

Eleveniszapok mikrobaközösségének összehasonlító vizsgálata

The comparative analysis of the microbial communities of activated sludge

D. SIPOS¹, R. MISETA², A. ZSENI³

1 Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Győri Járási Hivatal Agrárügyi és Környezetvédelmi Főosztály
Környezetvédelmi Osztály, siposdor@gmail.com

2 Pannon-Víz Zrt., Minőségvizsgáló Laboratórium, miseta.roland@pannon-viz.hu

3 Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, zseniani@sze.hu

Absztrakt. Az eleveniszapok mikrobaközösség-összetételét kaotikusnak, és többnyire kiszámíthatatlannak hitték, azonban az elmúlt évtizedekben végzett tanulmányok kimutatták, hogy specifikus, és gyakran kiszámítható véletlen és nem véletlen tényezők lehetnek felelősek a mikrobaközösség-szerkezetéért. Tanulmányunkban egy nagy- és két kisméretű illetve -terhelésű szennyvíztisztító telep eleveniszap mintáinak összehasonlító értékelését végezzük el. Munkánk során 14 hónap adatait dolgoztuk fel. A minták elemzését illetve az adatok feldolgozását követően fény derült a közösség diverzitására. A statisztikai eredmények azt mutatják, hogy a nagyobb telep változatosabb életközösséggel rendelkezik.

Abstract. The composition of the microbial communities in the activated sludge was thought mostly chaotic and unpredictable, but due to the new studies and breakthroughs in the past decades, now it is known that specific, accidental and non-accidental factors are responsible for the structure of the microbial community. The aim of the study is to compare the microbial communities of activated sludge of one large and two small wastewater treatment plants. During our research 14 months of data were processed. After the sample analysis and data processing, the diversity and seasonal changes of the community structures revealed. The results of the statistical analysis show that the larger system has more diverse community structure.

Bevezetés

Az eleveniszapok mikrobiális összetétele alapvetően meghatározza a biológiai tisztítás hatékonyságát, mivel az eleveniszapban élő aerob és anaerob heterotróf, illetve nitrifikáló baktériumok végzik a szennyvíz szervesanyag-tartalmának lebontását, a nitrifikációt, illetve a denitrifikációt. Ez az ökoszisztéma a külső környezeti hatásokra (oldott oxigénkoncentráció, hőmérséklet, toxikus anyagok, turbulens hatások stb.) azonban igen érzékeny, ezért ha kedvezőtlen hatások érik, az eleveniszap mikrobiális összetétele megváltozik, a biológiai tisztítás hatásfoka csökken. Az eleveniszapok rendszeres mikroszkópos vizsgálatával nyomon követhetjük a faji összetételben bekövetkező

változásokat, így az ökoszisztéma romló vagy javuló állapotváltozása alapján előre jelezhetőek a későbbi üzemeltetési problémák (iszaphabzás, ülepitési problémák, anaerob szervesanyag-lebontás) [1, 2].

Az Egységes Mikrobiológiai Vizsgáló és Értékelő Rendszer (EMVIR) módszertana lehetőséget kínál az eleveniszapok faji összetételében bekövetkező változások és ezáltal az eleveniszap ökoszisztéma romló vagy javuló állapotának mikroszkópos felmérésére, ill. nyomon követésére [1-3]. Ennek segítségével a későbbi üzemeltetési problémák (iszaphabzás, ülepitési problémák, anaerob szervesanyag-lebontás) előre felismerhetők. Az eleveniszap rendszeres, gyorsan elvégezhető mikrobiológiai vizsgálataiból nyerhető információk alapján az EMVIR algoritmus segítségével megtalálható és megtartható a szennyvíztisztító telep működésének optimuma, valamint lehetőség nyílik arra, hogy az eleveniszap összetételét hozzáhangoljuk a környezeti körülmény megváltozásaihoz. Az EMVIR használatával a fonalasság mértékének meghatározása, az iszapszerkezet meghatározása, valamint a faji összetétel meghatározása történik meg. Ezek alapján az EMVIR üzemeltetési javaslatokat tesz az iszapszerkezet stabilitásának és a biológiai tisztítás hatásfokának növelésére, mint például az oldott oxigénszint emelése vagy csökkentése, az iszaptartózkodási idő emelése vagy csökkentése, a biológiai medencébe érkező szennyvízmennyiség csökkentése vagy növelése. Mindezen technológiai finomhangolásokkal csökkenthető, sőt minimalizálható a szennyvíztisztítás villamosenergia-igénye és a fölösiszap szaporulata, valamint ezek költségvonzata.

Kutatómunkánk során a Pannon-Víz Zrt. üzemeltetési területén lévő banai, téti, illetve győri szennyvíztisztító telepek levegőztető műtárgyainak eleveniszapját alkotó mikroba-közösségek összetételét követtük nyomon. Arra voltunk kíváncsiak, hogy egy nagy- és két kisméretű illetve -terhelésű és egymástól távol lévő szennyvíztisztító telep mikrobaközössége milyen mértékben különbözik egymástól. Valószínűsítettük, hogy a győri szennyvíztisztító telep méretéből adódóan stabilabb eleveniszap-közösséggel rendelkezik.

Jelen tanulmányunkban két alapvető célt tűztünk ki: (i) két kiskapacitású és egy nagykapacitású szennyvíztelep eleveniszap közösségeinek vizsgálatát és jellemzését az Egységes Mikrobiológiai Vizsgáló és Kiértékelő Rendszer (EMVIR) segítségével; (ii) az eleveniszapok közösségeinek összehasonlítását ökológiai indexek alapján.

1. Szakirodalmi áttekintés

A szennyvíztisztítás első, mechanikai szakasza után jelentős mennyiségű oldott és kolloid állapotú szerves anyag marad a szennyvízben. A másodlagos, biológiai tisztítás a mikroorganizmusok tevékenységén alapul. A mikroorganizmusok enzimeikkel lebontják a nagyméretű szerves molekulákat, majd azokat egyrészt beépítik a szervezetükbe (új sejtanyag létesül), másrészt energiatermelésre használják fel. A szerves anyag energiatermelésben részt vevő része többek között szén-dioxiddá, szulfáttá, vízzé alakul át. A mikrobiológiai szénlebontó folyamatokban szaprofita gombák, élesztők, aerob és anaerob baktériumok vesznek részt.

A nitrogén-eltávolítás aerob részfolyamata a nitrifikáció, amely a levegőztető medencékben, illetve az eleveniszap levegőztetés szakaszában zajlik. A nitrogén-eltávolítás anoxikus részfolyamata a

denitrifikáció, melyet elsősorban fakultatív anaerob baktériumok végeznek a szennyvíztelepek anoxikus terében. Ezek a denitrifikáló mikróbák az energiatermelő folyamataikhoz a nitrátot használják oxigén helyett, miközben a nitrátot nitrogénné redukálják. A nitrogén végső soron kiszellőzik a rendszerből.

A biológiai tisztítás meghatározó eljárása hazánkban az eleveniszapos technológia. Az eleveniszapos rendszer lebegőágyas, folyamatosan táplált bioreaktor, amelyben pelyhes szerkezetű eleveniszapként lebegnek a vízben a mikroorganizmusok. A tisztítást az eleveniszap végzi, amely nagy felületű, 50-500 µm átmérőjű pelyhes szerkezetű részecskékből áll. A részecskékben néhány vagy sokféle mikroorganizmus él együtt, amelyek a szennyvízből felveszik és életműködésükhöz felhasználják a számukra tápanyagként szolgáló anyagokat, aerob körülmények között, intenzív levegőztetés mellett [4]. A levegőztető berendezésben a folyamatok eredményeként a víz szervesanyag-tartalma lecsökken, a mikroorganizmusok mennyisége viszont megnövekszik. A foszfor és nitrogén eltávolítása anaerob ill. anoxikus körülmények között történik. McIlroy és munkatársai 152 nemzetségbe sorolják azokat a mikroorganizmusokat, amelyek meghatározóan jelen vannak az eleveniszapokban [5].

Aruga és mtsai [6] számos változatos megjelenésű baktériumfajt figyeltek meg eleveniszapokban a világ minden táján. A fonalas baktériumok túlzott növekedése az eleveniszapban felúszást, továbbá technológiai problémát okoz, amely habképződéshez vezethet. A Typ 021N baktérium különlegessége, hogy képes heterotróf anyagcserére, amennyiben nincs redukált kén a környezetében, ezzel szemben a többi *Thiothrix* faj nem képes erre. Számos esetben sejten belüli kén granulátum felhalmozódás figyelhető meg, amelyek szulfid oxidáció végtermékeként akkumulálódnak a sejtben. Eikelboom 1975-ben vizsgálta először ezeket a baktériumokat mikroszkóp alatt. Eleveniszapból számos esetben írták le, mint a habzás és az iszapfelúszás egyik okozóját. A Typ 021N a *Thiothrix* nemzetséghez tartozó taxon, melynek egyik tiszta törzstenyészetét *Thiothrix eikelboomi*-ként ismerjük.

A *Microthrix parvicella* egy fonalas baktérium, amely az eleveniszapos szennyvíztisztítási rendszerekben iszapfelúszást és habzást okoz [7]. Elsőként Pasveer mutatta ki eleveniszapból 1969-ben ezt a szennyvíziszapban közönségesen előforduló, változó üzemállapotot indukáló baktériumot [8]. A *Microthrix parvicella* alapvetően aerob baktérium, mely tág tűrőképességgel rendelkezik az oldott oxigént illetően, de tenyészhető microaerofil körülmények között is.

A Typ 0041-es fonalas baktérium azon fonalas baktériumokhoz tartozik, amelyek iszapfelúszást okozhatnak. Molekuláris biológiai vizsgálatokkal Thomsen és mtsai azt mutatták, hogy ez a baktérium rendszertanilag változatos baktérium-konzorciumból áll [9]. Ugyanis mind a baktériumfonalak, mind pedig az elágazások rendszertanilag különböző taxonokból állnak.

Valentín-Vargas és mtsai két egymástól távoli és eltérő kapacitású szennyvíztelepről származó eleveniszapok baktériumközösségeit és azok dinamikáját vizsgálták egy éves periódusban [10]. Eredményeik szerint a nagykapacitású bioreaktor biodiverzitása szignifikánsan magasabb volt, mint a kisebb kapacitású bioreaktoré. Emellett kimutatták, hogy a nagykapacitású bioreaktor esetében a közösség-dinamika kevésbé volt kifejezett, mint a kisebb kapacitású szennyvíztelepen. A nagyobb kapacitású bioreaktorban tehát egy ökológiailag stabilabb és fajgazdagabb mikrobaközösség alakult ki, míg a kisebb bioreaktor eleveniszapjában a külső környezeti tényezőkre érzékenyebb, instabilabb és kisebb biodiverzitású baktériumközösség volt a jellemző.

Kämpfer és mtsai eleveniszap-minták baktériumközösségeit vizsgálták tenyésztéses módszerrel [11]. Különböző táptalajokon 255 baktériumtenyészetet azonosítottak, amelyek közül legnagyobb számban a biológiai szénlebontásban szerepet játszó heterotróf *Aeromonas*, *Acinetobacter*, *Shewanella*, *Arthrobacter*, *Microbacterium*, illetve *Mycobacterium* nemzetség tagjait azonosították, ugyanakkor azonosítottak a nitrogén eltávolításában szerepet játszó denitrifikáló *Pseudomonas* baktériumokat is. Emellett sikerült tenyésztésbe vonniuk számos fonalas baktériumot, úgymint a *Sphaerotilus* sp.-t, amely az élelmiszeripari szennyvízterhelés indikátor-mikroorganizmusa, a vasoxidáló *Leptothrix* sp. fonalas vasbaktériumot, illetve a *Microthrix parvicella*-t, azaz az alacsony iszapterhelés egyik indikátorfaját.

Manz és mtsai molekuláris biológiai módszerekkel szulfátredukáló baktériumokat mutattak ki eleveniszapból [12]. Az anaerob és mikroaerofil *Desulfobacteriaceae* és *Desulfovibrionaceae* család tagjait jól levegőztetett eleveniszapban és a szennyvíztelepi műtárgyakon található biofilmben egyaránt kimutatták.

Boon és mtsai különböző szennyvíztelepek eleveniszapból származó baktériumközösségét vizsgálták denaturáló gradiens gél elektroforézissel (DGGE) [13]. Ezzel a DNS-kimutatáson alapuló molekuláris „ujjlenyomat” módszerrel az egyes iszap mintákat a bakteriális DNS-összetételük alapján hasonlították össze. Domináns közösségalkotóként az *Acidobacteria* törzs tagjait, emellett a metán lebontásában szerepet játszó különböző metanotróf baktériumokat, valamint a nitrifikációs folyamatokban részt vevő *Nitrosomonas* és *Nitrospira* nemzetség tagjait azonosították.

Saunders és munkatársai tizenhárom dániai szennyvíztisztító telep eleveniszapjának mikrobaközösségét vizsgálták abból a szempontból, hogy melyek azok a mikroorganizmusok, amelyek a leggyakoribb előfordulásukkal a legaktívabb szerepet töltik be a szénlebontásban és a nitrifikációban [14]. Kutatásaikkal megdönteni látszanak azt a korábban elterjedt nézetet, amely szerint a nitrit oxidációjában a *Nitrospira* nemzetség tagjai játszanak döntő szerepet. A *Nitrotoga* nemzetség tagjainak jelentőségét Lücker és munkatársai ausztriai telepeken végzett vizsgálatai is megerősítik [15].

A földrajzi különbségek feltárására tizennégy ázsiai (Kína, Hongkong, Szingapúr) és észak-amerikai (USA, Kanada) szennyvíztisztító telep eleveniszapjának összehasonlító vizsgálatát végezték el klaszter analízissel és főkomponens analízissel. Az eredmények alapján az ázsiai és észak-amerikai minták mikrobiális összetételében lévő különbség kimutatható volt [16]. Emellett különbséget találtak az édesvízes, illetve a tengervízes WC-öblítésből származó minták baktériumközösségei között is.

2. Anyag és módszer

Kutatásaink során feldolgoztuk és elemeztük a 2015. január – 2016. február időszak folyamán vizsgált eleveniszap minták eredményeit. A heti rendszerességgel érkező eleveniszap mintákat a Pannon-Víz Zrt. Minőségvizsgáló Laboratóriumában az Egységes Mikrobiológiai Vizsgálati és Kiértékelő Rendszer (EMVIR) vizsgálati módszere alapján dolgoztuk fel. A mintákat borításos módszerrel, Olympus BX 51 TF fáziskontraszt mikroszkóppal vizsgáltuk, majd az EMVIR rendszere szerint jellemeztük. Jelen tanulmányunkban az eleveniszapok eukarióta közösség-összetételének eredményét közöljük

részletesen, ezért az EMVIR vizsgálati módszerének és előírásainak csak a tanulmány szempontjából releváns részeit mutatjuk be röviden.

Az eleveniszap-közösségek összehasonlítását ökológiai indexek segítségével elemeztük, úgymint a Bray-Curtis hasonlósági indexszel és a Shannon-Wiener diverzitási indexszel. Gyakorisági illetve előfordulási értékek alapján külön vizsgáltuk mindhárom telep eleveniszap-szerkezetét az indikátorfajok összetétele alapján.

2.1. Mintavétel

A minták a banai, a tétii és a győri szennyvíztisztító telepekről érkeztek (1. táblázat). A telepek valamennyi levegőztető műtárgyából történtek mintavételezések (Bana, Tét I., Tét II., Győr I., Győr II., Győr III., Győr IV.).

Az eleveniszap mintákat a levegőztető medencék elfolyó végéből vettük, mivel itt a biológiai tisztítás közel véget ér. A mintavétel és szállítás teljes egészében az EMVIR előírások [1-3] alapján történt. A mintavétel során fontos volt, hogy a legalább 250 cm³-es mintavevő az edényzetnek csak 2/3-ad részét töltsük meg, mivel az aerob szervezetek tevékenysége a mintavételt követően sem szűnik meg, ezért szükségük van a megvett mintában lévő légrétegre az oxigén pótlás érdekében. A mintavételezés merítéssel, megfelelő hosszúságú nyeles merítő edény használatával 30-50 cm mélyből történt, a mintával való néhányszori átöblítést követően. A mintavételi módszer pontminta vétel, így az egész térfogat egyszerre került megvételre. A vizsgálatok során helyszíni mérések (hőmérséklet, 30 perces ülepedés) is történtek. A mintákat állandó 4-6°C-on, hűtőtáskában szállítottuk. A laboratóriumban a mintákat hűtőszekrényben ugyancsak 4-6°C-on tároltuk, maximum 24h-ig a biológiai vizsgálatok előtt. A minták heti rendszerességgel érkeztek a laboratóriumba, hogy a rendszeres monitoring során a közösségszerkezet változását nyomon lehessen követni.

Szennyvíztisztító telephelye	Győr	Tét	Bana
Tervezett LE	375.000	5.833	5.226
Tervezett terhelés m ³ /nap	60.000	1.000	595
Tényleges LE	175.724	5.146	3.043
Tényleges terhelés m ³ /nap	25.891	664	385
Ellátott települések	Győr, Abda, Börcs, Ikrény, Rábapatona, Győrújfalú, Kisbajcs, Nagybjacs, Vének, Vámosszabadi, Győrújbarát, Koroncó, Töltéstava, (Gönyű, Nagyszentjános)	Tét, Felpéc, Gyömöre, Sokorópátka, Kajárpéc, Szerecseny, (Győrszemere, Tényó)	Bana, Bóny, Mezőörs, Rétalap
Tisztítási technológia	Mechanikai előtisztítás, egylépcsős eleveniszapos biológiai tisztítás, anaerob iszapstabilizálás, gépi iszapvíztelenítés	OMS technológia, biológiai eleveniszapos rendszer N és P eltávolítással, gépi iszapvíztelenítés, mezőgazdasági iszaphasznosítás	OMS technológia, biológiai eleveniszapos rendszer N és P eltávolítással, gépi iszapvíztelenítés, mezőgazdasági iszaphasznosítás

1. táblázat: A vizsgált szennyvíztisztító telepek paraméterei [17].

2.2. Mikromorfológiai vizsgálatok

A mikromorfológiai vizsgálatok során az EMVIR előírásai [1-3] szerint jártunk el. Az eleveniszap mikromorfológiai elemzését mikroszkópos kép alapján végeztük el. A mintaelőkészítés szabályai szerint, első lépésként a mintákat rázással homogenizáltuk, majd ezt követően borításos módszerrel vizsgáltuk a preparátumokat. A baktériumokat és eukarióta egy-, illetve többsejtűeket Olympus BX 51 TF fáziskontraszt mikroszkóppal tanulmányoztuk 100-szoros, illetve 200-szoros nagyításon. A mikromorfológiai vizsgálatok során az eleveniszap mikroszkópos képével jellemezhető az ökológiai rendszer állapota. Ennek során az alábbiakban felsorolt paramétereket vizsgáltuk: cellazárás, pelyh szerkezete, pelyhek mérete, pelyhek alakja, fonalasság mértéke, fonalak alakja, fonalak hatása az iszapszerkezetre, valamint az indikátor organizmusok száma. Az EMVIR által előírt indikátor organizmusok négy nagy csoportba rendezhetőek, úgymint baktériumok, helytűlő egysejtűek, szabadon úszó egysejtűek és többsejtű szervezetek.

2.3. Az adatok feldolgozása

Az eleveniszapok eukarióta közösség-összetételét a gyakorisági illetve előfordulási értékek alapján készített ábrák segítségével tanulmányoztuk, a három szennyvíztisztító telep vizsgálatba vont mind a 7 műtárgya esetén. Az eleveniszap-közösségek összehasonlításához a Bray-Curtis hasonlósági indexet és a Shannon-Wiener diverzitási indexet használtuk.

- Hasonlósági index

A Bray-Curtis indexszel kiszámítottuk a levegőzető medencék között lévő különbözőség fokát, amelynek értéke [0-1] intervallumba esett. Az indexek kiszámítását a műtárgyankénti eukarióta szervezetek gyakorisági értékei alapján végeztük. Amennyiben a Bray-Curtis-index a 0-hoz közel áll, akkor a két minta között nagymértékű a hasonlóság, ha a Bray-Curtis-index 1-hez közelít, akkor a két minta összetétele nagymértékben különbözik egymástól. Az indexek kiszámításához az alábbi képletet használtuk.

$$BC_{ij} = \sum \frac{|n_{ik} - n_{jk}|}{(n_{ik} + n_{jk})}$$

, ahol n_{ik} az "1" levegőzető medencében található k-adik indikátorszervezethez tartozó gyakorisági érték, n_{jk} a "2" levegőzető medence k-adik indikátorszervezethez tartozó gyakorisági érték [18].

- Diverzitási index

A levegőzető medencék faji diverzitásának meghatározására az alábbi képlettel számoltuk ki a Shannon-Wiener indexet, amely az indikátor szervezetek számát és a hozzájuk tartozó gyakorisági értéket vette alapul.

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

, ahol S a fajszám, a p_i az i faj gyakorisági értéke [19].

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Az eleveniszapok összetétele

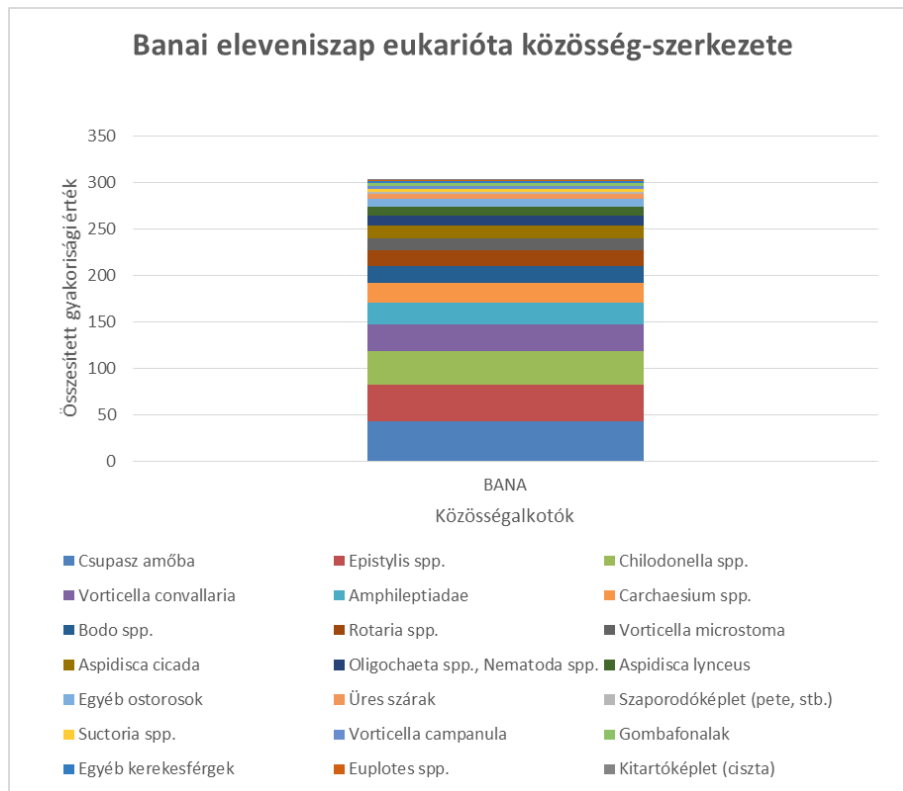
A mikrobaközösségek összehasonlító vizsgálata az összesített gyakorisági érték, a Bray-Curtis hasonlósági index és a Shannon-Wiener diverzitási index segítségével történt. Az eleveniszapok eukarióta közösség-összetételét a gyakorisági illetve előfordulási értékek alapján készített ábrák segítségével tanulmányoztuk. A 2. táblázat az indikátorszervezetek összesített gyakorisági értékeit tartalmazza az általunk vizsgált 2015. január – 2016. február időszakban.

A baktériumok közül mindhárom telepen megfigyelhető volt a *Microthrix parvicella*, elsősorban az őszi, téli, tavaszi hónapokban. Jelenléte esetén a banai telepen a gyakorisági értéke (FI-index) elsősorban 2-3-as, a téti telepen 2-4-es, míg a győri telepen 1-2-es volt. A Typ0041-es baktérium megjelenése a banai telepen eseti volt (jelenléte esetén FI-index általában 1), míg a téti mûtárgyakban elsősorban nyáron (jelenléte esetén FI-index: 1-2), a győri mûtárgyakban pedig folyamatosan jelen volt (FI-index: 1-2). A Typ021N baktérium a banai mintákban nyáron (jelenléte esetén FI-index: 1-2), a győri mintákban esetenként volt csak jelen (jelenléte esetén FI-index: 1), a téti mintákban nem jelent meg.

Indikátor-organizmusok	Bana	Tét I.	Tét II.	Győr I.	Győr II.	Győr III.	Győr IV.
<i>Epistylis</i> spp.	39	30	25	56	61	55	48
<i>Vorticella convallaria</i>	29	40	36	42	51	39	42
<i>Aspidisca lynceus</i>	10	55	46	47	39	33	31
Csupasz amőba	43	27	31	38	43	31	32
Házas amőba	0	21	15	46	48	43	38
<i>Chilodonella</i> spp.	36	18	16	18	15	24	25
<i>Rotaria</i> spp.	17	19	16	24	22	20	26
<i>Amphileptiadae</i>	24	10	12	17	24	19	22
<i>Holophrya</i> spp.	0	31	37	17	18	10	12
<i>Vorticella microstoma</i>	13	17	17	26	13	17	19
Egyéb kerekesszervek	2	16	17	23	21	23	15
<i>Euplotes</i> spp.	1	29	29	4	4	5	5
<i>Aspidisca cicada</i>	13	6	5	7	9	19	12
Egyéb ostorosok	8	16	15	4	6	15	3
<i>Oligochaeta</i> spp., <i>Nematoda</i> spp.	11	7	10	16	7	9	5
<i>Bodo</i> spp.	18	2	2	8	1	13	16
<i>Peranema</i> spp.	0	4	6	11	9	9	12
<i>Carchesium</i> spp.	21	3	6	3	4	5	5
Üres száraz	5	7	8	1	8	5	5
<i>Spirostomum teres</i>	0	0	0	11	8	9	8
<i>Suctorina</i> spp.	3	7	5	2	4	2	3
Szaporodóképlet	3	9	4	1	3	2	2
<i>Colpidium</i> spp.	0	1	0	5	5	7	6
Medveállatka	0	0	0	5	8	6	4
<i>Trochilis minuta</i>	0	1	1	5	2	3	2
Gombafonalak	3	1	4	1	0	1	1
<i>Vorticella campanula</i>	3	0	0	2	2	1	2
Kitartóképlet (ciszta)	1	2	2	1	1	1	0
<i>Thuricola</i> spp.	0	0	0	2	0	0	0
<i>Opercularia</i> spp.	0	0	0	1	0	0	0

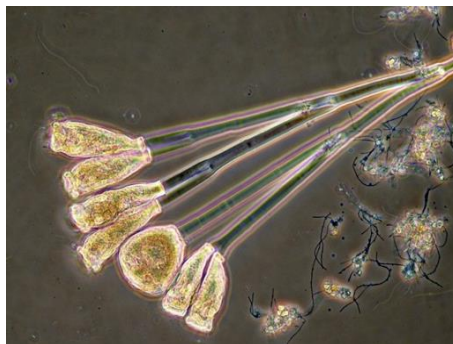
2. táblázat: Indikátorszervezetek összesített gyakorisági értékei 2015. január – 2016. február.

Az 1., 6. és 10. ábrán a három szennyvíztisztító telep eukarióta közösség-szerkezete látható. A tétii és győri szennyvíztisztító telep esetén a vizsgált 2 ill. 4 műtárgy átlagos összetétele szerepel.

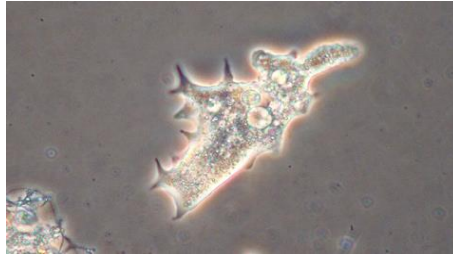


1. ábra: Banai eleveniszap eukarióta közösség-szerkezete.

A banai szennyvíztelep levegőztető medence eukarióta közösségének gyakorisági értékei alapján (1. ábra) az *Epistylis* sp. (2. ábra), valamint a csupasz amőbák (3. ábra) dominanciája látható. Az előbbi nagyszámú megjelenésével stabil denitrifikációt mutat, utóbbi alacsony iszapterhelésű rendszerek indikátora. A csupasz amőbák nagy gyakorisági értékkel való megjelenése a téli időszakban volt a jellemző, ezzel szemben az *Epistylis* sp. megjelenése szórványos volt, némely esetben hármás gyakorisági értékkel. Számottevő mértékben volt még jelen a *Vorticella convallaria* (4. ábra), valamint a *Chilodonella* sp. (5. ábra), mely csillósok heti rendszerességgel megjelentek alacsony gyakorisági értékkel.



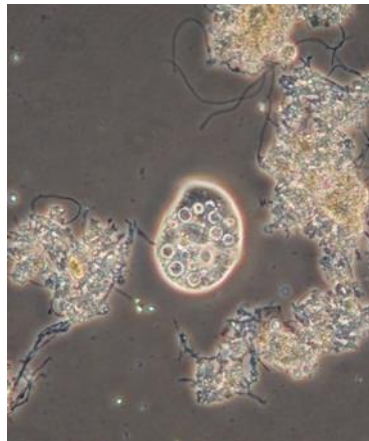
2. ábra: *Epistylis* sp. (fénykép: R. Miseta).



3. ábra: Csupasz amőba (fénykép: D. Sipos).

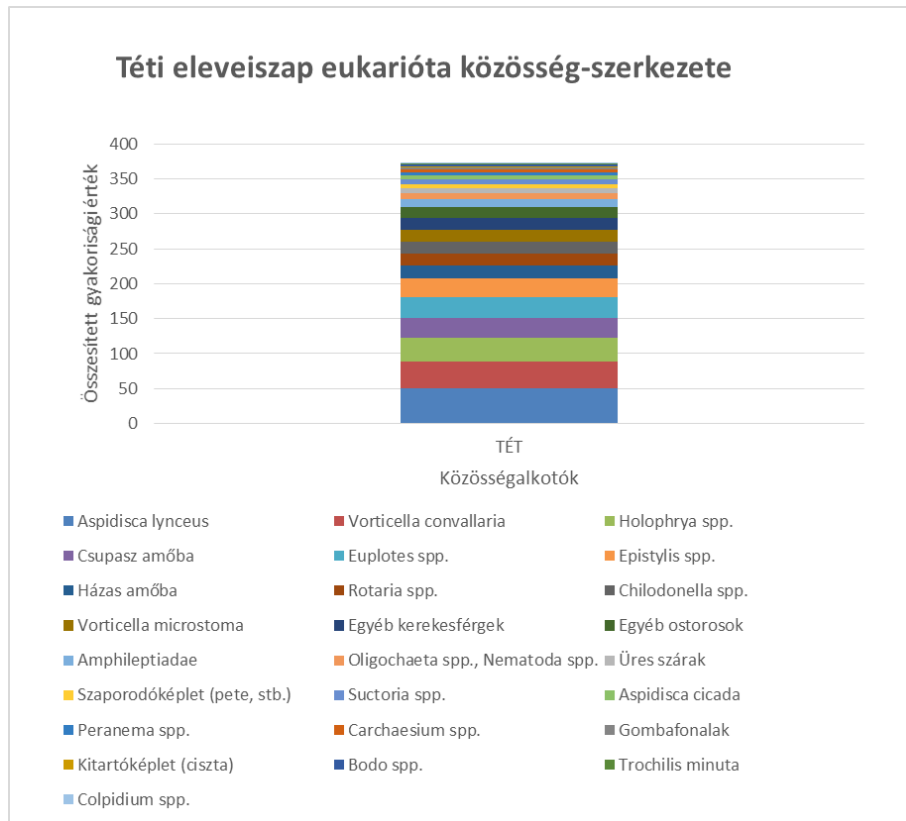


4. ábra: Vorticella convallaria (fénykép: D. Sipos).

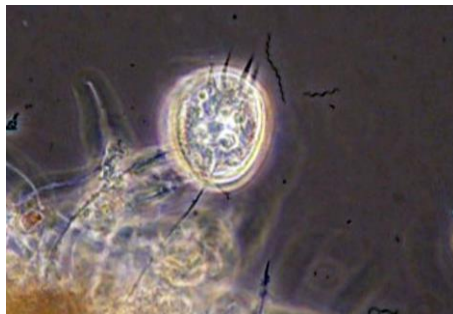


5. ábra: Chilodonella sp. (fénykép: D. Sipos).

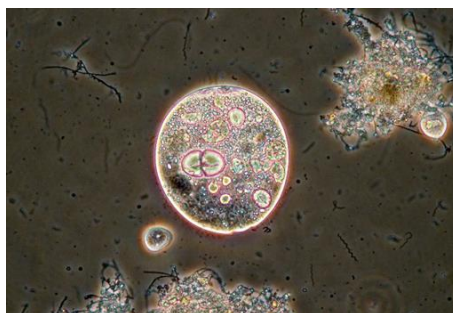
A 6. ábrán a téti szennyvíztisztító telep két levegőztető műtárgya mikrobaközösségének átlagos összetétele látható. Mivel a két ikerműtárgy közötti különbség csekély, a két párhuzamos műtárgy egyként is elemezhető. Kiemelkedően magas gyakorisági értékkel az *Aspidisca lynceus* rendelkezik (7. ábra), amelynek eloszlása nem szezonális, viszont a magasabb gyakorisági értékek korrelációt mutatnak a hideg időszaki mintákkal. Az *Aspidisca lynceus* folyamatos jelenléte utalhat a tartósan megfelelő üzemállapotra. A levegőztető medencékben továbbá magasabb előfordulási értékkel szerepeltek még a *Holophrya* sp. (8. ábra), *Vorticella convallaria*, *Euplotes* sp. (9. ábra), valamint az *Epistylis* sp., amelyek ugyancsak a jó üzemállapot indikátorai.



6. ábra: Téti eleveniszap eukarióta közösség-szerkezete.



7. ábra: *Aspidisca lynceus* (fénykép: R. Miseta).

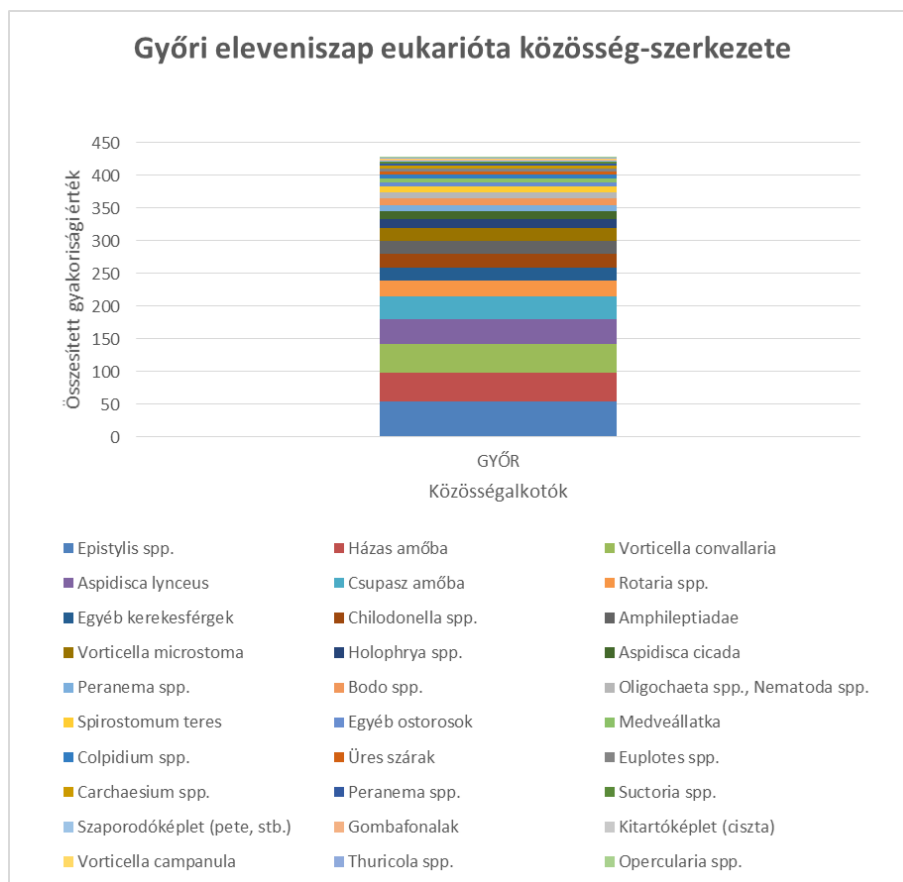


8. ábra: *Holophrya* sp. (fénykép: D. Sipos).



9. ábra: *Euplotes* sp. (fénykép: R. Miseta).

A győri levegőztető medencék kumulatív oszlopdigramján az éves mikrobaközösségek az alábbi módon oszlanak el (10. ábra). A legmeghatározóbb szervezetek az életközösségben az *Epystilis* sp., *Vorticella convallaria*, a házas amőbák (11. ábra), valamint a csupasz amőbák. Az egyes műtárgyak faji összetételét illetően szignifikáns eltérést nem fedeztünk fel. Az iszap elsődleges összetevőit tekintve jó üzemállapot áll fenn a győri szennyvíztelep levegőztető medencéiben.



10. ábra: Győri eleveniszap eukarióta közösség-szerkezete.



11. ábra: Házás amóba (fénykép: R. Miseta).

Összességében megállapíthatjuk, hogy univerzális közösségalkotóként az *Epistylis* fajok, a *Vorticella convallaria*, csupasz amóbák, az *Aspidisca lynceus*, illetve *Chilodonella* fajok jelentek meg, rendszeresen mindhárom szennyvíztelepen. A legnagyobb különbséget a banai telep közössége mutatta a többi telephez viszonyítva. A banai eleveniszap közösségét láthatóan kevesebb taxon építette fel. A házás amóba, illetve a *Holophrya* csillós egysejtűek a banai mintákban teljes mértékben hiányoztak, viszont a tétii és győri mintákban jelen voltak. A legszembetűnőbb különbséget a tétii telepen az *Aspidisca lynceus* nagyszámú előfordulása mutatta. Ezzel szemben a győri telepen a házás amóba nagyszámú megjelenése volt megfigyelhető a többi teleppel összehasonlítva.

3.2. A mikrobaközösségek összehasonlító vizsgálata

Az eleveniszapok szerkezeti hasonlóságának megállapításához a magasabb rendű eukarióta egy- és többsejtű indikátorszervezeteket és a hozzájuk rendelt gyakorisági értékeket vettük alapul. A Bray-Curtis hasonlósági index szerint a legkisebb különbség az azonos szennyvíztelep párhuzamos műtárgyai között mutatkozott. A 3. táblázat alapján látható, hogy az eleveniszapot alkotó mikrobaközösségek közötti legnagyobb hasonlóságot a négy győri levegőztető medence mutatta egymással, ill. a tétii OMS műtárgyak, amely értékeket sárga színnel jelöltük (0,09-0,15). Zöld színnel szerepelnek a közép tartományba eső értékek (0,25-0,28), amelyeket a tétii és a győri műtárgyak összehasonlítása adta. A legnagyobb különbséget a banai iszapszerkezet mutatta a többi műtárgyéhoz képest, kék színnel jelölve (0,30-0,43). Ugyanakkor érdekes, hogy a Tét II. és a Győr IV. műtárgyak összehasonlításakor szintén nagyon alacsony értékeket kaptunk (0,15).

	Bana	Tét I.	Tét II.	Győr I.	Győr II.	Győr III.
Tét I.	0,43					
Tét II.	0,40	0,09				
Győr I.	0,38	0,27	0,28			
Győr II.	0,37	0,26	0,25	0,12		
Győr III.	0,32	0,27	0,28	0,13	0,14	
Győr IV.	0,30	0,28	0,15	0,13	0,15	0,10

3. táblázat: Szennyvíztelepek műtárgyai közti Bray-Curtis hasonlósági index értékek.

Az eleveniszapok biológiai sokféleségét a Shannon-Wiener diverzitási index segítségével elemeztük. A hét műtárgy biológiai sokféleségének összehasonlítása alapján a legnagyobb diverzitást a győri levegőztető medencék mutatták 2,86 és 3,04 közötti Shannon-Wiener értékkel (4. táblázat). Ezt

kövezték a téti műtárgyakból származó eleveniszapok 2,83 és 2,86-os diverzitási-értékekkel. A banai műtárgy adta legkisebb (2,65-ös) diverzitási indexet.

A diverzitás-vizsgálat azt mutatta tehát, hogy a nagy kapacitású győri szennyvíztelepen az eleveniszapban a relatíve magas egyedszámhoz magas fajszám párosult, amely a többi műtárgyhoz képest magasabb biológiai sokféleséget eredményezett. Ez a biológiai sokféleség feltehetően nagyobb biológiai stabilitást is jelent, hiszen egyúttal a „kicserélhető fajok” száma is magasabb a mikrobaközösségben, azaz megváltozott körülmények között az adott ökológiai niche-t elfoglaló faj helyét új faj veszi át.

	<i>Shannon-Wiener diverzitás</i>	<i>Indikátor szervezetek száma</i>	<i>Indikátor szervezetek gyakorisági értéke</i>
<i>Bana</i>	2,65	21	303
<i>Tét I.</i>	2,83	25	379
<i>Tét II.</i>	2,86	24	365
<i>Győr I.</i>	2,86	30	444
<i>Győr II.</i>	2,92	27	442
<i>Győr III.</i>	3,04	27	427
<i>Győr IV.</i>	2,95	27	401

4. táblázat: A szennyvíztelepek műtárgyai biológiai sokféleségének összehasonlítása.

4. Következtetések

A szennyvíztisztító telepek eleveniszap közösség-szerkezetének elemzése során az alábbi megállapításokra jutottunk.

A baktériumok közül mindhárom telepen megfigyelhető volt a *Microthrix parvicella*, elsősorban az őszi, téli, tavaszi hónapokban. A Typ0041-es baktérium megjelenése a banai telepen eseti volt, míg a téti műtárgyakban elsősorban nyáron, a győri műtárgyakban pedig folyamatosan jelen volt. A Typ021N baktérium a banai mintákban nyáron, a győri mintákban esetenként volt csak jelen, a téti mintákban nem jelent meg.

Mindhárom szennyvíztisztító telep eukarióta közösség-szerkezetében univerzális közösségalkotóként rendszeresen megjelentek az *Epistylis* fajok, a *Vorticella convallaria*, csupasz amőbák, az *Aspidisca lynceus*, illetve *Chilodonella* fajok. A szerkezetek összehasonlítása során a legnagyobb különbséget a banai telep közössége mutatta a többi telephez viszonyítva, mind a taxonok alacsonyabb számát, mind pedig az egyes közösség alkotók (házas amőba, *Holophrya* spp.) teljes hiányát illetőleg. További különbséget fedeztünk fel egy-két indikátor szervezet kimagasló értékében. Ilyenek voltak a téti eleveniszapban nagy összesített gyakorisági értékkel előforduló *Aspidisca lynceus*, illetve a győri telepen ugyancsak kiemelkedő értékkel megjelenő házas amőba.

A hasonlósági indexek alapján a négy győri párhuzamos illetve a téti párhuzamos OMS műtárgyak hasonlítottak egymásra, ezzel szemben a legnagyobb különbséget a banai iszapszerkezet mutatta.

A feltételezés, hogy a győri telep mikrobaközössége mutatkozik a legváltozatosabbnak, beigazolódott, hiszen a diverzitás-vizsgálat eredményeként valóban a győri mikrobaközösség adta a legnagyobb fajgyakorisági értéket. A magas faji diverzitás vélhetően nagyobb biológiai stabilitásra utal, hiszen egy viszonylag magasabb fajszámmal rendelkező közösségben a kedvezőtlen környezeti hatások révén csökkenő vagy kipusztuló fajokat más, hasonló felépítésű és azonos életmódú fajok helyettesítik. Mivel azonban a stabilitás több tényezőtől is függ (pl. a beérkező szennyvíz minősége), ezért ebből az eredményből nem általánosítható, hogy minden nagyméretű szennyvíztisztító telep biológiailag stabilabb a kisebb telepeknél.

Hivatkozások

- [1] Á. Serke, F. Bognár (2012), *Települési biológiai szennyvíztisztító telepek biológiai folyamatainak optimalizálása a költségcsökkentés szempontjából*, Eötvös József Főiskolai Kiadó, Baja, p 112, 2012
- [2] EMVIR, *Egységes Mikrobiológiai Vizsgálati és Értékelő Rendszer (EMVIR) települési eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek fajlagos tisztítási költségének csökkentésére az oldotttoxigén-koncentráció és az iszapterhelés szabályozása útján*, Szabadalom, EMVIR Nonprofit Kft., www.emvir.eu
- [3] Módszertani Útmutató az egységes Mikrobiológiai Vizsgálati Rendszer (EMVIR) használatához. 1. kiadás, 1. változat, Budapest, 2009. Szabadalom, www.emvir.eu
- [4] R. Seviour, P.H. Nielsen (ed.), *Microbiology of activated sludge*, IWA Pub, 2009
- [5] S.J. McIlroy, A.M. Saunders, M. Albertsen, M. Nierychlo, B. McIlroy, A.A. Hansen, S.M. Karst, J.L. Nielsen, P.H. Nielsen (2015) *MiDAS: The field guide to the microbes of activated sludge*. Database Vol. 1-8: bav062.
- [6] S. Aruga, Y. Kamagata, T. Kohno, S. Hanada, K. Nakamura, T. Kanagawa (2002) *Characterization of filamentous Eikelboom type 021N bacteria and description of Thiothrix disciformis sp. nov. and Thiothrix flexilis sp. nov.*, International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 52(4), pp. 1309-1306.
- [7] S. Rossetti, M. C. Tomei, P. H. Nielsen, V. Tandoi. (2005), „*Microthrix parvicella*”, a filamentous bacterium causing bulking and foaming in activated sludge systems: a review of current knowledge, FEMS Microbiology Reviews, 29, pp. 49-64.
- [8] L. L. Blackall, E. M. Seviour, M. A. Cunningham, R. J. Seviour, P. Hugenholtz (1995) „*Microthrix parvicella*” is a Novel, Deep Branching Member of the Actinomycetes Subphylum, Systematic and Applied Microbiology, 17(4), pp. 513–518.
- [9] T. R. Thomsen, B. V. Kjellerup, J. L. Nielsen, P. Hugenholtz, P. H. Nielsen (2000) *In situ studies of the phylogeny and physiology of filamentous bacteria with attached growth*, Environmental Microbiology, 4, pp. 383–391.

- [10] A. Valentín-Vargas, G. Toro-Labrador, A. A. Massol-Deyá (2012) *Bacterial Community Dynamics in Full-Scale Activated Sludge Bioreactors: Operational and Ecological Factors Driving Community Assembly and Performance* PLoS ONE, 7 (8), e42524. doi:10.1371/journal.pone.0042524
- [11] P. Kämpfer, R. M. Kroppenstedt (1996) *Numerical analysis of fatty acid patterns of coryneform bacteria and related taxa*. Canadian Journal of Microbiology, 42(10), pp. 989-1005.
- [12] W. Manz, M. Eisenbrecher, T. R. Neu, U. Szewzyk (1998) *Abundance and spatial organization of Gram-negative sulfate-reducing bacteria in activated sludge investigated by in situ probing with specific 16S rRNA targeted oligonucleotides*, FEMS Microbiology Ecology, 25(1), pp. 43-61.,
- [13] N. Boon, W. De Windt, W. Verstraete, E. M. Top (2002) *Evaluation of nested PCR-DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis) with group-specific 16S rRNA primers for the analysis of bacterial communities from different wastewater treatment plants*, FEMS Microbiol Ecol, 39(2), pp. 101-112.
- [14] A.M. Saunders, M. Albertsen, J. Vollertsen, P.H Nielsen (2016) *The activated sludge ecosystem contains a core community of abundant organisms*, ISME Journal, 10, pp. 11-20.
- [15] S. Lücker, J. Schwarz, C. Gruber-Dorninger, E. Spieck, M. Wagner, H. Daims (2014) *Nitrotoga-like bacteria are previously unrecognized key nitrite oxidizers in full-scale wastewater treatment plants*, ISME Journal, 9, pp. 708-720.,
- [16] T. Zhang, M-F. Shao, L. Ye (2012) *454 pyrosequencing reveals bacterial diversity of activated sludge from 14 sewage treatment plants*, ISME Journal, 6, pp. 1137-1147.
- [17] Pannon Víz Zrt., 2016. február 12., <https://www.pannonviz.hu/cikk/szennyvizkezeles.html>
- [18] Physalia Ocean Sciences, Inc., <http://www.physaliaos.com>, 2016. március 19., <http://www.physaliaos.com/braycurtis.htm>
- [19] Zs. Benedek (2012) *Biodiverzitás-indikátorok a döntéshozatalban: a jelenleg népszerű indexek kritikai áttekintése és megoldási javaslatok*, tanulmány, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.