

Algák alkalmazása a textil- és papíripari szennyvíztisztításban

I. rész. Irodalmi áttekintés

Nagy Henrietta Judit¹, Kristály Erika¹, Lele István², Lele Istvánné², Gere Pál², Rusznák István¹, Sallay Péter¹, Víg András³

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szerves Kémia és Technológia Tanszék

²Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar Papíripari Kutatóintézet

³MTA-BME Szerves Kémiai Technológia Tanszéki Kutatócsoport

1. Irodalmi áttekintés

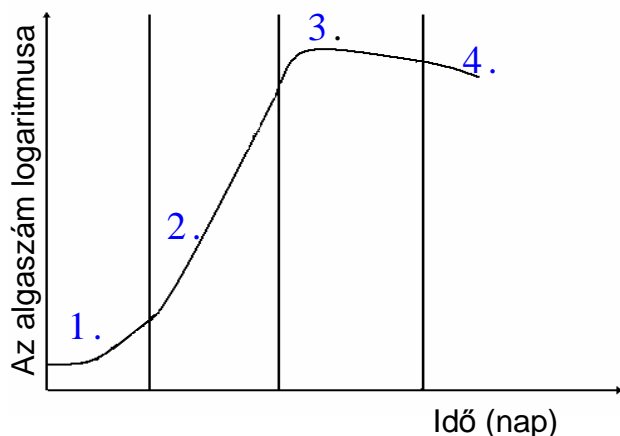
1.1. Algák (moszatok)

Az algák mintegy 3,5 milliárd évvel ezelőtt jelentek meg a Földön. A moszatoknak jelentős szerepük volt a földi légkör kialakításában. Ma is az algák termelik a Föld oxigénjének 70-80%-át [Miller 2004].

Az „alga” különböző, fotoszintézisre képes, eukarióta élőlények gyűjtőneve (kivételt képeznek a cianobaktériumok) [Hajdú 1977]. Osztályozásuk alapja a testfelépítésük, a fotoszintetikus pigmentjeik, a fotoszintézisben közreműködő színanyaguk összetétele, a fotoszintézisben keletkező tartalék tápanyagok minősége, életciklusuk, illetve szaporodásuk módja is lehet [Hajdú 1977], [Kiss-Keve 1998].

1.1.1. Az algák életciklusa

A parazitamentes algaszaporodás 4 szakaszát az 1. ábra szemlélteti [Smets 1990].



1. ábra. Az algák életciklusa.

1. Kezdeti szakasz (lag-fázis), 2. Exponenciális sebességű szaporodás, 3. Lassuló szaporodás (nyugalmi szakasz), 4. Elhalálozási fázis (a biomassza csökken) [Smets 1990]

1. Kezdeti szakasz (lag-fázis). – Ez a szakasz általában hosszabb időt vesz igénybe. A gyors szaporodáshoz (sejtosztódás, szénmegkötés) a sejtek fiziológiailag csak lassan adaptálódnak, mivel a szükséges enzimek és metabolitok kritikus szintjének elérése időigényes. Az exponenciális növekedés kezdetéig eltelt idő jelentő-

sen rövidíthető, ha a lag-alga kultúrát a már gyors növekedési szakaszban lévő algával oltják be.

2. Exponenciális szakasz. – Az exponenciális szakaszban a szaporodás sebessége az idő logaritmikus függvénye:

$$C_t = C_0 \cdot e^{mt}$$

ahol C_0 a kezdeti, C_t pedig a t időpontban mért sejtkoncentráció, m = az alga fajtájától, a fényintenzitástól és a hőmérséklettől függő fajlagos növekedési sebesség.

3. Csökkenő sebességű szaporodás. – A sejtosztódás lelassul, amikor a fény és/vagy a pH és/vagy a széndioxid koncentráció és/vagy a tápanyag utánpótlás esetleg más fizikai, illetve kémiai hatások külön-külön vagy együttesen azt limitálják.

4. Pusztulás. – A pusztulási szakaszban a tápanyag koncentráció kritikus érték alá csökken illetve a víz minősége már nem elfogadható, a szaporodás drámaian lelassul, a sejtenyészet összeomlik.

1.1.2. Az algák szaporodását befolyásoló ökológiai faktorok

A mikroorganizmusok életciklusát számos tényező befolyásolja:

- a besugárzó fény intenzitása,
- az O_2 és a CO_2 mennyisége és aránya, valamint a levegő térfogatárama,
- hőmérséklet,
- pH érték,
- az algákat felépítő elemek jelenléte,
- nyomás (pl. mélytengeri algák),
- a keveredés/keverés intenzitása [Barsanti 2006], [Sasi 2009].

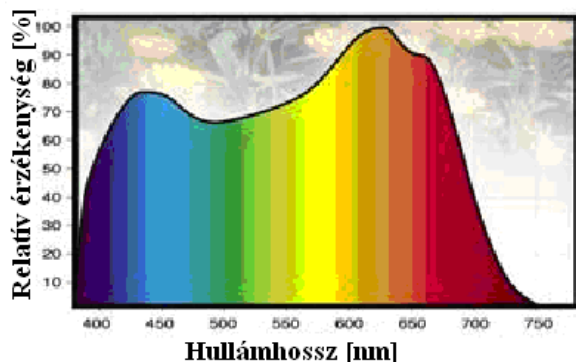
Két vonatkozásban is meghatározó a fény szerepe az algák szaporodásában. Egyrészt megfelelő fényintenzitás szükséges, másrészt fontos a világosság és a sötétség váltakozásának a gyakorisága [Sasi 2009].

A fotoszintézist alapvetően meghatározó tényezők:

- az intenzitás (vagy amplitúdó, amit fényerőként, fényességgént érzékelünk) és
- a frekvencia (vagy hullámhossz, ami a színt határozza meg).

A fotoszintézisben a kék (420–450 nm) illetve a piros (660–700 nm) színű fény dominál, [Geider 1992], [Lee 1996], [Matthijs 2007] (2. ábra).

A vízben oldott CO_2 mennyiségének is közvetlen hatása van az algakultúrák szaporodására. A fotoszintetizáló mikroorganizmusok 0,03–40%-os CO_2 -tartalmú levegőáramban maradnak életben [Hirata 1996], [Chinnasamy 2009].



2. ábra. A fotoszintetikus aktivitás változása a fény hullámhosszának függvényében [Matthijs 2007]

Powel és munkatársainak vizsgálatai szerint a *Chlorella vulgaris* alga szaporodásához az az ideális, ha a vízbe 10% CO₂-tartalmú levegőt vezetnek be [Powell 2009].

A mikroorganizmusok szaporodási sebessége a hőmérséklet függvényében fajspecifikus. Hirata és munkatársai 10–30 °C között vizsgálták a *Chlorella vulgaris* szaporodását. Eredményeik szerint a *Chlorella vulgaris* a 20–30°C-os hőmérséklettartományban szaporodik optimálisan [Hirata 1996].

Chinnasamy és munkatársai szerint a *Stigeoclonium* és *Mmougeotica* zöldmoszatok szaporodásának az 5,5–7 pH tartomány kedvez [Chinnasamy 2009].

Powel és munkatársai a pH függvényében vizsgálták a *Chlorella vulgaris* szaporodási sebességét. Megállapították, hogy az oldat 6–8 pH tartományban nincs jelentős szerepe a *Chlorella* szaporodására. A Daphnia Kutatócsoport szerint, az optimális pH tartomány 6,7 ± 0,3 [Daphnia 2007].

Az algatest felépítésében részt vesz a szén, a hidrogén, a nitrogén, az oxigén a foszfor, a kén, a magnézium, a szilícium, a calcium, a vas, a bárium és a stroncium [Péterfi 1977].

A különböző elemek aránya a mikroalgákban: C:O:H:N:P = 1,00:0,48:1,83:0,11:0,01 [Grobelaar 2004].

A keverés megakadályozza az üledékképződést, az egyenlőtlen hőmérséklet-eloszlást és javítja a gázcserét az algakultúra és a levegő részecskéi között, valamint az algapopuláció egyenletes fényfelvételi lehetőségét [Hirata 1996].

1.1.3. Algák ipari alkalmazási lehetőségei

Az algák elhamvasztása során nyert hamut már a XVIII. században használták a szappankészítésben, az üveg- és a kerámiaparbán.

Algakészítményeket állítanak elő az úgynevezett száraz desztillációs eljárással, illetve nedves erjesztéssel, újabban pedig szuperkritikus extrakcióval [Herrero 2006].

Az *élelmiszeriparban* a moszatokból kivont alginátokat, agar-agart és carrageent sokoldalúan felhasználják különböző élelmiszerek (krémek, borok, olaj, gyümölcslevek, fagylalt, mustár, majonézek) előállításában.

A *gyógyszeriparban* pasztillák, kúpok, kenőcsök, vatta, valamint a kozmetikai cikkek (mosószerek, kré-

mek, szappanok, fogkrémek) készítéséhez használnak algakészítményeket [Oh-Hama 1988].

Az algák jelentős vitamintartalmát mind a kozmetikai, mind a gyógyszeriparban hasznosítják [Riggs 2011]. Egyes vörösmoszatokból (pl. *Phyllophora nervosa*) B₁₂ vitamint, zöldalgákból B₁ vitamint, B₆ vitamint és E-vitamint mutattak ki. A barnamoszatok gazdagok C-vitaminban [Péterfi 1977].

Már az 1950-es évektől ismertek egyes algafajok antibiotikus exkrétumai (az anyagcserével kiválasztott anyagok). Schaeffer és Krylov olyan tengeri algákat izoláltak, amelyek kivonatai antivirális szerként alkalmazhatóak. A kísérletek alapján eredményesen használhatóak a HIV (Human Immunodeficiency Virus) és a HSV (Herpes Simplex Virus) kezelésében [Schaeffer 2000].

A *textiliparban* alginátokat és agar-agart használnak a mechanikai igénybevételek elleni védelem céljából fonásnál, illetve a nyomópépekben sűrítőként [Jederán 1979], [Lim 2010].

A *papírgyártásban* az alginátokat ragasztó- és fénnyező anyagként alkalmazzák [Péterfi 1977].

A szennyezett vizek tisztítását az oxidáló medencékben megvalósuló alga-baktérium kölcsönhatás folytán fellépő aerob és anaerob folyamatok biztosítják [Péterfi 1977], [Pokhrel 2004].

1.2. Szennyvíztisztítás

A Föld mintegy 2 milliárd km³-nyi vízkészletének csak 0,5%-a könnyen hozzáférhető édesvíz [Domokos 1999]. Ennek a vízkészletnek a fenntartható felhasználása, majd a szennyezett víz tisztítás után történő visszajuttatása a környezetbe (befogadóba) kiemelten fontos feladat.

A történeti fejlődés során, az 1800-as évek első felében először csak mechanikai tisztítást végeztek. A biológiai tisztítás a 19. század második felétől terjedt el. A 20. század közepe táján ismerték fel, hogy egyes komponensek (nitrogén, foszfor stb.) feldúsulása a befogadóban (élő vízfolyások, tavak) új problémák kialakulásához vezet, ezért a biológiailag is tisztított szennyvíz további (utó)tisztítására van szükség [Öllös 1991].

Ma mind a kommunális, mind az ipari szennyvíz tisztítása során leggyakrabban az előbb említett három tisztítási eljárást együttesen alkalmazzák. Így először elvégzik a *mechanikai tisztítást*, aminek során a szennyvizek fizikailag leválasztható úszó és lebegő anyagait távolítják el rácsok, ülepítők, szűrők segítségével. A második fokozatban, vagyis a *biológiai tisztítás* során, a mechanikai úton el nem távolítható szerves anyagok lebontását mikroorganizmusok végzik. A harmadik tisztítási fokozatban (*utótisztítás*) az oldott ásványi anyagok – elsősorban növényi tápanyagok – eltávolítását végzik [Vermees 1998].

1.2.1. A szennyvizek minősítésére alkalmazott mennyiségi jellemzők

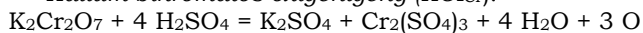
A szennyvizek minőségét különböző paraméterek mérésével ellenőrzik. A szennyvízjellemzők még megengedhető felső értékeit jogszabályokban és határozatokban rögzítik, mind a kommunális, mind az ipari szennyvizek esetén (iparáganként csoportosítva).

A vízjellemzők-szennyvízjellemzők meghatározási módszereit az országok vízvizsgálati nemzeti szabványban rögzítik.

A biokémiai/biológiai oxigénigény (BOI_s) az az oxigénmennyiség, amely a vízben lévő szerves anyagok 5 nap alatt, 20 °C-on, aerob úton történő biokémiai lebontása közben elfogy [mg/l] [Öllös 1991.], [Rotmisztróv 1982.].

A **kémiai oxigénigény (KOI)** a minta kálium-permanganáttal, vagy kálium-bikromáttal történő 1 órás forralása során elhasználódott oxidálószerrel egyenértékű oxigénfogyasztást jelenti [mg/l].

Kálium-bikromátos oxigénigény (KOI_{Cr}):



A keletkezett oxigén, a mintában lévő szerves anyagot szén-dioxiddá és vízzé oxidálja [Rotmisztróv 1982].

Összes nitrogén tartalom: A teljes nitrogén terhelés mérésekor mérjük az ammonifikáció során a fehérjéből képződő ammónium-ionok, illetve az ezekből képződő nitrit- és nitrát-ion tartalmat is (nitrifikáció) [Öllös 1991].

Összes foszfor tartalom: Az összes foszfor tartalom meghatározásakor méri az orto-foszfát mennyiségét, valamint a polifoszfátok és a szerves foszforvegyületek terhelését is [Öllös 1991].

A vizsgálatokhoz alkalmazott mérési szabványok:

- **MSZ EN 1899-1:2000** Vízminőség. A biokémiai oxigénigény meghatározása n nap után (BOI_n). 1. rész: Hígitásos és oltásos módszer allil-tiokarbamid hozzáadásával (ISO 5815:1989, módosítva) [MSZT 2011].

- **ISO 15705:2002** A kémiai oxigénigény meghatározása (KOI_{Cr}) [ISO 2011].

- **MSZ EN 25663:1998** Vízminőség. A Kjeldahl-nitrogén meghatározása. Széles roncsolás utáni meghatározás (ISO 5663:1984) [MSZT 2011].

- **MSZ 260-20:1980 Szennyvizek vizsgálata. Összes foszfor meghatározása** [MSZT 2011].

1.2.2. Szennyvíztisztítás algákkal

A moszatok, mint vízi életmódot folytató szervezetek fejlődésük folyamán lényegesen befolyásolják környezetük fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait. Már i. e. 800-ban Perzsiában algákat használtak a szennyezett vizek tisztítására.

A 20. század elejéig a vizek szennyeződését a felgyülemelő rothadó szerves anyagok, ürülék és a házi szemét okozta [Péterfi 1977].

Később a lakosság számának növekedése, a gyors iparosítás és a gyom- és rovarirtó-szerek alkalmazása fokozták a vízszennyezést. A keletkezett vizek fizikai, kémiai tulajdonságai tehát jelentősen megváltoztak, és sok esetben a biocönózisokat is károsíthatják [Barsanti 2006].

A szennyezett vizek tisztítására alkalmazott fizikai és kémiai módszereken túl számos szerző fontos szerepet tulajdonít a biológiai eljárásoknak, mint amilyen a biológiai szűrés, az aktív iszap kialakítása, az oxidációs folyamatokat biztosító medencék, a szóráó öntözéssel való eltávolítás és az anaerob bomlás módszere [Gonzalez 1997], [Hernandez 2006].

Az algák eredményesen alkalmazhatóak a szennyvíztisztításra, mivel a fotoszintézis során a szárazanyaguknak 1,6-szorosát elérő oxigéntermeléssel növelik az

oxidáció intenzitását és csökkentik a tisztított víz oxigénhiányát, másrészt a szervesen sók asszimilálásával csökkentik a víz sótartalmát [Orlóczi 1966], [Oswald 1992].

A mikroalgák számos faja alkalmazható a biológiai szennyvíztisztításban [Oswald 1992].

A *Chlorella* algák képesek eltávolítani a szennyvízből a P- és a N-tartalmú vegyületeket és a nehézfémeket [Bashana 2002], [Bertoldi 2009], [Bich 1999], [Gonzalez 1997], [Hernandez 2006], [Khan 2008], [Valderrama 2002].

A szennyvíztisztító medencékben szeptember és július közötti időszakban főleg zöldmoszat fajok uralkodnak (*Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Closterium*), július és szeptember között pedig a kékoszat fajok (*Anacystis*, *Oscillatoria*) találhatóak nagyobb mennyiségben [Gonzalez 1997], [Péterfi 1977].

Vogel és munkatársai *Chlorella vulgaris* algasejtek aktivitását vizsgálták U(VI)-tartalmú szennyvíztisztításra használt biomasszában. Megállapították, hogy a sejtek életképességét jelentősen befolyásolja az urán koncentrációja és a biomassza pH-ja [Vogel 2010].

Afkar és munkatársai a kobalt, a réz és a cink bioakkumulációját vizsgálták *Chlorella vulgaris*-ban ipari szennyvízben. Megállapították, hogy a nehézfémek megkötése függ a szennyvíz egyéb alkotóitól és a nehézfémek koncentrációjától [Afkar 2010].

Az algák szaporodását jelentősen befolyásolja a tápanyagul szolgáló szennyvíz-komponensek mennyisége és minősége, az elektrolit-tartalom, a pH, a hőmérséklet, a turbulencia és a megvilágítás. A paraméter optimumok és azok megengedhető ingadozás alfafajta specifikusak [Sasi 2009], [Ramkumar 1998].

A fotoszintézishez az algáknak a fényen kívül első sorban szénre, hidrogénre, oxigénre és foszforra van szüksége.

Az irodalmi adatok alapján a szennyvíz az algák fotoszintéziséhez szükséges valamennyi anyagot tartalmazza (1. táblázat) [Orlóczi 1966].

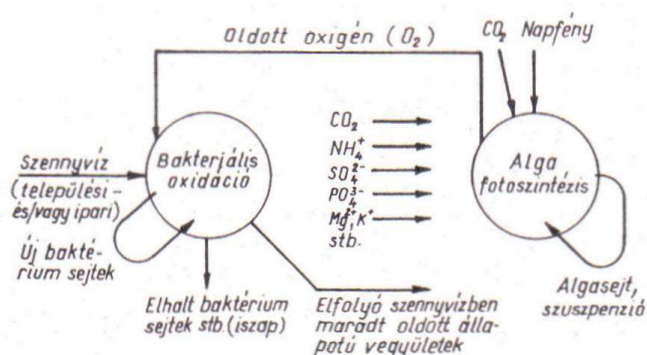
1. táblázat. Az algák és a házi szennyvíz elemi összetétele [Orlóczi 1966]

Elem	Algák szárazanyag összetétele	Házi szennyvíz szárazanyag összetétele
	a szárazanyag ezrelékében	
Szén	500–700	180–250
Nitrogén	15–100	60–100
Foszfor	8–15	1–3
Kén	8–10	20–40
Kalcium	0–16	140–180
Kálium	0,4–14	28–45
Magnézium	3–15	15–30
Vas	0–6	0–2
Cink		
Mangán		
Oxigén	170–330	
Hidrogén	60–100	

Föster szerint a lakossági (kommunális) szennyvíz olyan összetett rendszer, amelyben a mikroorganizmusok, valamint az azok növekedéséhez szükséges tápanyagok is rendelkezésre állnak. A szennyvízben kialakult környezet (pH, hőmérséklet stb.) megfelelő a mikroorganizmusok szaporodásának. Ezzel szemben, az ipari szennyvizekből az élő szervezetek legtöbbször

hiányoznak, vagy csak kis koncentrációban vannak jelen. Számos fizikai és kémiai jellemzőjük miatt a mikroorganizmusok elszaporodására egyes ipari szennyvizek-alkalmatlanok lehetnek [Föster 1993].

A szennyezett vizek tisztítását az oxidáló medencékben kialakuló alga-baktérium kölcsönhatás eredményeképp fellépő aerob és anaerob folyamatok biztosítják (3. ábra). A tisztítás úgy zajlik, mint a folyóvizek öntisztulása. Az algák fotoszintéziséből felszabaduló oxigén felhasználásával a baktériumok oxidálják a szerves anyagokat, szén-dioxidot, nitrátokat és foszfátokat szabadítanak fel. A keletkező anyagokat az algák táplálkozásukhoz használják fel [Hoffmann 1998], [Palmer 1977] [Valderrama 2002].



3. ábra. Az oxidáló medencékben/aerob tavakban zajló fotoszintézises oxigéntermelés és az alga-baktérium szimbiózis értelmezése [Öllös 1991]
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2$

A folyamatosan végbemenő alga-baktérium kölcsönhatás eredményeképpen csökken a szerves anyagok mennyisége és nő az algák elszaporodása folytán a biomassza mennyisége a mindinkább tisztuló vízben [Péterfi 1977].

1.3. A textilipari szennyvizek és tisztításuk

A textilipar legfontosabb segédanyaga a víz. A textilipari szennyvizek mennyisége és minősége az alkalmazott technológiáktól függően eltérő. Az átlagos szennyvízösszetétel a 2. táblázatban látható.

2. táblázat. Textilipari szennyvizek jellemző adatai [Katona 1989]

Szennyvíz jellemző	Átlagos értékek
KOI [mg/l]	500–3000
BOI ₅ [mg/l]	150–800
Ülepítőanyag [mg/l]	80–300
pH	3,5–13

A textilipari szennyvíz fő szennyezői a szálasanyagok, a keményítő alapú ízezőszerek, a lineáris alkil-láncú mosószerek, az aromás gyűrűt, etilén-oxid-láncot tartalmazó és elágazó láncú mosó- és nedvesítőszerek, a savak, lúgok, szerves oldószerek, fenol, formaldehid, aktív-klór, klórdioxid, nehézfém vegyületek, króm (VI.), cink, réz, higany-vegyület (3. táblázat). [Katona 1989], [Ovejero 2011].

A nagy vízfelhasználás miatt – a papíriparhoz hasonlóan – a textiliparban is kiemelten fontos a vízkímélő gyártási és vízgazdálkodási technológiák alkalmazása. A segédanyagok helyettesítése, visszanyerése és

újrafelhasználása további lehetőségeket kínál a környezetterhelés csökkentésére [Srinivasan 2010].

3. táblázat. Szennyezők és eltávolításuk a textilipari szennyvízből [Horváth 1991]

	Textilipari eljárás		
	Áztatás	Gyapjúfeldolgozás	Textil-kikészítés
A szennyvíz eredete és a fajlagos vízigény	20–40 m ³ /t	Mosás: 150–300 m ³ /t	Írtelenítés, mosás, fehérítés, színezés, appretálás: 40–300 m ³ /t
A szennyvíz jellemzői	Nagy oldott és kolloid szervesanyag-tartalom, rostos lebegő anyagok, pektinek, zsírsavak (BOI ₅ 100–1000 mg/l)	Lúg, szappan, detergens, lanolin, magas pH, szerves és szervesetlen lebegő anyagok	Nagy oldott szerves- és szervesetlen anyag-tartalom, valamint lebegőanyag-tartalom, magas pH, színezék, kemikáliák, detergens
Szennyvíztisztítás	Fizikai	Rács	Zsír- és olajfogó, finom rács, szita.
	Kémiai	–	Gyapjúzsír extrakció, emulzióbontás
	Biológiai	Anaerob tó+fakultatív tó (oxidációs árok)	Eleveniszapos medence
			Eleveniszapos és csepegtetőtestes rendszerek

Vízkímélő eljárás a pigment- és a transzfer- (szublimációs) nyomás. A pigmentnyomó eljárásoknál a pigmentet kötőanyagot tartalmazó pasztából használják fel, amely mosás és szárítás után jó szintartósággal rögzítődik az alapanyagon, így nem igényel utánmosást. A transzfernyomás szintén nem jár vízfelhasználással, mivel a mintát papírhordozóról hőkezeléssel viszik a textil felületére.

Csökkentik a vízfelhasználást az oldószeres előkezelési (írtelenítés, mosás) és kikészítési eljárások. Itt az oldószereket zárt körfolyamatban használják [Katona 1989].

A vízszennyező anyagok visszanyerésére többféle lehetőség van:

1. Az alkália visszanyerése erősen lúgos fürdőből bepárlással: A visszanyerhető anyagmennyiség több mint 50%, amellel a bepárláshoz használt hőmennyiség melegvíz formájában hasznosítható.

2. A vízben oldódó ízező anyagok visszanyerése: Az iránygok okozzák a pamutipari vízszennyezés több mint 50%-át. Visszanyerés és újrafelhasználás szempontjából azok az ízezőanyagok jöhetnek számításba, amelyek vízzoldhatóak, tehát az írtelenítés során nem degradálódnak. Ilyenek a szintetikus ízezőanyagok (pl. poliakrilátok, polivinil-alkohol).

A poliakrilátok visszanyerésére az ún. szelektív duzzasztásos módszert, a polivinil-alkohol visszanyerésére az ultraszűrést alkalmazzák [Horváth 1991].

A gyapjúmosó vizek zsírtalanítására zsírszeparátorok (pl. GARAB-rendszerű extraháló-szeparátor) alkalmazhatóak, amelyekkel a zsírtartalom 40–50%-a is

visszanyerhető. A kinyert gyapjúzsír, a lanolin a kozmetikai iparban felhasználható [Katona 1989].

Horváth javasolja textilszínező és kikészítő üzemekből elfolyó szennyvizek házi szennyvízzel való együtt tisztítását biológiai módszerekkel. A detergensok eltávolítására a flotációt, valamint a habképzést javasolja (habeltávolítás) [Horváth 1991].

A textilipari szennyvizek szerves, szintetikus színezék-tartalma jelentős környezetterhelést okoz. A színezékek a környezetbe jutva mérgezőek, kalcinogének és mutagének lehetnek, így negatívan befolyásolják az élő szervezetek működését [Vinitnantharat 2008].

A színezéktartalom csökkentésére jelenleg az ózonkezelést, egyéb oxidációs eljárásokat (pl. nagy nyomású nedves levegős oxidáció, elektro-oxidáció) az adszorpciós eljárásokat (aktív szénen, szilika-gélen), illetve a membránszűrést eredményesen alkalmazzák [Anjaneya 2011], [Lim 2010].

Az ózon-kezelés (= ózonizáció = atmoszférikus oxidáció) rendkívül hatékony a színezéktartalom eltávolítására, de jelentős beruházást igényel és működési költségei is nagyok [Khalaf 2008].

A nagy nyomású nedves levegős oxidáció során – magas hőmérsékleten és nagy nyomáson – a szennyvizekben található szerves és szervetlen szennyeződések kis szénatom-számú karbonsavakká, majd széndioxidá és vízzé oxidálódnak. A nedves levegős oxidáció során a magas hőmérséklet, a nagy nyomás, valamint a több órás tartózkodási idő miatt erősen korrodálódik a reaktor (autokláv), ezért vastag falú és ellenálló szerkezeti anyagok használata szükséges. Ez a követelmény jelentős mértékben megnöveli mind a beruházási, mind pedig az üzemeltetési költségeket [Lim 2010].

Rajkumar és Muthukumar elektro-oxidációs eljárással (elektrolízis) hatékonyan (90%-kal) csökkentették a Reactive Orange 107 színezéket tartalmazó szennyvíz kémiai oxigénigényét. A kezelést követően a színezékkoncentráció 98%-kal csökkent az UV/VIS spektrofotométerrel végzett mérések szerint [Rajkumar 2011].

A szennyezőket megkötő adszorberek drágák, bár hatékonyan regenerálhatóak és újra felhasználhatóak az adszorpciós szennyvíztisztítási eljárás során.

A membrán-technológiák alkalmazása is jelentős költségekkel jár [Khalaf 2008].

Nagy és munkatársai inklúziós komplexképzőket (kukurbiturilok [CB]) alkalmaztak három diszperziós-, három heterobifunkciós reaktív és egy savas színezék megkötésére. Vizes közegben meghatározták a kukurbit-6-uril (CB6), illetve kukurbit-8-uril (CB8), valamint keverékük (CB) komplexáló képességét három reaktív, egy savas és három diszperziós színezékkel [Nagy 2009].

Hai és munkatársai ötvözték a biológiai tisztítást membránszűréssel, és eredményesen csökkentették az extrém nagy színezéktartalmú szennyvíz összes szerves széntartalmát (TOC) [Hai 2011].

Demarche és munkatársai immobilizált oxidoreduktáz és liáz enzimeket alkalmaztak a papír-, textil- és élelmiszeripari szennyvíz előkezelésére. Megállapították, hogy az enzim előkezelés minden esetben elősegítette a szerves anyagok lebontását, így eredményesen alkalmazható a hagyományos biológiai tisztítás kiegészítésére [Demarche 2011].

Anjaneya és munkatársai a *Bacillus sp.* és a *Lysinibacillus sp.* baktériumokkal kezelték a metilsárga

(200mg/l) tartalmú szennyvizet. A baktériumok degradálták a színezékeket és a szennyvíz elszíntelenedett. Optimalizálták az ökológiai faktorokat: $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7,2$, kezelési idő 78, illetve 84 óra. A szennyvízben bekövetkező változásokat UV/VIS spektrofotométerrel, HPLC és GC/MS analízissel követték [Anjaneya 2011].

1.3.1. Algák alkalmazása a textilipari szennyvíztisztításban

Cordova Rosa és munkatársai a textilipari szennyvizek toxicitásának mérésére – növények (rizs) és halak (*Poecilia reticulata*) mellett – baktériumokat (*Vibrio fischeri*), valamint algákat (*Scenedesmus subspicatus*) is alkalmaztak indikátorként. Legérzékenyebben a baktériumok, majd az algák, a növények, végül a halak reagáltak a szennyvíz mérgező anyagaina [Cordova Rosa 2001].

Srinivasan és munkatársai egyes baktériumok, algák és gombák bioszorpciós kapacitását hasonlították össze színezék tartalmú szennyvízben [Srinivasan 2010].

Khalaf gombákat (*Aspergillus niger*) és édesvízi zöldalgákat (*Spirogyra sp.*) használt a Synazol reaktív színezékeket tartalmazó textilipari szennyvíz előkezelésére. Megállapította, hogy az *A. niger* – a Synazol Red HF6BN-t és a Synazol Yellow HF2GR-t együttesen tartalmazó szennyvízből – a színezékek 88%-át, míg a *Spirogyra sp.* a 85%-át képes eltávolítani 18 órás kezelés után ($\text{pH}=3$, hőmérséklet $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) [Khalaf 2008].

Lim és munkatársai textilipari szennyvízben lévő Supranol Red 3BW, Lanaset Red 2GA, illetve Levafix Navy Blue EBNA színezékek bioremedizációját vizsgálták nagy algakoncentrációjú (*Chlorella vulgaris*) eleveniszapos medencében. Az iszap algakoncentrációja: 0,17–26 mg klorofill a/l. (Az algák és egyéb apró növényi szervezetek jelenlétének, valamint koncentrációjának mutatója a klorofill a zöld színanyag.) A medencében eltávolították a színezékek 41,8%–50,0%-át, az ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) 44,4–45,1%-át, a foszfát-foszfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) 33,1–33,3%-át. A kémiai oxigénigényt 38,3–62,3%-kal csökkentették. Megfigyelték, hogy az algák szaporodását elősegítő médium hatására megnövekedett a biomassa mennyisége, viszont a színezék eltávolítás hatékonysága csökkent.

A színezék eltávolítás a Langmuir és Freundlich szorpciós modellel jól leírható [Lim 2010].

Köhler és munkatársai optikai fehérítőszereket távolítottak el szennyvízből kétféle eljárással. Összehasonlították az aktív szenes adszorpciós tisztítási technológiát a baktériumokkal és algákkal végzett biológiai tisztítással. Eredményeik szerint a biológiai tisztítás hatékonyabb a szerves szennyezők eltávolítására, mint az adszorpciós eljárás. Környezetvédelmi szempontból viszont hátrányos, hogy a biológiai eljárás alkalmazásakor megnőtt a toxikus bomlástermékek mennyisége a szennyvízben [Köhler 2006].

1.4. Papíripari szennyvizek és tisztításuk

A cellulóz- és papíriparnak jelentős a természeti környezetre gyakorolt hatása, mivel alapanyaga a légköri oxigént termelő fa. A cellulóz- és papírgyártás rendkívül vízigényes. Ugyanakkor ez az iparág, amelyik élen jár a modern, vízkímélő gyártás- és vízgazdálkodási technológiák fejlesztésében és alkalmazásában, mivel ezen a területen fokozottan jelentkezik ezek gaz-

dasági haszna. Szinte valamennyi vízbe kerülő szennyezőanyag (60-80%) visszatartható, vagy visszanyerhető értékes alapanyag, segédanyag, vagy esetleg termék (4. táblázat) [Buyukkamaci 2010], [Garg 2011].

4. táblázat. Szennyezők és eltávolításuk a cellulóz- és papíripari szennyvízből [Horváth 1991]

<i>A szennyvíz eredete és a fajlagos vízigény</i>	Csak a cellulózgyártásból: feltárás, mosás, fehérítés, osztályzás. Vízigény: a) Papír: 180 m ³ /t b) Papírlemez: 60–380 m ³ /t c) Szulfátcellulóz: 30–300 m ³ /t d) Szulfitcellulóz: 200–1000 m ³ /t	
<i>A szennyvíz jellemzői</i>	Túl magas vagy túl alacsony pH, nagy lebegő kolloid és oldott szervesetlen anyag tartalom. BOIs: a) Szennylég: 16 000–25 000 mg/l b) Szulfátcellulóz: 1000–4000 mg/l c) Papír és cellulóz: 300–600 mg/l	
<i>Szennyvíz-tisztítás</i>	<i>Fizikai</i>	Ülepítés (ha csak papír, más nem is kell), gépi szűrés
	<i>Kémiai</i>	Szulfitos eljárásnál melléktermékek kinyerése, szulfátos eljárásnál teljes vegyszer-regeneráció, pH beállítás, koaguláció
	<i>Biológiai</i>	Stabilizációs tavak, levegőztetett tó, eleveniszapos eljárás

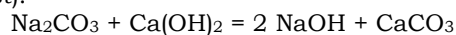
A papíripari szennyvizek minősége és mennyisége függ a feldolgozott alapanyag összetételétől és a választott feldolgozási eljárástól. A szennyvízbe kerülő anyagok környezetterhelése többféle lehet. Így a szennyvizek lehetnek toxikusak vagy színesek, de minden esetben megnövelik a kémiai- és a biológiai oxigénigényt [Buyukkamaci 2010].

A **cellulózgyártás** során a mechanikai rosttisztítás vizes közegben zajlik, a rostanyagot farönkből vagy aprítékból állítják elő. A korszerű eljárásokban a szennyvízbe kerülő rostokat visszanyerik, a felhasznált víz 60-90%-át visszavezetik a feldolgozási folyamatba [Diez 2005].

A kémiai rostanyag-gyártás esetében a vízszenyezés mértéke nagymértékben csökkent a feltárási anyagok regenerálásával működő technológiák bevezetésével [Murugesan 2003].

A Kraft- vagy nátron-feltárás esetén a szennylég regenerálás célja, az elhasznált lúg (feketelúg) alkalmassá tétele az újbóli feltáráshoz. A regenerálás három lépcsőben történik. Az első lépcsőben a 12–22% szárazanyag-tartalmú használt lúgot *bepárlással* 65–70% szárazanyag-tartalmúvá alakítják, hogy a lúgregeneráló kazánban a szárazanyag elégethető legyen. A kazánban a nátriumvegyületeket kísérő szerves anyagok *elégnek* (a keletkező hő hőtermelésre fordítható). Az égés mellett lejátszódnak a lúgregenerálás fontos kémiai folyamatai is. A keletkezett vegyületek 1200 °C-on oldott ömledéket képeznek (zöldlúg), amit a *kausztifikálási* folyamatban oltott mésszel [Ca(OH)₂] reagáltatnak. Ennek hatására a zöldlúgot fehérlúggá alakítják. Eredményes a kausztifikálás 94–96%-os kausztifikálási hatásfoknál (= a fehérlúgban lévő nátrium-hidroxid mennyiségének

az aránya a zöldlúgban volt nátrium-karbonáthoz képest).



A mésziszapot ülepítéssel és mosással választják el a lúgtól [Garg 2011].

A lúgregeneráló üzem a cellulózgyártás szennyezőanyag kibocsátását döntően meghatározza. Hiánya esetén a szennyvizek kémiai oxigénigénye a több tízezer milligrammot is elérheti literenként, magas ligninszár-mazék-tartalom mellett [Buyukkamaci 2010].

A **papírgyártás** teljes folyamatát híg vizes közegben végzik. A gyártáskor a víz nem csupán szállító közegként szolgál, hanem meghatározza a végtermék tulajdonságait is.

A technológiai folyamatokban elhasznált vizek rostokat, rosttörmelégeket és segédanyagokat (töltő, enyvező, színező) nagy mennyiségben tartalmaznak. A papírgyártás kezdeti időszakában ezek a vizek tisztítatlanul kerültek a befogadóba. Mára a szennyezett vizek egyre nagyobb részét visszavezetik a gyártási folyamatba, így csökkentik a frissvíz-igényt [Garg 2011], [Mänttari 2010].

Mänttari és munkatársai ultraszűréssel hatékonyan tisztították a papírgyártás közben keletkezett, szennyezett vizet. Majd visszavezetve azt a gyártási folyamatba, csökkentették az eljárás frissvíz-igényét. Az ultraszűréssel gyorsan, nagy áramlási sebesség mellett is hatékony tisztítást értek el [Mänttari 2010].

Az elfolyó papírgyári szennyvíz - a hagyományos tisztítási eljárásokat (mechanikai, biológiai) követően is - sok szerves anyagot tartalmaz. Ciputra és munkatársai háromféle, az oldott szerves anyag eltávolítására alkalmas módszert hasonlítottak össze. A szennyeződések ioncserélő gyantán, granulált aktív szénen, valamint nanoszűréssel próbálták eltávolítani. Megállapították, hogy a háromféle módszer mindegyike más-más szerves szennyező eltávolítására alkalmas. Leghatékonyabb eljárás pedig a nanoszűrés, a vizsgált három eljárás közül [Ciputra 2010].

Pokhrel és Viraraghavan összefoglaló cikkükben kiemelték, hogy az egyes tisztítási eljárások mely papíripari szennyező eltávolítására a legalkalmasabbak. A biodegradálható szerves szennyezők eltávolítására a kombinált aerob-anaerob tisztítás a leghatékonyabb. A szennyvíz színanyagai - biológiai úton - gombákkal, kicsapással, kémiai oxidációval és ózonizációval távolíthatók el eredményesen. A klórozott fenolszármazékok és az egyéb klórozott szerves halogénszármazékok mennyiségét legjobban adszorpcióval, ózonizációval és membránszűréssel lehet csökkenteni a szennyvízben [Pokhrel 2004].

A papírgyártásban környezetkímélő a hulladék-papír-újrafeldolgozás, mivel ebben az esetben nincs mechanikai- és kémiai-rostgyártás [Buyukkamaci 2010].

1.4.1. Algák alkalmazása a papíripari szennyvíztisztításban

Wahaab a papíripari szennyvíz nyolc vizoldható szerves komponensének biodegradálhatóságát vizsgálta aerob mikroorganizmusokkal (algákkal és baktériumokkal). A biodegradációt a kémiai oxigénigény követésével határozta meg [Wahaab 2002].

A papíripari szennyvíztisztítás során felhasznált vilamos energia mintegy 50%-át a biológiai medencék átlegegztetéséhez használják [Sandberg 2010]. Ezért is

célszerű olyan biológiai módszerek alkalmazása, amelyekben a tisztító mikroorganizmusok légzéséhez szükséges oxigént más, fotoszintézisre képes mikroorganizmusok termelik meg [Murugesan 2003].

Tarlan és munkatársai vizsgálták egy cellulóz- és papírgyár szennyvizének tisztítási lehetőségét algákkal. Zöldalgák (*Chlorella*, *Chlorococcum*, *Chlamydomonas*, *Pandorina*, *Eudorina*), kékalgák (*Microcystis*, *Anabaena*), kovamoszatok (*Nitzschia*, *Cyclotella*) és osztrós moszatok (*Euglena*) keverékét alkalmazták. A lignintől sötét barna szennyvíz optikai sűrűségét 80%-kal, a KOI-t 58%-kal, az AOX-et (Adsorbable Organohalogenes) 84%-kal sikerült csökkenteniük. Megállapították, hogy a fényintenzitás változtatása kis mértékben befolyásolja az alga keverék AOX megkötő képességét, viszont nagy a hatása a KOI-ra. Az észlelt hatásokat a szennyvíz koncentrációja csak kismértékben befolyásolta [Tarlan 2002./I].

Ugyancsak Tarlan és munkatársai vizsgálták egy cellulóz- és papírgyár elfolyó szennyvizét SBR (Sequencing Batch Reactors) reaktorban, alga keverékkel 4–15 napig. Megállapították, hogy a nagy lignintartalmú szennyvíz kezelésekor minimálisan 8 nap szükséges a biológiai oxigénigény csökkenéséhez. 15 nap után a reaktorban 60–85%-kal csökkent a KOI, 82–93%-kal az AOX. A szennyvíz klórgázzal való kezelése után a klórozott szerves szennyezők gyorsabban degradálódtak, mint a klórozatlan szennyvíz szennyezői [Tarlan 2002./II.].

1.5. A témában megjelent folyóirat publikációk száma

A tudományos adatbázisokban megjelent folyóirat-cikkek számát az 5. táblázat tartalmazza.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Magyar Gazdaságfejlesztési Központnak és a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalnak, az általuk meghirdetett és a fenti munkához elnyert „Kombinált algás és baktériumos szennyvíztisztítás magas környezeti minőségű elfolyó víz elérése céljából” (CORNET_6-08-1-2008-0013) pályázat pénzügyi támogatásáért.

Irodalom

- [Afkar 2010.] Afkar E., Ababna H., Fathi A.A.: **American Journal of Environmental Sciences** (2010) 6(3) 230-237.
- [Anjaneya 2011.] Anjaneya O., Souche S. Y., Santoshkumar M., Karegoudar T. B.: **The Journal of Hazardous Materials** (2011) 190(1-3) 351-358.
- [Barsanti 2006.] Barsanti L., Gualtieri, P.: *Algae-anatomy, biochemistry and biotechnology*. Taylor & Francis Boca Raton, 2006.
- [Bashana 2002.] Luz E. de-Bashana, Manuel Morena, Juan-Pablo Hernandez, Yoav Bashana: **Water Research** (2002) 36 2941-2948.
- [Bertoldi 2009.] Bertoldi F. C., Sant'Anna E., J.L. Barcelos-Oliveira J. L.: *Chlorella vulgaris* cultivated in hydroponic wastewater ishs **Acta Horticulturae** 843: International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics Lima, 2009.
- [Bich 1999.] Nguyen Ngoc Bich, Mohammad Ismail Yaziz, Nordin Abdul Kadir Bakti: **Water Research** (1999) 33(10) 2357-2362.
- [Buyukkamaci 2010.] Buyukkamaci N., Koken E.: **Science of the Total Environment** (2010) 408(24) 6070-6078.
- [Chinnasamy 2009.] Chinnasamy Senthil, Ramakrishnan Balasubramanian, Bhatnagar Ashish, C. Das Keshav: **International Journal of Molecular Sciences** (2009) 10 518-532.
- [Cipura 2010.] Ciputra S., Antony A., Phillips R., Richardson D., Leslie G.: **Chemosphere** (2010) 81(1) 86-91.
- [Cordova Rosa 2001.] Cordova Rosa E. V., Simionatto E. L., de Souza Sierra M. M., Bertoli S. L., Radetski C. M.: **Environmental Toxicology & Chemistry** (2001) 20(4) 839-845.
- [Daphnia 2007.] Daphnia Research Group (University of Reading): *Culturing of Chlorella vulgaris - Standard Operating Procedure* 2007. <http://www.biosci.rdg.ac.uk/Research/eb/daphnia.htm>
- [Demarche 2011.] Demarche P., Junghanns C., Nair R. R., Agathos S. N.: **Biotechnology Advances** (2011) [Epub]
- [Diez 2005.] Diez M. C., Quiroz A., Ureta-Zanartu S., Vidal G., Mora M. L., Gallardo F., Navia R.: **Water, Air and Soil Pollution** (2005) 163 325-339.
- [Domokos 1999.] Domokos S., Forgács J., Kopasz M., Kovács N., Tóth A., (Szerk.): *Környezetvédelmi alapismeretek KÖM-Környezetgazdálkodási Intézet* Budapest, 1999.
- [Föster 1993.] Föster U.: *Környezetvédelmi technika Springer-Hungarica* Budapest, 1993.
- [Garg 2011.] Garg S. K., Tripathi M **Reviews of Environmental Contamination & Toxicology** (2011) 212 113-136.
- [Geider 1992.] Geider R. J., Osborne B. A.: *Algal Photosynthesis - The measurement of algal gas exchange Chapman and Hall* New York, 1992.
- [Gonzalez 1997.] Gonzalez L. E., Canizares R. O., Baena S. **Bioresource Technology** (1997) 60 259-262.
- [Gonzalez 1997.] Gonzalez Luz Estela, Cafizares Rosa Olivia, Baena Sandra: **Bioresource Technology** (1997) 60 259-262.
- [Grobelaar 2004.] Grobelaar J. U. (2004) *Algal Nutrition*. In: Richmond A (ed) *Handbook on microalgal culture Blackwell Science* Malden, 2004.
- [Hai 2011.] Hai F. I., Yamamoto K., Nakajima F., Fukushi K.: **Water Research** (2011) 45(6) 2199-2206.
- [Hajdú 1977.] Dr. Hajdú Lajos: *A biológia aktuális problémái 10.- Szemelvények az algakutatás eredményeiből Medicina Könyvkiadó* Budapest, 1977.
- [Hernandez 2006.] Hernandez Juan-Pablo, de-Bashan Luz E., Bashan Yoav: **Enzyme and Microbial Technology** (2006) 38 190-198.
- [Herrero 2006.] Herrero Miguel, Cifuentes Alejandro, Ibañez Elena: **Food Chemistry** (2006) 98(1) 136-148.
- [Hirata 1996.] Hirata S., Hayashitani M., Taya M., Tone S.: **Journal of Fermentation Bioengineering** (1996) 81(5) 470-472.
- [Hoffmann 1998.] Hoffmann, J. P.: **Journal of Phycology** (1998) 34 757-763.
- [ISO 2011.] List of International Organization for Standardization standards www.iso.org 2011. June
- [Jederán 1979.] Jederán Miklós (Szerk.): *Textilipari kézikönyv Műszaki Könyvkiadó* Budapest, 1966.
- [Katona 1989.] Katona Emil: *A vízminőség-szabályozás kézikönyve Aqua Kiadó* Budapest, 1989.
- [Khalaf 2008.] Khalaf M. A.: **Bioresource Technology** (2008) 99(14) 6631-6634.
- [Khan 2008.] Khan Masil, Yoshida Naoto: **Bioresource Technology** (2008) 99 575-582.
- [Kiss-Keve 1998.] Kiss-Keve Tihamér: *Bevezetés az algológiába ELTE Eötvös Kiadó* Budapest, 1998.
- [Köhler 2006.] Köhler A., Hellweg S., Escher B. I., Hungerbühler K.: **Environmental Science & Technology** (2006) 40(10) 3395-3401.
- [Lee 1996.] Lee C.-G., Palsson B. O.: **Biotechnology progress** (1996) 11 249-256.
- [Lim 2010.] Lim S. L., Chu W. L., Phang S. M.: **Bioresource Technology** (2010) 101(19) 7314-7322.

- [Mänttari 2010.] Mänttari M., Kallioinen M., Pihlajamäki A., Nyström M.: **Water Science and Technology** (2010) 62(7) 1653-1660.
- [Matthijs 1996.] Matthijs H. C. P., Balke H., Van Hes U. M., Kroon B. M. A., Mur L. R., Binot, R. A.: **Biotechnology and Bioengineering** (1996) 98-107.
- [Miller 2004.] Miller Peter: **International Journal of Remote Sensing** (2004) 25(7-8) 1437-1442.
- [MSZT 2011.] Magyar Szabványügyi Testület szabványjegyzék <http://www.mszt.hu/> 2011. június
- [Murugesan 2003.] Murugesan K.: **Indian Journal of Experimental Biology** 2003 41(11) 1239-1248.
- [Nagy 2009.] H. J. Nagy, P. Sallay, M. L. Varga, I. Rusznák, P. Bakó, A. Vig: **Textile Research Journal** (2009) 79(14) 1312-1318.
- [Oh-Hama 1988.] Oh-Hama, T., Miyachi, S.: **Chlorella Microalgal biotechnology** Cambridge University Press Cambridge, 1988. 3-26.
- [Orlóczy 1966] Orlóczy István, Tóth József: **Hidrológiai Közlemény** (1966) 6 265-272.
- [Oswald 1992.] Oswald W.J. Micro-algae and waste-water treatment. Micro-algae Biotechnology Cambridge University Press Cambridge, 1992. 305-328.
- [Ovejero 2011.] Ovejero G., Sotelo J. L., Rodríguez A., Vallet A., García J.: **Environmental Science and Pollution Research International** (2011) [Epub]
- [Öllös 1991.] Dr. Öllös Géza: Csatornázás-szennyvíztisztítás II. kötet Szennyvíztisztítás Aqua Kiadó Budapest, 1991.
- [Palmer 1977.] Palmer, C.M.: Algae and Water Pollution **US Environmental Protection Agency** 1977. <http://www.epa.gov/>
- [Péterfi 1977.] Dr. Péterfi István: Az algák biológiája és gyakorlati jelentősége Ceres Könyvkiadó Bukarest, 1977.
- [Pokhrel 2004.] Pokhrel D., Viraraghavan T.: **Science of The Total Environment** (2004) 333(1-3) 37-58.
- [Powell 2009.] Powell Erin E. Mapiour Majak L, Evitts Richard W., Hill Gordon A.: **Bioresource Technology** (2009) 100(1) 269-274.
- [Rajkumar 2011.] Rajkumar K., Muthukumar M.: **Environmental Science and Pollution Research International** (2011) [Epub]
- [Ramkumar 1998.] Ramkumar K. Mandalam, Bernhard O. Palsson: **Biotechnology and Bioengineering** (1998) 59(5) 605-611.
- [Riggs 2011.] Riggs Eckelberry: Algae - Food or Chemical Grade? 2011. <http://www.algaeindustrymagazine.com>
- [Rotmisztróv 1982.] Rotmisztróv M. N., Gvozdzak P. I., Sztavszkaja Sz. Sz.: A szennyvíztisztítás mikrobiológiája Mezőgazdasági Kiadó Budapest, 1982.
- [Sasi 2009.] Sasi Divya: A Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in the Department of Chemical Engineering University of Saskatchewan Saskatoon (2009)
- [Schaeffer 2000.] Schaeffer David J., Krylov Victor S.: **Ecotoxicology and Environmental Safety** (2000) 45(3) 208-227.
- [Smets 1990.] Smets B. F., Rittmann B. E.: **Water Research** (1990) 24 355-360.
- [Srinivasan 2010.] Srinivasan A., Viraraghavan T.: **The Journal of Environmental Management** (2010) 91(10)1915-1929.
- [Tarlan 2002./I.] Tarlan Esra, Dilek B. Filiz, Yetis Ulku: **Bioresource Technology** (2002) 84(1) 1-5.
- [Tarlan 2002./II.] Tarlan E., Yetis U., Dilek B. F.: **Water Science and Technology** (2002) 45(12)151-158.
- [Valderrama 2002.] Valderrama Luz T., Del Campo Claudia M., Rodriguez Claudia M., de-Bashan Luz E., Bashan Yoav: **Water Research** (2002) 36 4185-4192.
- [Vermes 1997.] Vermes L. (Szerk.): Vízgazdálkodás Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Budapest, 1997.
- [Vinitnantharat 2008.] Vinitnantharat S., Chartthe W., Pinisakul A.: **Water Science and Technology** (2008) 58(6):1193-1198.
- [Vogel 2010.] Vogel M., Günther A., Rossberg A., Li B., Bernhard G., Raff J.: **Science of the Total Environment** (2010) 409(2) 384-395.
- [Wahaab 2002.] Wahaab Rifaat Abdel: **The Environmentalist** (2002) 22 227-235.

5. táblázat. A témában megjelent folyóirat cikkek száma 2011 júniusában

A keresett kifejezés	Adatazsis				
	¹ ELSEVIER Journals (EISZ-Science Direct)	² NCBI - National Center for Biotechnology Information - PubMed	³ SAGE Journals	⁴ SPRINGER International Publisher - Science, Technology, Medicine Journals	⁵ ACS Publications - Journal of the American Chemical Society (JACS)
Algae	40481	11569	1345	161	7289
Algae + waste water	716	247	322	4	1238
Algae + waste water + textile industry	-	7	37	-	76
Algae + waste water + textile industry + Chlorella	-	3	3	-	1
Algae + waste water + paper industry	-	10	163	2	559
Algae + waste water + paper industry + Chlorella	-	4	6	-	39

¹. <http://www.eisz.hu>². <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>³. <http://online.sagepub.com>⁴. <http://www.springer.com>⁵. <http://pubs.acs.org/journal/jacsat>