedése szokta kiváltani. Vízkezelések során az oxidációt nagyon nagy gyakorisággal alkalmazzák. Több eltávolítandó komponens a felszín alatti víztartókban kialakuló reduktív viszonyok vagy a talajban bekövetkező áramlás során redukált állapotú lesz. Kevés kivételtől eltekintve egy adott komponens redukált állapotú vegyülete vízben jól, oxidált állapotú vegyülete viszont rosszul oldódik. Az egyszerűnek tekinthető szilárd-folyadék fázisszétválasztásra tehát az adott komponens oxidált állapotú formája alkalmas. A patogén és nem patogén mikroorganizmusok egyedszámának szabályozására (fertőtlenítés) csaknem kivétel nélkül oxidációt alkalmazunk. Redukcióval való víztisztítás alkalmazására ritkán kerül sor. Ilyen eset a mikrobiológiai úton megvalósított nitrát eltávolítás, melynek során a denitrifikáló mikroorganizmusok a nitrát ionokat nitrogén gázzá redukálják.

A vízkezelésben a lényeges áttörést a 20. század elején a klórozás bevezetése jelentette, fertőtlenítési céllal. Hatására megszűntek azok a tömeges járványok és fertőzések, amelyek addig a vízellátásnak voltak betudhatók. A gondolat persze nem volt teljesen újszerű, elég csak Semmelweis Ignácra („az anyák megmentőjére”) gondolnunk, aki már a 19. század közepén a gyermekágyi láz valószínűségének csökkentésére alkalmazott klóros vizet fertőtlenítésre. A 20. század elejére azonban az ipar fejlődése (kősó elektrolízise) elérhetővé tette a klór- és klórszármazékokat és azok tömeges alkalmazását.

A klórnak és származékainak elsődleges funkciója a fertőtlenítés. Természetesen egyéb fontos szerepe van még az íz- és szaganyagok eltávolításában, az algaképződés megakadályozásában, a koagulálás növelésében, a szűrők tisztántartásában, vas és mangán eltávolításban, az arzén és szulfid oxidációjában, és nem utolsósorban a vízhálózatok fertőtlenítésében.

Nagyon sokáig, kb. a 70-es évek elejéig igazán nem volt különösebb probléma a klóralapú fertőtlenítéssel. Az analitikai módszerek fejlődése és szélesebb körű alkalmazása azonban rámutatott arra, hogy a klóros fertőtlenítésnél, különösen akkor, ha a kezelendő víz szerves anyag tartalma sem elhanyagolható, klórozott szerves anyagok is keletkeznek, amelyek részben karcinogén, részben mutagén hatásúak. Tekintettel a jelen lévő szerves komponensek sokféleségére, minden komponens kimutatása nehézkes, de a szinte mindig képződő trihalometánok (THMs) jó indikátorai a folyamatnak, az analízisük is viszonylag egyszerű és nem különösebben eszközigényes. Több országban már kötelező, míg máshol ajánlott az analízisük (pl. hazánkban is, megengedett értékük max. 50 μg/l).

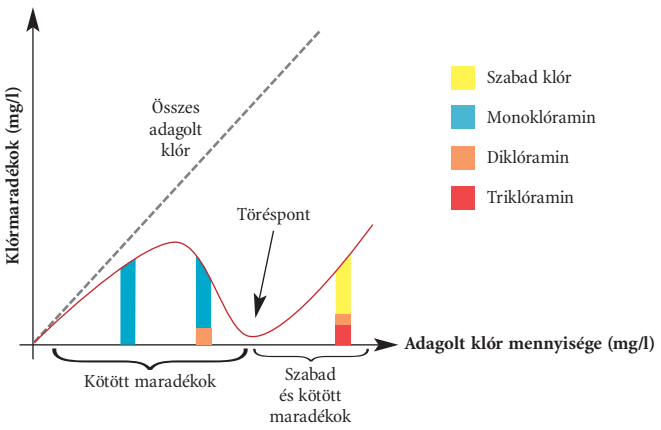
A klórozott szerves vegyületek képződése új fertőtlenítési módszerek keresését indította el. Ezek egyike a klór-dioxid, aminek alkalmazása ugyan csökkentette a THMs-képződést, viszont más problémákat (pl. klorition megjelenését a kezelt vizekben) vetett fel. A klór-dioxidot elsődleges és másodlagos fertőtlenítőszerként, íz- és szaganyag-eltávolítónak, vas(II)- és mangán(II)-ionok oxidálására, szulfid- és fenoleltávolításra használják.

Lehetséges megoldásnak látszik az ózon alkalmazása, ami erélyes fertőtlenítőszer, noha a hálózatban nem marad tartós a hatása. Ezért aztán előkezelésre használják, mert az ózon blokkolja azokat az aktív helyeket a szerves molekulákban, ahol a klór és származékai is támadnának. Érdemes megemlíteni, hogy az ózon növeli a biológiai lebonthatóságot (a biológiai oxigénigényt) is.

Az elmondott fertőtlenítőszerekről, hatásukról és összehasonlításukról az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség (US EPA) honlapján nagyon jó összeállítás található, ami a téma iránt érdeklődőknek ajánlott olvasmány [1].

A klórszármazékok egyik fontos oxidációs reakciója a vízkezelésben az ammóniumionnal való reakció. A fertőtlenítés kapcsán ezt töréspontí klórozásnak nevezik **(1. ábra)**. Lényege, hogy

1. ábra. A töréspontí klórozás vázlata



ammóniumion jelenlétében klórszármazékok adagolásával a szabad klór mennyisége csökken, így a megfelelő szabad klórtartalom csak az ammóniumionok „elfogyása” (töréspont) után adagolt klórral biztosítható. Ez összességében a $2NH_4^+ + 3HOCl \rightarrow N_2 + 3H_2O + 5H^+ + 3Cl^-$ bruttó reakciónak köszönhető. Megjegyzendő, hogy ez egyike azon ritka reakciósornak, ahol a nitrogén negatív oxidációs száma 0-ra növelhető.

A vizek fertőtlenítésére vonatkozó módszerek fejlesztése, természetesen, folyamatos. Régóta ismertek fizikai módszerek (pl. ibolyántúli sugárzás (UV), vagy ultraszűrés), de a kémiai kutatások sem elhanyagolhatók. Érdemes megemlíteni a Fe(VI) használatát, aminek vizsgálatában [2] és alkalmazásában [3] magyar kutatók is jelentős eredményeket értek el. A kémiai oxidálószerek mindegyikéről elmondható, hogy fertőtlenítő hatásúak is. Nem szabad megfeledkezni a heterogén fotokatalitikus módszerekről sem [4], amelyeknek (különösen a napsugárzással gerjeszthető katalizátorok esetében) a fejlődő országokban várhatóan különleges jelentőségük lehet.

A fertőtlenítés témájáról publikációk sokaságát olvashatjuk, a fentieket csak a kémiai oxidálószerek, mint fertőtlenítőszerek fontosságának hangsúlyozása miatt említettük meg.

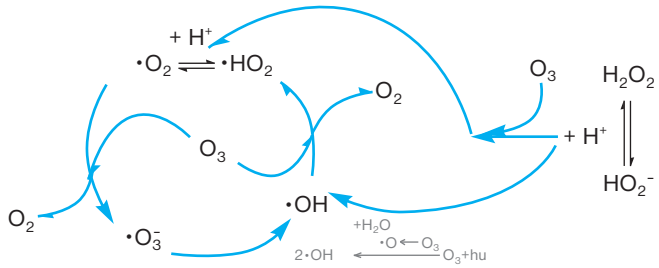
A kémiai oxidálószerek legegyszerűbbike a vízkezelésben a molekuláris oxigén. Néhány komponens eltávolítására (pl. vas(II) és mangán(II)) előszeretettel alkalmazzák napjainkban is, azonban az oxigén vízben való oldásánál (is) körültekintően kell eljárni, mert esetenként az élőlények (főleg mikroorganizmusok) robbanásszerű elszaporodásával járhat. A fentiekben ismertetett fertőtlenítőszerek természetesen kémiai oxidálószerek is.

A vízkezelésben, különösen a szennyvízkezelésben, a nemkívánatos szennyezők lebontására az esetek nagy részében biológiai módszereket alkalmaznak hatékonyságuk és alacsony áruk miatt. A biológiai módszerek lényege, hogy a mikroorganizmusok, életfunkcióik fenntartásához, a vizekben lévő szennyezőket használják fel.

Vannak azonban anyagok, amelyeket a mikroorganizmusok alig vagy egyáltalán nem bontanak le, sőt bizonyos esetekben számukra mérgező hatásúak és így veszélyeztetik a biotechnológia hatékonyságát. Emellett például nagy tisztaságú vizek előállításánál (mikroelektronika, gyógyszeripar, gyógyászat stb.) a biotechnológiai módszerek nem alkalmasak az óhatatlanul visszamaradó szerves nyomszennyezők miatt. Annak ellenére, hogy a kommunális, az ipari, illetve a mezőgazdasági eredetű szennyvizek nagy része hatékonyan tisztítható a biológiai, illetve fizikai-kémiai szennyvízkezelési eljárásokkal, az élővizekbe azonban még mindig jelentős mennyiségben jutnak olyan toxikus (elsősorban ipari eredetű) anyagok, amelyek nem távolíthatóak el a hagyományos technológiákkal; ilyenek például a növényvédő szerek (peszticidek), gyógyszermaradványok, illetve metabolitjaik. Mindezek hatékonyabb tisztítási technológiák kifejlesztését tették szükségessé. Ezek a módszerek kémiai szempontból a biotechnológiai módszerekhez hasonló feladatot jelentenek, azaz a szennyezők „elégetését”, azonban az ember által kifejlesztett módszerek sokkal körülményesebbek, nehézkesebbek, mint a természet nagyon egyszerű, elegáns „technológiái”.

Az új eljárások esetében szempont, hogy csak korlátozott számú és mennyiségű anyagot, illetve természetes anyaggá bomló kémiai adalékokat használnak fel. További nagyon fontos elvárás az is, hogy a módszerek kis energiafelhasználás mellett a szennyezők széles skálájával szemben eredményesen alkalmazhatók legyenek.

A vázolt feltételeknek elvileg eleget tesznek a reaktív gyökök generálásán alapuló módszerek, amelyeket összefoglaló néven



2. ábra. Az ózon gyökös bomlásának vázlata

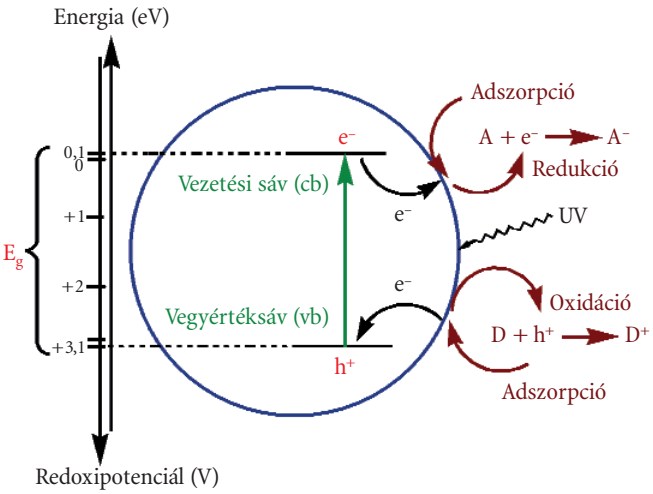
nagy hatékonyságú oxidációs eljárásoknak [5] („*Advanced Oxidation Processes”, AOP*s) nevezünk. Ezek katalitikus, illetve fotokémiai reakciókkal képesek a vízben jelen lévő oldott vagy diszpergált szerves komponenseket oxidatív úton eltávolítani. A nagy hatékonyságú oxidációs eljárások olyan oxidációs kémiai reakciókon alapulnak, amelyek során a szennyezőkből szerves gyökök képződnek, és ezek soklépéses kémiai folyamatokban alakulnak át. A képződött átmeneti gyökök a vízben jelen levő oxigénnel reagálva peroxilgyökökön, illetve peroxidokon keresztül vezetnek a szerves szennyezők részleges vagy teljes mineralizációjához. Mondhatjuk nyugodtan, hogy a nagy hatékonyságú oxidációs eljárások zömében az oxigén aktiválása a cél. Az aktivált oxigén képes a nagyon kicsiny koncentrációban lévő szennyezéseket környezeti körülmények között (hőmérséklet, nyomás) a víz alatt „elégetni”. Mindezen folyamatokat az esetek nagy részében OH-gyök generálásával érik el. A nagy hatékonyságú oxidációs eljárások környezetvédelmi alkalmazásáról e lap hasábjain már korábban írtunk [6].

A vízkezelésben a téma azért is érdekes, mert az EU 2013/39 irányelveiben módosította a vizekben megengedhető elsődlegesen szennyezőnek minősülő anyagok listáját [7]. Az ezekre előírt határértékek jellemzően nagyon kicsiny értékek, és ezeket általában nem lehet biztosítani a hagyományos víztisztítási módszerekkel, csak nagy hatékonyságú oxidációs eljárásokkal. A direktíva által felsorolt (priority) lista több csoportba sorolja az anyagokat. A legterjedelmesebb helyet a peszticidek (szinte minden típusuk) foglalják el, ezt követi a gyógyszermaradványok némelyike, a szerves ónvegyületek, brómozott dodekánok és difeniléterek, a policiklikus aromások (PAHs), a dioxinok és a dioxin típusúak, a szerves oldószerek, és néhány ipari anyag (dietil-hexil-ftalát, perfluoro-oktán-szulfonsav és származékai, nonil- és oktilfenol-izomerek).

A javasolt nagy hatékonyságú oxidációs eljárások [8] az i) UV fotolízis és hidrogén-peroxid adagolása, ii) hidrogén-peroxid és vassók alkalmazása (Fenton-reakció, esetleg UV sugárzás vagy elektrokémiai módszerek kombinációjával), iii) ózon, továbbá UV sugárzás, illetve hidrogén-peroxid alkalmazása, iv) heterogén fotokatalízis, v) egyéb fizikai módszerek (pl. nagy energiájú sugárzás).

UV fotolíziskor az aktív gyökök a $C + h\nu = C^*$ gerjesztési folyamatban képződő energiadús köztitermékek és a környezetben szinte mindenhol jelen lévő oxigén közötti $C^* + O_2 = {}^{\bullet}C^+ + {}^{\bullet}O_2^-$ elektronátviteli reakcióban képződnek (fotokémiai úton esetenként az oxigénmolekula is kiválható), vagy homolitikus $AB + h\nu = {}^{\bullet}A + {}^{\bullet}B$ kötésfelszakítás révén.

A hidrogén-peroxid lúgos oldatban, a $H_2O_2 + HO_2^- = {}^{\bullet}O_2^- + {}^{\bullet}OH + H_2O$ dizmutációs reakcióban szuper-oxid-gyökionra és hidroxilgyökre, illetve UV sugárzás hatására hidroxilgyökökre, $H_2O_2 + h\nu = 2\ {}^{\bullet}OH$, esik szét. A deprotonált hidrogén-peroxid-ion UV-fénnyel való megvilágítás hatására a $HO_2^- + h\nu = {}^{\bullet}OH + {}^{\bullet}O$ reakciókban szintén gyököket képes generálni. A hidrogén-peroxid



3. ábra. A heterogén fotokatalízis folyamatának vázlata

moláris abszorbanciájánál ($\varepsilon = 18{,}6\ M^{-1}cm^{-1}$) több mint egy nagyságrenddel nagyobb ($\varepsilon = 240\ M^{-1}cm^{-1}$) a hidrogén-peroxid-ionénál a gyakran használt kis nyomású higanygőz lámpák emissziós maximumánál ($\lambda = 253{,}7$ nm). Figyelembe véve a hidrogén-peroxid disszociációs állandóját (pK = 11,6), már pH ≈ 10 oldatban közel megegyező a hidrogén-peroxid és a peroxidion fotolízisének sebessége.

Régóta ismert továbbá, hogy bizonyos fémionok, illetve komplexeik töltésátviteli (**Fenton-) reakcióban** hidroxilgyököt képesek generálni. A hidrogén-peroxid Fe^{3+}-ionok jelenlétében, savas oldatban sokkal erélyesebb oxidálószer, mint önmagában. A klasszikus elképzelés szerint ez azzal magyarázható, hogy a hidratált vas(III)ion a $Fe^{3+} + H_2O_2 = Fe^{2+} + {}^{\bullet}HO_2 + H^+$ reakcióban redukálódik. A képződő vas(II)ion a $Fe^{2+} + H_2O_2 + H^+ = Fe^{3+} + {}^{\bullet}OH + H_2O$ szintén gyökképződést eredményező, sokkal nagyobb sebességi együtthatójú Haber–Weiss-reakcióban viszonylag gyorsan oxidálódik, és ezért a katalitikus ciklus gyorsan záródik.

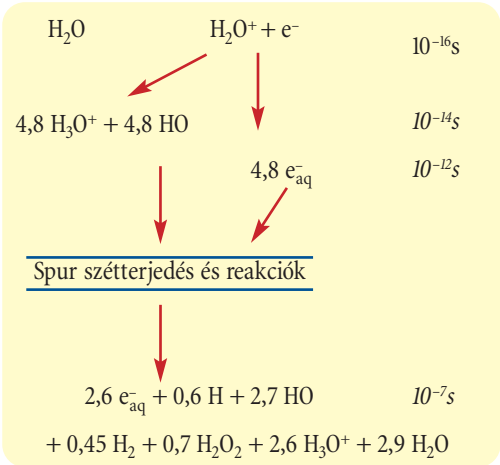
Régóta ismert tény az is, hogy a vas(III) komplexeinek vizes oldatában a komplex gyökképződés közben a $Fe^{3+}(L^-) + h\nu = Fe^{2+} + {}^{\bullet}L$ lépésnek megfelelően elbomlik. Az ún. **foto-Fenton-rendszerek** döntően a vas(III)-komplexekben a megvilágítás hatására a ligandumról a központi atomra való töltésátmeneten alapulnak, és csak kisebb szerepet játszik a hidrogén-peroxid már tárgyalt közvetlen fotolízise.

Röviden összefoglalva megállapítható, hogy a hidrogén-peroxid alkalmazásával végbemenő oxidációs reakciók technológiai alkalmazása mellett szól a módszer olcsósága, egyszerű üzemvitele, viszonylag könnyű szabályozhatósága és kicsiny beruházásigénye.

Az **ózon** önmagában az egyik legerélyesebb oxidálószer (normál redoxipotenciálja +2,07 V). Hatása azonban fokozható, ha bomlását úgy vezetik, hogy abból jelentős mennyiségben gyökök képződjenek [9]. Az ózon gyökös bomlását a hidroxidion mellett számos anyag elősegítheti (iniciálhatja), mint például a vas(II)-, a formiáton, a huminanyagok, továbbá az UV-sugárzás és a hidrogén-peroxid adagolása (mint ahogy a **2. ábra** mutatja).

A **heterogén fotokatalízis** alapja az, hogy egy félvezető megfelelő hullámhosszúságú – a félvezető vegyérték- és vezetési sávjai energiaszintjeinek különbségénél (tiltott sáv) nagyobb energiájú – fénnyel megvilágítva egy elektron a vegyértéksávból a vezetési sávba lép át, és egy pozitív töltésű hibahelyet (lyukat, h^+) hagy maga után [10]. Amennyiben az így kialakult katalizátor felületén van olyan elektrondonor és elektronakceptor, amely képes leadni, illetve felvenni elektront úgy, hogy a tiltott sáv energiája mindkét átalakulás energiaszükségletét fedezze, akkor ez kémiai átalakulások sorozatát indíthatja el. A **3. ábra** az elmondott folyamatot szemlélteti. Ahhoz, hogy a gerjesztést követően redoxireakciók mehessenek végbe, teljesülni kell, hogy i) a félvezetőbeli vegyértéksáv potenciáljának pozitívabbnak, a vezetési sáv potenciáljának negatívabbnak kell lennie a redoxirendszer akceptor-, illetve donorszintje potenciáljánál, ii) a töltésátmenet sebességének versenyképesnek kell lennie az elektron-lyuk pár rekombinációjának sebességével.

A **radiolízissel való gyökgenerálás** módszeréről részletesen olvashatunk *Wojnárovits László* könyvében [11]. A radiolízis kezdeti termékei az ionizáló sugárzás mentén egy kicsiny térrészben, ún. spurban két, ritkán több ionizált részecske jön létre és hidratálódik. Miközben a spurok a diffúzió segítségével szétterjednek, a keletkező, aktív részecskék nem rekombinálódó része reakcióba léphet a jelen lévő anyagokkal. A tiszta víz radiolízisének folyamatát és a keletkező termékeket mutatja a **4. ábra**.



4. ábra. A víz radiolízisének sémája (az anyagféleségek előtti számok az ún. G értéket, a 100 eV besugárzó energia hatására képződő mólszámokat jelzik)

Érdemes felhívni a figyelmet arra, hogy más, nagy energiájú sugárzás, ami a víz elbontásával hoz létre gyököket (pl. vákuum ultraibolya- (VUV) sugárzás) nagyon hasonló típusú részecskéket hoz létre. Természetesen az aktív gyökök koncentrációiban nagy eltérések lehetnek.

A nagy hatékonyságú eljárások hatékonysága nagyon változó lehet [12,13], és nagymértékben függ attól, hogy milyen kémiai szerkezetű szennyezővel reagálnak a gyökök. Érdekes eredményeket publikált Wojnárovits és kutatócsoportja [14]. Radioaktív sugárzással jól mérhető sebességgel OH-gyököt állítottak elő. Ezzel besugározták különböző anyagok oxigénnel telített vizes oldatát, és mérték, hogyan változik a kémiai oxigénigény (KOI). Megállapították, hogy az egy elektronnal oxidálni képes OH-gyök nagy hatékonyság esetén 2–4 elektronos oxidációt hajt végre. Ez akkor következik be, ha a meghatározó szerves gyök gyorsan reagál az oldott O_2-nel, például fenol, maleinsav és fumársav esetében. Ez az érték kisebb, amikor amino-, acetamid- vagy hidrazocsoport kapcsolódik a fenolgyűrűhöz; itt egy OH-gyök két elektronos oxidációt eredményez. A keletkező köztitermékek, gyökök (fenoxi-, anilino-, szemiiminokinon, hidrazil) lassan reagálnak az oxigénnel, ezért a lebontás hatékonysága kisebb.

Az OH-gyök kicsiny szelektivitása miatt a vizek majdnem minden szennyezőjével reagál. Sokszor a mátrix határozza meg

a szabad gyökök koncentrációját és összetételét. Ebből következik, hogy az ilyen jellegű vízkezelési technológiák tervezése gondos előkészületet és nagy körültekintést igényel.

IRODALOM
[1] EPA Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Annual, www.epa.gov/ogwdw/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf, April 1999.
[2] Gombos, E., Felföldi, T., Barkács, K., Vértes, Cs., Vajna, B., Záray, Gy., Ferrate treatment for inactivation of bacterial community in municipal secondary effluent. Bioresource Technology (2012) 107, 116–121.
[3] http://www.ferrate.eu/index.php (utolsó megtekintés: 2015. július 3.)
[4] Veréb,G., Manczinger,L., Bozsó,G., Sienkiewicz, A., Forró, L., Mogyorósi, K. Hernádi, K. Dombi, A., Appl. Catal. B (2013) 129, 566–574.
[5] Oppenländer, T., Photochemical Purification of Water and Air, Ed. Oppenländer, T., Wiley–VCH Verlag, Weunheim, 2003.
[6] Dombi, A., László Zs., Magyar Kémikusok Lapja (2008) 63, 345–353.
[7] http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32013L0039 (utolsó megtekintés 2015. július 3.)
[8] Ribeiro, A. R. Nunes, O. C., Pereira , M. R. F., Silva, A. T., Environ. Internat. (2015) 75, 33–51.
[9] Bühler, R. E., Staehelein, J., Hoigné, J., J. Phys. Chem. (1984) 88, 5450.
[10] Akira Fujishima, Tata N. Rao, Donald A. Tryk, J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev. (2000) 1, 1–21.
[11] Wojnárovits, L., Sugárkémia, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2007.
[12] Von Sonntag, C., Dowideit, P., Fang, X. , Mertens, R., Pan, X., Schuchmann, M. N., Schuchmann, H. P., Wat. Sci. Technol. (1997) 35, 9.
[13] Von Sonntag, C., Schuchmann, H. P., „Peroxil Radicals in Aqueous Solution", in Peroxil Radicals, ed. Alfasi, Z. B., John Wiley Sons, 1997.
[14] Homlok, R., Takács, E., Wojnárovits, L., Chemosphere (2013) 91, 383–389.

Pap Zsolt – Hernádi Klára
SZTE TTIK Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék | pzsolt@chem.u-szeged.hu | hernadi@chem.u-szeged.hu

Heterogén katalizátorok a víztisztításban

Kitekintés a jövő víztisztító technológiái tükrében

A víz jelenléte és fontossága az emberiség mindennapi életében megkérdőjelezhetetlen. A hétköznapi élet szempontjából a víz fogalma döntően az ivóvizünket és a természetes vízforrásainkat fedi. Ahhoz, hogy megfelelő minőségű víz érkezzen naponta a felhasználóhoz, a természetes vízforrások tisztaságának megőrzése kulcskérdés, amelynek fenntartásához a szennyvizek és egyéb szennyező források megfelelő tisztítása szükséges. Nem utolsósorban a környező vízforrások tisztaságára való összpontosítás azért is fontos, mert a vízhez kötött rengeteg állat- és növényfaj egzisztenciája foroghat kockán.

A fenti probléma megfelelő kezelése a fejlett víztisztító technológiák kidolgozásán alapul. A megfelelő kezelés alatt olyan módszerek alkalmazása értendő, amelyek minimális energiabefektetést igényelnek, költséghatékonyak, jó hatásfokkal rendelkeznek és minimális kockázatot képviselnek minden tekintetben (környezetre és emberre gyakorolt hatás). Az előbbi kritériumsorozatnak leginkább a heterogén fotokatalízis felel meg, hiszen a fotokatalitikus szennyvíztisztítás során az energiaforrás a napfény, a katalizátor gyakorlatilag végtelenszer újrahasznosítható, nagy hatékonysággal bontja el a szerves szennyezőket (vízre, szén-dioxidra és szervetlen sókra) és minimális a kockázat a technológia alkalmazása során.

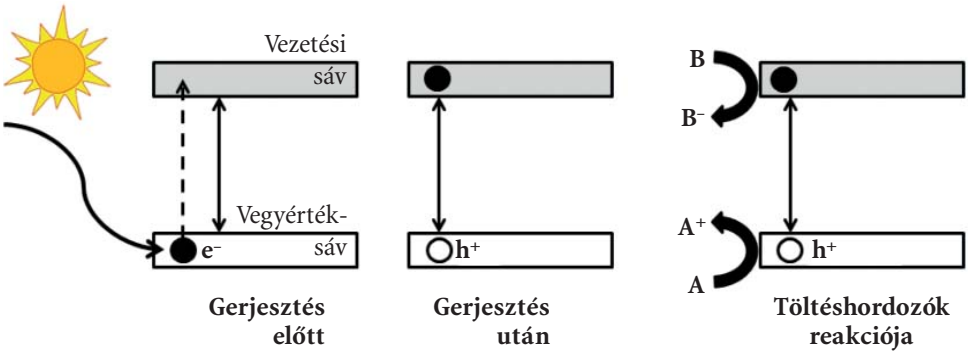
Hogyan működnek a fotokatalizátorok?

A fotokatalizátorok alapvető működési elve a félvezetők sávszerkezetén alapszik. Úgy a szigetelőkben, mint vezetőkben és a félvezetőkben, vezetési és vegyértéksáv, valamint az ezeket elválasztó tiltott sáv található. A szigetelők esetében ez a sáv nagyon széles (3,5–3,6 eV), félvezetőknél mérsékelt (0,5–3,5 eV), a vezetők esetében pedig gyakorlatilag 0. A félvezetők esetében (**1. ábra**), ha megfelelő energiával (ultraibolya (UV), látható fénnyel) egy elektront gerjesztünk a vegyértéksávban, akkor az a vezetési sávba kerül, ami által kialakul egy töltéspár (elektron/lyuk – e^-/h^+). Amennyiben nem rekombinálódik a két töltéshordozó, akkor redoxreakcióban képesek részt venni (a lyukoldalon oxidáció zajlik, míg az elektronoldalon redukció), aminek közvetett eredménye – összetett, gyökös folyamatok révén – a szerves szennyezők lebontása [1]. A bontási folyamatot vagy közvetetten a lyuk végzi, vagy közvetlenül történik, a keletkező OH-gyökök segítségével, amelyek a következő mechanizmus szerint keletkeznek [**(1)–(3) egyenlet**]:

$$h^+ + H_2O \rightarrow \cdot OH + H^+ \quad (1)$$
$$h^+ + OH^- \rightarrow \cdot OH \quad (2)$$
$$e^- + O_2 \rightarrow O_2^{\cdot -} \rightarrow \ldots \rightarrow \cdot OH \quad (3)$$

Nem kérdéses tehát, hogy a fotokatalizátorok hatékonysága a fent említett alapfolyamatoktól függ. Ezeket az elemi lépéseket azonban nagyon nehéz közvetlenül befolyásolni. Közvetetten viszont számos lehetőség áll rendelkezésre.

1. ábra. A fotokatalizátorok működési elve



Mitől lesz hatékony egy fotokatalizátor? Melyik a leggyakrabban használt fotokatalizátor?

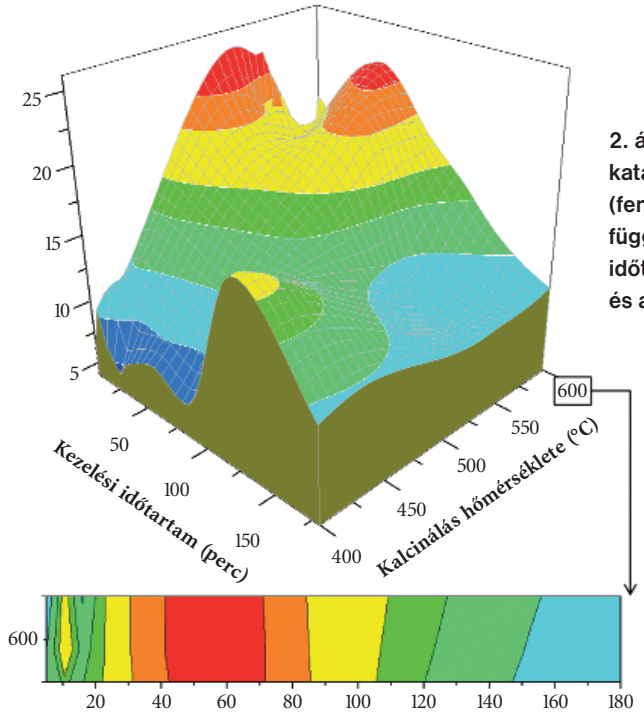
A fotokatalizátorok hatékonyságának növelése egy aktuális kutatási trend az anyagtudomány keretén belül. Mivel a kutatási eredmények alkalmazhatósága nemcsak a fotokatalízis területére korlátozódik, a feltett kérdés évtizedek óta lázban tartja a kutatókat. Elsősorban az adott fotokatalizátor kémiájának és kristályszerkezetének alapos ismerete szükséges, hiszen egy TiO_2 fotokatalizátor hatékonyságának a növelése más módszereket igényel egyéb oxidokhoz, például a ZnO-hoz képest [2]. Továbbá figyelembe kell venni az adott anyag által kínált lehetőségeket is (rugalmasság egy adott előállítási módszeren belül, lehetőségek a katalizátor felületi módosításában, adott kristályrács dópolási lehetőségei stb.) [3], ami szintén meghatározó jellegű. Az előbb felsorolt okok miatt a legkutatottabb fotokatalizátor a TiO_2.

Hogyan állíthatók elő?

A TiO_2 példája egyértelműen jelzi a fotokatalizátorok előállítási módszereinek sokszínűségét is. Emellett a TiO_2 az egyik olyan fotokatalizátor, amely már kereskedelemben is kapható alapvetően elérhető áron (Evonik Aeroxide P25, 500 g ára ≈ 150 USD), az előállítási módszerek fejlesztésének köszönhetően. A TiO_2 előállítására három módszercsoportot érdemes megemlíteni:

- *Szol-gél módszer:* A leggyakrabban használt előállítási módszer, melynek lényege a szolok agglomerációja és összekapcsolása egy teljes részecske hálózattá, „géllé”. Ezt követi egy kristályosítási lépés, majd általában egy egyszerű hőkezelés [4].
- *Szolvotermális kristályosítás:* Egy adott oldószer (víz, alkoholok stb.) jelenlétében történő egylépéses kristályosítás az oldószer forráspontja felett, magas nyomáson (5–100 atm) [5].
- *Alternatív előállítási módszerek:* Az ebbe az osztályba tartozó előállítási módszerek kevésbé kidolgozattak, és jelenleg is számos kutatócsoport fejleszt ilyeneket. A legismertebb ebben az osztályban a lánghidrolízis [6], ennek segítségével állítják elő például az Evonik Aeroxide P25-öt.

Az előbb felsorolt módszerek más fotokatalizátorokra is érvényesek, ilyen például a ZnO, WO_3, Bi_2WO_6 stb., de teljesen más hatékonysággal alkalmazhatóak, mint a TiO_2 esetében. Ez arra mutat rá, hogy mindegyik szintézismódszer teljesen más tulajdonságokkal ruházza fel az adott fotokatalizátorokat, ami arra utal, hogy az előállítási módszer kémiája, a katalizátor szerkezete (kristályméret, kristályfázis szerinti összetétel, felületi atomok oxidációs állapota, felületi csoportok jelenléte), morfológiája (kristálygeometria és pórusszerkezet) és fotokatalitikus aktivitása között szoros összefüggés van.



2. ábra. TiO_2 fotokatalizátorok aktivitásnak (fenol lebontását vizsgálva) függése a hőkezelés időtartamától és a hőmérsékletétől

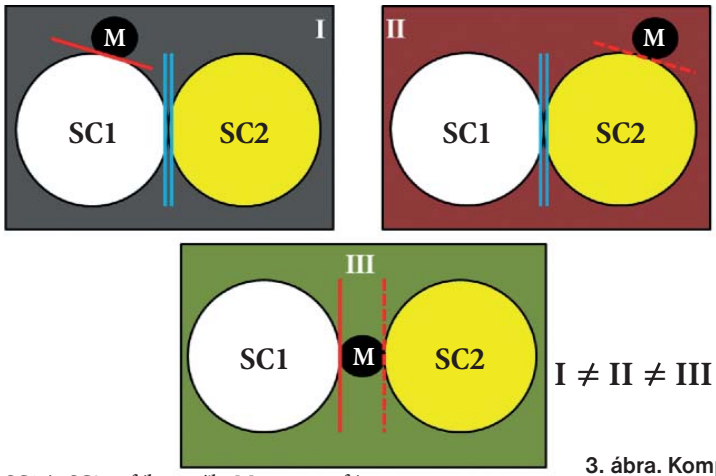
A szerkezet – morfológia – aktivitás szoros kapcsolata

A fotokatalitikus aktivitás optimalizálására adott egy sokváltozós rendszer, ahol mindegyik paraméter összefügg a másikkal. Ennek következtében a kutatások egy-egy adott paraméterre fókuszáltak, miközben szem előtt tartották a teljes paraméterhálózatot. Az egyik kulcslépés a fotokatalizátorok előállításában a kristályosítás, amely történhet közvetetten (amorf anyagból) vagy közvetlenül.

A legegyszerűbb és leggyakrabban használt kristályosítási módszer a hőkezelés (vagy más néven kalcinálás). Nagyon sokáig elemi lépésként kezelték a folyamatot [7]. Ez azonban nem ilyen egyszerű, hiszen a kalcinálás paraméterei elég tág tartományban mozognak. A TiO_2 esetében a hőkezelési hőmérséklet 200–800 °C között változik, és a kezelés időtartama 5 perctől akár 4 vagy éppen 5 óráig is eltarthat. Jó fotokatalitikus aktivitás csak ennek a két paraméternek a megfelelő kombinálásával érhető el **(2. ábra)**.

Mint ahogy a *2. ábra* mutatja, nagy aktivitást több paraméterkombinációval is el lehet érni. A hőmérséklet változtatásával változik a TiO_2-kristályok mérete, aggregációs szintje és a kristályfázis szerinti összetétel (500 °C felett megjelenik a TiO_2 másik kristályfázisa, a rutil, amelynek jelenléte szintén fontos) [8]. A hőkezelési időtartammal pedig a felület kémiai összetételét lehet befolyásolni, ami annyit jelent, hogy rövid hőkezelés esetén kristályrácshibák (Ti^{3+}-centrumok) jelennek meg, amelyek kedvezőek a fotokatalitikus aktivitásra nézve, azonban alacsony hőmérsékleten a rövid időtartamú hőkezelés szénlerakódást eredményez a katalizátor felületére, ami miatt a fotokatalitikus aktivitás jelentősen csökken a fenol bontásában [4]. Hosszú időtartamú (egy óránál hosszabb) és magas hőmérsékleten történő hőkezelés esetén pedig a mért fotokatalitikus aktivitásértékek a középmezőnyben helyezkednek el *(2. ábra),* mert nem lelhetőek fel a felületi hibahelyek (amelyek kulcsszerepet játszanak az OH-gyökök generálásban).

Nem feltétlenül csak az adott fotokatalizátorok szerkezetének a módosításával lehet aktivitásbeli növekedést elérni. Az egyik ilyen alternatíva a (két-, három- vagy akár négykomponensű) nanokompozitok előállítása. A nanokompozitban általában legalább egy félvezető található. A kompozit többi komponense lehet szintén félvezető vagy éppen vezető is (például nemesfémek vagy éppen szénalapú nanostruktúrák). A



SC1 és SC2 = félvezetők; M = nemesfém
Piros = Schottky-gát
Kék dupla vonal = félvezető/félvezető érintkezés

3. ábra. Kompozit fotokatalizátorok komponenseinek kapcsolási stratégiái

kompozitok elkészítésének egyik motivációja a töltések rövid élettartama (10 ns). Ha adott egy másik nanorészecske, amely nagy hatékonysággal átveszi valamelyik töltéshordozót, akkor a rekombináció mértéke jelentősen visszaszorul, ezáltal nagyobb a valószínűsége, hogy részt vesznek a bevezetőben felvázolt redoxreakciókban. Mivel a töltések elvezetéséről van szó, a kompozit fotokatalizátorok működésében fontos szerepet tölt be a komponensek kapcsolódási sorrendje.

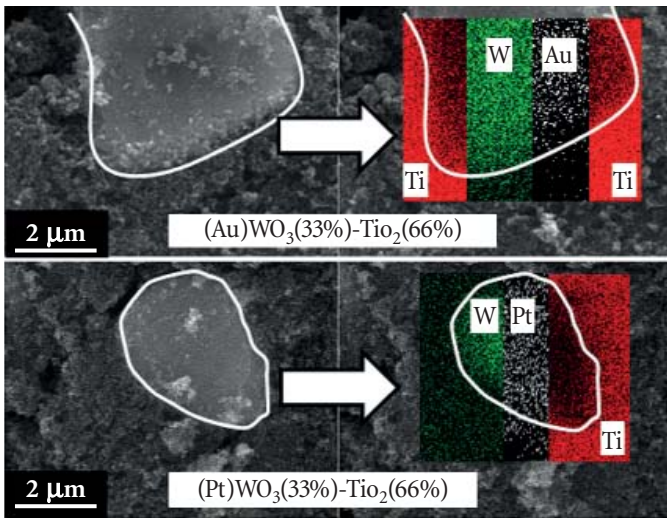
A **3. ábra** sematikusan szemlélteti két félvezető és egy vezető (nemesfém) kapcsolódási sorrendjét. A rendszerben három kapcsolódási sémát képzelhetünk el. Az I eset 1 félvezető-félvezető és 1 félvezető-vezető csatlakozást szemléltet, amely a másodiktól (II) csak abban különbözik, hogy a nemesfém egy másik oxidhoz csatlakozik. A harmadik eset (III) különleges, hiszen két nemesfém-félvezető kontaktus található. Az előbb említett csatlakozások nem lehetnek egyenértékűek, hiszen minden esetben más-más részecske érintkezik egymással [9]. Szelektív fotoredukcióval kialakítható az előbb említett kompozit. A sikeres előállítást a **4. ábrán** bemutatott pásztázó/hibrid (elemtérképpel összevont) elektronmikroszkópos felvétel bizonyítja (a kompozit TiO_2-ból, WO_3-ból és nemesfém-nanorészecskékből épül fel). Annak érdekében, hogy az összekapcsolódási mód hatása észlelhető legyen, az egyik komponens (WO_3) koncentrációját szisztematikusan változtattuk a rendszerben, miközben az adott kompozit oxálsavbontó képességét is nyomon követtük. A kapott eredmények egyértelműen alátámasztják a fent említetteket (**5. ábra**), hiszen amennyiben az Au-nanorészecskék a TiO_2 felszínén tartózkodnak, a WO_3-tartalom növelésével nem észlelhető drasztikus aktivitásbeli eltérés a kompozitok között. Ha a nanorészecskék átkerülnek a WO_3-ra, akkor a WO_3-tartalom növelésével az oxálsav bontásában mutatott aktivitásértékek maximum jellegű görbét írnak le [9].

A fotokatalizátorok aktivitását több szinten is lehet optimalizálni, illetve javítani; a legkutatottabb és aktualitással bíró módszer a kristályok geometriáján keresztül történő fotokatalitikus aktivitás növelés.

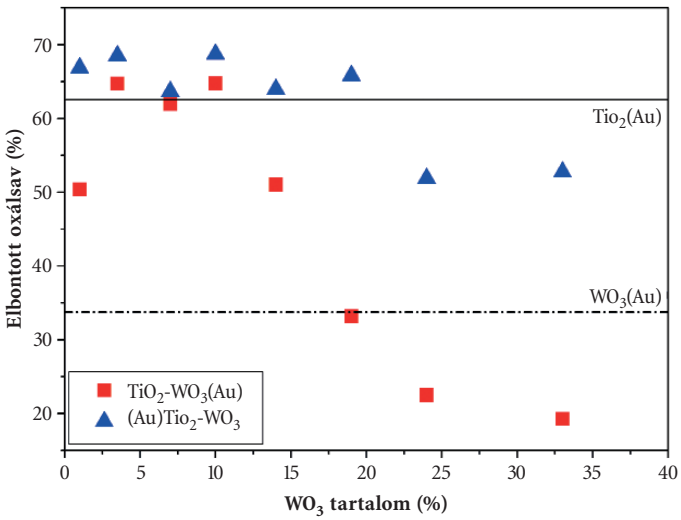
Egy adott kristálygeometriát adott orientáltságú kristálylapok alkotnak. Mindegyik kristályoldal sajátos szerkezettel rendelkezik, aminek következtében specifikus értékeket vesz fel a felületi energia is, ami különböző elektron/lyuk átadási/leadási készséget is jelent. Következésképpen célszerű olyan kristálygeometriák előállítása, melyekben a domináns kristályoldalak a legalkalmasabbak oxidációra (a lyuk töltéshordozó domináns), illetve redukcióra (elektronban gazdag). Az anatáz-TiO_2 esetében a {001}-es kristályoldal az egyik legalkalmasabb oxidációs folyamatokra [10]. Ilyen anatáz-TiO_2 egykristályok elektronmikroszkópos felvételei találhatóak a **6. ábrán**. Mivel a {001}-es kristályoldal nagy reaktivitású, az utólagos hőkezelés során a rendszer szeretne stabilizálódni (polikristályossá válni). A rendszer átkristályosodik, miközben szabályos kavitációkat hoz létre, a hibahelyek (a korábbiakban tárgyalt Ti^{3+}-centrumok fontossága) megjelenésével párhuzamosan.

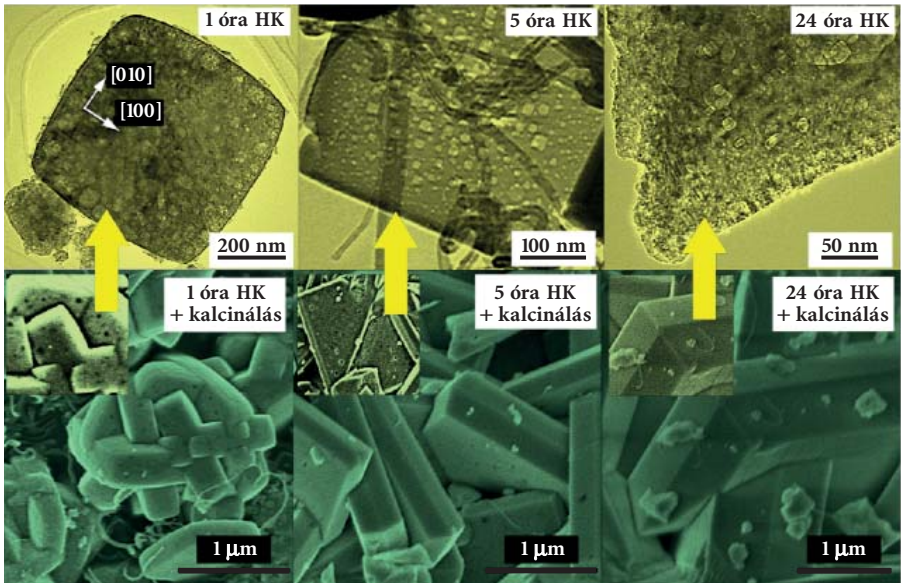
A {001} kristályoldal dominanciájú anatázkristály fotokatalitikus aktivitása fenol bontásra UV-fényben messze meghaladja a polikristályos TiO_2-ét (akár 18-szoros aktivitásértékek is elérhetőek), de a kavitációs {001} kristályoldallal rendelkező TiO_2 fotokatalitikus aktivitása még ennél is kiugróbb (50-szeres fotokatalitikus aktivitás!). Ezen a példán keresztül is egyértelműen látható, hogy a kristály morfológiá-

4. ábra. Irányított kapcsolású kompozit fotokatalizátorok pásztázó elektronmikroszkópos felvétele és elemtérképe



5. ábra. Irányított kapcsolású kompozit fotokatalizátorok aktivitása oxálsav bontásában





6. ábra. {001}-es kristályoldal dominanciájú anatáz-TiO_2 mikrokristályok elektronmikroszkópos (pásztázó és transzmissziós) felvételei. Kristályoldal irányított kavitációk jelenléte

ja hogyan befolyásolja a szerkezetet és a kettő együttesen a fotokatalitikus aktivitást [5].

Technológiai megoldások a fotokatalizátorok alkalmazására

Mivel már számos nagy fotokatalitikus aktivitású anyag kapható elérhető áron a kereskedelemben, a következő lépés ezeknek az anyagoknak a hatékony alkalmazása a mindennapi életben. Itt részsikerek könyvelhetők el, például szuperhidrofil üvegek előállítása, öntisztuló festékek kidolgozása és öntisztuló műanyag felületek létrehozása. A víztisztítási alkalmazásokat azonban még több okból is fejlesztik. A fotokatalizátorok működését alapvetően szuszpenzió formájában tesztelik, amely valós szennyvízkezelésre kivetítve óriási többletköltséggel járna, hiszen a fotokatalizátort el kell távolítani a kezelt vízből. Erre hatékonynak bizonyuló megoldás a rögzített fotokatalizátorok alkalmazása.

A **7. ábrán** szemléltetett berendezés Al_2O_3 kerámiapapírra rögzített (kereskedelmi) TiO_2 fotokatalizátort tartalmaz. Napelem biztosítja annak a szivattyúnak a működését, amely a szennyezett vizet szállítja a tartályból a berendezés lejtős részének tetejére. A víz végigfolyik a fotokatalizátorral kezelt kerámiapapír felületén, miközben folytonosan meg van világítva a felülete (a fényforrás a nap). A szennyezett vizet többször végigfolyatva az adott szennyező lebomlik. A rendszer gyakorlatilag „önellátó”, hiszen a víz mozgatásához, valamint a fotokatalizátor aktiválásához szükséges energiát a napfény biztosítja. Egy ilyen berendezéssel három óra alatt teljesen el lehet bontani monuront, oxálsavat vagy éppen fenolt [11].

7. ábra. Napfénnyel működő fotokatalitikus víztisztító berendezés

Perspektívák a fotokatalízisben és annak alkalmazhatóságában

A fotokatalitikus szennyvíztisztító technológiák fejlődése két területen is folyik, mint ahogy az eddigi alfejezetben tárgyalták a szerzők. Az egyik fejlődési front a fotokatalízis anyagtudományi jellegében van. Úgy tűnik, hogy a kristálygeometria és a méretszabályozás (avagy „nanoszobrászat”) a hatékonyabb katalizátorokhoz vezető egyik lehetséges út. A módszer a kompozitok esetében is nagyon jól alkalmazható, hiszen a járulékos komponensekre (nemesfémek, különböző nanoszerkezetű szénfajták vagy egy másik félvezető) is kiterjeszthető ez a megközelítés.

A másik fejlődési frontot pedig a különböző alkalmazásformák jelentik. A fotokatalizátorokat többféleképpen is próbálják könnyen hasznosíthatóvá tenni: festékekben (fertőtlenítő és légtisztító festékek), építőanyagokban (felületi bevonat), műanyagokban (hétköznapi használati tárgyak öntisztuló felülete) vagy egyéb hordozókon. Az ilyen típusú felületek akár több funkciót is elláthatnak, ilyen például az elektromos áram előállítása (fotokatalitikus üzemanyagcella, amely elbontja a szerves szennyezőket, miközben elektromos áramot állít elő) vagy éppen a fotokatalitikus hidrogénfejlesztés.

IRODALOM

[1] S. Malato, J. Blanco, A. Vidal, C. Richter, Appl. Catal., B (2002) 37, 1–15.
[2] F. Kayaci, S. Vempati, I. Donmez, N. Biyikli, T. Uyar, Nanoscale (2014) 6, 10224–10234.
[3] G. Liu, L. Wang, H. G. Yang, H.-M. Cheng, G. Q. M. Lu, J. Mater. Chem. (2010) 20, 831–843.
[4] Zs. Pap, V. Danciu, Zs. Cegléd, Á. Kukovecz, A. Oszkó, A. Dombi, K. Mogyorósi, Appl. Catal., B (2011) 101, 461–470.
[5] K. Vajda, Zs. Kása, A. Dombi, Zs. Németh, G. Kovács, V. Danciu, T. Radu, C. Ghica, L. Baia, K. Hernádi, Zs. Pap, Nanoscale (2015) 7, 5776–5786.
[6] N. Balázs, K. Mogyorósi, D. F. Srankó, A. Pallagi, T. Alapi, A. Oszkó, A. Dombi, P. Sipos, Appl. Catal., B (2008) 84, 356–362.
[7] K. Mogyorósi, É. Karácsonyi, Zs. Cegléd, A. Dombi, V. Danciu, L. Baia, Zs. Pap, J. Sol-Gel Sci. Technol. (2013) 65, 277–282.
[8] Zs. Pap, É. Karácsonyi, Zs. Cegléd, A. Dombi, V. Danciu, I. C. Popescu, L. Baia, A. Oszkó, K. Mogyorósi, Appl. Catal., B (2012) 111–112, 595–604.
[9] É. Karácsonyi, L. Baia, A. Dombi, V. Danciu, K. Mogyorósi, L. C. Pop, G. Kovács, V. Coşoveanu, A. Vulpoi, S. Simon, Zs. Pap, Catal. Today (2013) 208, 19–27.
[10] G. Liu, H. G. Yang, J. Pan, Y. Q. Yang, G. Q. Lu, H. M. Cheng, Chem Rev. (2014) 114, 9559–9612.
[11] G. Veréb, Z. Ambrus, Zs. Pap, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi, React. Kinet. Mech. Catal. (2014) 113, 293–303.

Ács Éva[1] – Borics Gábor[1] – Boda Pál[1] – Csányi Béla[1] – Duleba Mónika[1] – Engloner Attila[1] – Erős Tibor[2] – Földi Angéla[3] – Grigorszky István[4] – György Ágnes Irma[1] – Kiss Keve Tihamér[1] – K. Szilágyi Enikő[5] – Lukács Balázs András[1] – Nagy-László Zsolt[6] – Pozderka Virág[3] – Sály Péter[2] – Szalóky Zoltán[1] – Szekeres József[1] – Trábert Zsuzsa[1] – Várbíró Gábor[1]

[1] MTA Ökológiai Kutatóközpont, Dunakutató Intézet [2] MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet [3] ELTE TTK Környezettudományi Doktori Iskola [4] DE Hidrobiológiai Tanszék [5] Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság [6] PTE Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola

Magyarország felszíni vizeinek ökológiai állapotértékelő módszerei

Az EU Víz Keretirányelv (VKI) előírja vizeink ökológiai állapotának rendszeres monitorozását, célja felszíni vizeink vonatkozásában a jó ökológiai állapot/potenciál elérése [1]. A VKI 5 élőlénycsoport vizsgálatát írja elő kötelezően, melyek a 1.) vízben lebegve élők (fitoplankton), illetve 2.) felülethez rögzült algák (fitobentosz), 3.) vízi makroszkopikus gerinctelenek (makrozoobentosz), 4.) vízi makroszkopikus növények (makrofiton) és 5.) a halak. A VKI megszületése előtti időszakhoz képest ez nagy előrelépés, mert korábban alapvetően a vízkémiai változók és a fitoplankton szervezetek szaprobiológiai indikációs sajátságai és a-klorofill-tartalma alapján minősítettek. Amíg a kémiai változók csak az adott pillanatban jellemzik a vizet, az élőlények hosszabb időn keresztül ott élnek a vízben, a környezeti hatásokra fajösszetételük, mennyiségi viszonyaik megváltozásával reagálnak.

Magyarországon 2003-ban indultak el a VKI-val kapcsolatos munkák, először elkészült a VKI szerinti 5 osztályos biológiai minősítés módszerére vonatkozó javaslat [2], majd 2005-ben az ECOSURV projekt keretében mintegy 400 hazai vízfolyásból gyűjtött mennyiségi minta alapján, az új módszer segítségével megtörtént ezen vizek ökológiai állapotának értékelése és minősítése [3,4]. 2007-ben a Környezetvédelmi Felügyelőségek részvételével elindult a VKI előírásai szerinti országos monitorozás, 2009-re elkészült az ország 1. Vízgyűjtő Gazdálkodási Terve (http://www2.vizeink.hu/), melyben Magyarország 551 VKI hatályos víztestét (484 vízfolyását és 67 állóvizét) minősítették. Az újonnan kidolgozott ökológiai állapotértékelő módszerek többsége sikerrel szerepelt a nemzetközi interkalibrációban, ami azt jelentette, hogy az EU szakértői által elfogadott, a VKI valamennyi elvárásának megfelelő módszereket sikerült kidolgozni [5,6]. A módszerek felülvizsgálatát és a víztestek minősítését 6 évente ismételten el kell végezni, így 2015-ben a 2. Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv elkészítésére is sor került (http://www.vizeink.hu/). Előrelépést jelentett, hogy azokra a víztípusokra is kidolgoztak módszereket és megállapítottak határértékeket, melyekre korábban adathiány miatt nem volt lehetőség (pl. szikes tavak), emellett tovább finomodtak a minősítési mérőszámok (metrikák) határértékei is. A jelen cikkben a 2015-re kidolgozott ökológiai állapotértékelő módszerek elvét ismertetjük, élőlénycsoportonként.

BALATON – BADACSONY

Az ökológiai minőségi hányados

Az ökológiai állapotértékelő rendszerek alapja a pontos taxonómiai ismeret, így a kifejlesztett metrikákban, alkalmazott indexekben minden élőlénycsoportnál vizsgálni kell a fajösszetételt, illetve megjelennek a mennyiségi elemek is, ilyen lehet a relatív vagy abszolút egyedszám, illetve az a-klorofill tartalom. Az így kapott indexekből ökológiai minőségi hányadost (EQR) számolunk, ami a megfigyelt és a referenciális állapot hányadosa, 0 és 1 közé eső szám. A vizsgált víztest ökológiai állapota annál jobb, minél közelebb esik az EQR értéke az 1-hez. Referenciális állapotnak a referenciális helyeken (ahol nincs vagy minimális az emberi hatás) talált közösségek ökológiai állapotát, összetételét tekintjük. Ennek hiányában a VKI megengedi, hogy az ún. LDS (least disturbed sites), azaz legkevésbé zavart élőhelyek közösségeihez viszonyítsuk a megfigyelt állapotot. Mindezeket a viszonyításokat minden vízfolyás- és állóvíztípusban el kell végezni, azaz az ökológiai állapotértékelő módszereket típusspecifikusan kell elkészíteni.

Ökológiai állapotértékelő módszerek

Fitoplankton

A Víz Keretirányelv elvárásainak megfelelően a felszíni vizek ökológiai állapotértékelése során a fitoplankton három jellemző paraméterét kell figyelembe venni; ezek a biomassza, a taxonómiai (faj) összetétel, valamint a vízvirágzások gyakorisága és intenzitása. E jellemzők mindegyikét számszerűsíteni kell, határértékkel kell jellemezni és olyan mérőszámokká alakítani, melyek alkalmasak arra, hogy azokat összevonva egyetlen számértékkel tudjuk jellemezni a vizek állapotát.

A fitoplankton biomasszán alapuló mérőszámának kialakítása

A fitoplankton biomassza mérőszámaként (ahogyan az az EU valamennyi országában történik) a fitoplankton a-klorofill-tartalma alapján képzett metrika szolgál. Első lépésben határértékeket kell megállapítani valamennyi víztípusra, majd e határértékek figyelembevételével a megfelelő algoritmus alkalmazásával az a-klorofill-értékeket 0 és 1 közötti számmá kell alakítani. Ez úgy kell történjen, hogy az ökológiai állapot kategóriái szabályos osztályközökkel különüljenek el egymástól, azaz kiváló: 0,8; jó: 0,6; mérsékelt: 0,4; gyenge: 0,2; rossz: $<0,2$.

A határértékek megadását nehezíti, hogy a hazai tavak egyike sem tekinthető érintetlennek, így valódi referenciaként egyik sem szolgálhat. A határértékek megadása referenciális állapotú tavak hiányában pusztán statisztikai alapon történhetett, az adott típuscsoportba tartozó tavak, illetve folyók vegetációperiódusbeli átlag a-klorofill-értékeinek leíró statisztikái (adott percentilisek) alapján.

Ahhoz, hogy a határértékeket multimetrikus indexek részévé tegyük, 0 és 1 közötti számokká kell alakítanunk. Ennek módja az, hogy az osztályhatárokat jelentő 0,2, 0,4 stb. értékeket az adott változóra (jelen esetben az a-klorofillra) kidolgozott határértékek függvényében ábrázoljuk, majd megfelelően illeszkedő regressziót alkalmazva (ami egyszerű esetben lehet lineáris, de nagyobb valószínűséggel polinomiális) megadjuk az egyenes, illetve görbe egyenletét. A kapott függvény alkalmazásával már bármely a-klorofill-érték 0 és 1 közé eső értékké alakítható.

A fitoplankton összetételén alapuló mérőszám kialakítása

A fitoplankton összetétele alapján számos mérőszám számolható (diverzitás-metrikák, taxonarányok stb.). Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján azonban igazolódott, hogy e mérőszámok alkalmazhatósága erősen megkérdőjelezhető, mivel nem adnak határozott választ a terhelésekre [7, 8]. A fitoplankton-összetétel másik mérőszám csoportját az ún. érzékenységi-tolerancia metrikák képezik. A fajok autökológiai sajátságai alapján kidolgozott érzékenységi és/vagy toleranciaértékek többnyire csak abban a régióban használhatók, ahol kidolgozták őket. Az élőlényközösségek állapotát nemcsak a fajok szintjén értékelhetjük, hanem egy magasabb szerveződési szinten, az asszociációk szintjén is. Erre azok után nyílt lehetőség, hogy [9] kidolgozták a fitoplankton-asszociációknak egy, a [10] fitocönológiai rendszeréhez hasonló rendszerét. A szerzők 31 fitoplankton-asszociációt (funkcionális csoportot) különítettek el. Ismertették e funkcionális csoportok elemeit és értékelték azokat a környezeti háttérmintázatokat, melyek egy-egy ilyen csoport kialakulásához vezetnek. Ezen elméleti alapok figyelembevételével tettek javaslatot egy, a fitoplankton funkcionális csoportjain alapuló minősítési rendszer kidolgozására [11] a tavak, ill. [12] folyók esetén. A módszer lényege az, hogy ismerve a fitoplankton funkcionális csoportjainak környezeti igényét, és ismerve egy adott álló- és folyóvíztípusra jellemző fizikai, kémiai és biológiai változók mintázatát, becsülhető, hogy egy adott funkcionális csoport jelenléte a természetes állapotú víztérben milyen mértékben kívánatos (magasabb F érték), illetve nem az (alacsony F érték). Amennyiben nagy számban volna referenciális állapotú, vagyis érintetlen tavunk vagy vízfolyásunk az adott típusban, az értékelés természetesen történhetne a jellemző algacsoportok arányának figyelembevételével. Ilyen vizek híján azonban a funkcionális csoportokhoz rendelt F értékek megadásakor csak hisztorikus adatokra és szakértői becslésre lehet támaszkodni.

Az F értéke típusfüggő, azaz az asszociációk értékelése típusonként más és más lehet. Tehát ugyanaz a taxon más és más F értékkel szerepelhet különböző víztípusokban, attól függően, hogy jelenlétük kedvező (eredeti természetes állapotra jellemző), vagy éppen kedvezőtlen folyamatokat indikál az adott víztérben. Lássunk erre rögtön egy példát. A Balaton esetében a bő tápanyagkínálatot igénylő taxonok negatívabb értékelést kaptak, mint ugyanezen taxonok a holtmedrekben és egyéb, természetes állapotukban is eutróf állóvizekben. Az olyan alacsony tápanyagkínálatot (oligotróf) és sótartalmat kedvelő (oligohalin) taxonok, mint amilyeneket a *Coscinodiscophyceae* és *Mediophyceae* osztályba tartozó kovaalgák között találhatunk, kiváló állapotot jeleznek mélyebb oligotróf tározóinkban (magas F érték), de szikeseinkben „nem kívánatosak", és ezért e típusokban alacsony F értéket kaptak.

Az egyes funkcionális csoportok F értékének, valamint relatív gyakoriságának ismeretében Q indexet képezünk **(I)**, ami a fitoplankton-kompozíció alapján számolt mérőszám.

$$Q_k = \sum_{i=1}^{s} (p_i F), \qquad \textbf{(I)}$$

ahol s az adott mintában található fajszám,
p_i: i faktor értékű kodonok (funkcionális csoportok) relatív gyakorisága (biomassza-alapon),
F_i az adott kodon faktorsúlya 1 és 9 között.

A kapott Q elméleti maximuma 9. A gyakorlatban 7,95 volt a legmagasabb érték, ezért ezzel az értékkel osztva a Q értéket 0 és 1 közötti EQR értéket kapunk. Erre az EQR-re állapítottunk meg határértékeket. A Q indexre javasolt határértékek kialakítása részben az adott F értékű csoportok mintán belüli arányait figyelembe véve történt, szakértői becslés alapján, részben pedig a növényi tápanyagok és tóhasználat alapján javasolt kombinált terhelésre adott válasz alapján.

A Q értékének csökkenése többnyire az eutrofizációt és egyben a szaprobitás emelkedését is jelezheti. A szikesek (természetes állapotukban nagy sótartalommal, Na^+- és HCO_3^--iondominanciával jellemezhető vizek) esetén azonban a faktorértékeket úgy becsültük, hogy a Q index csökkenése a sótartalom csökkenését is jelzi. Vagyis amíg a legtöbb víztípus esetében a sótartalom-növekedés kedvezőtlen folyamatokat jelent az adott víztérben, a szikes tavak esetében ez fordítva érvényes.

A Q index értékeit az a-klorofill-érték esetén leírt módon alakítottuk át azonos osztályközökkel (0,2; 0,4 stb.) jellemezhető határértékekké.

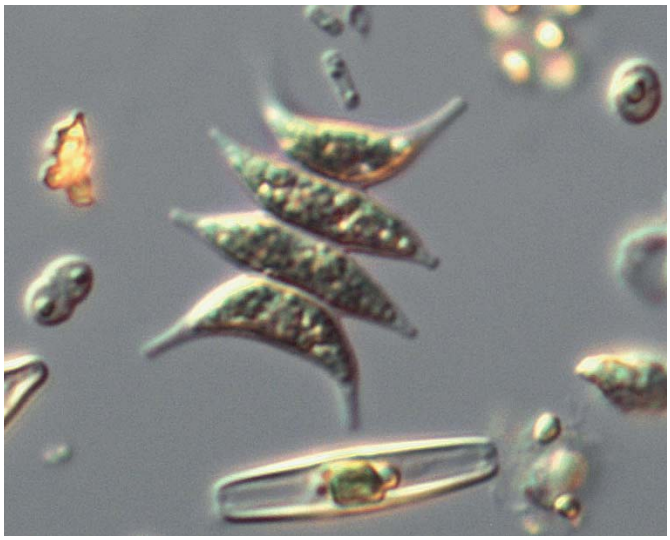
A mérőszámok egyesítése

Tekintettel arra, hogy a biomasszán alapuló mérőszámok robusztusabb metrikának tekinthetők [13] (vagyis értéküket kevésbé befolyásolják a mintavétel és mintafeldolgozás módszereinek bizonytalanságai), e mérőszámok a nemzetközi gyakorlatban is nagyobb hangsúlyt kapnak. Ez az értékelés során úgy juttatható érvényre, hogy a mérőszámok egyesítése során a biomassza és kompozíciós mérőszámok normalizált értékeit nem egyszerűen átlagoljuk, hanem súlyozott átlagot képezünk **(II)**:

$$HPI = \frac{2\,NChl-a + NQ}{3}, \qquad \textbf{(II)}$$

ahol *HPI*: magyar fitoplankton index, (angol akronima),
NChl – a: az a-klorofill-tartalom normalizált mérőszáma,
NQ: a fitoplankton taxonómiai összetételén alapuló normalizált mérőszám.

FITOPLANKTON



Ezt a súlyozást alkalmaztuk a vízfolyások, valamint a meszes és szerves tavak típusaiban. A szikesek esetén, ahol a trofitásnak kisebb a szerepe, és a kiédesülés az, ami a vizeket fenyegeti, ezért az a-klorofill-metrika szerepét úgy csökkentettük, hogy a mérőszámok egyesítésekor a normalizált metrikákat átlagoltuk **(III)**:

$$HPI = \frac{2NChl - a + NQ_{ki}}{2}. \qquad \textbf{(III)}$$

Az így kialakított mérőszámok jelzik a vizek aktuális ökológiai állapotát. Tekintettel arra, hogy a fitoplankton szezonális szukcessziója során annak biomasszája és összetétele jelentős mértékben változik, a minősítés a vegetációperiódusban gyűjtött minták aktuális értékeinek átlagai alapján történik **(IV)**:

$$HPI_{Éves} = \frac{\sum_1^N HPI}{N}, \qquad \textbf{(IV)}$$

ahol: $HPI_{Éves}$: a fitoplankton index éves értéke,
HPI: a magyar fitoplankton-index aktuális értéke,
N: mintaszám.

A vízvirágzások mérőszáma

A Víz Keretirányelv a fitoplankton biomassza és összetétel mellett a vízvirágzások erősségét és intenzitását is olyan indikatív jellemzőként említi, amit az ökológiai állapotértékelés során figyelembe kell venni. A vízvirágzások gyakoriságának és intenzitásának beépítése a fitoplankton alapján végzendő ökológiai állapotértékelésbe valóban indokolt, ám e jellemző figyelembevételét jelentős mértékben nehezíti, hogy a vízvirágzásnak nincs általánosan elfogadott, egzakt definíciója [14]. Jelen esetben egy EU-ajánlásnak [15] megfelelően úgy jártunk el, hogy ha a cianobaktériumok biomassszája meghaladja 10 mg/L-es értéket, az aktuális HPI értékét 0,2-del csökkentjük. Meg kell jegyezzük azonban, hogy a 10 mg/L-es cianobaktérium biomassza kellően magas ahhoz, hogy a fitoplankton egyéb mérőszámai, így az a-klorofill- és a kompozíciós metrika is eleve közepes vagy annál rosszabb ökológiai állapotot jelezzenek. Így a metrika beépítése a hazai fitoplankton-alapú ökológiai állapotértékelésbe nem feltétlenül jelent érezhető előrelépést.

Fitobentosz

A Víz Keretirányelv elvárásainak megfelelően a felszíni vizek ökológiai állapotértékelése során a fitobentosz esetében a legtöbb tagország a bevonatban élő kovaalgák taxonómiai összetétele és relatív mennyisége alapján minősít. Egyre többen fogalmazzák meg azt a véleményt, hogy a fitobentosszal történő állapotértékelés során nem szerencsés kihagyni a nem-kovaalgákat [16], különösen igaz ez a tavak esetében, ahol nem ritkán a bevonat több mint fele nem tartozik a kovaalgák közé [17]. Ennek ellenére a tagországok közül csak Ausztria, Csehország, Németország és Norvégia minősítésében találhatóak nem-kovaalga elemek [18]. Ennek elsősorban módszertani okai vannak (a nagyszámú fonalas szerveződésű taxon miatt nehéz definiálni az egyed fogalmát, kevés a megfelelő határozókönyv, más minta-előkészítés és mikroszkópos háttér szükséges a kovák és nem-kovák, vagy másként fogalmazva a kovavázas, illetve az ún. lágy algák vizsgálatához stb.).

A hazai folyóvízi mintavételi és értékelési módszer a nemzetközi interkalibrációban elfogadott és interkalibrált módszer. A vízfolyások esetében a fitobentosz-adatok értékeléséhez a nemzetközi gyakorlatban általában az erre a célra kifejlesztett OMNIDIA [19] program használható. Az értékelésben használt indexek és pontszámok a taxonok relatív abundancia-értékei alapján különböző terhelések (szerves szennyezés, növényi tápanyagkínálat, sótartalom, savasodás) szempontjából jellemzik a mintát. Elméleti alapja, hogy minden kovaalga fajnak van egy tűréshatára és optimuma az általuk preferált környezeti feltételekre vonatkozóan, mint például tápanyagok, ionösszetétel és -mennyiség, szerves szennyezés és savasság, így szennyezések hatására azok a fajok fognak elszaporodni, amelyek optimumai megfelelnek a kérdéses szennyező szintjének. Ennek megfelelően bizonyos fajok intoleránsak egy vagy több szennyező megemelkedett szintjére, míg mások a vízminőség széles skáláján előfordulhatnak. Vizeinkben gyakran a szerves és szervetlen terhelések együttesen jelentkeznek, így egyes típusokban az IPS (Specific Pollution Sensitivity Index, [20]), SI (Austrian Saprobic Index, [21]) és TI (Austrian Trophic Index, [22]) indexek átlagolásával képzett multimetrikus indexet képeztünk **(V)**:

$$\text{IPSITI} = (\text{IPS}+\text{SI}+\text{TI})/3. \qquad \textbf{(V)}$$

Az így kialakított index jobb korrelációt mutatott a vízkémiai változókkal, ezért a minősítés során ezzel számolunk [5]. Az EQR számításához az LDS-helyeket a referencia-feltételek alapján választottuk ki. Az LDS-t külön, minden kovatípusban elkülönítettük úgy, hogy minden esetben csak a természetes vizeket vettük figyelembe, valamint csak olyan víztesteket, ahol a vízgyűjtőn nincs jelentős pontszerű szennyezőforrás. A kémiai határértékek alapján további leválogatást végeztünk. Referenciális határértéknek az így leválogatott LDS-ek indexértékeinek 5. percentilisét tekintettük, a kiváló/jó határának pedig a 10. percentilisét. A jó/közepes határának a toleráns és érzékeny fajok relatív egyedszámának átcsapási pontjához tartozó értéket tekintettük, majd a fennmaradó részt 3 egyenlő részre osztottuk, ezt kivonva a jó/mérsé-

FITOBENTOSZ

kelt értékéből kaptuk a közepes/tűrhető, majd ebből kivonva a tűrhető/rossz határértékét. Az EQR-t normalizálással határoztuk meg.

Állóvizek esetében csak részben használhatóak az OMNIDIA program által számolt indexek. Mivel hazai állóvizeink mind vízforgalmukat, mind pedig vízkémiai jellemvonásaikat tekintve igen különbözőek, az egyes típusokban sokszor igen különböző módszereket kellett alkalmaznunk a metrikák kialakítása során. Így például a szikes tavak esetében a sótartalom változását jelző metrikák fokozott szerephez jutnak. Az időszakos vizű kis szikes tavak esetében a természetes módon (vízi madarak miatt) bekövetkező növényi tápanyagtartalom-növekedés miatt nem lehet trofitásfüggő metrikát alkalmazni, itt csak olyan metrikát választhatunk, mely a sótartalom változását jelzi. Amíg a legtöbb víztípus esetében a sótartalom-növekedés kedvezőtlen folyamatokat jelent az adott víztérben, a szikes tavak esetében ez pont ellenkezőleg, a sótartalom csökkenése a szikes állapotának az eltűnését (kiédesülését) jelzi.

A meszes vízkémiai karaktert mutató tavaink mintavételi és értékelési módszere a nemzetközi ökológiai interkalibrációban elfogadott és interkalibrált módszer. Ezeknek az állóvizeknek az esetében (a Balaton kivételével) a minősítéshez három indexből képzett multimetrikus indexet használunk. A MIL (Multimetric Index for Lakes) indexet három index segítségével számoljuk **(VI)**:

$$MIL = (TDIL_{(1–20)}+IBD+EPI\text{-}D)/3. \quad \textbf{(VI)}$$

Az IBD (Indice Biologique Diatomées, [23, 24, 25]) és az EPI-D (Eutrophication Pollution Index Diatoms, [26]) indexeket az OMNIDIA program számolja és értékük 1 és 20 között változik. A TDIL (Trophic Diatom Index for Lakes, [27]) kiszámolása egyedileg készített segédprogram segítségével történhet, értéke 1 és 5 közé eső szám. A MIL kiszámolásához a **(VII)** egyenlet szerint igazítjuk 1 és 20 közé esővé a TDIL értékeit:

$$TDIL_{(1–20)}: a = 3{,}8 \cdot b + 1. \quad \textbf{(VII)}$$

A Balaton Közép-Európa egyik legkülönlegesebb tava, így a minősítés során egyedileg kell eljárni. A Balaton esetében az indexből a TDIL kimarad, itt a MIB (Multimetric Index for Balaton) az OMNIDIA program által számolt IBD és EDI-D indexek átlaga. A Balaton az egyetlen olyan vizünk, ahol a referencia-feltételeket paleolimnológiai módszerekkel sikerült meghatároznunk. Korponai János és Braun Mihály 2006-os siófoki (Siófok 2006 jelzetű mag) fúrásának 17–21 cm közötti szakaszát tekintettük a tó zavartalan állapotának, mivel a VKI céljainak megvalósítása érdekében a zavartalan állapotot a mezőgazdaság intenzifikálása, vagy az iparosodás előtti korszakhoz viszonyítva lehet meghatározni. Ennek a rétegnek a domináns fajait tekintettük referenciális fajoknak.

Az időszakos vízforgalmú, kis szikes tavak esetében halobitás (H) indexet számolunk [28] alapján, majd az indexet a **(VIII)** egyenlettel 1 és 20 közé eső számmá alakítjuk (ahol 1 az index legroszszabb, 20 a legjobb értéke):

$$H = 0{,}19 \cdot x + 1. \quad \textbf{(VIII)}$$

Az állandó vizű szikes tavak esetében a halobitás változása mellett a trofitás változása is fontos hatással van a víztest ökológiai állapotára, ezért ezekben a típusokban a halobitás-index mellett trofikus indexet is számolunk. A MISL (Multimetric Index for Sodic Lakes) index a fentebb leírt H index és az OMNIDIA program által számolt IBD index alapján kalkulálható a **(IX)** egyenlet alapján:

$$MISL = (H+IBD)/2. \quad \textbf{(IX)}$$

Az LDS-helyeket és az EQR-t a vízfolyásoknál leírt módon határoztuk meg.

Makrofiton

A felszíni vizek makrofitonok alapján végzett hidrobiológiai minősítése a német Referencia Index [29, 30] alapján dolgoztuk ki. A hazai makrofita módszertan kidolgozása során figyelembe vettük a [31, 32] szabványok előírásait, illetve azokat az alap statisztikai szabályokat, amelyek az adatok gyűjtésére, mintavételi egységek számára és a randomitásra vonatkoznak. A módszertan jelen formában alkalmas a VKI alapján rendszeresített rutin mintavételi eljárások, folyamatos monitoringrendszerek vizsgálatainak elvégzéséhez. Ugyanakkor más célú feladatok esetén (nem VKI alapmonitorozás) lehetőség van a módszer bizonyos elemeinek változtatásra (mintavételi egységek száma, mérete). Ennek előnye, hogy így egyszeri, részletesebb, átfogóbb vizsgálatok elvégzése is kivitelezhető.

A vizsgálat tárgyát a vízi makroszkopikus növények képezik, amelyeket vízi makrofitonoknak hívunk. Egy sokat hivatkozott definíciójuk szerint a vízi növények azok a növények, amelyek a megfigyelés pillanatában, a vízben puszta szemmel észrevehetőek és meghatározhatóak [33]. A szigorú értelemben vett tudományos vizsgálatok többségében azonban [34] definíciója által meghatározott fajokat szokás vizsgálatba vonni, mindig megemlítve, ha esetleg szűkített vagy bővített fajkészlettel dolgozunk. A [34] hivatkozás megfogalmazásában a vízi növények olyan autotróf élőlények, amelyek a generatív ciklusukat is képesek úgy végig vinni, hogy vegetatív részeik teljesen a víz alá merültek, vagy a víz által támasztottak (úszó levelek), vagy, bár általában alámerültek, de szárazra kerülésük, a vegetatív részeik elhalásával egyidejűleg, ivaros szaporodást indukál.

A mintavétel során a kijelölt mintavételi sávban (transzszekt) található összes makrofiton faj nevét fel kell írni, illetve egy ötfokozatú növénymennyiség indexet kell minden egyes fajhoz becsülni. Eszerint 1 = ritka, szálanként előforduló faj; 2 = ritka, de már kisebb csoportokban megjelenő faj; 3 = a felmérendő sávban gyakori, de nem alkot összefüggő telepeket; 4 = nagy kiterjedésű, sűrű állományokkal rendelkezik, de csak a felmérendő sáv egy kisebb részén; 5 = a teljes sávban folyamatosan nagy mennyiségben, összefüggő telepeket alkotó faj.

A Referencia Index
számolása és minősítése

A terepi adatsorból egy táblázat segítségével kiválasztjuk az adott víztesttípusban indikátorértékkel rendelkező fajokat. A víztest ökológiai minősítése csak ezen fajok alapján történik, amelyeket három indikációs csoportba: A) referenciális állapotú élőhelyeken tömeges, C) zavart helyeken tömeges vagy B) referenciális és zavart élőhelyeken is tömeges lehet. Az indikációs csoportba történő besorolás irodalmi adatok [35, 36, 37] és szakértői becslés alapján történt. A besoroláskor figyelembe vettük a fajok szociális magatartástípusait, a vízigény-, sóigény- és növényi tápanyagértékszámokat is [38]. A folyó- és állóvíztípusok csoportosítása a 2. Vízgyűjtő Gazdálkodási Tervben készített víztesttípusok biológiai validálása, illetve a közös makrofiton fajkészlet és a diverzitási jellemzők alapján történt [39].

A minősítés során az ordinális skálán jellemezhető terepi adatokat arányskálára konvertáljuk [40]. Az így kapott fajabundancia-adatokból Referencia Indexet (RI) [41] számolunk a X. képlet szerint:

$$\mathrm{RI} = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} Q_{Ai} - \sum_{i=1}^{n_C} Q_{Ci}}{\sum_{i=1}^{n_g} Q_{gi}} \cdot 100 \qquad \textbf{(X)}$$

ahol RI = referencia-index;
Q_{Ai} = az A csoportba tartozó fajok „mennyisége”;
Q_{Ci} = a C csoportba tartozó fajok „mennyisége”;
Q_{gi} = mind a három csoport fajainak „mennyisége”;
n_A = az A csoport fajainak száma;
n_C = a C csoport fajainak száma;
n_g = (A+B+C) teljes fajszám.

Az RI érték –100 és 100 közötti tartományba esik, a VKI által megkövetelt 0 és 1 közé eső minősítési értéket (EQR) a **(XI)** egyenlet segítségével kapjuk meg.

$$\mathrm{EQR} = \{(\mathrm{RI} + 100) \cdot 0{,}5\}/100. \qquad \textbf{(XI)}$$

Makrozoobentosz

A VKI biológiai elemei közül a makrogerinctelen fauna vagy makrozoobentosz mintavételi és értékelési módszere a nemzetközi interkalibrációban elfogadott és interkalibrált módszer. Ezért alkalmas a VKI követelményeinek megfelelő monitoring és állapotértékelés kivitelezésére az adott vízgyűjtő-gazdálkodás tervezési és végrehajtási ciklusban.

A vizsgálatok objektumai a makroszkopikus vízi gerinctelenek, melyek jelenlétük, tömegességi adataik, állományaik eloszlása révén jól jelzik (indikálják) a vízterek ökológiai állapotát, annak természetességét, illetve emberi beavatkozások hatására bekövetkező degradációs folyamatait. Rendszertani hovatartozásuk meghatározása néhány csoport kivételével nem okoz nagy problémát, a fajok többségének környezeti igénye jól ismert, bioindikációs jelentőségük tehát széles körben érvényesül [42]. A mintavételi és feldolgozási eljárásuk a multihabitat típusú mintavételen alapszik [43]. A mintavételi helyet a vizsgálat céljának megfelelően kell kiválasztanunk úgy, hogy az az adott víztestre, és a víztest adott szakaszára reprezentatív legyen. A hazai gyakorlatban alkalmazott jelenlegi minősítési rendszer (HMMI – Multimetrikus Makrozoobentosz Indexcsalád) 2011-ben a nemzetközi interkalibráció keretén belül, a VKI kompatibilitás követelményének megfelelően, a Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek által üzemeltetett Mérőközpontok vizsgálata alapján került kidolgozásra. Az interkalibrációs eljárás során az egy ökorégióba tartozó országok ökológiai állapotértékelő módszereiket összehasonlítva meghatározták a közös interkalibrációs típusokban a kiváló–jó, valamint a jó–mérsékelt ökológiai állapot határát. Ez lehetővé teszi a jövőben, hogy az egyes terhelések hatását jelző ökológiai állapotváltozás ezekben a víztípusokban összehasonlítható legyen az azonos ökorégióba tartozó tagországok közös víztípusai esetében. Az interkalibráció lezárult eredményeit az Európai Bizottság Határozatban teszi közzé, amely minden tagország számára kötelezően végrehajtandó joganyag [44,45].

A Multimetrikus Makrozoobenton Indexcsalád (HMMI) **(1. táblázat)** kifejlesztésénél elsődleges szempont volt, hogy megfeleljen a VKI követelményeinek. Olyan multimetrikus indexeket tartalmaz, amelyekben szerepelnek a közösségre jellemző abundancia-, diverzitási, tolerancia- és funkcionális viszonyokat leíró metrikák is, így megfelelően jelzik az adott víztér állapotát.

Az indexek alapján egyértelműen öt kategória különíthető el (kiváló–jó–közepes–gyenge–rossz) a VKI előírásainak megfelelően. A kiváló–jó határ megállapítása valódi referenciahelyek híján LDS-helyekhez tartozó metrikák variabilitásán alapul. A határértékek megállapítása a biológiai elemeken alapul az egyes biológiailag validált víztértípusokban.

Halak

A halak monitorozása és a halakon alapuló ökológiai állapotértékelés nem volt előírt feladat a Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségek munkaprogramjában, ugyanakkor a VKI előírja a halak alapján történő állapotértékelést is. A súlyos adat és módszertani hiányt pótlandó, 2015-ben rohamtempóban kezdődött meg és zárult le sikeresen egy országos léptékű halállomány felmérés, amelynek keretében 420 mintavételi ponton történt meg a halállomány összetételének standardizált protokoll szerinti felmérése. Emellett elkészült egy olyan minősítési index család, amely a VKI más biológiai elemein alapuló minősítési indexekhez hasonlóan víztípus specifikus és igazoltan stresszor-specifitást mutat számos környezeti terhelésre (pl. kémiai jellegű terhelések hatása, tájhasználatban mutatkozó változások, hidromorfológiai beavatkozások hatásai). Ez az indexcsalád a vízfolyásokra került kidolgozásra. A multimetrikus makrozoobenton indexnél részletezett öt vízfolyástípusra külön index áll rendelkezésre. A 0 és 1 között változó EQR értéke annál magasabb, minél inkább a természetes és a terhelésektől mentes állapotot tükrözi a halállomány összetétele. Az indexek a halállomány szerkezetének és funkcionális (ún. trait) jellemzőinek (továbbiakban halközösségi változók) a vízfolyástípusonként különböző referenciaértékektől való eltérését számszerűsítik a 0 és 1 között mozgó (EQR) skálán. Az egyes indexeknél az adott típusban a környezeti terhelésekkel leginkább korreláló 9–11 halközösségi változó különböző mértékben súlyozva és egyetlen számmá ötvözve jellemzi a halállomány állapotát, figyelembe véve például a típusra jellemző őshonos fajok jelenlétét, bizonyos táplálkozási csoportok vagy például az inváziós, idegenhonos fajok relatív mennyiségi viszonyait. Az EQR értéke alapján egy adott víztest az öt vízminőségi osztály egyikébe sorolható: rossz (EQR értéke 0,0–0,20), gyenge (0,21–0,40), mérsékelt (0,41–0,60), jó (0,61–0,80), kiváló (0,81–1,0). A Magyar Multimetrikus Hal In-

1. táblázat. A Multimetrikus Makrozoobenton (HMMI) indexcsalád

Index rövidítése	Indextípus neve
HMMI_m	Multimetrikus Makrozoobenton Index – hegyi vízfolyások típusaira
HMMI_sc	Multimetrikus Makrozoobenton Index – dombvidéki kis és közepes vízfolyások típusaira
HMMI_lc	Multimetrikus Makrozoobenton Index – dombvidéki nagy vízfolyások típusaira
HMMI_sl	Multimetrikus Makrozoobenton Index – síkvidéki kis és közepes vízfolyások típusaira
HMMI_ll	Multimetrikus Makrozoobenton Index – síkvidéki nagy és nagyon nagy vízfolyások típusaira
HMMI_to	Multimetrikus Makrozoobenton Index – tavakra

dexet [Hungarian Multimetric Fish Index – HMMFI] még független adathalmazon kell tesztelni és alá kell vetni az EU interkalibrációs eljárásának, hogy az EU által teljes mértékben elfogadott indexszel minősíthessük vízfolyásainkat a halállomány ökológiai állapota alapján.

Köszönetnyilvánítás. A szerzők köszönik Dr. Buczkó Krisztinának a paleolimnológiai vizsgálatok során nyújtott segítségét és a kézirat átnézését, valamint a BO/00513/13 számú MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatását.

IRODALOM

[1] European Union, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities (2000) L327, 1–73.

[2] Szilágyi F., Ács É., Borics G., Halasi-Kovács B., Juhász P., Kiss B., Kovács Cs., Kovács T,. Lakatos Gy., Müller Z., Padisák J., Pomogyi P., Szabó K., Szalma E., Tóthmérész B., Az ökológiai minősítés kérdései. In: Somlyódy L. & Simonffy Z.: A fenntartható vízgazdálkodás tudományos megalapozása az EU Víz Keretirányelv hazai végrehajtásának elősegítésére, MTA Vízgazdálkodási Csoport és BME VKKT közös munkabeszámolója, 2006, kézirat.

[3] Szilágyi F., Ács É., Borics G., Halasi-Kovács B., Juhász P., Kiss B., Kovács T., Müller Z., Lakatos G., Padisák J., Pomogyi P., Stenger-Kovács C., Szabó KÉ., Szalma E., Tóthmérész B., Application of Water Framework Directive in Hungary: Development of Biological Classification Systems. Water Science and Technology (2008) 58, 2117–2125.

[4] Van Dam H., Stenger-Kovács Cs., Ács É., Borics G., Buczkó K., Hajnal É., Soróczki-Pintér É., Várbíró G., Tóthmérész B., Padisák J., Implementation of the European Water Framework Directive: Development of a system for water quality assessment of Hungarian running waters with diatoms. Arch. Hydrobiol. Suppl. Large Rivers (2007) 17, 339–364.

[5] Várbíró G., Borics G., Csányi B., Fehér G., Grigorszky I., Kiss KT., Tóth A., Ács É. Improvement of the ecological water qualification system of rivers based on first results of the Hungarian phytobenthos surveillance monitoring. Hydrobiologia (2012) 695, 125–135.

[6] Kelly M., Urbanic G., Acs E., Bennion H., Bertrin V., Burgess A., Denys L., Gottschalk S., Kahlert M., Karjalainen S-M., Kennedy B., Kosi G., Marchetto A., Morin S., Picinska-Fałtynowicz J., Poikane S., Rosebery J., Schoenfelder I., Schoenfelder J., Varbiro G., Comparing aspirations: intercalibration of ecological status concepts sacross European lakes for littoral diatoms. Hydrobiologia (2014) 734, 125–141.

[7] Borics, G., Görgényi, J., Grigorszky, I., László-Nagy, Z., Tóthmérész, B., Krasznai, E., Várbíró, G., The role of phytoplankton diversity metrics in shallow lake and river quality assessment. Ecological Indicators (2014) 45, 28–36.

[8] Bolgovics Á., Ács É., Várbíró G., Kiss K. T., Lukács B. A., Borics G., Diatom composition of the rheoplankton in a rhithral river system. Acta Botanica Croatica (2015) 74,2 DOI: 10.1515/botcro-2015-0028

[9] Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S., Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. J. Plankton Res. (2002) 24, 417–428.

[10] Braun-Blanquet J., Pflanzensiziologie. Springer, Wien, 1951.

[11] Padisák J., Borics G., Grigorszky I., Soróczki-Pintér E., Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. Hydrobiologia (2006) 553(1), 1–14.

[12] Borics G., Várbíró G., Grigorszky I., Krasznai E., Szabó S., Kiss K.T., A new evaluation technique of potamo-plankton for the assessment of the ecological status of rivers. Archiv für Hydrobiologie. Supplementband. Large rivers (2007) 17(3–4), 465–486.

[13] Carvalho L., Poikane S., Solheim A. L., Phillips G., Borics G., Catalan J.C., De Hoyos S., Drakare B. J., Dudley M., Jarvinen C., Laplace-Treyture K., Maileht C., McDonald U., Mischke J., Moe G., Morabito P., Noges T., Noges I., Ott A., Pasztaleniec B., Skjelbred, Thackeray S. J., Strength and uncertainty of phytoplankton metrics for assessing eutrophication impacts in lakes. Hydrobiologia (2013) 704(1), 127–140.

[14] Borics G., Felszíni vizek fitoplankton alapú ökológiai állapotértékelése. Violet-BT (2015) 95.

[15] Carvalho L., McDonald C., Hoyos C., Mischke U., Phillips G., Borics G., Poikane S., Skjelbred B., Solheim A.L., Van Wichelen J., Cardoso A. C., Sustaining recreational quality of European lakes: minimizing the health risks from algal blooms through phosphorus control. Journal of Applied Ecology (2013) 50(2), 315–323.

[16] Kelly M., King L., Ní Chatháin B., The conceptual basis of ecological-status assessments using diatoms. Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy (2009) 109B(3), 175–189.

[17] Ács É., A Velencei-tó bevonatlakó algáinak tér- és időbeli változása, kapcsolata a tó ökológiai állapotával. (Spatial and temporal change of epiphytic algae and their connection with the ecological condition of shallow lake Velencei-tó (Hungary). Acta Biologica Debrecina Oecologica Hungarica 17, Hydrobiological Monographs (2007) 1, 9–111.

[18] Kelly M., Data rich, information poor? Phytobenthos assessment and the Water Framework Directive. Eur. J. Phycol. (2013) 48(4), 437–450.

[19] Lecointe C, Coste M, Prygiel J., OMNIDIA version 5.2 software for diatom-based water quality assessment. 2008, CD-ROM.

[20] CEMAGREF., Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q. E. Lyon, Agence de l'Eau Rhőne-Méditerranée-Corse, 1982. 218.

[21] Rott E., Hofmann G., Pall K., Pfister P., Pipp E., Indikatorlisten für aufwuchsalgen in Österreichischen fliessgewässern. Teil. 1: Saprobielle Indikation. - Bundesministerium für Land- und Forstwirschaft, Wasserwirtschaftskataster, Wien, 1997.

[22] Rott E., Pipp E., Pfister P., van Dam H., Orther K., Binder N., Pall K., Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Österreichischen Fliessgewassern. Teil 2: Trophieindikation. Bundesministerium für Land- und Forstwirschaft, Wasserwirtschaftskataster, Wien, 1999.

[23] Lenoir A., Coste M., Development of a practical diatomic index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network. In: Rott, E. (ed.) 2nd Workshop on Algae for monitoring Rivers, Innsbruck 18–19 Sept. 95, Studia Student. G.M.B.H, Innsbruck, 1996.

[24] Prygiel J., Coste M., Mise au point de l'Indice Biologique Diatomée, un indice diatomique pratique applicable au réseau hydrographique francais. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances (1998) 211, 40–45.
[25] Prygiel J., Coste M., Guide méthodologique pour la mise en ceuvre de l'Indice Biologique Diatomées. NF T 90-354. Agences de l'eau, Cemagref, Douai, 2000.
[26] Dell'Uomo A., Assessment of water quality of an Appenine river as a pilot study. In: Whitton, B. A., Rott, E (eds) Use of Algae for Monitoring Rivers II. E. Rott, Institut für Botanik, Universität Innsbruck,1996. 65–73.
[27] Stenger-Kovács Cs., Buczkó K., Hajnal É., Padisák J., Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. Hydrobiologia (2007) 589,141–154.
[28] Ziemann H., Kies L., Schulz C-J., Desalinization of Running Waters. III. Changes in the Structure of Diatom Assemblages Caused by a Decreasing Salt Load and Changing Ion Spectra in the River Wipper (Thuringia, Germany). Limnologica (2001) 31, 257–280.
[29] Schaumburg J., Schranz C., Foerster J., Gutowski A., Hofmann G., Meilinger P., SchneiderS., Ecological classification of macrophytes and phytobenthos for rivers in Germany according to the Water Framework Directive. Limnologica (2004) 34, 283–301.
[30] Schaumburg J., Schranz C., Hofman G., Stelzer D., Schneider S., Schmedtje U., Macrophytes and phytobenthos as indicators of ecological status in German lakes – a contribution to the implementation of the Water Framework Directive. Limnologica (2004) 34, 302–314.
[31] EN 14184. Waterquality – Giudance standard forthesurveying of aquatic macrophytes in running waters. European Standard. European Comittee for Standardization, Brussels.
[32] EN 15460. Waterquality – Giudance standard for the surveying of macrophytes in lakes. European Standard. European Comittee for Standardization, Brussels.
[33] Holmes N.T.H., Whitton B.A., Macrophytes of the River Wear: 1966–1976. Naturalist (1977) 102, 53–73.
[34] Den Hartog C., Segal S., A new classification of water-plant communities. Acta. Botanica Neerlandica (1964) 13, 367–393.
[35] Lukács B.A., Dévai Gy., Tóthmérész B., Aquatic macrophytes as bioindicators of water chemistry in nutrient rich backwaters along the Upper-Tisza river (in Hungary). Phytocoenologia (2009) 39, 287–293.
[36] Lukács B.A., Dévai Gy., Tothmérész B., Small scale macrophyte-environment relationship in an oxbow-lake of the Upper-Tisza valley (Hungary). Community Ecology (2011) 12, 259–263.
[37] Lukács B.A., Sramkó, G., Molnár, V.A., Plant diversity and conservation value of continental temporary pools. Biological conservation (2013) 158, 393–400.
[38] Borhidi A., Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higherplants in the Hungarian Flora. Acta Botanica Hungarica (1995) 39, 97–181.
[39] Lukács B. A., Tóthmérész B., Borics G., Várbíró G., Juhász P., Kiss B., Müller Z., G-Tóth L., Erős T., Hydrophyte and helophyte species in conservation planning of standing waters in the Pannonian Ecoregion (Hungary). Limnologica (2015) 53, 74–83.
[40] Engloner A., Alternative ways to use and evaluate Kohler's ordinal scale to assess aquatic macrophyte abundance. Ecological Indicators (2012) 20, 238–243.
[41] Engloner, A.I., Szalma, E., Sipos, K., Dinka, M., Occurrence and habitat preference of aquatic macrophytes in a large river channel.Community Ecology (2013) 14:243–248.
[42] Hering, D., O. Moog, L. Sandin & P.F.M. Verdonschot, Overview and application of the AQEM assessment system. Hydrobiologia (2004) 516, 1–20.
[43] AQEM Consortium, ASTERICS: AQEM/STAR Ecological river classification system, Version, 4.0.2; 2006.
[44] Várbíró G., Deák Cs., Borics G., Krasznai E., Current issues in ecological water qualification: Developing multimetric macroinvertebrate index on lowland, small and medium sized watercourses – a case study. Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica (2010) 21, 254.
[45] Várbíró, G., Fekete, O., Ortmann-Ajkai, A., Ficsor, M., Cser, B., Kovács, K., Kiss, G., Czirok, A., Horvai, V., Deák, Cs., Developing a multimetric macroinvertebrate index on mountainous, small and medium sized water bodies. Acta Biologica Debrecina, Supplementum Oecologica Hungarica (2011) 26, 220.

MADÁRTÁVLATBÓL (SCHÄFFER LÁSZLÓ FELVÉTELE)

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

LXX. No. 11. November 2015

CONTENTS

Theoretical methods in the physical chemistry of water **342**
ANDRÁS BARANYAI
Water in the atmosphere **344**
TAMÁS WEIDINGER and PÉTER TASNÁDI
The role of riverbank filtration in drinking-water supply **350**
ZSUZSA LÉVAI and GÁBOR MÉZES
Drinking water quality and control in Hungary **353**
MÁRTA VARGHA
Past and present of carbonated water production. The spirit in the bottle **358**
ISTVÁN BÁNFFI and ISTVÁN SZABÓ
Lukewarm and thermal springs of Budapest: history of their exploitation **361**
JUDIT MÁDL-SZŐNYI and ANITA ERŐSS
Chemical oxidation methods in water treatment **367**
TÜNDE ALAPI, ANDRÁS DOMBI, ZSUZSANNA LÁSZLÓ, and KRISZTINA SCHRANTZ
Heterogeneous catalysts in water purification. An outlook in view of future water purification technologies **370**
ZSOLT PAP and KLÁRA HERNÁDI
Evaluation techniques for the assessment of the ecological status of Hungarian surface waters **374**
ÉVA ÁCS, GÁBOR BORICS, PÁL BODA, BÉLA CSÁNYI, MÓNIKA DULEBA, ATTILA ENGLONER, TIBOR ERŐS, ANGÉLA FÖLDI, ISTVÁN GRIGORSZKY, ÁGNES IRMA GYÖRGY, TIHAMÉR KISS-KEVE, ENIKŐ K. SZILÁGYI, BALÁZS ANDRÁS LUKÁCS, ZSOLT NAGY-LÁSZLÓ , VIRÁG POZDERKA, PÉTER SÁLY, ZOLTÁN SZALÓKY, JÓZSEF SZEKERES, ZSUZSA TRÁBERT, and GÁBOR VÁRBÍRÓ

Felsőoktatás – 2015

2015. szeptember 11-én Palkovics László felsőoktatásért felelős államtitkár, aki az MKE 2. Nemzeti Konferenciára meghirdetetett Felsőoktatási Fórumon váratlan elfoglaltsága miatt nem tudott részt venni, az őt helyettesítő Szigeti Ádám főosztályvezető társaságában az MKE Székházában beszélgetetett egyetemi vezető oktatókkal a felsőoktatás aktuális kérdéseiről.

A felsőoktatást leginkább foglalkoztató kérdések többsége napirendre került, az éppen zajló strukturális átalakulásoktól kezdve – az egyetemi autonómián, a felsőoktatás elégtelen és egyre csökkenő támogatásán át – az egyetemek működését nehezítő ésszerűtlen gazdálkodási szabályozásig. Egyetértés volt abban, hogy mindkét fél a versenyképes és minőségi felsőoktatásban érdekelt. Az odavezető útról azonban megoszlottak a vélemények.

Az ilyen beszélgetések szükségesek és hasznosak lennének a vélemények kölcsönös és közvetlen megismeréséhez, ami jobban elősegíthetné, hogy az érintett résztvevők egy irányba próbálják húzni a felsőoktatás kicsit megrekedt szekerét.

A közel kétórás eszmecsere után a résztvevők, ha nem is teljes megelégedettséggel, de jó érzéssel álltak fel a közös asztaltól.

Kiss Tamás
egyetemi tanár, felelős szerkesztő

Az MKE a Facebookon

Az MKE 2015. február 1-én hivatalosan is csatlakozott a Facebook közösségéhez. A mai napig több mint 350 felhasználó csatlakozott oldalunkhoz.

Aki meglátogat bennünket, hetente több alkalommal találkozhat magyar (többek között az MKL-ből kiemelt) és angol nyelvű informatív, hasznos tartalmakkal, szemelvényekkel a kémia világából. Munkánk elsődleges célja, hogy a kémia szépségeit minél szélesebb körben népszerűsítsük.

Amint arról az MKE lapjai és a Kémiai Panoráma jövőjéről szervezett év eleji megbeszélésen szó esett, elhatároztuk, hogy növelni fogjuk a lapok internetes megjelenésének lehetőségeit. Az MKE Facebook-oldalát is felhasználjuk arra, hogy lapjaink legérdekesebb cikkeit akár teljes terjedelemben, akár röviden összefoglalva megjelentessük, linkkel a teljes cikkhez. Eddig ezzel a lehetőséggel csak az MKL élt. Várjuk, hogy ezzel a lehetőséggel a többi lap is élni fog.

Az oldalunkhoz csatlakozott felhasználók hasznos információkhoz juthatnak az MKE által szervezett és támogatott konferenciákról, programokról, előadásokról.

Bízunk benne, hogy oldalunk látogatottsága ilyen ütemben nő a továbbiakban is. Szeretnénk népszerűek maradni és népszerűvé válni a középiskolástól az idősebb korosztályokig. Minden kedves érdeklődőt várunk szeretettel az MKE hivatalos Facebook-oldalán (www.facebook.com/mkeface).

Az MKEFACE csapata

Konferenciák, rendezvények

Kozmetika szimpózium – 2015
2015. november 19.
Hotel Bara, Budapest, Hegyalja út 34.
Online regisztráció:
https://www.mke.org.hu/conferences/kozmetika2015/admin/
TOVÁBBI INFORMÁCIÓK:
Schenker Beatrix, beatrix.schenker@mke.org.hu

European Symposium on Atomic Spectroscopy
2016. március 31. – 2016. április 2.
Eszterházy Károly Főiskola (Eger, Eszterházy tér 1.)
Regisztráció:
https://www.mke.org.hu/conferences/esas2016/registration/
Kiállítók jelentkezését szeretettel várjuk.
TOVÁBBI INFORMÁCIÓK: Schenker Beatrix, esas2016@mke.org.hu

Az MKE BAZ Megyei Területi Szervezete és a MAB Vegyészeti Szakbizottsága tisztelettel meghívja a MAB-székházba (Miskolc, Erzsébet tér 3.) a 2015. november 18-án 9:30-kor kezdődő, **A kémia a mindennapi életünk része** témakörű **32. BORSODI VEGYIPARI NAPRA**. A részletes programot az MKE honlapján tesszük közzé.

MKE egyéni tagdíj (2016)

Kérjük tisztelt tagtársainkat, hogy a **2016. évi tagdíj** befizetéséről szíveskedjenek gondoskodni annak érdekében, hogy a Magyar Kémikusok Lapját 2016 januárjától is zavartalanul postázhassuk Önöknek. A tagdíj összege az egyes tagdíj-kategóriák szerint az alábbi:

• alaptagdíj:	8000 Ft/fő/év
• nyugdíjas (50%):	4000 Ft/fő/év
• közoktatásban dolgozó kémiatanár (50%)	4000 Ft/fő/év
• ifjúsági tag (25%):	2000 Ft/fő/év
• gyesen lévő (25%)	2000 Ft/fő/év

Tagdíj-befizetési lehetőségek:
banki átutalással
(az MKE CIB banki számlájára: 10700024-24764207-51100005)
a mellékelt csekken;
személyesen (MKE-pénztár, 1015 Budapest, Hattyú u 16. II/8.)
Banki átutalásos és csekkes tagdíjbefizetés esetén a **név, lakcím, összeg rendeltetése** adatokat kérjük jól olvashatóan feltüntetni.

Ahol a munkahely levonja a munkabérből a tagdíjat és listás átutalás formájában továbbítja az MKE-nek, ez a lista szolgálja a tagdíjbefizetés nyilvántartását.

Előfizetés a Magyar Kémiai Folyóirat 2016. évi számaira

A Magyar Kémiai Folyóirat 2016. évi díja fizető egyesületi tagjaink számára 1400 Ft. Kérjük, hogy az előfizetési díjat a tagdíjjal együtt szíveskedjenek befizetni. Lehetőség van átutalással rendezni az előfizetést a Titkárság által küldött számla ellenében. Kérjük, jelezzék az erre vonatkozó igényüket!

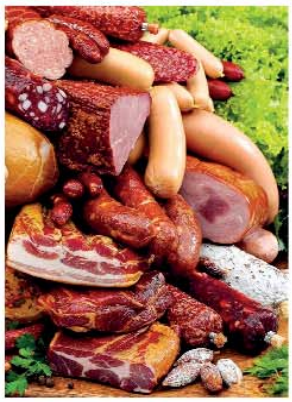
Mindenkinek köszönetet mondunk, aki 2015-ben kettős előfizetéssel hozzájárult a határon túli magyar kémikusoknak küldött Folyóirat terjesztési költségeihez. Kérjük, aki teheti, 2016-ban is csatlakozzon a kettős előfizetés akcióhoz.

Helyesbítés
A lap októberi számának 338. oldalán, az állami kitüntetések ismertetésénél szerkesztési hiba miatt kimaradt Tóth Gábor kitüntetésének indoklása. Tóth Gábor a szerves kémiai szerkezetkutatás terén elért, nemzetközi szinten is kiemelkedő eredményei, valamint jelentős tudományos és oktatói pályája elismeréseként kapta a Magyar Érdemrend lovagkeresztjét.

TELJESÍTMÉNYBEN GYŐZTES

NITROGÉN / FEHÉRJE tartalom mérő

Dumas automata analizátorok



* élelmiszerek
* talajok
* gabonák
* növények
* bio-iszapok

vizsgálatához

elementar
Analysensysteme GmbH
EXCELLENCE IN ELEMENTS

AKTIVIT Kft.
1145 Budapest, Pétervárad u. 14.
Tel: +36-(1)-470-0125, 221-7865.
Fax: 252-9940, Mail: L.nagy@aktivit.hu, www.aktivit.hu
Automata analizátorok, műszerek, analitikai eszközök

Egyedülálló előnyök:

* gyors és olcsó mérés: 4 perc/minta (napi >300 minta)
* makro bemérés: 1g-ig / 5g-ig, detektálás: 500 mg N abs.
* egyszerű felépítés, olcsó üzemeltetés CO2 gázzal, felügyelet nélkül
* önregeneráló redukciós egység: karbantartás 2000 mérésenként
* megbízható eredmények, kétfokozatú tökéletes égetés
* évekig stabil kalibráció - egyetlen kalibráció minden mintára
* extrém hosszú élettartam: a fő egységekre **10 év garancia**
* bemérés 5mL-es acéltégelybe, mintaelőkészítés nélkül (MAX)