

AQUAKULTÚRÁS RENDSZER MODELLEZÉSE, VALAMINT A BÉKALENCSE FAJOK (LEMNA SP.) ÖKOLÓGIAI EGYENSÚLYRA GYAKOROLT HATÁSAINAK VIZSGÁLATA

**SZALKAY CSILLA, ELTE-PPK, PSZICHOLÓGIA DOKTORI ISKOLA,
SZALKAY.CSILLA@UPCMAIL.HU
DR. SZABÓ MARIANNA, DR.SZABO.MARIANNA@PETRIK.HU
RUZSA BENCE, BENCE.RUZSA@GMAIL.HU
BMSZC PETRIK LAJOS KÉT TANÍTÁSI NYELVŰ VEGYIPARI,
KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS INFORMATIKAI SZAKGIMNÁZIUMA**

ABSZTRAKT

Vizsgálataink során a 2015-2016-os tanévben iskolánk laboratóriumában egy saját tervezésű és készítésű recirkulációs elven alapuló modellt (részei: akvárium, ülepítő medencék, biológiai tisztítást végző növényeskert, szivattyú) hoztunk létre, amelyben annak vizét mechanikai és biológiai kezelést követően visszavezettük. Az első vizsgálataink eredményei bizonyították, hogy a mért víz fizikai és kémiai jellemzői közül az összes keménység, a foszfát-ion, a nitrát-ion tartalom nem lépte át az akváriumokban élő szervezetek fennmaradásához szükséges koncentrációt, mivel a gravitáció elvét alkalmazó ülepítők mechanikai tisztítás révén, az ültetett növények pedig biológiai tisztítás révén csökkentették a víz szennyező anyag tartalmát (ez utóbbi leginkább a nitrát-ionokra vonatkozóan). A korábbi tapasztalatainkat felhasználva a 2018-2019-es tanévben az ökológiai modellünk akváriumába békalencse fajokat (*Lemna sp.*) telepítettünk, és a növényeskertet kiemeltük a rendszerből. Eredményeink alapján megállapíthatóvá vált, hogy a kísérlet megkezdése után a víz kémiai paraméterei romlottak, amely magával vonta az egysejtűek fajgazdagságának csökkenését, és bizonyos növényi egysejtűek (zöldmoszatok) tömeges megjelenését. A modellünkbe ezután természetes szűrésen alapuló tisztító berendezést helyeztünk el, amely elősegítette három hét alatt a modell vízének kémiai és biológiai paramétereinek javulását.

KULCSSZAVAK: *önfenntartó rendszer, kémiai és biológiai vízminőség*

BEVEZETŐ

Az aquakultúra egy olyan önfenntartó rendszer, amely dinamikus változásokon, vagyis folyamatos mozgáson alapul, azonban összességében egy olyan struktúra alakul ki, ahol ökológiai egyensúly uralkodik, ami csupán az élő és élettelen környezeti tényezők nagyobb változására borul fel. Az aquakultúra tehát olyan recirkulációs, környezetbarát rendszer, amely a fenntartható fejlődés alapja lehet, hiszen létrehozása után kismértékű vagy semmilyen emberi beavatkozást nem igényel, illetve jövedelmezhetővé, társadalmilag is elfogadhatóvá tehető. A kultúra szerepet játszhat a haltermelésben, és ezzel együtt az édesvizek és tengerek túlhalászatának csökkentésében, a szennyező anyagok (elsősorban az eutrofizációt okozó ionok) kibocsátásának csökkentésében és a szennyvízkezelésben is. Ez utóbbi esetben a fenntartható fejlődés érdekében a szennyvíztisztítás fizikai és kémiai eljárásain kívül, illetve

azokat helyettesítve az emberiségnek célul kell kitűznie olyan természetközeli tisztító technológiák kidolgozását, amely a biológiai sokféleség maximális kihasználásában rejlik. Ezek az ökológiai egyensúly fenntartásán alapuló rendszerek képesek arra, hogy a vízben lévő makro-és mikro méretű szerves anyagok, illetve egyéb szervesen összetevők (pl. foszfát- és nitrát tartalom) mennyiségét csökkentsék.

Vizsgálataink elsődleges célkitűzése, hogy egy olyan működő modelleket hozzunk létre iskolánkban, amely lehetőséget teremthet az aquakultúrák rendszer előnyeinek, illetve esetleges hátrányainak megfigyelésében. Ehhez figyelembe vettünk olyan tanulmányokat is, amelyek már megvalósultak (pl. SustainAqua projekt), illetve eredményeinkkel bekapcsolódtunk több országot magába foglaló nemzetközi projektbe (Erasmus+), valamint saját technológiai megoldásokat is kidolgoztunk, melyeket felhasználtunk hazai projektek (Útravaló – Út a tudományhoz) megvalósítása során.

1. MODELLJEINK FELÉPÍTÉSE

1.1 A 2015-2016-os tanévben készített modellünk és választásunk okai

A természetes körülmények között élő akvárium halak vizében ammónium-ion dúsul fel. Ez csökkenti az aerob vízi élővilág (növények, állatok) számára az O_2 -felvételt. Ezen kívül növekszik - az ammónium-ion révén - a kémhatás, ami szintén gátló tényező a vízben élő gerinces állatok élettevékenysége számára. Az akváriumból elvezetett ammónium-ionban gazdag víz viszont kedvező a növények számára. A talajban élő mikroorganizmusok (pl. nitrifikáló baktériumok) az ammónium-ionból nitrit, majd nitrát-iont állítanak elő, amit a növények képesek felvenni, ezáltal csökkentve a víz N-tartalmát. A rendszerben ez jelenti a biológiai szűrést. A mechanikai kezelést először az ülepítők biztosítják, ami az akváriumból esetlegesen kivezetett részecskék (pl. kisebb kavicsok, szennyező anyagok) eltávolítását biztosítja. Ez a másodlagos mechanikai tisztítórendszer (agyaggolyó ágy) eltömődésének megakadályozását célozza. A másodlagos mechanikai tisztítást, vagyis a makroszennyezések megkötését tehát részint az agyagágy, részint pedig a növények gyökerei végzik.

Az aquakultúrák modellünk végleges változatának összeszerelése megközelítőleg egy éves előkészületet igényelt, hiszen modellünk rendszerelemeit egyenként is teszteltük annak érdekében, hogy minél nagyobb hatásfokkal működjön.

Ennek eredményeként a rendszerünk az alábbi részekből állt (1. kép):

- *Akváriumok (kontroll illetve rendszerbe épített):* 100 x 60 x 60-as medencék, amelyekbe aranyhalakat telepítettünk. A két akvárium felépítése teljesen megegyezett egymással azzal a különbséggel, hogy a kontroll akváriumba beszerelésre került egy aktív szén vízisztító és egy levegőztető berendezés. Hazai és külföldi (svájci és dán) esettanulmányokban az aquakultúrák rendszerekben elsősorban gazdasági célból ponty- és pisztrángfélékkel folytak kutatások főként a haltenyésztés gazdasági alapjait kiemelve. A tanulmányok alapján a víz-visszaforgatásos halnevelők (telepek, illetve rendszerek), bár nagy bekerülési értékkel rendelkeznek, azonban hosszú távon gazdaságosak. Választásunk azért esett az aranyhalakra (*Carassius auratus auratus*), mivel számos adat áll rendelkezésre a tartásukkal és fejlődésükkel kapcsolatban, viszonylag kevésbé érzékenyek, könnyen alkalmazkodnak, de nagy a helyigényük. Az akvárium mérete ennek megfelelően lett kialakítva. A nevelt halak mennyisége három.

- *Ülepítő és vízsebesség mérő medencék (2 db):* amelyek alkalmasak részint a nagyobb, részint pedig a kisebb részecskék eltávolítására. A vízhozam megfelelő beállítását célozta az első ülepítő, amely vízsebesség mérésére is alkalmasnak bizonyult.

- *Növényes kert, ahol a növényeket agyaggolyó ágyon neveltük.* Hazánkban fűzfákkal végeztek kísérleteket, vagyis a növények lignocellulóz tartalmának bioenergetikai célú felhasználására (pl. fűtés, bioüzemanyag). Svájcban trópusi gyümölcsökkel (pl. guava, papaya) végeztek kísérleteket az aquakultúrák rendszerekben fitofelhasználásukra (pl. kozmetikai ipar, gyógyászat). A modellünkben ez utóbbit kívántuk hasznosítani azzal, hogy 3-3 tő levendula és borsmenta került elültetésre agyagágyon öncsepegtetős virágcserepbe. A növények öntözése is azonos vízmennyiséggel történt napi rendszerességgel.

- *Szivattyúk (2 db):* a víz forgatása érdekében. A vízhozam így 200-250 liter/óra volt.

- *Napkollektor akkumulátorral,* amely a rendszer energiaigényét fedezte. 12 óra megvilágítás szükséges ahhoz, hogy az akvárium ökológiai egyensúlyban legyen. Az akvárium rendszer az iskola aulájában került kialakításra, ahol tavasztól őszig 12 óra közvetett napsütést kap, télen viszont csupán 7-8 órát. Ebből adódóan a megvilágítás hiányzó részét, valamint a szivattyúk működtetését 50 W teljesítményű napelemekből nyerjük. A termelt energia egy részét a hozzá kapcsolódó akkumulátorban tároljuk. A két 16 W-os szivattyú, illetve az akvárium fölé szerelt fénycsövek, valamint az akvárium levegőztető működéséhez elegendő energia termelődik, így egyéb elektromosságra nincs szükség. Hazai projektek során szintén az volt a tapasztalat, hogy a vízviszaforgató haltenyészetekben a termelt energia (pl. biomassa) elegendőnek bizonyult a rendszer fenntartásához, sőt többletenergia is keletkezett.



1. kép: A 2015-2016-os tanévben épített aquakultúra modellünk

1.2 A 2018-2019-es tanévben készített modellünk és választásunk okai

A természetközeli eljárásokkal történő tisztítást a talaj-víz-növény által alkotott ökoszisztémákban előforduló természetes folyamatok biztosítják. A természetes vizek szennyezése, valamint a kommunális szennyvizek összetevői közül a N- illetve a P-tartalom mennyiségi vizsgálata a projektünk fő célkitűzése. A nitrogén szerves (lebegő anyagként), illetve szervetlen formában van jelen. Ez utóbbi a redoxi-folyamatok függvényében változik - anaerob körülmények között elsősorban ammónium, aerob körülmények között pedig nitrátként fordul elő. A N-tartalom csökkentése az elfordulási formának megfelelően változik (pl. szilárd N-tartalom élő szervezetbe történő beépülés, szervetlen N adszorpció révén). A foszfor (foszfát formában) legfontosabb eltávolítási folyamata a kémiai kicsapás és az adszorpció, valamint a növényzet általi felvétel. A békelancse fajok (*Lemna* sp.) alkalmasak arra, hogy a természetközeli szennyvíztisztító eljárások vizsgálati „alanyai” legyenek, hiszen ezen fajok általános jellemzői közé tartozik, hogy könnyen tudják hasznosítani a vizek N- és P-tartalmát.

A sekély mélységű természetes eutróf tavak, lassú folyású felszíni patakok, kisebb folyók úszó növényei, amelyek nyáron gyorsan ellepik a víz felszínét, szaporodásuk tehát gyors.

A 2015-2016-os modellünk eredményeit felhasználva olyan rendszert hoztunk létre, amelynek kiépítése során a korábbi tanév eszközeit is beépítettünk. A kialakított modellünk az alábbiakból állt:

- *Akváriumok (4 db)*, amelyeket a budapesti Feneketlen-tóból származó vízzel töltöttük fel. Az akváriumokat sorszámmal láttunk el, és beállítottuk a megfelelő levegőztetést (oldott oxigén tartalom $2,5-3,5 \text{ mg/dm}^3$ közötti) és hőmérsékletet ($23-24 \text{ }^\circ\text{C}$) valamint egyenletes megvilágítást hoztunk létre reggel 7 és este 7 óra között. Az egyes akváriumok vizéhez a mesterséges szennyező anyagokat juttattunk (1. nitrát mennyiség: $+0,5 \text{ mg/dm}^3$, 2. foszfát mennyiség: $+1 \text{ mg/dm}^3$, 3. nitrit mennyiség: $+0,1 \text{ mg/dm}^3$, 4. ammónium mennyiség: $+0,1 \text{ mg/dm}^3$). Ezen értékeket egy természetes vízfolyásban, az Aranyhegyi-patakban általunk korábban mért átlagos szennyezettségi mutató alapján állapítottuk meg (a patakban mért kémiai jellemzők olyan mezőgazdasági tevékenységből adódó szennyezést feltételez, amely jelenleg is fennáll, azonban mértéke az évek során csökkent). Az akváriumokba előre meghatározott tömegű (30 g) apró békalencsét (*Lemna minor*) telepítettük, mivel korábbi tapasztalataink alapján ennek a fajnak az egyedszám-változása könnyebben volt nyomon követhető (a *Lemna* minuta tömege és nagysága sem tette lehetővé a folyamatos mérést a projektünk során).

- *Szivattyúkat és az üleptető medencét* a korábbi modellünkből építettünk át.

- *Szűrő berendezések*: amelyeket a vizsgálatunk 5. hetének végétől kellett használnunk.

2. VIZSGÁLATUNK MÓDSZEREI

2.1 A 2015-2016-os tanévben készített modellünk

Irodalmi adatok alapján az akváriumban lévő természetes N-körforgás alapján az ammónium-ion a medence közepén, míg a nitrit- és a nitrát-ionok a medence alján vannak nagyobb mennyiségben. A N-körforgás legfontosabb mutatója a nitrit-tartalom, ugyanis annak $0,2 \text{ mg/dm}^3$ fölé történő emelkedése káros a halak számára. Ha a kémhatás 7-nél nagyobb, akkor ammóniából ammónium-ion lesz, ami a halaknál kopolyubántalmakat okoz. Az elvárható legnagyobb ammónium-koncentráció $0,02 \text{ mg/dm}^3$, nitrát pedig 20 mg/dm^3 lehet. A víz oxigéntartalma erősen függ a víz hőmérsékletétől, a benne élő halak nagyon érzékenyen reagálnak mennyiségi változásaikra (minimum $1,5 \text{ mg/dm}^3$, maximum 4 mg/dm^3). Az élőlények anyagcseréjének intenzitása (biológiai oxidáció csökkenti, a fotoszintézis növeli) is nagymértékben befolyásolja az oldott oxigén tartalmát. A foszfát-ion tartalom maximálisan 1 mg/dm^3 lehet. A német keménység: $6-16 \text{ nk}^\circ$.

A fenntarthatóság és rendszerünk megfelelő működésének alátámasztásához az alábbi indikátorokat használtuk fel.

1. A telepített halak növekedésének mérése.
2. A rendszerben áramló víz fizikai és kémiai tulajdonságainak mérése.
 - hőmérséklet
 - pH
 - oldott oxigén-tartalom
 - összes keménység
 - nitrit-, nitrát-, ammónium-, foszfát-tartalom
3. Üleptető medencék hatásfoka.

4. A növények növekedésének változása.

5. A növények leveleinek alkaloidok kimutatása és illóolaj kinyerésének lehetősége.

Vizsgálatainkat 2016. január 6. és március 17. között végeztük heti rendszerességgel szerdai napokon. A vizsgálatok eredményeinek feljegyzésére, illetve meghatározására még aznap sor került. A víz hőmérsékletének, pH-jának és oxigén-tartalmának meghatározása mérőkészülékekkel (digitális hőmérő, pH-mérő és oxigénmérő készülékkel) történt. A német keménységi fok meghatározása VISOCOLOR gyorstesztel történt. Az egyéb kémiai összetételének meghatározása (nitrit-, nitrát-, ammónium-, foszfát-tartalom) 2016. január 6. és január 13. között szintén VISOCOLOR gyorstesztel történt annak érdekében, hogy az ezt követő időszakban a műszeres meghatározáshoz szükséges tartományt meg tudjuk határozni, és ennek megfelelően tudjuk előállítani a szükséges oldatsorozatot. A műszeres mérés iskolánk UNICAM HELIOS Gamma típusú fotométerével történt az előírt szabványoknak megfelelően. A hőmérséklet, a pH, illetve az összes keménység meghatározása az akváriumokból történt. A nitrit-, nitrát-, ammónium-, foszfát-tartalmának meghatározásához a rendszerben több helyen volt mintavétel. Egyrészt az akváriumi, másrészt az ülepítő medencék utáni, harmadrészt pedig a növényes kert utáni víz összetételének meghatározására került sor.

2.2. A 2018-2019-es tanévben készített modellünk

Projektünk során a békalencse fajok természetes víztisztító képességét vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között, amely során a környezeti paramétereket változtatva figyeljük meg a növény élettani sajátosságaiban (pl. egyedszám alakulása) bekövetkező változásokat. Méréseink során tehát olyan fizikai, kémiai és biológiai jellemzőket határoztunk meg kétheti rendszerességgel, mint az akváriumi vizek:

- kémhatása,
- vezetőképessége,
- keménysége,
- N-tartalma (ammónium-, nitrit-, nitráttartalom),
- P-tartalma (foszfát-tartalom),

továbbá:

- békalencse mennyisége (tömege),
- mikroszkópikus állati és növényi egysejtűek jellemzői (egyedszám, sokféleség).

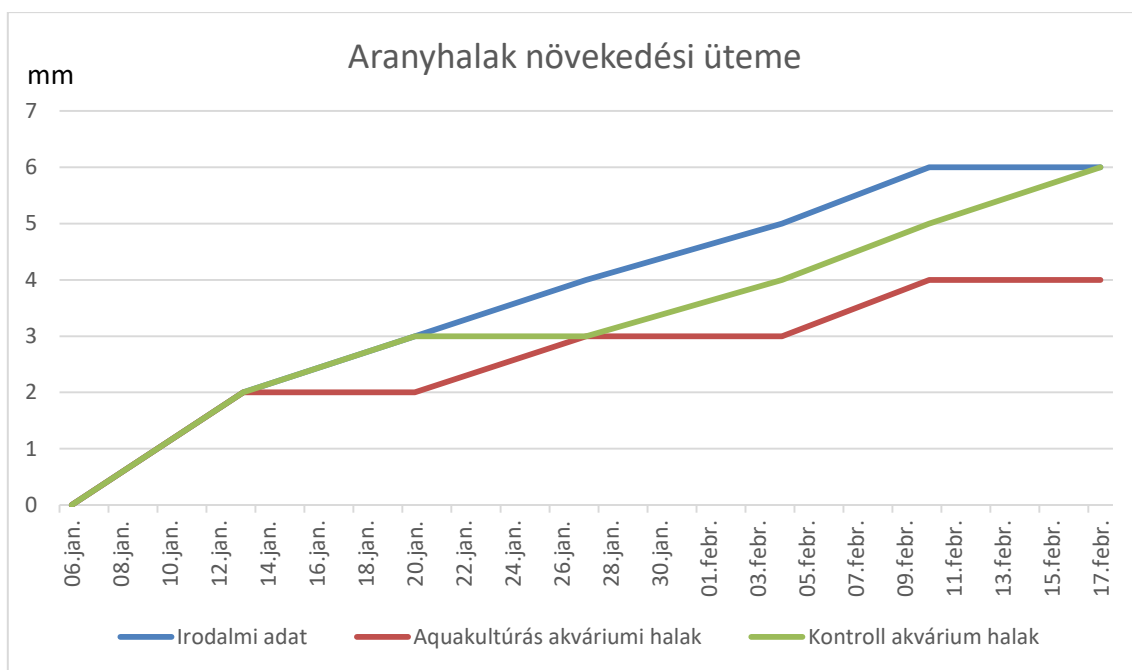
Ezen jellemzők meghatározása a 2015-2016-os tanévhez hasonlóan részint kézi műszerekkel (pl. pH-mérő), részint gyorstesztel (VISOCOLOR gyorsteszt), illetve titrimetriás, valamint műszeres mérésekkel (vezetőképesség, N- és P-tartalom), valamint fénymikroszkóppal történt (egyedszámok meghatározása és fajazonosítások). Vizsgálatainkat 12 héten keresztül végeztük 2019. január 21-től kezdődően.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. A 2015-2016-os tanévben készített modellünk eredményei és értékelésük

Az akváriumokban telepített halak nagyjából 2 hónaposak voltak, méretük 18 és 20 mm között változott a vásárlás és az akváriumba helyezés időpontjában. A halak fejlődését átlagos méretbeli növekedés-különbségben határoztuk meg összehasonlítva az aquakultúrák modell akváriumában és a kontroll akváriumában lévő három-három egyedet (táplálásuk azonos módon

és mennyiségben történt, a kialakított körülmények is hasonlóak voltak). A növekedés nyomon követésére felhasználtuk az irodalmi adatokat is, így kísérletünket 6 héten keresztül folytattuk kiindulásként 2016. január 6. dátumot kijelölve. Az eredmények (1. ábra) alapján megállapítható, hogy az irodalmi adatok alapján az aranyhalak 6 héten keresztül megközelítőleg azonos ütemben növekedtek. A kontroll akváriumban lévő halak a 2. és 3. héten bár kisebb ütemben növekedtek, azonban a 6. hét végére elérték az irodalmi adatokban szereplő értékeket. Ezzel szemben az aquakultúrák akváriumban a növekedés alulmaradt (legnagyobb mértéke is csupán 4 mm/hét volt). Ennek valószínűleg az lehet az oka, hogy az akváriumban a víz oxigéntartalma nem volt olyan magas.



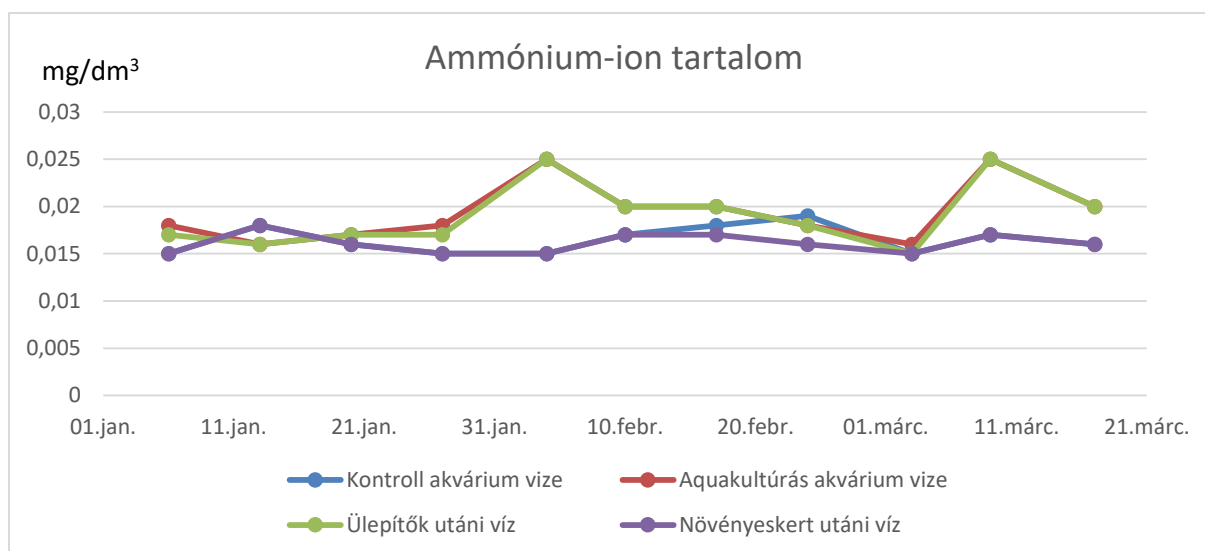
1. ábra: Az aranyhalak növekedési üteme a 2015-2016-os tanév aquakultúra rendszerében

Az akváriumban lévő víz hőmérséklete a méréseknél 23,5-24 °C között volt, amely ideális az aranyhalak számára.

A pH-mérések során az értékek a kontroll és az aquakultúra rendszer esetében 6,8-7,2 között mozogtak két alkalom kivételével (aquakultúra rendszerben 2016. január 27. és március 3.), amikor a kémhatás elérte a 7,8-at illetve 7,4-at.

Az összes keménység értéke minden alkalommal 7-9 nk° (lágy-közepesen kemény víz) között volt, ami megfelel a halaknak.

A medence középmagasságából vett minta ammónium-ion változását a 2. ábra szemlélteti. A kontroll akváriumban az értékek 0,015-0,019 mg/dm³ között változott. Az aquakultúra akváriumban két alkalommal lépte át az elfogadható 0,02 mg/dm³-es értéket. Ennek valószínűleg a pH-emelkedés volt az oka, amelyet egy hetes késéssel követett az ammónium-szint emelkedés. Azonban a rendszer önszabályozó jellegénél fogva két hét múlva lecsökkent az ammónium-tartalom. Az aquakultúra rendszerben a növényes kertek utáni -az akváriumba vezetett- víz volt a legkisebb ammónium-tartalmú.



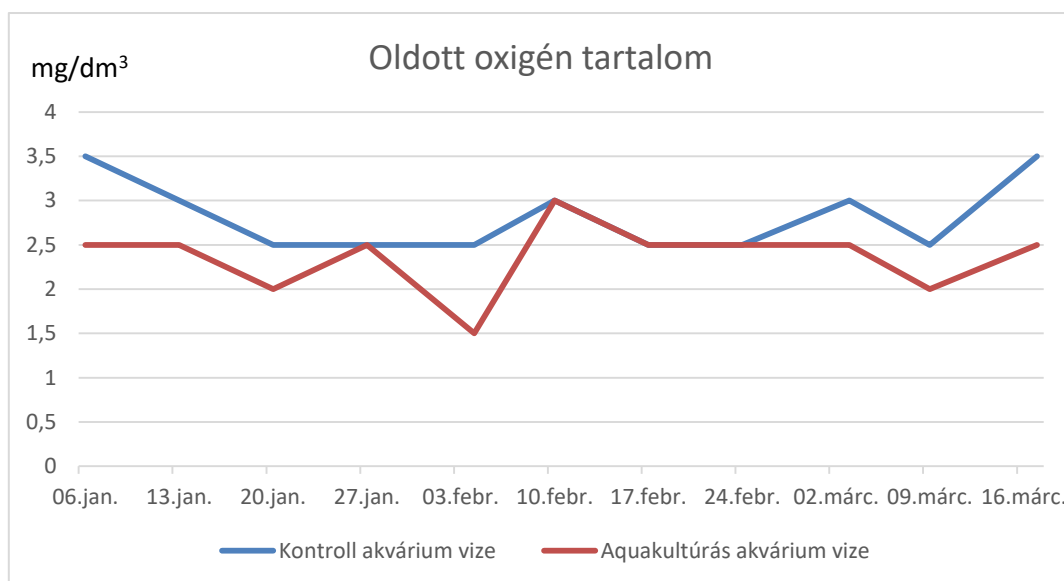
2. ábra: Az ammónium-ion tartalom a 2015-2016-os tanév aquakultúrás rendszerében

A halak számára leginkább fontos a nitrit-tartalom, aminek meghatározására a medence aljáról vett vízmintákból került sor, mivel itt a legmagasabb ezen ion mennyisége. Azonban egyik esetben sem lépte át a koncentráció a kritikus $0,2 \text{ mg/dm}^3$ értéket. Az aquakultúrás medencében az ammónium magasabb szintjét követi a nitrit koncentráció. A nitrit mennyiség az akváriumba bevezetett (növényes kert utáni) víz esetén a legkisebb, ami szinté a biológiai tisztításra utal.

Az ammónium- és a nitrit-ionnál nagyobb ingadozást mutat mind a kontroll, mind pedig az aquakultúrás rendszerben lévő akvárium nitrát-ion koncentrációja. Ennek magyarázata lehet, hogy a vízi növények fel tudják venni az akvárium alján felgyűlő nitrát-ionokat (biológiai tisztítás). A nitrát-ion koncentráció a két akvárium között nem mutatott jelentős eltérést, azonban az aquakultúrás rendszer esetén a telepített növények a vízi fotoszintetizálókhoz hasonlóan könnyebben fel tudják venni ezen ionokat, így jobban csökkentik a víz szennyezőanyag koncentrációját, mint az ammónium, illetve nitrit-ionok esetében.

A vízminta foszfát-ion tartalma kiegyenlített volt mindkét akváriumi víz esetében ($0,7\text{-}0,8 \text{ mg/dm}^3$) a mérési időpontokban. A N-tartalomhoz hasonlóan az ülepítők után mért eredmények (átlagban $0,65 \text{ mg/dm}^3$), illetve a növényes kert utáni foszfát-koncentráció alacsonyabb volt (átlagban $0,63 \text{ mg/dm}^3$).

Az oldott oxigén tartalom az aquakultúrás akváriumban két alkalommal csökkent le a kritikus ($1,5 \text{ mg/dm}^3$) szint közelébe, február 4-én illetve március 10-én (3. ábra). Ez is valószínűleg a pH változás függvényében alakult ki. Ebben a két időpontban a halaknál be kellett kapcsolni a levegőztetést 5 napra a halpusztulás elkerülése érdekében. Ezzel magyarázható a február 10-én mért magasabb oldott oxigén tartalom. A kontroll akváriumban a levegőztető berendezés alkalmazása révén az oldott oxigén tartalom $2,5\text{-}3,5 \text{ mg/dm}^3$ között változott, ami ideálisnak tekinthető. Bár itt is megfigyelhető, hogy a 2-4. héten alacsonyabb szintű volt az oxigén tartalom, a halak fejlődése is lassabban történt.



3. ábra: Az oldott oxigén tartalom a 2015-2016-os tanév aquakultúrák rendszerében

A nagyobb és kisebb részecskék ülepítőjéből kinyert részecskék tömege hetente 0,2 g-t illetve 0,1 g-t tett ki, amely az átáramló víz tömegéhez képest elenyésző. Átlagos vízhozammal számolva 465 g-nyi víz. Azonban a megszűrt anyag kis tömegéhez képest is elmondható, hogy ezen makrorészecskékhez felületileg kapcsolódnak bizonyos szennyező anyagok, úgymint az ammónium-, a nitrát-, nitrit- és a foszfát-ion, ugyanis mindegyik esetben az akváriumban lévő víz szennyezőanyag koncentrációjánál kisebb értékeket mértünk az ülepítők után.

A kontroll és az aquakultúrák növények növekedési üteme 3-4 mm-t mutatott hetente. A 2016. március 17-én készített mikroszkópos vizsgálataink alátámasztották, hogy a növények szövettani felépítése nem különbözött. A kontroll növényes kertből és az aquakultúrák rendszer növényes kertjéből szedett növények leveleiből Soxhlet készülékkel történő extrakcióval nyertünk ki illóolajat.

3.2. A 2018-2019-es tanévben készített modellünk eredményei és értékelésük

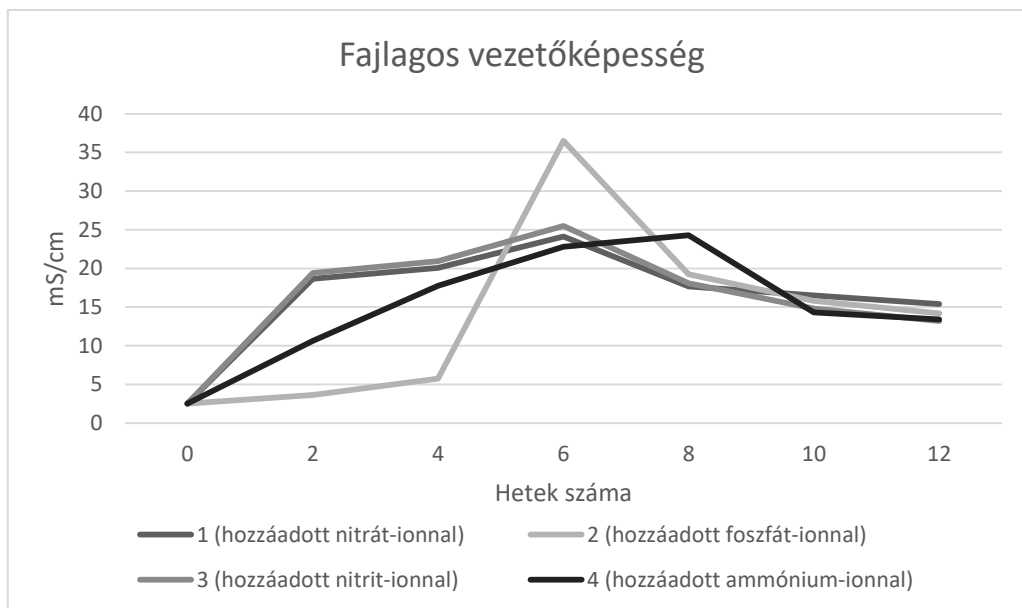
A vizsgálatainkat a Feneketlen-tóból származó vízminta elemzésével kezdtük, amelyhez a későbbiekben viszonyítottuk a kapott adatokat (0. hét mérése).

A projekt későbbi heteiben a mérések alapján az alábbi eredményeket kaptuk:

A pH mérések alapján a Feneketlen-tóból származó kontroll vízmintához (pH=7,5) képest az első hónapban jelentősen nem változott a kémhatás egyik akváriumban sem. A pH csökkenés a 2. akváriumnál volt megfigyelhető a 4. héttől kezdődően (pH=6), majd a kavicságyas szűrők beépítésével emelkedést tapasztaltunk. Ez a jelenség valószínűleg a foszfát-ion tartalom változásával magyarázható.

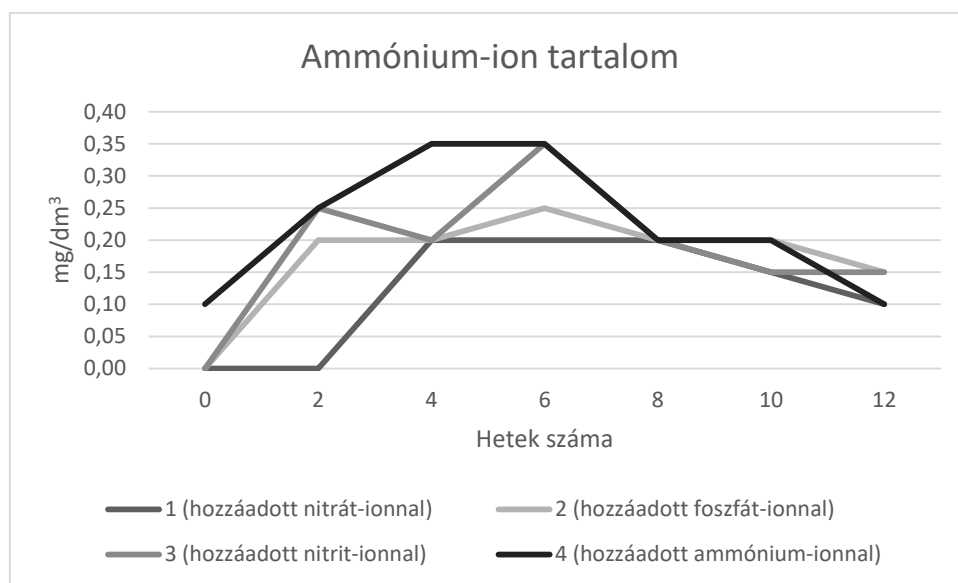
A vízminták összes keménysége a vizsgálat időtartama elején 7,5-8 nk° volt, amely közepesen kemény vízre utal. Egy hónap elteltével a vízminták összes keménységének kismértékű csökkenése (2. akváriumban 4,5 nk° volt a 6. héten) volt tapasztalható, amely összefüggésbe hozható a kémhatás alakulásával.

Az akvárium fajlagos vezetőképességének alakulását a 4. ábra szemlélteti. Ez alapján elmondható, hogy mindegyik akváriumban a 6. héten érte el maximális értékét, és a legmagasabb a 2. akváriumban volt (36,5 mS/cm). A kavicságyas szűrők beépítése után a 6. héttől kezdődően a fajlagos vezetőképesség csökkenését tapasztaltuk, ami a 12. héten mindegyik akváriumban 15 mS/cm körüli értéknek bizonyult.



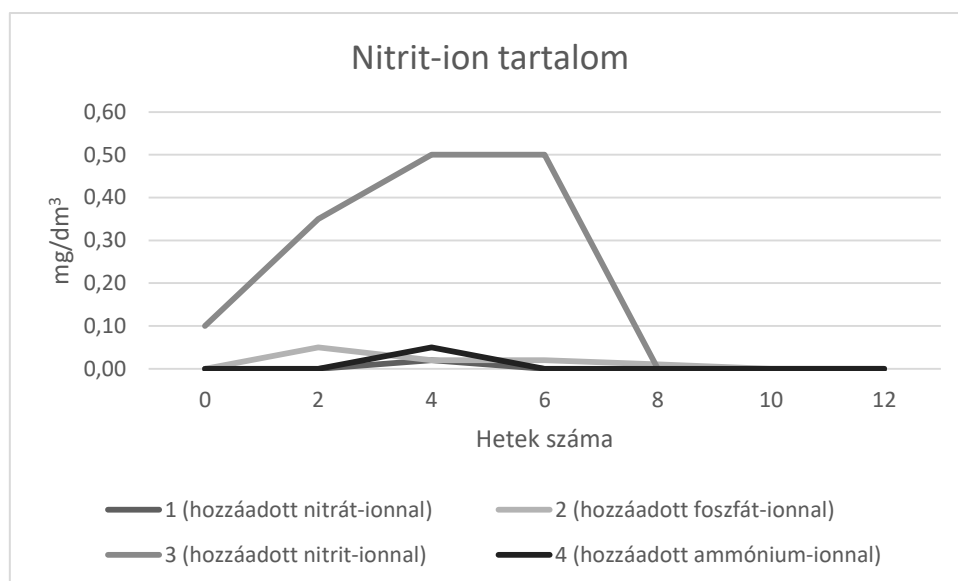
4. ábra: A fajlagos vezetőképesség a 2018-2019-es tanév modell akváriumáiban

Az ammónium-tartalom a Feneketlen-tóban (mint kontroll mintában nyomokban volt kimutatható. Minden akváriumban növekedett, és a 4-6. hét között érte el a csúcsát ($0,35 \text{ mg/dm}^3$), ami jelentős szennyezésre utal. A növekedés üteme a 4. akváriumnál, bár hozzáadott ammónium-iont tartalmazott nem volt kiugróan eltérő a többi akváriumhoz képest (5. ábra).



5. ábra: Az ammónium-ion tartalom a 2018-2019-es tanév modell akváriumáiban

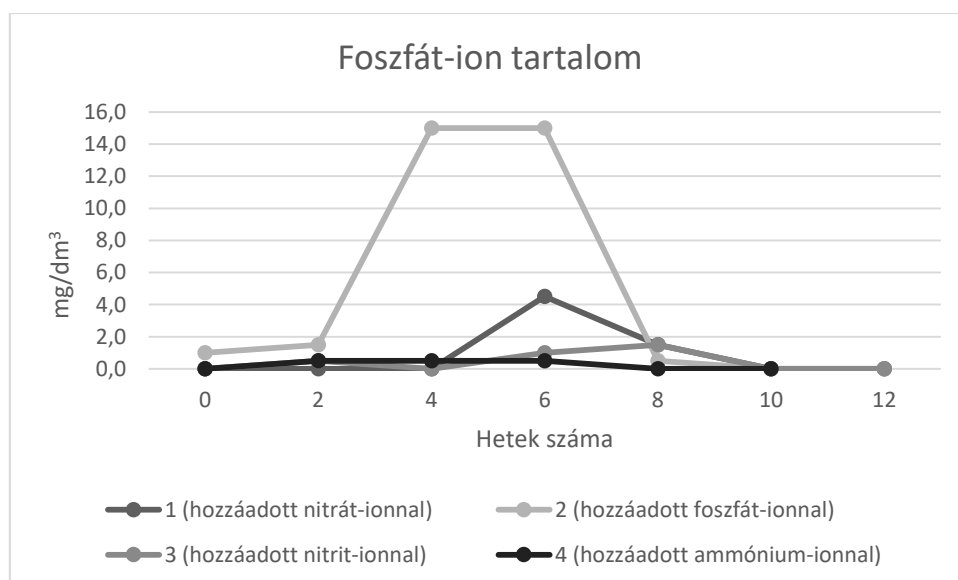
A nitrit-ion tartalom (6. ábra) a vizsgálat során a 3. akvárium kivételével kezdeti állapothoz képest kismértékben emelkedett, majd a szűrők beépítése után ismét csökkent. A hozzáadott nitrit-ion tartalmú akvárium (3. akvárium) esetében nagymértékű emelkedést tapasztaltunk már a 2. héttől kezdődően.



6. ábra: A nitrit-ion tartalom a 2018-2019-es tanév modell akváriumaiban

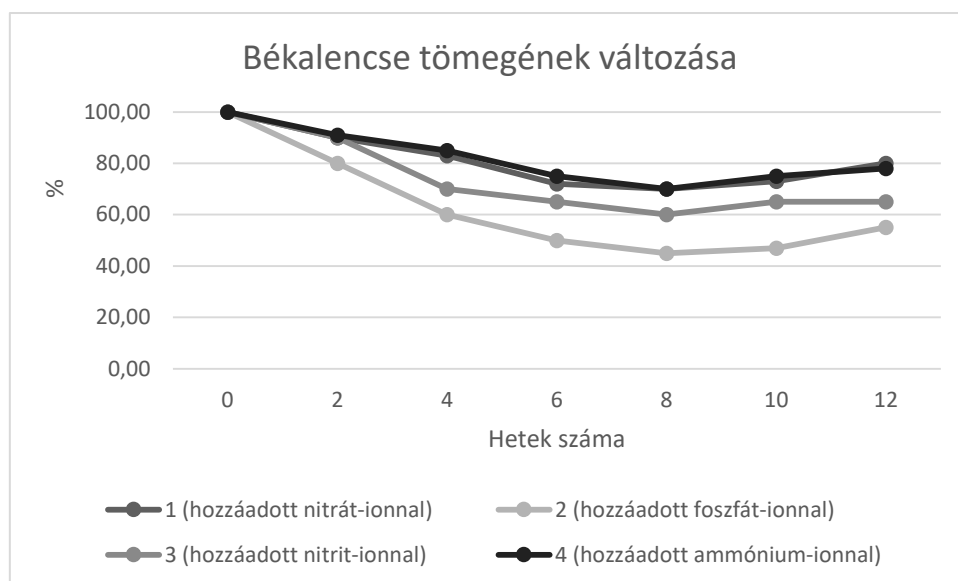
A nitrit-ion tartalom változásához hasonló volt a nitrát-ion tartalom alakulása. Az 1. akvárium (hozzáadott nitrát-ion tartalommal) esetében a 2. hét végére a koncentráció elérte a 2 mg/dm^3 -es értéket. A többi akvárium esetén a maximális érték $0,5\text{-}1 \text{ mg/dm}^3$ volt. A 6. héttől kezdődően a nitrát-ion tartalom csökkent.

A méréseink alapján elmondhatjuk, hogy a foszfát-ion tartalom emelkedett a leginkább a különböző hozzáadott iontartalmak közül. A 2. akváriumban a foszfát-ion a 4. hétre 15 mg/dm^3 lett (7. ábra), ami jelentős halobitás emelkedést eredményezett. A szűrő beépítésével a hozzáadott foszfát tartalmat le tudtuk csökkenteni.



7. ábra: A foszfát-ion tartalom a 2018-2019-es tanév modell akváriumaiban

A kémiai mérések mellett biológiai mérésekre is sor került, az akváriumokba 30 g algát mértünk, mivel ezen mennyiség lehetővé tette a projektünk során a visszamérést. A bemért mennyiségét 100 %-nak tekintve a hetek során ehhez viszonyítottuk a változásokat (8. ábra). A 2. akváriumban csökkent leginkább a 6. hét végéig a békalencseszám, majd a szűrő beépítése után növekedés volt megfigyelhető, bár az üteme kisebbnek bizonyult, mint a csökkenés mértéke.



8. ábra: A békalencse tömegének változása a 2018-2019-es tanév modell akváriumaiban

A békalencse tömegének változása mellett nyomon követtük az egysejtűek fajösszetételének és mennyiségének változását is. A vizsgálat elején a vízben fénymikroszkóp segítségével azonosítottunk: Euglena ostoros-, kova-, fogaskerek-, békanyál-, holdvilág-, csillárkamoszat-fajokat, Volvox fajokat és kékbaktériumot. 4 hét elteltével a békanyál moszatfajok mennyisége mindegyik (elsősorban a 2. akváriumban) vízmintában megemelkedtek, majd a 8. héttől kezdődően csökkentek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 2015-2016-os tanév eredményei bizonyították, hogy a 2016. január 6. és március 17. között mért fizikai és vízkémiai jellemzők közül az összes keménység, a kémhatás a foszfát-ion és a nitrát-ion tartalom nem lépte át az akváriumokban élő szervezetek fennmaradásához szükséges koncentrációt. Az aquakultúrás rendszer akváriumában a kémhatás két időpontban (2016. január 27-én és március 3-án) lépte át a 7,4-es értéket, amely maga után vonta (egy hetes késéssel) az emelkedett ammónium-ion tartalom növekedését és az oldott oxigén-tartalom csökkenését. Az oldott oxigén-tartalom befolyással van a halak fejlődésére is. Megállapítottuk, hogy az oxigén mennyiségének csökkenése miatt az aranyhalak méretbeli növekedése alul múlta az irodalom által meghatározott ütemet. A vízviasszaforgató rendszerünkben a telepített növények sem méretben, sem pedig szövettani felépítésben nem különböztek a kontroll mintához képest. A gravitáció elvét alkalmazó ülepítő mechanikai tisztítás révén, az ültetett növények pedig biológiai tisztítás révén csökkentik a víz szennyezőanyag-tartalmát (ez utóbbi leginkább a nitrát-ionokra vonatkozik). A telepített 50 W-os napelem (és a hozzákapcsolt akkumulátor) a vizsgált időszakban ellátta árammal a rendszert, így más energiaforrásra nem volt szükség.

A 2018-2019-es tanév vizsgálatait azt mutatják, hogy a korábbi tanévben megépített rendszer beállításait felhasználva (oxigén-tartalom, hőmérséklet) a békalencse fajszáma az egyes akváriumokban csökkenést mutatott, elsősorban a mesterséges foszfát-ion hozzáadása után. A természetes szűrő (kavicságy) beépítése után a vízminták kémiai és biológiai tulajdonságai a kontroll minta paramétereit kezdik megközelíteni, illetve azokat elérni. A szűrő beépítése szükséges volt, mivel valószínűleg a megjelenő makroszennyeződések megzavarják a vízben

uralkodó egyensúlyi viszonyokat, ami kihat az abban megjelenő fajok előfordulására és életműködésére.

Összességében megállapítható, hogy a 2015-2016-ban tervezett és megépített modellünk önfenntartó elven alapuló fenntartható rendszer. A 2018-2019-es rendszerben mért adatok alapján elmondható, hogy a békalencse fajok leginkább a vízminta foszfát-tartalmára érzékenyek, azonban nem tudtunk hosszú távú következtetést egyértelműen levonni azzal kapcsolatban, hogy a békalencse fajok mennyire képesek a természetes vizek megtisztítására. Hátrányaként mindkét időszak projektje esetében meg kell említenünk, hogy a rendszer kiépítése nagy beruházási költséggel rendelkezik, működtetése pedig nagy odafigyelést igényel.

IRODALOMJEGYZÉK

Barótfi, I. (2003): *Környezettechnika*, Mezőgazda Kiadó

Graber, A. - Junge, R. (2009): *Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production*, Sciencedirect, 2009

James E. - Rakocy, R. – Shultz, C. – Bailey, D. S. – Thoman, E. S (2004) *Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System*, [South Pacific Soilless Culture Conference - SPSCC](#)

Lennard, W.A – Leonard, B.V (2006): *A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System*, Aquaculture International, Vol.14(6) pp 539-550

Podani, J. (2007): *A szárazföldi növények evolúciója és rendszertana*, ELTE Eötvös Kiadó

Pepó, P (2001): *A biológiai alapok szerepe a növénytermesztési innovációban*, SZIE

Simándi, P (2011): *Szennyvíztisztítási technológiák II.*, SZIE

Azer, S.A (2013): *Taxonomic revision of genus Lemna L. (Lemnaceae Gray) in Egypt*, [Annals of Agricultural Sciences Volume 58\(2\)](#), pp 257-263

MSZ 12749:1993 szabványok

<http://www.about-goldfish.com/goldfish-growth-rates.html>

<http://www.akvariummagazin.hu/index.php/25-biol/ltals/223-mikroorganizmusok-jelente-az-akvumban-1>

<http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue1/art-02.html>

http://www.haki.hu/sites/default/files/Sustainaqua/SustainAqua%20handbook_HU.pdf

http://www.mard-el.hu/letoltesek/katalogusok/Az_akvarium_termeszethu_apolasa.pdf

<https://mno.hu/migr/szennyvizet-szurhetne-a-bekalencse-759526>