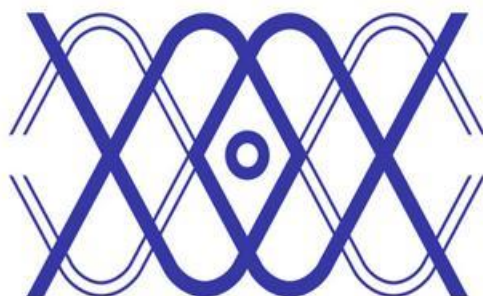


**MAHOP-2.1.1-2016-2017-00007**

**Fenntartható, innovatív haltermelési és környezetkezelési technológiák  
fejlesztése és gyakorlati bevezetésének támogatása**



**NAIK Halászati Kutatóintézet**

**A NAIK HAKI TERÜLETÉN MŰKÖDŐ „LÉTESÍTETT VIZES  
ÉLŐHELYI VÍZKEZELŐ RENDSZER” FEJLESZTÉSÉHEZ  
SZÜKSÉGES HELYZETÉRTÉKELÉS  
TÁPANYAGFORGALMI VIZSGÁLATOK ALAPJÁN**

**Szarvas, 2021. január 15.**

## Tartalom

1. Bevezetés .....	4
2. Engedélyek, hatósági iratok áttekintése .....	5
2.1 A Szarvas-Fish Kft. vízjogi üzemeltetési engedélyeinek áttekintése .....	5
2.1.1 12.573-4/2004 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítás (Körös-vidéki Vízügyi Felügyelet).....	5
2.1.2 13.418-2/2004 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítás (Körös-vidéki Vízügyi Felügyelet).....	6
2.1.3 21518-001/2005 határozat az önellenőrzési terv jóváhagyásáról (Körös-Vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség).....	6
2.1.4 50376-021/2010 sz. határozat, vízjogi engedély módosítás egységes szerkezetben (Tisztántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség Kirendeltsége, Gyula).....	6
2.1.5 11181-009/2014 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítása, egységes szerkezetben (Körös-vidéki Vízügyi Hatóság) .....	8
2.1.6 11181-015/2014 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély javítása (Körös-vidéki Vízügyi Hatóság).....	9
2.1.7 35400/1018-15/2019 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítása (Békés-megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztály) .....	9
3. Korábbi vizsgálatok, tanulmányok számbavétele .....	11
3.1 Rendelkezésre álló dokumentumok, adatok.....	11
3.2 Előzmények.....	11
3.3 Korábbi tanulmányok értékelése.....	12
3.3.1 A 2014-es kutatási jelentés összefoglalása .....	12
3.3.2 A 2016-2017-es kutatási jelentés összefoglalása.....	13
3.3.3 A 2018-as kutatási jelentés összefoglalása .....	15
4. A kezelendő elfolyóvíz jellemzői .....	18
4.1 A kezelendő elfolyóvíz mennyiségének változása 2014-2018 között .....	18
4.2 A kezelendő elfolyóvíz minőségének változása 2014-2018 között.....	20
5. A vízkezelő rendszer működésének értékelése.....	36
5.1 Szervetlen tápanyagformák átalakulása a vízkezelő rendszerben.....	48
5.2 A vízkezelő rendszer működésével kapcsolatos megállapítások összefoglalása .....	50
5.3 A vízkezelő rendszer teljesítőképessége és elvárható teljesítménye .....	51
5.4 Méretezés és tervezés német tervezési irányelvek alapján .....	51
5.5 Szükséges medenceméretek a szennyvízterhelés alapján .....	52
5.6 Méretezés és tervezés amerikai tervezési irányelvek alapján .....	53

5.7 A vízkezelő rendszer teljesítőképessége és a szükséges fejlesztések lehetséges irányai .....	54
6. Mérési programjavaslat a projekt II. ütemére a 2021. évben.....	56
7. Irodalomjegyzék .....	57

# 1. Bevezetés

---

NAIK Halászati Kutatóintézet központi telepén 2000-ben létesített vizes élőhelyi víztisztító rendszer feladata a Szarvas-Fish Kft. intenzív átfolyó rendszerű harcsatelepe elfolyó szennyvizének megtisztítása a vízjogi üzemeltetési engedélyben előírt határértékek szintjére. A négy tóból álló vízkezelő rendszer üzembeállítása óta eltelt évek folyamán a hidraulikus és szennyezőanyag terhelés az évek során megnövekedett, ami a tisztítás hatásfokának olyan mértékű romlásához vezetett, hogy a kezelt elfolyóvíz a foszfor- és nitrogénformákra vonatkozó kibocsátási határértékeknek nem képes megfelelni.

Ezért döntöttek a felek a NAIK-HAKI területén a meglévő víztisztító rendszer hatékonyságának fejlesztéséhez szükséges tápanyagforgalmi vizsgálatok és az ehhez kötődő feladatok ellátására vonatkozó megállapodás keretében egy projekt elindítása mellett, amelynek célja feltárni a rendszer elégtelen hatékonyságának okait és meghatározni a fejlesztés lehetséges műszaki megoldásait.

A szerződésben meghatározott feladat három ütemből áll:

- Első ütem: Helyzetértékelés
- Második ütem: Kiegészítő adatgyűjtés
- Harmadik ütem: Konceptió terv

A jelen dokumentum az első ütem végrehajtása során a vízkezelő rendszer működésével kapcsolatban korábban elvégzett vizsgálatok és mérések eredményeinek értékelését és az ezekből levont következtetéseinket, megállapításainkat tartalmazza, utolsó fejezetében pedig felvázoljuk a továbblépés lehetséges irányait.

## 2. Engedélyek, hatósági iratok áttekintése

### 2.1 A Szarvas-Fish Kft. vízjogi üzemeltetési engedélyeinek áttekintése

Az alábbiakban számba vesszük a Szarvas Fish Kft. halnevelésből származó használtvíz/szennyvíz kibocsátására vonatkozó vízjogi üzemeltetési engedélyeknek a vízfelhasználásra, a kezelési technológiára és a kibocsátási határértékekre vonatkozó részleteit. Eredeti vízjogi üzemeltetési engedély a 11.381-2/1994. számon került kiadásra. Ezt módosították a 11.373/1998., 11.132-2/1999., 11.588-3/2002. és 12.212-2/2004. számú határozatok és javította a 11.182/1995. számú határozat. A módosítások releváns tartalmát az alábbiakban foglaljuk össze, zölddel kiemelve az egyes engedélyekben az előzményengedélyekhez képest történt lényeges módosulásokat:

#### 2.1.1 12.573-4/2004 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítás (Körös-vidéki Vízügyi Felügyelet)

- A HAKI L-2 lecsapoló csatorna 0+330 - fm szelvényébe kibocsátott használtvízre a 9/2002. (III.22.) KöM-KöViM együttes rendelet 1. sz. mellékletének 2. vízminőség-védelmi területi kategóriája szerinti határértékeit állapít meg 2005. január 1-től az alábbiak szerint

<b>Mintavételi hely: a befogadó előtti utolsó akna</b>		
<b>Szennyező anyagok</b>	<b>Határérték</b>	<b>Mértékegység</b>
pH	6,5-9	-
Dikromátos oxigénfogyasztás (KOl <sub>d</sub> )	75	mg/l
Biokémiai oxigénigény (BOI <sub>5</sub> )	25	mg/l
Összes nitrogén	30	mg/l
Összes foszfor	2	mg/l
Összes lebegő anyag	100	mg/l
Ammónia-ammónium-ion N-ben	5	mg/l

- Az engedélyezett bevezetési helyen (L2 csatorna 0+ 330 fm szelvénye) kívül létező egyéb bevezetési pontokat meg kell szüntetni 2005. december 31-ig. A csatorna végbefogadója a Szarvasi-holtág 8+460 fm szelvénye.
- A használt víz tisztításának elvi vízjogi engedélyes tervét 2005. december 31-ig be kell nyújtani.
- A felhasználható vízmennyiség 661 099 m<sup>3</sup>/év azaz 1 811 m<sup>3</sup>/d, a befogadóba vezethető használtvíz mennyiség 661 099 m<sup>3</sup>/év azaz 1 811 m<sup>3</sup>/d. Amennyiben megváltoznak a

felhasználni és elvezetni kívánt mennyiségek, kezdeményezni kell a vízjogi üzemeltetési engedély módosítását.

- A halnevelő telep vízellátását a K-24, K-25, K-28 és K-31 kataszteri számú kutak biztosítják.
- A halnevelő kádakból a használtvíz üleptető medencén nyer tisztítást.
- Az üzemeltetési engedély 2009. december 31-ig érvényes.

#### 2.1.2 13.418-2/2004 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítás (Körös-vidéki Vízügyi Felügyelet)

Engedélyezett vízfelhasználás:

Rétegvíz II.	328.500 m <sup>3</sup> /év	900 m <sup>3</sup> /d
Termálvíz	105.120 m <sup>3</sup> /év	288 m <sup>3</sup> /d

#### 2.1.3 21518-001/2005 határozat az önellenőrzési terv jóváhagyásáról (Körös-Vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség)

Az önellenőrzési terv 2009. december 31-ig érvényes.

#### 2.1.4 50376-021/2010 sz. határozat, vízjogi engedély módosítás egységes szerkezetben (Tisztántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség Kirendeltsége, Gyula)

- A halnevelő telep vízellátását 1 db termálkút (K-28 kataszteri számú) és 4 db rétegvíz kút (K-24, K-25, K-31 és **K32** kataszteri számú) biztosítják.
- A vízkivételt a kutakból búvárszivattyúval történik a kör alakú, térszínen elhelyezett haltartó medencékbe (5 db 120 m<sup>3</sup>-es és 6 db 40 m<sup>3</sup>-es medence, vízmélység: 1,8 m).
- Az elfolyó víz folyamatosan gravitációsan távozik a medencékből egy állandó szintre beépített túlfolyón, illetve egy golyós csappal szabályozott fenékleürítőn keresztül.
- A használtvíz egy hosszanti átfolyású, 5,0 m X 1,0 m-es, bordás acéllemezéből készült előüleptető medencén megy keresztül.
- A szennyvíz befogadója:
  - A HAKI L-2 lecsapoló csatorna 0+330 fm szelvénye.
  - A bevezetés kitorkolási szintje: 82,3 mAf.
  - Az L-2 csatorna befogadója a Szarvas-Békésszentandrás holtág 8+460 fm szelvénye.
- A fűtő kutakból felhasználni engedélyezett vízmennyiség:

A kút jele	Engedélyezett vízmennyiség		
	évi	napi	Vízkezelés jellege
K-28 kataszteri számú termálkút	255.500 m <sup>3</sup> /év	700 m <sup>3</sup> /d	termálvíz

K-24, K-25 és K-32 kataszteri számú kutak	400.000 m <sup>3</sup> /év	1095,9 m <sup>3</sup> /d	rétegvíz II.
K-31 kataszteri számú kút	rétegvíz kút tartalék vízbeszerző létesítmény		

- A HAKI L-2 lecsapoló csatorna 0+330 fm szelvényébe bocsátott szennyvíz minőségének ki kell elégítenie az alábbi határértékeket:

Mintavételi hely: a befogadó előtti utolsó akna

Szennyező anyagok	Határérték	Mértékegység
pH	6,5-9	-
Dikromátos oxigénfogyasztás (KOI <sub>d</sub> )	75	mg/l
Biokémiai oxigénigény (BOI <sub>5</sub> )	25	mg/l
Összes nitrogén	30	mg/l
Összes foszfor	2	mg/l
Összes lebegő anyag	<b>50</b>	mg/l
Ammónia-ammónium-ion N-ben	5	mg/l
<b>Összes szervesetlen nitrogén</b>	<b>25</b>	<b>mg/l</b>

Részlet a határozat indoklásából:

*A felszíni vizek minősége védelmének általános szabályairól szóló 20/2004. (VII 21.) Korm. rendelet 19/A. §-a szerint:*

*19/A. § Időszakos vízfolyásba történő vízszennyező anyag bevezetése esetén a 19. § (3) bekezdésében meghatározott kivételek figyelembevételével a kibocsátási határérték a területi határérték alapján vagy az egyedi határérték megállapításával határozható meg. A felügyelőség a kibocsátási határértéket a felszín alatti vizek védelméről szóló kormányrendeletben meghatározott, a közvetett bevezetésre vonatkozó szabályok figyelembevételével állapítja meg.*

*A fentiekre figyelemmel hivatalból módosítottam az összes lebegőanyag kibocsátási határértékét, és Összes szervesetlen nitrogén kibocsátására határértéket állapítottam meg a 28/02004. (XII. 25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete szerint a 3. Időszakos vízfolyás befogadóra vonatkozóan, figyelemmel arra, hogy a Szarvas-Békésszentandrás holtág a felszínalatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet 13. § (11) bekezdés alapján időszakos vízfolyás.*

*A többi komponensre a kibocsátási határértékeket nem módosítottam, mivel az L-2 lecsapoló rendszer befogadója a Szarvas-Békésszentandrás holtág; mely integrált hasznosítású víztér, elsődleges funkciója a belvízelvezetés és tározás.*

- Az üzemeltetési engedély 2015. október 31-ig érvényes.

2.1.5 11181-009/2014 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítása, egységes szerkezetben (Körös-vidéki Vízügyi Hatóság)

SZENNYVÍZTISZTÍTÁS:

**A.) Technológia:**

A haltartó medencék használtvize az előülepítő tartályokba, majd onnan a dobszűrő egységre kerül. A mechanikailag így megtisztított használtvíz gravitációsan átemelő aknába kerül, ahonnan szivattyúsan, 160-as PVC vezetéken keresztül jut a NAIK (volt HAKI) halastó-wetland rendszerének első (1. halastó) elemére.

**B.) Műtárgyak:**

- acélszita: 5x5 mm lyukméretű, de-nem üzemel, funkcióját az előülepítő egység vette át.
- előülepítő egység: 4 db, egyenként 20 m<sup>3</sup>-es térfogatú műanyag tartály. (kúpos kialakítású, süllyesztett). A kiülepedett anyag a négy tartály között lévő zagyfogó medencébe jut. Az esetleges nagyobb darabos szennyeződések visszatartására egy perforált, 4 mm-es résnagyságú rozsdamentes szűrőkosár szolgál.
- dobszűrő egység: vb. medencében elhelyezve, zsomppal, zsomp-szivattyúval. A dobszűrők egymással sorbakapcsoltak, és saját visszamosató szivattyúval rendelkeznek. A visszamosott zagyot gravitációsan a zagyátemelő aknába vezetik.
  - 1. dobszűrő, 160 µm-es szitaszövetű, 1 db
  - 2. dobszűrő, 60 µm-es szitaszövetű, 1 db
- tisztított szennyvíz átemelő akna: 1 db vb., 2,5 m<sup>3</sup>, szivattyúval

Az átfolyóvizes üzemmódú, intenzív haltenyésztésből származó és kezelendő használtvíz átlagos mennyisége: 75 m<sup>3</sup>/h (1800 m<sup>3</sup>/nap)

ISZAP-, ÉS CSURGALÉKVÍZ-KEZELÉS:

- zagy-átemelő akna: 3 m<sup>3</sup>-es, az előülepítőkből származó iszap fogadására, és a zagynak a haltrágya-ülepítőbe való szivattyús továbbítására.
- haltrágya ülepítő: 20 m<sup>3</sup>-es, kúpos fenekű gravitációs sűrítő. Az iszap szivattyúsan kerül a haltrágya-tározóba. A sűrítő dekantvize a dobszűrők elé visszavezetve.
- haltrágya tározó: 10 m<sup>3</sup>-es vb. medence. Az iszapot feladó szivattyú emeli a centrifugára.
- centrifuga, polielektrolit-oldó berendezéssel: a mechanikai szűréssel eltávolított anyag víztelenítésére. Csurgalékvize a dobszűrő elé visszavezetve.

A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ ELVEZETÉSE, BEFOGADÓJA:

A mechanikailag tisztított használtvíz elvezetése: Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ HAKI halastó-wetland rendszerének 1. halastava -> 2. halastó -> 1. wetland -> 2. wetland ->

NAIK-üzemi csatorna hálózat (elsődleges befogadó L-24 csatorna 0+035 fm szelvénye, majd L2, L12 és L1 jelű csatornákon át) -> a Szarvas-Békésszentandrás-holtág 8+193 fm szelvénye.

A telepről elfolyó L-24 csatornába vezetendő szennyvíz minőségének ki kell elégítenie az alábbi határértékeket:

**Mintavételi hely: a tisztított szennyvíz a halastó-wetland kifolyó műtárgynál**

Szennyező anyagok	Határérték	Mértékegység
pH	6,5-9	-
Dikromátos oxigénfogyasztás (KOI <sub>d</sub> )	75	mg/l
Biokémiai oxigénigény (BOI <sub>5</sub> )	25	mg/l
Összes nitrogén	30	mg/l
Összes foszfor	2	mg/l
Összes lebegő anyag	50	mg/l
Ammónia-ammónium-ion N-ben	5	mg/l
Összes szerves nitrogén	25	mg/l

A vízjogi üzemeltetési engedély jogerőre emelkedését követő 30 napon belül az I. fokú környezetvédelmi és természetvédelmi hatóságra (a szennyvízakra, haltrágya tározóra, illetve wetlandre vonatkozó) szennyezőanyag elhelyezési engedély kérelmet kell benyújtania.

#### [2.1.6 11181-015/2014 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély javítása \(Körös-vidéki Vízügyi Hatóság\)](#)

A 11181-009/2014. ikt. számú határozat VI. 2. pontja helyesen:

- A vízjogi üzemeltetési engedély 2019. április 30. napjáig hatályos.

#### [2.1.7 35400/1018-15/2019 sz. határozat, vízjogi üzemeltetési engedély módosítása \(Békés-megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztály\)](#)

A vízjogi üzemeltetési engedély 2024. április 30. napjáig hatályos.

Szennyvíztisztítás B ). Műtárgyaik: „- dobszűrő egység:” pontja az alábbiak szerint módosul:

- dobszűrő egység: vb. medencében elhelyezve, zsomppal, zsomp-szivattyúval.

**A 2 db dobszűrő felváltva üzemel, 60 µm-es szitaszövevel.**

A dobszűrők saját visszamosató szivattyúval rendelkeznek. A visszamosott zagyot gravitációsan zagy-átemelő aknába vezetik.

## 3. Korábbi vizsgálatok, tanulmányok számbavétele

---

### 3.1 Rendelkezésre álló dokumentumok, adatok

1. A Szarvas-Fish Kft. elfolyóvizének összehasonlító vizsgálata és a NAIK HAKI telepén működő vizes élőhelyi vízkezelő rendszer tisztítási hatékonyságának értékelése 2014-ben, Kutatási jelentés, NAIK HAKI 2015.
2. A Szarvas-Fish Kft. elfolyóvizének vizsgálata és a NAIK HAKI telepén működő vizes élőhelyi vízkezelő rendszer tisztítási hatékonyságának értékelése (2016. január és 2017. június), Kutatási jelentés, NAIK HAKI 2017.
3. A Szarvas-Fish Kft. elfolyóvizének vizsgálata és a NAIK HAKI telepén működő vizes élőhelyi vízkezelő rendszer tisztítási hatékonyságának értékelése (2018), kutatási jelentés, NAIK-HAKI 2018.
4. Víztisztítás mérési eredmények a 2007-2008, 2014-2018, üledékminőség mérési eredmények a 2014., 2017. és 2018. évekből.

### 3.2 Előzmények

A Szarvason működő intenzív, átfolyóvizes rendszerű afrikai harcsa halnevelő telepet, melynek elfolyóvizét vizes élőhelyi vízkezelő rendszer segítségével kezelik, 1988-89 években építette a Magnor Kft. norvég-magyar vegyesvállalat, melyet 1994-ben a Szarvas-Fish Kft. tulajdonosai vásároltak meg.

A telep területe 3 690 m<sup>2</sup>, melyen hat 40 m<sup>3</sup> és öt 120 m<sup>3</sup> térfogatú körmedence, valamint két 150 m<sup>3</sup>, két 20 m<sup>3</sup> és két 10 m<sup>3</sup> térfogatú betonmedence található, azaz összesen a termelő medencék hasznos térfogata 1200 m<sup>3</sup>. A medencék vízellátását 4 db mélyfúrású, köztük egy termál kút biztosítja.

A haltelep kiépítésekor a medencékből szivornyán keresztül vezették a használt vizet a drénhálózatba, melyből egy ülepítő medence beiktatásával a víz egy lecsapoló csatornán keresztül, más elfolyóvízzel keveredve jutott a Holt-Körösbe.

2000-ben a NAIK Halászati Kutatóintézet központi telepének négy földmedrű halastavából kísérleti jelleggel egy vizes élőhelyi vízkezelő rendszert létesített. Ennek a *W1-W2-W3-W4* sorrendben sorba kapcsolt tavain átvezetve a halnevelő telep elfolyó szennyvizének 250-300 m<sup>3</sup>/d nagyságrendű részáramát, 2000-2011 közötti időszakban több kutatási projekt keretében kísérleteket folytattak a szennyvíz halnevelésre szolgáló másodlagos hasznosítására és a kibocsátási határértékek szintjére történő megtisztítására, miközben vizsgálták a rendszer tápanyagforgalmát, biokémiai és ökológiai viszonyait.



1. ábra: A vizes élőhelyi vízkezelő rendszer jelenlegi kialakítása

2012-ben a W1 és W2 jelű tavakat felújították az üledék és a biomassza részleges eltávolításával, majd ezt követően alakították ki a vízkormányzás jelenlegi rendszerét, melynek során a Szarvas Fish Kft. afrikai harcsa nevelő telepén keletkező teljes szennyvízmennyiséget a sorba kapcsolt W1 és W2 stabilizáló tavakon, majd ezt követően a párhuzamosan kapcsolt W3 és W4 jelű, makrofitákkal telepített tavakon vezetik keresztül (1. ábra). Innen mindkét tóból a tisztított szennyvíz az elsődleges befogadó L-24 csatornában egyesül, majd az L2, L12 és L1 jelű csatornákon át a Szarvas-Békésszentandrás-holtág folyik (8+193 fm szelvény). A vízjogi üzemeltetési engedély módosításának 11181-009/2014 sz. és 35400/1018-15/2019 határozatai ugyanakkor még a korábbi, a négy tavat sorba kapcsoló üzemrendet tükrözik.

### 3.3 Korábbi tanulmányok értékelése

A NAIK HAKI kutatói 2014. és 2018. között három kutatási jelentést készítettek a NAIK Halászati Kutatóintézet központi telepének négy földmedrű halastavából kialakított vizes élőhelyi kísérleti majd üzemi vízkezelő rendszer működésének vizsgálatára és hatásfokának meghatározására. A kutatást az tette szükségessé, hogy elégtelen tisztítási hatásfoka miatt a vizes élőhelyi vízkezelő rendszer elfolyó tisztított szennyvize számos alkalommal nem felelt meg a vízjogi üzemeltetési engedélyben előírt kibocsátási határértékeknek elsősorban ammónia-N és összes foszfor vonatkozásában.

#### 3.3.1 A 2014-es kutatási jelentés összefoglalása

Az előző ábrán látható W1, W2, W3 és W4 jelű tavakból álló tórendszer egységeinek alapterülete egyenként átlagosan 2500 m<sup>2</sup>. A vizsgálat időpontjában a W1 és W2 jelű stabilizáló tavakban átlagosan 1,5 m, a W3 és W4 jelű tavakban 0,5 m volt a jellemző vízmélység. Ebben az időszakban haltelepítés nem történt. Vízmintavétel az egyes tavak kifolyási pontjánál 2014.01.29. és 2014.12.03 közötti időszakban 33 alkalommal történt. Ezen felül a harcsanevelő telep szűrt

elfolyó vizéből 14 alkalommal vettek mintát. Ezen kívül kisebb számban vettek mintát a *W1*-es tóba befolyó Körös-vízből, valamint 3 alkalommal a halnevelő telep szüretlen elfolyó vizéből is. A négy tőegységből üledékminta-vétel is történt egy alkalommal. A vizsgált évben a rendszeren kb. 220 000 m<sup>3</sup> elfolyó szennyvíz haladt át.

A kutatási jelentés értékelésében megállapította, hogy a Szarvas-Fish Kft telepéről származó, dobszűrővel mechanikusan szűrt elfolyóvíz vízkémiai paraméterei értékei – az összes nitrogén koncentráció kivételével – nem felelnek meg a vízjogi üzemeltetési engedélyben előírt kibocsátási határértékeknek, tehát további tisztása a vizes élőhelyi vízkezelő rendszerben indokolt. A vízkezelés során az **ammónium-nitrogén és az összes foszfor** mennyiségén kívül minden paramétert sikerült a rendeletben megadott határértékek alá csökkenteni az éves átlag tekintetében. A jelentés az ammónium eltávolítás hatásfokának növelésére a **vízből való kilevegőztetést** javasolja. Az adatok értékelése során kimutatták, hogy a nitrogénvegyületek koncentrációját a *W2* stabilizációs tó minden esetben növelte. Ugyanez volt megfigyelhető a foszforvegyületek esetében a *W3* és *W4* jelzésű egységekben, ami a foszfornak az üledékben és az üledékképző biomasszában való akkumulációját valószínűsíti, ezért megoldásként a ***W3* és *W4* jelű egységek megkotrását javasolták**, mivel ezek a tavak 2000 óta felújítás nélkül üzemeltek.

Az üledékminták elemzése kimutatta, hogy a 2013 és 2014 közötti időszakban a *W1*-es egységet leszámítva a másik három egységben a nitrogén szint emelkedett 2014-ben. Ugyanakkor 2013-hoz képest az üledék foszfortartalma minden egységben csökkent 2014-ben. E változások okai további vizsgálatot igényelnek, mert az üledékben felhalmozódó és onnan kioldódó tápanyagtartalmú vegyületek fontos szerepet játszanak a vízkezelő rendszer hatásfokának alakulásában.

#### **További következtetések a jelentésben foglalt megállapítások alapján**

Elsősorban a foszfor, másodsorban a szervesanyag és a nitrogén eltávolításának hatékonyságát növelheti a biomassza és az üledék jelentős részének mind a négy tóból történő 1-2 évenkénti eltávolítása. A *W3* és *W4* jelű tavakban a makrovegetációba való beépüléssel az oldott tápanyagok egy része ideiglenesen eltávolításra kerül a vízből, de a mederben a növényzetben akkumulálódva továbbra is jelen maradnak, és az üledékképző biomassza bomlásakor oldott formában ismét megjelennek rontva a vízminőséget. A magas szervesanyag tartalmú lebegőanyag elsősorban a *W1* és *W2* jelű tavakban ülepedik ki, jelentős kémiai oxigénigényt generálva. Ez kedvezőtlen hatással van a nitrifikációs biológiai folyamatok elindulására és az ammónium tartalom csökkentésére. Célszerű lenne a vízkezelő rendszer lebegőanyag-terhelését jelentősen csökkenteni, vagy szétválasztani a lebegőanyag ülepítési funkciót a nitrogéneltávolítási funkciótól.

#### **3.3.2 A 2016-2017-es kutatási jelentés összefoglalása**

A kutatási jelentés 2016.02.29. és 2017.06.20. között 19 alkalommal elvégzett mintavételek eredményeinek kiértékelésén alapul. Ennek során mindannyiszor mintát vettek az egyes tőegység kifolyó műtárgyánál, valamint a Szarvas-Fish Kft. telepéről elfolyó, mechanikusan szűrt

vízből. Négy alkalommal tavanként öt ponton üledékmintát vettek, ezeken kívül egy alkalommal a tavakból 3-3 ponton mélységi mintavételre is sor került.

A megrendelő kérésére – a 2014-ben készült kutatási jelentés javaslata alapján – 2017. júniusától levegőztető berendezéseket telepítettek a stabilizációs tavakra, 3 db-ot a W1-es és egy darabot a W2-es jelű medencében. Ezek 2017. júliusától napi 24 órában üzemeltek. A levegőztetés hatékonyságának mérésére napi rendszerességgel oxigéntelítettséget, heti gyakorisággal ammónium-N koncentrációt mértek, valamint készült két 24 órás méréssorozat is 4 óránként 3 mélységben: egyszer levegőztetés nélkül, egyszer pedig maximális levegőztetési teljesítmény mellett.

Az éves kezelt szennyvízmennyiség 2016-ban kb. 330 000 m<sup>3</sup> volt.

A kutatási jelentés megállapította, hogy a vízkezelő rendszer tisztítási határfoka a vizsgált időszakban lényegesen romlott a 2014-es vizsgálat óta. Az éves átlagértékek szintjén az összes szervesetlen nitrogén, az összes nitrogén átlagkoncentrációkat sikerült éppen hogy a határérték alatt tartani. Egyedül az összes lebegőanyag koncentráció bizonyult megfelelő biztonsággal határérték alattinak.

Az ammónium-N, a foszforformák és a kémiai oxigénigény koncentrációk végig a határérték felett maradtak úgy, hogy esetenként az egyes tavakon áthaladó víz minősége e paraméterek tekintetében romlott. E jelenség okaira vonatkozóan a kutatási jelentés megállapította, hogy ez több tényező együttes eredménye:

- A vízkezelő rendszerre vezetett tisztítandó szennyvíz mennyisége 2014-óta 50%-kal nőtt, míg a tisztításra rendelkezésre álló víztérfogat maradt változatlan, ezért a tisztítási hatékonysága nem elegendő, különösen a téli hónapokban.
- A lebegőanyag eltávolításában legnagyobb szerepet játszó W1 és W2 jelű tavak üledékében mind a szervesanyag, mint a tápanyagok, különösen a foszfor jelentős felhalmozódása volt mérhető, ami arra utal, hogy az üledék pufferkapacitása kimerült, így csak csökkent mértékben játszik szerepet a szennyezőanyagok eltávolításában. Ugyanakkor az üledékben zajló bomlási folyamatok eredményeképpen alacsony oldott oxigén koncentráció mellett a tápanyagok, elsősorban a reaktív foszforformák visszaoldódása a tavakon áthaladó víz minőségét rontja.

A tanulmány a foszfor csökkentésére az alábbi intézkedéseket javasolta:

- a tisztítatlan szennyvíz nagyobb arányú szűrése
- vízinnövényes tavak kotrása és a növényzet téli aratása
- vegyszeres foszforeltávolítás
- alga vagy békalencse reaktor telepítése

Nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket az ammónium-N eltávolításában a W1 és W2 jelű tavak levegőztetése, aminek közvetlen oka az, hogy a többlet oxigénbevitellel sem sikerült a stabilizáló tavakban a nitrifikációs folyamatokat beindítani, amely jelenség kimutatható volt a mért alacsony nitrát és nitrit és a magas ammónium koncentrációk által. E probléma megoldására a tanulmány szerzői az alábbi megoldási lehetőségeket javasolják:

- a levegőztetés további növelése
- biológiai szűrő alkalmazása a tavi kezelés előtt
- mikroorganizmus készítmények alkalmazása a nitrifikálók dúsítása érdekében
- az elfolyóvíz hígítása több Körös-víz felhasználásával.

#### **További következtetések a jelentésben foglalt megállapítások alapján**

A tavak levegőztetése a lebegőanyag kiülepedését akadályozza, ezért mesterséges levegőztetést csak ülepedési zónától elválasztott tórészben érdemes alkalmazni.

A foszforeltávolítás és az ammónium-N csökkentés számos opciója közül a kiválasztásnál a hatékonyság mellett a költségek fognak jelentős szerepet játszani. Valószínűsíthető, hogy a szerves- és tápanyagok jelentős hányadát hordozó lebegőanyag eltávolítása a szennyvízből még a vízkezelő rendszerbe történő belépés előtt alacsonyabb fajlagos költséggel megoldható (beleértve az eltávolított lebegőanyag további kezelését, víztelenítését és elszállítását), mint a tavi üledék kotrása és a nagyságrenddel nagyobb mennyiségű üledék elszállítása. Kisebb szerves lebegőanyag terhelés mellett elképzelhető, hogy a nitrifikációs folyamatok többlet oxigén bevitel nélkül is fenntarthatókká válnak, elősegítve az ammónium-N koncentráció csökkenését. Megfontolandó a vízkormányzás módosítása *W4-W1-W2-W3* irányban annak érdekében, hogy a *W1* és *W2* jelű tavakat minél alacsonyabb lebegőanyag terhelés érje.

#### **3.3.3 A 2018-as kutatási jelentés összefoglalása**

A kutatási jelentés a 2018.01.18 és 2018.09.26. között 10 alkalommal végzett vízmintavételek eredményeit dolgozza fel. Az egyes tavak kifolyási pontjánál 10, a Szarvas Fish. Kft telepéről elfolyó mechanikusan szűrt vízből 9 alkalommal vettek mintát. Üledékminta-vételre három alkalommal került sor, tavasszal, nyáron és ősszel. Ennek során a négy tóból öt-öt ponton vett mintákból képzett átlagmintákat vizsgáltak.

2018 április 11. és 27. között a vízínövényes tavak felújításra kerültek, melynek keretében a nád learatását követően, felégették a növényi maradványokat, majd eltávolították a felső üledékréteget. Ezen idő alatt csak a *W1* és *W2* jelű tó üzemelt.

2018-ban októberrel bezárólag közel 320 000 m<sup>3</sup> elfolyóvíz került rávezetésre a vízkezelő rendszerre. Ennek alapján a teljes 2018-as terhelés 360-370 ezer m<sup>3</sup>-re becsülhető.

Az eredmények kiértékelése alapján a kutatási jelentés megállapította, hogy a *W1* és *W2* jelű tavak továbbra sem játszanak értékelhető szerepet a foszfor és nitrogén eltávolításában, ugyanakkor a felújítás eredményeképpen a vízínövényes *W3* és *W4* tavak hatékonysága a foszfor és nitrogén eltávolításban ugrásszerűen javult. Továbbra is fennálló probléma, hogy nitrifikálás hiányában az ammónia eltávolítása alacsony határfokkal történik, ami a szükséges kb. 70% helyett mindössze 18,4-23,4%. Ez a határérték 2,5-szeresét meghaladó kibocsátási koncentrációt eredményez. Hasonló a helyzet a foszforeltávolítás esetében is, ahol a felújítást eredményeképpen javuló határfok (36-39%) még mindig alatta marad a minimálisan szükséges 44%-os értéknek, ami a határérték alatti kibocsátás feltétele.

Az üledékvizsgálatok kimutatták, hogy elsősorban lebegőanyagok kiülepedése útján a tápanyagok felhalmozódása a *W1* és *W2* jelű tavak üledékében folytatódott. A szervesanyag tartalom csökkenése mind a négy tóban kimutatható, függetlenül attól, hogy üledékeltávolítás csak a vízínövényes tavakban történt.

A tanulmányban a szerzők az alábbi javaslatokat fogalmazták meg:

#### Azonnali intézkedések

- a tavak hidraulikus terhelésének drasztikus csökkentése nyáron a felére, télen a negyedére.
- Hígítóvíz bevezetése a rendszerbe a Körösből min. 50 m<sup>3</sup>/d mértékben.
- Évente egyszer, a tavaszi időszakban teljes vízcsera a tavakban Körös-víz betáplálásával.

#### Távlati intézkedések:

- a) A tavak felújítása kotrással
- b) Technológia váltás hatékonyabb lebegőanyag eltávolítással és a tóterület bővítésével a kacsatelepi tavak bevonása révén.
  - Foszfor előkicsapátás vas(III)-klorid (és esteleg polielektrolit) adagolásával, levegőztetés és keverés mellett, majd a pelyhek kiszűrése a dobszűrő segítségével.
  - dobszűrő
  - gyors homokpados szűrés
  - levegőztetéses nitrifikálás a *W1* és *W2* jelű tavakban
  - denitrifikálás a vízínövényes *W3* és *W4* jelű tavakban
  - maturációs tavak: a kacsatelepi tavak felhasználása a víz utókezelésére

#### **További következtetések a jelentésben foglalt megállapítások alapján**

A lebegőanyag minél nagyobb mértékű eltávolítása még a tórendszerre való vezetés előtt a táp- és szervesanyagok jelentős részének eltávolítása mellett a lebegőanyag terhelés csökkentésével a tavak karbantartása során szükséges kotrás mennyiségét is csökkenti, ami költségmegtakarítást eredményezhet.

A rendelkezésre álló víztérfogat és ezáltal a tartózkodási idő növelése a kacsatelepi tavak bevonása révén megoldási javaslat lehet. A vízkormányzás rendszerét és a tavak funkcióit a természetközeli tavas víztisztítórendszerek kialakítási alapelvei szerinti méretezés alapján lehet meghatározni.

Az év három különböző szakában vett üledékminták indikációt adnak az üledék táp- és szervesanyag-tartalmának szezonális változásáról (lásd az alábbi táblázatban). A mérési eredmények azt mutatják, hogy tavakból kotrással történő tápanyageltávolítás hatékonysága a *W1* jelű tónál tavasszal, a *W2* jelű tónál tavasszal vagy nyáron, a vízínövényes tavak esetében pedig nyáron a legmagasabb. A szervesanyag-tartalom esetében szezonális nem volt kimutatható a mérési eredményekből. E megállapítások további vizsgálatokkal pontosítandók a tavak karbantartásának minél magasabb költséghatékonyága érdekében.

1. táblázat: Az üledékminták minőségének szezonális változásai

Mintavétel ideje	A tó jele	Száranyag m/m%	Izzítási veszteség g/kg e.a.	Kjeldahl-nitrogén mg/kg sz.a.	P mg/kg sz.a.
2018.05.29	W1	19,6	31,9	13 730	18 220
2018.07.30	W1	20,7	29,9	11 740	14 260
2018.11.06	W1	25,8	29,4	7 080	10 160
2018.05.29	W2	21,8	24,3	8 770	4 230
2018.07.30	W2	22,1	24,8	9 090	4 410
2018.11.06	W2	25,5	26,4	7 230	3 280
2018.05.29	W3	53,1	51,7	3 480	940
2018.07.30	W3	49,4	48,8	3 320	1 150
2018.11.06	W3	52,1	49,0	3 060	775
2018.05.29	W4	54,1	45,6	3 020	951
2018.07.30	W4	50,5	48,6	3 470	1 010
2018.11.06	W4	21,6	47,2	2 610	963

## 4. A kezelendő elfolyóvíz jellemzői

### 4.1 A kezelendő elfolyóvíz mennyiségének változása 2014-2018 között

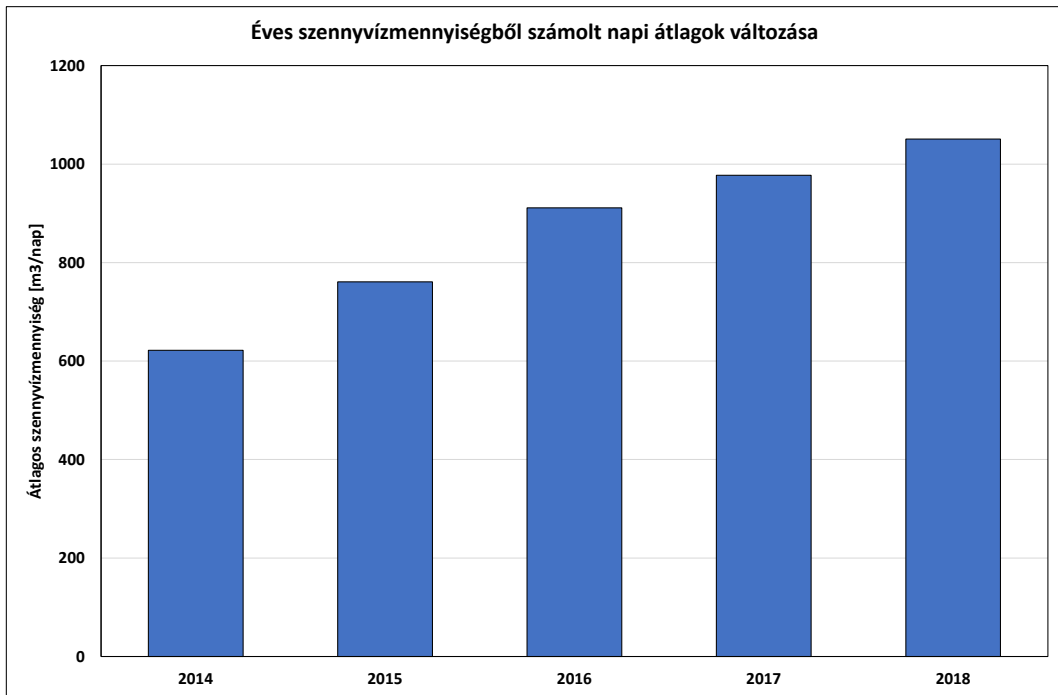
A Szarvas Fish Kft. harcsanevelő telepéről a vizes élőhelyi vízkezelő rendszerbe vezetett szennyvíz mennyiségét a **2. táblázatban** foglaltuk össze.

2. táblázat: A vizes élőhelyi kezelő rendszerre vezetett szennyvíz mennyisége 2014-2018

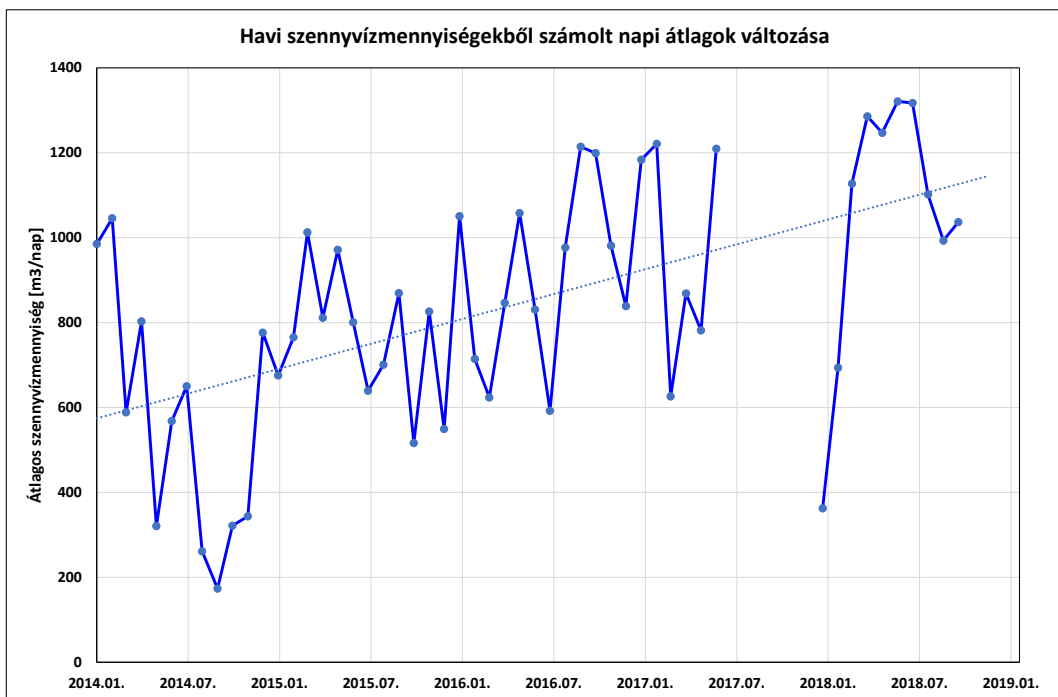
Év	Szennyvíz mennyiség [m <sup>3</sup> ]
2014	220 991
2015	277 736
2016	333 461
2017	176 896 (jan.-jún.)
2018	319 445 (jan.-okt.)

Az éves összesített szennyvízmennyiségekből számolt napi átlagok alakulását az **2. ábra**, a havi szennyvízmennyiségből számolt napi átlagok változását a **3. ábra** szemlélteti. Mindkét ábra azt mutatja, hogy a kezelendő szennyvíz mennyisége évről évre emelkedett, a 2014 évi 600 m<sup>3</sup>/nap átlagos szennyvízmennyiség 2018-ra – 1300 m<sup>3</sup>/napos maximumokkal – 1000 m<sup>3</sup>/nap fölé nőtt. A kezelendő szennyvíz mennyiségének ingadozása és emelkedő tendenciája miatt a vizes élőhelyi vízkezelő rendszer működése nem vizsgálható úgy, mint egy stabilizálódott, állandósult állapotú rendszer esetén tehetnénk. A rendszer működését jellemző paraméterek értékei még statisztikus értelemben sem tekinthetők állandónak.

Az minden esetre már most megállapítható, hogy a vízkezelő rendszer működésének – amely rendszer már 2014-ben sem tudott megbirkózni az őt ért terheléssel – nem tett jót a kezelendő szennyvíz mennyiségének növekedése.



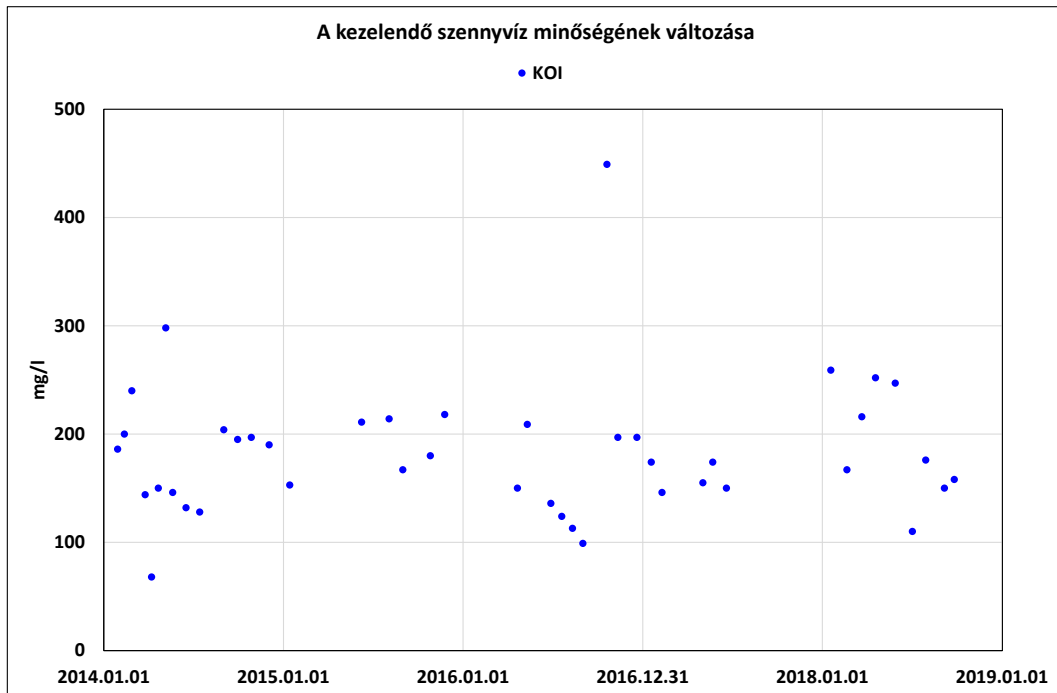
2. ábra: Éves szennyvízmennyiségből számolt napi átlagok változása



3. ábra: Havi szennyvízmennyiségekből számolt napi átlagok változása

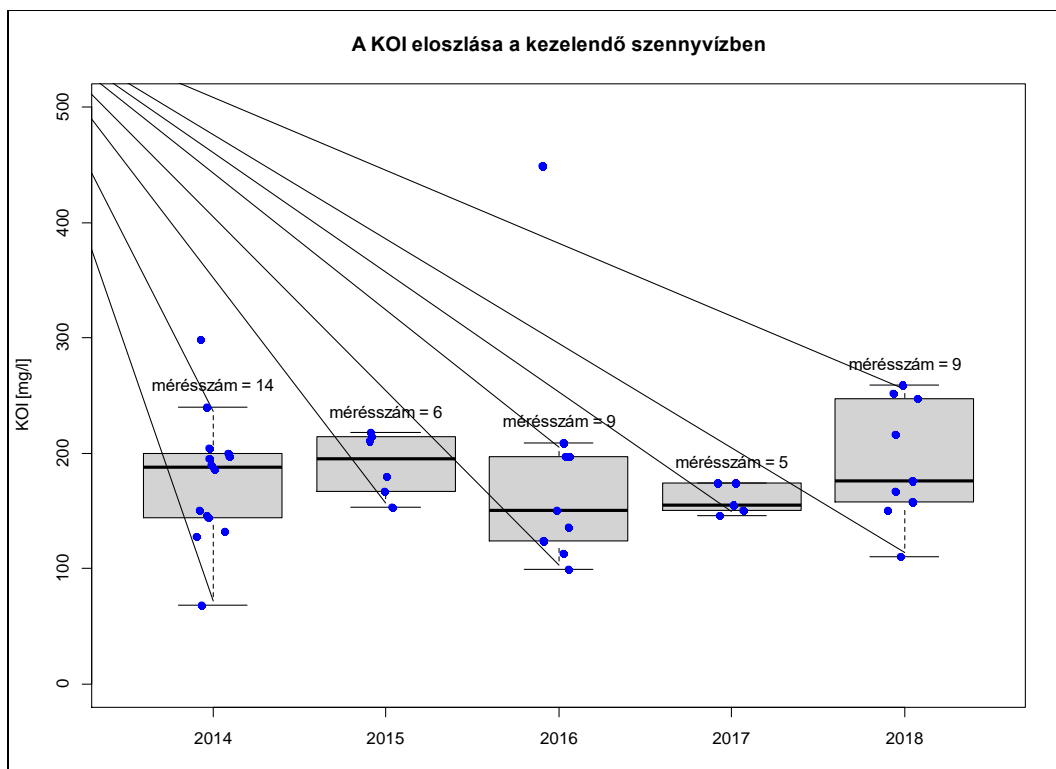
## 4.2 A kezelendő elfolyóvíz minőségének változása 2014-2018 között

A Szarvas Fish Kft. harcsanevelő telepéről a vizes élőhelyi vízkezelő rendszerbe vezetett szennyvíz kémiai oxigénigényének mért értékeit mutatja a **4. ábra**, az évenkénti mérések számát és eloszlását az **5. ábra** szemlélteti.



4. ábra: A kezelendő szennyvíz  $KOI_k$  értékének változása

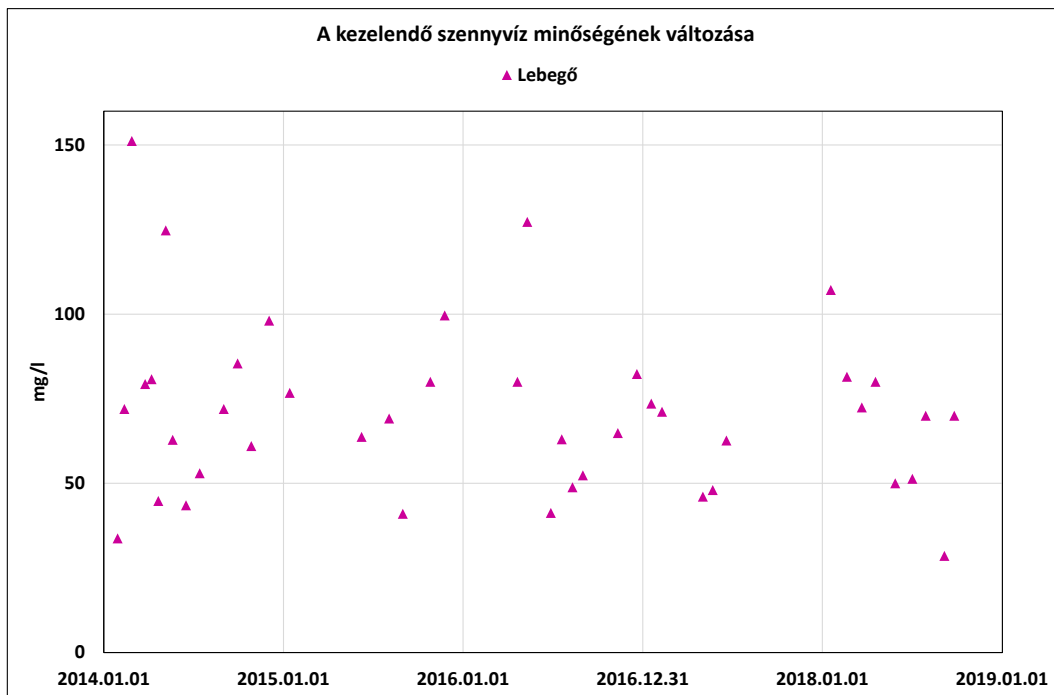
A  $KOI_k$  mérési eredmények terjedelmét és eloszlását szemléltető **5. ábrán** látható dobozdiagramokon a téglalapok vízszintes oldalai az alsó és felső kvartilis (az eredmények negyedéhez, illetve háromnegyedéhez tartozó értékek), a középen látható vastag vonal a medián értékét mutatja. A szaggatott vonallal jelölt tartomány addig a legkisebb és legnagyobb értékig terjed, melynek távolsága az alsó és felső kvartilistől nem nagyobb, mint a belső kvartilisek különbségének 1,5-szerese. Más szavakkal: azokat a szélső értékeket mutatja meg, melyek a doboz aljától és tetejétől nincsenek messzebb, mint a doboz magasságának másfélszerese. A tartományon kívül eső értékek kiugrónak tekinthetők. Kiugró érték nélküli esetben a tartomány végpontjai a legkisebb és legnagyobb értéknél találhatók.



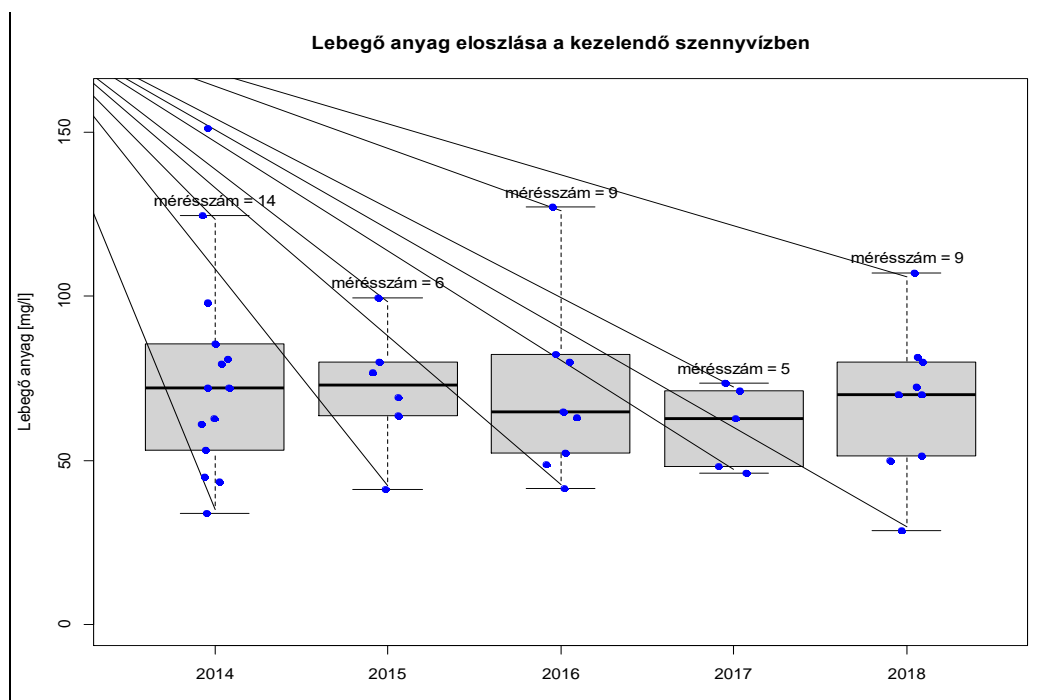
5. ábra: A kezelendő szennyvíz  $KOI_k$  koncentrációinak eloszlása

A 4. és 5. ábrák diagramjai azt mutatják, hogy a vizes élőhelyi rendszerbe vezetett kezelendő szennyvíz kémiai oxigénigénye gyakorlatilag nem változott a mérésekkel lefedett időszakban.

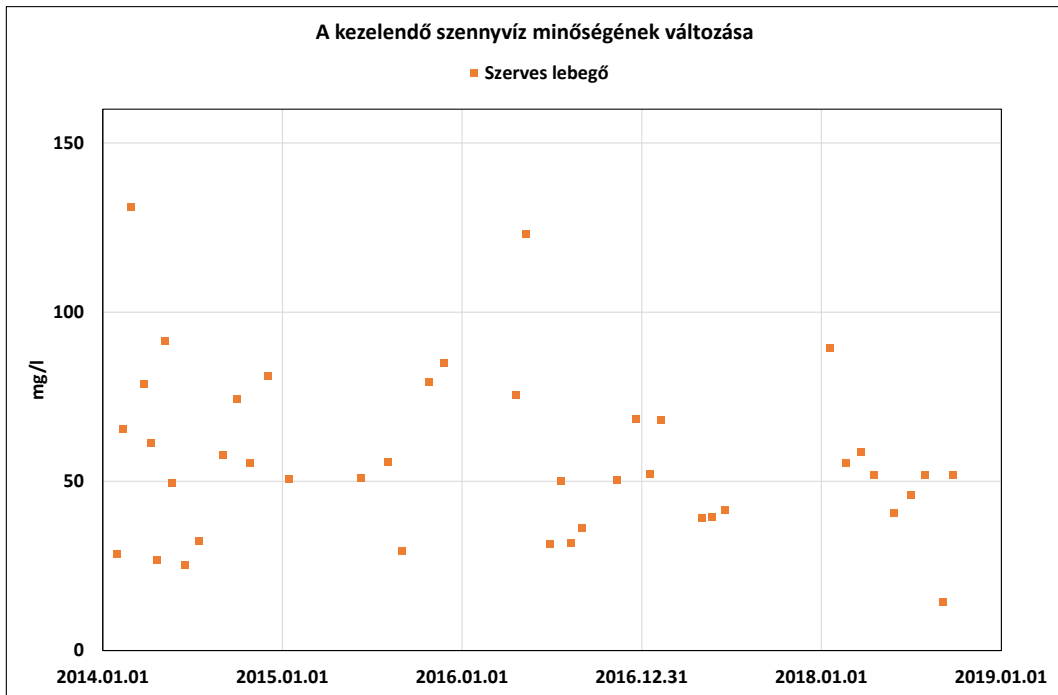
A következő oldalakon található **6-19. ábrákon** az előzőekhez hasonló módon szemléltettük a lebegő anyag, szerves lebegő anyag, összes nitrogén, ammónium nitrogén, szerves nitrogén, összes foszfor és foszfát foszfor koncentrációk alakulását a kezelendő szennyvízben. A diagramok alapján a szerves- és összes nitrogén koncentrációk fokozatos emelkedése állapítható meg, a többi bemutatott komponens koncentrációja közel állandónak tekinthető.



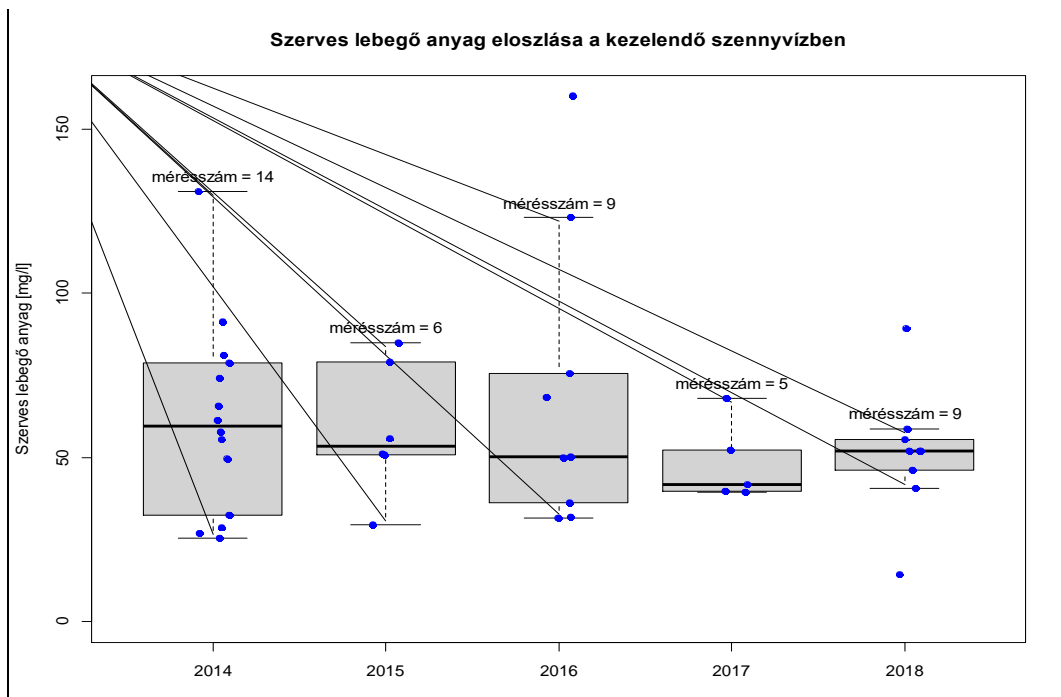
6. ábra: A kezelendő szennyvíz összes lebegőanyag koncentrációjának változása



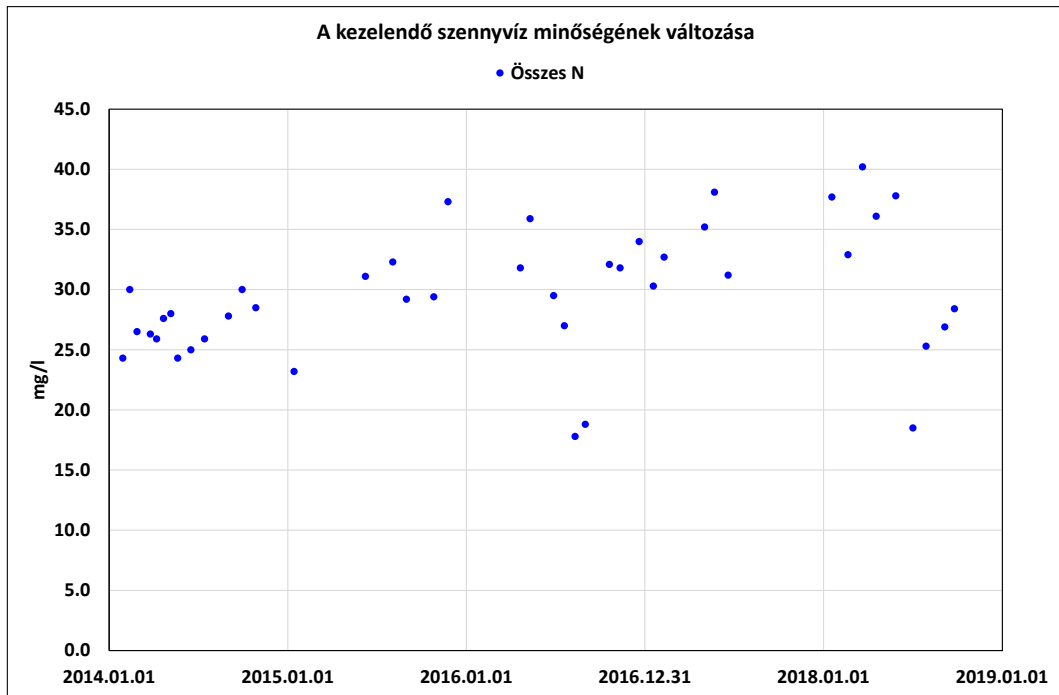
7. ábra: A kezelendő szennyvíz összes lebegőanyag koncentrációinak eloszlása



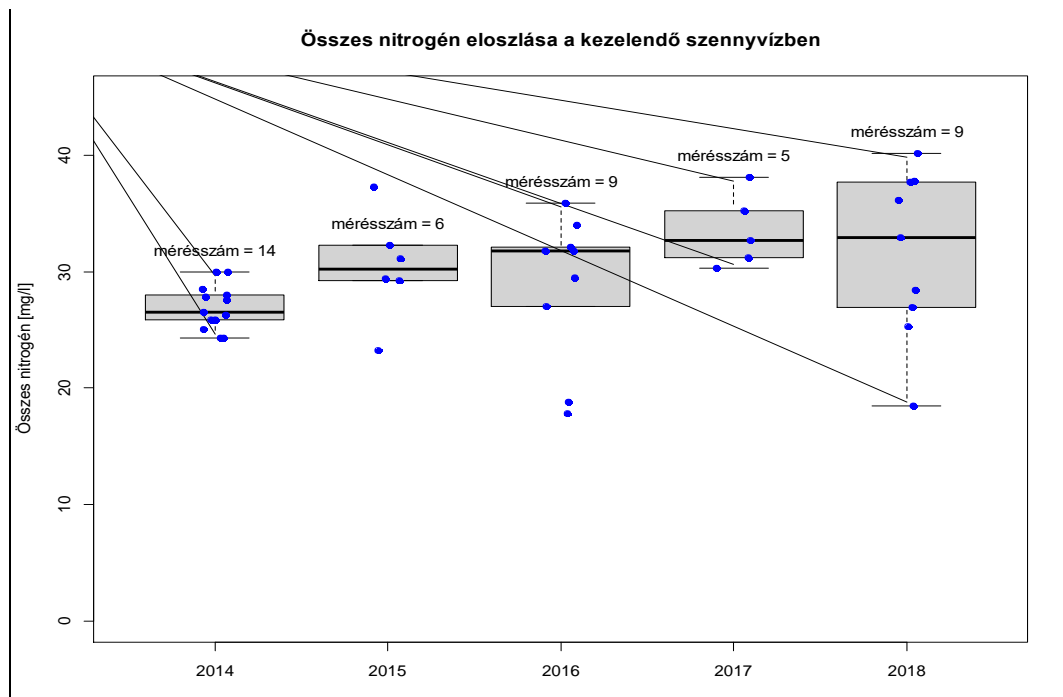
8. ábra: A kezelendő szennyvíz szerves lebegőanyag koncentrációjának változása



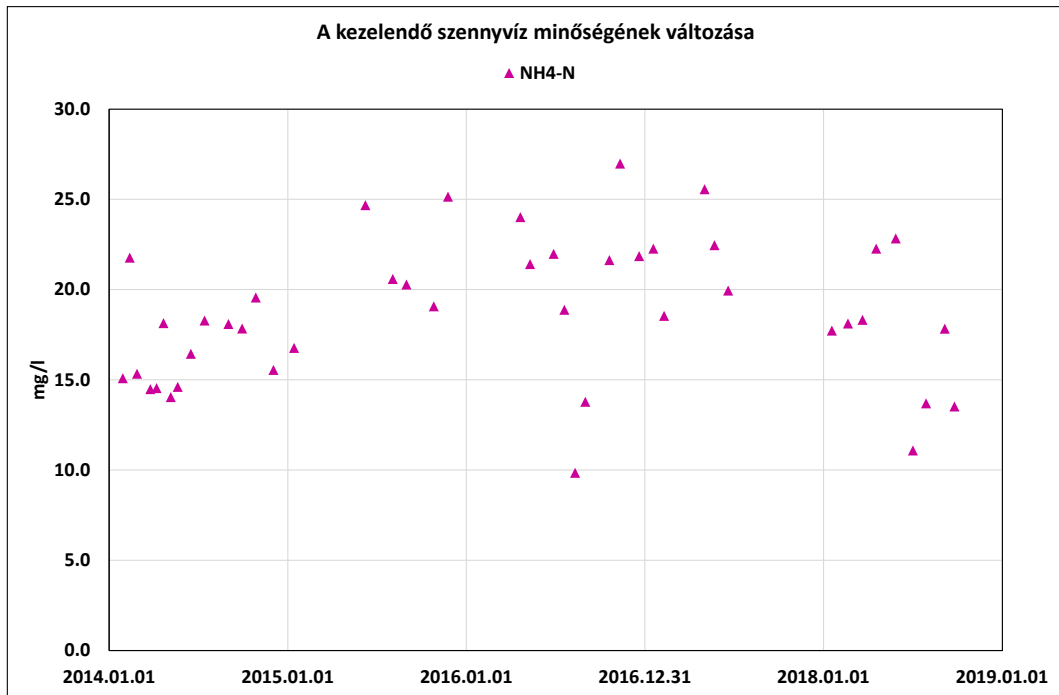
9. ábra: A kezelendő szennyvíz szerves lebegőanyag koncentrációjának eloszlása



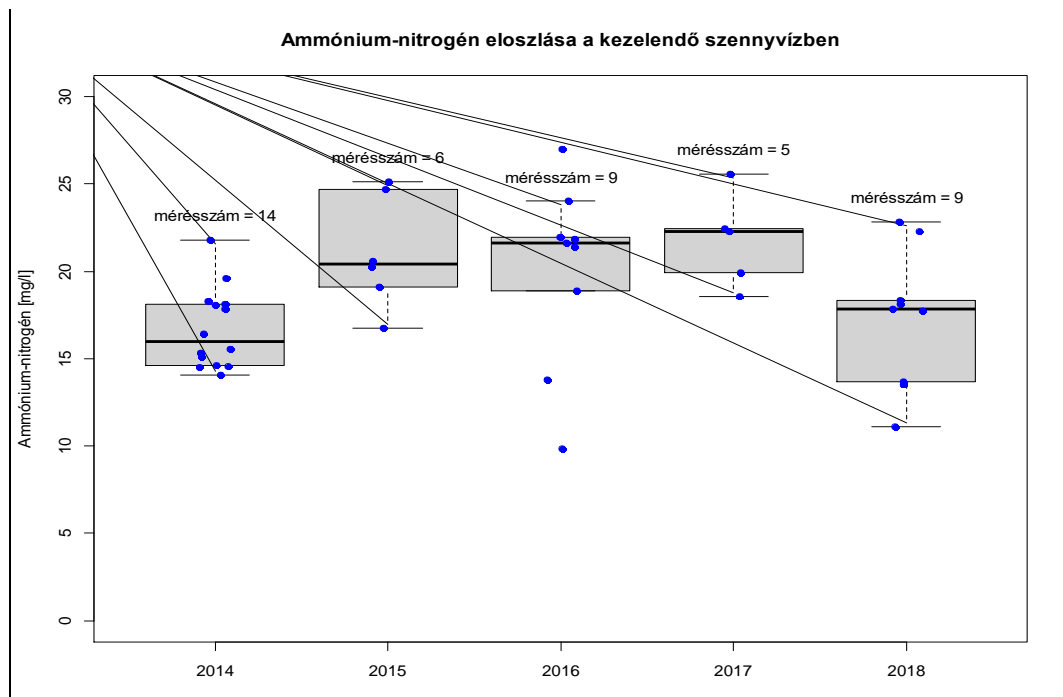
10. ábra: A kezelendő szennyvíz összes nitrogén koncentrációjának változása



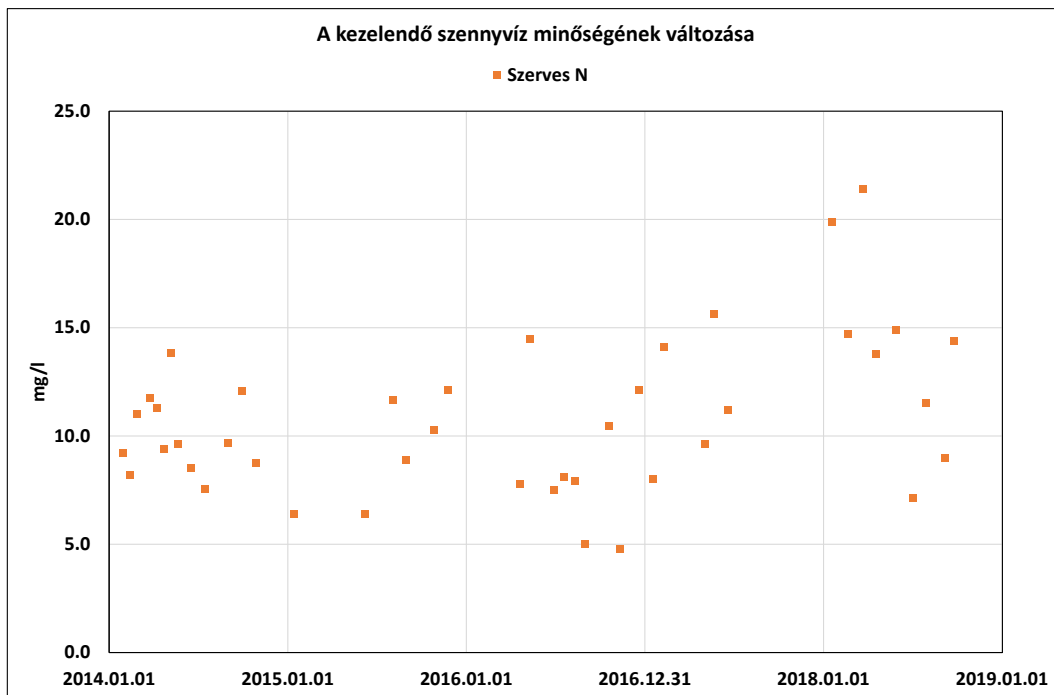
11. ábra: A kezelendő szennyvíz összes nitrogén koncentrációinak eloszlása



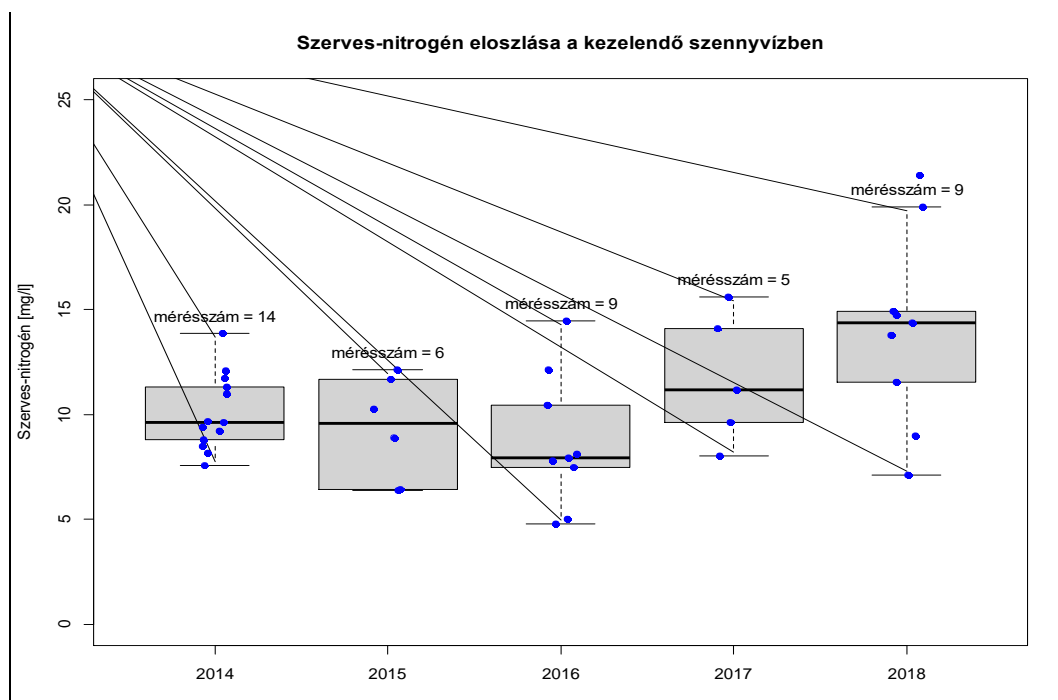
12. ábra: A kezelendő szennyvíz NH<sub>4</sub>-N koncentrációjának változása



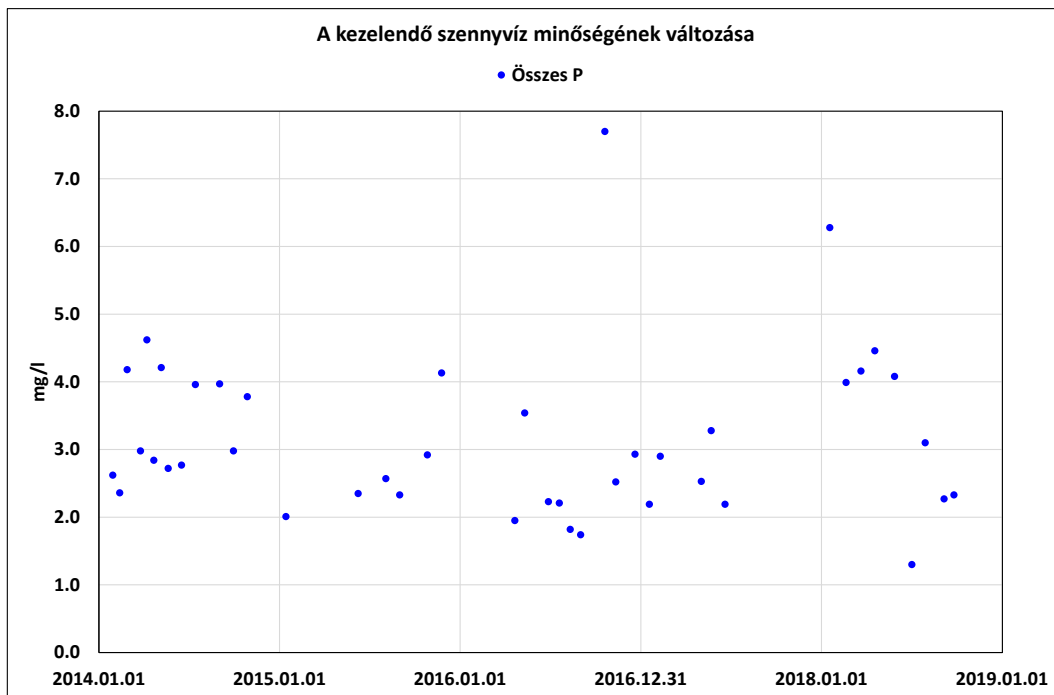
13. ábra: A kezelendő szennyvíz NH<sub>4</sub>-N koncentrációinak eloszlása



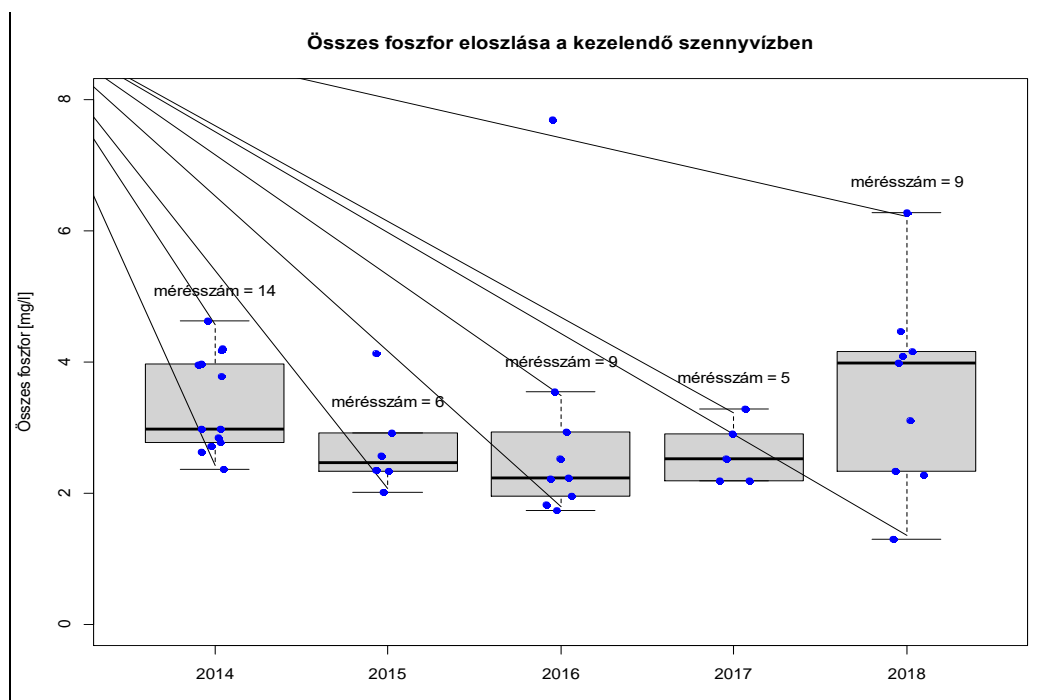
14. ábra: A kezelendő szennyvíz szerves nitrogén koncentrációjának változása



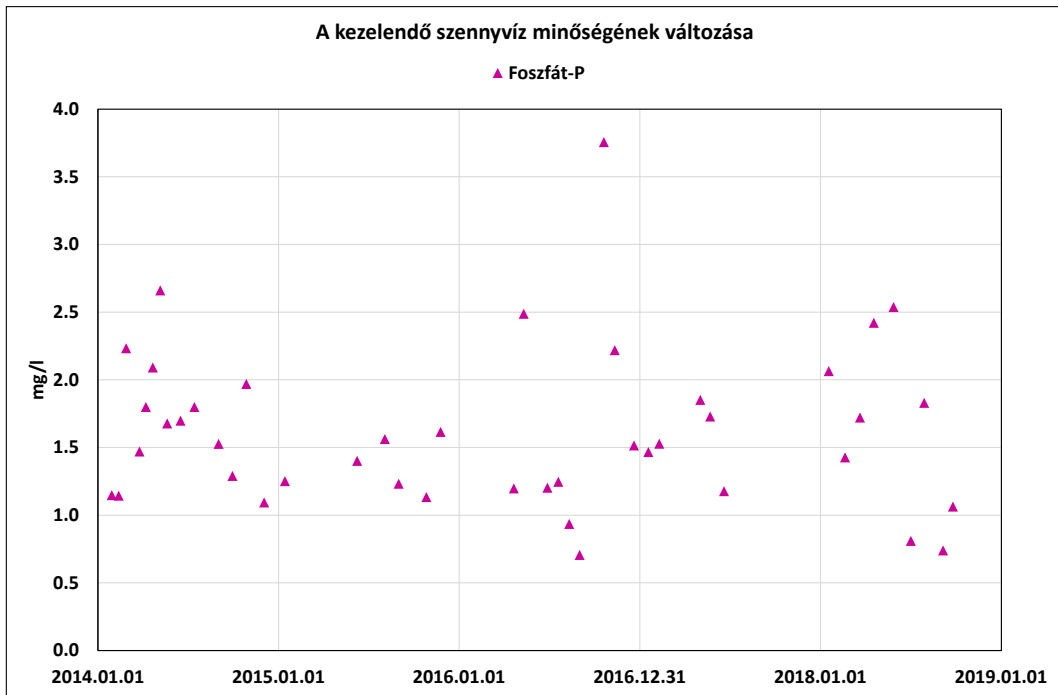
15. ábra: A kezelendő szennyvíz szerves nitrogén koncentrációinak eloszlása



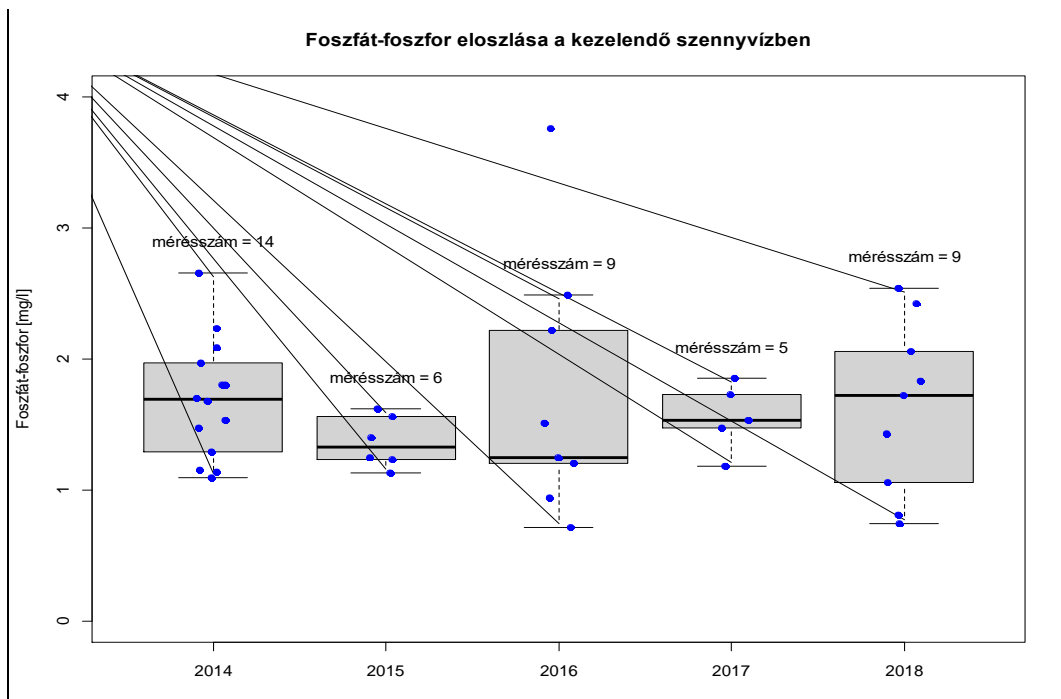
16. ábra: A kezelendő szennyvíz összes foszfor koncentrációjának változása



17. ábra: A kezelendő szennyvíz összes foszfor koncentrációinak eloszlása



18. ábra: A kezelendő szennyvíz foszfát-P koncentrációjának változása



19. ábra: A kezelendő szennyvíz foszfát-P koncentrációinak eloszlása

Az adatokban jelentkező tendenciaszerű változások igazolására alkalmas statisztikai módszerek közül Mann-Kendall próbával ellenőriztük a **4-19. ábrák** alapján tett megállapításokat. A Mann-Kendall próba az ún. nem-paraméteres próbák közé tartozik, melynek előnye, hogy nem támaszt feltételeket az adatok eloszlásával kapcsolatban, kizárólag az adatok egymáshoz képesti nagyságát (kisebb vagy nagyobb) vizsgálja. A próbában kiszámított statisztika (Kendall tau) abszolút értéke 0 és 1 közé esik, pozitív előjele növekvő, negatív előjele csökkenő trendet jelez. Minél nagyobb a kapott érték, annál erősebb a trend monotonitása, azaz az egymást követő növekvő vagy csökkenő értékek sorozatát annál kevésbé töri meg ellenkező irányú változás. A próba alapfeltételezése (nullhipotézise) az, hogy az adatok menetében nincsen trend jellegű változás. A próbák eredményeként kapott  $p$  érték (elsőfajú hiba) azt mutatja meg, mekkora valószínűséggel tévedünk, ha elutasítjuk az alapfeltételezést. Statisztikai értelemben igazoltnak tekinthető a trend jelenléte az adatsorokban, ha  $p < 0,05$ .

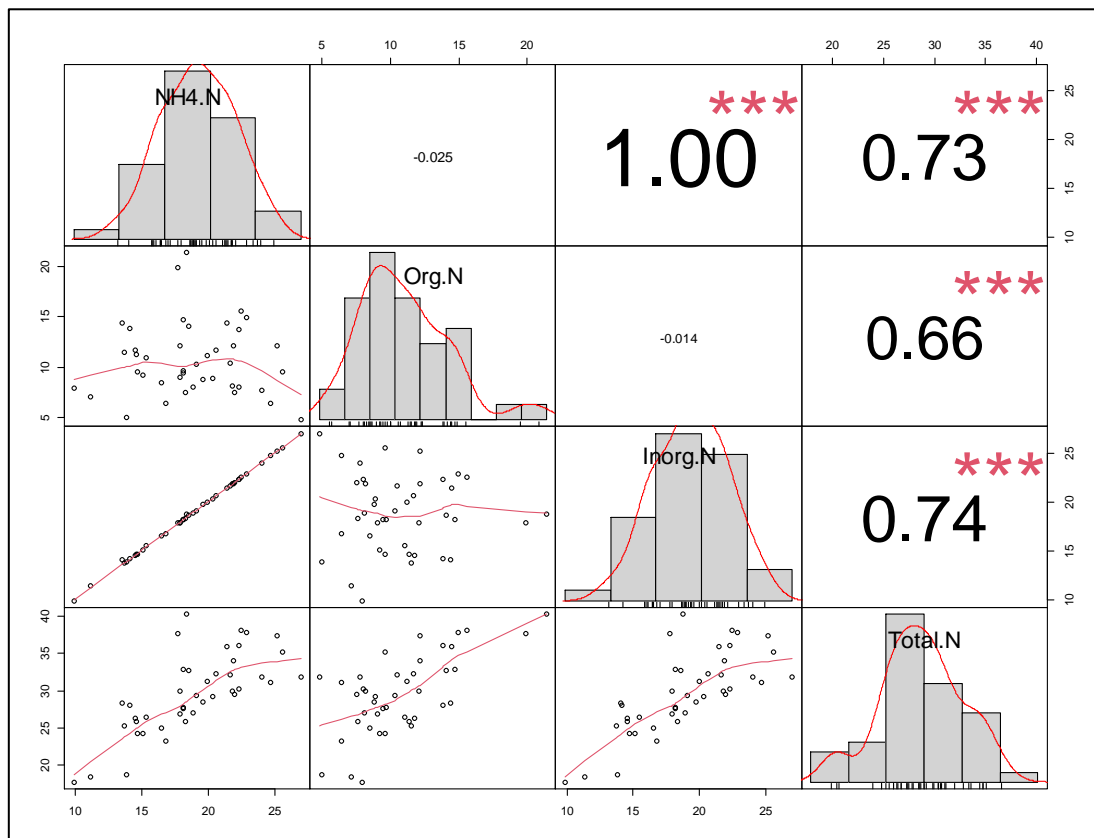
A kezelendő szennyvíz mérési eredményein elvégzett Mann-Kendall próbák eredményeit a **3. táblázatban** foglaltuk össze. A kapott eredmények szerint az összes nitrogén esetén 0,2%, szerves nitrogén esetén 10%-nál kisebb tévedési valószínűséggel fogadhatjuk el a koncentrációk növekvő trend szerinti változását.

3. táblázat: A kezelendő szennyvízben mért koncentrációk Mann-Kendall próbáinak eredményei

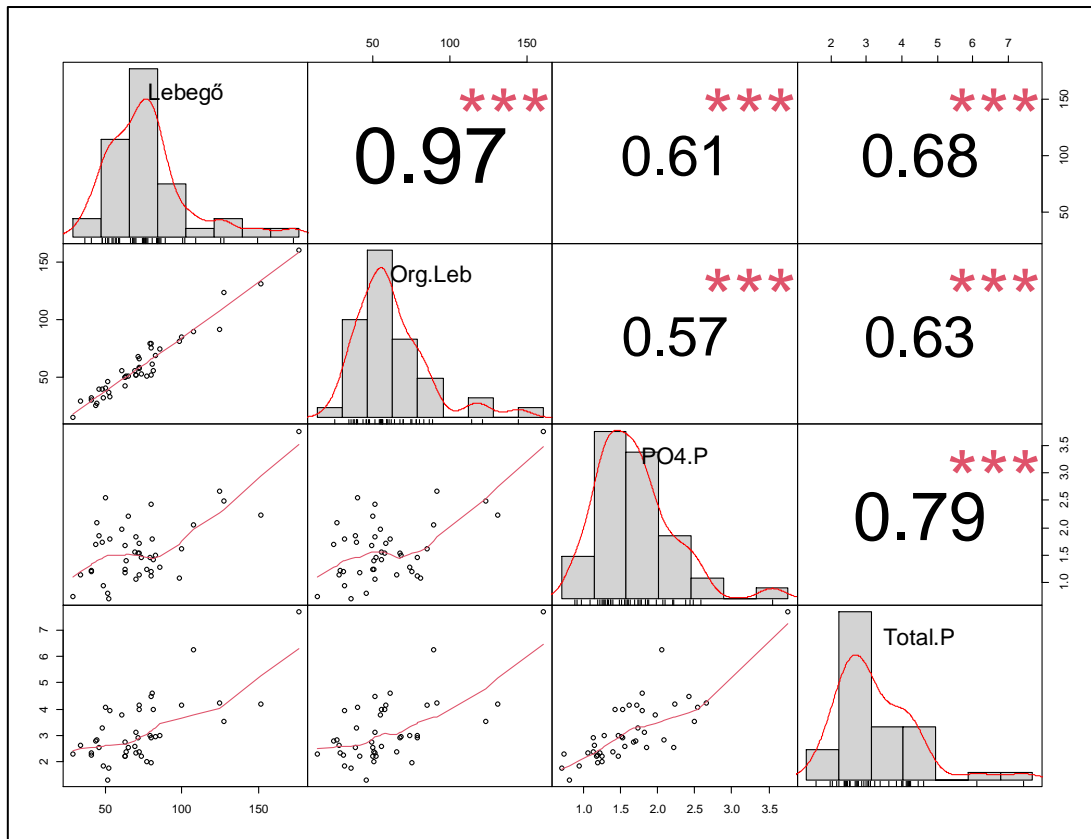
Komponens	Tau	$p$ érték
KO <sub>l</sub> <sub>k</sub>	0,0145	0,9000
NH <sub>4</sub> -N	0,147	0,1671
Szerves-N	0,181	0,0930
Szervetlen-N	0,141	0,1934
<b>Összes-N</b>	<b>0,332</b>	<b>0,0021</b>
PO <sub>4</sub> -P	-0,0555	0,6080
Összes-P	-0,0838	0,4415
Lebegő anyag	-0,06	0,5790
Szerves lebegő anyag	-0,0821	0,4448

A kezelendő szennyvíz összetételével kapcsolatban megállapíthatjuk, hogy a legfontosabb szennyvíz paraméterek értéke – az összes- és szerves nitrogén tartalom kivételével – közel állandó volt a vizsgált időszakban. Ugyanakkor azt is meg kell állapítanunk, hogy – mivel a tisztított szennyvízzel szemben felmerült minőségi kifogások jelentős része a nitrogénformákat érintette – a kezelendő szennyvíz nitrogén tartalmának emelkedése nem hatott előnyösen a rendszer működésének hatékonyságára.

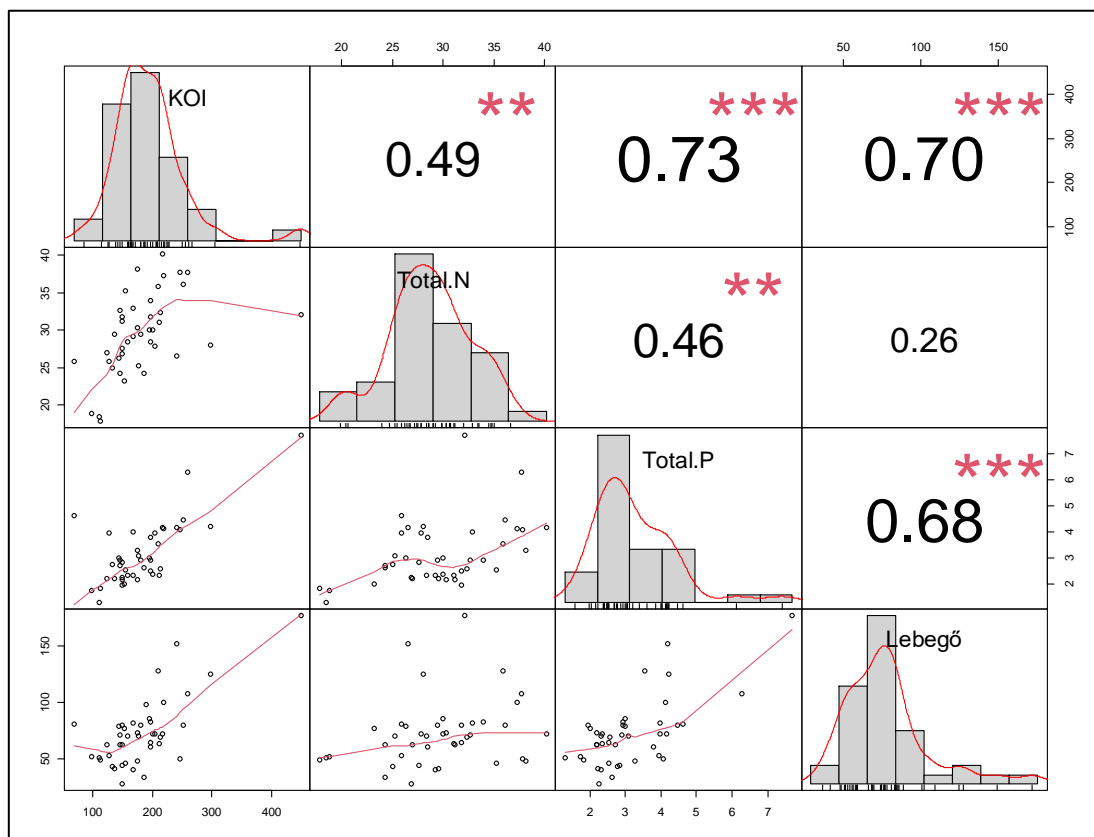
A kezelendő szennyvíz komponenseinek koncentrációja a gyakorlati tapasztalatok szerint nem független egymástól. A komponensek közötti kapcsolatok feltárására végzett korreláció vizsgálatok eredményét a **20-22. ábrák** szemléltetik és a **4. táblázat** foglalja össze. Az eredmények azt mutatják, hogy igen szoros kapcsolat van az egyes nitrogén- és foszforformák koncentrációja között. Szervetlen nitrogén gyakorlatilag csak ammónia/ammónium-ion formában van jelen a szennyvízben, és ez alkotja az összes nitrogén tartalom jelentős részét is. Hasonlóan erős a kapcsolat az összes foszfor és az ortofoszfát, illetve a lebegőanyag és a szerves lebegőanyag mennyisége között, ami azt is jelenti egyúttal, hogy a szennyvízben lévő foszfor nagy része ortofoszfát formában található, míg a lebegőanyagot főként szerves anyagok alkotják.



20. ábra: Korreláció a kezelendő szennyvíz nitrogénformáinak koncentrációja között



21. ábra Korreláció a kezelendő szennyvíz lebegő anyag- és foszforformáinak mennyisége között



22. ábra: Korreláció a kezelendő szennyvíz  $KOI_k$ , összes N-, összes P- és a lebegőanyag tartalma között

Kiemelt figyelmet érdemel a lebegőanyag és a többi paraméter közötti korreláció, mivel az egyszerű fizikai műveletekkel eltávolítható lebegőanyagban megjelenő  $KO_l$ , nitrogén és foszfor a legkönnyebben eltávolítható részét képezi a szennyvíz szennyező anyagainak. A **3. táblázatban** látható, hogy erős korrelációt mutat a kezelendő szennyvíz lebegőanyag tartalmával annak összes foszfor és ortofoszfát tartalma, valamint kémiai oxigénigénye. A lebegőanyag- és összes nitrogén tartalom közötti kapcsolat a korrelációs együttható értéke alapján ugyan gyengének minősül, de ha megnézzük a **22. ábrát**, akkor látható, hogy a lebegőanyag koncentráció függvényében ábrázolt összes nitrogén pontok többsége a kapcsolat jellegét leíró görbe közelében helyezkedik el (alsó sor balról a második diagram).

A **23-25. ábrákon** a kezelendő szennyvízben mért kémiai oxigénigény, összes foszfor tartalom és összes nitrogén koncentráció értékeit ábrázoltuk az ugyanazon mintákban mért lebegőanyag tartalom függvényében (ugyanúgy, mint a **20-22. ábrákon**), és berajzoltuk a pontokra illeszthető egyeneseket. A diagramokon láthatók a feltételezett lineáris kapcsolatot leíró egyenletek is.

A mért értékek pontjaira illesztett egyenesek gyakorlati szempontból azért érdekesek, mert az y tengellyel alkotott metszéspontjuk azt mutatja meg, hogy milyen lenne a szennyvíz összetétele teljes (100%) lebegőanyag eltávolítás esetén. A kapott eredmények szerint 100%-os hatásfokú lebegőanyag eltávolítás esetén a szennyvíz kémiai oxigénigénye, összes foszfor- és összes nitrogén tartalma is megfelelné a kibocsátási határértékeknek:

$$KO_l = 75,2 \approx 75 \text{ mg/l}$$

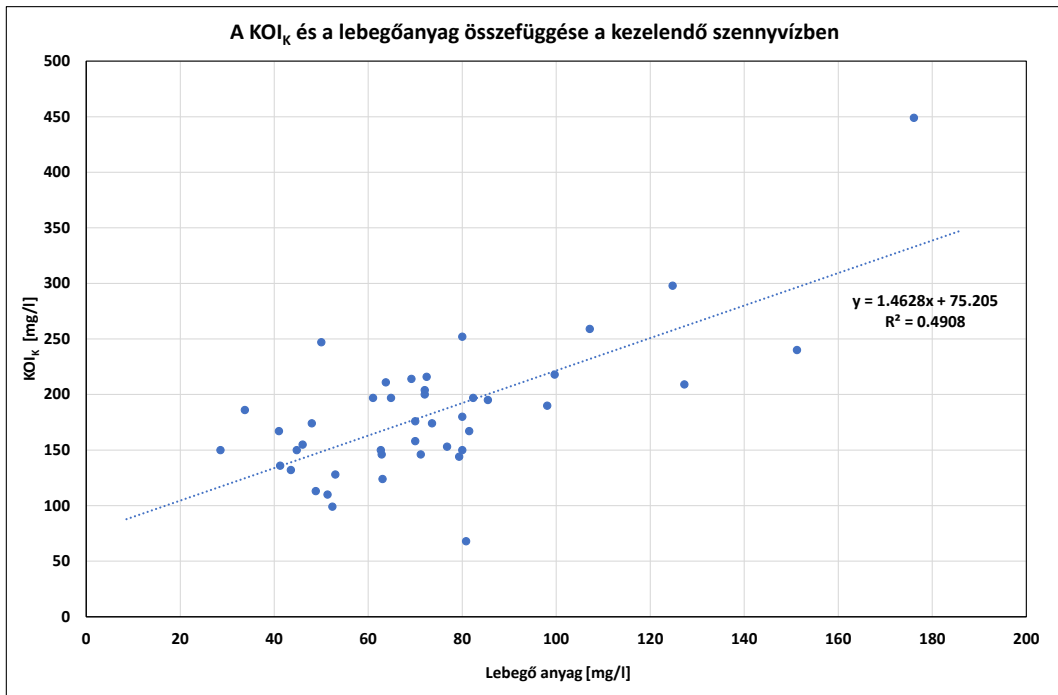
$$\sum P = 1,13 < 2 \text{ mg/l}$$

$$\sum N = 26,3 \text{ mg/l} < 30 \text{ mg/l}$$

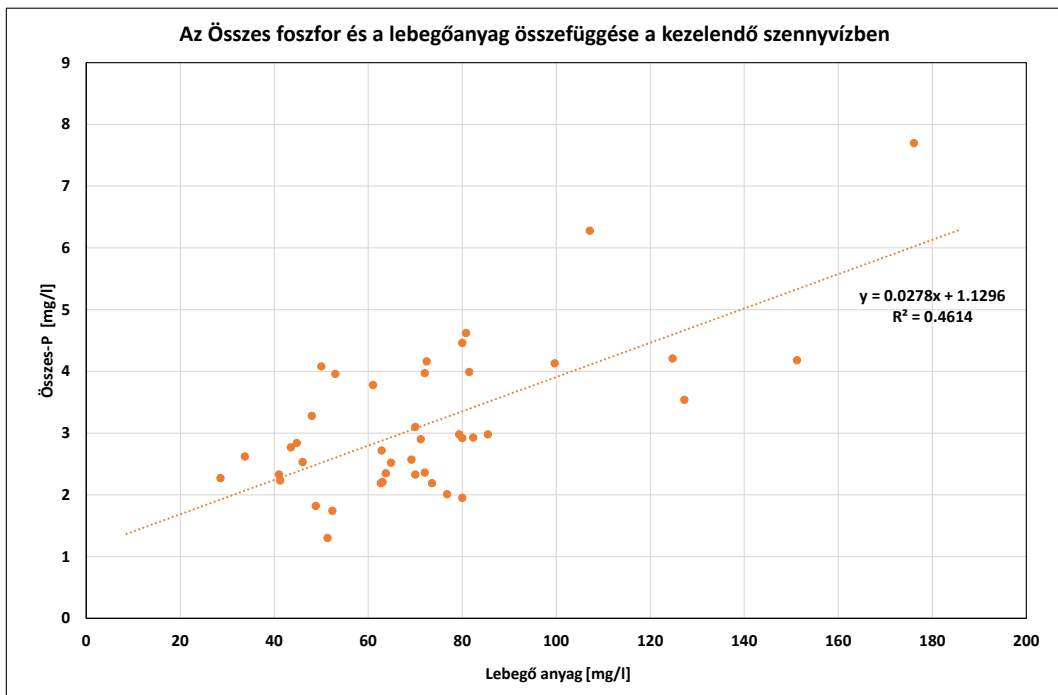
4. táblázat A kezelendő szennyvíz komponenseinek koncentrációi közötti korrelációs együtthatók értékei

piros: nagyon erős, kék: erős, zöld: közepes, fekete: gyenge

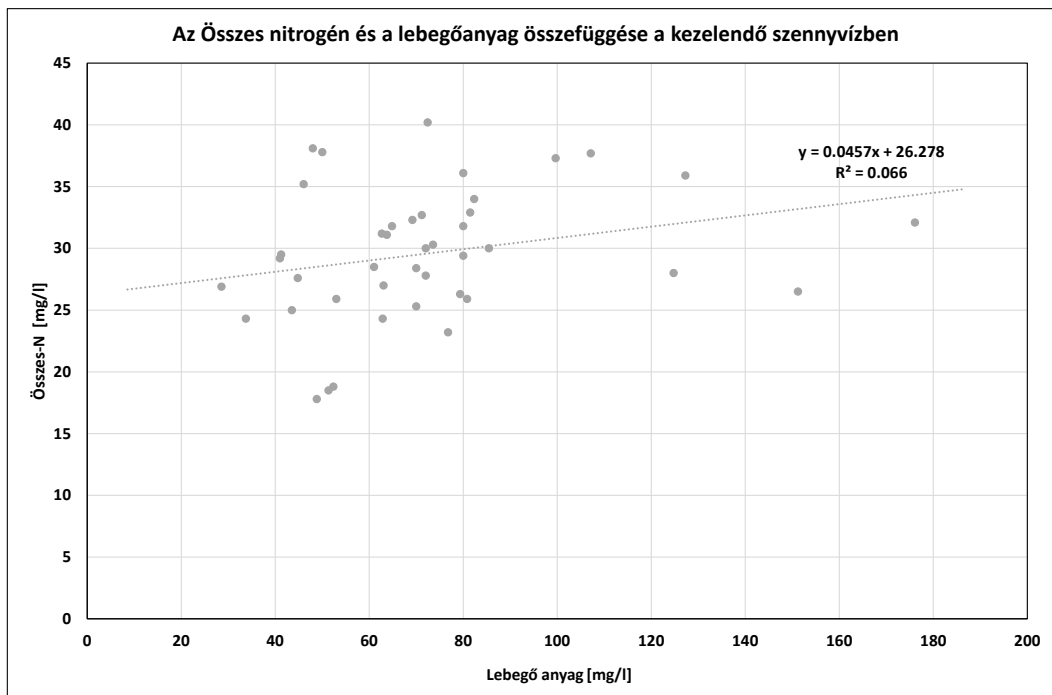
	KO <sub>lk</sub>	NH <sub>4</sub> -N	Szerves-N	Szervetlen-N	Összes-N	PO <sub>4</sub> -P	Összes-P	Lebegő anyag	Szerves lebegő anyag
KO <sub>lk</sub>		<b>0,32</b> 0,0369	<b>0,36</b> 0,0204	<b>0,32</b> 0,0345	<b>0,49</b> 0,0011	<b>0,74</b> 8,46x10 <sup>-9</sup>	<b>0,73</b> 4,41x10 <sup>-8</sup>	<b>0,70</b> 1,69x10 <sup>-7</sup>	<b>0,98</b> 6,15x10 <sup>-7</sup>
NH <sub>4</sub> -N			-0,02 0,8769	<b>1,00</b> 2,2x10 <sup>-16</sup>	<b>0,73</b> 3,72x10 <sup>-8</sup>	0,29 0,0526	0,11 0,4695	0,03 0,8396	0,08 0,6008
Szerves-N				-0,01 0,9303	<b>0,66</b> 1,69x10 <sup>-6</sup>	<b>0,34</b> 0,0283	<b>0,54</b> 0,0002	<b>0,33</b> 0,0354	<b>0,31</b> 0,0437
Szervetlen-N					<b>0,74</b> 2,29x10 <sup>-8</sup>	0,29 0,0671	0,11 0,4657	0,05 0,752	0,10 0,5295
Összes-N						<b>0,44</b> 0,0034	<b>0,46</b> 0,0024	0,26 0,1004	0,29 0,0669
PO <sub>4</sub> -P							<b>0,79</b> 4,06x10 <sup>-10</sup>	<b>0,61</b> 1,19x10 <sup>-5</sup>	<b>0,57</b> 5,96x10 <sup>-5</sup>
Összes-P								<b>0,68</b> 7,58x10 <sup>-7</sup>	<b>0,63</b> 7,0x10 <sup>-6</sup>
Lebegő anyag									<b>0,97</b> 2,2x10 <sup>-16</sup>
Szerves lebegő anyag									



23. ábra: A  $KOI_k$  és a lebegőanyag tartalom összefüggése a kezelendő szennyvízben



24. ábra: Az összes foszfor és a lebegőanyag tartalom összefüggése a kezelendő szennyvízben



25. ábra: Az összes nitrogén és a lebegőanyag tartalom összefüggése a kezelendő szennyvízben

## 5. A vízkezelő rendszer működésének értékelése

---

A következő ábrákon a kezelendő szennyvízben és az egyes medencékből elfolyó vízben mért főbb jellemzők ( $KOI_k$ ,  $\Sigma N$ ,  $\Sigma P$  és lebegő anyag) évenkénti alakulását mutatjuk be doboz diagramokon.

A **26-27. ábra** a lebegőanyag tartalom változását mutatja. A **26. ábrán** jól látható, hogy az első ( $W1$ ) medencében jelentős mértékű csökkenés történik, ami annak következménye, hogy ebben a medencében történik meg a kezelendő szennyvíz (SZV) lebegőanyagainak ülepedése. Az is megfigyelhető, hogy 2015, 2017 és 2018 években a  $W2$  medencében gyakorlatilag nem csökkent a lebegőanyag mennyisége, ugyanakkor a  $W3$  és  $W4$  medencék minden évben csökkentették a  $W2$  medencéből érkező víz lebegőanyag tartalmát. A  $W4$  medencéből elfolyó vízben a 2014-2016 évek adatai szerint kevesebb volt a lebegőanyag, mint a  $W3$  medence vizében, míg a 2017-2018-as években a két medence elfolyó vizének lebegőanyag tartalma között nem volt számottevő különbség.

A **27. ábra** szerint a  $W1$  medencéből elfolyó víz lebegőanyag tartalma meglehetősen állandó volt, azonban a  $W2$  medencéből elfolyó vízben évről évre fokozatosan nőtt a lebegőanyag tartalom. A  $W3$  és  $W4$  medencékből stabilan az 50 mg/l-es határérték alatti lebegőanyag tartalmú víz lépett ki.

A diagramok alapján a  $W1$  medence működésében meghatározó szerepe van a lebegőanyagok ülepedésének, a  $W2$  medencében a  $W1$  medencéből kilépő szennyvíz lebegő és oldott anyagai átalakulnak és beépülnek a mikroorganizmusokba és planktonikus szervezetekbe, míg a  $W3$  és  $W4$  medencék a  $W2$  medencéből elúszó lebegőanyag visszatartását biztosítják.

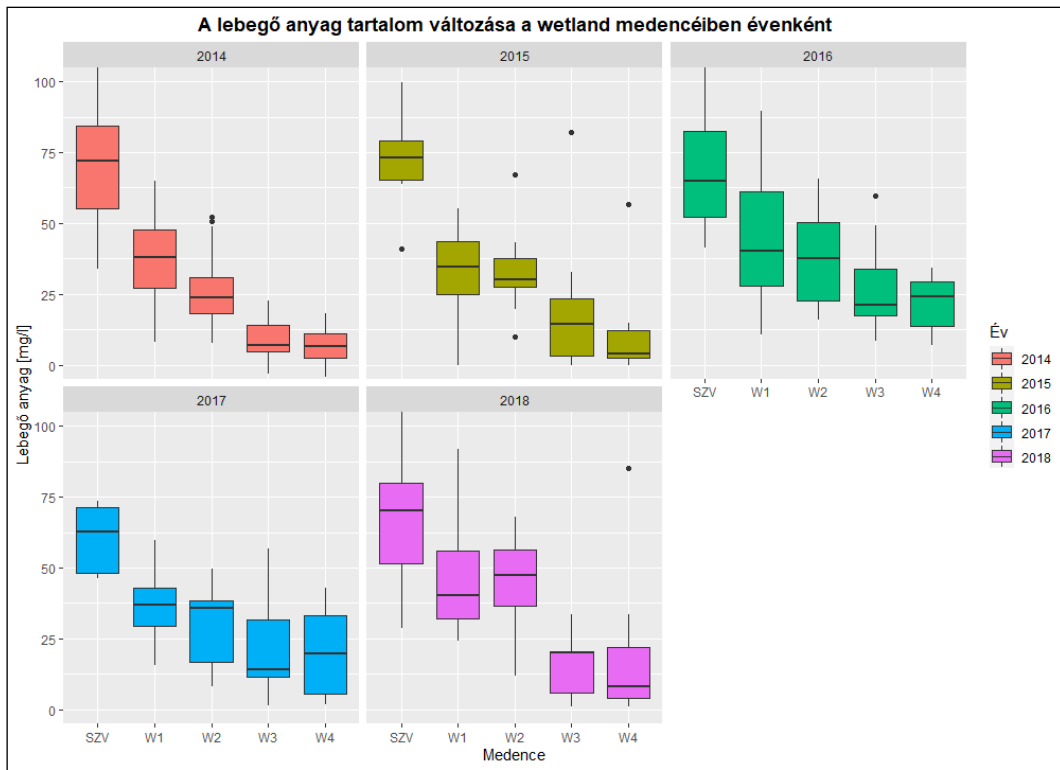
A **28-29. ábrákon** a kezelendő szennyvíz (SZV) és a medencékből elfolyó vizek kémiai oxigénigénye látható. A **28. ábrán** jól megfigyelhető, hogy a legnagyobb mértékű csökkenés a  $W1$  medencében történik, ezt követően egyre kisebb mértékű a szervesanyag eltávolítás az egyes medencékben. Ami még figyelmet érdemel ezen az ábrán az, hogy bár a  $W3$  és  $W4$  medencékbe ugyanaz a  $W2$ -ből elfolyó víz kerül, a  $W4$  medencéből elfolyó vízben mégis szinte minden évben kisebb volt a  $KOI_k$  értéke, mint a  $W3$  elfolyó vizében.

Az egyes medencékből elfolyó vizek  $KOI$ -ja a 2015-2018 években lényegében nem változott (lásd **29. ábra**), a  $W3$  és  $W4$  medencékből kilépő víz kémiai oxigénigénye a kibocsátási határértékhez közeli tartományban mozgott.

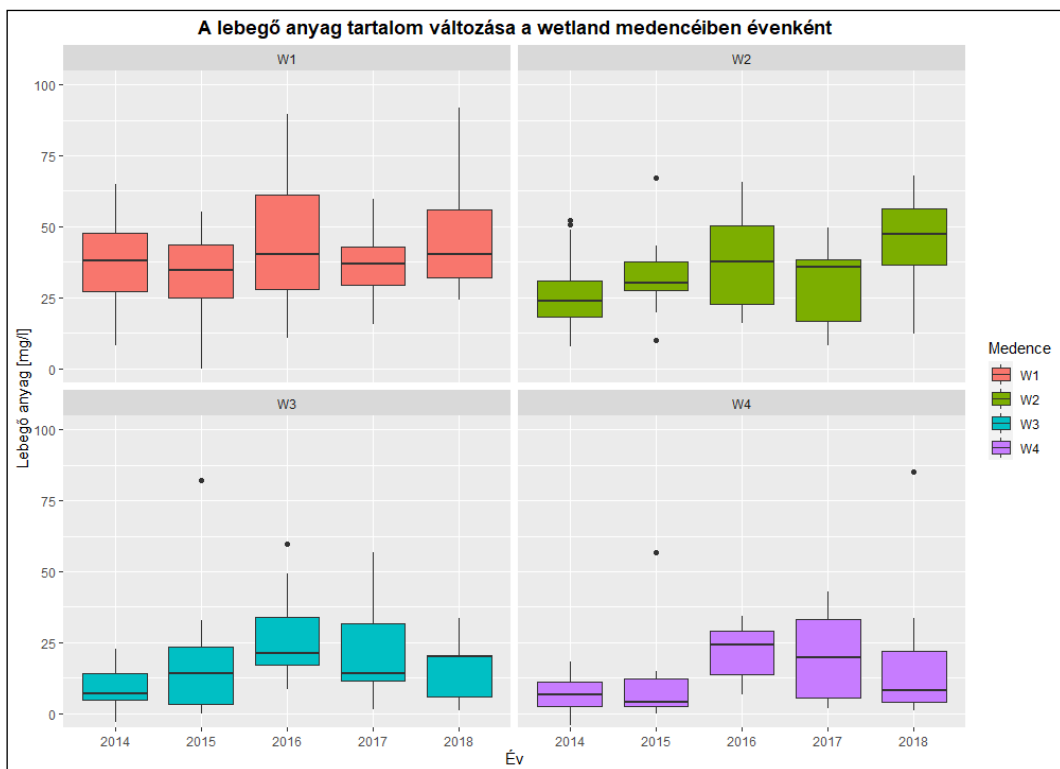
A medencékből elfolyó víz összes nitrogén tartalmát évenkénti bontásban bemutató **30-31. ábrákat** megnézve két dolgot láthatunk. Az egyik, hogy a  $W1$  medence nitrogén eltávolítása a lebegőanyagnál és  $KOI$ -nál tapasztaltakhoz képest sokkal mérsékeltebb, a másik pedig, hogy a medencékből elfolyó vizek összes nitrogén tartalmában ugyanúgy emelkedő tendencia figyelhető meg az évek függvényében, mint a kezelendő szennyvíz mennyisége, illetve összes nitrogén tartalma esetében. Ez arra enged következtetni, hogy a vízkezelő rendszerre érkező nitrogén terhelés meghaladja a rendszer nitrogén eltávolító kapacitását, és a kapacitás feletti mennyiség egyszerűen csak átfolyik a rendszeren.

Azt érdemes még észrevenni, hogy a  $KOI$ -hoz hasonlóan, a  $W4$  medencéből elfolyó vízben mindig alacsonyabb volt az összes nitrogén koncentrációja, mint a  $W3$  medencéből kilépő vízben.

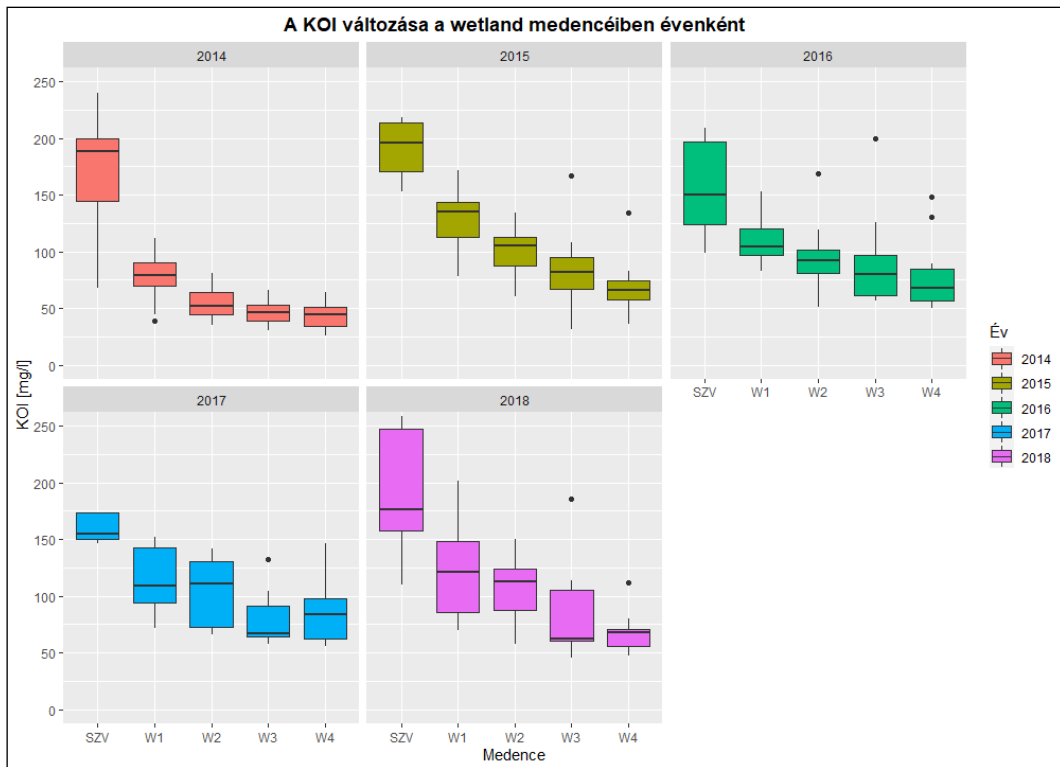
Az összes foszfor koncentrációk évenkénti alakulását mutatja a **32. és 33. ábra**. A **32. ábra** alapján megállapítható, hogy a 2014-es (és talán még a 2018-as) évet kivéve, a rendszerben alig történt foszfor eltávolítás, sőt, egyes években majdhogynem több foszfor lépett ki a rendszerből, mint amennyi a kezelendő szennyvízzel érkezett (2016, 2017). A **33. ábrán** az látszik, hogy a medencékből elfolyó vízben évről évre emelkedett az összes foszfor koncentrációja. Mivel a kezelendő víz foszfor tartalma nem mutatott emelkedést a vizsgálatokkal lefedett idő alatt, a medencékből elfolyó víz foszfor tartalmának növekedése a medencékben leülepedett anyagból származó belső terhelés következménye. Ez pedig azt jelenti, hogy a vízkezelő rendszer foszforeltávolító képessége nem tudott lépést tartani a rendszerre érkező foszforterhelés növekedésével.



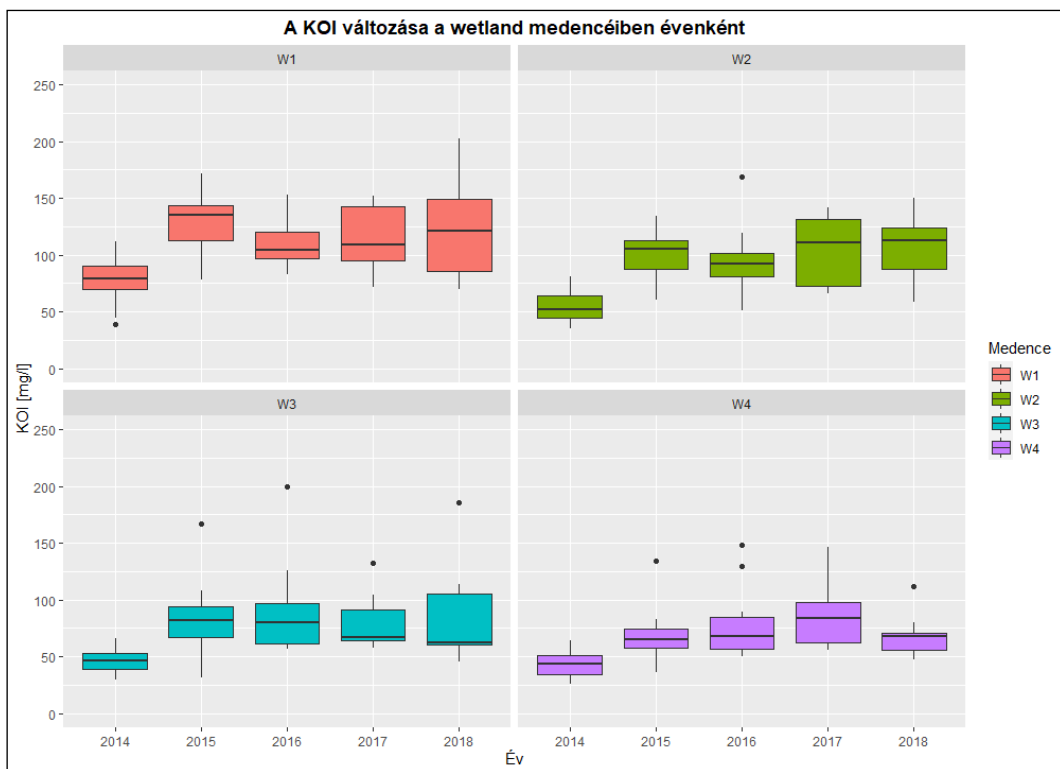
26. ábra: A lebegőanyag tartalom változása a wetland medencékben az egyes években



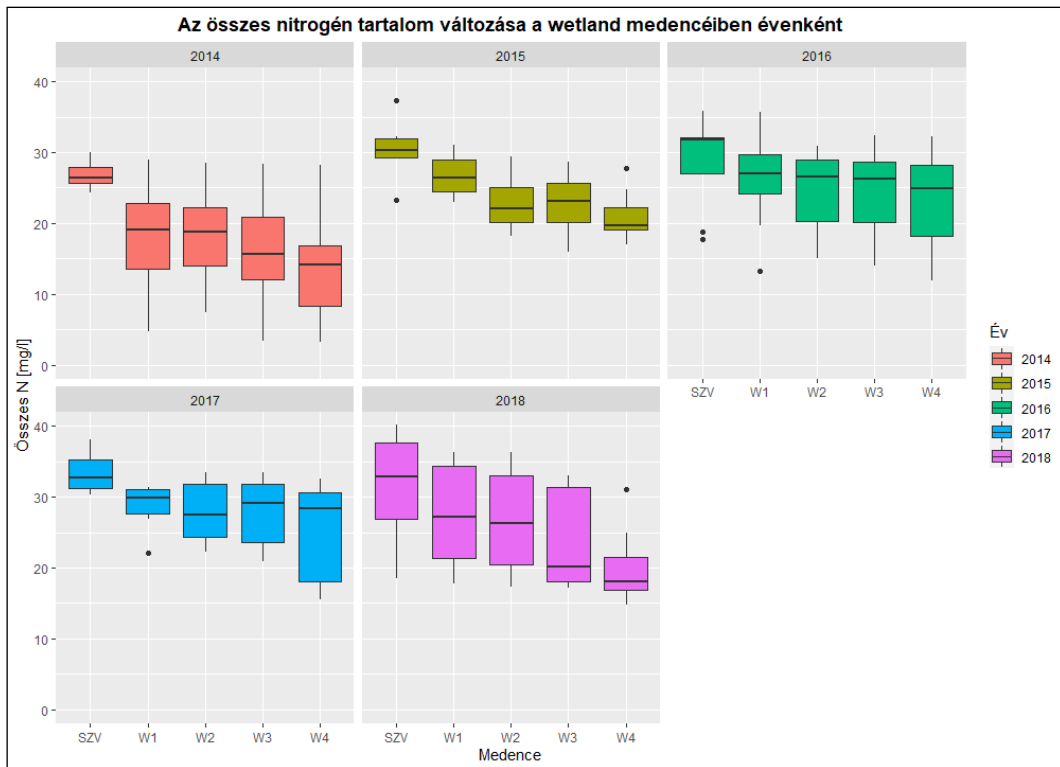
27. ábra: A lebegőanyag tartalom évenkénti változása a wetland medencékben



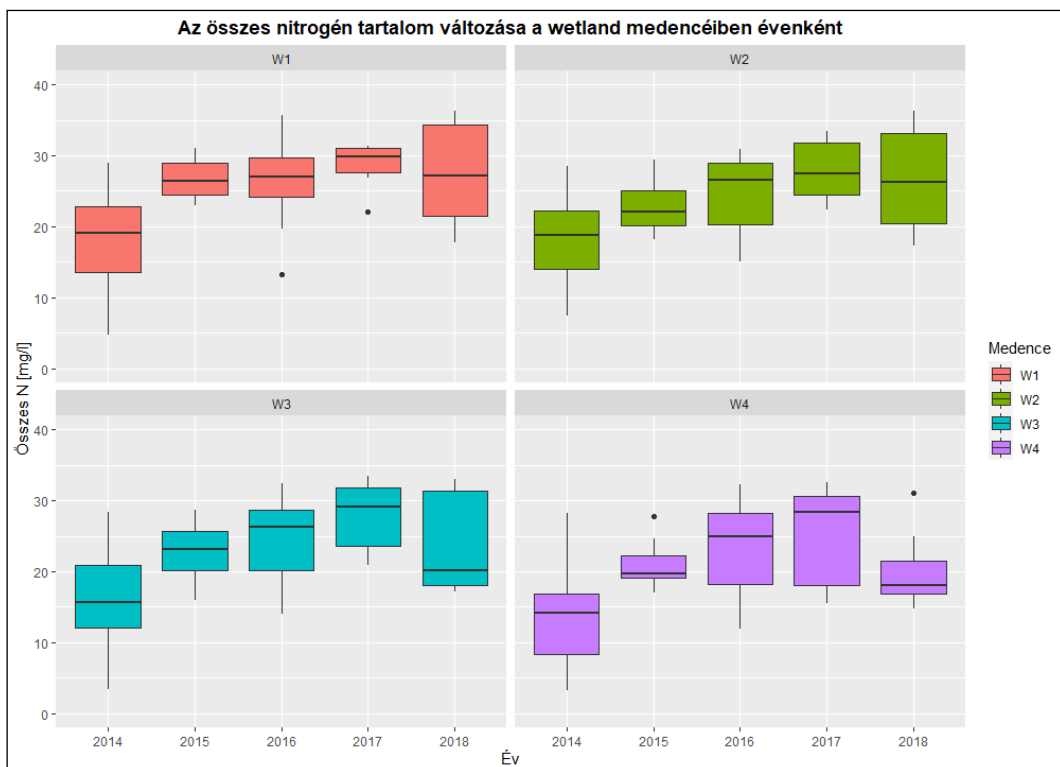
28. ábra: A  $KOI_k$  tartalom változása a wetland medencékben az egyes években



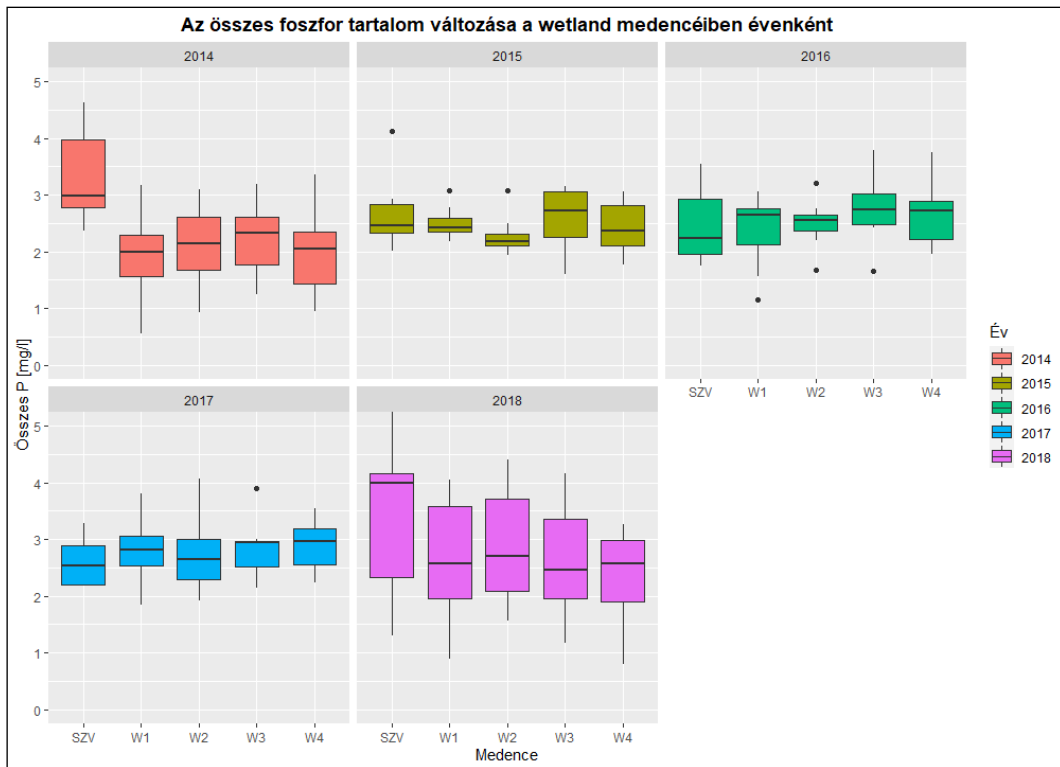
29. ábra: A  $KOI_k$  tartalom évenkénti változása a wetland medencékben



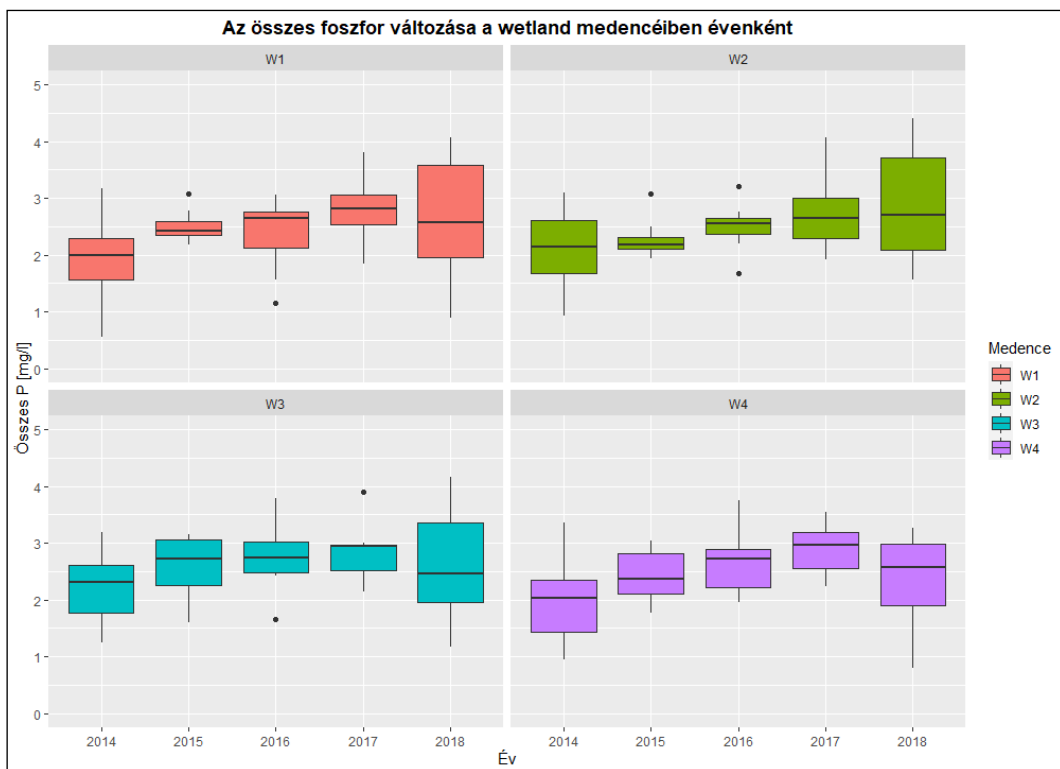
30. ábra: Az összes nitrogén tartalom változása a wetland medencékben az egyes években



31. ábra: Az összes nitrogén tartalom évenkénti változása a wetland medencékben



32. ábra: Az összes foszfor tartalom változása a wetland medencéiben az egyes években



33. ábra: Az összes foszfor tartalom évenkénti változása a wetland medencéiben

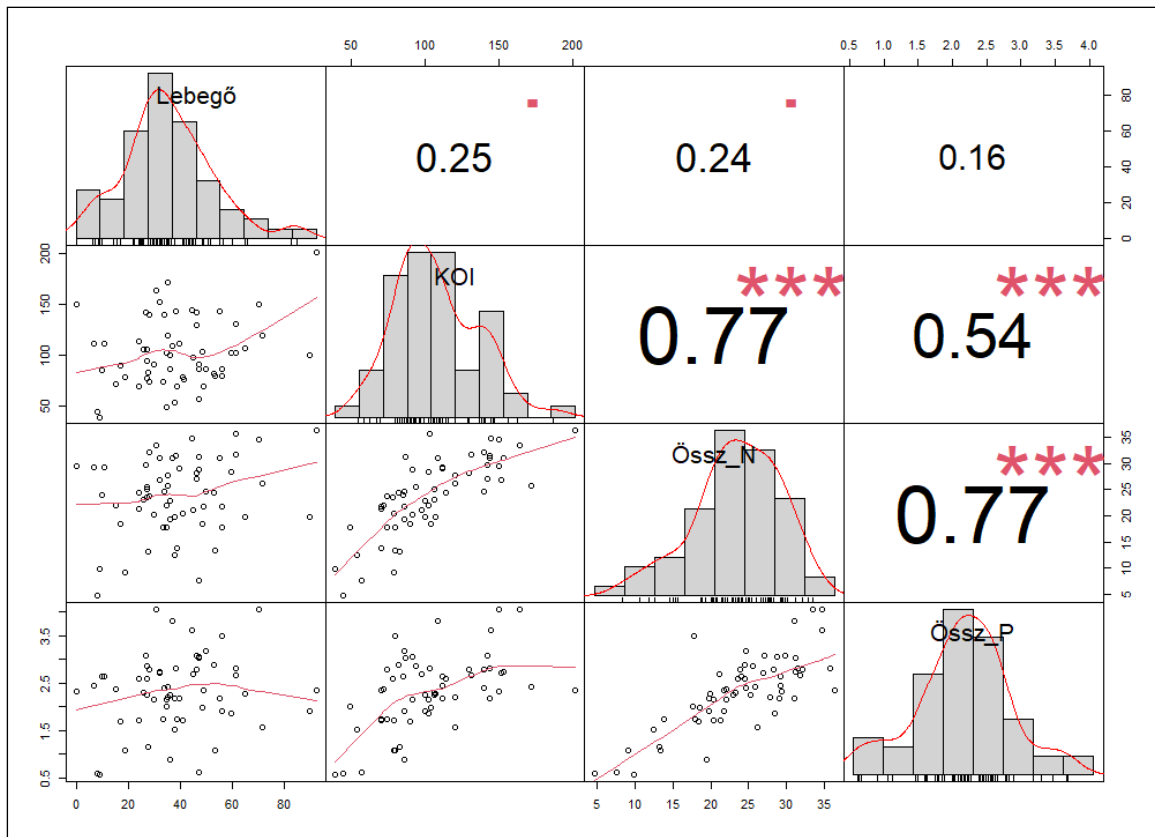
A **23-25. ábrákon** bemutattuk, hogy milyen lineáris összefüggések írják le a kezelendő szennyvíz lebegőanyag tartalma és K<sub>OI</sub>-ja, összes nitrogén-, illetve összes foszfor tartalma közötti kapcsolatot. Ezeknek az összefüggéseknek a felhasználásával megvizsgálhatjuk azt is, hogy a *W1* medencében megfigyelt koncentrációcsökkenés csak a lebegőanyag kiülepedésének következménye, vagy az ülepedés mellett egyéb folyamatok is lejátszódnak a medencében.

A kibocsátott szennyvíz lebegőanyag tartalmában nem volt trend jellegű változás, az értékek viszonylag stabilan az 52-80 mg/l tartományban mozogtak, mediánjuk 70 mg/l volt. A *W1* medencében az eredmények szerint és a **28. ábrán** is látható módon a lebegőanyag tartalom jelentős mértékben csökkent, a medencéből kilépő vízben mért lebegőanyag tartalom mediánja 36,42 mg/l volt. A szennyvíz lebegőanyag tartalma és K<sub>OI</sub>-ja közötti lineáris kapcsolatot leíró összefüggés szerint a *W1* medencéből elfolyó vízben mért lebegőanyag tartalom mediánjához tartozó (számolható) K<sub>OI<sub>k</sub></sub> értéke 128,48 mg/l (K<sub>OI<sub>k</sub></sub>=1,4628\*36,42 + 75,205). A *W1* medencéből elfolyó vízben mért K<sub>OI<sub>k</sub></sub> értékek mediánja ennél mintegy 20%-kal kisebb (101 mg/l), ami arra utal, hogy a *W1* medencében nem csak a lebegőanyag ülepedése eredményezi a K<sub>OI<sub>k</sub></sub> csökkenést, hanem emellett a szerves anyagok biológiai lebontása is megkezdődik.

Ugyanezt a gondolatmenetet követhetjük az összes nitrogén és összes foszfor esetében is. A *W1* medencéből elfolyó vízben mért lebegőanyag tartalom mediánjára számolt összes nitrogén értéke 27,94 mg/l ( $\Sigma N=0,0457*36,42 + 26,278$ ). A *W1* medencéből elfolyó vízben mért összes nitrogén értékek mediánja ennél kisebb (24,40 mg/l), ami azt mutatja, hogy a *W1* medencében bekövetkező összes nitrogén tartalom csökkenés nem pusztán a lebegőanyag ülepedés következménye.

A *W1* medencéből elfolyó vízben mért lebegőanyag tartalom mediánjára számolt összes foszfor értéke 2,14 mg/l ( $\Sigma P=0,0278*36,42 + 1,1296$ ). A *W1* medencéből elfolyó vízben mért összes foszfor értékek mediánja ennél nagyobb (2,35 mg/l), ami arra utal, hogy a *W1* medencében lejátszódo ülepedés foszforcsökkentő hatását felülmúlja a korábban kiülepedett anyagból történő foszfor felszabadulás (remobilizáció).

A **34. ábra** a *W1* medencéből elfolyó víz paramétereit között fennálló korrelációt mutatja. A korrelációs együtthatók értékei és a paraméterek mért értékei közötti kapcsolatot bemutató diagramok szerint a *W1* medencéből elfolyó víz kémiai oxigénigénye, összes nitrogén és összes foszfor koncentrációja között szoros kapcsolat áll fenn. Ugyanakkor a lebegőanyag tartalom nagyon gyenge korrelációban van a másik három paraméter értékeivel. Ez megerősíti azt a korábbi megállapításunkat, amely szerint a *W1* medence működésében meghatározó szerepe van a lebegőanyagok eltávolításának, és a *W1* medencéből elfolyó víz minőségét már nem a lebegőanyag, hanem a döntően oldott formában található szennyező anyagok mennyisége határozzák meg.

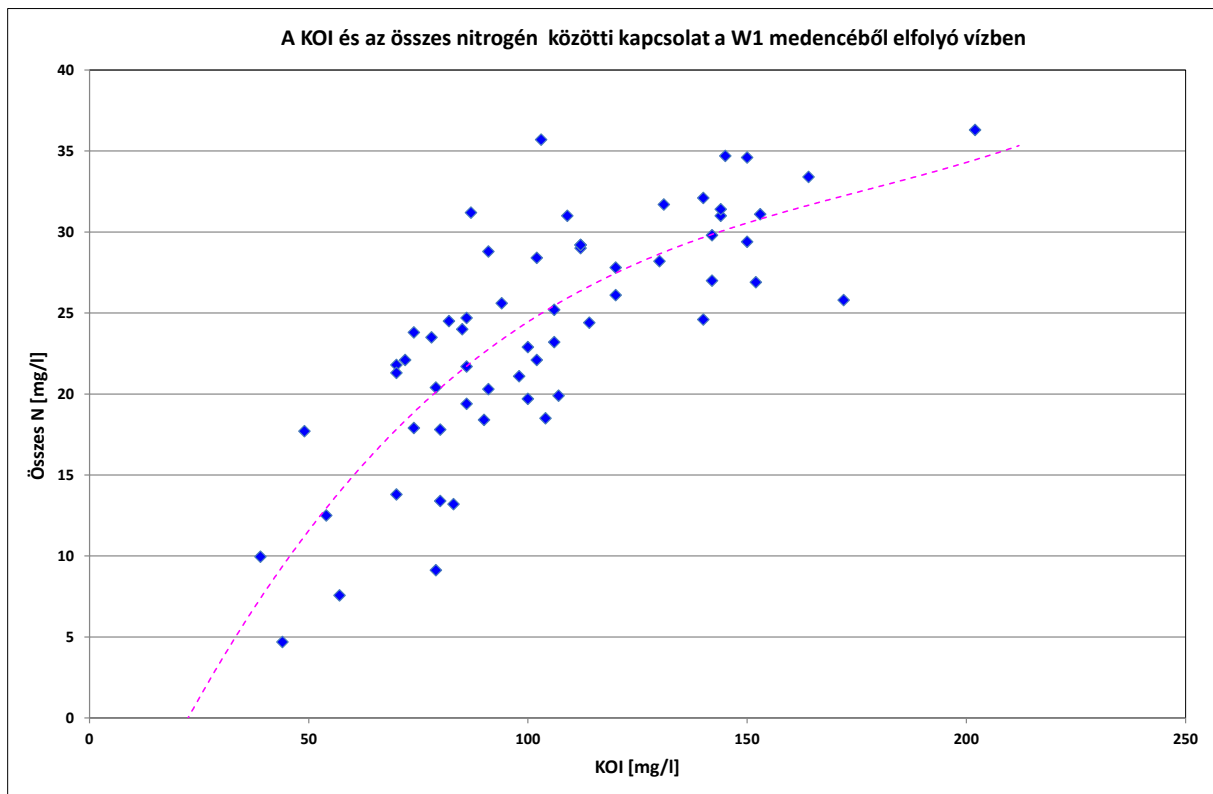


34. ábra: Korrelációk a W1 medencéből elfolyó víz paramétereinek között

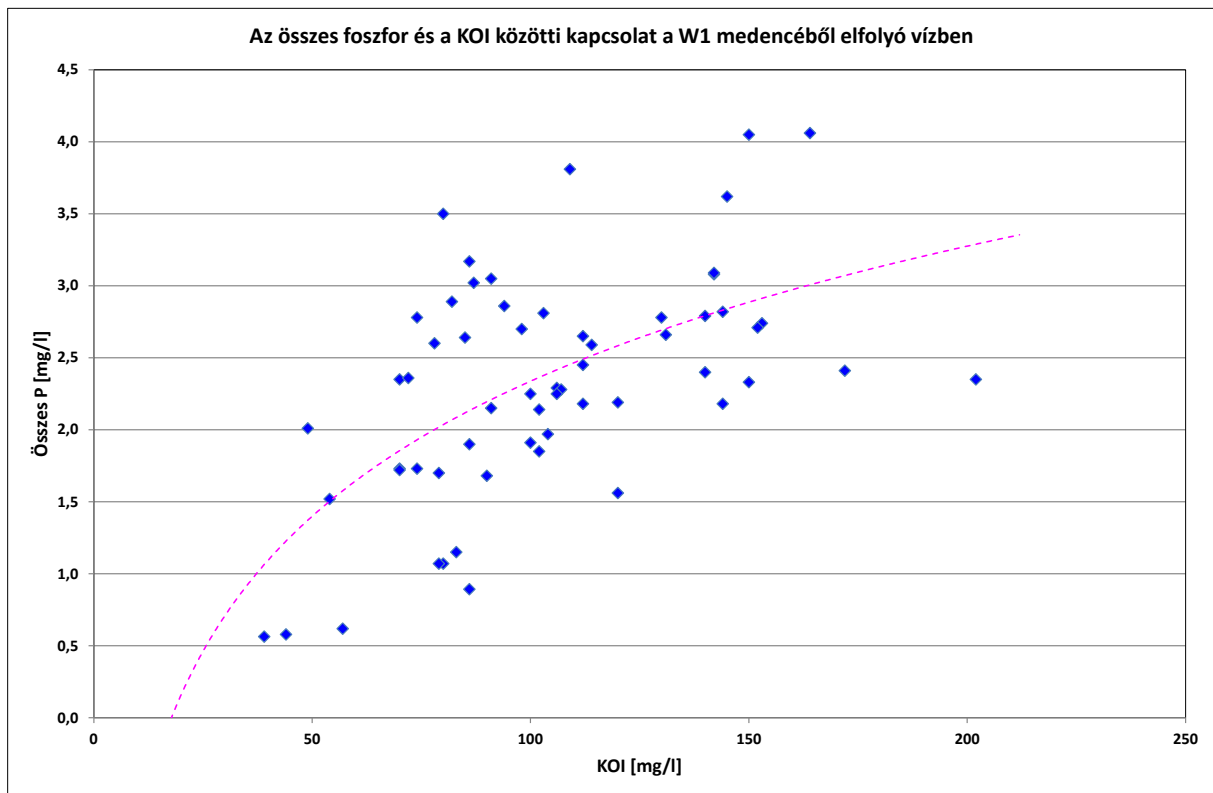
A 35-37. ábrák a W1 medencéből elfolyó vízben mért  $KOI_k$ , összes nitrogén és összes foszfor közötti kapcsolatokat szemléltető diagramok, melyeken látható, hogy a paraméterek közötti kapcsolatok a lineáristól eltérőek, ami alátámasztja azt a korábbi megállapítást, hogy a W1 medencében a lebegőanyag eltávolítás mellett más folyamatok is alakítják a medencéből elfolyó víz minőségét.

A 38. ábrán a W2 medencéből elfolyó víz paramétereinek között fennálló korrelációk láthatók. A korrelációs együtthatók értékei azt mutatják, hogy továbbra is megmarad a szoros kapcsolat a  $KOI_k$ , összes nitrogén és összes foszfor tartalom között, de a lebegőanyag tartalom és a többi paraméter közötti kapcsolat is erősödik. Ez leginkább a lebegőanyag tartalom és a  $KOI_k$  közötti korrelációban mutatkozik meg, ami valószínűsíthetően a lebegőanyagba kerülő planktonikus szervezetek szerves anyagának köszönhető.

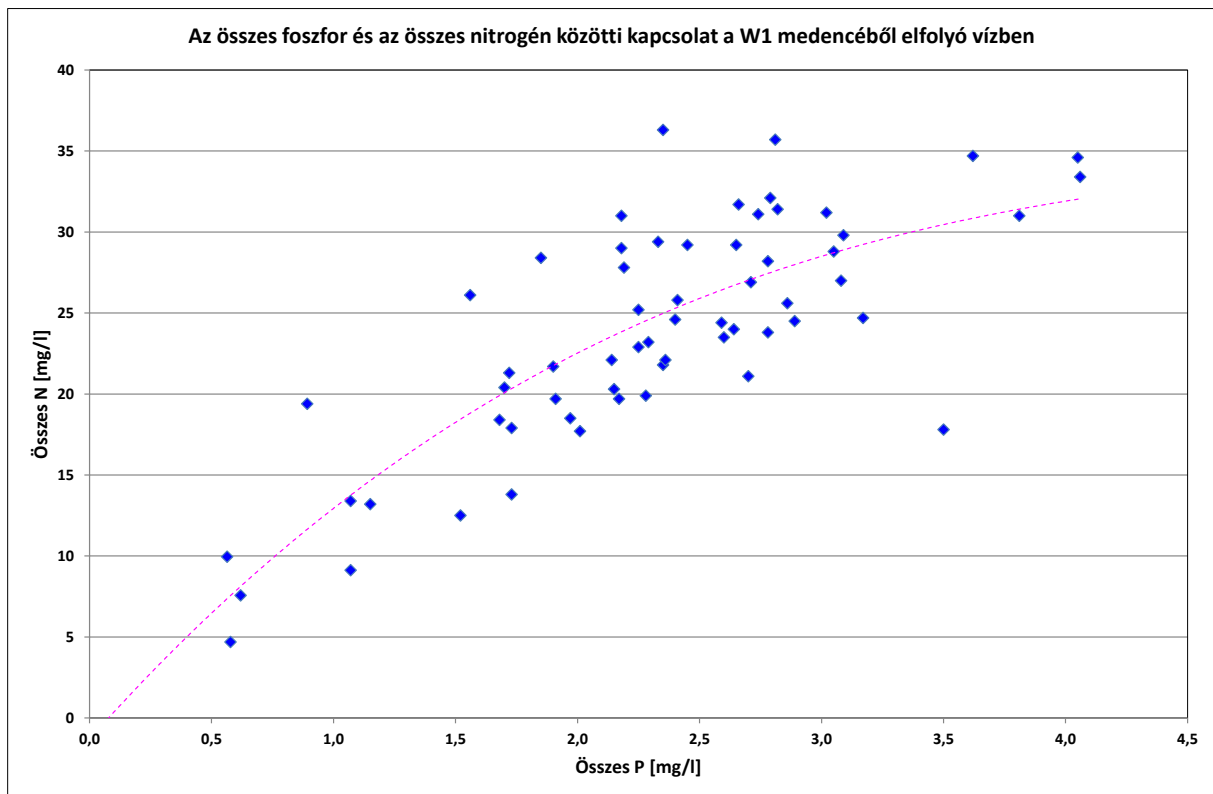
A 26. és 28. ábrák szerint a W2 medencében, ha mérséklődő ütemben is, de folytatódik a  $KOI_k$  és a lebegőanyag csökkenése, ám a 30. és 32. ábrák tanúsága szerint számottevő nitrogén és foszfor eltávolítás nem történik a medencében.



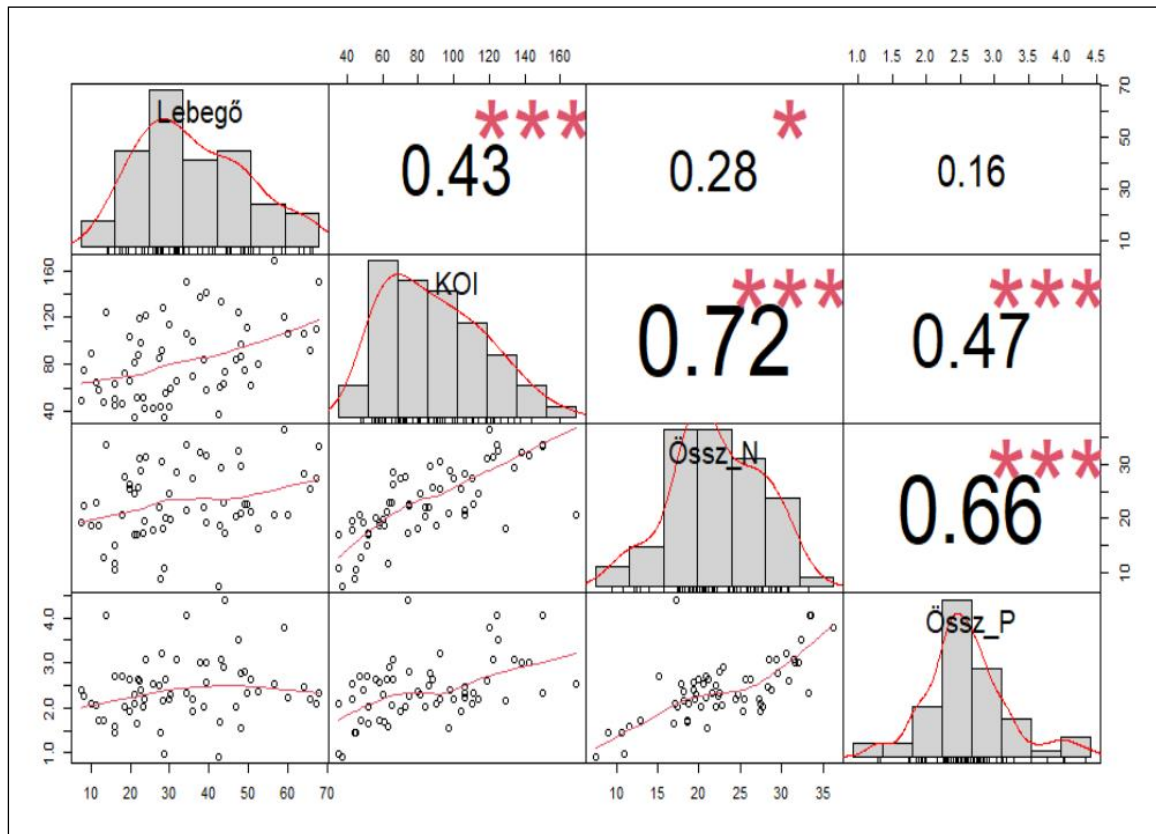
35. ábra: A  $KOI_k$  és az összes nitrogén közötti kapcsolat a W1 medencéből elfolyó vízben



36. ábra: Az összes foszfor és a  $KOI_k$  közötti kapcsolat a W1 medencéből elfolyó vízben



37. ábra: Az összes foszfor és az összes nitrogén közötti kapcsolat a W1 medencéből elfolyó vízben



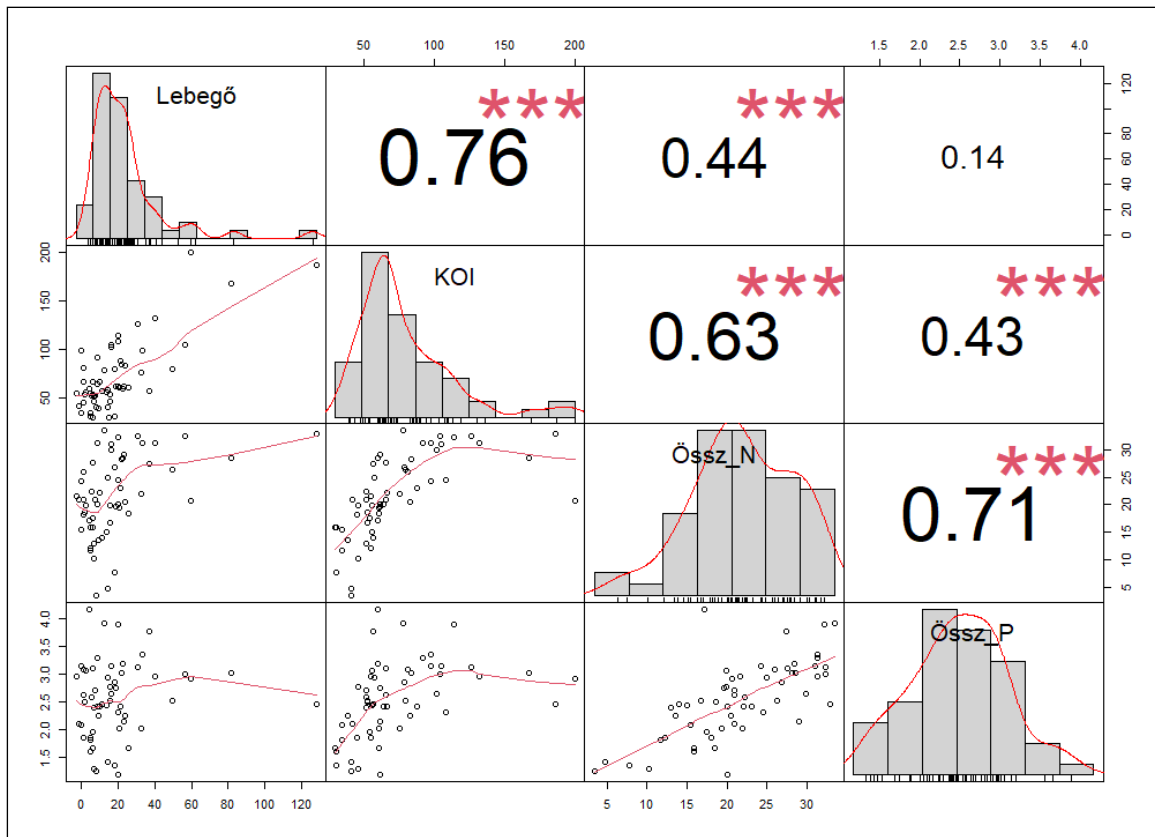
38. ábra: Korrelációk a W2 medencéből elfolyó víz paramétereinek között

A **39. és 40. ábrákon** a *W3* és *W4* medencék elfolyó vizének paraméterei közötti korrelációk láthatók. Megfigyelhető, hogy a  $KOI_k$ , az összes nitrogén és az összes foszfor koncentrációja közötti erős kapcsolat továbbra is fennmarad, miközben a lebegőanyag tartalommal való korreláció – különösen a *W3* medence elfolyó vizében – tovább erősödik (a *W2* medence elfolyó vizében tapasztaltakhoz képest).

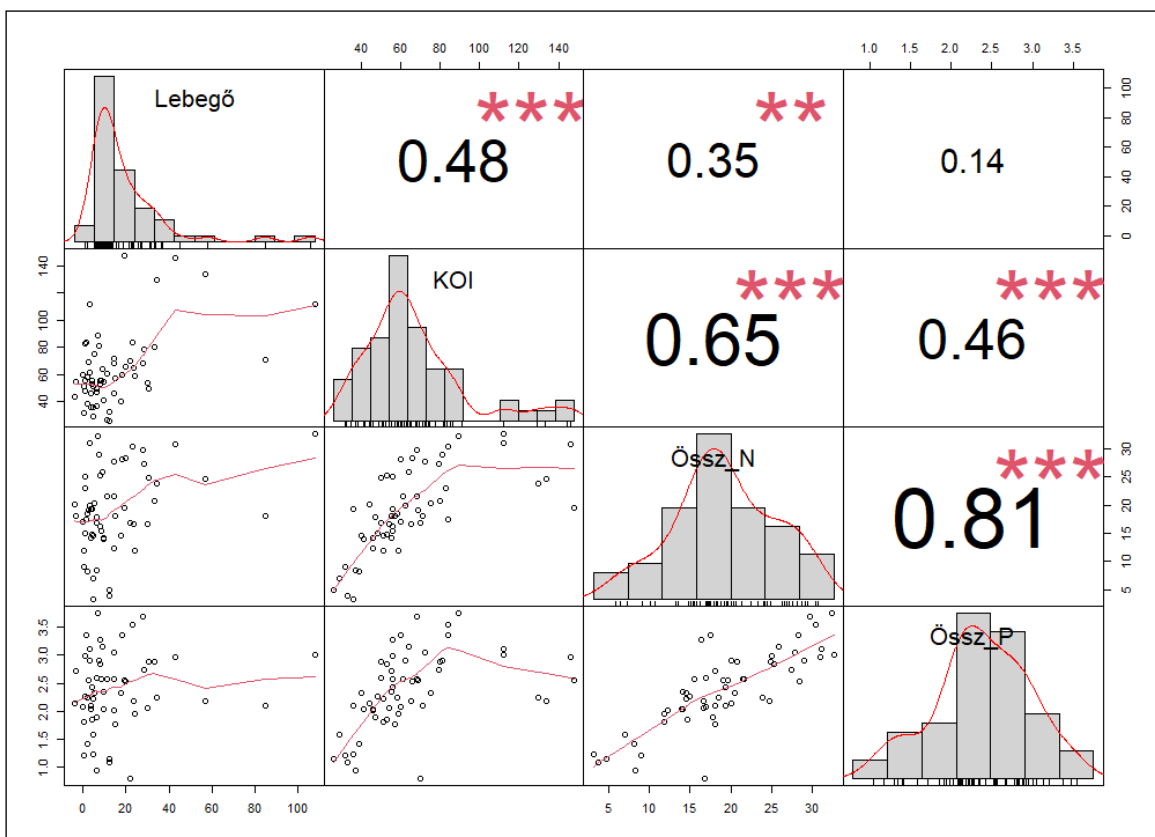
Ezeknek a medencéknek igen fontos szerepük van a kezelt víz fitoplankton formájában elúszó lebegőanyag tartalmának csökkentésében. Az áttekintett jelentések szerint a *W3* jelzésű tóban a közönséges nád (*Phragmites australis*), míg a *W4* jelzésűben gyékény fajok (*Typha latifolia* és *Typha angustifolia*) dominanciája tapasztalható.

A korábban bemutatott **26. ábra** szerint a *W3* és *W4* medencékből stabilan az 50 mg/l-es határérték alatti lebegőanyag tartalmú víz lépett ki, és nincsen monoton trend az elfolyó vizek lebegőanyag tartalmában az évek során. A *W3* és *W4* medencékből elfolyó víz lebegőanyag tartalma az elvégzett statisztikai próba (Mann-Whitney-Wilcoxon próba) szerint  $p = 0,07$  valószínűségi szinten különbözik egymástól, a *W3* medencékből elfolyó víz lebegőanyag tartalmának mediánja 14,10 mg/l, míg ugyanez az érték a *W4* medence esetében 8,60 mg/l.

Ha összekapcsoljuk a *W3* és *W4* medencékből elfolyó víz lebegőanyag tartalmának erős korrelációját a többi paraméterrel és a *W4* medence hatékonyabb lebegőanyag (fitoplankton) eltávolítását, akkor magyarázatot találhatunk a *W4* medencékből elfolyó víz alacsonyabb nitrogén és foszfor tartalmára. Vélhetően a *W4* medencében található gyékény fajok nagyobb mértékben árnyékolják a medence felületét és/vagy jobb hatásfokkal szűrik ki az algákat a vízből, mint a nád, ezért kedvezőbb a *W4* medencékből elfolyó víz minősége.



39. ábra: Korrelációk a W3 medencéből elfolyó víz paramétereinek között



40. ábra: Korrelációk a W4 medencéből elfolyó víz paramétereinek között

### 5.1 Szervetlen tápanyagformák átalakulása a vízkezelő rendszerben

Az összes nitrogén és összes foszfor koncentráció változását a medencéken való áthaladás során korábban már a **30. és 32. ábrák** segítségével bemutattuk, de akkor nem vizsgáltuk azt, hogy hogyan változik a tápanyagformák aránya az összes mennyiségen belül. Ezt pótolja az **5. és 6. táblázat**, amelyekben a kezelendő szennyvízben és a medencékből elfolyó vizekben található nitrogén- és foszforformák aránya látható.

5. táblázat: Nitrogénformák aránya az összes nitrogén tartalomon belül

	Szerves-N	Szervetlen-N	Ammónium-N
Kezelendő szennyvíz	Átlag: 36,21% Medián: 33,85%	Átlag: 63,79% Medián: 63,50%	Átlag: 63,27% Medián: 62,21%
W1 elfolyó	Átlag: 24,41% Medián: 23,32%	Átlag: 75,59% Medián: 76,68%	Átlag: 72,78% Medián: 75,62%
W2 elfolyó	Átlag: 20,34% Medián: 19,50%	Átlag: 79,70% Medián: 80,50%	Átlag: 76,80% Medián: 78,20%
W3 elfolyó	Átlag: 16,55% Medián: 14,95%	Átlag: 83,50% Medián: 85,05%	Átlag: 83,02% Medián: 84,84%
W4 elfolyó	Átlag: 14,72% Medián: 13,47%	Átlag: 85,33% Medián: 86,53%	Átlag: 84,56% Medián: 85,89%

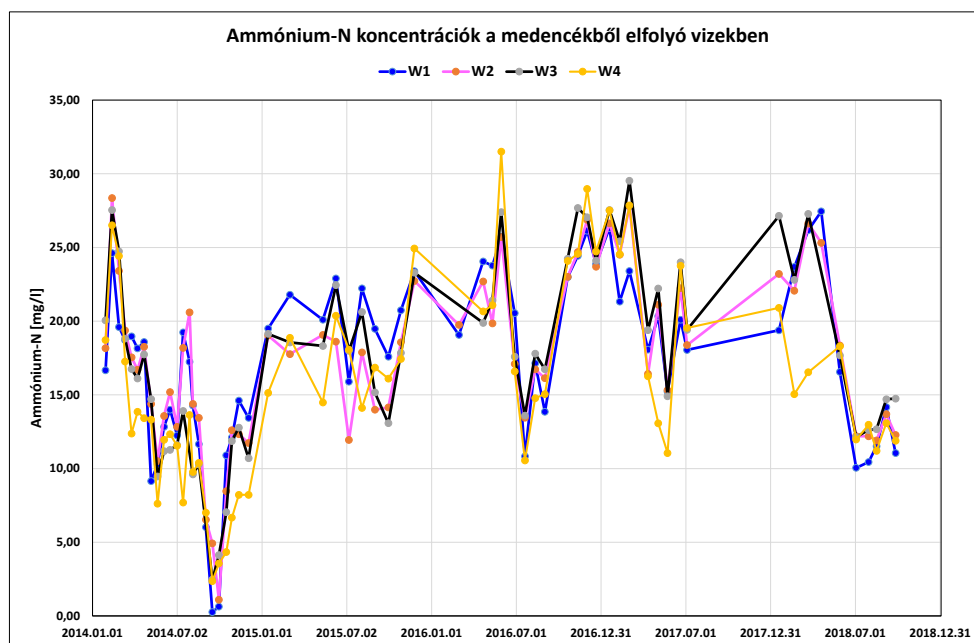
A **5. táblázat** adataiból látszik, hogy a vízkezelő rendszeren való áthaladás közben a szennyvízben folyamatosan csökken a szerves nitrogén aránya, és ezzel párhuzamosan növekszik a szervetlen nitrogén hányad. A rendszerben a szervetlen nitrogénformák csaknem teljes mennyiségét ammónium-nitrogén alkotja (aránya alig tér el az összes szervetlen nitrogén arányától), a nitrit és a nitrát részesedése minimális.

A nitrogénformák átalakulását illetően azt tehát biztosan állíthatjuk, hogy a kezelendő szennyvízben található nitrogén tartalmú szervesanyagok lebontása legalább részlegesen megtörténik, és a szerves vegyületekben kötött nitrogén ammónium formájában felszabadul. A **41. ábrán** látható, hogy az egyes medencék elfolyó vizében mért ammónium-nitrogén koncentrációk között nincsen számottevő különbség, ami azt jelenti, hogy a szerves kötésből ammóniumként kilépő nitrogén nem halmozódik fel, hanem a kilépést követően eltűnik a rendszerből: vagy átalakul nitritté és nitráttá, vagy az élő szervezetek veszik fel. (Szabad ammóniaként való felszabadulása a pH és redox viszonyok miatt nem valószínű.) A nitrit- és nitrát-nitrogén aránya igen csekély minden medence vizében, ami azt jelzi, hogy az esetlegesen nitritté és nitráttá oxidálódó ammónium-nitrogén gyorsan eliminálódik, nincsen ideje felhalmozódni. Ami még biztosan megállapítható az az, hogy a vízkezelő rendszerben töltött idő nem elégséges a kezelendő szennyvízzel érkező nitrogén terhelés nitráttá alakításához.

6. táblázat: Ortofoszfát foszfor aránya az összes foszfor tartalom belül

	<b>Ortofoszfát-P</b>
Kezelendő szennyvíz	Átlag: 51,38% Medián: 53,20%
W1 elfolyó	Átlag: 67,56% Medián: 69,35%
W2 elfolyó	Átlag: 76,11% Medián: 81,09%
W3 elfolyó	Átlag: 85,32% Medián: 89,14%
W4 elfolyó	Átlag: 87,19% Medián: 91,43%

A **6. táblázatban** látható értékek azt mutatják, hogy a kezelendő szennyvíz foszfor tartalma a vízkezelő rendszeren való áthaladás során egyre nagyobb hányadban alakul át ortofoszfáttá. Mivel a rendszerben a foszfor eltávolítás minimális (lásd **32. ábra**), valójában nem történik más, mint a lebontott szervesanyagokban kötött foszfor felszabadulása.



41. ábra: Ammónium-N koncentrációk időbeli alakulása a medencékből elfolyó vizekben

## 5.2 A vízkezelő rendszer működésével kapcsolatos megállapítások összefoglalása

A *W1* medence működésében meghatározó szerepe van a lebegőanyag eltávolításnak, emellett azonban a szerves anyagok biológiai lebontása is megkezdődik a medencében. A medencéből elfolyó víz minőségét már nem a lebegőanyag, hanem a döntően oldott formában található szennyező anyagok mennyisége határozzák meg.

A *W1* medencében csökken legnagyobb mértékben a kémiai oxigénigény, a következő medencékben egyre kisebb mértékű a szervesanyag eltávolítás.

A *W1* medence nitrogén eltávolítása a lebegőanyagnál és  $KOI_k$ -nál tapasztaltakhoz képest sokkal mérsékeltebb. A medencében bekövetkező összes nitrogén tartalom csökkenés nem pusztán a lebegőanyag ülepedés következménye.

A *W1* medencében lejátszódó ülepedés foszforcsökkentő hatását felülmúlja a korábban kiülepedett anyagból történő foszfor felszabadulás (remobilizáció).

A *W2* medencében a *W1* medencéből kilépő szennyvíz lebegő és oldott anyagai átalakulnak és beépülnek a mikroorganizmusokba, illetve planktonikus szervezetekbe, de számottevő nitrogén és foszfor eltávolítás nem történik a *W2* medencében.

A *W3* és *W4* medencék alapvetően a *W2* medencéből elúszó lebegőanyag visszatartását biztosítják, és ezen keresztül javítják az elfolyó víz minőségét. Ezeknek a medencéknek igen fontos szerepük van az elúszó fitoplankton (lebegőanyag) mennyiségének csökkentésében.

A *W4* medencéből elfolyó vízben szignifikánsan kisebb volt a  $KOI_k$ , az összes nitrogén és az összes foszfor koncentrációja, mint a *W3* medencéből kilépő vízben. Mivel a *W3* és *W4* medencéből elfolyó víz lebegőanyag tartalma erős korrelációt mutat a többi paraméterrel ( $KOI_k$ ,  $\sum N$ ,  $\sum P$ ), a *W4* medence hatékonyabb lebegőanyag (fitoplankton) eltávolítása magyarázhatja a medencéből elfolyó víz kedvezőbb minőségét.

A vízkezelő rendszerből stabilan az 50 mg/l-es határérték alatti lebegőanyag tartalmú víz lépett ki, a kezelt víz kémiai oxigénigénye a kibocsátási határértékhez közeli tartományban mozgott.

A vízkezelő rendszerre érkező nitrogén terhelés meghaladja a rendszer nitrogén eltávolító kapacitását, a medencéből elfolyó vizek összes nitrogén tartalmában ugyanúgy emelkedő tendencia figyelhető meg az évek függvényében, mint a kezelendő szennyvíz mennyisége, illetve összes nitrogén tartalma esetében.

A kezelendő szennyvízben található nitrogén tartalmú szervesanyagok lebontása legalább részlegesen megtörténik, és a nitrogén ammónium formájában kerül a vízbe. Ez az ammónium nem halmozódik fel a rendszerben, hanem vagy nitráttá és nitráttá alakul, vagy az élő szervezetek veszik fel. Az esetlegesen nitráttá és nitráttá oxidálódó ammónium-nitrogén gyorsan eliminálódik. A vízkezelő rendszerben töltött idő nem elégséges a kezelendő szennyvízzel érkező nitrogén terhelés nitráttá alakításához.

A vízkezelő rendszer foszforeltávolító képessége sem tud lépést tartani a rendszerre érkező foszforterhelése növekedésével. A rendszerben alig történik foszfor eltávolítás, egyes években majdhogynem több foszfor lépett ki a rendszerből, mint amennyi a kezelendő szennyvízzel érkezett. A kezelendő szennyvíz összes foszfor tartalma a vízkezelő rendszeren való áthaladás során egyre nagyobb

hányadban alakul át ortofoszfáttá, a rendszerben valójában nem történik más, mint a lebontott szervesanyagokban kötött foszfor felszabadulása.

### 5.3 A vízkezelő rendszer teljesítőképessége és elvárható teljesítménye

A mérési eredmények és a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a vízinövényes vízkezelő rendszer túlterhelt, nem képes a kezelendő szennyvizet a kibocsátási határértékeknek megfelelő minőségűre tisztítani. A fejlesztés lehetséges/javasolt irányainak meghatározása céljából megvizsgáltuk, hogy a vízkezelő rendszer mennyiben felel meg a ma elfogadott tervezési irányelveknek, illetve azok figyelembevételével mekkora tisztítási teljesítmény várható el reálisan a meglévő rendszertől.

A méretezés kiinduló pontja a tervezési irányértékek meghatározása, ami tavas szennyvíztisztító rendszerek esetében a napi BOI terhelés lakosegyenértékben (LE) vagy kg BOI/nap egységben kifejezve és a hidraulikai terhelés ( $m^3/nap$ ).

BOI mérések a kezelendő szennyvízből a 2018-as vizsgálati periódusban történtek, amikor párhuzamosan mérték a kezelendő víz kémiai és biológiai oxigénigényét. Az ekkor végzett kilenc mérés eredményeit felhasználva a KOI/BOI arány 1,73-nak adódik a kezelendő szennyvízben (mind az átlag, mind pedig a medián értéke 1,73). A kezelendő szennyvízből rendelkezésre álló 43 db KOI<sub>k</sub> mérési eredmény középértéke 174 mg/l, ami az 1,73-as KOI/BOI arányt felhasználva  $\approx$  **100 mg/l BOI**-nek felel meg.

A hidraulikai terhelés értékét a havi szennyvízmennyiségekből számolt napi átlagok éves maximumai alapján **1200 m<sup>3</sup>/nap** értéken vettük fel.

A fenti értékekkel számolt BOI terhelés értéke **120 kg BOI/nap = 2000 LE**.

### 5.4 Méretezés és tervezés német tervezési irányelvek alapján

A Német Szennyvíztechnikai Egyesület által kiadott tervezési irányelvek szerint a tavas szennyvíztisztító rendszerek felépítése a következő:

*Ülepítő tavak → Nem levegőztetett/Levegőztetett tavak → Utótisztító tavak*

Az ülepítő tavak a nyers (kezelendő) szennyvízből az ülepíthető anyagok leválasztására és a leülepedett iszap rothasztására szolgálnak. A nagy szervesanyag terhelés miatt az ilyen tavak anaerobak, ezért a bűz kibocsátás nem kizárható. A méretezési kritériumok az átfolyási idő, az iszaphozam és az iszapeltávolítás gyakorisága.

A nem levegőztetett szennyvíztavaknak nincsen műszaki levegőztető berendezése, kiterjedésük nagy, mélységük csekély. Ha az iszapeltávolításra nem iktatnak be ülepítő tavakat, akkor egyúttal az ülepíthető anyagok leválasztását is ellátják. A nem levegőztetett szennyvíztavakba az oxigén bevitel természetes úton történik, ezért az a klimatikus és meteorológiai tényezőktől függ. Méretezési kritérium a felületi terhelés. **Nem levegőztetett szennyvíztavak rendszerint 1000 LE alatt alkalmazhatók.**

A levegőztetett szennyvíztavakba az oxigén bevitele műszaki levegőztető berendezéssel történik, ezáltal csökken a nem levegőztetett szennyvíztavakra jellemző nagy területigény. A levegőztetést általában tavakra kifejlesztett levegőztetővel oldják meg, ami egyúttal keverést is eredményez. A tisztítási teljesítmény tekintetében jelentősége van a víz/fenekiszap érintkezési felületnek, a biológiailag hatékony aljnövényzetnek, valamint a szabadon úszó mikroorganizmusoknak. A lebegőanyagok leválasztására

csillapító zóna vagy utóülepítő tó szükséges. Elegendő átkeverés esetén a méretezési kritériumok a BOI térfogati vagy BOI felületi terhelés. **Levegőztetett szennyvíztavak rendszerint 5000 LE alatti teljesítményigény esetén alkalmazhatók.**

Az utótisztító tavakat tisztított szennyvízzel táplálják. Az utótisztító tavak a megelőző tisztítási lépésekben kezelt víz minőségét javítják lebegőanyagok, maradék szerves terhelés, szerves tápanyagok és a higiéniai állapot tekintetében. Pufferkapacitásuk koncentráció kiegyenlítést eredményez. Méretezési kritérium az átfolyási idő.

A fenti működés szerinti felosztást tekintve, a Szarvasfish Kft. harcsatelepének elfolyó vizét kezelő rendszerben a W1 és W2 medencék sorba kötött nem levegőztetett szennyvíztavak, míg a W3 és W4 medencék párhuzamosan kapcsolt utótisztító tónak tekinthetők.

### 5.5 Szükséges medenceméret a szennyvízterhelés alapján

A nem levegőztetett szennyvíztavak fajlagos felületét  $A_{EW} \geq 10 \text{ m}^2/\text{LE}$ -re kell méretezni. Az ammónium-nitrogén különböző mértékű nitrifikálása, valamint a képzett nitrát egy részének denitrifikálása  $A_{EW} \geq 15 \text{ m}^2/\text{LE}$  méretezési értéknél várható. A nem levegőztetett szennyvíztavak esetén az átfolyási időnek száraz időben  $\geq 20$  nap-nak kell lennie.

A tavak szükséges összes felületét legalább három, ülepítő tó beiktatásakor legalább kettő, körülbelül egyforma nagyságú egységre kell felosztani, ezáltal kedvezőbbek lesznek az átfolyási viszonyok és a tisztítási hatások. Nagyméretű tavak esetében a hidraulikai viszonyokat a lehetőleg egyenletes átfolyás érdekében szerkezeti kialakítással (terelőgátak és falak beépítése) kell javítani.

Szükséges medencetérfogat az átfolyási idő alapján:

$$V \geq 1\,200 \text{ m}^3/\text{nap} \times 20 \text{ nap} = 24\,000 \text{ m}^3$$

Szükséges tófelület a terhelés alapján denitrifikáció nélkül:

$$A \geq 2\,000 \text{ LE} \times 10 \text{ m}^2/\text{LE} = 20\,000 \text{ m}^2$$

Szükséges tófelület a terhelés alapján denitrifikációval:

$$A \geq 2\,000 \text{ LE} \times 15 \text{ m}^2/\text{LE} = 30\,000 \text{ m}^2$$

A W1-W2 medencék összes térfogata  $\approx 7\,500 \text{ m}^3$ , összes felületük  $\approx 5\,000 \text{ m}^2$ , mindkettő kisebb, mint a számított térfogat-, illetve felületigény.

Az úszó- és lebegőanyagok visszatartása és az algaelsodródás csökkentése érdekében a nem levegőztetett tavak után növényekkel beültetett tavakat kell kialakítani 0,1-0,4 m-es mélységgel és  $A_{EW} \geq 1 \text{ m}^2/\text{LE}$  fajlagos felülettel.

A szükséges utótisztító felülete a terhelés alapján:

$$A \geq 2\,000 \text{ LE} \times 1 \text{ m}^2/\text{LE} = 2\,000 \text{ m}^2$$

A W3 és W4 tavak felülete egyenként 2 500 m<sup>2</sup>, eszerint külön-külön is megfelelnek a tervezési irányelvnek.

A rendelkezésre álló összes medencetérfogat (W1-W4 = 10 000 m<sup>3</sup>) és a  $\geq 20$  nap átfolyási idő alapján a rendszer hidraulikus kapacitása:

$$10\,000 \text{ m}^3 \div 20 \text{ nap} = 500 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

A rendelkezésre álló összes medence felület (W1-W4 = 10 000 m<sup>2</sup>) alapján a jelenlegi rendszer tisztítási kapacitása denitrifikáció nélküli esetben:

$$10\,000 \text{ m}^2 \div 10 \text{ m}^2/\text{LE} = 1000 \text{ LE} \Leftrightarrow 1000 \text{ LE} \times 60 \text{ g BOI}/\text{nap} \div 100 \text{ g BOI}/\text{m}^3 = 600 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

#### 5.6 Méretezés és tervezés amerikai tervezési irányelvek alapján

Az Amerikai Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (US-EPA) által kiadott tervezési- és üzemeltetési útmutató a szennyvízkezelő tavakat alapvetően három csoportba sorolja oxigénellátottságuk szerint:

- Az anaerob tavak olyan mértékű szervesanyag terhelést kapnak, hogy nem alakul ki bennük aerob zóna. Ezek a tavak rendszerint 2,5-4,5 m mélyek és 5-50 napos tartózkodási időt biztosítanak. A meghatározó biológiai folyamatok a bakteriális zsírsav- és metánképződés.
- A szennyvíztavak legáltalánosabb típusa az ún. fakultatív tó, amit fotoszintetikus tónak is neveznek. A fakultatív tavak rendszerint 0,9-2,4 m mélyek, amelyekben egy aerob réteg helyezkedik el az anaerob zóna felett. Az ajánlott átfolyási idő a klimatikus viszonyoktól függően igen tág határok között mozog. A tavak felső rétegében lejátszódó aerob folyamatok felelősek a szervesanyagok lebontásáért, a tápanyageltávolításért és a szaghatás kiküszöböléséért. Az alsó oxigénmentes rétegben végbemenő anaerob folyamatokban történik az iszap lebontása és a denitrifikáció. A fakultatív tavak sikeres működésének kulcsa a fotoszintetizáló réteg oxigén termelése és a felszínen keresztül történő oxigénbevitel.  
Fakultatív szennyvíztavak működése túlterhelés esetén mesterséges oxigénbevitellel javítható. A mesterségesen levegőztetett szennyvíztavak területigénye kisebb, de nagyobb energiaigényűek, mint a nem levegőztetett tavak.
- Az aerob-, vagy másnéven oxidációs tavak teljes mélységében biztosított a megfelelő oxigénellátottság. Ezek rendszerint 30-45 cm mélyek, ami lehetővé teszi a vízoszlop teljes átvilágítását. Gyakran keverőkkel biztosítják az algák lebegésben tartását és a felületre jutását a maximális oxigéntermelés érdekében, illetve ilyen módon gátolják meg a kiülepedést és az anaerob üledék kialakulását. Az ilyen típusú tavakban az átfolyási idő tipikusan 2-6 nap.

A fenti felosztás szerint a Szarvas Fish Kft. harcsatelepének elfolyó vizét kezelő rendszerben a bennük uralkodó körülmények alapján a W1 medence inkább anaerobnak, a W2 medence fakultatívnak, míg a

W3 és W4 medencék aerob tónak tekinthetők. Kialakításukat és üzemeltetésük módját illetően inkább fakultatív tavaknak minősülnek.

Az EPA által elfogadott tervezési módszerek közül legkevesebb paraméter ismeretét a felületi terhelés alapján történő méretezés igényli, ami a legkülönbözőbb földrajzi helyzetű szennyvíztisztító tavak üzemeltetési tapasztalatain alapszik. Ez a legkonzervatívabb tervezési módszer, ami figyelembe veszi a klimatikus viszonyokat is. Az útmutatóban bemutatott példák szerint a különböző elkeveredési és reakciókinetikai modelleken alapuló tervezési módszerekkel kapott medence térfogatok és felületek nem különböznek lényegesen a felületi terhelés alapján kapott eredményektől, viszont jobban figyelembe veszik a medencék geometriáját és hidraulikai viszonyait, valamint az ammónium-nitrogén és foszfor eltávolítási igényeket.

A felületi terhelésen alapuló módszer szerint azokon a területeken, ahol a téli átlaghőmérséklet 0 és 15 °C között van, fakultatív szennyvíztavak méretezésekor 22-45 kg BOI/ha/nap fajlagos terhelési értékekkel célszerű számolni.

Ezt figyelembe véve a szükséges tófelület:

$$120 \text{ kg BOI/nap} \div (22-45) \text{ kg BOI/ha/nap} = 5,45 - 2,66 \text{ ha} = 54\,500 - 26\,600 \text{ m}^2.$$

A W1-W4 medencék összes felülete  $\approx 10\,000 \text{ m}^2$ , ami kisebb, mint a számított felületigény.

A rendelkezésre álló összes medence felület (W1-W4 =  $10\,000 \text{ m}^2$ ) alapján, a jelenlegi rendszer tisztítási kapacitása:

$$10\,000 \text{ m}^2 \times (22-45) \text{ kg BOI/ha/nap} = 22 - 45 \text{ kg BOI/nap} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 22\,000 - 45\,000 \text{ g BOI/nap} \div 100 \text{ g BOI/m}^3 = 220 - 450 \text{ m}^3/\text{nap}.$$

### 5.7 A vízkezelő rendszer teljesítőképessége és a szükséges fejlesztések lehetséges irányai

Az elvégzett méretezési számítások eredménye azt mutatja, hogy a vízkezelő rendszer hidraulikusan és BOI terhelés szempontjából is legalább kétszeresen túlterhelt, így nem reális elvárás, hogy a rendszerből elfolyó víz minden paraméterében megfeleljen a kibocsátási határértékeknek. A jelenlegi szennyvízösszetétel mellett a rendszer terhelhetőségének felső határa  $500 \text{ m}^3/\text{nap}$ .

A rendszer működéséről szerzett ismeretek, és a helyszíni adottságok alapján a vízkezelés hatékonyságának növelésére a következő lehetőségeket tartjuk megvalósíthatónak akár egyenként, akár egymással kombinálva:

- A tavak fajlagos terhelésének csökkentése (kevesebb szennyvíz, kevesebb szennyezőanyag, nagyobb tóterfogás és felület).
- A kezelendő szennyvíz lebegőanyag tartalmának minél nagyobb mértékű csökkentése a vízkezelő rendszerbe bekerülés előtt.
- Elválasztott és hatékony ülepítés kialakítása a vízkezelés első lépéseként.
- Az alacsony lebegőanyag tartalmú vizet kezelő tavak hidraulikájának (áramlási viszonyainak) javítása, és ezzel összhangban megfelelő oxigénbevitel kialakítása.
- Az ülepítésre szolgáló medencerész elválasztása a levegőztetett térrésztől.

- Az aerob vagy fakultatív medencékben zajló biológiai folyamatok intenzifikálása hordozó felületen kialakított biofilm segítségével.
- A vízivényes tavak sorbakapcsolása.
- A kezelt víz egy részének recirkulációja a fakultatív medencékbe.
- A szerves tápanyagok beépítése könnyen eltávolítható magasabbrendű élő szervezetekbe és ezek rendszeres betakarítása.
- A medencék üledékének rendszeres és gyakori (1-2 évente történő) eltávolítása.

## 6. Mérési programjavaslat a projekt II. ütemére a 2021. évben

---

A projekt II. ütemében, a 2021. évben az alábbi mérési programot javasoljuk végrehajtani a legutóbbi, 2018-ban végrehajtott mérési program eredményeinek aktualizálása és a vízkezelő rendszer egyes elemeinek méretezéséhez szükséges tervezési adatok előállítására céljából:

1. Vizsgálandó komponensek a kezelendő szennyvízben és az üzemben lévő tavak elfolyó vizéből havi egy alkalommal:
  - pH
  - oldott oxigén (helyszínen, a tóból való kilépés előtt a tó vizében mérve)
  - $KOI_k$  (fotometria)
  - $BOI_5$
  - Ammónium-nitrogén
  - Nitrát-nitrogén
  - Nitrit-nitrogén
  - Összes szerves nitrogén
  - Összes nitrogén
  - Ortofoszfát-foszfor
  - Összes foszfor
  - Összes lebegő-anyag
  - Szerves lebegőanyag
2. A kezelendő szennyvíz lebegőanyag mentesre szűrt mintájából havonta:
  - $KOI_k$  (fotometria)
  - $BOI_5$
  - Összes szerves nitrogén
  - Összes nitrogén
  - Ortofoszfát-foszfor
  - Összes foszfor
3. Egy alkalommal (nyári hónapok valamelyikében) kétóránként vett mintákkal a napon belüli ingadozások kimérése:  $KOI$ , összes nitrogén, összes foszfor, lebegőanyag. Ha kizárható a napon belüli jelentős minőségi ingadozás, akkor ez a mérés elhagyható.

A fenti mérésekhez tartozó mintavételek módjainak részleteit a későbbiekben egyeztetjük.

4. A két víznyeres tó elfolyó vizében lévő algák mennyiségében és minőségi összetételében jelentkező különbségek vizsgálata.
5. Ülepíthetőségi vizsgálat kezelendő szennyvízből legalább három alkalommal.

A fenti két mérés módszertanát a Megbízóval egyeztetve közösen határozzuk meg.

A további, a méretezéshez még esetleg szükséges technológiai mérések, vizsgálatok a kijelölt fejlesztési irány(ok) kiválasztását követően határozhatók meg.

## 7. Irodalomjegyzék

---

- Acierno, R., Blancheton, J., Bressani, G., Ceruti, L., Chadwick, D., d'orbcastel, E.R., Claricoates, J., & Donaldson, G. (2006). *Manual on effluent treatment in aquaculture : Science and Practice*. Aquaetreat. forrás: <https://www.semanticscholar.org/paper/Manual-on-effluent-treatment-in-aquaculture-%3A-and-Acierno-Blancheton/b814a2fe8f4802bf8abf7dad4c99e2d981dcad04>
- ATV-Abwassertechnischen Vereinigung (1997). *Alapelvek a kommunális szennyvíz szennyvíztavainak méretezésére, építésére és üzemeltetésére*.
- Bowley, D., Allan, G. (2011). *Nutrients in Pond Based Aquaculture Discharge Water Used for Irrigation*. forrás: [https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0003/638634/Bowley-and-Allan-Water-sampling-results-and-discuss-V2a.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/638634/Bowley-and-Allan-Water-sampling-results-and-discuss-V2a.pdf)
- Castine, S. A., McKinnon, A. d., Paul, N. A., Trott, L. A., Nys, r. de, (2013). *Wastewater treatment for land-based aquaculture: improvements and value-adding alternatives in model systems from Australia*. *Aquaculture Environment Interactions*, Vol. 4: 285–300 oldal, forrás: <https://www.worldfishcenter.org/content/wastewater-treatment-land-based-aquaculture-improvements-and-value-adding-alternatives-0>
- Christianson, L. E., Lepine, C., Sharrer, K. L., Summerfelt, S. T. (2016). *Denitrifying bioreactor clogging potential during wastewater treatment*, *Water Research*, Volume 105, 2016, 147-156 oldal, ISSN 0043-1354, forrás: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.067>
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S., Akinwole, A. O. (2019). *Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems*, *Aquaculture and Fisheries*, Volume 4, Issue 3, 2019, 81-88. oldal, ISSN 2468-550X, forrás: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>.
- Dulovics D. (2002). *Kistelepülések és a csatornával gazdaságosan nem ellátható területek szennyvíztisztítása és szennyvízelhelyezése*. *MaSzeSz Hírcsatorna*, 2002. nov-dec. 2-14. oldal
- EPA (2011). *Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers*. forrás: <https://www.epa.gov/nutrient-policy-data/principles-design-and-operations-wastewater-treatment-pond-systems-plant>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. forrás: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Havasi, M. (2014). *A harcsa (Silurus glanis) növényi fehérje alapú takarmányozásának megalapozása intenzív rendszerben*. Doktori (Ph.D.) értekezés. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. forrás: <http://real-phd.mtak.hu/530/>
- Kerepeczki, É. (2006). *Intenzív haltermelő telep elfolyóvizének kezelése létesített vizes élőhelyi rendszerekben*. Doktori (Ph.D.) értekezés. Debreceni Egyetem Természettudományi Kar, Debrecen. forrás: <https://docplayer.hu/2603346-Intenziv-haltermelo-telep-elfolyovizenek-kezelese-letesített-vizes-elohelyi-rendszerekben.html>

- Kerepeczki, É., Gál, D., Kosáros, T., Hegedűs, R., Pekár, F. (2015) *Intenzív rendszerek elfolyó vizének kezelése létesített vizes élőhelyen: Gyakorlati javaslatok, lehetőségek és korlátok*. forrás: <https://docplayer.hu/3320627-Intenziv-rendszerek-elfolyo-vizenek-kezelese-letesített-vizes-elohelyen-gyakorlati-javaslatok-lehetosegek-es-korlatok.html>
- Kerepeczki, É., Gál, D., Kosáros, T., Hegedűs, R., Pekár, F. (2011). *Natural water treatment method for intensive aquaculture effluent purification*. Studia Universitatis "Vasile Goldiș", Seria Științele Vieții Vol. 21, issue 4, 2011, 827-837 oldal, forrás: [www.studiauniversitatis.ro](http://www.studiauniversitatis.ro)
- Kerepeczki, É., Gyalog, G., Halasi-Kovács, B., Gál, D., Pekár, F. (2010). *Extenzív halastavak ökológiai értékei és funkciói*. forrás: [https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2019-02/haki-0304\\_kerepeczki2010.pdf](https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2019-02/haki-0304_kerepeczki2010.pdf)
- Kerepeczki, É., Tóth F. (2017). *Létesített vizes élőhelyek szerepe a mezőgazdasági eredetű elfolyóvizek kezelésében*. forrás: <https://docplayer.hu/108071106-Letesített-vizes-elohelyek-szerepe-a-mezogazdasagi-eredetu-elfolyovizek-kezeleseben.html>
- Kosáros, T., Pekár, F., Gál, D., Lakatos, Gy. (2010). *Élőbevonat hasznosításának lehetőségei létesített vizes élőhelyeken*. forrás: <https://haki.naik.hu/hakinapok/2010/haki-elobevonat-hasznositasanak-lehetosegei-letesített-vizes-elohelyeken-halastavak>
- Rijn, J. van (1996). *The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - A review*. Aquaculture, Volume 139, Issues 3–4, 1996, Pages 181-201, ISSN 0044-8486, forrás: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01151-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01151-X).
- Sandu, S., Brazil, B., & Hallerman, E. M. (2011). *Efficacy of Pilot-Scale Wastewater Treatment upon a Commercial Recirculating Aquaculture Facility Effluent*. forrás: <https://intechopen.com/books/aquaculture-and-the-environment-a-shared-destiny/efficacy-of-pilot-scale-wastewater-treatment-upon-a-commercial-recirculating-aquaculture-facility-ef>
- Sikora, J., Niemiec, M., Szeląg-Sikora, A., Mudryk, K., Kurpaska, S., Latała, H., & Rorat, J. (2019). *Evaluation of the properties of waste from African catfish (Clarias Gariepinus B.) farming in the context of using it for agricultural purposes*. forrás: <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-the-properties-of-waste-from-African-Sikora-Niemiec/7ac1546059a3e1b6a89d5aa0808d852227791c7b>
- Tchobanoglous, G. (ed.), Burton, F. L. (ed.), Metcalf, & Eddy Inc. (1993). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse (3rd ed.)*, New York, McGraw-Hill.
- Turcios, A. E., & Papenbrock, J. (2014). *Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future?* Sustainability, 6(2), 836-856., forrás: <https://mdpi.com/2071-1050/6/2/836>
- Varadi, L. (ed.), Bardocz, T. (ed.), Oberdieck, A. (ed.) (2009). *A fenntartható akvakultúra kézikönyve*. SustainAqua projekt, Eurofish International Organisation, Copenhagen (Denmark) eng. forrás: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015021332>

Yeo, S. E.; Binkowski, F. P.; and Morris, J. E. (2001). *Aquaculture Effluents and Waste By-Products Characteristics, Potential Recovery, and Beneficial Reuse*. NCRAC Technical Bulletins. 6. forrás: [http://lib.dr.iastate.edu/ncrac\\_techbulletins/6](http://lib.dr.iastate.edu/ncrac_techbulletins/6)

Zhou, Q.H. & Xu, Dong & He, Feng & Cheng, Shui-Ping & Liang, Wei & du, Cheng & Wu, Zhen-Bin. (2010). *Vertical-Flow Constructed Wetlands Applied in a Recirculating Aquaculture System for Channel Catfish Culture: Effects on Water Quality and Zooplankton*. Polish Journal of Environmental Studies. 19.  
forrás: [https://www.researchgate.net/publication/268002624\\_Vertical-Flow\\_Constructed\\_Wetlands\\_Applied\\_in\\_a\\_Recirculating\\_Aquaculture\\_System\\_for\\_Channel\\_Catfish\\_Culture\\_Effects\\_on\\_Water\\_Quality\\_and\\_Zooplankton/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/268002624_Vertical-Flow_Constructed_Wetlands_Applied_in_a_Recirculating_Aquaculture_System_for_Channel_Catfish_Culture_Effects_on_Water_Quality_and_Zooplankton/citation/download)