

Óbudai Egyetem

RS Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar

Környezetmérnöki Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**Kis- és közepes eleveniszapos szennyvíztisztító
telepek költséghatékonyságának fejlesztése a
Solymári Szennyvíztisztító Telep példáján**

Szerző:

Jászay Tamás

Környezetmérnök szak, III. évfolyam

Konzulens:

Bodáné Dr. Kendrovics Rita

adjunktus

Tartalom

I. Bevezetés	3
II. A Solymári Szennyvíztisztító Telep bemutatása	5
III. Az Ammóniaszint szabályozása.....	10
3.1. Ammóniummérő berendezések.....	11
3.1.1 Az ammónium koncentráció mérése a telepen.....	12
3.2 Oxigénszint szabályozás	14
3.3. Az ammónium szabályozás programterve	17
3.4. Az ammónium szabályozás hatása az üzemeltetési költségekre	17
IV. A foszfor mennyiségi szabályozása	20
4.1 A foszforeltávolítás szabályozása	21
4.1.1 Foszfor tömegáram.....	22
4.1.2 A szennyvíz foszfor koncentrációja	23
4.1.3 A szennyvíz pH értéke	24
4.1.4 A foszforeltávolítás hatásfoka.....	25
4.2 A foszforeltávolítás gazdaságossága.....	27
V. Összefoglalás.....	29
VI. Köszönetnyilvánítás	30
IRODALOMJEGYZÉK:.....	31
Melléklet.....	33

I. Bevezetés

Hazánkban a Víz Keretirányelv kapcsán végzett állapotértékelések eredményeit a 2010-ben elfogadott Vízgyűjtő-gazdálkodási Tervben rögzítették. Az elvégzett vizsgálatok végeredménye azt mutatja, hogy a vízfolyások több mint 90 %-a nem éri el a jó ökológiai állapotot. (1. táblázat) A legtöbb felszíni víz a mérsékelt kategóriába tartozik, melynek okai között említhetők a nem megfelelő hidromorfológiai hatások, a vízbe vezetett szervesanyag és az ezzel összefüggő tápanyagterhelés, melynek mintegy 60 %-a származik tisztított kommunális szennyvízből. Ez különösen a kis vízhozamú, időszakos jellegű kisvízfolyások vízminőségi állapotára jelent veszélyt, és akadályozza meg a jó ökológiai állapot kialakulását [1].

Vízfolyások (869 db víztest) minősítésének elemei	kiváló db / %	jó db / %	mérsékelt db / %	gyenge db / %	rossz db / %	adathiány db / %
Ökológiai állapot/potenciál	0/0	68/8	295/34	184/21	37/4	285/33
Kémiai állapot		29/3	26/3			814/94
Összesített állapot	0/0	5/1	39/4	10/1	0/0	815/94

1. táblázat: Vízfolyások VGT szerinti minősítésének eredménye [2].

A Magyarországon működő 667 db kommunális szennyvíztisztító telepből mintegy 25 db minősül jelentősnek, mivel kapacitása meghaladja a 100.000 lakos egyenértéket. Ez azt jelenti, hogy a keletkezett szennyvíz kezelésében a kisebb kapacitású telepek nagyobb arányban vesznek részt és a szennyvíz mintegy 51,6 %-át tisztítják [3]. Ezeknek a telepeknek a működését Európa szerte kibocsátási határértékeken alapuló, befogadóra specifikált szigorú környezetvédelmi törvények szabályozzák a fentebb említett káros hatások megelőzése érdekében. Hazánkban a 28/2004 (XII.25.) KvVM rendelet szerint kell az előírt határértékeket betartani, hogy a felszíni vizek terhelésében jelentős hányadot képviselő tisztított szennyvizek a befogadó ökológiai egyensúlyát és ezzel az öntisztulási folyamatokat ne zavarják meg. A szennyvíztisztító elsőrendű feladata, hogy ezeket a szigorú határértékeket betartsa, de ezt a legoptimálisabb üzemi körülmények között — mely a gazdasági kérdéseket is érinti — igyekszik megvalósítani, hiszen a tisztítás során felhasznált energia csökkentése környezetvédelmi szempontból is fontos.

A telepek gazdasági hatékonyságát két fő tényező befolyásolja. A technológiai háttér és a mérőberendezések minősége. A technológiai háttér fejlesztéséhez szükséges forrásokat a lakossági szennyvízdíjak emelése nélkül csak a rendelkezésre álló technológia üzemeltetésének optimalizálásával lehet elérni.

A Solymári Szennyvíztisztító Telepen végzett termelési gyakorlatom (2012) során így célt az volt, hogy a befogadóra előírt határértékek betartása mellett a telep energiafelhasználásában olyan beavatkozási lehetőségeket keressek, melyekkel a telep jövőbeni gazdaságosabb működtetése megvalósulhat.

A szennyvíztisztító telepen az energiafelhasználás három fő összetevője, a biológiai medencék légbefúvóinak, az átemelő szivattyúknak és a kezelő épületek áramfogyasztása. Ezek közül a légbefúvók és az átemelők fogyasztása a meghatározó. Az átemelő szivattyúk energiaigénye technológiai intézkedésekkel nem csökkenthető, mivel az átemelendő szennyvíz mennyiségét csökkenteni nem lehet. A szennyvízben található ammóniaszint folyamatos monitorozásával azonban elkerülhető a légbefúvók fölösleges járatása és ezzel jelentős energia takarítható meg.

Munkám során ezen kívül több olyan költségcsökkentési pontot is meghatároztam, melyek újragondolásával, fejlesztésével a jövőben jelentős megtakarítás érhető el a technológia üzemeltetése során, példaként szolgálva a hasonló kapacitású telepek számára is.

II. A Solymári Szennyvíztisztító Telep bemutatása

A '70-es években épített egymedencés, mechanikai tisztítást végző telep üzemeltetését 1995-ben a Közcsat Szennyvízelvezetési és Szennyvízkezelési Kft. vette át azzal a célkitűzéssel, hogy Solymár és Pilisszentiván községeken keletkező kommunális szennyvíz hatékony, biológiai úton is történő szennyvízkezelését megvalósítsa.

A telep névleges kapacitása 2005 óta $2400 \text{ m}^3/\text{nap}$, a befolyó szennyvíz átlagos napi értéke $1696 \text{ m}^3/\text{nap}$. 2000-ben egy újabb kapacitásbővítéssel napjainkban a telep 3000 m^3 szennyvíz tisztítását végzi a biológiai tisztítást tápanyageltávolítással is kiegészítve. Évente a telepen $8\,000 \text{ m}^3$ szippantott szennyvíz kezelését is megvalósítják. [4]

A telepen eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítást alkalmaznak, melynek első lépcsőfoka a rácsszűrés (1. kép).



1. kép: Rácsszűrő a Solymári Szennyvíztisztító Telepen (2012. 09.16.)

Amikor a befolyó szennyvíz eléri a vészszintet az elégtelen átfolyás miatt — a rácson átfolyhatatlanná válik a kiszűrt szennyezőanyagok miatt — a rácsforgató motor átcsereéli a tisztító és a fogadó részen lévő rácscsereleket, ezzel megváltoztatva az átfolyás ellenállását, ami így a vészszint alá csökken. Az így mechanikusan megszűrt szennyvíz átkerül a központi átemelőbe, ahonnan folytatja útját a homok- és zsírfogó medencébe (2. kép).



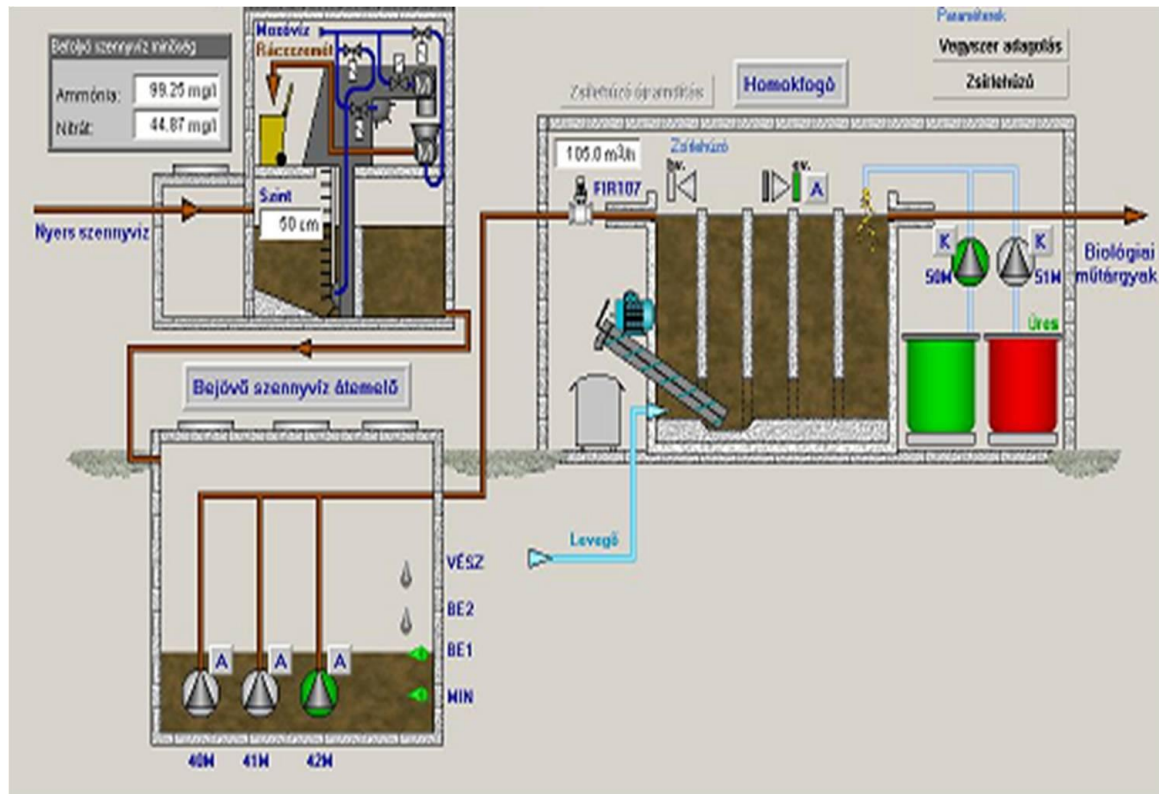
2. kép: Homokfogó medence (2012.09.16.)

A homokfogó medencében a levegő buborékokra adszorbeált zsírok, olajok a víz felszínén habot képeznek, amit egy automata zsírlehúzó segítségével leválasztanak, és külön gyűjtenek, majd elszállítanak. A nagy sűrűségű homokszemcsék a medence alján lévő zsompba (3. kép) ülepednek le, ahonnan azt eltávolítják, majd konténerekben tárolást követően elszállítják a telepről.



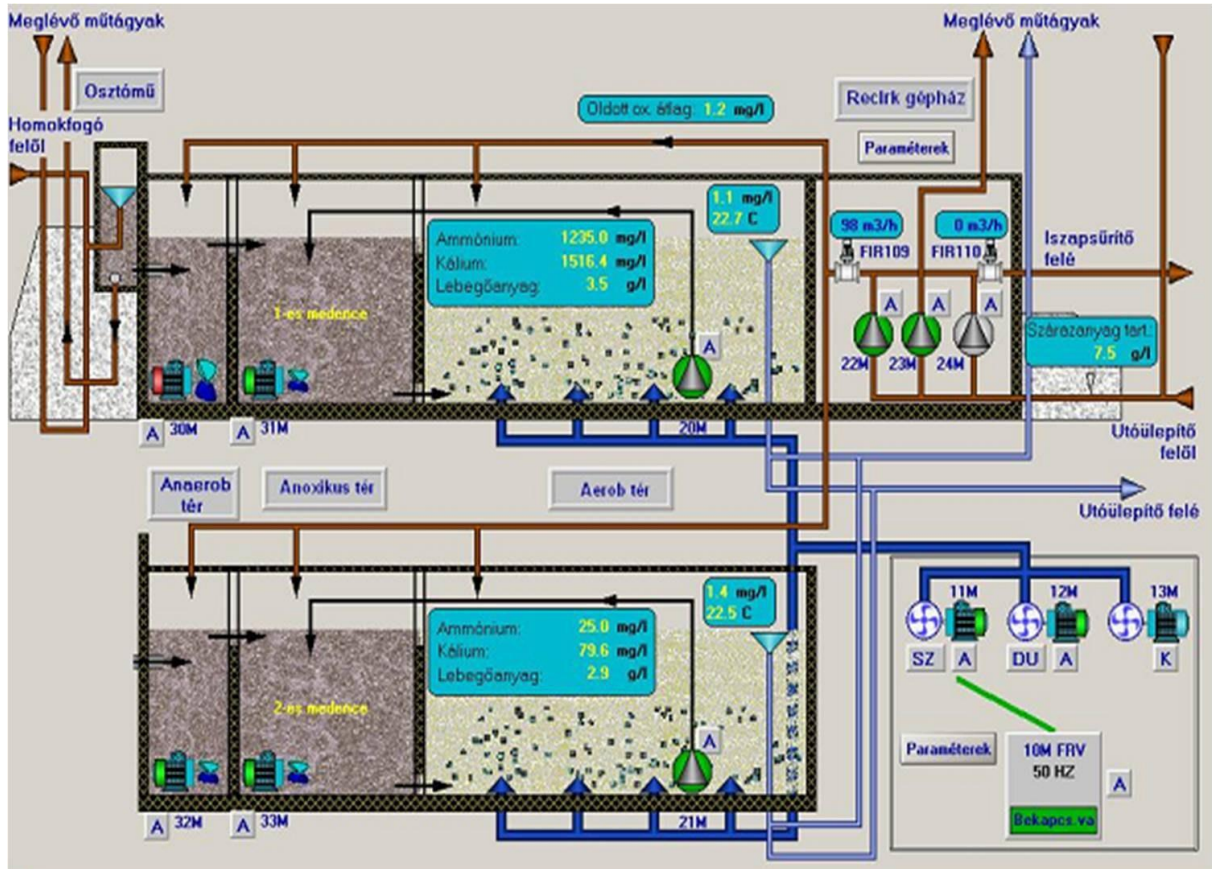
3. kép: Kiülepedett homok eltávolítása (2012.11.09.)

Az I. fokú mechanikai tisztítás technológiai folyamatábráját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: Mechanikai tisztítás a Solymári Szennyvíztisztító Telepen [5]

A homokfogó medencéből a szennyvíz az anaerob medencébe áramlik, ahol a biológiai foszfor eltávolítás kulcsfontosságú folyamatai az utóülepítőből recirkuláltatott iszapban (nitrátmentes) lévő mikroorganizmusok által végbemennek. Innen kerül át az anoxikus térbe, ahol az érkező szennyvíznek a nitrogén eltávolítása zajlik. Az ehhez szükséges eleveniszapot az utóülepítőből és a levegőztető medencéből szállítják oda. (2. ábra)



2. ábra: Biológiai tisztítási fokozat [5]

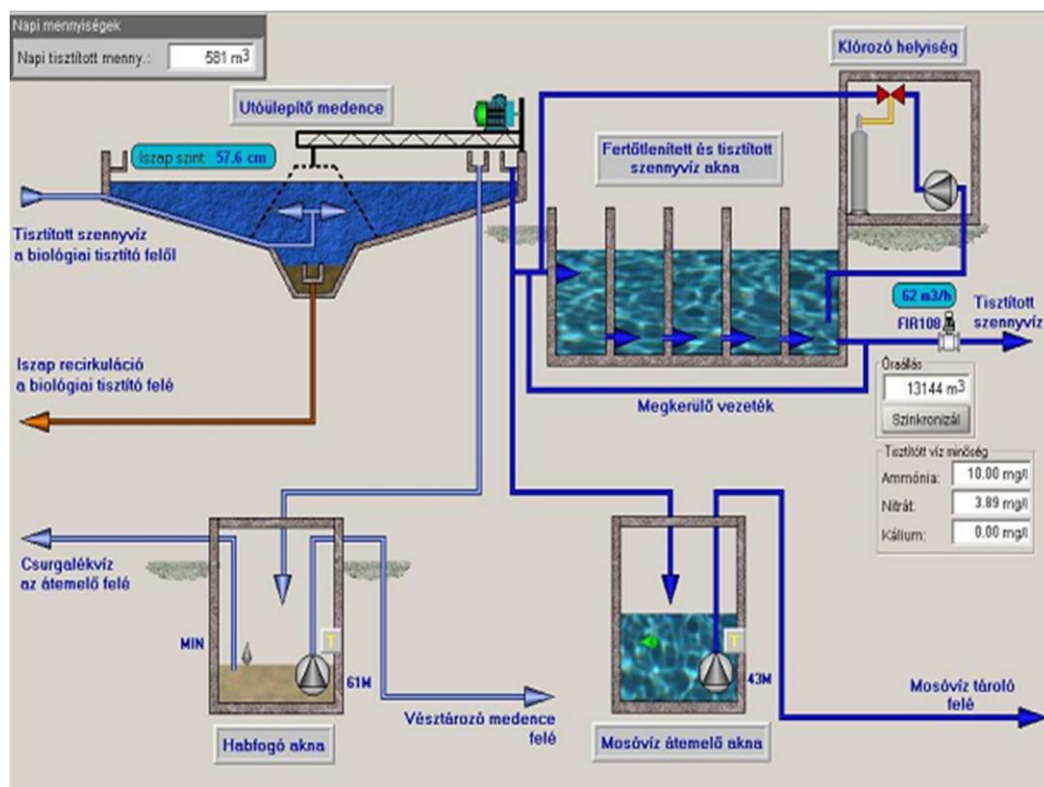
Anoxikus körülmények között a szerves szubsztrátum heterotróf baktériumok általi lebontásánál az oxigén helyett a nitrát az e^- akceptor. A folyamatban a nitrátot átalakítják saját esszenciális fehérjékké, szervesen nitrogénné (N_2) és széndioxid (CO_2) gázzá.

A szennyvíz maradék ammónium tartalmát a levegőztető medencében (4. kép) alakítják nitráttá a mikroorganizmusok, továbbá elindul a fokozott foszforfelvétel is.



4. kép: Biológiai medence (2012.11.09.)

A levegőztető medencéből a szennyvíz a Dorr-típusú utóülepítőbe (5. kép) áramlik, ahol a folyadék és a szilárd fázis sűrűségük következtében szétválasztódik, majd a tisztított szennyvíz a klórozó felé folyik.(3. ábra)



3. ábra: A tisztított szennyvíz útja a biológiai fokozatot követően [5]

Amennyiben az ÁNTSZ elrendeli, fertőtlenítik, ha nem szükséges, akkor azt kikerülve az Aranyhegyi-patakba vezetik. A leülepedett iszapnak egy része visszakerül a recirkulációba, egy másik része pedig távozik fölösiszap formájában az iszapsűrítők és iszapprés felé.



5. kép:Dorr-típusú utóülepítő (2012.11.09)

III. Az Ammóniaszint szabályozása

A tisztítási technológiából kikerülő szennyvíz kémiai paramétereinek az adott kapacitás függvényében a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 1. sz. mellékletében előírt technológiai határértékeknek kell megfelelni, míg a befogadóra vonatkozó határértékeket e rendelet 2. sz. melléklete rögzíti (2. táblázat).

Kiepített terhelési Kapacitás [LEÉ]	Dikromátos oxigénfogyasztás KOI _k [mg/l]	Biokémiai oxigénigény BOI ₅ [mg/l]	Összes lebegőanyag [mg/l]	Összes foszfor (öP) [mg/l]	Összes nitrogén (ön) [mg/l]		Ammóni- um-N [NH ₄ -N mg/l]
					V. 1- jéától XI. 15-ig	XI. 16- tól IV. 30-ig	
Technológiai határérték	125	25	35	80% 2(1)	15	25	-
Kibocsátási határérték	75	25	50	5	25(2)	25(2)	5(2)

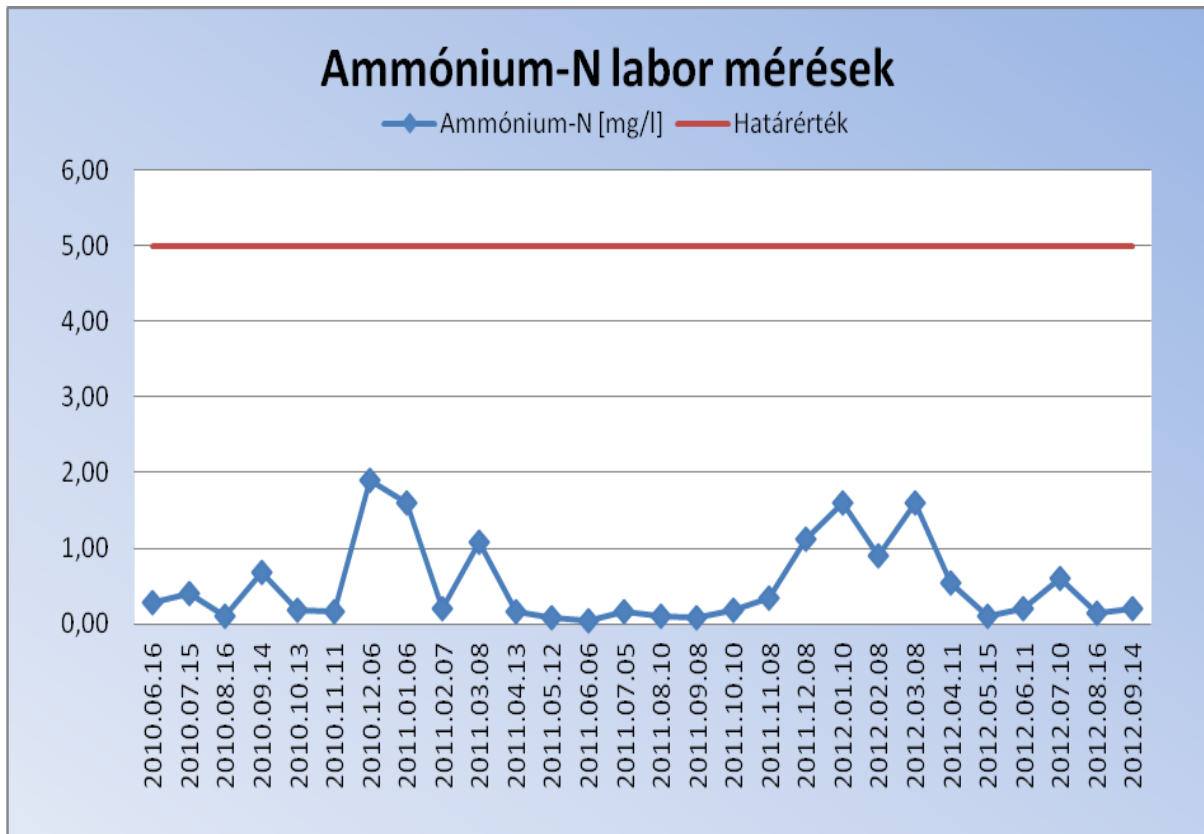
2. táblázat: 28/2004. XII. 25. KvVm rendelet által előírt határértékek

(1): A határérték a 240/2000. (XII.25.) Korm. rendelet szerinti érzékeny és a 49/2001. (IV.3.) Korm. rendelet szerinti nitrát érzékeny területeken kell betartani

(2): A határérték a nem nitrát érzékeny területeken kétszeres

A Solymári Szennyvíztisztító Telepről kibocsájtott tisztított szennyvíz ammóniára vonatkozó határértéke 10 mg/l, mivel a befogadó vízgyűjtő területe a vonatkozó rendeletek alapján nem nitrátérzékeny. Mivel a tisztító különösen ügyel a befogadó vízminőségének megóvására, ezért célul tűzte ki az 5 mg/l-es határérték betartását.

A környezetbe kijuttatott szervesanyag (KOI_k), összes foszfor (öP) és az összes szerves nitrogén (ön) után a 2003. évi LXXXIX. törvény 2. sz. melléklete alapján környezetterhelési díjat kell fizetnie a szennyvíztisztítónak. Ezt az adót a vízterhelő anyag évenkénti kibocsátott teljes mennyiségének tömege után fizeti a szennyvíztisztító, melyhez szükséges méréseket havonta akkreditált laborban – régebben a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Nonprofit kft.-nél (VITUKI), jelenleg a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt.-nél (DMRV) – végzik el. A 2010-2012 közötti időszak kötelező havi mérései során a tisztított szennyvíz ammónium koncentrációjára vonatkozó adatokat az 1. diagram szemlélteti. (A diagram részletes adat-táblázata a melléklet 1. táblázatban található.)



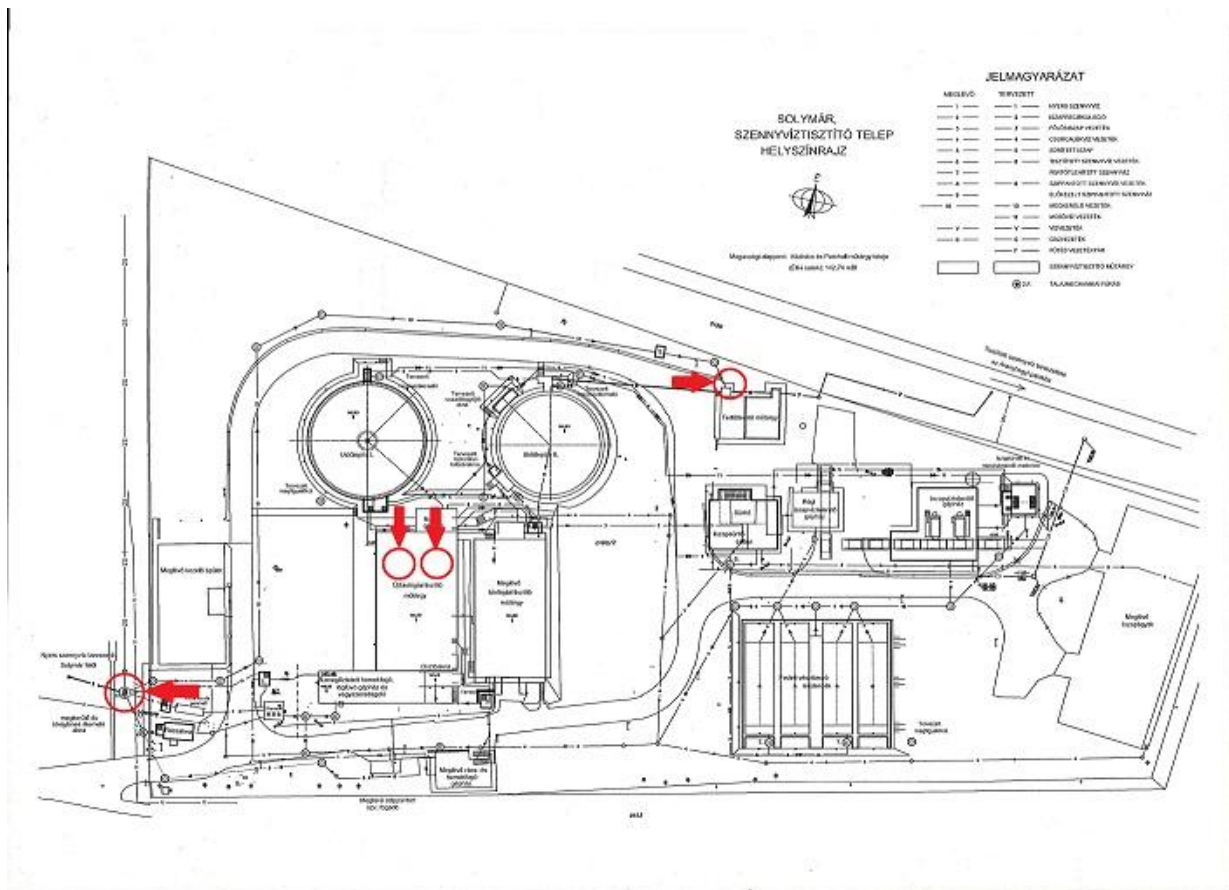
1. diagram: Solymári Szennyvíztisztító Telep tisztított szennyvizének havi kötelező laboratóriumi ammónium mérése

A diagram jól mutatja, hogy az utóbbi években a kibocsájtott tisztított szennyvíz ammónium értékei messze határérték alattiak, mely a rendszer túlszabályozottságára utal.

3.1. Ammóniummérő berendezések

A túlszabályozás legvalószínűbb oka a telepen működő mérőberendezések nem megfelelő kalibrálása. Ennek hiányában nem lehet a programvezérelt oxigénszabályozásba beleavatkozni mindaddig, amíg a műszerek nem tudnak valós idejűen úgy mérni, hogy a maximális eltérés 10-20%-on belül maradjon. Így a szabályozással kapcsolatos első feladat a műszerek helyes működésének ellenőrzése, és szükség esetén kalibrálásuk.

A vizsgált telepen, három helyen, összesen négy mérőműszer található, egy a befolyó szennyvíz aknájában, kettő az aerob medencékben, egy pedig az elfolyó szennyvíz aknájában méri az ammónia szintet (4. ábra).



4. ábra: Mérőműszerek helye (piros nyíllal jelölve)

Az érzékelők valós idejű mérést garantálnak 0,2-1000 mg/l-es méréstartományon belül. A műszer a mérést az érzékelő patronján lévő három ion-szelektív elektróda segítségével végzi, melyek az ammóniumot, káliumot és egyéb zavaró anyagokat érzékelik. A szonda ammónium elektródája nem 100 %-osan szelektív, ezért szükséges a többi adat a koncentráció meghatározásához [6]. A műszereket többször, többféle módon kalibráltam, sajnos sikertelenül, végül a gyártó cég szervizszolgálatához fordultam. Méréseik alapján megállapítást nyert, hogy a mérőpatronok egyike sem szolgáltat helyes adatokat, és javításukra nincsen mód. Ezen adatok birtokában kezdeményeztem a pótalkatrészek beszerzését.

3.1.1 Az ammónium koncentráció mérése a telepen

Mérőműszer által szolgáltatott adatok hiányában manuális ammóniumszint mérő módszerekhez kellett folyamodnom. A telep laboratóriumában az ammónium mérésére két módszer áll rendelkezésre, egy küvetás spektrofotométer, és egy kolorimetriás módszer. A spektrofotométer esetében, míg a mért eredmény a mérési tartományon belül van, a pontosság

kielégítő, ha azonban a tartományon kívül van, a mérési eredmény nem értékelhető. Mivel a laborban található mérőműszer alsó mérési határa 2 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$, az én mérési eredményeim átlagértéke pedig az aerob medencében 1-1,5 mg/l, ill. az utóülepítőben 0-0,5 mg/l, a spektrofotométeres mérési eljárást nem alkalmazhattam. (6. kép)



6. kép: Spektrofotométer (2012.11.09.)

A másik lehetőség a kolorimetriás módszer, amelynél a mintába három reagenst kell csepegtetni, majd a reakció után az elszíneződés mértékét egy előre elkészített színskálához kell hasonlítani, melynek felső mérési határértéke 7,8 mg/l. (7. kép)

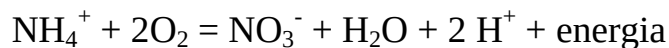


7. kép: Kolorimetriás színskála (2012.11.09.)

Ugyan a szabad szemmel végzett összehasonlítás nem biztosítja a legnagyobb pontosságú koncentráció adatokat, de még ilyen pontosság mellett is bizonyos, hogy a mért adatok biztosan nem haladták meg az 5 mg/l-es határértéket (lsd. 3. táblázat 3.2. fejezet).

3.2 Oxigénszint szabályozás

A szennyvíztisztítás biológiai fokozatában az ammónia átalakulása a nitrifikációs folyamatban történik meg, melyet a szennyvízben lévő mikroorganizmusok végeznek megfelelő mennyiségű oldott oxigén jelenlétében. A két baktériumcsoport — ammóniumoxidáló (pl. Nitrosomonas) és a nitrtoxidáló (pl. Nitroobacter)— anyagcseréjének kémiai leírását az alábbi összevont képlet mutatja [7]:

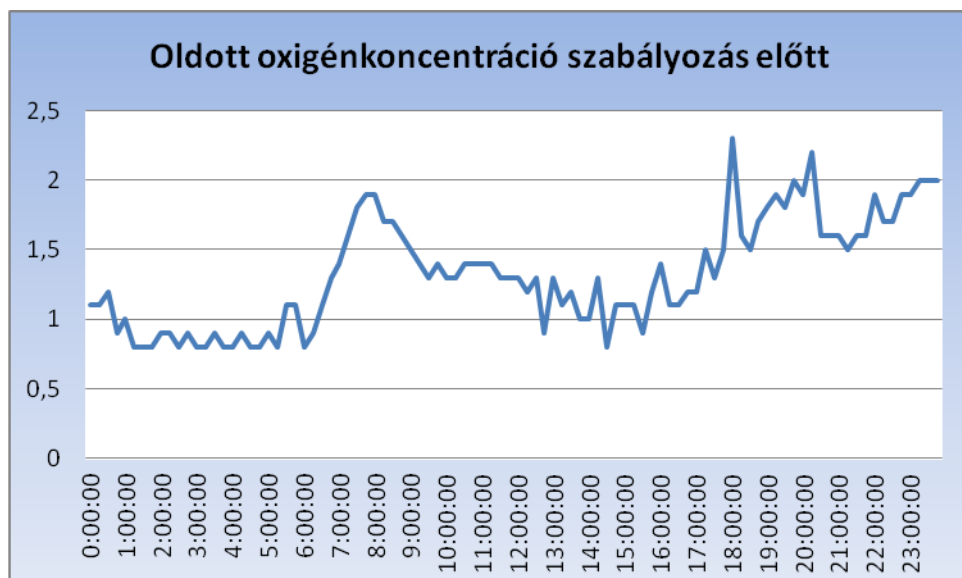


A fenti reakció az aerob medencében megy végbe, melyhez a szükséges oxigént a légbefúvó berendezések biztosítják. A levegő befúvatását egy PLC vezérli, ami egy alsó és egy felső érték között tartja az aerob medencékben az oldott oxigén koncentrációt. (8. kép)



8. kép: Levegőbefúvó berendezések a solymári telepen (2012.09.16)

Ezeket keresztül a medencében biztosított visszamért oxigénkoncentrációt az oxigénbevitel és az oxigénfogyasztás különbsége adja meg, melynek ajánlott értéke szakirodalmi adatok szerint 0,5-2,0 mg/l. Azonban, ha az oxigén koncentráció meghaladja a 2 mg/l-es értéket a tisztítás hatásfoka nem növekszik [8]. A telepen a két aerob medencébe a folytonos ellenőrzés végett oldott oxigénmérő berendezéseket telepítettek. A 2. diagram a levegőztető medencékben mért oldott oxigénkoncentrációkat mutatja a szabályozás előtti (2012. 06.11.) napon. (Diagram adatai melléklet 2. táblázat)



2. diagram: Oldott oxigénkoncentráció az aerob medencékben szabályozás előtt

A mérés napján az átlag oxigén szint mindkét medencében többször meghaladta az ajánlott maximum 2 mg/l-es értéket és e mellett nagy kilengéseket tapasztaltam.

A mért értékek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az oxigénszint csökkentésével is tudjuk biztosítani a vállalt ammónium határértéket, így ennek bizonyítására 2012. 06. 28-án elvégeztem a szükséges beavatkozást reggel 9 órakor. Az oxigén befűvókat úgy állítottam be, hogy az oldott oxigénszint a levegőztető medencében a korábbi 1,1-1,4 mg/l helyett 0,5-0,8 mg/l legyen.

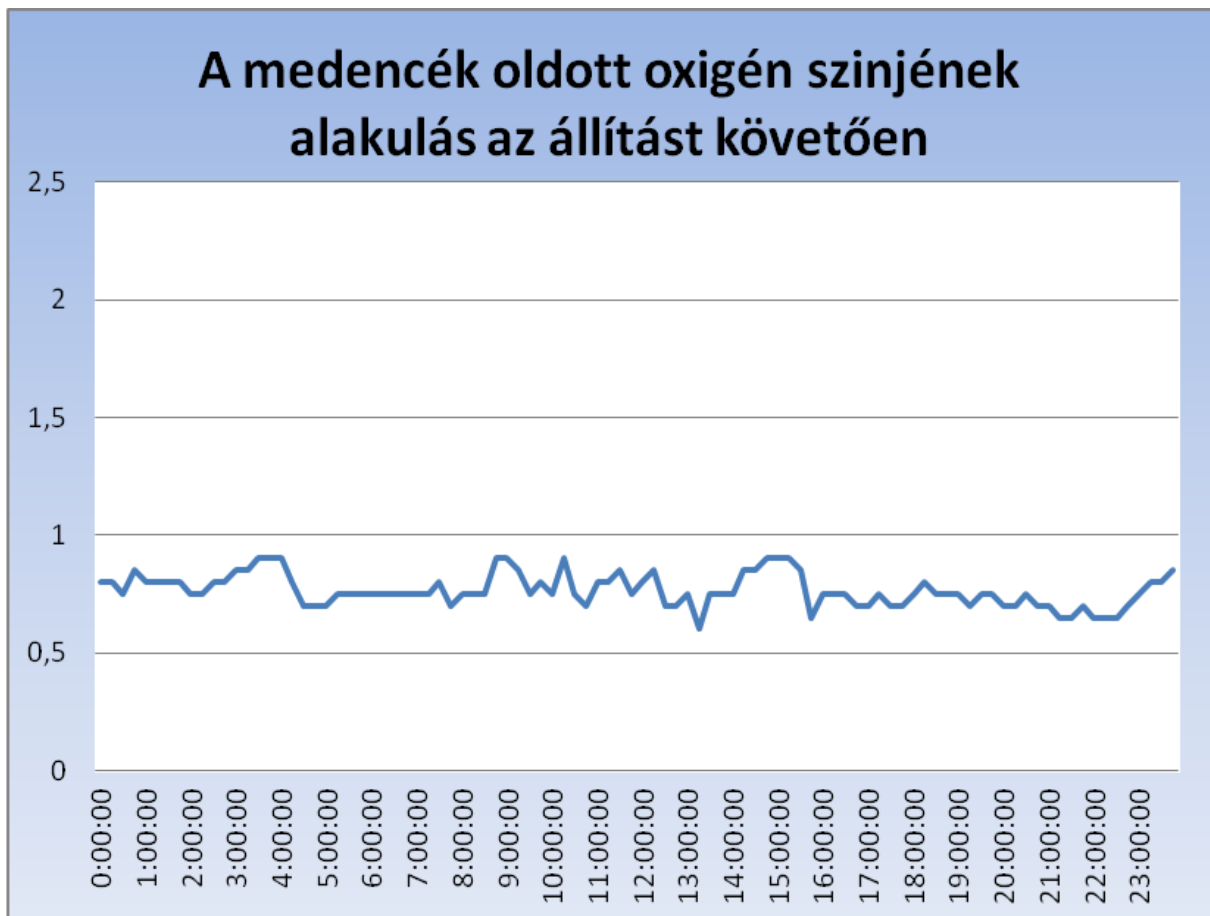
A szabályozást követően az ammónium és oxigén koncentrációkat manuális mérésekkel óránként ellenőriztem, hogy kizárjam az érzékelők megbízhatatlanságából eredő hibákat. A mérés során kapott ammónium koncentrációkat a 3. táblázat mutatja.

Időpont	1. medence [mg/l oldott ammónium-N]	2. medence [mg/l oldott ammónium-N]	utóülepítő [mg/l oldott ammónium-N]
2012.06.28			
9:00	0,5-1	0,5-1	<0,5
10:00	2	3	<0,5
11:00	2-3	1-2	0,5
12:00	3	2	0,5

3. táblázat: Az oxigénszint állítás utána manuális óránként mérések

A mérési adatok ugyan a szabályozás előtti állapothoz képest megnövekedett ammónium szinteket mutatnak, viszont a szennyvíztisztító telepről kifolyó tisztított szennyvíz ammónium értéke még így is messze a határérték alatt van, annak mintegy tized, illetve a vállalt 2 mg/l negyed része mindösszesen.

A szabályozás során pozitív eredményként könyveltem el, hogy a korábbi oxigénkoncentráció kilengések is megszűntek, az oxigénkoncentráció stabilizálódott 0,5-0,9 mg/l értékek között (3. diagram és melléklet 2. táblázat).



3. diagram: Oldott oxigénkoncentráció a szabályozást követően

Az oxigénszint visszaszabályozásának hatására 2-3 nap múlva megfigyelhető volt a felúszások csökkenése, és a lebegőanyag tartalom visszaesése. Ennek lehetséges magyarázata a túlzott levegőztetés hatására létrejövő turbulencia okozta nyíróerő-szint csökkenése [9]. Továbbá a mért értékek bizonyítják, hogy kisebb oxigénszint mellett is biztosítható a kifolyó szennyvíz határérték alatti ammónium koncentrációja. Ennek kapcsán javaslatot tettem a rendszer új oxigénszinttel történő működtetésére. A mérés óta eltelt időtartam alatt a rendszer e beállítás mellett működik, de az őszi és téli hidegebb hőmérsékletre való tekintettel a 0,5-0,8

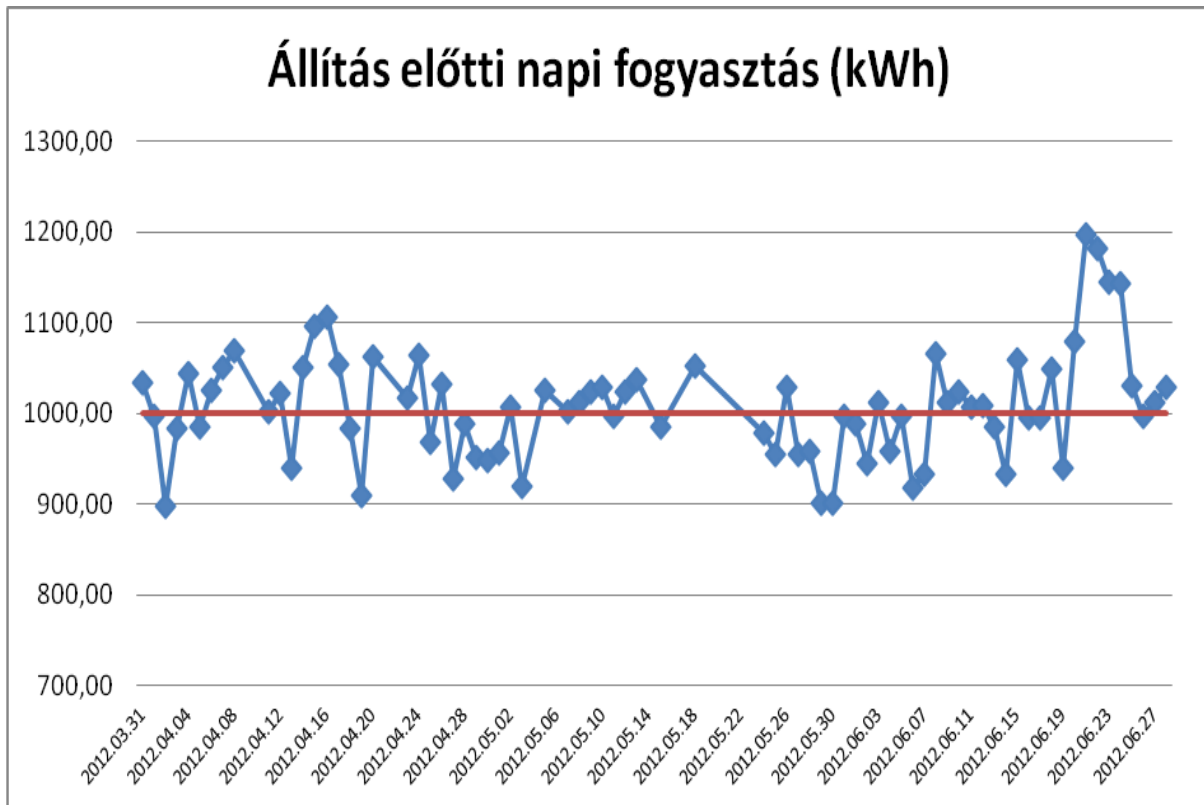
mg/l szintet 0,7-1 mg/l-re szabályoztuk át. A rendszer ellenőrzése végett heti rendszerességgel ellenőrzöm az ammónium és oxigén koncentrációkat.

3.3. Az ammónium szabályozás programterve

A levegőztető működtetését a jövőben automatikusan vezérlő számítógépes program kidolgozása nagypontosságú mérőműszerekkel mért hosszú távú mérési adatokat igényel. Mivel jelenleg a telepen a mérési háttér nem a legmegfelelőbb, ezért olyan vezérlést kell megvalósítani, mellyel nagy ammónium koncentrációbeli kilengéseket is lehet kompenzálni (pl. szippantott szennyvíz beengedése a rendszerbe, csúcsfogyasztási időszak), amellet, hogy az energiafelhasználás a korábbi beállításoknál lényegesen kedvezőbb legyen. Az általam javasolt levegőztetést irányító rendszer a levegőztető medencékben lévő ammónium szintet figyeli, és ha a koncentráció értékek a választható paraméter fölé emelkednek az alapjárat kb. 0,5-0,8 mg/l oxigénszintről átvált a 2 befúvó maximális teljesítményen való üzemelésére, kb. 2,1-2,5 mg/l koncentrációra. A növekvő ammónium koncentrációnál az elérhető maximális oxigénszint folyamatosan csökken, mert a baktériumok fogyasztási igénye megnő. Kisebb terhelésnél a befúvók alapjáraton üzemelnek, így csökkentve az igényeknek megfelelő energiafelhasználást.

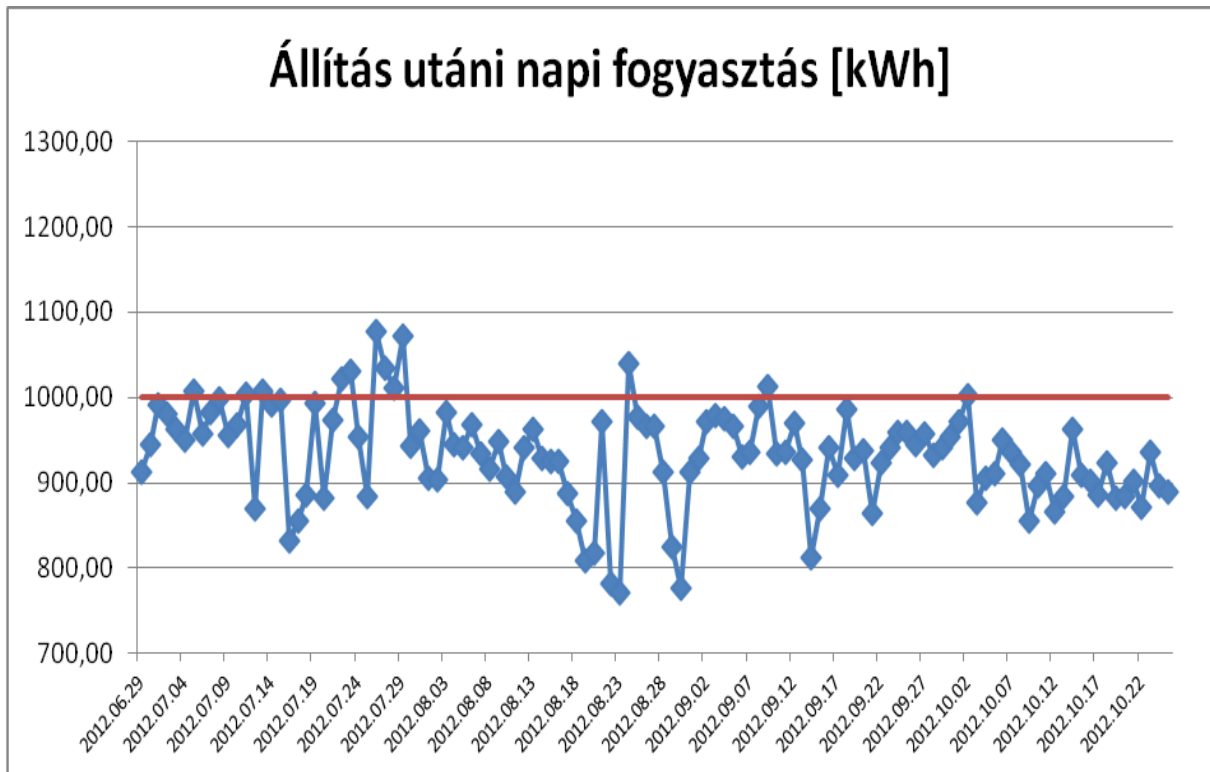
3.4. Az ammónium szabályozás hatása az üzemeltetési költségekre

A szennyvíztisztító igen jelentős elektromos energia fogyasztását elsősorban a levegőbefúvó berendezések jelentik, de e mellett számolni kell a szivattyúk, átemelők energiafelhasználásával is. Ezt figyelembe véve a költséghatékonyság javításának egyik fontos eleme lehetne a levegőbefúvatás optimalizálása. Ezt jól mutatja a szabályozás előtti és utáni energiafogyasztás mennyiségi összehasonlítása is. (4-5. diagram és melléklet 3. táblázat) A diagramok készítéséhez szükséges adatokat a telepen az ELMŰ által üzemeltetett mérőberendezésekről olvastam le.



4. diagram: Oxigén szint állítás előtti napi fogyasztások (2012.03.31-2012.06.27)

Az állítás előtt a napi átlagfogyasztás a 2 mg/l feletti folyamatos oldott oxigénszint mellett 1008,02 kWh/nap, míg az átállítás után a napi átlag 933,08 kWh/nap szintre csökkent, ami 7,43%-os energia megtakarítást jelent. E mellett további eredmény, hogy csökken a légbefúvók üzemóraszámja is, ami szervizköltség megtakarítást is eredményez. A levegőztetés során korábban alkalmazott szabályozás mellett a három légbefúvó berendezésből 2 szabályozás alatti, míg a harmadik használaton kívül volt. A két befúvóból az egyik maximális teljesítmény mellett működött (50 Hz), míg a másik 25-50 Hz között. A kisebb frekvencián történő üzemeltetés is jelentős energiafogyasztást jelentett, ugyanis 25 Hz-en is közel annyi az energiafogyasztás, mint 50 Hz-en, vagyis nem ez jelenti az energiafogyasztás optimalizálását. Az általam javasolt oxigénszint értékek beállításával a PLC vezérlés a befúvók üzemeltetését a következőképpen változtatta meg: az alacsony vízfogyasztási órákban csak egy fúvóka üzemelt közel maximális teljesítményen, majd csúcsidőben a második is bekapcsolt, de csak a szükséges oxigénszint eléréséig fogyasztva az energiát, majd automatikusan kikapcsolt. Így értem el a célként kitűzött csökkenő energiafogyasztást.

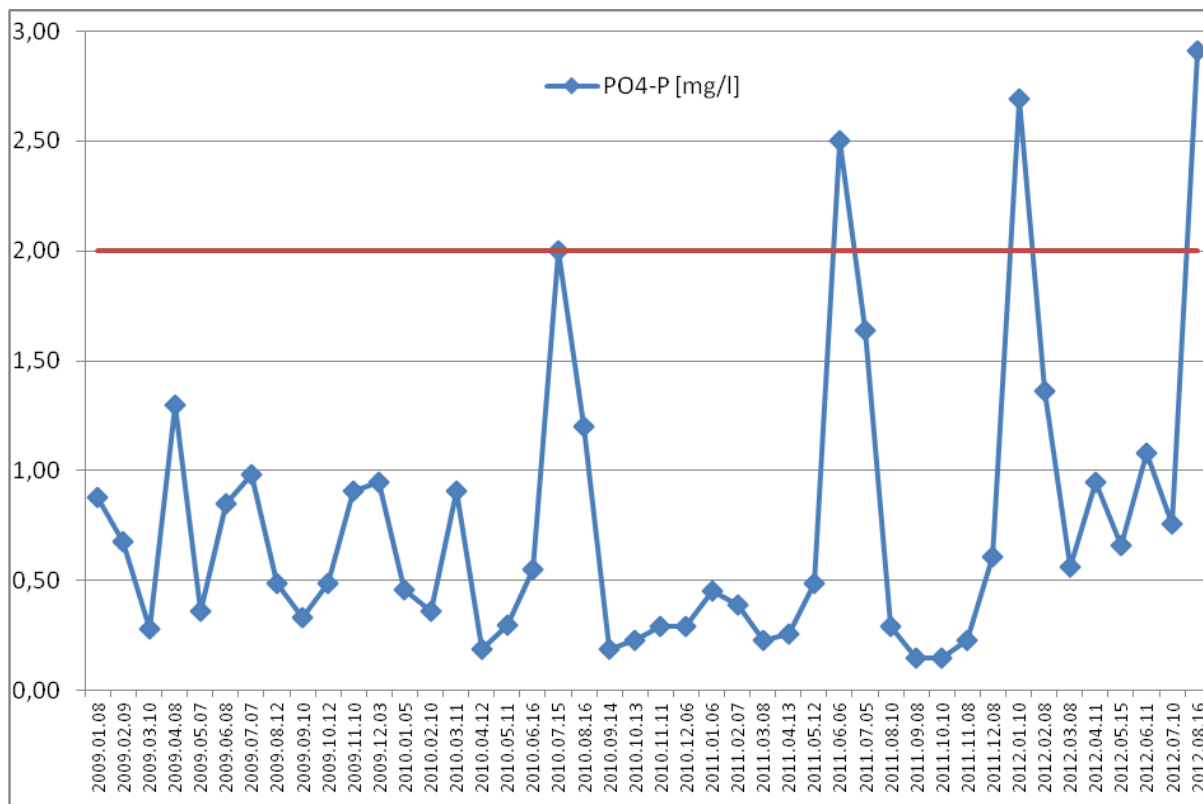


5. diagram: Az oxigén szabályzás utáni napi fogyasztások 2012.06.29-2012.10.22

Már az eddig elért eredmények sem elhanyagolhatóak, de igazi megtakarítást az ammóniaszint mérők beszerzése után a légbefúvókat vezérlő PLC-k átprogramozása jelentheti, amikor a vezérlő rendszer input-ja nem az oldott oxigén szint, hanem közvetlenül az ammónium. Így a rendszerbe oxigén csak abban az esetben kerül bevitelre, ha azt a szennyvízben lévő ammónium mennyisége szükségessé teszi, és ennek arányában tudja mindig az szükséges oxigénmennyiséget szabályozni.

IV. A foszfor mennyiségi szabályozása

A 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 1. számú melléklete a szennyvízkibocsátók számára a foszfor technológiai kibocsátási határértékét 2 mg/l koncentrációban írja elő, amennyiben a terület érzékeny, illetve nitrátérzékeny kategóriába tartozik. Mivel az Aranyhegyi-patak vízgyűjtőterületét a vonatkozó rendeletek — 240/2000. (XII. 25.) Korm. rendelet és 49/2001. (IV. 3.) Korm. rend. — nem minősítik érzékenynek, így a szennyvíztisztítónak a területi, illetve egyedi besorolásra megadott határértékeket kell betartania. A fent említett rendelet 2. sz. melléklete szerint a területi kibocsátási határérték 5 mg/l az időszakos vízfolyások számára [10]. A Solymári Szennyvíztisztító Telep azonban a foszfor környezetterhelő hatását figyelembe véve úgy döntött, hogy a pilisvörösvári szennyvíztelepre hatóság által egyedi elbírálásban kiszabott 2 mg/l-es határértéknek tesz eleget éves átlagkibocsátásban az ehhez szükséges anyagi forrásokat nem kímélve [11]. (6. diagram és melléklet 4. táblázat)



6. diagram: Foszfor kibocsátási koncentrációk a Solymári Szennyvíztisztító Telepen 2009 – 2012 között

A diagram mutatja, hogy kevés kivétellel a mért adatok jóval a 2 mg/l határérték alatt maradtak, vagyis az eltávolításhoz használt vegyszer adagolása bizonyos időszakokban túlzott mennyiségű, míg a kiugró értékek arra hívják fel a figyelmet, hogy ezekben az esetekben viszont a 2mg/l-es érték megtartásához még szükséges lett volna vegyszeradagolás. Ennek a magyarázata, hogy a befolyó szennyvíz foszfor tömegárama folyamatosan változik, viszont a telepen működő vegyszeradagoló (9. kép) automatikusan nem szabályozható, így folyamatos beállítást igényel a mért paraméterek függvényében.



9. kép: Foszforeltávolítás vegyszeradagolójának szabályozó egysége (2012.11.09)

A vegyszeradagolón két állítható paraméter van, az egyik az adagolás frekvenciája, a másik pedig az adagolt vegyszer mennyisége (0-100%). A beállítás maximumán (100-100%) 32 l/h vegyszert fecskendez, és ennek negyedrésszére, vagyis 8 l/h mennyiségre állították be az adagolást beüzemeléskor. Ez eredményezte, hogy a 2011.10.10-2012.04.11 közötti időszakban összesen 20 693 kg vegyszert használtak fel 281 025 m³ szennyvízben. Mivel az adagolás folytonos és állandó volt, a rendszer nem tette lehetővé a folyamatosan változó befolyó szennyvíz mennyiségéhez való alkalmazkodást. Minél több ugyanis a befolyó szennyvíz annál jobban csökken az iszap és a szennyvíz kontaktideje, amivel egyre inkább csökken az iszap és a vegyszer által felvett foszfor mennyisége, így nő az elfolyó szennyvíz foszfortartalma.

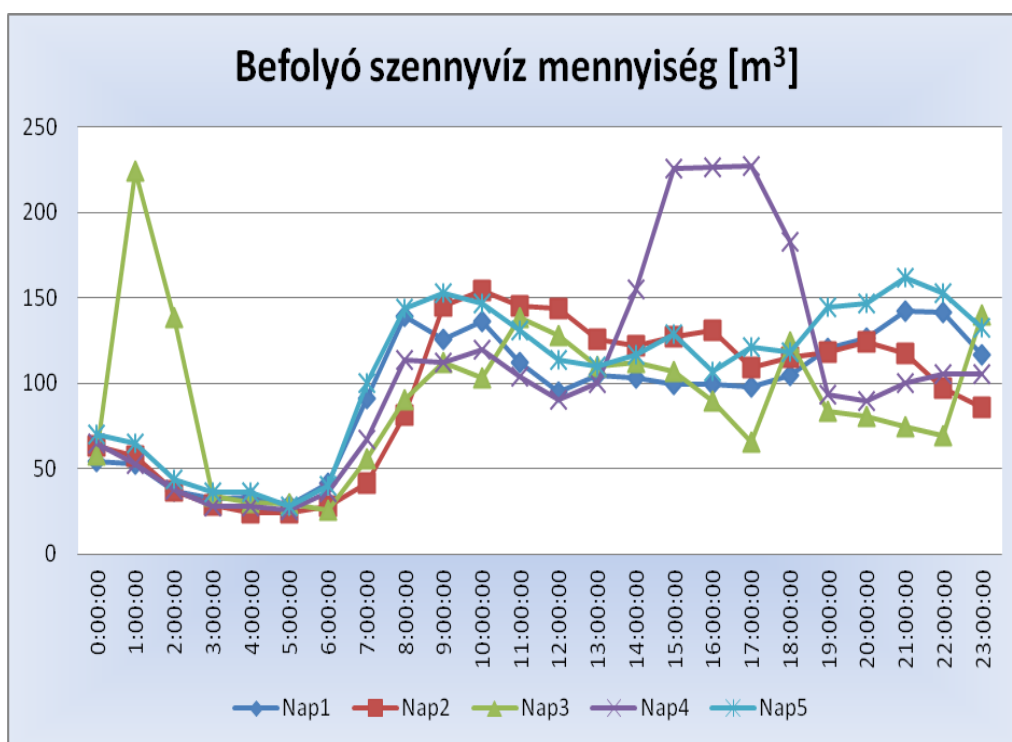
4.1 A foszforeltávolítás szabályozása

A foszfor eltávolításának folyamatszabályozásához a következő adatokra van szükség:

- a befolyó szennyvízhozam,
- a szennyvíz foszfor koncentrációja,
- a szippantott szennyvíz minőségi adatai (a biológiát befolyásoló tényezők: só tartalom, pH, foszfor koncentráció), a pH, és a kémiai,
- valamint a biológiai eltávolítási hatások. [12]

4.1.1 Foszfor tömegáram

A telepre befolyó szennyvíz mennyisége függ az évszaktól, az újabb bekötésektől, a fogyasztói szokások alakulásától és a lehulló csapadék mennyiségétől. Ezeknek a paramétereknek — az esőzések mennyiségét figyelmen kívül hagyva — a változása igen csekély. (7. diagram és melléklet 5. táblázat)



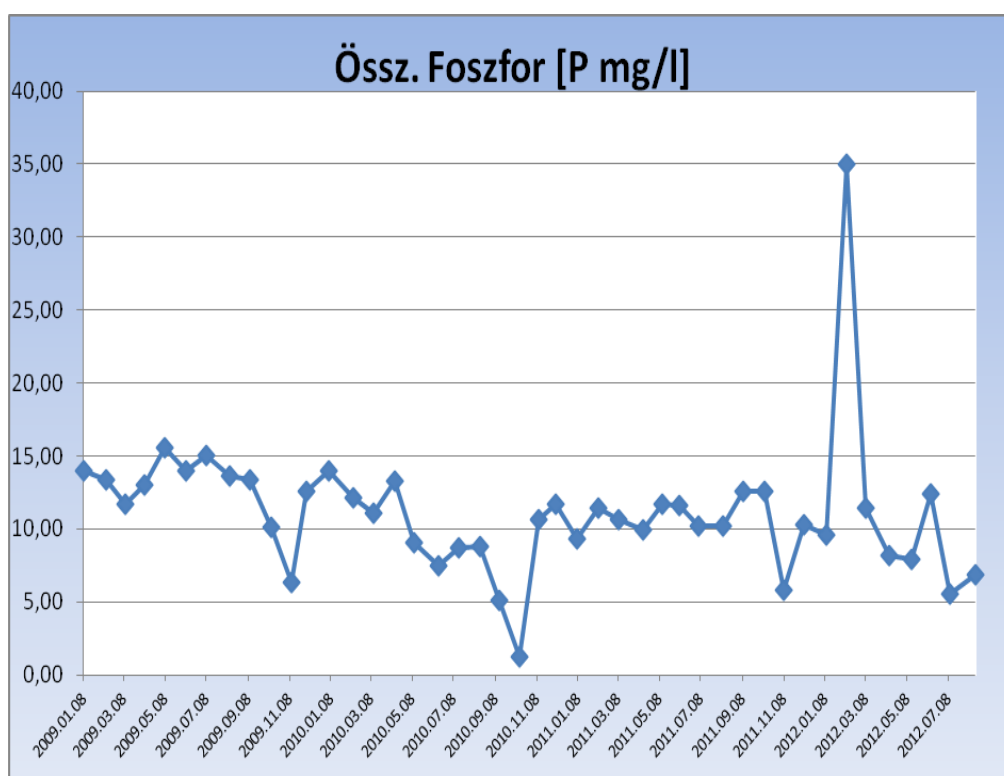
7. diagram: A befolyó szennyvíz mennyiségének változása 5 véletlenszerűen kiválasztott nap mérési adatai alapján

A diagram jól mutatja a vízfogyasztás trendjét, a reggeli és a kora esti csúcsokat. Az ábrázolt függvény adott időponthoz tartozó mennyiségi értéke határozza meg a hozzáadagolt vegyszer mennyiségét. Jól látszik, hogy a 2:00-5:00 és a 10:00-12:00 óra közötti intervallumokban felhasznált vegyszer a kb. 6-szoros szennyvízmennyiség alakulását követve arányaiban

ugyanennyi kell, hogy legyen. A diagramon a 3. és a 4. napi kiugró mennyiségeket az aznap lehullott csapadék okozta, ugyanis a szennyvíztisztító telepek egyik fő problémáját jelenti a háztartások esővíz elvezetésének helytelen, engedély nélküli csatornára való rákötése. Ennek a problémának a megoldására léteznek ellenőrzési módszerek, de a telep vezetése még csak egyszer tett próbálkozást a szabálysértők kiszűrésére. Egy jól és biztosan működő tisztítási rendszer érdekében ezt a problémát is a jövőben a telepnek meg kell oldania.

4.1.2 A szennyvíz foszfor koncentrációja

A kommunális szennyvíz foszfortartalmát a különféle mosó- és tisztítószeres, az ember szervezetében végbemenő kiválasztási folyamat eredményeként létrejövő vizelet és a lehetséges ipari szennyvíz bevezetések adják. Mivel a mosó- és tisztító szerek felhasználását és az emberi kibocsátásokat egységesnek vehetjük napról-napra, ezért az ingadozásért (8. diagram és melléklet 6. táblázat) leginkább felelőssé a csatornahálózatba előzetes tisztítást követően bevezetett ipari jellegű szennyvíz tehető.



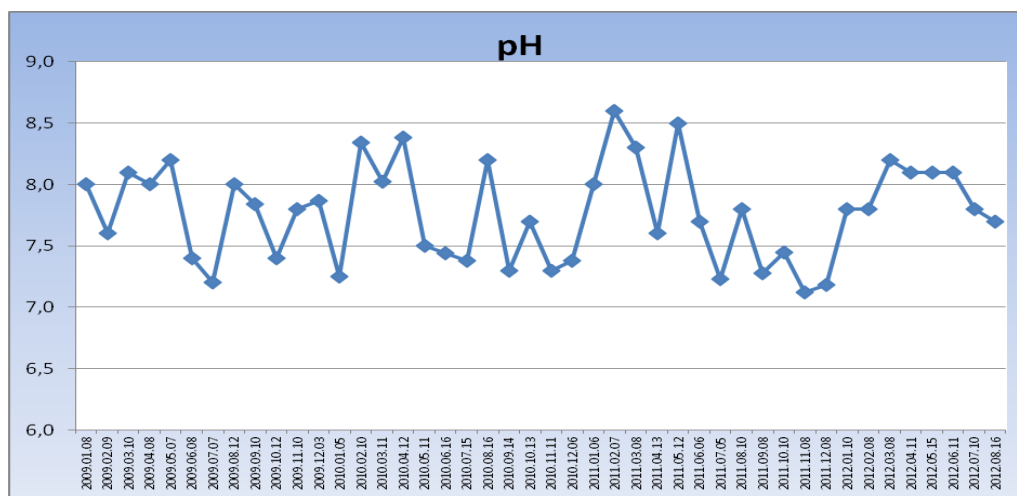
8. diagram: A tisztító telepre befolyó szennyvíz kötelező havi mérései során kapott foszfor koncentrációk 2009-2012 között

A diagramban nem fedezhető fel szabályszerű változás, amiből következik, hogy a foszfor kibocsátások tekintetében a jövőben pontosabb meghatározások szükségesek. Ehhez javaslatot tettem a telep vezetőjének, hogy a jövőbeni teendők közé illessze be a csatornarendszer átemelőin keresztül jövő szennyvíz foszfortartalmának vizsgálatát. Az így kapott adatok segítenek eldönteni, hogy mi, illetve ki okozza a foszformennyiségek szabálytalan alakulását. Ha a kutatás sikerrel jár, jogilag kötelezni lehet a kibocsátót a helyi előkezelésre, ami stabilitást hozhat a tisztító foszfor tömegáramában.

A tisztítótelep szippantott szennyvíz fogadására és tisztítására is alkalmas, viszont ennek mennyisége és minősége befolyásolhatja a tisztítás hatékonyságát. Ezért folyamatos minőségi ellenőrzésére is javaslatot tettem. Ennek során kapott adatok függvényében a szabályozás során beállított értékek módosítható felmerülhet. Ez is alátámasztja azt a solymári stratégiát, miszerint a jövőben inkább a szennyvízhálózat rákötéseinek a számát lenne célszerű növelni és ezáltal csökkenteni a szippantós autókkal szállított szennyvíz mennyiségét. A tisztítótelep eddig nem tartotta szükségszerűnek bírság kiszabását ezen a téren, annak ellenére, hogy a tisztító történelmében már volt szükség a sok rossz minőségű szennyvíz miatti recirkuláltatott iszap cseréjére.

4.1.3 A szennyvíz pH értéke

A befolyó szennyvíz pH-ja a Solymári Szennyvíztisztító Telepen kiemelkedően jónak mondható. A kötelező havi mérések adatai értékét stabilnak mutatják hosszú távon is (9. diagram és melléklet 7. táblázat).



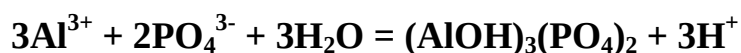
9. diagram: A solymári szennyvíztisztítóba befolyó szennyvíz pH értékének alakulása 2009-2012 között

A tisztítás folyamatában a beadagolt vegyszernek és a biológiai fokozatban résztvevő mikroorganizmusoknak a legmegfelelőbb a semleges pH tartomány. A solymári szennyvíz mérési adatai enyhén lúgos pH-t mutatnak. A mérési eredmények viszont hosszú távon sem változnak többe, mint 1,5, így a szennyvizet stabilnak tekinthetjük e szabályozási szémszögből.

4.1.4 A foszforeltávolítás hatásfoka

A solymári telepen az Unichem Kft. végezte el a szennyvíz foszfortalanításához szükséges analízist és az ennek során kapott eredmények alapján határozták meg a legmegfelelőbb kémiai tisztításért felelős vegyszert. A választás az UNIPAC (polialumínium-klorid) koagulálószerre esett, melynek mennyiségét is meghatározta a cég, vállalva, hogy a kifolyó szennyvíz foszfor koncentrációja nem fogja meghaladni a tisztító által meghatározott 2 mg/l-es határértéket.

A tisztítótelepen a foszforeltávolítás a kémiai foszfor kicsapásra épül, ahogy az alábbi képlet is mutatja. [13]



Az $(\text{AlOH})_3(\text{PO}_4)_2$ kolloid méretet elérő komplex, ami így már ülepedésre képes.

A kémiai eltávolítás hatékonyságát meghatározza az adagolás helye, az elkeveredés mértéke, a kontaktidő és a kiülepedés mértéke, de leginkább a bevezetés helyén múlik, hiszen ez befolyásolja az összes többi jellemzőt is. A solymári telepen a vegyszeradagolás a homok- és zsírfogó medencékbe történik, ahonnan folytatja az útját a biológiai tisztító műtárgyba, és végül az utóülepítőben ülepedik ki. Erre az adagolási folyamatra egyetlen vonatkozó szakirodalomban sem találtam példát. E tény, továbbá a felhasznált nagy mennyiségű vegyszer kapcsán arra a következtetésre jutottam, hogy célszerű lenne az adagolás helyét megváltoztatni.

A szakirodalom a vegyszeres foszfor kicsapás három változatát különbözteti meg: elő-, a szimultán és az utókicsapás. Mivel az elő- és utókicsapásnak megfelelő műtárgy igénye van, ezért a szimultán kicsapás lehetne az egyetlen optimálisan alkalmazható technológia, mely során a vegyszert közvetlenül a levegőztető medencébe vezetik, ezzel nagyon jó

elkeveredést biztosítva, majd az utóülepítőben a keletkezett foszforban gazdag csapadék kiülepszik [14].

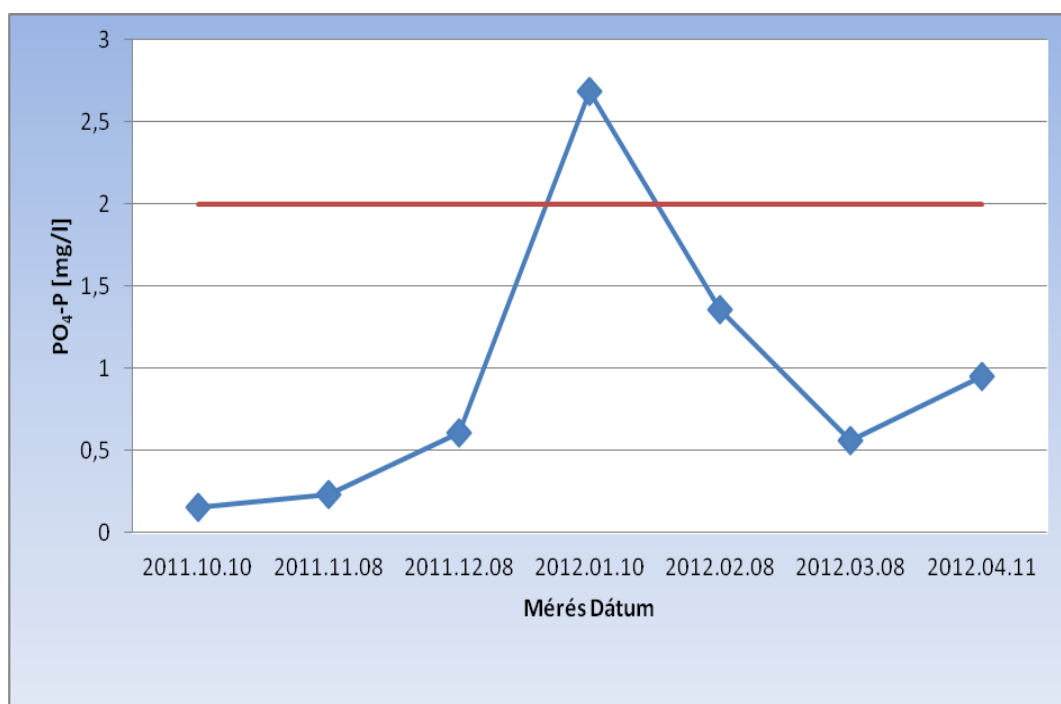
A jelenleg alkalmazott vegyszerbevitel helyett — mely során a homokfogóból kifolyó szennyvízbe juttatják a koagulánst — kellene szimultán módszerre váltani, ami feltételezhetően vegyszerigény csökkenést és kevesebb iszap keletkezését eredményezné [14]. Ennek igazolására javaslatot tettem a telep vezetőjének, hogy végezzük el a szükséges átalakításokat és amennyiben csökkenne a tisztítási hatásfok a rendszert visszaállítjuk a régre. Ennek megvalósítása jelenleg folyamatban van, mérhető adatok így még nem állnak rendelkezésre.

A biológiai szennyvíztisztítás során a recirkuláltatott iszap mennyisége és minősége is befolyásolhatja a kifolyó szennyvíz foszfortartalmát. A medencékben a tápanyagot lebontó baktériumok anyagcsere folyamatai hatására foszfort is fogyasztanak, ami a sejtjeikbe beépül, és így a szennyvíz oldott foszfor koncentrációját csökkentik. Ezért a biológiai tisztítás hatásfoka a megfelelő arányú szervesanyag tartalomra maximalizálódhat, és így elérheti a 40%-ot is. Ha ez a folyamat – a foszfor biológiai úton történő eltávolítása — már egy anaerob és anoxikus térrel rendelkező eleveniszapos szennyvíztisztítóban játszódik le, mint a solymári telep, ott a baktériumok az anaerob térben először leadják a sejtjeikben található foszfort, majd később az anoxikus, ill. oxikus térben megtörténik a fokozott foszforfelvétel. Egy jó minőségű tisztítóban az átlagos kommunális szennyvizek körülbelüli 10 mg/l-es foszfortartalmát 2 mg/l-re le lehet vinni ezzel az eljárással. Ehhez a megfelelő recirkuláltatott iszap mennyiségét kell biztosítani úgy, hogy a lebontható tápanyag mennyisége és az oldott oxigén szint elegendő legyen. A folyamatot befolyásolja a hőmérséklet, az iszapkor, valamint a pH értéke is [15]. Ezek a körülmények amennyiben nem megfelelőek a mikroorganizmusok anyagcsere folyamataira mind negatív hatással vannak. A hőmérséklet és a nem megfelelő pH szint az összes anyagcsere folyamatot lassítja, ezért a recirkuláltatott iszap mennyiségét úgy kell megválasztani, hogy ezeket a hatásokat kompenzálni tudja. Az iszapkor, azaz a levegőztető medencében az eleveniszap tartózkodási idejének növekedése esetén a mikroorganizmusoknak az anyagcsere folyamataira szánt idő növekszik, és ezzel a tisztítás hatásfoka is. A megfelelő biológiai tisztítás eléréséhez az összes adat birtokában kell lenni, hogy biztosítani lehessen a maximális tisztítást. [14]

4.2 A foszforeltávolítás gazdaságossága

A Solymári Szennyvíztisztító Telepen, mint általában az eleveniszapos szennyvíztisztítóknál a biológiai és a vegyszeres foszforeltávolítást együttesen alkalmazzák. Ennek köszönhetően az elmúlt évek során egyszer sem lépték túl a rendeletben előírt 5 mg/l-es határértéket. A kibocsájtott foszfor után fizetett környezetterhelési díj minimális, mivel a tisztító a saját magára kiszabott 2 mg/l-es kibocsátást célozta meg. Az ehhez szükséges vegyszerfelhasználása azonban igen magas. Ezért felmerült a kérdés, hogy gazdaságilag melyik éri meg jobban, ha továbbra is magasabb vegyszerköltséggel dolgoznak, vagy kevesebb vegyszerrel, de így több környezetterhelési díjat fizetve. Ebben a döntési folyamatban feladatom volt megtalálni azt a lehetőség szerinti legmegfelelőbb vegyszermennyiséget, ahol a környezetterhelés és a vegyszerköltségek összege a lehető legkisebb. A számításokhoz egy fél éves ciklus adatait vettem figyelembe, melyhez rendelkezésre álltak a megfelelő pénzügyi költségek is.

Az 10. diagram 2011.10.10-2012.04.11. időpontok között a kötelező labormérések során kapott tisztított szennyvíz foszfortartalmának koncentrációértékeit mutatja be.



10. diagram: Foszfortartalom kötelező havi méréseinek adatai 2011.11.10 és 2012.04.11 között

A vizsgálat időtartam alatt a szennyvíztisztítóba befolyt szennyvíz mennyiségét a 4. táblázat mutatja.

Időszak	Befolyt szennyvíz mennyisége [m ³]
2011.10.10-2011.11.08	41 498
2011.11.09-2012.12.08	44 782
2011.12.09-2012.01.10	53 556
2012.01.11-2012.02.08	44 123
2012.02.09-2012.03.08	45 506
2012.03.09-2012.04.11	51 560
Összesen:	281 025

4. táblázat: A vizsgált időszak alatt a telep által fogadott szennyvíz mennyisége havi bontásban

A vizsgált időszak alatt a telepre összesen beérkező 281 025 m³ szennyvízben 360,36 kg foszfort mutattak ki a vizsgálati eredmények. Ez átlag koncentrációban a vizsgált időszakra 1,28 mg/l-es eredményt ad. Ezen időszak alatt a foszforeltávolításhoz elhasznált összes vegyszer mennyisége az Unichem Kft. számlái alapján 20 693 kg (ára 87 Ft/kg). A telep ezen idő alatt környezetterhelési díjként (foszfor környezetterhelési díja 1500 Ft/kg [16]) és vegyszerköltséggént összesen:

$360,36 \text{ kg} \times 1500 \text{ Ft/kg} + 20\,693 \text{ kg} \times 87 \text{ Ft/kg} = 2\,340\,831 \text{ Ft}$ összeget fizetett ki.

A szennyvíz foszfortartalmának és eltávolításának kapcsán fizetett költségek nagyobb hányadát, 76,9 %-át a vegyszerköltség teszi ki. Amennyiben a vegyszerköltséget is környezetterhelési díjként számolom el, akkor a tisztított szennyvízben az adott időszak alatt (annak mennyiségeit figyelembe véve) összesen 1560,554 kg foszfor lehetne, melynek átlag koncentráció értéke 5,55 mg/l. Ebből az következik, hogyha a vegyszer nélküli tisztítási folyamat képes lenne 5,55 mg/l alá vinni a foszfor koncentrációt, ahogy a szakirodalmak állítják, akkor a vegyszer adagolás optimuma az egyéni határérték — 2 mg/l — lenne, mivel a vegyszeres eltávolításnak nagyobb a fajlagos költsége a környezetterhelési adónál. Így a jövőben meg lehetne célozni a 2 mg/l-es határértékhez nagyon közeli kibocsátást.

V. Összefoglalás

A dolgozat olyan gyakorlati tapasztalatokat és ezeken alapuló költséghatékonyságot javító intézkedések leírását tartalmazza, melyek segítségével bármely hasonló feltételek mellett működő szennyvíztelep is optimalizálhatja, továbbfejlesztheti saját technológiáját. Az ammóniumszint szabályozás a biológiai medencébe jutatott oxigén gazdaságos befűvésével, így a csökkenő energiafelhasználással, míg a foszfor szabályozása a vegyszerköltségek optimalizálásával csökkenthetik a tisztító üzemi költségeit.

A szennyvízdíjnak tartalmaznia kell a tisztító fenntartási költségeit, a dolgozók bérköltségét, valamint a környezetterhelési adót. Ezen költségtypusok közül a fenntartási/üzemeltetési költség az egyetlen, amely a technológiai folyamat végiggondolásával, megfelelő mérésen alapuló vezérlési rendszerek alkalmazásával, ill. a vegyszerfelhasználás optimalizálásával jelentősen csökkenthető, megteremtve így a további fejlesztések anyagi bázisát.

A gyakorlaton elvégzett munka színvonala alapján a Solymári Szennyvíztisztító Telep vezetője részmunkaidős pozíciót ajánlott számomra, melynek révén megfigyelhetem a tisztító télen nyújtott teljesítményét is, és mérések alapján optimalizálhatom azt. A foszforeltávolításra alkalmazott eljárásban vegyszeradagolás áthelyezésének eredményeit figyelemmel kísérhetem, egyidejűleg lehetőségem nyílik az ammóniaszint szabályozó programtervem megvalósulásának nyomon követésére is.

A tisztító az általam javasolt változtatásokkal az elmúlt félév során kisebb üzemeltetési költségekkel, de a határértékek betartásával valósította meg a beérkező kommunális szennyvíz tisztítását. A befogadó Aranyhegyi-patak ökológiai egyensúlyát nem megzavarva teljesíti feladatát.

VI. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm mindazok segítségét, akik nélkül ez a TDK dolgozat nem jöhetett volna létre.

Elsőként köszönetet szeretnék mondani Bodáné Dr. Kendrovics Rita Tanárnőnek, aki az első kapcsolatfelvételtől folyamatosan támogatott és dolgozatom konzulenseként értékes szakmai tanácsokkal látott el.

Köszönettel tartozom Hamvas Márton Úrnak, a Solymári Szennyvíztisztító ügyvezető igazgatójának, aki a kezdetektől bizalommal fordult felém, biztosította a méréseimhez szükséges feltételeket, végül munkalehetőséget ajánlott nyári gyakorlatom befejezése után is, hogy az általam javasolt technológiai változtatások eredményét nyomon követhessem, ill. a további fejlesztéseknek is részese lehessenek.

Végül köszönöm a szennyvíztelep dolgozóinak segítőkészségüket, hogy bármilyen problémámmal hozzájuk fordulhattam.

IRODALOMJEGYZÉK:

1. Bodáné Kendrovics Rita: Vízminőség-védelem gyakorlati oktatási metodika fejlesztése a műszaki felsőoktatásban (az Aranyhegyi-patak vízminőségi vizsgálatának példáján) PhD disszertáció, NyME, Sopron, 2012.
2. Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2010.
http://www.vizeink.hu/files2/100505/Orszagos_VGT0516.pdf letöltés: 2012. szeptember 22.
3. Települési Szennyvíz Információs Rendszer <http://www.teszir.hu/> letöltés: 2012.09.25.
4. Aranyhegyi-patak — Vízminőség-védelmi projekt, Projekt csoport munkaanyaga, Óbudai Egyetem RKK 2011.01.26.
5. Közcsat Szennyvízelvezetési és szennyvízkezelési Kft. Technológiai Dokumentáció 2011.
6. NH₄D sc ammóniaérzékelő Használati Útmutató
7. Kárpáti Árpád: A Szennyvíztisztítás alapjai elektronikus jegyzet NyME 2007.
<http://ttk.nyme.hu/fldi/Documents/Farsang%20%C3%81gota/V%C3%ADzkezel%C3%A9s/szennyv%C3%ADztiszt%C3%ADt%C3%A1s.pdf> letöltés: 2012. 07.12.
8. Dulovics Dezső: Kis- és közepes szennyvíztisztító rendszerek, Akadémia Eur Kft. Kiadó Bp. 2007.
9. Öllös Géza: Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése, Akadémia Kiadó Bp.,1994.
10. 28/2004. XII. 25. KvVm rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól 2. sz. melléklet
11. 14/1210/6/2008. sz. Pilisvörösvári Szennyvíztisztító Telep környezetvédelmi működési engedély, Országos környezetvédelmi, természetvédelmi és vízügyi főfelügyelőség, Bp., 2008.
12. Szabó Anita: Foszfor eltávolítás és a biológiai szennyvíztisztítás intenzifikálása kémiai előkezeléssel, Doktori (PhD) disszertáció, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Víz- és környezetmérnöki alprogram, 2006.
13. UNICHEM Kft.: Technológiák a víz-és szennyvíztisztításban, Kémiai foszfor eltávolítás fémsókkal UNICHEM Vegyipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft Kiadványa <http://www.unichem.hu/pdf/alkalmazas/4hu.pdf> letöltés: 2012.10.03.
14. Dulovics Dezső: Szennyvíztisztítás biológiája in: Szilágyi Ferenc – Orbán Vera: Alkalmazott hidrobiológia, Magyar Víziközmű Szövetség, Bp. 2007.
15. Degré András: A szennyvíztisztítás kémiai és biológiai alapjai, Akadémia Eur Kft. Bp., 2007.

16. 2003. évi LXXXIX. törvény a környezetterhelési díjról 2. számú melléklet

Melléklet

Dátum	Ammónium-N [mg/l]
2010.06.16	0,29
2010.07.15	0,41
2010.08.16	0,10
2010.09.14	0,69
2010.10.13	0,19
2010.11.11	0,17
2010.12.06	1,90
2011.01.06	1,60
2011.02.07	0,21
2011.03.08	1,09
2011.04.13	0,16
2011.05.12	0,09
2011.06.06	0,04
2011.07.05	0,17
2011.08.10	0,11
2011.09.08	0,09
2011.10.10	0,19
2011.11.08	0,34
2011.12.08	1,12
2012.01.10	1,60
2012.02.08	0,90
2012.03.08	1,60
2012.04.11	0,55
2012.05.15	0,10
2012.06.11	0,20
2012.07.10	0,60
2012.08.16	0,15
2012.09.14	0,20

(1. táblázat)

Időpont	Oldott oxigén szint alakulása az állítás előtt [mg/l]	Oldott oxigén szint alakulása az állítás után [mg/l]
0:00:00	1,1	0,8
0:15:00	1,1	0,8
0:30:00	1,2	0,75
0:45:00	0,9	0,85
1:00:00	1	0,8
1:15:00	0,8	0,8
1:30:00	0,8	0,8
1:45:00	0,8	0,8
2:00:00	0,9	0,75
2:15:00	0,9	0,75
2:30:00	0,8	0,8
2:45:00	0,9	0,8
3:00:00	0,8	0,85
3:15:00	0,8	0,85
3:30:00	0,9	0,9
3:45:00	0,8	0,9
4:00:00	0,8	0,9
4:15:00	0,9	0,8
4:30:00	0,8	0,7
4:45:00	0,8	0,7
5:00:00	0,9	0,7
5:15:00	0,8	0,75
5:30:00	1,1	0,75
5:45:00	1,1	0,75
6:00:00	0,8	0,75
6:15:00	0,9	0,75
6:30:00	1,1	0,75
6:45:00	1,3	0,75
7:00:00	1,4	0,75
7:15:00	1,6	0,75
7:30:00	1,8	0,8
7:45:00	1,9	0,7
8:00:00	1,9	0,75
8:15:00	1,7	0,75
8:30:00	1,7	0,75
8:45:00	1,6	0,9
9:00:00	1,5	0,9
9:15:00	1,4	0,85
9:30:00	1,3	0,75
9:45:00	1,4	0,8
10:00:00	1,3	0,75
10:15:00	1,3	0,9

10:30:00	1,4	0,75
10:45:00	1,4	0,7
11:00:00	1,4	0,8
11:15:00	1,4	0,8
11:30:00	1,3	0,85
11:45:00	1,3	0,75
12:00:00	1,3	0,8
12:15:00	1,2	0,85
12:30:00	1,3	0,7
12:45:00	0,9	0,7
13:00:00	1,3	0,75
13:15:00	1,1	0,6
13:30:00	1,2	0,75
13:45:00	1	0,75
14:00:00	1	0,75
14:15:00	1,3	0,85
14:30:00	0,8	0,85
14:45:00	1,1	0,9
15:00:00	1,1	0,9
15:15:00	1,1	0,9
15:30:00	0,9	0,85
15:45:00	1,2	0,65
16:00:00	1,4	0,75
16:15:00	1,1	0,75
16:30:00	1,1	0,75
16:45:00	1,2	0,7
17:00:00	1,2	0,7
17:15:00	1,5	0,75
17:30:00	1,3	0,7
17:45:00	1,5	0,7
18:00:00	2,3	0,75
18:15:00	1,6	0,8
18:30:00	1,5	0,75
18:45:00	1,7	0,75
19:00:00	1,8	0,75
19:15:00	1,9	0,7
19:30:00	1,8	0,75
19:45:00	2	0,75
20:00:00	1,9	0,7
20:15:00	2,2	0,7
20:30:00	1,6	0,75
20:45:00	1,6	0,7
21:00:00	1,6	0,7
21:15:00	1,5	0,65
21:30:00	1,6	0,65
21:45:00	1,6	0,7
22:00:00	1,9	0,65
22:15:00	1,7	0,65
22:30:00	1,7	0,65

22:45:00	1,9	0,7
23:00:00	1,9	0,75
23:15:00	2	0,8
23:30:00	2	0,8
23:45:00	2	0,85

(2.táblázat)

Dátum	Napi hatásos fogyasztás [kWh]
2012.03.31	1034,10
2012.04.01	997,00
2012.04.02	898,10
2012.04.03	984,20
2012.04.04	1044,40
2012.04.05	985,40
2012.04.06	1025,90
2012.04.07	1051,40
2012.04.08	1069,00
2012.04.11	1002,80
2012.04.12	1022,10
2012.04.13	939,80
2012.04.14	1050,10
2012.04.15	1095,80
2012.04.16	1106,00
2012.04.17	1054,50
2012.04.18	983,60
2012.04.19	909,70
2012.04.20	1062,70
2012.04.23	1017,10
2012.04.24	1063,50
2012.04.25	967,80
2012.04.26	1032,00
2012.04.27	928,30
2012.04.28	989,10
2012.04.29	951,90
2012.04.30	948,70
2012.05.01	957,30
2012.05.02	1006,60
2012.05.03	920,40
2012.05.05	1026,40
2012.05.07	1002,30
2012.05.08	1011,90
2012.05.09	1023,70
2012.05.10	1028,80
2012.05.11	997,00
2012.05.12	1024,70
2012.05.13	1036,70
2012.05.15	985,20
2012.05.18	1053,20
2012.05.24	978,90
2012.05.25	955,70
2012.05.26	1028,70

2012.05.27	955,70
2012.05.28	958,70
2012.05.29	902,00
2012.05.30	902,00
2012.05.31	996,50
2012.06.01	988,40
2012.06.02	945,80
2012.06.03	1011,90
2012.06.04	959,20
2012.06.05	997,20
2012.06.06	918,20
2012.06.07	932,90
2012.06.08	1065,30
2012.06.09	1011,70
2012.06.10	1023,80
2012.06.11	1006,30
2012.06.12	1008,00
2012.06.13	985,70
2012.06.14	933,30
2012.06.15	1059,30
2012.06.16	995,00
2012.06.17	996,00
2012.06.18	1049,00
2012.06.19	940,10
2012.06.20	1079,00
2012.06.21	1197,60
2012.06.22	1182,30
2012.06.23	1144,20
2012.06.24	1142,90
2012.06.25	1031,00
2012.06.26	997,10
2012.06.27	1012,30
2012.06.28	1028,50
2012.06.29	911,80
2012.06.30	945,70
2012.07.01	992,20
2012.07.02	981,50
2012.07.03	962,20
2012.07.04	949,70
2012.07.05	1007,20
2012.07.06	956,90
2012.07.07	982,10
2012.07.08	998,80
2012.07.09	955,70
2012.07.10	967,40
2012.07.11	1004,30
2012.07.12	869,70
2012.07.13	1007,00
2012.07.14	991,40
2012.07.15	996,90
2012.07.16	831,70
2012.07.17	854,50
2012.07.18	885,30
2012.07.19	992,30
2012.07.20	882,00
2012.07.21	973,40
2012.07.22	1021,50

2012.07.23	1030,90
2012.07.24	954,10
2012.07.25	883,90
2012.07.26	1077,40
2012.07.27	1033,70
2012.07.28	1010,80
2012.07.29	1071,40
2012.07.30	943,60
2012.07.31	961,50
2012.08.01	905,00
2012.08.02	903,00
2012.08.03	983,30
2012.08.04	945,00
2012.08.05	942,10
2012.08.06	967,80
2012.08.07	934,80
2012.08.08	916,30
2012.08.09	948,70
2012.08.10	907,60
2012.08.11	889,30
2012.08.12	941,30
2012.08.13	962,50
2012.08.14	929,20
2012.08.15	925,80
2012.08.16	925,90
2012.08.17	886,70
2012.08.18	855,40
2012.08.19	809,20
2012.08.20	817,40
2012.08.21	972,10
2012.08.22	781,50
2012.08.23	771,70
2012.08.24	1039,30
2012.08.25	976,50
2012.08.26	966,80
2012.08.27	965,60
2012.08.28	913,20
2012.08.29	824,20
2012.08.30	777,00
2012.08.31	912,50
2012.09.01	928,30
2012.09.02	971,40
2012.09.03	979,00
2012.09.04	974,70
2012.09.05	966,50
2012.09.06	930,30
2012.09.07	936,60
2012.09.08	989,70
2012.09.09	1012,70
2012.09.10	934,70
2012.09.11	936,20
2012.09.12	970,30
2012.09.13	926,40
2012.09.14	812,40
2012.09.15	869,90
2012.09.16	941,70
2012.09.17	909,60

2012.09.18	985,20
2012.09.19	928,80
2012.09.20	938,20
2012.09.21	865,10
2012.09.22	924,10
2012.09.23	942,10
2012.09.24	959,30
2012.09.25	959,60
2012.09.26	945,30
2012.09.27	957,80
2012.09.28	932,20
2012.09.29	941,70
2012.09.30	954,40
2012.10.01	971,40
2012.10.02	1001,80
2012.10.03	876,50
2012.10.04	904,90
2012.10.05	910,20
2012.10.06	949,60
2012.10.07	935,50
2012.10.08	921,60
2012.10.09	854,70
2012.10.10	896,60
2012.10.11	911,40
2012.10.12	865,20
2012.10.13	883,10
2012.10.14	962,00
2012.10.15	909,90
2012.10.16	902,60
2012.10.17	886,50
2012.10.18	923,10
2012.10.19	881,50
2012.10.20	883,50
2012.10.21	901,50
2012.10.22	872,30
2012.10.23	936,00
2012.10.24	896,70
2012.10.25	889,60

(3. táblázat)

Dátum	Összes foszfor koncentráció [mg/l]
2009.01.08	0,88
2009.02.09	0,68
2009.03.10	0,28
2009.04.08	1,30
2009.05.07	0,36
2009.06.08	0,85
2009.07.07	0,98
2009.08.12	0,49
2009.09.10	0,33
2009.10.12	0,49
2009.11.10	0,91

2009.12.03	0,95
2010.01.05	0,46
2010.02.10	0,36
2010.03.11	0,91
2010.04.12	0,19
2010.05.11	0,30
2010.06.16	0,55
2010.07.15	2,00
2010.08.16	1,20
2010.09.14	0,19
2010.10.13	0,23
2010.11.11	0,29
2010.12.06	0,29
2011.01.06	0,45
2011.02.07	0,39
2011.03.08	0,23
2011.04.13	0,26
2011.05.12	0,49
2011.06.06	2,50
2011.07.05	1,64
2011.08.10	0,29
2011.09.08	0,15
2011.10.10	0,15
2011.11.08	0,23
2011.12.08	0,61
2012.01.10	2,69
2012.02.08	1,36
2012.03.08	0,56
2012.04.11	0,95
2012.05.15	0,66
2012.06.11	1,08
2012.07.10	0,76
2012.08.16	2,91

(4. táblázat)

Időpont	Befolyt mennyiségek [m ³]				
0:00:00	54,4	63,4	58,2	64,6	69,8
1:00:00	52,6	57,4	224,5	52,9	64,6
2:00:00	37,3	37,2	138,6	37,6	43,6
3:00:00	32,3	29	33,6	28,2	36,1
4:00:00	33,4	24,2	30,3	27,8	36
5:00:00	28,9	23,9	29,6	25,7	27,9
6:00:00	41,8	27,8	26	35,9	40
7:00:00	91,2	41,5	55,6	66,8	100,3
8:00:00	139,1	81	90,5	113,8	144
9:00:00	125,9	144,9	111,8	111,9	152,6
10:00:00	136,1	154,1	103,2	119,7	147
11:00:00	111,9	145,3	138,6	103,5	131,3
12:00:00	95,1	143,4	127,8	90,1	114
13:00:00	104,6	125,4	110,2	100,1	109,8
14:00:00	102,9	122,2	112,3	154,8	116,5
15:00:00	99,1	127,5	106,7	225,8	128,3
16:00:00	99,5	130,7	89,2	226,5	107
17:00:00	97,7	109,1	65,2	227	120,8
18:00:00	104,9	114,9	123,9	182,6	118
19:00:00	120,4	118,4	83,2	93,3	144,7

20:00:00	126,6	124,1	80,5	89,7	146,4
21:00:00	142,2	117,2	74,8	100,2	162,1
22:00:00	141,4	97,2	68,9	105,2	152,5
23:00:00	116,7	85,5	139,6	105,6	132,2

(5. táblázat)

Dátum	Befolyt szennyvíz összes foszfor koncentrációja
2009.01.08	14,00
2009.02.09	13,40
2009.03.10	11,70
2009.04.08	13,00
2009.05.07	15,60
2009.06.08	14,00
2009.07.07	15,00
2009.08.12	13,60
2009.09.10	13,40
2009.10.12	10,10
2009.11.10	6,30
2009.12.03	12,60
2010.01.05	14,00
2010.02.10	12,10
2010.03.11	11,10
2010.04.12	13,30
2010.05.11	9,10
2010.06.16	7,50
2010.07.15	8,70
2010.08.16	8,80
2010.09.14	5,10
2010.10.13	1,20
2010.11.11	10,60
2010.12.06	11,70
2011.01.06	9,30
2011.02.07	11,40
2011.03.08	10,60
2011.04.13	9,90
2011.05.12	11,70
2011.06.06	11,60
2011.07.05	10,20
2011.08.10	10,20
2011.09.08	12,60
2011.10.10	12,60
2011.11.08	5,85
2011.12.08	10,30
2012.01.10	9,60
2012.02.08	35,00
2012.03.08	11,40
2012.04.11	8,20
2012.05.15	7,92
2012.06.11	12,40
2012.07.10	5,52
2012.08.16	6,90
2012.09.14	13,70

(6. táblázat)

Dátum	Befolyt szennyvíz pH-ja
2009.01.08	8,0
2009.02.09	7,6
2009.03.10	8,1
2009.04.08	8,0
2009.05.07	8,2
2009.06.08	7,4
2009.07.07	7,2
2009.08.12	8,0
2009.09.10	7,8
2009.10.12	7,4
2009.11.10	7,8
2009.12.03	7,9
2010.01.05	7,3
2010.02.10	8,3
2010.03.11	8,0
2010.04.12	8,4
2010.05.11	7,5
2010.06.16	7,4
2010.07.15	7,4
2010.08.16	8,2
2010.09.14	7,3
2010.10.13	7,7
2010.11.11	7,3
2010.12.06	7,4
2011.01.06	8,0
2011.02.07	8,6
2011.03.08	8,3
2011.04.13	7,6
2011.05.12	8,5
2011.06.06	7,7
2011.07.05	7,2
2011.08.10	7,8
2011.09.08	7,3
2011.10.10	7,5
2011.11.08	7,1
2011.12.08	7,2
2012.01.10	7,8
2012.02.08	7,8
2012.03.08	8,2
2012.04.11	8,1
2012.05.15	8,1
2012.06.11	8,1
2012.07.10	7,8
2012.08.16	7,7
2012.09.14	8,3

(7. táblázat)