



A síóagárdi gyökérmezős szennyvíztisztító telep állapotfelmérése és a fejlesztés lehetőségei

TDK DOLGOZAT



Készítette:

Lambert Anna

BME VBK MSc

Konzulens:

Dr. Szilágyi Ferenc

Egyetemi docens

BME VKKT

Laborfelkészítő:

Musa Ildikó

Laborvezető

BME VKKT

2011. 10. 23.



Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	1
2	Irodalmi áttekintés	2
2.1	Természet-közei szennyvíztisztítás	2
2.2	Típusok, módszerek.....	3
2.3	Gyökérzónás szennyvíztisztítási eljárás	4
2.3.1	Tisztítási folyamatok	4
2.3.2	Konstrukciós változatok:	6
2.3.3	Szűrőmezők tulajdonságai	9
2.3.4	Befolyó szennyvíz minősége:	11
2.3.5	Alkalmazhatóság:	12
2.3.6	Hatásfok:	12
2.3.7	Élettartam:	12
2.3.8	Költség:	13
2.3.9	Közegészségügyi elemzés:	13
2.4	Hazai gyökérzónás szennyvíztisztítók üzemelési tapasztalatai	13
3	Anyag - módszer	18
3.1	A síóagárdi szennyvíztisztító telep bemutatása	18
3.1.1	A szennyvíztisztító telep története	18
3.1.2	A síóagárdi szennyvíztisztító telep adatai	18
3.1.3	A szennyvízelvezető rendszer adatai.....	20
3.1.4	A szennyvíztisztító telep műtárgyai	20
3.1.5	A szennyvíztisztító telep tisztítási folyamata.....	21
3.1.6	A telepen keletkezett hulladékok kezelése	22
3.1.7	Önellenőrzés:	22
3.1.8	Szennyvízbírság	22
3.1.9	A szennyvíztisztító telep üzemelési tapasztalatai:	23
3.2	Mérés	24
3.2.1	Helyszíni mintavétel:	24
3.2.2	Mintavételi időpontok és körülmények	24
3.2.3	Mintavételi helyek.....	26
	Mérési módszerek, mért komponensek	26
4	Eredményekés értékelésük.....	28
4.1	Értékelés komponensenként.....	28
4.2	A szennyvíztisztító telep eltávolítási hatásfoka	34



4.3	Befolyó szennyvíz minősége	34
4.4	Előülepítő hatásfoka	35
4.4.1	Kiegyenlítő tartály	37
4.4.2	Csepegtető test	37
4.5	Szűrőmezők.....	38
4.5.1	Szűrőmezők terhelésének megoszlása.....	38
4.5.2	A szűrőmezők hatékonysága	38
4.5.3	Szűrőmezők működésének javítása.....	40
4.6	Szükséges mezőfelület a K tényező alapján:	41
4.7	A síóagárdi szennyvíztisztító telep bővítési terve	42
4.7.1	A bővítési terv értékelése.....	42
4.7.2	A bővítés megfelelő végrehajtása	43
4.7.3	Függőleges átfolyású szűrőmezők	43
4.7.4	Vízszintes átfolyású szűrőmezők	43
5	Következtetések és javaslatok.....	45
5.1	Következtetések	45
5.2	Javaslatok.....	46
6	Összefoglalás	48
7	Irodalomjegyzék.....	50
8	Mellékletek	53



Ábra és képjegyzék

Ábrák:

2-1. ábra: Függőleges-lefelé áramlású műtárgy sematikus rajza (Dittrich 2009)	6
2-2. ábra: Vízszintes áramlású műtárgy sematikus rajza (Dittrich 2009)	7
2-3. ábra: A "multistage" rendszer alapkonceptiójának folyamatábrája (Dittrich 2006)	8
2-4. ábra: Fontosabb hazai gyökérszónás szennyvíztisztítók elhelyezkedése (Pásztor 2003a) ..	16
8-1. ábra: A sióagárdi szennyvíztisztító telep alaprajza és bővítési területe	63

Diagramok:

4-1. diagram: A pH érték alakulása	28
4-2. diagram: BOI_5 koncentráció alakulása	29
4-3. diagram: KOI_{Cr} koncentráció alakulása	29
4-4. diagram: Lebegőanyag koncentráció alakulása	30
4-5. diagram: Összes foszfor koncentráció alakulása	30
4-6. diagram: Összes nitrogén koncentráció alakulása	31
4-7. diagram: Ammónium-nitrogén koncentráció alakulása	32
4-10. diagram: Az oldott oxigén koncentráció alakulása a telep szennyvízvonálát végigkövetve	39
8-1. diagram: A befolyó szennyvíz minőségi alakulása	56

Képek:

3-1. kép: Kétszintes előülepítő	20
3-2. kép: A fertőtlenítő műtárgy befolyás felőli oldala	21
3-3. kép: Helyszíni mérés	24
3-4. kép: Szárazföldi növényzet (bodza) megjelenése	25
3-5. kép: Szennyvíz megjelenése a töltet felszínén	25
3-6. kép: A nád rohamos növekedése a töltet elárasztott felszínén	25
3-7. kép: Az első szűrőmező elfolyó vezetéke	26
3-8. kép: Kossuth utcai végátemelő	26
3-9. kép: A fertőtlenítő medence befolyója	26
3-10. kép: A harmadik szűrőmező elfolyó vezetéke	26
3-11. kép: Az előülepítő elfolyója	26
3-12. kép: A második szűrőmező elfolyó vezetéke	26
3-13. kép: Lebegőanyag szűrő papírok	27
4-1. kép: Az előülepítő felszíne	36
4-2. kép: A kifolyó cső szintjének megemelése	40

Táblázatok:

2-1. táblázat: Függőleges és vízszintes átfolyású rendszerek összehasonlítása (Dittrich 2006) ..	7
2-2. táblázat: Hazai telepek eltávolítási hatékonysága (Szabó et al. 2001)	14
2-3. táblázat: Hazai gyökérszónás tisztító telepek felsorolása (Dittrich 2008)	15
3-1. táblázat: A sióagárdi szennyvízátemelők helye és típusa (Tolna Vízi- és Csatornamű Kft. 2000)	20
3-2. táblázat: Alkalmazott analitikai módszerek	22
3-3. táblázat: A sióagárdi szennyvíztisztító telep számára meghatározott szennyvízbírságok (Sióköz Kft. 2011)	22
3-4. táblázat: Vizsgált komponensek és analitikai módszerek	27



4-1. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep eltávolítási hatásfokai	34
4-2. táblázat: Átlagos kommunális szennyvíz és a síóagárdi nyers szennyvíz összehasonlítása	35
4-3. táblázat: A szűrőmezőre bocsáthatóság kritériumainak és az üleptett szennyvíz minőségének összehasonlítása	36
4-4. táblázat: Az első két szűrőmező tisztítási hatásfokának változása.....	39
4-5. táblázat: A szűrőmezők tisztítási hatásfoka 2011. 05-10. mérések alapján.....	40
8-1. táblázat: Befolyó szennyvíz mérési eredményei 2007-től napjainkig (KDT KTVF)	54
8-2. táblázat: Elfolyó szennyvíz mérési eredményei 2007-től napjainkig (KDT KTVF)	55
8-3. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.05.23.	57
8-4. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.06.28.	58
8-5. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.07.27.	59
8-6. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.08.16.	60
8-7. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.09.07.	61
8-8. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.10.10.	62



Rövidítésjegyzék

A_h	Szűrőágy felület
BME VKKT	Budapesti Műszaki Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
BOI_5	Biológiai oxigén igény (5 napos)
C_0	Befolyó szennyvíz BOI_5 koncentrációja (mg/l)
C_t	Az elfolyó szennyvíz megkívt BOI_5 koncentrációja (mg/l)
FA	Felszíni átfolyású természet-közeli szennyvíztisztító rendszerek
HF	Vízszintes átfolyású gyökérmező (horizontal flow)
K_{BOI}	Lebontási konstans (m/d)
KDT KTVF	Közép Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség
KOI_k	Kémiai oxigén igény (kromátos)
LA	Lebegő anyag
LE	Lakos egyenérték
NH_4-N	Ammónium-nitrogén
N_2	Nitrogén gáz
N_2O	Dinitrogén oxid
NO_2-N	Nitrit-nitrogén
NO_3-N	Nitrát-nitrogén
ÖN	Összes nitrogén
ÖP	Összes foszfor
PO_4-P	Foszfát-foszfor
Q	Napi átlag vízhozam (m^3)
SZOE	Szerves oldószer extrakt
SVF	Szabad vízfelszínű természet-közeli szennyvíztisztító rendszerek
TEKIR	Települési Környezetvédelmi Információs Rendszer
VF	Függőleges átfolyású gyökérmező (vertical flow)



1 Bevezetés

Magyarországon mintegy 2300 településen laknak 2000 főnél kevesebben. Ezeken a településeken közel kétfélmillió ember él, az ország lakosságának majdnem ötöde. Ennyi ember szennyvíztisztítási gondja mellett már nem mehet el a szakma és a politika sem. Ezt tükrözi a vízgazdálkodási törvény 2001. évi módosítása, amely az ilyen települések önkormányzata számára 2003. január 1-től kötelezővé teszi a szennyvízelvezetés és –tisztítás megoldását (Sütő 2003). Ugyanakkor a 2000 lakos egyenérték (LE) alatti települések szennyvíztisztítást nem támogatja az Európai Unió, és a hazai pályázati lehetőségek is a városi szennyvíztisztítást részesítik előnyben. A kistelepülések viszont szennyvíztisztítás nélkül hátrányba kerülnek a kiépített infrastruktúrájú településekkel szemben, és így elvesztik esélyüket a felzárkózásra. Az önkormányzatok azonban saját forrásból képtelenek finanszírozni a szennyvíztisztító telep létesítési és az üzemeltetési költségeit. A természet-közeli szennyvíztisztítási megoldások olyan költségtakarékos szennyvízkezelési lehetőségeket jelentenek e falvaknak, melyeket ma még nem használnak ki eléggé (Molnár 2004).

Dolgozatom témája egy ilyen természet-közeli szennyvíztisztító rendszer, a síóagárdi szennyvíztisztító telep állapotának, folyamatainak és működésének vizsgálata. Magam is síóagárdi lévén szerettem volna megbizonyosodni a telep megfelelő működéséről. Céлом, hogy a telep jelenlegi állapotát megismerjem, feltárjam a problémákat és azok okait, értékeljem, hogy a jelenlegi teljesítmény mennyire áll távol az elvárhatótól, valamint fejlesztési lehetőségeket javasoljak.

A természet-közeli, és ezen belül a gyökérmezős szennyvíztisztítás megismerését a vonatkozó nemzetközi, és hazai szakirodalom feltárásával kezdtem. Az extenzív és intenzív technológiák összehasonlításából látható miért előnyös az előbbi a kistelepülések számára. A gyökérmezős technológia leírása folyamán fontosnak tartottam kihangsúlyozni a különböző konstrukciós változatokat, és azok erényeit, valamint a külföldön már elterjedt kombinált rendszerek magas hatékonyságát. Kulcskérdés volt továbbá a rendelkezésre álló fajlagos felület, a töltet felépítése, a töltet anyaga. A jelenlegi és majdani üzemeltetők számára elengedhetetlen az alkalmazhatóság határainak, a telep élettartamának és a részletes jogi környezetnek az ismerete, valamint a szennyvíz kezelésének egészségügyi vonatkozásai.

A jelenleg hazánkban működő gyökérmezős szennyvíztisztítók működési problémáinak feltérképezésével próbáltam rávilágítani azokra a tervezési és kivitelezési anomáliákra, melyek elterjedtek a hazai gyakorlatban, és a síóagárdi telep üzemeltetési tapasztalataiban is visszaköszönnének.

A síóagárdi szennyvíztisztító telep részletes működésének megismeréséért hat alkalommal helyszíni és laboratóriumi méréseket végeztem, műtárgyanként és szűrőmezőnként. A mérések időpontjait, körülményeit, a mért komponenseket, és az alkalmazott műszereket a 4. fejezetben mutatom be. A kapott eredmények, és az illetékes felügyelőség 2007-ig visszamenő értékei alapján összehasonlítottam a tervezési értéként szolgáló átlagos települési szennyvíz, és a síóagárdi szennyvíztisztító telepre befolyó szennyvíz minőségét. Megvizsgáltam az előülepítő hatásfokát, valamint a szűrőmezők közötti terhelés eloszlást és a róluk elfolyó víz minőségét. A mért komponenseket egyenként, a technológián való végigvonulások, és az eltávolításuk hatásfoka szempontjából is értékeltem. A meglévő, és vízjogi engedéllyel rendelkező bővítési terv pozitívumaira és negatívumaira is felhívtam a



figyelmet, a külföldi, továbbfejlesztett rendszerek tekintetbe vételével.

Következtetésekben foglaltam össze az előülepítő és a szűrőmezők problémáit, melyek közé tartozik mindkét esetben az alacsony hatásfok, az előülepítő nem megfelelő üzemeltetése, a szűrőmezők kivitelezésének pontatlanságai. Végül javaslatokat tettem a telep működésének optimalizálására, melyek között vannak azonnali, kismértékű javulást eredményezőek, és hosszú távú, nagyobb befektetést igénylő, a telep problémáinak végleges megoldását célzó intézkedések. Az ajánlások kiterjednek az előülepítőből elvett iszap kezelésére, további előkezelés kiépítésére, a szűrőmezők hatékonyabb üzemeltetésére, valamint legfőbb célként a bővítés megvalósítására, melyet ésszerűen, a meglévő rendszertől eltérően, rugalmas üzemeltetési lehetőségekkel kell megépíteni. Végül röviden összefoglaltam az észlelt problémákat, és azok megoldását célzó javasolataimat.

2 Irodalmi áttekintés

A hazai szennyvízkezelésre jellemző a kiegyensúlyozatlanság. A városokban megfelelőbb a csatornázottság, és a szennyvíztisztító telepek kapacitása, mint a vidéki kistelepüléseken. A felzárkózás sürgető szükségessége miatt sok helyütt előfordulnak megkérdőjelezhető megoldások. Országos cél 2015. december 31-ig a lakosság közel 90 %-a számára biztosítani a gyűjtőrendszert, és az összegyűjtött szennyvíz legalább biológiai tisztítását (TEKIR 2011).

Sok kistelepülés számára a legegyszerűbb megoldásnak a regionális rendszerekbe való csatlakozás tűnik. Legtöbbször ez egy városi szennyvíztisztító telepre való csatlakozást jelent, mely az adott telepet hidraulikailag túlterheli, a berothadt szennyvíz révén pedig az optimális működését gátolja. Ennek elkerülésére célszerűnek tartom a szennyvíz helybeni kezelését, a tisztítási technológia adott körülményekre szabását. Előfordul, hogy kistelepülés számára kis kapacitású eleveniszapos rendszereket telepítenek. E megoldások fajlagos költsége nagyobb a városi szennyvíztisztításénál. Kistelepüléseken, ahol a csatornázás gazdaságos, és megfelelő terület áll rendelkezésre, természet-közi szennyvíztisztító rendszerek telepítése ajánlott. Ahol az alacsony népsűrűség miatt a csatornázás nem lehet ésszerű megoldás, szennyvíztisztító kisberendezéseket kell alkalmazni.

2.1 Természet-közi szennyvíztisztítás

A természet-közi szennyvíztisztítási módszerek a legrégebb technológiák közé tartoznak. A szennyvíz földalatti medencében történő tárolása, vagy elöntözése jól ismert eljárás volt a XIX. században. A szervesanyag lebontása ilyen esetben, a talajban, vagy a befogadó vízfolyásban, illetve tóban történt meg a vízi ökoszisztéma öntisztuló képességének felhasználásával. A múlt század elejétől ezeket az eljárásokat háttérbe szorították az intenzív technológiák.

A természet-közi szennyvíztisztítási eljárások az 1970-es évek végétől kezdve Nyugat-Európában ismét egyre nagyobb teret nyertek (Szilágyi 2007, Molnár 2004). Jelenleg természet-közi rendszerek ezrei működnek Európában. Egy részüket egyedülálló házaknál, vagy kis közösségeknél alkalmazzák, azonban a leggyakoribb felhasználás a falvak kommunális szennyvizének biológiai tisztítása, vagy utótisztítása (Cooper 2009).

Természet-közi szennyvíztisztítók azok, amelyekben a szervesanyag lebontása energiaigényes levegőbevitel nélkül, a természetes öntisztulási folyamatokra alapozva valósul meg (Szilágyi 2004), amelyek egyszerű kialakításúak, tájba illeszthetők és energiaigényük



csékély. A szervesanyag oxidálásához szükséges oxigén diffúzióval, a makrofítonok aktív oxigéntranszportjával, vagy az algák fotoszintézise révén jut a rendszerbe. Ez az oxigén utánpótlás azonban lassúbb, mint a mesterséges levegőztetés, ezért a természetes szennyvíztisztítóknak hosszabb tartózkodási idő szükséges a megfelelő minőségű tisztított víz előállításához, a helyigényük ezért nagyobb a hagyományos eljárásokénál (Szilágyi 2007).

Az extenzív, természet-közeli technológiák kistelepülések számára előnyösek, mert az intenzív technológiáknál alacsonyabb karbantartási és üzemeltetési költséggel rendelkeznek, villamos energia szükségletük csekély, vagy nincs. Kémiai anyagok használata ezeknél a telepeknél nem, vagy alacsonyabb mértékben szükséges, mint az intenzív technológiáknál. Csak ülepített iszap keletkezik. Továbbá természet-közeli telepek esetében a felhasznált mesterséges anyagok mennyisége csekély, a zajártalom minimális, valamint megjelenésük esztétikailag kedvezőbb, üzemeltetésük során állandó felügyeletet nem igényelnek, továbbá a fenntartásuk egyszerű. Működési szempontból a hidraulikai, és szervesanyag terhelés ingadozásaira kevésbé érzékenyek. A természet-közeli technológiák telepítése előtt azonban azok hátrányaival is számolni kell, amelyek a nagy területigény, a hely kiválasztás korlátai, az átlagos szerves anyag és növényi tápanyag eltávolítás alacsony hatásfoka, az elfolyó víz minőségi ingadozása, valamint a hatásfok szezonális változásai (Dittrich 2006, Molnár 2004).

2.2 Típusok, módszerek

A természet-közeli szennyvíztisztítási technológiákon belül általában két csoportot szokás megkülönböztetni (Zirschky et al. 1990):

- szilárd hordozó alapú/felszín alatti átfolyású (FA) rendszereket, és
- víz alapú/szabad vízfelszínű (SVF) rendszereket.

A szilárd hordozójú szennyvíztisztítási eljárások az alábbiak:

- szennyvízszikkasztás,
- szennyvízöntözés,
- talajszűrés vagy homokszűrés,
- gyors beszivárgtatás,
- élőgép,
- gyökérzónás tisztítás.

Ezeknél az eljárásoknál az üzemi vízszint a felszín alatt van, a tisztítást a hordozón megtelepedett baktériumok végzik. A különbség az eljárások között abból adódik, hogy a tisztításban makrofítonok részt vesznek-e, vagy sem, illetve mekkora a megengedhető fajlagos terhelés.

A vizes rendszereknek az alábbi típusok nevezhetők:

- csörgedeztetéssel rendszer,
- stabilizációs tó,
- lagúnás szennyvíztisztítás,
- úszó vagy lebegő vízinövényes szennyvíztisztítás,
- nádas tó (természet-közeli vagy mesterséges).

Ezeknél a szennyvíztisztító típusoknál az üzemi vízszint a felszín felett van. A szennyvíztisztításban aktívan részt vesznek vízinövények (algák vagy makrofítonok).

Amint látható, a két fő csoport között folyamatos az átmenet, a vízszintemeléssel eljuthatunk a szilárd hordozójú eljárásoktól a vízalapú eljárásokig. A tisztított szennyvíz minőségének javítása



érdekében a tiszta típusok helyett gyakran alkalmaznak kombinált rendszereket is (BME VKKT 2002).

2.3 Gyökérzónás szennyvíztisztítási eljárás

2.3.1 Tisztítási folyamatok

A gyökérzónás medencében a szennyvíz tisztítása fizikai, kémiai, biológiai folyamatok révén megy végbe. A fizikai folyamatok (ülededés, szűrés, adszorpció) hatására nagymértékben csökken a lebegőanyagok és a kolloidok mennyisége, míg a tisztítandó szennyvíz szerves anyag, növényi tápanyag illetve nehézfém tartalma kismértékben csökken. A kémiai (kicsapódás, bomlás) illetve biológiai folyamatok révén csökken a tisztítandó szennyvízben lévő szerves anyag, mikro-szennyező, növényi tápanyag valamint a vírusok és baktériumok egyedszáma (Szilágyi 2007).

Lebegőanyag eltávolítás

A lebegőanyag a töltet hézagaiban, pórusaiban ülededik le, ahol az adhéziónak köszönhetően megtapad. Nagy vízsebesség esetén azonban ezek a részecskék leszakadhatnak (Pásztor 2003b). A lebegőanyag továbbá keletkezik is, amikor a földalatti növényi részek elhálnak. Az gyökérmezős telepek általában 80-90%-os lebegőanyag koncentráció csökkenést tudnak előidézni a befolyó szennyvízben. A pórusterek eltömődésének becslése alapján becsülhető az ágy élettartama (IWA 2001).

Szervesanyag lebontás:

A természet-közeli szennyvíztisztító rendszerekben a szervesanyagok lebontását, az intenzív rendszerekhez hasonlóan baktériumok végzik, amik vagy a vízben szuszpendálva, vagy hordozón (talaj, homok, vízinövények gyökérzete) megtelepedve vannak a rendszerben. A szervesanyag oxidálásához szükséges oxigén diffúzióval, a makrofitonok aerenchimájának (a szárban lévő diffúziós járatainak) aktív oxigéntranszportjával, vagy az algák fotoszintézise révén jut a rendszerbe. Ez az oxigén-utánpótlás azonban lassúbb folyamat a levegőztetésnél, ezért a természet-közeli szennyvíztisztítóknak nagyobb tartózkodási idő szükséges a megfelelő minőségű tisztított víz előállításához, ennél fogva helyigényük is nagyobb az intenzív eljárásokénál (Szilágyi 2007).

A szerves anyagok biológiai lebontása a BOI eltávolítás hatékonyságával jellemezhető. A BOI_5 koncentráció csökkentésért legfőképp a heterotróf mikroorganizmusok felelősek. A nem megfelelő oxigén ellátás azonban nagymértékben csökkenti a biológiai oxidációt, ugyanakkor megfelelő oxigén ellátás mellett az elérhető szerves anyag koncentráció válik limitáló szubsztráttá a degradációs folyamatban. A lebontási folyamatok nagy része bakteriális filmrétegeken a töltet, az üledék, a növényi hulladékok és a víz alatti növények felületén játszódik le. Az aerob degradáció főképp a függőleges átfolyású gyökérmezőkben, míg az anaerob lebontás a vízszintes átfolyásúakban jellemző (Pásztor 2003b).

Növényi tápanyag eltávolítás:

A legfontosabb szerves nitrogén eltávolító mechanizmus a gyökértéri szennyvíztisztítóknak az ammonifikáció, a nitrifikáció és denitrifikáció egymást követő folyamata, de a makrofitonok nitrogén felvétele és a nehezen bontható szerves szilárd nitrogéntartalmú szervesanyag is figyelembe vehető. A szerves nitrogén hidrolízis és bakteriális tevékenység hatására ammóniává mineralizálódik (ammonifikáció). Az ammónia aerob közegben nitráttá



oxidálódik (nitrifikáció). A nitrifikáló baktériumok ammónia és nitrit oxidációjából nyerik az energiát és széndioxidot használnak szénforrásként sejtanyaguk felépítéséhez. A baktériumok oxigént igényelnek a kétlépcsős reakció lebonyolításához. A denitrifikációs folyamat az oxigén elfogyása után kerül előtérbe, amely során a nitrát, nitrogéngázzá alakul (N_2), ill. dinitrogén-oxidá (N_2O) alakulhat anoxikus és anaerob közegben. Nitrogén eltávolítást a növények is végeznek, a nitrogént beépítik saját biomasszájukba, ami majd a lebomlásuk során szerves nitrogénként újra visszakerülhet a vízbe. Elillanás és adszorpció révén szintén csökkenhet a nitrogén koncentráció (Pásztor 2003b).

A foszforeltávolítás mechanizmusa hosszabb időléptékben az adszorpció illetve kemoszorpció, szezonálisan viszont a vízinövények foszforfelvétele is a fontosabb folyamatok közé sorolható (Szilágyi 1994). A foszfor adszorpciója a szűrőágy homok töltetében fontos foszfor eltávolítási folyamat. A magas szorpciós kapacitású homok töltet kiválasztása tehát fontos a foszfor eltávolítás hosszú távú fenntartása miatt (Arias et al. 2001). A jól megválasztott töltet, a foszfor nagymértékű megkötődését teszi lehetővé. Azonban egy idő után a mátrix telítődik foszforral, és szükségessé válhat annak cseréje. Mivel a talaj szorpciós folyamatai reverzibilisek, ezért az is előfordulhat, hogy a visszaoldódó foszfor megnöveli a víz foszfor koncentrációját (Pásztor 2003b).

A hőmérséklet hatása:

Megfigyelhető, hogy általában minden szennyező anyagra alacsonyabb tisztítási hatások esik alacsonyabb hőmérsékleten, és fordítva.

BOI_5 és KOI_{Cr} szempontjából a hőmérsékletfüggés nem olyan jelentős, mert a szerves anyagok eltávolítása nagyrészt az aerob és anaerob baktériumok mikrobiális aktivitásának eredménye, melynek működése egyenletes $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig. A porózus közeg és a növények gyökérzete a levegő hőmérsékleténél $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al magasabb hőmérsékleten tartja a szennyvizet a tél folyamán, ennek következtében a mikrobiális aktivitás nem csökken lényegesen. Kjeldahl nitrogén és ammónia tekintetében a szezonális hatások különbségek magasabbak, mert $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt a nitrifikáció annyira lelassul, hogy lényegében zérusnak tekinthetjük. A foszfor eltávolítás is mutat hőmérsékletfüggést (Akratos és Tsihrintzis 2007).

A növényzet szerepe:

A szűrőmező felszínére telepített növényzet szerepe főként az oxigén utánpótlás, és a talaj vízvezető képességének megőrzése (főképp függőleges átfolyású szűrőmezők eltömődésének késleltetése), a növényzet tápanyagfelvétele kevésbé fontos eltávolítási folyamat (BME VKKT 2002). A növényzet további jótékony hatása, hogy stabilizálja a töltet felszínét, mérsékli a fagyvesztést és a szennyvíz kihűlését, nagy felületet és megfelelő mikroklimát biztosít a mikroorganizmusok megtelepedéséhez, javítja a műtárgyban kialakuló biofilm tömörségét, valamint segíti a telep esztétikus megjelenését és életteret ad a magasabb rendű élőlényeknek (Dittrich 2009).

A fontosabb telepített növényfajok a következők: *Phragmites australis* (nád), *Typha latifolia* (gyékény), *Carex acutiformis* (sás) és *Scirpus lacustris* (káka). Ezeket a növényeket általában tiszta állományokban telepítik (Szilágyi 2001). Ezek mindegyike világszerte elterjedt (generalista) növény, így tűrőképességük folytán jól alkalmazkodnak a különböző klimatikus és környezeti feltételekhez. A különböző növényfajok gyökérbehatolása különböző, ezért a tisztítás hatórétege változó, a gyékény $0,15$ méterétől, a nád $1,5$ méteréig. Ezért domináns fajként a nád az előnyösebb (Molnár 2004).

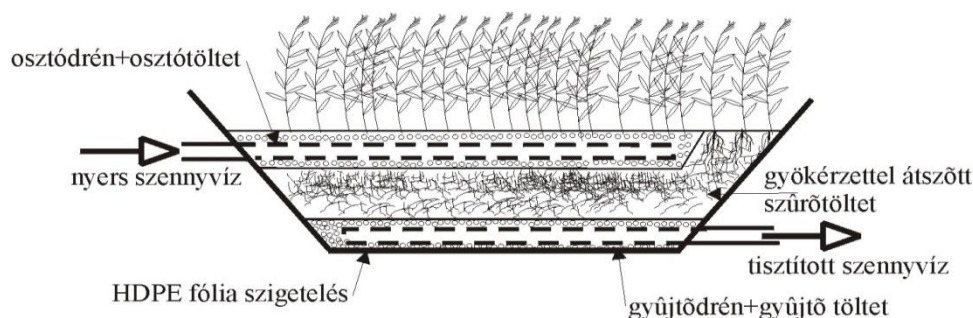
A növényzet csak akkor tudja kifejteni jótékony hatásait, ha a rizómák az elosztó hálózat alá

kerülnek. A mocsári növények nagy vízigénye miatt a vízellátásukat a telepítésüktől kezdve biztosítani kell.

2.3.2 Konstrukciós változatok:

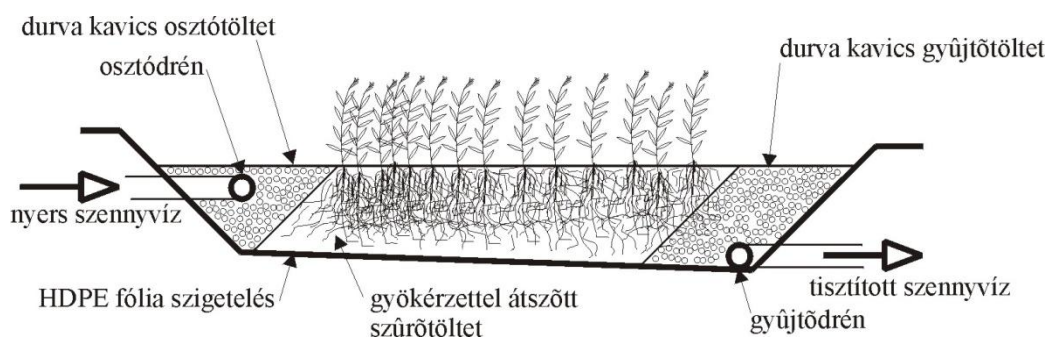
A gyökérzónás szennyvíztisztító rendszerek lehetnek vízszintes átfolyásúak, függőleges átfolyásúak, vagy ezek kombinációi (multistage rendszerek). A függőleges átfolyású rendszereknél a legelterjedtebbek a függőleges-lefelé áramlású műtárgyak, azonban a nemzetközi szakirodalomban több helyen előfordul függőleges-felfelé áramlású műtárgytípus is (Dittrich 2006).

A függőleges átfolyású rendszereknél a szennyvíz a szűrőágy felszíne alatt egyenletes elosztást biztosító, párhuzamosan végigfutó perforált csöveken keresztül szivárog a medencealj felé. A tisztított szennyvíz összegyűjtése a kazetták alján, a hasonlóan kialakított dréncsővekkel történik. Függőleges-lefelé áramlású konstrukciós változat esetén a töltet felső rétegében, a műtárgy hossza mentén helyezik el az osztódréneket. A műtárgy fenekén az osztódrénekhez hasonló geometriai elosztású gyűjtődréneket építenek be. Az osztó és a gyűjtődrének között 0,5 – 1,2 m vastag szűrőtöltet végzi a szennyvíz tisztítását. A függőleges-felfelé áramlású rendszer kialakításában szinte teljesen azonos a függőleges-lefelé áramlású rendszerekkel, a különbség az áramlási irányban van. Ennél a típusnál a gyűjtődrének felül, míg az osztódrének alul helyezkednek el (Dittrich 2006).



2-1. ábra: Függőleges-lefelé áramlású műtárgy sematikus rajza (Dittrich 2009)

A vízszintes átfolyású rendszereknél a mechanikailag előtisztított szennyvíz a szűrőágy felszíne közelében lép be. A szennyvíz a műtárgyban, keresztirányban kialakított osztó drén vagy osztó árok segítségével kerül szétosztásra. A szétosztás minőségét tovább fokozza, ha az osztó drén vagy árok környezetében nagy szemszerkezetű ún. osztótöltet kerül elhelyezésre. Ezután a kezelendő szennyvíz a tölteten, vagyis a „gyökérzónán” keresztülhalad végig a medence hossza mentén. Ezt követően a tisztított szennyvíz a gyűjtődrénbe szivárog, melyet általában a műtárgy fenekén keresztirányban helyeznek el. A gyűjtődrénből a vizet egy vagy több csövön keresztül vezetik el. A gyűjtődrén köré a megfelelő működés érdekében az osztó-töltethez hasonló szemszerkezetű anyagot szoktak elhelyezni. A javasolt töltetmélység 0,6-1 m (Dittrich 2006, Molnár 2004).



2-2. ábra: Vízszintes áramlású műtárgy sematikus rajza (Dittrich 2009)

Mindkét változat esetén az elfolyó vezetékét érdemes úgy kialakítani, hogy a műtárgyban a vízszint állítható magasságú legyen, a tartózkodási idő és az üzemi vízszint variálhatóságának érdekében (Dittrich 2006).

A hosszanti átfolyású rendszerek esetében kétfázisú, nem permanens, változó felszínű szivárgás alakul ki, míg a függőleges átfolyású rendszerekben háromfázisú, nem permanens szivárgás a jellemző (Dittrich 2005). Ez az alapvető áramlástanai különbség nagymértékű kihatással van a műtárgytípusok töltetanyagára, a tartózkodási időre, az oxigénháztartási folyamatokra és a nádgyökérzet áramlási viszonyokra gyakorolt hatásaira is (Dittrich 2006).

2-1. táblázat: Függőleges és vízszintes átfolyású rendszerek összehasonlítása (Dittrich 2006)

	Függőleges átfolyású rendszerek	Vízszintes átfolyású rendszerek
szerves anyag eltávolítás mértéke	kiváló	jó
lebegőanyag eltávolítás mértéke	közepes	kiváló
NH ₄ -N eltávolítás mértéke	kiváló	alacsony
NO ₃ -N eltávolítás mértéke	alacsony	jó
szennyvíz adagolási mód	szakaszos	folyamatos
áramlás jellege	háromfázisú	kétfázisú
makrofitonok jelentősége az oxigén háztartásban	kismértékű	nagymértékű
makrofitonok gyökérzetének áramlástorzító hatása	elhanyagolható	jelentős
maximális hidraulikai terhelés [mm/nap]	60	40
töltetanyag	homok	frakcionált kavics

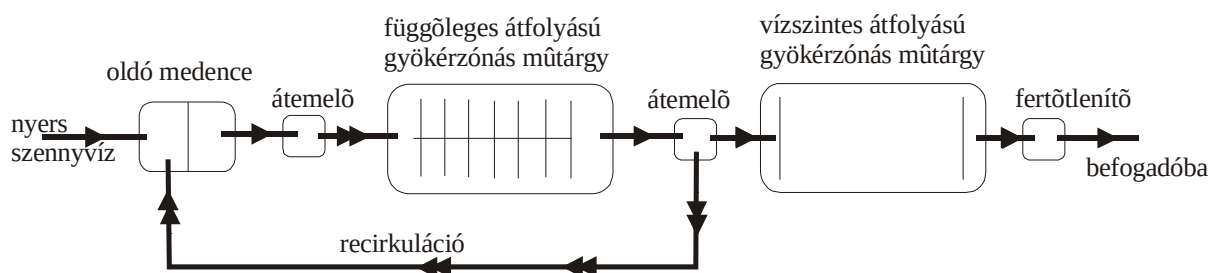
Kombinált (multistage/hibrid) rendszerek:

A különböző típusú gyökérrzel tisztítási eljárások kombinálhatóak a nagyobb tisztítási hatás érdekében, főleg a nitrogén tekintetében. A hibrid/kombinált rendszerek leggyakrabban függőleges és vízszintes átfolyású rendszereket alkalmaznak.

A vízszintes átfolyású (Horizontal Flow = HF) rendszerek önmagukban nem tudják teljesíteni a teljes nitrifikációt, mert oxigén transzfer teljesítményük limitált. A függőleges átfolyású (Vertical Flow = VF) rendszerek biztosítják a megfelelő körülményeket a nitrifikáció számára, azonban a denitrifikáció nem történik meg ezekben a rendszerekben. A kombinált

rendszerek előnye, hogy a HF és VF rendszerek kiegészítik egymást. Így lehetséges, hogy képesek alacsony BOI koncentrációra az elfolyó vízben, amely teljesen nitrifikált és részben denitrifikált is, ennél fogva sokkal alacsonyabb benne az összes nitrogén koncentráció (Cooper 1999, 2001).

A multistage rendszer alap kombinációját a 2-3. ábra szemlélteti. A rendszer tisztítási hatékonyságát növelni lehet a medencék között recirkulációs vonal kialakításával (Dittrich 2006).



2-3. ábra: A "multistage" rendszer alapkonceptiójának folyamatábrája (Dittrich 2006)

Az oldómedencéből távozó szennyvíz ciklusonkénti adagolását az első átemelő biztosítja. Így a függőleges átfolyású medencében a lökészerű adagolás hatására létrejön a hatékony oxigén transzport. A függőleges átfolyású medencében a nitrifikáció magas hatásfokkal játszódik le. Természetesen jelentős mértékű szerves anyag eltávolítás is elvárható ettől a technológiai lépcsőtől. A függőleges átfolyású műtárgyból elfolyó vízben megemelkedik a nitrát koncentráció. A szennyvíz utó-denitrifikációja további szerves anyag eltávolítás mellett a technológiai sorban utána következő hosszanti átfolyású medencében történik meg (Dittrich 2006).

Recirkuláció

A recirkuláció úgy segíti a működést, hogy nitrát utánpótlást biztosít az oldómedencébe, így fokozva ott a szerves anyag lebontás hatékonyságát, illetve létrehozva a recirkulált nitrát-mennyiség elő-denitrifikációját. A recirkuláció minimalizálja az ágy eltömődését, növeli a levegőellátást, és következésképp elősegíti a biodegradációt. Továbbá a recirkuláció majdnem tökéletesen kevert reaktort alkot, úgy, hogy a nyers szennyvíz gyorsabban elkeveredik a recirkuláltatott tisztított szennyvízzel (Dittrich 2006, Zapater et al. 2011).

Törökországban is vizsgálták a recirkulációval és anaerob előtisztítással rendelkező hibrid rendszerek hatékonyságát. A vizsgálat magas hatásfokot mutatott, nagyon alacsony elfolyó szerves anyag és lebegőanyag koncentrációval (Ayaz et al. 2011).

VH-HF rendszerek

Ezen rendszerek sokasága, eredeti hibrid rendszerek Seidel (Max Planck Intézet, Krefeld, Németország) általi fejlesztéséből származik. A Seidel konstrukció két fokozatból áll, néhány párhuzamosan kapcsolt függőleges átfolyású szűrőágyat két vagy három vízszintes átfolyású követ sorosan kapcsolva (Brix 1994).

HF-VF rendszerek

Az 1990-es évek közepén, Johansen és Brix (1996) bevezették a HF-VF rendszert. Nagy alapterületű vízszintes átfolyású szűrőágyat alkalmaztak elsőként a szerves és a lebegőanyag eltávolítására, valamint a denitrifikáció ellátására. Egy szakaszosan elárasztott, kis, függőleges átfolyású szűrőágyat terveztek a további szerves és lebegőanyag eltávolítására, és



az ammónia nitráttá nitrifikálására. Azonban, az összes nitrogén eltávolítás biztosításához, a nitrifikált szennyvizet a függőleges átfolyású szűrőmezőből recirkuláltatni kellett az előülepítőbe (Vymazal 2005). Napjainkban a hibrid rendszerek már több mint két féle típust alkalmaznak, meglehetősen gyakori a szabad vízfelszínű wetland beépítése.

2.3.3 Szűrőmezők tulajdonságai

Fajlagos felület igény:

A függőleges folyási irányú szűrőmezőket általában kis fajlagos felületre ($2 \text{ m}^2/\text{fő}$) tervezik, a költségek csökkentése érdekében. Így azonban a szűrőmezők gyorsan eltömődhetnek. A biztonságos üzemelés érdekében nem ajánlott $5 \text{ m}^2/\text{fő}$ érték alá menni. Így nyáron legalább $5 \text{ m}^2/\text{LE}$, (télén pedig $8,3 \text{ m}^2/\text{LE}$) fajlagos felület szükséges (Vízügyi Segédlet 2001b). A megnövelt téli felületen azonban a nyári üzemelésnél kiszáradás jelentkezik.

A függőleges átfolyású rendszerek felületigénye kisebb, mint a hosszanti átfolyásúaké. A vízszintes átfolyású rendszer felületigénye kb. $0,6 \text{ m}$ töltetmélység esetén 5 m^2 lakos egyenértékenként. A függőleges átfolyású rendszer felületigénye $\geq 1,0 \text{ m}$ ágmélységnél mintegy $3 \text{ m}^2/\text{LE}$ -re csökkenthető (Molnár 2004), de csak akkor, ha biztosan kialakul a háromfázisú tisztítás, ami általában nem következik be a hazai telepeknél.

Kis fajlagos felület esetén anoxia alakul ki a szűrőtestben, ami akadályozza a szervesanyag teljes oxidációját és a nitrifikációt. A nitrifikáció hiánya következtében nem lesz a rendszerben nitrát, így a denitrifikáció sem működik. Az anaerob töltetanyag miatt, a foszfor eltávolítás sem lesz megfelelő, és a foszfát elúszik az elfolyó vízzel.

A szűrőmező felépítése:

A szűrőmező szerkezete felülről lefelé haladva a következő:

- | | |
|---|-------|
| • Földszigetelés | 0,3 m |
| • Felső dréncövek, alsó és felső kavicsrétegekkel | 0,3 m |
| • Szűrőtest | 0,6 m |
| • Alsó dréncövek, alsó és felső kavicsréteggel | 0,3 m |
| • Vízszigetelés, homokágyazatra fektetve | 0,1 m |
| • Összesen | 1,6 m |

Az előfordulható legmagasabb talajvízszint felett a vízszigetelésig legalább $0,3 \text{ méter}$ távolságnak kell lennie. Ennek megfelelően kiemelt, részben kiemelt, süllyesztett magasságú szűrőmezőt különböztetünk meg (Vízügyi Segédlet 2001a).

A szűrőmező oxigén ellátása érdekében levegőztető csövek helyezendők el. Az elosztóhálózat végén levő levegőztető csöveken kívül az elosztó dréncövek tengelyei között további közbenső levegőztető csöveket kell elhelyezni.

Elosztó dréncövek

A felső és alsó, legalább 100 mm belső átmérőjű műanyag elosztó csövek hossza legfeljebb 20 méter lehet. Esése $0,2 \%$ ($4 \text{ cm}/20 \text{ m}$). Egymástól való távolságuk vízszintesen $1,5\text{--}2,0 \text{ m}$, amely a szűrő anyagától függ. A dréncöveket minden oldalról legalább 10 cm vastagságú $4/8$ -as kavicsrétegnek kell határolnia.

Szűrőmező töltetanyaga

A szűrőágyak töltetanyagának meghatározásakor legfontosabb szempont a szemcseméret. A



finomabb szemcsenagyság esetén növekszik a tisztítókapacitás, mert nagyobb a fajlagos felület, több baktérium tud megtelepedni. Azonban túl kicsi szemcsenagyságú töltetet esetén, könnyen eltömődik a dréncső hálózat, és a szennyvíz az elosztó dréncső feletti részen áramlik csak át. Túl nagy szemcsenagyságú töltetet sem érdemes használni, mert kicsi a fajlagos felülete, emiatt gazdaságtalanul nagy területű szűrőmezőre lenne szükség (Vízügyi Segédlet 2001a).

Töltetként használható frakcionált kavics, homok, talaj, speciális anyagok (pl. agyagpala, zeolit), és ezek keverékei. Nagy BOI terhelésű gyökérmezők kialakítása esetén célszerű kerülni a homoktöltetet, mert a rendszer könnyen eltömődhet. A töltet áteresztőképességének el kell érnie a 10^{-4} m/s (Dittrich 2009).

A vízszinteses átfolyású gyökérmezőkben az elosztó- és a gyűjtőcsövek környezetében célszerű nagyméretű köveket elhelyezni (50–100 mm) az eltömődés megakadályozása végett. A folyami kavicsok használata kedvezőbb, mint a zúzott mészkő, mert az előbbi anyag kevésbé hajlamos tömörödsre. Függőleges átfolyású rendszerekben rendszerint durva homokot terítenek el legfelső réteggént, amely elősegíti a szennyvíz egyenletes eloszlását a felszínen. A töltet fő tömegének általában gyöngykavicsot használnak (5–15 mm) (Pásztor 2004).

A talaj töltetű vízszintes átfolyású rendszerek többségénél gyakori a felszíni átfolyás, a talaj alacsony hidraulikai vezetőképessége miatt. Két évtized tapasztalatai megmutatták, hogy a talaj töltetű rendszerek általában hatékonyak a lebegőanyag, és a BOI_5 eltávolítás tekintetében, azonban a nitrogén és foszfor eltávolítás hatásfoka már alacsonyabb (rendszerint 30-50 %), és e rendszerekben a nitrifikáció nem teljes. Ellentétben a korábbi elvárásokkal, a gyökerek nem növelték az összetapadt talaj hidraulikai vezetőképességét annyira, hogy biztosítsák a felszínelatti áramlást (Brix et al. 2007). Tehát tisztán talaj töltetű rendszerek alkalmazása nem javasolható.

A szűrőmezőre bocsáthatóság feltételei:

A kétszintes ülepítőről elfolyó szennyvíznek meg kell, felelnie a szűrőágyra bocsáthatóság feltételeinek. Az értékek célja, a szűrőágyak védelme a kolmatáció és az eldugulás ellen. A komponensek közül főként a CCl_4 extrakt és a lebegőanyag bír nagy jelentőséggel. A kétszintes ülepítőről elfolyó szennyvíz szűrőágyra bocsáthatóságának feltételei az alábbiak (Müller 2003):

• KOI_{Gr} :	680 mg/l
• BOI_5 :	250 mg/l
• Lebegőanyag:	450 mg/l
• $\text{PO}_4\text{-P}$:	14 mg/l
• NH_4^+ :	31 mg/l
• NO_3^- :	18 mg/l
• ANA detergens:	6 mg/l
• CCl_4 extr.	10 mg/l

Méretezés:

A különböző technológiák üzemeltetési paraméterei a hidraulikus terhelés, a tartózkodási idő, a szervesanyag terhelés, a fajlagos felület, a befolyó és elfolyó víz minősége, valamint az eltávolítási hatásfok alapján hasonlíthatók össze.

BOI_5 eltávolításra optimalizált telep esetében a méretezést, területigényt az alábbi egyenlet



adja meg (Szilágyi 1994):

$$A_h = Q (\ln C_o - \ln C_t) / K_{BOI}$$

Ahol:

A_h = szűrőágy felület m^2 -ben

Q = napi átlag vízhozam m^3 /nap-ban

C_o = a befolyó szennyvíz BOI_5 koncentrációja

C_t = az elfolyó szennyvíz megkívánt BOI_5 koncentrációja mg/l -ben

K_{BOI} = konstans; értéke $0,1$ m/nap.

Ez az összefüggés, csak BOI_5 terheléssel, illetve BOI_5 eltávolítással számol. Ha a telepen nitrifikációra és denitrifikációra is igény van, akkor biztosan megnő a területigény, és számos egyéb szempontot (hőmérséklet, recirkuláció, anoxikus terek) is figyelembe kell venni (Pásztor 2004).

A szűrőmezők kapcsolása

A szűrőmezőket váltott üzemelésre és sorba kapcsolásra egyaránt megfelelően lehet kialakítani. Sorba kapcsolás igénye esetén a szűrőmezők felületét növelni kell. Az összekötést biztosító vezetékeket a téli üzemre is tekintettel kell megépíteni. Gondosan ügyelni kell arra, hogy a vezetékek gravitációs átvezetés esetén folyamatos esésben legyenek, és ne fagyjanak be (Vízügyi Segédlet 2001b).

Cellákra osztás jelentősége

Kezdetben a gyökérzónás szennyvíztisztítókat keskeny, hosszúkas alakúra építették, de ez hamarosan sok problémát okozott. A mező gyakran eltömődött és felszíni átfolyások alakultak ki. A szélesre épített szűrőmezők sokkal hatékonyabbak és biztonságosabb üzeműek, mint a hosszú, keskeny alakúak. Azonban minél szélesebb a szűrőmező, annál nehezebb a tisztítandó szennyvizet egyenletesen eloszlatni a bemeneten, és nehéz megakadályozni a rövidzárok kialakítását. Ha a bemeneti és a kimeneti oldalak elé egy-egy hosszú elosztó-, illetve gyűjtőcsatornát építenek, a mezőt pedig párhuzamos cellákra felosztják, a teljes mező biztosan részt vesz a tisztítási folyamatban. Az ilyen rendszerben épült telepek igény szerint könnyen bővíthetők is (Pásztor 2004).

2.3.4 Befolyó szennyvíz minősége:

A gyökérmezős rendszerekre befolyó tisztítatlan szennyvíz általában kommunális jellegű szennyvíz, ezek paramétereit általában a következők (Müller 2003):

- KOI_{Cr} : 1500 - 2000 mg/l
- BOI_5 : 400 mg/l
- Összes lebegőanyag: 275 mg/l
- Ammóniumion: 150 mg/l
- Összes foszfor: 35 mg/l
- pH: 7,2
- SZOE: 15 mg/l
- ANA: 10 mg/l

A 204/2001. (X.26.) Kormányrendelet 2. számú melléklete megszabja a csatornába ereszthető szennyvíz küszöbértékeit, melyek a lakosságra is vonatkoznak. Ugyanakkor ezek ellenőrzése nem megoldható, a szennyvíztisztító telepnek fogadni kell a határértékeket túllépő szennyvizeket is.



2.3.5 Alkalmazhatóság:

A jelenleg érvényes 28/2004 (XII.25.) KvVM r. szerinti befogadói határértékrendszer és a gyökérszűrő rendszerek teljesítőképességét figyelembe véve elmondható, hogy a kommunális szennyvíztisztítás területén ez az eljárás az alábbi adottságok fennállása esetén lehet versenyképes alternatívája más szennyvízkezelési technológiáknak (Dittrich 2006):

- Amennyiben a település lakos száma 2000 fő alatti, különösen javasolt vizsgálni a létjogosultságát a 600 fő alatti településeknél vagy kisebb agglomerációknál.
- A befogadó 3-as vagy 4-es vízminőség-védelmi kategóriájú (amennyiben a befogadó élővíz).
- A befogadó nem nitrát-érzékeny terület vagy nem vízbázis-védelmi terület (amennyiben a befogadó a talaj és talajvíz).
- Olcsón vagy ingyen (önkormányzati tulajdonban) áll rendelkezésre, a szennyvíztisztító telep építésére alkalmas terület.

A gyökérmezős szennyvíztisztítási technológia nem alkalmas települési folyékony hulladék tisztítására (Vízügyi Segédlet 2001a). Jelenleg a gyökérmezős technológiát sok, különböző típusú szennyvíz tisztítására használják. Egyre gyakrabban alkalmazzák élelmiszer feldolgozók szennyvizének tisztítására. Továbbá vízszintes átfolyású gyökérmezőkkel sikeresen tisztítottak mezőgazdasági eredetű szennyvizeket, és hulladéklerakók csurgalékvizeit is (Vymazal 2009).

Hely kiválasztása:

A gyökérmezős szennyvíztisztító telepítésének helykiválasztásánál nagyon fontos figyelembe venni a domborzati viszonyokat, mert a megvalósításban a tereprendezés és a földmunka jelentős költségtenyező. Fontos a talaj vízáteresztő képessége. Erősen vízáteresztő talajokban a medencék fenekét és oldalait szigetelni kell (Müller 2003).

A felszín alatti átfolyású rendszerek esetében teljesen zárt rendszerről van szó, ezért a településektől való védőtávolság megítélése könnyebbé teszi a nyitott vízfelszínű rendszerekhez képest. Magyarországon tervezett, vagy létesített telepeknél általában csupán 150-300 méteres védőtávolságot írtak elő (Molnár 2004).

2.3.6 Hatásfok:

A jól megtervezett és üzemeltetett gyökérszűrő szennyvíztisztító telepek BOI_5 és lebegőanyag eltávolítási hatásfoka kb. 80 %-os, az összes nitrogén és foszfor eltávolítási hatásfoka kb. 40 %-os (Müller 2003). Németországi adatok (107 telep) szerint az átlagos összes foszfor eltávolítási hatásfokot 74%-nak, az ammónium-nitrogén eltávolítási hatásfokot 54%-nak, a BOI eltávolítási hatásfokot 83 %-nak találták (Börner et al. 1988).

2.3.7 Élettartam:

A természetes tisztítók élettartamát, biológiai rendszerek lévén, az üzemeltetés minősége befolyásolja. Helytelen működtetés esetén az ökoszisztéma - különösen makrofítás tisztításnál - visszafordíthatatlanul átalakulhat, ami a hatásfokra és az élettartamra egyaránt kedvezőtlen lehet. Az üzemelési rend kidolgozása és betartása tehát ezeknél a rendszereknél ugyanolyan fontos, mint az intenzív technológiáknál (Szilágyi 1994). Összefoglalva megállapítható, hogy a gyökérszűrő szennyvíztisztító rendszerek élettartama helyes üzemeltetés esetén legalább 20 évre becsülhető. Léteznek azonban olyan telepek, amik ennél sokkal hosszabb ideje működnek (BME VKKT 2001).



2.3.8 Költség:

Általánosságban elmondható, hogy a gyökérszén telepek létesítési költsége kisebb, üzemeltetési költsége pedig ötöde az eleveniszapos rendszerekének. Mivel a szennyvíz gravitációsan folyik át a rendszeren, és gépi levegőztetés nem, vagy csak csekély mértékben szükséges, ezért energiaigényük minimális (BME VKKT 2002). Azonban ez leginkább a nyugati telepek esetében igaz, melyek lényegesen hígabb szennyvizet kapnak a hazainál, valamint főképp biológiai tisztítás utótisztítójaként működnek.

Itthon a természet-közeli telepeknek részben előkezelt, töményebb szennyvizet kell tisztítaniuk, melyre egy lépésben nem képesek. Ezért a hazai telepeket hatékonyabb előkezeléssel kell ellátni, és multistage rendszerként kell kiépíteni, ellenkező esetben képtelenek lesznek betartani a határértékeket. Az így kiépített rendszerek létesítési költsége viszont megközelíti az eleveniszapos technológiáét. Alkalmazásuk mégis célszerűbb, ha a szükséges terület olcsón áll rendelkezésre. A gyökérmezős technológia ugyanis nem igényel olyan mértékű odafigyelést, mint az intenzív telepek, jobban bírja a szennyvíz mennyiségi ingadozását, valamint az alacsony üzemeltetési költségnek köszönhetően a beruházás 5-10 év alatt megtérül. Továbbá a gyökérmezős telepek előnye, hogy nem megfelelő üzemeltetés esetén is képesek magas eltávolítási hatásfokkal működni.

2.3.9 Közegészségügyi elemzés:

A gyökérszén szennyvíztisztító telepek működésének megítélésében különösen fontosak a közegészségügyi vonatkozások, hiszen a szennyvíztisztítás egyik legfontosabb célja az egészségvédelem, a fertőzésveszély elhárítása.

A patogén szervezeteket három csoportba szokták sorolni, ezek:

- Paraziták,
- Baktériumok,
- Vírusok.

A patogének a szennyvíztisztítás során szennyezhetik a talajvizet, a felszíni vizeket, vagy az aeroszolt. Az aeroszol szennyeződésének veszélye általában a levegőztetett rendszerek esetében nagyobb, felszín alatti átfolyású rendszereknél csekély (Szilágyi 2007). A talajvíz, vagy a felszíni vizek kórokozókval való elszennyeződésének veszélye nagyobb, mint az aeroszolé. Különösen a túlterhelt telepek okozhatnak bakteriális szennyezést, de bekövetkezhet üzemzavar miatt is (Müller 2003). A fertőzőtség detektálására könnyen tenyésztethető indikátor szervezeteket használnak. Ezek közül egyik legfontosabb az *Esherichia coli*. A gyökérszén szennyvíztisztítók befolyó vizében a coliform baktériumok egyedszáma 10^2 - 10^6 i/100 ml értéktartományú volt, ami a tisztított vízben 10^2 - 10^3 i/100 ml-re csökkent, a hatásfok értékek 96-99,7 % értéktartományban változtak.

A gyökérszén szennyvíztisztító rendszerek közegészségügyi működési tapasztalatait összefoglalva megállapítható, hogy azok baktérium, vírus, és ciszta eltávolítási hatásfoka kedvezőbb, mint a hagyományos eleveniszapos technológiánál. Általában 80 %-nál nagyobb baktérium eltávolítást biztosít. Azoknak az eljárásoknak a coliform eltávolítása kedvezőbb, amiknél a kiülepedés helyett a szűrés a legfontosabb eltávolító folyamat (BME VKKT 2001).

2.4 Hazai gyökérszén szennyvíztisztítók üzemelési tapasztalatai

A magyarországi kommunális szennyvizet tisztító szennyvíztisztító telepek 3 fő típusba sorolhatók: nyárfás, tavas, gyökérmezős telep (Szilágyi 2007). Hazánkban 16 gyökérszén



szennyvíztisztító létesült. Más európai országokhoz képest ez a szám meglehetősen alacsony. Ez leginkább a technológiával szembeni bizalmatlansággal magyarázható, melynek főbb okai az alábbiak (Dittrich 2006):

- A befogadói határértékrendszer alakulása napjainkig
- A hazai szennyvíztisztítási – csatornázási pályázatok rendszere
- A nem megfelelő tervezési gyakorlat és a kevés hazai tapasztalat
- A hazánkban üzemelő rendszerek negatív üzemelési tapasztalatai

A hazai természet-közei szennyvíztisztító telepek értékelése a meglévő adatok alapján meglehetősen nehéz. Mivel többnyire csak a környezetvédelmi hatóság által mért szórványos adatok álltak rendelkezésre, amelyek csak az elfolyó tisztított víz minőségét mutatják kevés komponensre (jobbára ammóniumra és KOI_{Cr} -ra) (BME VKKT 2002). A meglévő adatok elemzése alapján megállapítható, hogy a magyar természet-közei szennyvíztisztító telepek elfolyó szennyvíz tekintetében sok esetben nem teljesítik a hatályos rendelet határértékeit. Általában azokkal a telepekkel van nagyobb baj, amelyek ülepített szennyvizet tisztítanak (Szilágyi 2003). Általánosságban elmondható, hogy a hazai gyökermezős szennyvíztisztító telepek általában kissé kedvezőtlenebb elfolyó szennyezőanyag-koncentrációt mutatnak, mint a nemzetközi szakirodalomban bemutatott gyökermezős telepek (BME VKKT 2002).

Néhány hazai telep felmérése útján pontosabb képet kaphatunk a meglévő telepek tisztítási hatásfokáról. A 2001-ben készült jelentés adatai Boldog, Kacorlak, Salgótarján, Szépalmapusztá, Szügy és Tóalmás szennyvíztisztító telepek értékein alapulnak (Szabó et al. 2001).

2-2. táblázat: Hazai telepek eltávolítási hatékonysága (Szabó et al. 2001)

	KOI_{Cr} [mg/l]	LA [mg/l]	$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l]	Összes N [mg/l]	$\text{PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	Összes P [mg/l]
Nyers szennyvíz	363	128	61	75	9,3	12
Tisztított szennyvíz	66	42	23	52	7,7	4,6
Tisztítási hatásfok[%]	71	57	57	17	18,4	26

(Lakosi 2003) felmérte a Nyugat-Dunántúli természet-közei szennyvíztisztító telepeket. A felmérés alapján az akkor érvényben lévő határértékeknek egyik vizsgált telep sem felelt meg. Ugyanakkor felvetette a kérdést, hogy a hazai telepeknek miért kell az Európai Uniósnál szigorúbb határértékeket teljesíteniük.

A vizsgálat a zalakomári, tófeji, kacorlaci és kámi szennyvíztisztító telepre terjedt ki. A kacorlaci telepen megfigyelhetőek a tervezés korai problémái, részben talajtöltet alkalmazása, települési folyékony hulladék fogadása, melyet a befogadó védelme érdekében meg kellett szüntetni. Továbbá az utótisztító tavat üzemén kívül kellett helyezni, a szigetelés hiánya miatt. A kámi telep felépítése lényegében megegyezik a kacorlaciéval. Ugyanakkor utóbbi üzemelési tapasztalatait figyelembe véve épült meg. A tervező megnövelte a nyers szennyvíz KOI_{Cr} és $\text{NH}_4\text{-N}$ értékeit, valamint a fajlagos felületet. A vizsgálat alapján KOI_{Cr} tekintetében 81-88 %, BOI_5 tekintetében 91-94 %-os, $\text{NH}_4\text{-N}$ tekintetében pedig 72-81 %-os tisztítási hatásfokkal üzemelnek a telepek, ami egyértelműen megfelelőnek nevezhető, a határérték túllépések ellenére.

Az általában jelentős szennyezőanyag-eltávolítási hatásfokok mellett, a jelenleg érvényben



lévő hazai határértékrendszernek a gyökérmezős telepek nem tudnak megfelelni. Ezért a telepek nagy része állandó jelleggel fizet szennyvízbírságot, bár a telepek olcsó üzemeltetése általában ellensúlyozza a szennyvízbírság mértékét (Pásztor 2004).

2-3. táblázat: Hazai gyökérzónás tisztító telepek felsorolása (Dittrich 2008)

	Település	Működés kezdete	Működés helyzete	Szennyvíztípus
1	Tóalmás	1991	működés alatt	kommunális szennyvíz
2	Salgótarján	1992	2001-ben bezárt	kommunális szennyvíz
3	Boldog	1994	1999 óta csak utótisztítóként	kommunális szennyvíz
4	Szügy	1994	működés alatt	kommunális szennyvíz
5	Szépalmapuszta	1995	2001-ben bezárt	kommunális szennyvíz
6	Kacorlak	1996	működés alatt	kommunális szennyvíz
7	Sióagárd	1997	működés alatt	kommunális szennyvíz
8	Kám	1999	működés alatt	kommunális szennyvíz
9	Aparhant	2001	működés alatt	települési folyékony hulladék
10	Demjén1	2001	működés alatt	élelmiszeripari szennyvíz (csíra)
11	Kerecsend	2001	működés alatt	élelmiszeripari szennyvíz (gomba)
12	Demjén2	2004	működés alatt	élelmiszeripari szennyvíz (borászat)
13	Magyarbóly	2005	működés alatt	települési folyékony hulladék
14	Magosliget	2006	próbaüzem alatt	kommunális szennyvíz + települési folyékony hulladék
15	Ófalu	2006	próbaüzem alatt	települési folyékony hulladék
16	Hódmezővásárhely	2007	próbaüzem alatt	tejházi szennyvíz
17	Kaskantyú	2007	próbaüzem alatt	kommunális szennyvíz
18	Röjtök-Muzsaj	2007	próbaüzem alatt	kommunális szennyvíz

A Dunántúlon számos faluban tervezés és engedélyeztetés folyik gyökérzónás szennyvíztisztítók létrehozására. Kisméretű, telken belüli szennyvíztisztító nádagok számos településen, tanyán üzemelnek, például a Gyűrűfűi ökofalu minden házábanál (Pásztor 2004). Hódmezővásárhelyen tejházi szennyvíz tisztítására alkalmas kombinált gyökérzónás mintatelep is működik, melyben található függőleges és vízszintes átfolyású gyökérmező, utótisztító tó valamint nyárfás szikkasztó mező (Dittrich 2011).

A sióagárdi teleppel megegyező eljárással az 1990-es évtizedben a tóalmási, szügyi és boldogi telepek épültek (AQUA-MÉLYÉPTERV 1998).



2-4. ábra: Fontosabb hazai gyökérzónás szennyvíztisztítók elhelyezkedése (Pásztor 2003a)

Hidraulikus terhelés:

A hazai gyökérmezős tisztítók esetében gyakori, hogy az előlepitők hidraulikailag alulterheltek, azonban szervesanyagban túlterheltek. Ennek a jelenségnek alapvető okai, a hazai viszonyokra jellemző kicsi vízfogyasztás miatt jelentkező nagy szennyezőanyag koncentráció a nyers szennyvízben, tervezési, kivitelezési, üzemeltetési hibák, a tervezési irányelvek hiánya és az indokolatlanul szigorú határérték rendszer. Továbbá problémát jelent, hogy a tisztító telepeket többnyire két ütemben tervezik, de az előkezelő létesítményeket már kezdetben a két ütem együttes terhelésére alakítják ki.

Fajlagos felület igény:

A szűrőmezőket hazánkban gazdaságossági szempontból kis fajlagos felületre, általában 2 m²/fő körül tervezik. Az üzemelési tapasztalatok azonban bebizonyították, hogy tervezéskor az előírt fajlagos felület határok felső értékeit célszerű figyelembe venni, nem célszerű 5 m²/fő érték alá menni, mert ez akadályozza a megfelelő működést. Valamint a megfelelő fajlagos felület a gyors eltömődés ellen is védi a szűrőtöltetet.

Hatásfok:

A vízszintes átfolyású telepeink a nemzetközi szakirodalommal ellentétben, a tisztítási hatásfok tekintetében alul maradnak a függőleges átfolyásúakkal szemben. Ennek oka a szűrőmező nem megfelelő hidraulikai működése. Ugyanis a túl kis szemcseméretű, és túl nagy agyagtartalmú talajtöltetnek köszönhetően a szennyvíz nagyrészt a szűrőmező felületén folyik át, ahol megtisztulni nem tud, tartózkodási ideje csekély.

A meglévő természet-közeli telepek üzemelési tapasztalatait és problémáit figyelembe véve a hazai tervezési gyakorlatban a mostaniaknál hatékonyabb telepek tervezhetőek, ha alkalmazzuk a külföldi gyakorlatban bevett kombinált eljárásokat, és a telepek üzemeltetését rugalmasabbá tesszük. Természetesen ezek többlet költséget jelentenek, amit a legtöbb kistérség nem tud önállóan finanszírozni.



Szezonalitási hatások:

A szennyező anyag eltávolítás hőmérsékletfüggése miatt téli időszakban a nyárinál nagyobb szűrőfelületre lenne szükség, amit a tervezésnél figyelembe kellene venni. Így a nyári időszak alatt a szűrőmezők felváltva pihentethetők lennének, amely késleltetné az eltömődésüket. Ugyanakkor a nyári időszakban pihentetett szűrőmezőkön a kiszáradás miatt a nád kipusztulhat.

A szennyvíz előkezelése:

A gyakorlatban az a tapasztalat, hogy nem megfelelő a kiépített előülepítők hatásfoka az olyan gyökérmezős szennyvíztisztító telepeken, ahol a szennyvizet szakaszosan emelik fel. A nyers szennyvíz lökésszerűen érkezik az ülepítőbe alulról, és így nem tud a szerves anyag kiüledni. Így a szűrőmezőre bocsáthatóság feltételeit nem teljesíti az előtisztított szennyvíz (Müller 2003). A befolyó tömény szennyvíz miatt még a jó hatásfokkal működő előülepítőkől kifolyó szennyvíz is átlépheti a szűrőágyra bocsáthatóság feltételeit. Az ülepítő rossz hatásfokáért felelős lehet még a ritka és kis mennyiségű iszap elvétel. Az előülepítők hatásfokának növelése tehát mindenképpen fontos lenne. Megoldási lehetőség kiegyenlítő tartály alkalmazása, vagy a kémiai kicsapítás, ezt a szügyi gyökérmezős telepen alkalmazzák is.

A töltet anyaga:

Sok esetben problémát okoz a töltet anyagának helytelen megválasztása, ami miatt a szűrőtöltet a kelleténél sokkal korábban eltömődik. Ez a jelenség megfigyelhető volt a kámi, vízszintes átfolyású, talajtöltetű szennyvíztisztító szűrőmezőinek felszínén. Valamint a homoktöltet kis szemcseméretének köszönhetően a síóagárdi telepen.

A helytelen töltet alkalmazásának többnyire anyagi és gyakorlati okai vannak. A közelben található és kinyerhető, szállítási költséggel kevésbé terhelt talaj és homok beépítése egyszerűbbnek és olcsóbbnak tűnik, azonban az egész technológiát működésképtelenné teheti.

A szűrőmezők oxigén ellátása:

A szűrőmezőben aktuálisan lévő vízszint felett mindig kell lennie egy oxigén dús rétegnek.

Függőleges átfolyású gyökérmezős rendszer esetén a szennyvíz szakaszos rávezetése biztosíthatná az oxigén utánpótlást. Ugyanis a szűrőmezőben süllyedő vízszint maga után szívna a levegőt, így biztosítva az aerob körülményeket. Ebben az esetben körültekintően kell megválasztani a rávezetések közötti pihentetés idejét. A rávezetés szakaszosságának megoldására külföldön billenő vályúkat is alkalmaznak.



3 Anyag - módszer

A sióagárdi szennyvíztisztító telep vizsgálata során telepbejárást és helyszíni méréseket, mintavételek végeztem hat alkalommal. Továbbá rendszereztem a telep adatait, felderítettem annak történetét és jelenlegi állapotát. Ebben segítségemre volt Sióagárd Község Önkormányzata, a Tolnai Víz és Csatornamű Kft., a Sióköz Kft., a Csernik és Társa Kft., valamint Müller Mónika Edit korábbi szakdolgozata. Az adatok értékelésével teljesen megismertem a telep állapotát, és a problémák felderítése után javaslatokat tettem a javítás lehetőségeire.

3.1 A sióagárdi szennyvíztisztító telep bemutatása

Sióagárd Tolna megyében, a Sió és a Sárvíz összefolyásánál található, megközelítőleg 1300 lakosa van. A település lakói leginkább a megyeszékhelyre járnak dolgozni. Mezőgazdasággal a lakosság tizede foglalkozik. A megyeszékhely közelsége és a település zsákfalú volta miatt folyamatos a városi lakosság kiköltözése, a népesség lassan emelkedik. A csatornázottság jelenleg 85 %. Ezért a lakos szám és a rákötések növekedésével a tisztítandó szennyvíz mennyisége is növekedhet a jövőben.

3.1.1 A szennyvíztisztító telep története

A Sióagárdi szennyvíztisztító telep az AQUA Mélyépterv International Kft. III-3/1994 terve alapján, a 20.441/1995. számú határozat által jóváhagyva épület meg, mint természet-közel szennyvíztisztítási technológia, mely során a mechanikai és biológiai tisztítás kétszintes ülepítővel és gyökérszűrés szűrőágyakkal valósult meg. A telep kivitelezése 1997. májusában kezdődött, és 1997. augusztusában fejeződött be. A telep műszaki átadására és üzembe helyezésére 1997. VIII. 18. került sor, amely a próbaüzemeltetés indító napja is volt. A vízjogi engedély érvényességi idejét a 20.961/1997.II. határozat 1998. december 31-ig hosszabbította meg (KDT KTVF).

A próbaüzem nem volt sikeres. A tisztított szennyvíz ammónia tartalmát nem sikerült határérték alá vinni, ezért az Önkormányzat fejlesztést tervezett. A Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság 20053/2001 számon vízjogi üzemeltetési engedélyt adott a Tolna Víz- és Csatornamű Kft-nek arra, hogy a többször módosított 20.974/1993. engedély alapján épült sióagárdi szennyvíztisztító telepet üzemeltesse. A KDT KTVF 18707/2006. számú határozatában elvi vízjogi engedélyt adott ki a bővítési terv II. számú változata alapján. Továbbá kilenc hónapos időtartamra próbaüzemet írt elő, mely során laboratóriumi vizsgálatokkal kell ellenőrizni az általa megadott kibocsátási határértékeknek való megfelelést. Az engedélyezett bővítési terv máig nem valósult meg. A szennyvíztisztító telep üzemeltetését 2011. július 6-tól a sióagárdi Polgármesteri Hivatal tulajdonában lévő Sióköz Kft. vette át.

3.1.2 A sióagárdi szennyvíztisztító telep adatai

A szennyvíztisztító mű tulajdonosa: Sióagárd Község Önkormányzata

A szennyvíztisztító mű üzemeltetője: Sióköz Kft.

A szennyvíztisztító telep helye: Sióagárd 025/22, 23 hrsz. ingatlan

Sióagárd község szennyvízcsatorna hálózata elválasztott rendszerű.

Szippantott szennyvíz fogadására a telep nem alkalmas (Tolna Víz- és Csatornamű Kft. 2000). A településre nem jellemző az ipari szennyvízkibocsátás, a szennyvíz jellegét tekintve kommunális.



Sióagárd lélekszáma 1275 fő, a lakások száma 519 (Központi Statisztikai Hivatal 2010), ebből 435 lakás szennyvizét vezetik a szennyvíztisztító telepre. Tehát az ellátottság megközelíti a 85 %-ot. Így megközelítőleg $1275 \cdot 0,85 = 1083,75 \approx 1084$ fő az ellátandó lakosok száma jelenleg.

2011-es mérési adatokra alapozva, és 100 l/fő/nap vízfogyasztást feltételezve:
 $Q = 108400 \text{ l} / d = 108,4 \text{ m}^3 / d$

$C_{beKOI} = 709,3 \text{ mg/l}$

A napi KOI_{Cr} terhelés: $E_{beKOI} = Q \cdot C_{beKOI} = 108,4 \cdot 709,3 / 1000 = 76,89 \text{ kg} / d$

A KOI_{Cr} -ra vonatkoztatott fajlagos $LE_{KOI} = 120 \text{ g/fő/nap}$,

A telep KOI_{Cr} -ra vonatkoztatott szerves anyag terhelése:

$$LE_{beKOI} = E_{beKOI} \div le_{KOI} = 76,89 \div 0,12 = 640,73 \approx 641 \text{ LE}$$

Ugyanezen számítás alapján:

$LE_{BOI} = 631 \text{ LE}$

$E_{beBOI} = 37,9 \text{ kg/d}$

$LE_{LA} = 572 \text{ LE}$

$E_{beLA} = 40,1 \text{ kg/d}$

$LE_{\text{ÖN}} = 672 \text{ LE}$

$E_{be\text{ÖN}} = 7,39 \text{ kg/d}$

$LE_{\text{ÖP}} = 272 \text{ LE}$

$E_{be\text{ÖP}} = 0,82 \text{ kg/d}$

A szennyvíztisztító telep tervezésekor figyelembe vett paraméterek azonban a következők (Tolna Víz- és Csatornamű Kft. 2000):

Hidraulikai kapacitás (I. ütem)	90 m ³ /d
KOI_{Cr} terhelés	48 kg/d
NH ₄ -N terhelés	4,44 kg/d
P terhelés	0,68 kg/d

Jól látható, hogy a tervezésnél alkalmazott értékek lényegesen kisebbek a jelenlegiekénél.

A szennyvíztisztító telep jelenlegi hidraulikai terhelése száraz időben körülbelül 100-130 m³/d, amely intenzív csapadékos időben kismértékben nő.

3.1.2.1 A tisztított szennyvíz minőségi követelményei:

A Közép-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi, és Vízügyi Felügyelőség által 2006 áprilisában megállapított kibocsátási határértékek a következők (Csernik és Társa Kft. 2006):

- KOI_{Cr} 200 mg/l
- BOI_5 50 mg/l
- összes LA 75 mg/l
- összes P 10 mg/l
- összes N* 55 mg/l
- SZOE 30 mg/l
- NH₃-NH₄-N* 20 mg/l
- pH 6-9,5

*május 1-től november 14-ig terjedő időszakra

A tisztítótelep jelenlegi üzeme normál kommunális szennyvíz befogadása mellett nem megfelelő. A telep bővítése elkerülhetetlen.



3.1.3 A szennyvízelvezető rendszer adatai

A települési csatornahálózat öblözetenként gravitációs jellegű, anyaga NA 200 KG PVC.

A szennyvíz átemeléssel kerül a szennyvíztelepre.

Gravitációs vezeték: NA 200 KG PVC, 7327,3 fm, 126 db akna

Szennyvíz nyomóvezeték: NA 80/100/150 KM PVC, 1228,3 fm

Szennyvízátemelők:

3-1. táblázat: A síóagárdi szennyvízátemelők helye és típusa (Tolna Víz- és Csatornamű Kft. 2000)

Átemelő	Térfogat $V_h [m^3]$	Szivattyú	Nyomóvezeték	
			típusa	hossza [fm]
I Bezerédi utca	4	Flyght CP 3067 (2 db)	NA 100 KM PVC	232,8
II Zrínyi utca vége	4	Flyght CP 3067 HT (2 db)	NA 63 KM PVC	42
II Baross utca	6	Flyght 3102 MP (2 db)	NA 150 KM PVC	303,8
			NA 100 KM PVC	623
IV Széchenyi utca	6	Flyght3102 CP (2 db)	NA 80 KM PVC	26,7

3.1.4 A szennyvíztisztító telep műtárgyai

Szennyvíz mérőakna:

Elhelyezése a beérkező nyomott szennyvízvezetéken történik. Az aknában szárnykerekű vízmérő került elhelyezésre, mely évek óta nem működik.

Kétszintes ülepítő:

Iker kivitelben épült, 3 méter átmérőjű ROCLA csövekből épített műtárgy. A műtárgy alaprajzi mérete: 5,20 x 7,45 x 6,0 m. Az ülepítő tér teljes hasznos térfogata: $V = 42 m^3$. A rothasztó térfogata: $V_R = 60 m^3$. A terepszinttől kiemelve



épült 1:1,5 földtöltéssel (Müller 2003).

3-1. kép: Kétszintes előülepítő

Szűrőágyak:

A szűrőágyak részben süllyesztve részben töltéssel körülvetten, kiemelve épültek. Az I. ütemben a 6 db 14,0 x 21,0 m fenékméretű földmedencéből megvalósult 3 db függőleges átfolyású szűrőágy vízzáró teknőszigeteléssel kialakítva és 1:1 rézsűhajlású töltéssel körülvéve. a teljes szűrő



felülete $1224 m^2$ (Tolna Víz- és Csatornamű Kft. 2000).

3-2. kép: A szűrőágyak sora az előülepítő felől

Szűrőágy rétegfelépítése (alulról–felfelé):

- 10 cm homok
- szigetelés (SICOFOL lágy PVC fólia $S=1,5$ mm) vízzáróan
- 25 cm kavics (5–10 mm átmérőjű osztályozott) gyűjtővezetékkel
- 60 cm homok (2–3 mm átmérőjű) gyökérzóna
- 25 cm kavics (5–10 mm átmérőjű osztályozott) elosztó vezetékkel
- 30 cm humusz

A szűrőmezők töltete azonban a tervektől eltérően, rétegezés nélküli kavicsfeltöltéssel valósult meg. Továbbá a valóságban elosztórendszer csupán a harmadik szűrőmező esetében egyezik meg a tervezettel. Az első két szűrőmező elosztórendszere a vízszintes átfolyásúakéhoz hasonló.

Fertőtlenítő műtárgy:

A szennyvíztisztító telepeken általában a fertőtlenítés lehetőségét biztosítani kell. A fertőtlenítő medence $4,40 \times 1,60$ m alapterületű $2,22$ m mélységű monolit vasbeton műtárgy fedett kivitelben. Hasznos térfogata $3,36 \text{ m}^3$ (Müller 2003).



3-2. kép: A fertőtlenítő műtárgy befolyás felőli oldala

3.1.5 A szennyvíztisztító telep tisztítási folyamata

A tisztítási eljárás lényege a mechanikailag tisztított szennyvíz biológiai tisztítása a mesterségesen kialakított szűrőágyak gyökérzónájában (Tolna Víz- és Csatornamű Kft. 2000).

A szennyvíztisztító telepen három fokozatban történik a szennyvíz kezelése:

- Előülepítés,
- Biológiai tisztítás a szűrőágyon,
- Fertőtlenítés.

A szennyvíz a hálózati végátemelőről érkezik, az átemelő nyomja a vizet az elosztóaknába, innen az elosztóvályúba. A vályúból 6 db elosztócsövön kerül a kétszintes, $180 \text{ m}^3/\text{d}$ kapacitású ülepítőre. Az ülepítő iszapterében, a rothadási folyamat közben keletkező gázok kiszellőzését 3 db acélcső kivezetés biztosítja. Az ülepítést követően a gravitációs elosztó vezetéken át jut az ülepített szennyvíz a három darab gyökérzónás kazettába, melyekben a $90 \text{ m}^3/\text{d}$ mennyiségű szennyvíz biológiai tisztítása folyik (Hajdú 2002). A kavicságyba fektetett perforált csövek biztosítják a szennyvíz egyenletes vízszintes elosztását. A bevezetett szennyvíz a perforált csövek alatt elhelyezkedő 60 cm vastag, $2\text{--}3$ mm szemcse nagyságú homokrétegen szűrődik át. A homokréteget a kazettákba telepített nád gyökérzete szövi át, az itt megtelepedő mikroorganizmusok végzik el a szennyvíz szerves anyagának lebontását. A szűrőágyakra nem vezethető $250 \text{ g}/\text{m}^3$ -t meghaladó lebegőanyag tartalmú ülepített szennyvíz. A kazettákból távozó tisztított szennyvíz a gyűjtő vezetéken keresztül a fertőtlenítő aknába jut, ahol szükség szerint elvégezhető a fertőtlenítés. A fertőtlenítő aknában elhelyezett szivattyú juttatja a tisztított szennyvizet a Sió csatorna $19 + 358$ fkm bal parti szelvényébe. Gravitációs bevezetésre is van lehetőség, a $19+409$ km szelvényben lévő zsilipen keresztül (Csernik és Társa Kft. 2006).



3.1.6 A telepen keletkezett hulladékok kezelése

A sióagárdi szennyvíztelepen keletkező iszap és rácsszemét kezelése és ideiglenes elhelyezése a tolnai szennyvíztisztító telepen történik, majd a Szekszárdi Vízmű Kft. szennyvíztelepére szállítják, ahol gondoskodnak a végleges mezőgazdasági elhelyezésről. A rácsszemét elhelyezése ártalmatlanítás után a tolnai hulladéklerakón történik (Tolna Vízi- és Csatornamű Kft. 2009).

3.1.7 Önellenőrzés:

Az önellenőrzés illetve a mintavétel elvégzésével megbízott szervezet az URANUS Vízi- Csatorna Kft. Szekszárd, Keselyűsi út 22. A minták vizsgálatát végző szervezet a Paksi Vízmű Kft. Vízminőség-ellenőrző Laboratórium, Paks, Kölesdi u. 46.

Akkreditálási szám: MAT-1-1228/2004

A mintavétel negyedéves gyakorisággal történik, négyórás átlagmintával.

A mintavétel helye az elfolyó szennyvízből a fertőtlenítő medencénél.

A vizsgált komponensek és az analitikai módszerek:

3-2. táblázat: Alkalmazott analitikai módszerek

Befolyó szennyvíz	Elfolyó szennyvíz	Analitikai módszer
pH	pH	MSZ 260-4:1971
KOI _{Cr}	KOI _{Cr}	MSZ 260-16:1982
BOI ₅	BOI ₅	Oxi Top
Ammónium-N	Ammónium-N	MSZ ISO 7150-1:1992
Összes lebegőanyag	Összes lebegőanyag	MSZ 260-3:1973
	Összes nitrogén	MSZ 260-12:1987
	Összes foszfor	MSZ 260-20:1980
	Szerves Oldószer Extrakt	
	Nitrát	
	Kjeldahl-nitrogén	
	Nitrit	

3.1.8 Szennyvízbírság

A hatóság által megállapított szennyvízbírság összegeit tartalmazza a 8. táblázat. 2001 és 2003 között a bírságolás KOI_{Cr}, NH₃-NH₄-N és Na egyenérték alapján történt. A sióagárdi szennyvíztisztító telep számára türelmi idő kezdődött 2004-ben, melynek következtében csupán az alapbírság 12 %-át fizeti ki ténylegesen. A 2008 és 2010-es időszakban a bírságoláskor figyelembe vett paraméterek a következők: BOI₅, összes lebegőanyag, NH₄-N.

3-3. táblázat: A sióagárdi szennyvíztisztító telep számára meghatározott szennyvízbírságok (Sióköz Kft. 2011)

Év	Alapbírság [Ft]	Fizetendő bírság [Ft]
2001	69 449	69 449
2002	79 041	79 041
2003	56 490	56 490
2008	8 969 810	717 585
2009	10 927 747	1 311 330
2010	7 302 496	876 300



Azonban a bővítés kivitelezésének halogatásával a türelmi idő sem tart örökké, továbbá jelenleg a bővítés költségei mindössze két év alapbíróságának felelnének meg.

3.1.9 A szennyvíztisztító telep üzemelési tapasztalatai:

A szennyvíztisztító telep kezelője Mészáros Ferenc, aki rész munkaidőben látja el az üzemeltetés feladatát.

A sióagárdi szennyvíztisztító telep üzemelésének első éveiben a vártnál lényegesen nagyobb arányú rákötések voltak jellemzőek. Így a telep első elkészült üteme a tervezettnél nagyobb hidraulikai és szervesanyag terhelésnek van kitéve. A meglévő 1224 m² szűrőmező felület, számításaim szerint, megközelítőleg 700 lakos egyenértéknek megfelelő terhelést kap.

Az előülepítő tetején vastag és berothadt iszapréteg alakult ki. A műtárgy szakaszosan, nagyjából óránként egyszer 1 m³ szennyvizet kap lökésszerűen a végátemelőből, amely rontja az ülepítés hatásfokát. Az ülepítő hasznos térfogata, és így a szennyvíz tartózkodási ideje lecsökkent, mivel a negyedévente esedékes iszapelvétele alkalmával csupán pár m³ iszapot tudnak Bonyhádra szállítani, a befogadó kis kapacitása miatt. A Sióköz Kft. ezért új, nagyobb kapacitással rendelkező befogadót keres.

A kezdetben megfelelően működő szűrőágyakon az idő elteltével egyre kevesebb szennyvíz tudott átfolyni. A korábban fokozottabban igénybe vett 1. és 2. szűrőmező eltömődött. Az eltömődés következtében a szennyvíz megjelent a szűrőmező felszínén, a szűrőmezőbe ültetett nád gyérülni és száradni kezdett, gyomnövényfajok jelentek meg. A harmadik szűrőmező (megfelelő elosztórendszerének köszönhetően) hosszabb idő alatt tömődött el, huzamos ideig a telep teljes terhelését kapta. A szennyvíz egyenletesebb elosztását tolózárak beépítésével próbálták megoldani, mely ilyen kis szennyvízmennyiségnél nem vezetett eredményre.

A telep üzemelése során az előregedéssel kapcsolatos problémák jelentkeztek. Ilyenek az ülepítő fedőlapjának korhadása, a gépészet és a csatornahálózat előregedése. Ennek következtében csapadékos időszakban a telep hidraulikai terhelése megnövekedik, az átemelő szivattyúk egyes esetekben nem bírják a terhelést, és a csapadékvízzel keveredett szennyvíz kibukik a csatornafedélen. A túlterheltségben közrejátszik, hogy a pincékben megjelenő talaj- és csapadékvizet a csatornahálózatba szivattyúzza a lakosság.

Különböző próbálkozások történtek a telep hatásfokának növelésére. Többek között az előülepítőbe adagolt vegyszer révén, mely nem hozott érzékelhető eredményt. Majd az egyik szűrőtöltet cseréje folytán javult a tisztítás hatásfoka, azonban ez csak rövid ideig tartott. A szűrőmezők visszatartása miatt a szennyvíz rendszeresen kibukott az elosztó aknák tetején, és a töltés mellett a telep szigeteletlen területére folyt ki. Ez elszennyezhette a talajvizet, valamint veszélyt jelentett a telep kapujától 30 méterre található birkaitató tóra. 2011 júliusában az első két szűrőmező elosztó dréncsővének kimosatására és az elosztó kavicsréteg cseréjére került sor. Ekkor mind a csöveken, mind a kavicsrétegen fekete elszíneződés volt látható. Ezt a vas-szulfid jelenléte okozza, mely a rothadás jele. A csövekben megjelent a nádgyökérzet is.

3.2 Mérés

A szennyvíztisztító telep tisztítási hatékonyságának megismerését a szórványos és kevés paraméterre kiterjedő adatállomány akadályozta leginkább. Ezért a telep állapotának jobb megismerése érdekében, a negyedéves eredményeknél gyakoribb, és több komponensre kiterjedő vizsgálatokat végeztem, mind a helyszínen, mind laboratóriumban.

3.2.1 Helyszíni mintavétel:

A helyszíni mintavételek a telep vezetőjének jelenlétében és segítségével történtek. Összesen hat mintavételezést végeztem, májustól, októberig havi rendszerességgel.

A helyszíni mintavétel során 1 literes palackokba gyűjtöttem a mintákat, melyeket azt követően Budapestre szállítottam. A mintavétel közben is sor került szennyvíz minőségi vizsgálatra, ekkor megmértem a szennyvíz hőmérsékletét, vezetőképességét, oldott oxigén koncentrációját, oxigén telítettségét és pH-ját.

A használt terepi műszerek a következők voltak:

- pH mérő: WTW pH/Cond 340i
- oldott oxigén és vezetőképesség mérő: HACH, HQ 30d



3-3. kép: Helyszíni mérés

A mintavételhez használt eszközök:

- Terepi műszerek
- Desztillált víz
- Törlőkendő
- Mintavevő edény
- Gumikesztyű
- Táblázat, íróeszköz

3.2.2 Mintavételi időpontok és körülmények

A mintavételek pontos időpontjai:

- 2011. 05.23.
- 2011.06.28.
- 2011.07.27.
- 2011.08.16.
- 2011.09.07.
- 2011.10.10.

A mintavételek alkalmával a szennyvíztisztító telep működési állapota igen eltérő volt.

A májusi mintavételkor mindhárom szűrőmező tisztított, azonban az első kettőn csak a ledugózás miatt folyt át a szennyvíz. Mennyiségileg a harmadik szűrőmező viselte a legnagyobb terhet, a többi mezőből kifolyó szennyvíz töredéke volt ennek.

A június mintavétel idején a telep átlagos működését figyelhettük meg. Csak az utolsó szűrőmezőn folyt át a szennyvíz. Azonban a töltetek visszatartása miatt az előülepített



szennyvíz egy része a túlfolyó vezetéken közvetlenül a fertőtlenítő medencébe folyt, vagy az elosztó akna fedelén átbukva a telep füves területére.

A júliusi mintázás körülményei hasonlóak voltak a júniuséhoz. Ekkor az elosztó vezetékek kimosatása és a kavicsréteg cseréje miatt nem engedtek az első két szűrőmezőre

szennyvizet.

Az elosztórendszer eltömődött és fekete volt, a nádgyökérzet is megjelent benne. Az elosztó környezetében alkalmazott kavicsréteget 16/32-es eloszlásúra cserélték. Az eddig meglévő gyér nádas száradt ezeken a mezőkön, gyomnövények jelentek meg. A harmadik szűrőmezőn a nád sűrűbb és zöldebb volt.

Az augusztusi mintavétel a kimosatást követően három héttel történt. A szennyvíz mindegyik szűrőmezőn átfolyt. De a mennyiségi eloszlás egyenetlen volt. A második szűrőmező vezette el a legtöbb szennyvizet, ennek tizede volt az első kifolyása. A harmadik szűrőmező pedig csak elhanyagolható mennyiséget eresztett át, ami a mintavételt is nehezítette. Az első két szűrőmező felszínén megjelent a szennyvíz. Az első szűrőmező kifolyásánál, és ebből következően a fertőtlenítő medencében is habosodást figyeltem meg. A szűrőtöltet megbolygatásának helyszínén frissen kihajtott, egészséges nád jelenet meg.

A szeptemberi időpont alkalmával, az iszapelszállítás következtében a felúszott iszapréteg vékonyabb volt. A tolózárak teljesen nyitva voltak, az elosztó aknában állt a víz, de éppen nem folyt el a túlfolyón. A harmadik szűrőmezőn nem volt észrevehető kifolyás, az első két szűrőmezőn nyomás hatására átfolyt a szennyvíz. Mennyiségi szempontból a második szűrőmező terhelése nagyobb volt. A működő szűrőmezők befolyó víz felöli sarkaiban megjelent a szennyvíz a töltet felszínén. Ennek oka, hogy az elosztócsőből a szűrőmezőre ráfolyni nem tudó szennyvíz a cső végén bukott ki, és ráfolyt a töltet felső rétegére. A fertőtlenítő medencében továbbra is habosodást figyeltem meg, lényegében egy csekély oxigén koncentrációval rendelkező eleveniszapos medenceként működött. A szűrőmezőkön a nád ritka és alacsony növésű volt, szárazföldi gyomnövények jelentek meg.

A szeptemberi mintavétel után javasoltuk a vízszint megemelését a szűrőágyakban, a kifolyó csövek felhajtásával. Ennek köszönhetően az októberi mintavétel alkalmával megfigyelhető volt, hogy a szennyvíz egyenlően oszlott el az első két szűrőmezőn, szemrevételezésre áttetsző és sárgás volt. Az első mező vízszintje kisebb mértékben emelkedett, mint a másodiké, így az előbbi felszínén nem jelent meg a szennyvíz, a másodikén azonban



3-4. kép: Szárazföldi növényzet (bodza) megjelenése



3-5. kép: Szennyvíz megjelenése a töltet felszínén



3-6. kép: A nád rohamos növekedése a töltet elárasztott felszínén

teljes hosszában. Az elárasztott részeken a frissen kihajtott nád rohamosan növekedett. A harmadik szűrőmezőn azonban továbbra sem volt képes átfolyni a szennyvíz.

3.2.3 Mintavételi helyek

A mintavételek hat kiválasztott ponton történtek, melyek a következők:



3-8. kép: Kossuth utcai végátemelő



3-11. kép: Az előülepítő elfolyója



3-7. kép: Az első szűrőmező elfolyó vezetéke



3-12. kép: A második szűrőmező elfolyó vezetéke



3-10. kép: A harmadik szűrőmező elfolyó vezetéke



3-9. kép: A fertőtlenítő medence befolyója

Mérési módszerek, mért komponensek

A vízvizsgálatok elvégzéséhez szükséges módszerek döntő többségét a 2010/2011/2 félév során a Vízi Közmű és Környezetmérnöki Karon az „Általános vízkémia laborgyakorlat” folyamán sajátítottam el. Ezek a következők: pH, oldott oxigén, vezetőképesség mérés, KOI_{ps} , keménység, klorid-ion, szulfát-ion, nitrát-ion, nitrit-ion, ortofoszfát-ion koncentráció, lúgosság meghatározása. A szennyvízvizsgálathoz elengedhetetlen egyéb módszereket (KOI_{Cr} , összes N, összes P) a nyári gyakorlatom kezdetén, a Musa Ildikó tanárnő által tartott külön gyakorlat keretében tanultam meg. A szennyvízminták vizsgálatát és kiértékelését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék vízkémia laboratóriumában végeztem el. Az általam mért paraméterek és azok meghatározásához alkalmazott módszerek a következők:



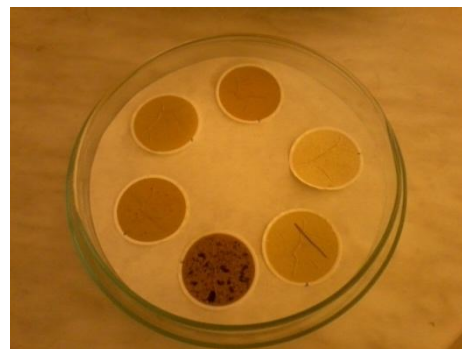
3-4. táblázat: Vizsgált komponensek és analitikai módszerek

Komponens	Analitikai módszer
pH	MSZ 260-4:1971
BOI ₅	OxiTop
KOI _{cr}	MSZ ISO 6060
Lebegőanyag	MSZ 260-3:1973
Összes és szerves nitrogén	MSZ 260-12:1987
Kjeldahl-nitrogén	MSZ EN 25663
Ammóniumion	MSZ ISO 7150-1
Nitrátió	MSZ 260-10:1971
Nitritió	MSZ 260-10:1985
Összes foszfor	MSZ 260-20:1980
Foszfát	MSZ 260-20:1980
Lúgosság	MSZ 260-5:1971
Kloridion	MSZ 206-6:1977
Szulfátió	MSZ 260-7:1987

Alkalmazott műszerek és berendezések:

- NANOCOLOR 400 D fotométer
- A&D GR-202-EC analitikai mérleg
- DK 20 HeatingDigester
- behrotest TRS 200 roncsoló
- WTW OxiTop IS 12 InductiveStirring System
- Ecocell BMT szárító szekrény

A mérési eredmények táblázatait a mellékletben közöltem.



3-13. kép: Lebegőanyag szűrő papírok

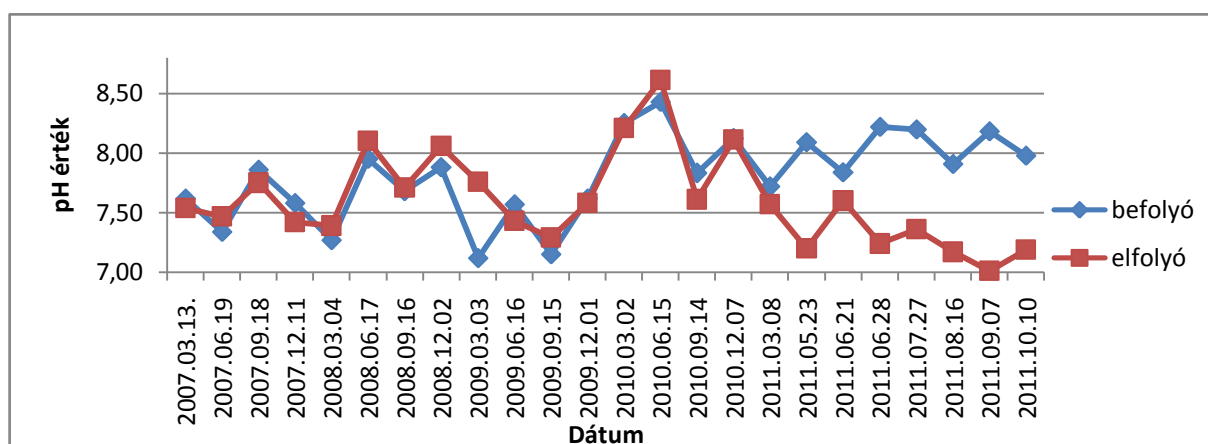
4 Eredmények értékelésük

4.1 Értékelés komponensenként

A Közép-Dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi, és Vízügyi Felügyelőség által mért negyedéves adatok és a saját mérési eredményeim összegzésével értékeltem a telep helyzetét. Az adatok a 2007. márciusa és 2011. szeptembere közötti időszakot ölelik fel. A fontosabb, és sokatmondó komponensek alakulását diagramon ábrázoltam, melyen feltüntettem a befolyó és elfolyó szennyvíz minőségét, valamint a vonatkozó határértéket. Így könnyen észrevehetőek a határérték túllépések.

pH érték:

A befolyó nyers szennyvíz és az elfolyó szennyvíz pH értékei alapján látható, hogy 2011-ben az elfolyó víz pH értéke minden esetben kisebb, mint a befolyóé. Tehát a tisztítás folyamán szállt le a pH. Saját mérési adataim szerint az előülepítő után átlagosan 0,71-el csökken a pH, amely savas erjedés jele lehet.



4-1. diagram: A pH érték alakulása

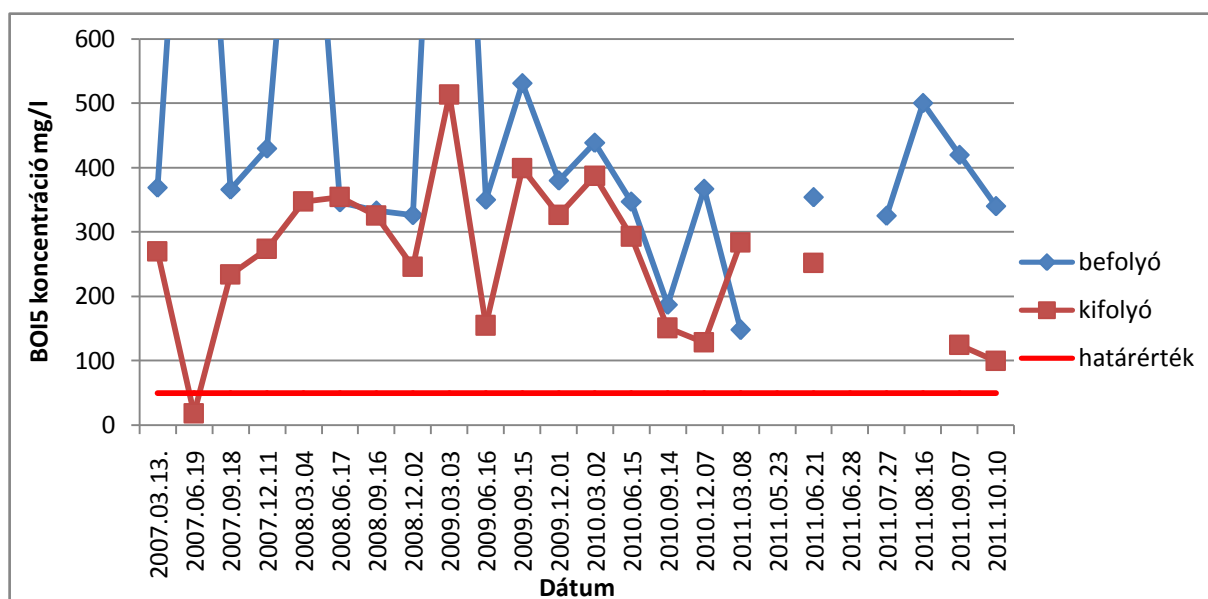
Oldott oxigén koncentráció:

A szennyvíztisztító telep műtárgyait végigkövetve látható, hogy a végátemelő aknában, a szintesés következtében viszonylag magas az oxigén koncentráció. Az előülepített szennyvíz oxigén telítettségét befolyásolja a mintavétel ideje, vagyis az, hogy a hirtelen betáplált szennyvíz miatt a bukó élen elfolyó szennyvízből, vagy a kivezető csatornából vesszük-e a mintát, amelybe a bukó élen át éppen nem folyik ki szennyvíz.

Biológiai oxigén igény:

Az elfolyó víz BOI_5 koncentrációja lényegében a kiugró csúcsokat (1231, 1099, 1461 mg/l) elsimítva követi a befolyóét. A telep megfelelő tisztításra képtelen, folyamatos és nagymértékű a határérték túllépés.

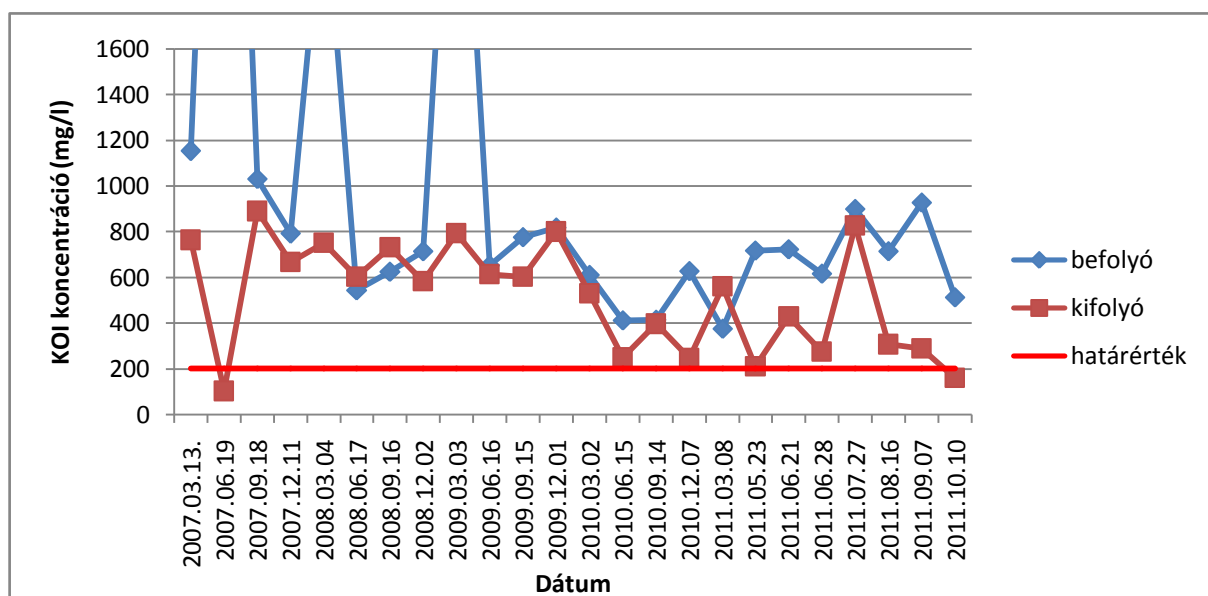
A BOI_5 értékek alakulását mutató diagram alapján egyértelmű, hogy a szennyvíztisztító telep hatásfoka alacsony, a mérések alapján 38 %-ra adódott. Ez messze elmarad az optimális üzemelés mellett elvárható 80 százaléktól, valamint a jól működő, hasonló kialakítású hazai telepeken megfigyelhető, legalább 70 %-os hatásfoktól (Lakosi 2003, Szabó et al. 2001).



4-2. diagram: BOI_5 koncentráció alakulása

Kémiai oxigén igény:

A nyers szennyvíz csúcsok (4612, 2335, 3129 mg/l) levágásával részletesebbé tett diagramon látható, hogy a KOI_{Cr} tekintetében is többnyire csak a kiugró értékek elsimítása történik. A 2011. májusi mérés alkalmával, mikor mindhárom szűrőmező ledugózással kényszerítve volt a működésre, az eltávolítás hatásosabb volt a többi esetnél (70,85 %), mely megfelel az ilyen típusú telepektől elvárhatónak. A júliusi mintavételnél ezzel szemben, az első két szűrőmező lezárása miatt a tisztítás szinte hiányzik (8 %).



4-3. diagram: KOI_{Cr} koncentráció alakulása

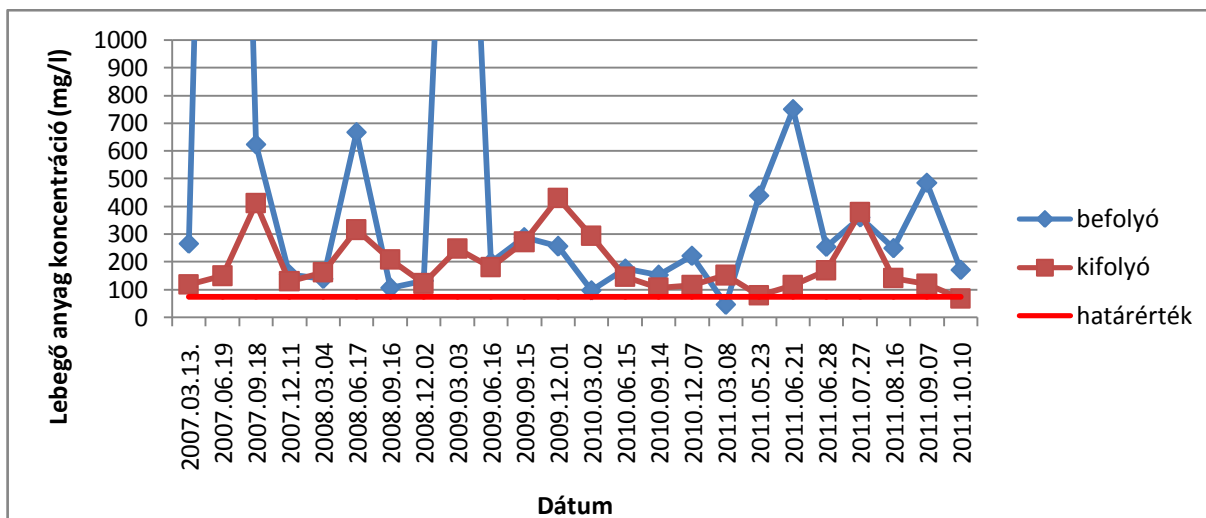
A KOI_{Cr} eltávolítás hatásfoka a 2007-től 2011-ig terjedő adatok alapján 27 %. Az egyes értékek közötti ingadozás a 80 százalékot is eléri. A határérték túllépés állandó és nagymértékű.

Pozitívum, hogy a vízszintemelésnek köszönhetően az októberi érték már a határérték alatt van. A tartózkodási idő növelésével több időt adtunk az anaerob lebontásnak.

Lebegőanyag:

Egy optimálisan működő gyökermezős telep elvárható lebegőanyag eltávolítási hatásfoka 80 % körüli érték lenne. Ezzel szemben a telep lebegőanyag eltávolítási hatásfoka 2007.-től 2011.-ig átlagolva 9,5 % volt. A mérésenkénti értékek között rendkívül nagy eltérések figyelhetők meg, ciklus szerint sem ismétlődnek, teljesen véletlenszerűek.

A csúcsok (4868, 2848 mg/l) levágásával kapott diagramon előfordul, hogy a tisztított szennyvíz értékek meghaladják a nyers szennyvizét. Ezt a jelenséget a tartózkodási idő miatti időbeli elcsúszás okozza. A határérték túllépések e komponens esetében is mindennaposak.

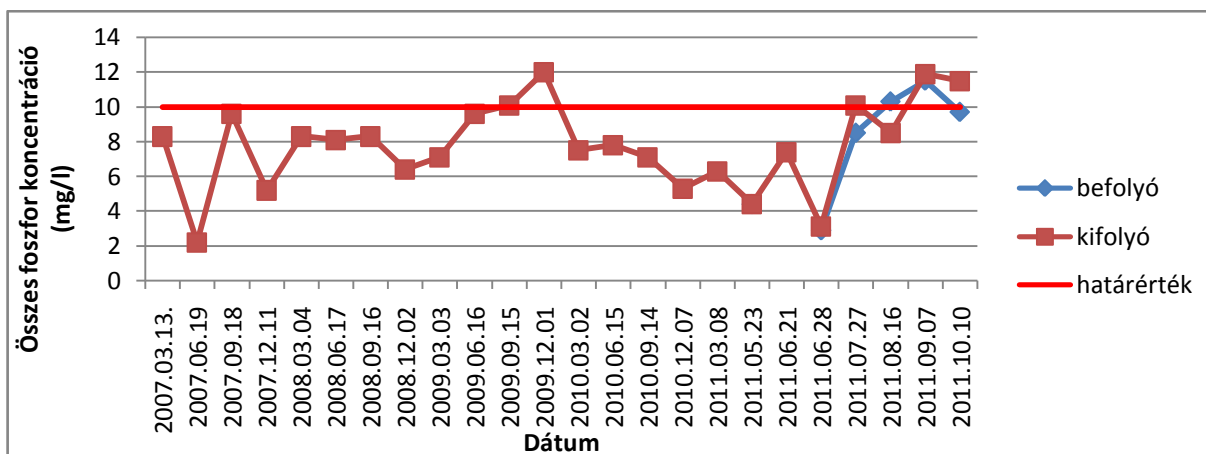


4-4. diagram: Lebegőanyag koncentráció alakulása

Az októberi mérésből látható, hogy a vízszintemelésnek köszönhetően a lebegő anyag nagyobb mértékben ülepedett ki a szűrőmezőben.

Összes foszfor:

A diagramon, az utolsó négy hónapban megfigyelhető, hogy a befolyó nyers szennyvíz és az elfolyó szennyvíz értékei nem térnek el lényegesen egymástól. Az összes foszfor koncentráció ennek ellenére sem haladja meg lényegesen a határértéket, ennek egyetlen oka, hogy a befolyó szennyvíz foszfortartalma az esetek nagy részében határérték alatti. Saját mérési adataim alapján a befolyó szennyvíz összes foszfor koncentrációja átlagban 7,88 mg/l, az elfolyóé azonban magasabb, 8,25 mg/l.

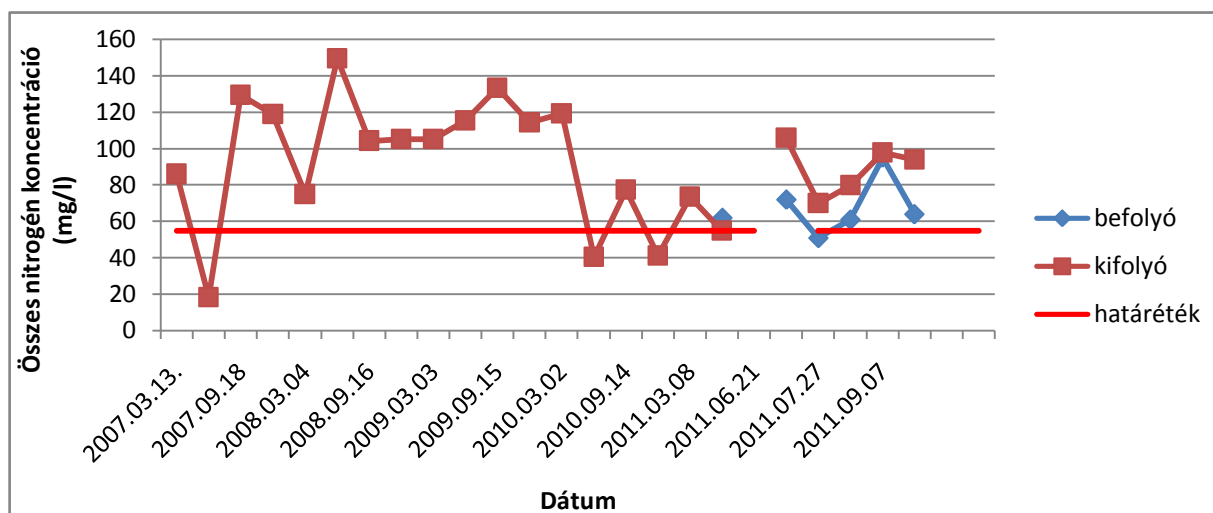


4-5. diagram: Összes foszfor koncentráció alakulása

A Felügyelőség méréseiben nem szerepel a nyers szennyvíz összes foszfor koncentrációja, így a foszfor eltávolítás hatásfokát saját adataim alapján tudom csak közelíteni. Azonban az elégtelen tisztítás és a tartózkodási idő miatt az eredmény lényegében elhanyagolható, 3,45 %-os tisztítás. Szakirodalmi adatok szerint elvárható a 40 % tisztítási hatásfok, német telepek esetében azonban 74 %-ot is sikerült elérni (Börner et al. 1988), valamint a hasonló hazai (szügyi és tóalmási) telepek is képesek 26 %-ot elérni (Szabó et al. 2001).

Összes nitrogén:

Az összes nitrogén (ÖN) esete megegyezik az összes foszforéval. A tisztítás lényegében hiányzik (-25,7 %). A különbség csupán annyi, hogy a nitrogénformák koncentrációja a nyers szennyvízben (68 mg/l) nagyobb, mint az elfolyó határértéke (55 mg/l).



4-6. diagram: Összes nitrogén koncentráció alakulása

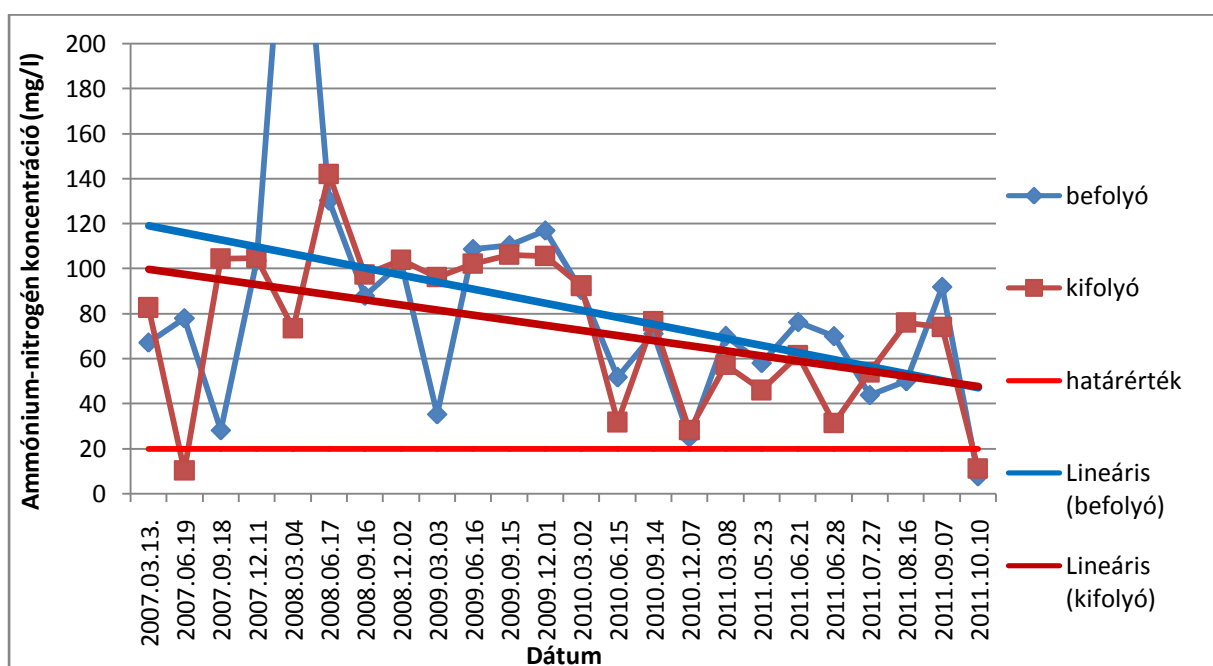
Az elvárható tisztítás ebben az esetben is 40 % lenne, a hazai telepek is legalább 17 %-ot tudnak (Szabó et al. 2001).

Ammónium-nitrogén:

Az ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) koncentráció tekintetében a Felügyelőség is rendelkezik a befolyó szennyvízre vonatkozó adatokkal. Így a nyers és a tisztított szennyvíz közötti összefüggés hosszútávon megfigyelhető. Ezen értékekre alapján számított hatásfok azonban negatív (-6,66 %). A 4-7. diagramból is jól látható, hogy már évek óta nem beszélhetünk eltávolításról. (A levágott csúcs értéke 320 mg/l.)

A hazai telepek $\text{NH}_4\text{-N}$ eltávolítási hatásfoka Szügy és Tóalmás esetében 57 % volt, már 2001-ben is (Szabó et al. 2001), a zalakomári, tófeji, kacorlaci és kámi telepeké pedig ezt is meghaladó, 72-81 % volt (Lakosi 2003). Ezen értékek legkisebbikével is a sióagárdi telep határértékhez közeli $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációt produkálhatna az elfolyó szennyvizében.

A trendvonalak segítségével látható, hogy a befolyó, és ennek következtében az elfolyó szennyvíz $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja is folyamatosan csökkent az évek folyamán. Továbbá az is megfigyelhető, hogy a két érték közötti különbség folyamatosan csökken, tehát a tisztítás egyre gyengébb.

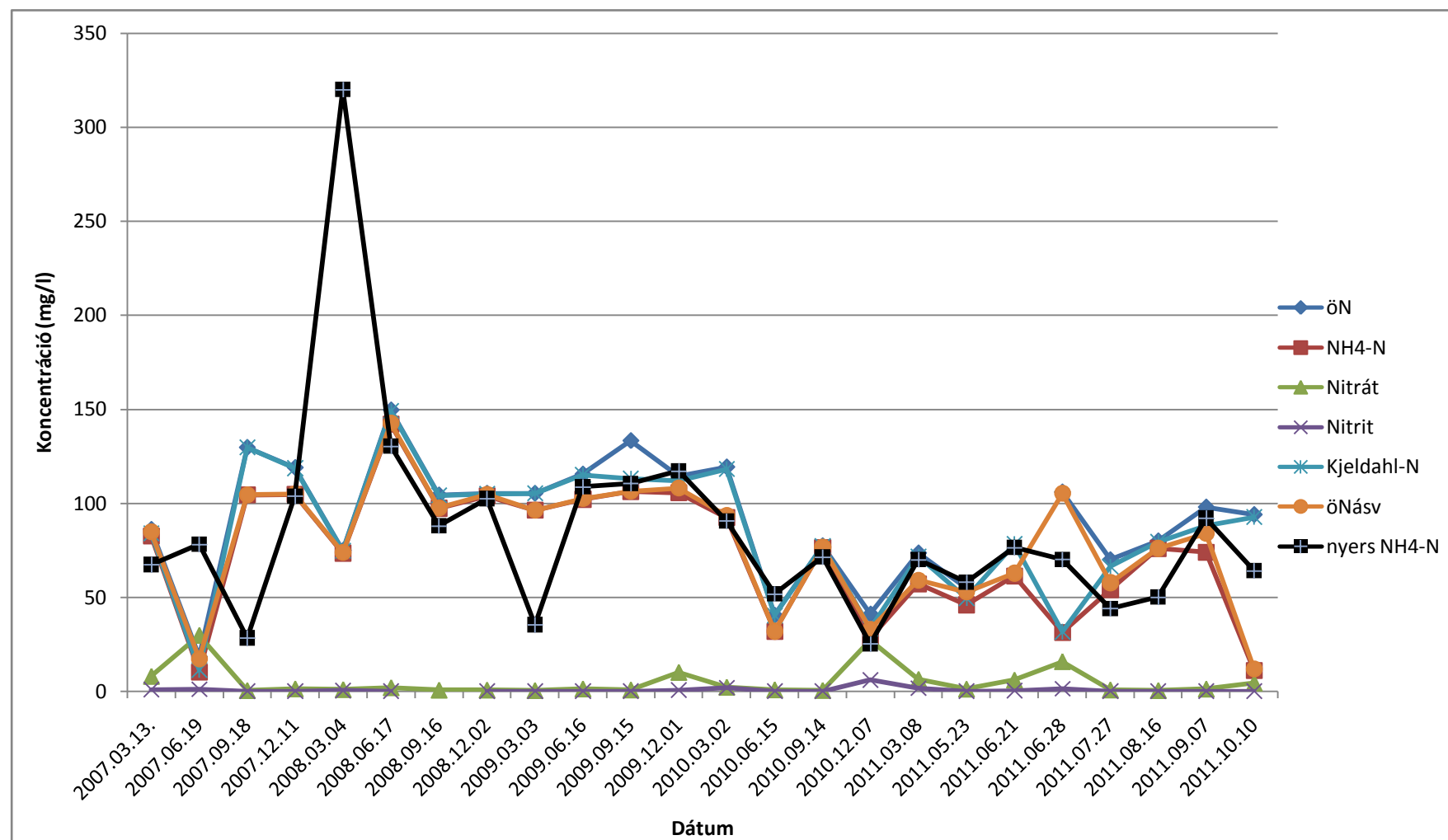


4-7. diagram: Ammónium-nitrogén koncentráció alakulása

Nitrogénformák:

A 4-8. diagramon ábrázoltam a tisztított szennyvízben lévő nitrogénformák koncentrációját, valamint az összehasonlíthatóság kedvéért a befolyó, nyers szennyvíz $\text{NH}_4\text{-N}$ értékeit, mivel a Felügyelőség méréseiben más nitrogénformát nem kísérek figyelemmel a befolyó szennyvízben. A diagramon látható, hogy a szennyvíztisztító telep terhelése csökkent az utóbbi másfél évben.

A rendszerbe bekerülő $\text{NH}_4\text{-N}$ azonban a súlyos oxigén hiány miatt nem tud jelentős mennyiségben átalakulni, az anaerob lebomlás az $\text{NH}_4\text{-N}$ -nél megakad. A $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációk megemelkedése jelzi azokat az időpontokat, amikor legalább kismértékű nitrifikáció történt a rendszerben. Ez akkor volt megfigyelhető, amikor az eltömődött szűrőágyakon megkíséreltünk némi szennyvizet átnyomni. Ezekben az esetekben a megfelelő tartózkodási idő és az aerob környezet elindította a nitrifikációt, viszont az átfolyt vízmennyiség nagyon alacsony volt. A jelenség mindenesetre mutatja, hogy ez a rendszer is működhetne, ha elegendően hosszú tartózkodási időt és aerob környezetet tudnánk biztosítani. A diagramon a befolyó szennyvíz összes nitrogén és $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációjának feltüntetésével jobban nyomon követhető a nitrogénformák átalakulása, vagy esetünkben annak hiánya. Az $\text{NH}_4\text{-N}$ lényegében átalakulás nélkül folyik át a rendszeren.



4-8. diagram: A nitrogénformák koncentrációjának alakulása



4.2 A szennyvíztisztító telep eltávolítási hatásfoka

4-1. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep eltávolítási hatásfokai

Hatásfok [%]	BOI ₅	ÖLA	KOI _{Cr}	Ammónium-N	ÓN	ÖP
2007-2011	39,50	9,53	26,99	-6,66	-	-
2011	51,19	17,83	25,55	15,90	-25,73	3,45
Irodalmi érték	80	80	-	-	40	40
Szügy, Tóalmás (2001)	-	57	71	57	17	26

A 4-1. táblázatból látható, hogy a szennyvíztisztító telep 2011-es hatásfokai (KOI_{Cr} kivételével) magasabbak, mint az előző évek átlaga. Azonban a szakirodalomban található, és a hasonló felépítésű hazai telepek hatásfokának fényében a síóagárdi telep gyenge. Egyik komponens tekintetében sem képes az elvárható teljesítményt nyújtani. BOI₅, lebegőanyag és KOI_{Cr} szempontjából a hatékonyság körülbelül fele a kívánatosnak, a többi paraméter esetében pedig a tisztítás lényegében nem történik meg.

A BOI₅, lebegőanyag, KOI_{Cr} eltávolítás alacsony hatásfoka az előülepítő rossz működésének és a szűrőmezők kis fajlagos felületének köszönhető. A NH₄-N és összes N pedig oxigén hiányában nem képes nitrifikálódni és denitrifikálódni.

Határérték túllépés a legtöbb komponens tekintetében megfigyelhető, melyek értéke meghaladja a 100 százalékot. Tehát a síóagárdi telep esetében hosszú ideje fennálló és nagymértékű határérték túllépésekkel, a tisztítási fokozat működésképtelenségével szembesülünk. A határértékeknek csupán két komponens felel meg. Az összes foszfor koncentráció, mint már kifejtettem, a nyers szennyvíz alacsony foszfor-tartalmának köszönhetően határérték alatti. A szerves oldószer extrakt tekintetében nincsenek a nyers szennyvízre vonatkozó adataink. Ugyanakkor a terhelés feltehetően alacsony, hiszen a településen egy, 100 főt ellátni képes közkonyha működik, melynek zsírfogója megfelelően üzemel.

4.3 Befolyó szennyvíz minősége

A síóagárdi szennyvíztisztító telepre befolyó nyers szennyvíz minőségi értékeit összehasonlítva a 2.3.4. pontban megadott gyökérmezőkre folyó kommunális szennyvíz általános paramétereivel, azt kapjuk, hogy a síóagárdi szennyvíz kevésbé tömény, csupán a BOI₅ és a lebegőanyag koncentrációk érik el az átlagos értékeket.

Az idei mintavételek alapján a BOI₅ koncentráció értéke a határon mozog (396 mg/l átlagosan), a lebegőanyag koncentráció viszont jelentősen túllépi az átlagos kommunális szennyvíznél megfigyelhető 275 mg/l-t (582 mg/l átlagosan), részben ez okozza a töltet gyors eltömődését.

A hasonló felépítésű hazai telepek hatásfokát vizsgálva elmondhatjuk, hogy amennyiben a síóagárdi telep a szügyi és tóalmási telepek hatásfokát képes lenne teljesíteni (Szabó et al. 2001), akkor lényeges túllépés csupán a lebegőanyag tekintetében fordulna elő, a KOI_{Cr}, NH₄-N, összes P értékek a határértékek közelében mozognának. Amennyiben a telep a zalakomári, tófeji, kacorlaci és kámi telepekhez hasonló hatékonysággal rendelkezne (Lakosi 2003), a



BOI₅, KOI_{Cr} és NH₄-N koncentráció mind határérték alatt maradna.

4-2. táblázat: Átlagos kommunális szennyvíz és a síóagárdi nyers szennyvíz összehasonlítása

	KOI _{Cr} [mg/l]	BOI ₅ [mg/l]	Összes lebegőanyag [mg/l]	Ammóniumion [mg/l]	Összes foszfor [mg/l]	pH
Irodalmi érték	1500 - 2000	400	275	150	35	7,2
2011.05.23	717	-	440	58	8,7	8,09
2011.06.28	615	-	255	70	8,8	8,22
2011.07.27	898	325	360	43,9	8,5	8,2
2011.08.16	713	500	250	50	10,3	7,91
2011.09.07	926	420	486	92	11,5	8,18
2011.10.10.	513	340	172	9,9	9,7	7,98
Átlag 2011	730	396	327	54	10	8
Átlag* 2007-2011	1030	484	582	83	-	7,81

*A Felügyelőség és saját adataim összegzésének átlaga, 2007-ig visszamenően

A szakirodalmi értékek alapján (Müller 2003) elvárható hatásfokok teljesülésével a síóagárdi telep lebegőanyag, összes N, és összes P koncentrációja megfelelne a határértékeknek, a BOI₅ koncentráció lépné túl, közel 70 %-kal a határértéket. Vagyis, a külföldön megfelelő tisztítást biztosító hatékonyságot Magyarországon növelni kell, a töményebb befolyó víz miatt az előkezelés hatékonyságának növelésével, hogy a szűrőmezők olyan szennyvizet kapjanak, amelyet képesek a határértékeknek megfelelően megtisztítani.

A Síóagárdon, hosszú távon megfigyelt és az idei átlagok különbsége alapján látható, hogy a szennyvíz az utóbbi években hígult, fajlagosan kevesebb szennyező anyagot tartalmaz. Ezt alátámasztja a mellékletben található 8-1. diagram, mely a befolyó szennyvíz minőségi alakulását mutatja 2007.-től napjainkig. Tehát Síóagárd a hígabb beérkező szennyvize miatt előnyben van a többi hazai telephez képest, így azokhoz hasonló hatékonysággal képes lenne betartani a határértékeket, melyeket azok magasabb hatásfokkal sem tudnak. Az előkezelés hatékonyságának ismerete tehát feltétlenül szükséges, hogy az esetleges problémákat megszüntetve csökkenthessük a szűrőmezők terhelését.

4.4 Előülepítő hatásfoka

Az előülepítő hatásfoka nagymértékben befolyásolja a teljes telep működését.

A telep ikerkialakítású kétszintes előülepítője a két ütem együttes kapacitásának kielégítésére épült. Jelenleg azonban az első ütemnél lényegesen nagyobb terhelést kap. Hajdú (2002) szakdolgozatában kifejti, hogy a szennyvíz tartózkodási ideje az előülepítőben 0,85 óra, amely nem tesz eleget a Sierp-féle ülepedési görbék alapján minimálisan elfogadható 2 órának. Hajdú számításai alapján a 2 óra tartózkodási idő sem elegendő, hogy az ülepített szennyvíz teljesítse a szűrőágyra bocsáthatóság feltételeit. Mivel a tartózkodási idővel nő az ülepítés hatásfoka, így azt növelni kell. Amennyiben az előülepítő nem képes betartani szűrőmezőre bocsáthatóság feltételeit, a szűrőmezők eltömődése korábban következik be. Az

előülepített szennyvízről csak saját méréseim által rendelkezem adatokkal. Ezért ezeket hasonlítottam össze a 2.3.8. alfejezetben leírt szűrőmezőre bocsáthatóság kritériumaival.

4-3. táblázat: A szűrőmezőre bocsáthatóság kritériumainak és az ülepített szennyvíz minőségének összehasonlítása

[mg/l]	KOI _{Cr}	BOI ₅	Lebegőanyag	PO ₄ -P	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Küszöbérték	680	250	450	14	31	18
2011.05.23	520	-	160	3,3	77	4,87
2011.06.28	1695	-	1270	6,4	85	3,1
2011.07.27	761	182	290	9,4	75	0,75
2011.08.16	642	280	252	11,2	109	2,22
2011.09.07	868	390	50	11,1	131	2,48
2011.10.10.	716	450	236	12,3	21	2,66
Átlag	867	326	376	8,9	83	2,68

A 4-3. táblázat alapján megállapítható, hogy az előülepítő, a kevésbé tömény nyers szennyvíz mellett sem tudja biztosan betartani a határértékeket. Határérték túllépés mutatkozik a KOI_{Cr} (30 %-os túllépés) és az NH₄-N tekintetében, mely az előírt érték majdnem háromszorosa. Átlagosan kisebb határérték túllépés figyelhető meg a BOI₅ koncentráció tekintetében. A lebegőanyag tartalom nem lépi túl a küszöbértéket, azonban szélsőségesen ingadozik, a legnagyobb érték 25-szöröse a legkisebbnek. Ez az ülepítés bizonytalanságát jelzi, a vastag felúszott réteg apránként elúszik az elfolyó vízzel.

Méréseim alapján az ülepítő hatásfoka nem számítható kellő biztonsággal, mert az eredményeket torzítja az ülepítő tartózkodási ideje (nem ugyanazt a vizet mintáztam az ülepítő előtt és utána). Azonban szembeötlő hogy az ülepített szennyvíz minta rendszeresen rosszabb minőséget mutatott, mint a nyers szennyvíz. Ez egyértelműen jelzi az ülepítő nem megfelelő működését. Az ülepítés rossz hatásfokának fő okai a végátemelő szivattyú szakaszos működése, mely rövid idő alatt közel 1 m³ szennyvizet juttat az előülepítőbe, annak alsó harmadában. Így akadályozza az ülepedést. A végátemelő szivattyú kapacitása ugyanakkor az átlagosan szükségesnél nagyobb.

Az előülepítő berothadt, a felszínen több cm vastag iszapréteg figyelhető meg, emiatt az elfolyó víz lebegőanyag tartalma túl magas. Az iszapelvétele mennyisége a szükségeshez képest csekély, az összegyűlt iszap csökkenti az ülepítő hasznos térfogatát, a szakaszos szennyvízbevezetésnek köszönhetően pedig felkeveredik. Szeptemberben az iszapeltávolítás hatására lényegesen csökkent a felúszott iszapréteg vastagsága, így csökkentve az elfolyó víz lebegőanyag tartalmát, csupán 50 mg/l-re. Ugyanakkor egy hét elteltével az iszapréteg vastagsága visszaállt, a beavatkozás hatása rendkívül rövid ideig tartott.



4-1. kép: Az előülepítő felszíne

Az előülepítő helyes működésének helyreállítása elsődleges feladat a szennyvíztelep üzemeltetője számára. Megfelelő ülepítés nélkül a szűrőágyak rövid idő alatt eltömődnek, és a teljes telep tisztítási hatásfoka visszaesik.



Az előülepítő rendbetételének első lépése a kiülepedett és a felúszott iszap teljes mennyiségének eltávolítása. Az iszapelvétele gyakoriságát a továbbiakban az egyszerre elszállítható iszap mennyiségének megfelelően célszerű ütemezni. Amennyiben lehetséges a teljes összegyűlt iszapmennyiség elszállítása (kb. 30 m³), a negyedéves iszapelvétele előnyösebb, mert ennyi idő alatt az iszap összetömörödik, rothad így az elszállítandó mennyiség lényegesen csökken. Ha a szállító kapacitás lényegesen kisebb, az előülepítő iszapjának elvétele sűrűbben szükséges, megközelítőleg kéthetenként. Jelenleg a 10 m³ közeli befogadó kapacitás miatt kéthetente szállítják el az iszapot az ülepítők aljáról, és részben a felszínéről. Az iszapelvétele július óta zajlik ilyen rendszerességgel, ennek köszönhetően azóta csökkent a felúszott iszapréteg vastagsága. Azonban mindkét előülepítő teljes kiülepedett és felúszott iszapmennyiségének egyszeri, teljes eltávolítása nem történt meg. A felúszó iszapréteg által okozott problémát egyszerűen annak lelapátolásával is időszakosan meg lehetne oldani.

A gyakori és megfelelő mennyiségű iszapelvétele biztosításának egyik lehetősége egy iszapszikkasztó ágy kialakítása a szennyvíztisztító telep területén. Ez lényegében egy betonmedence, melyből az iszapot szikkasztás után mezőgazdasági területen lehetne elhelyezni. Ehhez engedélyt kell igényelni, valamint figyelembe kell venni a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV.3.) Korm. rendeletet. Ezt a megoldást alkalmazva az elvett iszap mennyiségét nem korlátozná a szállító jármű kapacitása, továbbá lehetővé válna a gyakoribb iszapelvétele. Így a felúszó iszapréteg vastagsága csökkenthető, vagy teljesen megszüntethető, nem terheli az előúszó szennyvizet. Azonban a lakott terület közelsége miatt az engedélyeztetés sikeressége kérdéses.

A szennyvíziszap elhelyezésének másik kínálózó lehetősége a sióagárdi komposztáló telep. A telepen korábban elindult a szennyvíziszap kezelésének engedélyeztetése, az akkori szennyvíziszap elszállító Szekszárdi Víz és Csatornamű Kft-vel. A folyamat az árajánlat elutasítása után szakadt meg. Javasolom, hogy a Sióköz Kft. vegye fel a kapcsolatot a komposztáló teleppel, mely képes egy alkalommal is befogadni az előülepítő iszaptartalmát. Ebben az esetben az iszap negyedévenkénti szivattyúzása javasolható, ugyanis a komposztálás szempontjából fontos az iszap minél alacsonyabb víztartalma (Kovács 2011).

Az előülepítő legnagyobb problémája, a szakaszos, és egyszerre nagy mennyiségű szennyvíz feladása jelenleg nem szüntethető meg, mert a gyakoribb, kisebb mennyiségű szivattyúzás csökkentené a végátemelő üzembiztonságát, belvizes időszakok alatt a szivattyúk túlterhelődnének. Emiatt, a megfelelő előkezelés biztosítása érdekében, további előkezelő műtárgyat kell beiktatni. Az alábbi pontokban két lehetőséget ismertetek.

4.4.1 Kiegyenlítő tartály

Az előülepítő problémájára megoldást jelenthet egy kiegyenlítő tartály alkalmazása, mely a végátemelőből, a jelenlegi rendszer szerint kapná a szennyvizet, és amelyből folyamatosan, kis térfogatárral adagolnánk a szennyvizet az előülepítőbe. Az ülepítő kiemelt megvalósítása miatt azonban a gravitációs átfolyás kialakítása nehézkes.

4.4.2 Csepegtető test

A megfelelő előkezelés biztosításának másik, kielégítőbb alternatív lehetősége egy csepegtető test beépítése az előülepítő és a szűrőágyak közé. A műtárgy az előkezelt szennyvizet gravitációsan vezetné az elosztóhálózatba. A csepegtető test felszínén el kell oszlatni az



előüleptetőből származó szennyvizet, ezt egy rotor segítségével lehet megoldani. A szükséges műtárgy megközelítőleg 8 m átmérőjű, és 5-6 m magas lenne, melyet műanyag csepegtetővel kellene megtölteni. Építési költsége milliós nagyságrendű. Ilyen rendszerű természetközeli telep működik Pincehelyen, 50 m³/nap folyékony települési hulladékot tisztít meg megfelelően.

A csepegtetőtestben történő szerves anyag lebomlás miatt kisebb terhelés érne a szűrőágyakat, valamint a szennyvíz telítődne oxigénnel, ami elősegítené a nitrifikációt és az aerob lebomlást a szűrőágyakban.

4.5 Szűrőmezők

Jelenleg a szűrőmezők megépült, első üteme lényegében a teljes telepre tervezett terhelést kapja meg. A meglévő szűrőágyak fajlagos felülete csupán 1,82 m²/LE, a minimálisan szükséges 5 m²/LE-kel szemben. Továbbá az ülepítés elégtelen hatásfokának köszönhetően a városi szennyvízre tervezett szűrőmezők lényegesen töményebb szennyvizet kapnak, emiatt pedig az elosztó dréncsövek, és azok környezete a szükségesnél sokkal korábban eltömődött. A dréncsövek környezete berothadt, a baktériumok eltömítették a lyukakat. A szűrőmezők az eltömődés előtt megfelelően tisztítottak. A rendelkezésre álló kis szűrőfelület, és a nagy terhelés miatt azonban ez az időszak csak rövid ideig tartott. Az eltömődés megszüntetésére 2011. júliusában elvégezték az első két szűrőmező elosztórendszerének kimosatását.

4.5.1 Szűrőmezők terhelésének megoszlása

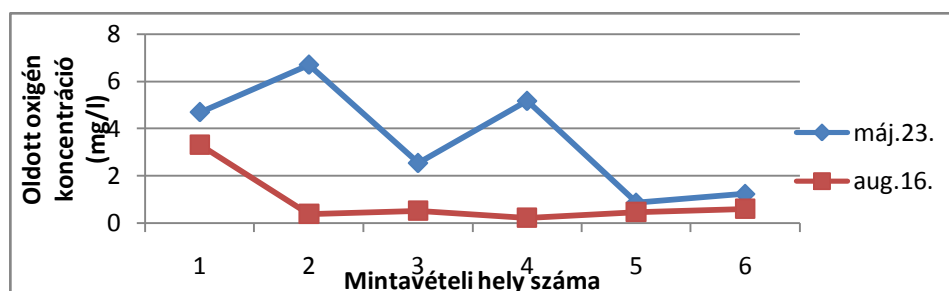
A síóagárdi szennyvíztisztító telepen a szűrőmezők közötti terhelés megoszlás rendkívül egyenetlen. A jelenleg alkalmazott tolózárok ilyen mennyiségű szennyvíznél nem biztosítják a szűrőmezők közötti megfelelő terhelés elosztást, ezért más módon kell a szennyvízkormányzást megoldani. 2011. júliusáig az első két szűrőmező szinte nem is működött, eltömödtek. A harmadik szűrőmező vezette el a teljes terhelést, amire nem volt képes, az a túlfolyó vezetéken távozott. Emiatt, az első két szűrőmező eltömődésének megszüntetésére megtörtént az elosztó dréncsövek kimosatása, és azok környékén a kavicsréteg cseréje, az eddiginél nagyobb szemcseméretűre. A csere alatt megfigyelték, hogy mind a kavics, mind a dréncsövek felülete feketére színeződött. Ez, valamint a pH értékek alakulása savas erjedésre utaló baktériumok megjelenését mutatja. A korábban leginkább igénybevett harmadik szűrőmező elosztórendszerében nem történt kimosatás, így jelenleg ez a mező mutatja az eltömődés jeleit, nem folyik át szennyvíz rajta. Az elosztórendszer kimosatása után a második szűrőmező a legaktívabb, ennél némileg kisebb hányadot vezet el az első.

4.5.2 A szűrőmezők hatékonysága

A kimosatás utána a szűrőmezőkben az eloszlás még mindig egyenetlen, de az átfolyó szennyvíz mennyisége lényegesen megnőtt.

A mintavételek alkalmával csupán két esetben működött mindhárom szűrőmező. Az oldott oxigén koncentráció alakulásával megfigyelhető a két üzemelés közötti eltérés. A májusi mintavétel alkalmával az első két, eltömődött szűrőmezőn átfolyó szennyvíz oldott oxigén koncentrációja magasabb, mint a harmadik szűrőmezőn távozó szennyvízé, amely a terhelés nagy hányadát elvezette. A májusi mintavételhez képest az augusztusi mintázáskor az oxigén koncentráció drasztikus csökkenése figyelhető meg (közel 0 értékre). Ennek oka a kedvezőtlen minőségi adatokat figyelembe véve rövidzár kialakulása lehet. Ekkor az első két

szűrőmező kapta a terhelés legnagyobb részét, a harmadik csupán elhanyagolható hányadot tisztított.



4-8. diagram: Az oldott oxigén koncentráció alakulása a telep szennyvízvonaltól végigkövetve

Továbbá az elhanyagolható oxigén transzport miatt a detergens nem tudnak lebomlani a töltetben, a szűrőmezőből kifolyva, és a levegővel érintkezve habot képeznek, mely leginkább a fertőtlenítő medencében figyelhető meg, ahová beérkezve a szennyvíz ismét levegőhöz jut.

A súlyos oxigénhiány miatt a keletkezett csekély mennyiségű nitrát azonnal denitrifikálódik, a mikroorganizmusok a szulfáthoz nyúlnak, emiatt vas-szulfid és kénhidrogén keletkezik. A vas-szulfid a rendszerben marad, eltömíti az elosztórendszert és kémiai oxigén hiányt okoz. Amennyiben oxigén jutna a rendszerbe, az is a szulfidok oxidációjára használna el, ezért a szűrőmezőket csupán vízszintes átfolyású utótisztítóként lehet használni, amíg nagyobb átalakítás nem történik bennük.

Méréseim alapján rendelkezésre állnak a szűrőmezőkre ráfolyó ülepített szennyvíz, és a kifolyó tisztított szennyvíz eredményei. Ezek alapján a májusi és augusztusi működés hatásfokai összehasonlíthatók.

A számított eltávolítási hatásfokokat ugyanakkor torzítja a szennyvíz tartózkodási ideje a szűrőmezőben (az előülepítőről lefolyó mintázott szennyvíz és a szűrőmezőkről elfolyó szennyvíz között több napos eltérés van).

4-4. táblázat: Az első két szűrőmező tisztítási hatásfokának változása

Hatásfok (%)	KOI _{Cr}	Lebegő-anyag	Összes N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Összes P	PO ₄ -P
1. szűrőmező								
2011.05.23	94,2	75,0	88,7	99,9	-563,6	-100,0	97,5	97,7
2011.08.16	49,5	-127,4	50,3	17,6	0,0	90,9	13,4	96,3
2011.09.07	77,5	-126,0	22,9	28,4	-257,14	-1400,0	26,9	63,1
2011.10.10	77,79	71,19	7,62	13,50	-33,33	-1600,00	-27,64	-14,68
2. szűrőmező								
2011.05.23	88,1	99,4	96,2	97,4	-27,3	0,0	97,9	96,8
2011.08.16	47,9	36,9	58,9	8,2	0,0	90,9	26,8	95,4
2011.09.07	64,2	-158,0	11,0	26,5	37,5	-300,0	14,8	7,2
2011.10.10	77,37	70,76	17,14	36,20	16,67	0,00	4,07	0,92

A 4-5. táblázat alapján a májusi tisztítási hatásfokok megfelelőek, sőt figyelemre méltóan magasak (KOI_{Cr}: 94, 88; lebegőanyag: 75, 99; összes N: 89, 96 %). Az augusztusi és a szeptemberi eredmények ezekhez képest drasztikusan csökkentek. Fontos megjegyezni

azonban, hogy a magas hatékonyság idején a szűrőmezők eltömődtek voltak, rajtuk csekély mennyiségű szennyvíz volt csak képes áthaladni, az is csak visszatartás hatására.

Véleményem szerint a kavicsréteg cseréjének folyamán a második szűrőmezőben olyan véletlen beavatkozás történt, melynek következtében kialakult egy rövidzár, ahol a szennyvíz, tisztulás nélkül átzubog a rendszeren.

A vízszintemelítés hatására októberben megemelkedett a szerves- és a lebegőanyag eltávolítás hatékonysága.

4-5. táblázat: A szűrőmezők tisztítási hatásfoka 2011. 05-10. mérések alapján

	KOI_{Cr}	BOI₅	Lebegőanyag	Összes N	NH₄-N	Összes P	PO₄-P
1. szűrőmező	79,58	66,21	18,41	41,27	-138,74	27,67	33,33
2. szűrőmező	83,62	76,22	24,12	38,36	38,06	34,88	15,27
3. szűrőmező	76,41	72,76	3,21	31,67	-2079,05	53,14	76,55
Átlag	79,87	71,73	15,25	37,10	-726,58	38,56	41,72

A 4-6. táblázatban található negatív hatásfok ismét a tartózkodási időből adódó késleltetés eredménye. Ennek kiküszöbölése érdekében a szennyvíztisztító telep megfelelő működésének helyreállítása után szószagos tartózkodási idő kísérletet szeretnék elvégezni.

Az értékek a kisszámú mérés, és a változó üzemelés miatt csak tájékoztató jellegűek. Feltűnően ingadozóak. Azonban a KOI_{Cr} és az összes foszfor eltávolítási hatásfokok az irodalmi értékeknek megfelelnek. A határérték túllépés a gyenge előkezelésnek köszönhető. Amennyiben az előülepítő folyamatosan teljesíteni tudná a KOI_{Cr} koncentráció küszöbértékét, a nyári időszakban nem lenne határérték túllépés e komponens tekintetében.

Tehát a legtöbb komponens tekintetében a határérték túllépések fő oka az előülepítés eredménytelensége és a szűrőmezők túlterheltsége. Ugyanakkor a BOI₅ eltávolítás csak csekély mértékben 8 %-kal, az összes nitrogén csupán 3 %-kal, a lebegőanyag viszont 65 %-kal marad el az elvárhatótól.

4.5.3 Szűrőmezők működésének javítása

A szűrőmezők hatékonyságának növelésére azonnali beavatkozásként a vízszint megemelése javasolható. Ennek köszönhetően a töltet nagyobb része válik működőképesé. A rövidzáron átfolyó vízmennyiség lecsökken, és a rövidzár bedugulhat. A kifolyó csövek szintjének megemelése miatt az elosztóvezeték végein a szennyvíz a mező felszínére folyik. A háromfázisú rendszer ebben az esetben nem tud kialakulni, azonban a jelenlegi üzemelés esetén sem tud. A szűrőmező kifolyás felőli oldalán túlfolyó lehetőséget kell kialakítani, hogy a szennyvíz ne folyhasson le a szűrőágyról, vagy ne kerülhesse meg a szűrőmezőket, és folyhasson el a túlfolyó vezetéken.



4-2. kép: A kifolyó cső szintjének megemelése

A vízszint megemelésével nő a szennyvíz tartózkodási ideje a műtárgyban, valamint oxigén híján az anaerob lebontási folyamatok indulnak be. A szűrőmező lényegében vízszintes



átfolyásuként üzemel. Az elárasztásnak köszönhetően kipusztulnak a szárazföldi, nitrát kedvelő növények, és a nád a következő vegetációs periódusban megerősödhet. A beavatkozás célja továbbá, hogy a nagyobb nyomás hatására a harmadik szűrőmező is működésbe lépjen.

A vízszintemelést követő negyedik héten végzett mérés megmutatta, hogy a hosszabb tartózkodási időnek köszönhetően a lebegő anyag, és a KOI_{Cr} koncentráció határérték alá került. Azonban a szűrőmezők nem ülepítésre tervezettek, a működésképtelen előülepítés miatt a jelenlegi működéssel hónapokon belül el fognak tömődni. Ezért az elosztó rendszer kimosatását a harmadik szűrőmezőn még a tél beállta előtt el kell végezni.

A szűrőmezők tekintetében a továbbiakban legfontosabb a fajlagos felület növelése, a jelenlegi kevesebb, mint $2 \text{ m}^2/\text{LE}$ -ről legalább $5 \text{ m}^2/\text{LE}$ értékre, az engedélyezett bővítési terv révén ez biztosítottak látszik.

Az ősszel levágott nádat helyben kell hagyni, a szűrőmezőkön elosztva. A síóagárdi gyér nádas miatt itt néhány bála széna szétterítése is javasolható. Mindez tompítja a rendszer téli lehűlését.

4.6 Szükséges mezőfelület a K tényező alapján:

A K lebontási konstans segítségével megállapítható a szervesanyag lebontásához szükséges mezőfelület. Így ellenőrizhető a szennyvíztisztító telep tervezésének megfelelősége. A 2.3.3. pontban kifejtett képlet segítségével a K tényező a síóagárdi telepre is kiszámítható:

- $A_h = 1200 \text{ m}^2$
- $Q = 115 \text{ m}^3$
- $C_t = 50$

Teljes technológiára vonatkozóan 2011-es mérési adatok alapján:

- $C_0 = 348 \text{ mg/l}$
- $K_{BOI} = 0,182 \text{ m/d}$

Szükséges felület: $A_h = 2156 \text{ m}^2$

A szűrőmezőkre vonatkozóan:

- $C_0 = 326 \text{ mg/l}$
- $K_{BOI} = 0,176 \text{ m/d}$
- Szükséges felület: $A_h = 2231 \text{ m}^2$

A szűrőmezők szükséges felületének meghatározása a $K = 0,1 \text{ m/d}$ érték alapján történt, melyet a nyugati országok hígabb szennyvizére állapítottak meg. A síóagárdi telep K értéke teljes technológiára vonatkozóan azonban ennek közel kétszerese, a szűrőmezőkre vonatkozó K tényező pedig közel azonos a teljes technológiáéval, aminek oka a megfelelő előkezelés hiánya. Amennyiben az előülepítő tartani tudná a $BOI_5 = 250 \text{ mg/l}$ szűrőmezőre bocsáthatósági küszöbértéket, akkor BOI_5 tekintetében a szükséges szűrőfelület 1850 m^2 lenne. Azonban a $0,1 \text{ m/d}$ érték alkalmazása csak nagy hatékonyságú előkezelés esetén megengedhető, melynek során a szennyvíz szerves- és lebegőanyag tartalma lényegesen csökken. A BOI_5 koncentráció figyelembevételével meghatározott mezőfelületet a nitrifikáció



és denitrifikáció, valamint a megfelelő téli működés érdekében tovább kell növelni.

A szűrőmezők jelenlegi felülete tehát semmiképpen nem elégséges sem a jelenlegi, sem a jövőbeli terhelés fogadásához. A jövőbeni rákötések figyelembevételével a jelenlegi szűrőfelület többszörösére lenne szükség.

4.7 A síóagárdi szennyvíztisztító telep bővítési terve

4.7.1 A bővítési terv értékelése

A második ütemben megvalósítandó bővítési tervet a Csernik és Társa Kft. készítette Síóagárd számára. A bővítés 1. számú változatában aerob szennyvíztó szerepelt, melyet az ÁNTSZ helyi intézete a településhez való közelség miatt nem tartott elfogadhatónak.

A szennyvíztisztító telep környezetében lévő kötött talaj és magas vízszint miatt a szennyvíz nyárfás elhelyezése sem megoldható. Az Önkormányzat már próbálkozott nyárfák ültetésével, de a fák nem tudtak kifejlődni. Így a bővítési tervnek egyértelműen a felszíni befogadóra vonatkozó határértékek figyelembevételével kellett elkészülnie.

A bővítési terv alapadatai:

A szennyvíz tervezett mennyisége: $180 \text{ m}^3/\text{d}$ átlagban, $18 \text{ m}^3/\text{h}$ csúcsban.

A telep tervezendő terhelése: 1450 LE.

A tisztított szennyvíz befogadója a szennyvíztisztító telep meglévő tisztított szennyvíz elvezető rendszere (Csernik és Társa Kft. 2006).

A tervezett létesítmények (Csernik és Társa Kft. 2006):

- 3 db függőleges átfolyású szűrőágy: a meglévőkkel azonos kialakítással, $3 \times 17,0 \times 24,0 \text{ m}$ felülettel, dréncsöves elosztó és gyűjtőrendszerrel, szigeteléssel, réteges szűrőanyaggal és nádtelepítéssel.
- 1 db hosszanti átfolyású szűrőágy: $30 \times 40 \text{ m}$ felülettel, dréncsöves bevezető és elvezető rendszerrel, szigetelt, réteges szűrőanyaggal és nádtelepítéssel.

A bővítési terv két pozitívuma, hogy lényegesen növeli a szennyvíztisztító telep fajlagos felületét, valamint vízszintes átfolyású gyökérmezőt is alkalmaz, mely komplexebbé teszi a tisztítást. A terv megvalósulásával a teljes szennyvíztisztító telep szűrőmezőinek felülete 3648 m^2 lenne, mely $5,4 \text{ m}^2/\text{LE}$ fajlagos felületet jelent. Ez az érték a függőleges átfolyású szűrőmezők tervezési határértéke, a vízszintes átfolyásúaké azonban nagyobb.

A bővített telep K tényezője a jelenlegivel megegyező minőségű, és $180 \text{ m}^3/\text{d}$ terhelés esetén $0,096 \text{ m/d}$ értékre adódna a teljes technológiára. Megfelelő előkezeléssel a szűrőmezőkre vonatkozó érték ennél lényegesen kisebb lehetne, mely már megfelelő szervesanyag lebomlást biztosítana.

A tervezett szűrőmezők megépítése nem javasolható a meglévő mezőkkel azonos kialakítással, mivel azok sem a terveknek megfelelően épültek meg. A tervben szereplő, a szűrőmezőkön hosszában végigfutó elosztó csövek helyett az első két szűrőmezőben, a mező befolyás felőli oldalán, a rövidebb oldallal párhuzamosan található egy darab elosztócső. A harmadik szűrőmező elosztóhálózata eltérő, jobban megfelel a függőleges üzemeltetés követelményeinek. A szűrőmezők a töltet tervezett felépítésétől eltérően, lényegében rétegezés nélkül, kavicsfeltöltéssel kerültek kialakításra. A további gyökérmezők tervezésénél tehát figyelembe kell venni a meglévők hiányosságait. Továbbá a bővítés fontos feladata kellene, hogy legyen az előülepítő működésének javítása, üzemeltetés rugalmasságának



megoldása, valamint a terhelés megfelelő elosztása. A 30 x 40 m-es összefüggő vízszintes átfolyású gyökérmező esetén a teljes felület kihasználása problémát okozhat, a szennyvíz megfelelő elosztása nehézkessé válhat.

4.7.2 A bővítés megfelelő végrehajtása

A bővítési terv értékelése során felhívtam a figyelmet a terv gyenge pontjaira. Ezek kiküszöbölésére, hatékonyabb megoldásokkal való helyettesítésükre szeretnék a következőekben javaslatokat tenni. A szennyvíztisztító telep bővítésénél mindenekelőtt az alábbi tervezési paramétereket kell figyelembe venni, a tervet azoknak megfeleltetni.

- Hosszanti átfolyású műtárgyak hosszesése: 0,5 - 2 % (0,005 - 0,02 m/m),
- Fajlagos felület: 5 - 15 m²/LE,
- 1 műtárgy maximális felülete: 600 m²,
- Javasolt több medence párhuzamos kapcsolása,
- Max. fajlagos hidraulikai terhelés: függőleges átfolyású műtárgyra 60 mm/nap, vízszintes átfolyású műtárgyra 40 mm/nap,
- Max. szervesanyag terhelés: 25 g KOI_{Cr}/m²nap,
- Max. LA terhelés: 5 g/m²nap,
- Eltömődési folyamatok nagy biztonsággal történő figyelembe vétele (Dittrich 2009).

A megépítendő szűrőmezők esetében figyelembe kell venni a jelenlegi töltetanyaggal kapcsolatos problémákat, és azt nem szabad alkalmazni.

A bővítés anyagi fedezetének előteremtése nehézkes a település számára, mert 2000 alatti lakos egyenérték terhelésével a támogatások többségéből kiszorul. Továbbá a csatornázatlan területekkel szemben is hátrányban van a pályázatok elbírálásánál. A bővítés költségeit úgy lehetne csökkenteni, ha a település közmunka keretében oldaná meg a szűrőágyak kialakítását és azok feltöltését. A szigetelés elvégzésére azonban feltétlenül szakember segítségét kell igénybe venni. Valamint a tervekhez szigorúan ragaszkodni kell.

4.7.3 Függőleges átfolyású szűrőmezők

A bővítés első lépéseként a függőleges átfolyású szűrőmezőket célszerű megépíteni. Az elosztórendszert az eredeti tervnél sűrűbben kell megvalósítani, és meg kell oldani a szennyvíz szakaszos rátáplálását. A töltet rétegezésénél, az elosztó hálózat szintjében durva homokot kell alkalmazni, a dréncövek környezetében viszont kavicságyat kell kialakítani. Így a csövek nem tömődnek el, a szennyvíz elosztása pedig, a homoknak köszönhetően egyenletes lesz. A töltet belsejében 5-15 mm átmérőjű gyöngykavics használata ajánlott, a jelenleg tapasztalt eltömődés elkerülésére. Az épített és meglévő szűrőmezők között soros és párhuzamos kapcsolási lehetőségeket is kell építeni. A második ütemű szűrőmezők elkészülte után a jelenlegi szűrőmezőket utótisztítóként lehet használni. Ez a különböző ütemben épült szűrőmezők soros kapcsolásával, és a meglévő mezők vízszint emelésével lehetséges. Ekkor ezek lényegében vízszintes átfolyású mezőkként fognak működni.

4.7.4 Vízszintes átfolyású szűrőmezők

A vízszintes átfolyású szűrőágyak megépítése a bővítési terv utolsó lépése. A terv szerinti vízszintes átfolyású medencét célszerű lenne cellákra osztani, melyeket egyenletesebben lehetne terhelni, üzemzavar, és karbantartás esetén pedig könnyebben kivonhatóak a rendszerből nagyobb fennakadás nélkül.



A medence feltöltésére durva homok töltet ajánlott, hiszen a szűrőágy már részben tisztított szennyvizet kap. Az elosztó rendszer környezetében apró kavics alkalmazása célszerű, az eltömődés elkerülésére. A gyűjtőrendszer védelmére, és a tisztított szennyvíz összegyűjtésének meggyorsítására közúzaleköt, vagy folyami kavicsot (50-100 mm) lehetne használni.

A szűrőmezők elkészültével az újonnan épült függőleges átfolyású medencékről közvetlenül ezekre kell vezetni a szennyvizet. Az így üzemben kívül helyezett szűrőágyakon pedig a függőleges átfolyás megvalósításához szükséges elosztórendszert kell kialakítani a jelenlegi helyett, valamint a szakaszos rávezetés lehetőségét is ki kell építeni.

A megfelelő működés feltételeinek helyreállítása után kialakítható a függőleges mezők párhuzamosan kapcsolása, így növekedik a befogadó kapacitás. A lökészerű rátáplálásnak köszönhetően kialakul a háromfázisú rendszer, így pedig végbemehet a nitrifikáció és az aerob lebomlás. A függőleges mezőkről lefolyó szennyvíz pedig a vízszintes ágyakra vezethető, ahol a hosszabb tartózkodási időnek, és a kis oxigéntartalomnak köszönhetően a denitrifikáció megy végbe.

A szűrőmezők soros és párhuzamos kapcsolásának kialakítása növeli az üzemeltetés biztonságát és rugalmasságát. A szűrőágyakat felváltva pihentetni lehet, a karbantartási munkák és egyéb beavatkozások könnyebben elvégezhetők.

A függőleges és vízszintes átfolyású medencék alkalmazásával lényegében VF-HF hibrid rendszer jön létre. A függőleges átfolyású medencékben a rendszer háromfázisú, aerob tisztítás jön létre, így megtörténik a nitrifikáció, és emellett lényeges szerves anyag eltávolítás is, a vízszintes átfolyású szűrőmezőkben a magas nitrát tartalmú szennyvíz denitrifikációja következik be, valamint a töltetanyag kisebb szemcseméretének köszönhetően lebegőanyag eltávolítás. Tehát az így kialakított rendszer tisztítási hatása komplexebb, stabilabb, és rugalmasabb, mint a hagyományos rendszereké.

A bővítés megvalósításánál fokozottan figyelemmel kell lenni a tervek szerinti kivitelezésre, el kell kerülni az ellentmondásokat az tervezett és a kivitelezett telep között (melyek a jelenlegi szűrőágyaknál megfigyelhetők), mert a szennyvíztisztító telep pontos, és részletes ismerete elengedhetetlen a tisztítási folyamat megértéséhez, a problémák feltárásához és az optimális üzemelés fenntartásához.



5 Következtetések és javaslatok

5.1 Következtetések

A mérési eredmények komponensenkénti értékelése a síóagárdi szennyvíztisztító telep gyenge teljesítményét mutatta meg.

A pH érték lényeges csökkenése a tisztítás folyamán, főleg az előülepítés során, a savas erjedésre hívja fel a figyelmet. A $\text{BOI}_{5\text{h}}$ és KOI_{Cr} eltávolításról elmondható, hogy lényegében csak a befolyó szennyvíz koncentrációk kiugrásait simítják el, az elfolyó, tisztított szennyvíz koncentrációk követik a befolyó minőségi alakulását. Az eltávolítás határfoka az előbbinél 38 %, míg az utóbbinál is csupán 30 %. A lebegőanyag koncentráció a telep egyik legnagyobb problémája. A tisztítás folyamán az eltávolítás határfoka csupán 7 %, főképp az előülepítő gyengeségének köszönhetően. A szűrőmezőkre jutó magas lebegőanyag terhelés pedig felgyorsítja az eltömődést. Az összes foszfor koncentráció szinte az egyetlen olyan paraméter, amely rendszerint megfelel a határértékeknek. Ennek oka nem a szinte elhanyagolható (1 %-os határfokú) tisztításban keresendő, ugyanis már a befolyó szennyvíz koncentrációja kisebb, mint a határérték. Az összes nitrogén koncentrációról szintén elmondható, hogy nem változik lényegesen a telepen való áthaladása folyamán. Ennek oka, hogy a befolyó szennyvízben, a nitrogénformák közül legnagyobb részben megtalálható ammónium-N nem tud átalakulni. A rendszerbe nem jut oxigén, így sem a nitrifikáció, sem az azt követő denitrifikáció nem tud lejátszódni. A nitrogénformák alakulását végigkövetve észrevehetőek időpontok, mikor a nitrát koncentráció megemelkedett, ekkor működött valamelyest a nitrifikáció. Tehát a tisztítás során az $\text{NH}_4\text{-N}$ csekély mértékben tud csak átalakulni, és ez az átalakulás nem jut el a nitrogén gázig, a nitrifikáció valamely lépcsőjében megreked. A fentiekkel összhangban, a mérési eredmények alapján látható, hogy a tisztítási határfok egyik komponens esetében sem éri el a kívánatos, és elvárható értéket. A határérték túllépések állandósultak, és nagymértékűek. A rendkívül gyenge teljesítmény okainak felderítésért a szennyvíztisztító telep műtárgyainak és szűrőmezőinek határfokát részletesen kell vizsgálni.

A javasolt vízszintemeléssel növekedett a tartózkodási idő, és sikerült határérték alá szorítani a lebegőanyag és KOI_{Cr} koncentrációt, ugyanakkor a szűrőmezők súlyos oxigénhiánya természetesen továbbra sem oldódott meg.

A befolyó szennyvíz átlagolt értékeit összehasonlítva a falusias kommunális szennyvíz értékeivel látható, hogy a síóagárdi szennyvíztelep lényegesen hígabb szennyvizet kap. Sőt a szennyvíz szennyező anyag tartalma az utóbbi években egyre csökkent. Amennyiben a telep képes lenne teljesíteni a hasonló felépítésű, jól működő hazai telepek legkisebb határfokait, a határérték túllépések ritkábbak és kismértékűek lennének. A teljes telep gyenge teljesítményének fő okozója az előülepítő. A nem megfelelő ülepedés, a szakaszos és nagy térfogatú szennyvíz feladás miatt a szűrőmezőre bocsáthatóság feltételeit nem tudja betartani. Így a szűrőágyak a megengedhetőnél nagyobb terheléssel néznek szembe, és gyorsabban eltömődnek.

Az optimálisan működő szűrőmezők hatékonysága is véges, nem várható el tőlük ennél több. A külföldi hígabb szennyvizet képesek megfelelően tisztítani. Hazánkban azonban az előkezelés megfelelő méretezésével, hatékonyságának növelésével, és a szűrőmezők megfelelő fajlagos felületével kell elérni, hogy a szűrőmezőkről határérték alatti koncentrációjú tisztított szennyvíz távozhasson.

A függőleges átfolyású szűrőmezők problémái az eltömődés, a folyamatos túlterheltség és az



egyenetlen terhelés eloszlás. 2011 júliusáig az első két szűrőmező oly mértékben eltömődött, hogy egyáltalán nem folyt át rajtuk szennyvíz. A harmadik mező vezette el a terhelést, amire pedig nem volt képes, az a túlfolyó vezetéken tisztítatlanul a fertőtlenítő medencébe került, vagy az aknafedélen kibukva a telep területére folyt. A júliusban elvégzett elosztórendszer kimosatásnak köszönhetően az első két szűrőmezőn jelenleg átfolyik a szennyvíz. Most a harmadik szűrőágy nem képes elvezetni a szennyvizet. Az elosztórendszer kimosatásánál derült fény arra is, hogy az első két szűrőmező elosztócsöve lényegében a vízszintes átfolyásúakéhoz hasonlóan épült meg.

A szűrőmezők a változó üzemelés ellenére is magasabb hatásfokot mutatnak, mint a teljes telep. A KOI_{Cr} és az összes foszfor eltávolítási hatásfokok elérik az irodalmi értékeket, a BOI_5 eltávolítási hatásfok 8 %-kal, az összes nitrogén és lebegőanyag hatásfok pedig átlagosan 15 %-kal kisebb az elvárhatónál.

A szűrőmezők tekintetében a továbbiakban legfontosabb a fajlagos felület növelése, a jelenlegi kevesebb, mint $2 \text{ m}^2/\text{LE}$ -ről legalább $5 \text{ m}^2/\text{LE}$ értékre, az engedélyezett bővítési terv révén ez biztosítottnak látszik.

5.2 Javaslatok

A teljes telep hatékonyságának növelése érdekében az előkezelés rendbe hozása az első lépés. Az összegyűlt iszap rendszeres és megfelelő mennyiségű elszállítása elengedhetetlen. Így nő az ülepítő hasznos térfogata, ezzel együtt pedig a tartózkodási idő. A felúszott réteg eltávolítása által is csökken az elfolyó víz lebegőanyag tartalma. Az elszállítás gyakoriságát a befogadó kapacitásához kell szabni. Kis volumenű iszapelvétele esetén a beavatkozás két hetenként javasolható. Azonban célszerűbb a teljes iszaptérfogat együttes befogadására alkalmas befogadót keresni, és negyed évenként ütemezni az iszap elvételt, így az összerothadt iszap térfogata kisebb lesz. Befogadóként javasolható egy iszapszikkasztó ágy kialakítása, esetleg célszerű szerződést kötni a helyi komposztáló teleppel.

Az előülepítő rendbetétele azonban még nem biztosítja a megfelelő előkezelést. További műtárgy megépítése is szükséges. Amennyiben az előülepítő hatásfokának tovább növelése a cél, egy kiegyenlítő tartály megépítése ajánlott, melyből folyamatosan, kis térfogatárammal adagolhatnák fel a szennyvizet az ülepítőbe. Ugyanakkor megbízhatóbb tisztítást nyújtana egy csepegtető test beépítése az előülepítő és a szűrőágyak közé, mely az előülepítőből kapott szennyvíz szerves anyag tartalmát csökkentené, és oxigénnel telítené azt. Az előkezelt szennyvizet pedig gravitációsan vezetné a szűrőágyakra. Ez a megoldás sokkal drágább lenne.

A szűrőágyakon azonnal bevezethető hatásfok növelés a vízszint megemelése volt (szeptemberben megtörtént). A beavatkozás a szűrőmezők vízszintes átfolyásúként kialakított elosztórendszerére épített. Így a rendszerben továbbra sem lesz oxigén, viszont a magasabb vízszintnek köszönhetően nő a tartózkodási idő. A szűrőágyak lényegében vízszintes átfolyásúként üzemelnek. Cél továbbá a nagyobb nyomás hatására a harmadik szűrőmező bekapcsolása a tisztításba. Ez három héttel később sem történt meg, ezért szükség van a harmadik szűrőmező elosztócsöveinek kimosatására is.

A szennyvíztisztító telep működésének helyreállításához, a megfelelő előkezelés kialakításán túl a szűrőmezők fajlagos felületének növelésére van szükség, a telep második ütemének megépítésével. A meglévő bővítési terv pozitív változást hoz a telep üzemeltetésében, ugyanis duplájára növeli a függőleges átfolyású mezők területét, továbbá egy 1200 m^2 alapterületű vízszintes átfolyású szűrőmezőt kötne az előzőek után. Mégis változtatásokkal célszerű



megvalósítani. A függőleges átfolyású szűrőágyakon az elosztórendszert az eredeti tervnél sűrűbben kell megvalósítani, és meg kell oldani a szennyvíz szakaszos rátáplálását. A töltet rétegezésénél, az elosztó hálózat szintjében durva homokot kell alkalmazni, a dréncövek környezetében viszont kavicságyat kell kialakítani. A töltet belsejében 5-15 mm átmérőjű gyöngykavics használata ajánlott, a jelenleg tapasztalt eltömődés elkerülésére. A terv szerinti vízszintes átfolyású medencét célszerű lenne cellákra osztani, melyeket egyenletesebben lehetne terhelni. A medence feltöltésére durva homok töltet ajánlott. Az elosztó rendszer környezetében apró kavics alkalmazása célszerű, az eltömődés elkerülésére. A gyűjtőrendszer védelmére, és a tisztított szennyvíz összegyűjtésének meggyorsítására nagyobb köveket, folyami kavicsot lehetne használni. A bővítés elkészültével a meglévő mezők elosztórendszerét át kell alakítani a függőleges átfolyásnak megfelelően.

A szűrőmezők soros és párhuzamos kapcsolásának kialakításával jól működő hibrid rendszer alakítható ki.



6 Összefoglalás

A csatornázás és szennyvízkezelés kiterjesztésével a 2000 lakos egyenérték alatti településeknek is gondoskodniuk kell a keletkező szennyvíz tisztításáról. Kistelepülések lévén azonban, ezek a falvak kiszorulnak a támogatások köréből, ezért drága regionális, és intenzív rendszerek helyett ajánlott a természet-közelí szennyvíztisztítási módszerek alkalmazása.

Sióagárdon függőleges átfolyású gyökérmezős rendszer működik, mely három párhuzamosan kapcsolt szűrőágyból áll, továbbá egy előülepítővel és egy fertőtlenítő medencével egészül ki. Dolgozatom célja e telep működésének feltárása, állapotának, folyamatainak megismerése, hatékonyságának vizsgálata. Továbbá azonnali és hosszú távú javaslatokkal szeretném segíteni az optimális működés helyreállítását, a feltárt problémák megszüntetését.

Havi rendszerességgel, hat alkalommal végeztem helyszíni és laboratóriumi méréseket, hogy a telep működését részleteiben, műtárgyanként megismerjem, változásait nyomon követhessem. Saját eredményeim és az illetékes felügyelőség adatai alapján, hosszútávon megfigyelhető a komponensek alakulása a technológián keresztül. A mérési eredmények megmutatták, hogy a szennyvíztisztító telep eltávolítási hatásfokai alacsonyak. Nitrogén eltávolításról, nitrifikációról az elégtelen oxigén ellátás miatt nem is beszélhetünk.

A sióagárdi szennyvíztisztító telepre az átlagos kommunális szennyvíznél hígabb érkezik, azonban az előülepítő így sem képes betartani a szűrőmezőre bocsáthatóság feltételeit.

A pH értékek alapján, és az elfolyó szennyvíz egyéb komponenseiből látható, hogy az előülepítőben savas anaerob szervesanyag lebontás megy végbe. Így a szűrőmezők fokozott terhelésnek vannak kitéve, mely miatt a szükségesnél gyorsabban eltömődtek. Az előülepítő működése tehát a teljes telep hatékonyságát befolyásolja. Ezért annak rendbetétele az első lépés a megfelelő működés felé. Az előülepítő két fő problémája a szennyvíz szakaszos nagy térfogatáramú feladása, mely nem szüntethető meg, valamint a csekély iszapelvétele miatt a hasznos térfogat csökkenése, és egy vastag iszapréteg megjelenése a felszínen. Ennek megoldására a befogadó kapacitáshoz igazított gyakoriságú iszapelvétele szükséges. A befogadóképesség növelése, és a költségek csökkentése érdekében iszapszikkasztó ágy kialakítása, vagy a komposztálóteleppel való együttműködés javasolható.

A szűrőmezők tisztítási képességének határai miatt fontos, hogy az előkezelés hatásfoka növekedjék. A szűrőmezők csak olyan minőségű szennyvizet kaphatnak, melyet optimális üzemelés mellett a határértékeknek megfelelően képesek tisztítani. Ennek teljesítésére további előkezelő műtárgyat kell a technológiába beépíteni. Ez lehet egy kiegyenlítő tartály, mely az előülepítő folyamatos táplálását oldja meg. Ugyanakkor stabilabb működést biztosítana egy csepegtető test, mely az előülepítő és a szűrőmezők közé kerülne beépítésre, a meglévő szintkülönbség kihasználásával, gravitációs átfolyással.

A függőleges átfolyású szűrőmezők üzemelése az eltömődés miatt bizonytalan. A terhelés eloszlása egyetlen. E problémák megoldására történt meg az első két szűrőmező elosztó rendszerének kimosatása. Ekkor derült fény arra, hogy a mezők elosztórendszere a vízszintes átfolyásúakéhoz hasonlóan épült meg. A kimosatás segítette a szűrőmezők átjárhatóságát, azonban egy rövidzár kialakulásának is okozója volt.

A szűrőágyak változó üzemelésük ellenére is magasabb hatásfokot mutatnak, mint a teljes telep. Több komponens tekintetében az elvárhatónak megfelelően teljesítenek (KOI_{Cr} , összes foszfor). A további komponensek hatásfokának növelése érdekében azonban azonnali beavatkozásra került sor. A vízszint megemelésével növekedett a tartózkodási idő, valamint



várhatóan a kialakult rövidzár is megszűnik.

A szűrőmezőkkel kapcsolatos legsürgetőbb feladat a fajlagos felület növelése. A telepnek eddig csupán az első üteme épült meg, mely a tervezettnél lényegesen nagyobb terhelést kap. A meglévő bővítési tervet tehát mielőbb meg kell valósítani, ugyanakkor néhány változtatásra is szükség van stabilabb és rugalmasabb működéshez. A három, új függőleges átfolyású szűrőmező megépítését követően ezek után kapcsolnánk a jelenlegieket, így lényegében a jelenlegi szűrőmezőkből vízszintes átfolyású utótisztító jönne létre. A további, vízszintes átfolyású szűrőágyak megépítése után, a jelenlegi szűrőmezők elosztórendszerét kell a terveknek megfelelően helyreállítani, hogy a függőleges átfolyás biztosítható legyen. A függőleges átfolyású szűrőmezők mindegyikénél ki kell alakítani a szakaszos rátáplálás lehetőségét.

A műtárgyak soros és párhuzamos kapcsolásának kialakításával jól működő hibrid rendszer hozható létre.



7 Irodalomjegyzék

Arias et al. (2001): Arias, C.A.; Del Bubba, M.; Brix H.: Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds.- Wat. Res. 35 (5), 1159-1168.

AQUA MÉLYÉPTERV International Kft. (1998): Közbenső értékelés a Sióagárdi szennyvíztisztító telep próbaüzemeltetéséről 1997. szeptember – 1998. december, 2. - Budapest, 1998. december.

Ayaz et al. (2011): Ayaz, S. C.; Findik, N.; Akca, L.; Erdogan, N.; Kinaci, C.: Effect of recirculation on organic matter removal in a hybrid constructed wetland system. - WaterSci. Technol. 63 (10) 2360-2366.

BME VKKT (2002): Természet-közeli szennyvíztisztító technológiák áttekintése, útmutató előkészítése a 2000 LE alatti települések részére. - BME VKKT témabeszámoló, kézirat.

Brix, H. (1994): Functions of macrophytes in constructed wetlands. – Water Sci. Technol. 29, 71–78.

Brix et al. (2007): Brix H.; Schierup H.-H.; Arias C. A.: Twenty years experience with constructed wetland systems in Denmark – What did we learn? – Water Sci. Technol. 56 (3), 63-68.

Börner et al. (1988): Börner, T., von Felde, K., Gschössl, T. and E., Kunst, S. and Wising, F., W.: A chapter about Germany in Constructed Wetlands for Waste water Treatment in Europe – Backhuys Publishers, edited by J.Vymazal, H.Brix, P.F.Cooper, M.B.Green and R. Haberl Leiden, The Netherlands pp.169-190, (1988)

Akratos C.S. ésTsihrantzis V.A. (2007): Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands.- Ecological Engineering 29, 173–191.

Cooper, P.F. (1999): Are view of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems. - WaterSci. Technol. 40 (3), 1–9.

Cooper, P.F. (2001): Nitrification and denitrification in hybrid constructed wetlands systems. In: Vymazal, J. (Ed.), Transformations on Nutrients in Natural and Constructed Wetlands. – Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 257–270.

Cooper, P.F. (2009): What can we learn from old wetlands? Lessons that have been learned and some that may have been forgotten over the past 20 years.- Desalination 246, 11-26.

Csernik és Társa Kft. (2006): Sióagárd községi szennyvíztisztító telep kapacitásbővítési engedélyezési terve. – Szekszárd.

Dittrich E.(2005): Experiences of nhydraulic performance of sub-surface flow constructed wetlands. - Első Nemzetközi PhD-szimpozium. PTE-PMMK 2005. Október 20-21.

Dittrich E. (2006): A gyökérszónás szennyvíztisztítás hazai tapasztalatai és elterjedésének lehetőségei. - MaSZeSZ Hírcsatorna 2006/ március-április: 10-20.

Dittrich E. (2009): Természet-közeli szennyvíztisztítás. - Kommunális Technológiák I. előadás, PTE PMMK, 2009/2010/1.

Dittrich E. (2011): Tejházi szennyvizet tisztító kombinált gyökérszónás mintatelep üzemelési tapasztalatai. - PTE-PMMK Környezetmérnöki Tanszék.



Hajdú Sz. (2002): Környezetkímélő szennyvíztisztítás gyökérmezős és élőgépes technológiával. – Szakdolgozat, PTE-PMMK Környezetmérnöki Szak, 4.

IWA (2001): IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control: Constructed Wetland for Water Pollution Control - IWA Publishing London, UK,

Johansen, N.H., Brix, H. (1996): Design criteria for a two-stage constructed wetland. In: Proceeding of Fifth International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control, IWA and Universität für Bodenkultur, Vienna, (Chapter IX/3).

Kovács (2011): Kovács Dénes, Profikomp Kft. sióagárdi komposztáló telepvezető, szóbeli közlés, 2011. 09. 14.

KDT-KTVF: Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség: 20.441/1995, 20.974/1993, 20.961/1997.II., 20.195/99., 20053/2001, 22-1/2005., 22-2/2005 és 18707/2006. számú határozatai.

Központi Statisztikai Hivatal (2011): A Magyar Köztársaság helységnévkönyve. - 2010. január. 1. A letöltés ideje és helye: 2011. 04.27. http://portal.ksh.hu/portal/page?_pageid=37,133145&_dad=portal&_schema=PORTAL

Lakosi I. (2003): A természet közeli szennyvíztisztítás tapasztalatai Nyugat-Dunántúlon. - MaSZeSZ Hírsztorna 2003/március-április: 8-14.

Molnár A. (2004): Molnár Antal, Beregszászi Zoltán, Kocsis Anikó, Varga József: Természet-közeli szennyvíztisztítás alkalmazása kistelepüléseken. - Hajdúböszörményi Ifjúsági Természetvédő Kör.

Müller M. E. (2003): A gyökérmezős szennyvíztisztítás üzemeltetési tapasztalatai: Sióagárd esettanulmánya. - diplomamunka, BME VKKT.

Pásztor I. (2003a): A természet-közeli szennyvíztisztítás magyarországi lehetőségei, diplomadolgozat. - Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék.

Pásztor I. (2003b): Gyökérzónás szennyvíztisztítás és tervezése. - Letöltés helye: www.pureaqua.hu/magyar/documents/cikkek/7_5_gyok_szvt.doc, letöltés ideje: 2011.09.30.

Pásztor I. (2004): Vízgazdálkodás és szennyvizek, Gyökérmezős szennyvíztisztítás, 2. rész. - Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék, 7, 9-10.

Sióköz Kft. (2011): KDT KTVF által kiszabott szennyvízbírságok

Sütő V. (2003): Csatornázatlan területek és kistelepülések szennyvíztisztításának megoldási lehetőségei egy üzemeltető szemszögéből. – Vízmű Panoráma 2003/2: 15-20.

Szabó et al. (2001): Szabó A.; Osztoics A.; Szilágyi F.: Natural waste water treatment in Hungary. - Water Sci. Technol. 44, 331-338.

Szilágyi F. (1994): Házi szennyvíz tisztítása természet-közeli módszerekkel. - BME VKKT, kézirat.

Szilágyi F. (2004): A természet-közeli szennyvíztisztítás: áldás, vagy átok. - Vízmű Panoráma, XII. 2004/1: 9-15.

Szilágyi F. (2007): Természet-közeli szennyvíztisztítás. – Alkalmazott hidrobiológia könyvféjezet, BME VKKT, 19.

TEKIR (2011): Települési Környezetvédelmi Információs Rendszer: Szennyvízelvezetés és –



kezelés. A letöltés helye: <http://www.tekir.hu/?p=42> , a letöltés ideje: 2011.10.21.

Tolna Víz- és Csatornamű Kft. (2009): Üzemeltetési Szabályzat Sióagárd, Szennyvíztelep és szennyvízcsatorna hálózat.

Tolna Víz- és Csatornamű Kft. (2000):

Vízügyi Segédlet Tervezet (a) (2001): Gyökérmezős szennyvíztisztítás magyarországi műszaki szabályozásának megalapozása a kiadott alkalmazási engedélyek és osztrák szabványok felhasználásával. - Nyugat-dunántúli vízügyi Igazgatóság, Kutatás- fejlesztési munka.

Vízügyi Segédlet Tervezet (b) (2001): Gyökérmezős szennyvíztisztító kialakítása és üzemelése. Függőleges átfolyás. - Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, VÍZ-SZK Mérnökszakértői Kft, 12, 14.

Vymazal, J. (2005): Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for waste water treatment. - Ecological Engineering 25, 478–490.

Vymazal, J. (2009): The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of waste water. - Ecological Engineering 35, 1–17.

Zapater et al (2011): Zapater, M.; Gros, A.; Soares, M.I.M.: Capacity of an on-site recirculating vertical flow constructed wetland to withstand disturbances and highly variable influent quality.- Ecological Engineering 37. 1572– 1577.

Zirshky et al (1990): Zirshky, J. ; Reed, S.C.; Crites, R.; Middlebrooks, J.; Smith, R.G.; Otis, R.; Knight, K.; Kreissl, J.; Tchobanoglous, G.; Bastian, R.; Poloncsik, S.: Lagoons, leachfields and other assistants of nature . - Water Environment and Technology, pp. 37-41.



8 Mellékletek



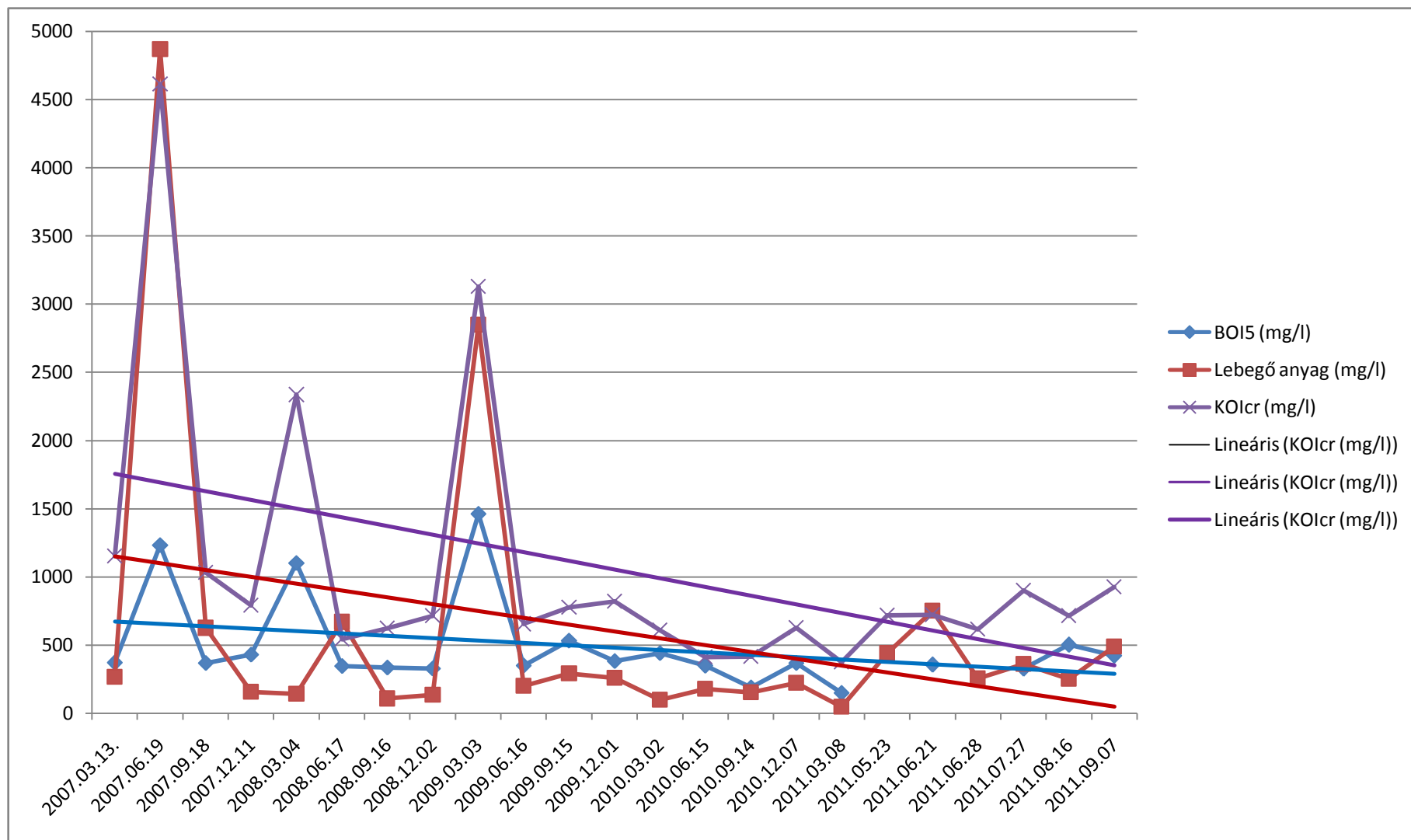
8-1. táblázat: Befolyó szennyvíz mérési eredményei 2007-től napjainkig (KDT KTVF)

Dátum	Hely	BOI 5	ÖLA	pH	KOIcr	Ammónium-N
		mg/l	mg/l		mg/l	mg/l
2007.03.13.	befolyó akna	369	266	7,62	1152	67,3
2007.06.19	befolyó akna	1231	4868	7,34	4612	78
2007.09.18	befolyó akna	366	624	7,86	1030	28,3
2007.12.11	befolyó akna	430	156	7,58	791	103,7
2008.03.04	befolyó akna	1099	140	7,27	2335	320
2008.06.17	befolyó akna	346	668	7,95	543	130,2
2008.09.16	befolyó akna	333	106	7,68	623	87,9
2008.12.02	befolyó akna	326	132	7,88	714	102,4
2009.03.03	befolyó akna	1461	2848	7,12	3129	35,3
2009.06.16	befolyó akna	350	200	7,57	653	108,7
2009.09.15	befolyó akna	531	290	7,15	775	110,5
2009.12.01	befolyó akna	380	256	7,62	818	117,1
2010.03.02	befolyó akna	439	98	8,25	609	90,5
2010.06.15	befolyó akna	347	176	8,43	412	51,7
2010.09.14	befolyó akna	187	152	7,83	415	71,3
2010.12.07	befolyó akna	367	222	8,12	627	25,1
2011.05.23	befolyó akna		440	8,09	717	59
2011.06.28	befolyó akna		255	8,22	615	54
2011.07.27	befolyó akna	325	360	8,20	898	43
2011.08.16.	befolyó akna	500	250	7,91	713	39



Mintavétel dátuma	Hely	BOI ₅	ÖLA	pH	TN	KOI _{Cr}	TP	Ammónium-N	SZOE	Nitrát	Kj-N	Nitrit	Ö.szvetlen N
		mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2007.03.13.	kifolyó akna	270	118	7,54	86,1	763	8,3	82,7	24,2	8	84	0,85	84,8
2007.06.19	kifolyó akna	18	150	7,47	18,4	101,5	2,2	10,3	4,7	29,7	11,4	1,021	17,3
2007.09.18	kifolyó akna	234	412	7,75	129,7	889	9,6	104,5	13,4	<0,5	129,7	<0,02	104,5
2007.12.11	kifolyó akna	274	130	7,42	119	665	5,2	104,7	12,8	1,4	118,7	<0,02	105
2008.03.04	kifolyó akna	347	162	7,39	75	751	8,3	73,5	14,3	1	74,7	0,436	73,85
2008.06.17	kifolyó akna	354	316	8,1	149,6	601	8,1	142	13,7	2	149,1	<0,02	142,5
2008.09.16	kifolyó akna	325	208	7,71	104,4	731	8,3	97,3	28,3	0,7	104,2	n.d.	97,5
2008.12.02	kifolyó akna	246	122	8,06	105,3	582	6,4	103,9	26,8	0,75	105,1	<0,02	104,6
2009.03.03	kifolyó akna	513	248	7,76	105,3	793	7,1	96,3	22,6	<0,5	105,3	<0,02	96,3
2009.06.16	kifolyó akna	155	180	7,43	115,5	612	9,6	102,1	23,2	1,36	115,2	<0,02	102,4
2009.09.15	kifolyó akna	399	272	7,29	133,3	601	10,1	106,2	22,7	0,82	113,1	<0,02	106,4
2009.12.01	kifolyó akna	326	430	7,58	114,4	799	12	105,5	13,7	10,1	111,9	0,58	108
2010.03.02	kifolyó akna	387	294	8,21	119,3	528	7,5	92,4	14,2	2,25	118,2	1,93	93,5
2010.06.15	kifolyó akna	293	146	8,61	40,5	248	7,8	31,8	12,4	0,89	40,3	<0,02	32
2010.09.14	kifolyó akna	151	106	7,61	77,4	396	7,1	76,5	9,7	0,56	77,3	<0,02	76,6
2010.12.07	kifolyó akna	129	116	8,11	41,1	247	5,3	28,3	6,6	27,2	33,2	6,1	33
2011.05.23	kifolyó akna		80	7,2	30	209	2,2	46		1,24	49	<0,01	52
2011.06.28	kifolyó akna		170	7,24	51	274	1,02	24		15,7	32	3,8	44
2011.07.27	kifolyó akna		380	7,36	67	825	10,1	42		0,81	66	<0,01	43
2011.08.16	kifolyó akna		142	7,17	80	306	8,5	59		<0,5	80	<0,01	59

8-2. táblázat: Elfolyó szennyvíz mérési eredményei 2007-től napjainkig (KDT KTVF)



8-1. diagram: A befolyó szennyvíz minőségi alakulása



8-3. táblázat: A sióagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.05.23.

minta sorszáma	1	2	3	4	5	6
pH	8,09	7,66	6,57	7,01	7,21	7,20
Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1869	1892	1896	1328	1757	1812
Oldott oxigén [mg/l]	4,71	6,71	2,56	5,18	0,88	1,25
Oxigén telítettség [%]	56,1	94,9	27,0	57,2	9,9	13,1
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	21,1	20,4	18,1	19,3	20,6	18,1
Lebegő anyag [mg/l]	440	160	40	<1	40	80
KOI_{Cr} [mg/l]	717	520	53	62	183	209
Összes nitrogén [mg/l]	62	82	9,3	3,1	51	55
Szerves nitrogén [mg/l]	4,0	20,6	2,0	0,2	0,52	2,8
NH₄-N [mg/l]	58	60	<0,01	1,5	50	46
NO₂-N [mg/l]	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
NO₃-N [mg/l]	0,55	1,1	7,3	1,4	0,8	5,5
Összes foszfor [mg/l]	8,7	11,9	0,30	0,25	4,5	4,4
o-PO₄-P [mg/l]	3,26	3,26	0,075	0,105	0,48	0,5
Klorid [mg/l]	133	150	50	16,7	133	117

1. tisztítatlan szennyvíz a végátemelőből
2. üleptett szennyvíz
3. tisztított szennyvíz az 1. szűrőmező kifolyójából.

4. tisztított szennyvíz az 2. szűrőmező kifolyójából
5. tisztított szennyvíz az 3. szűrőmező kifolyójából
6. tisztított szennyvíz a fertőtlenítőből



8-4. táblázat: A sióagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.06.28.

minta sorszáma	1	2	3	4	5	6
pH	8,22	7,62	-	-	7,16	7,24
Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1917	1748	-	-	3570	3330
Oldott O_2 [mg/l]	4,21	0,31	-	-	0,53	1,37
Oxigén telítettség [%]	43,4	3,2	-	-	5,6	14,4
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	16,7	18,6	-	-	17,5	17,6
Lebegő anyag [mg/l]	255	1270	-	-	95	170
KOI_{Cr} [mg/l]	615	1695	-	-	190	274
Összes nitrogén [mg/l]	72	69	-	-	130	106
Szerves nitrogén [mg/l]	1,5	2,1	-	-	<0,1	0,8
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l]	70	66	-	-	28,0	31,4
$\text{NO}_2\text{-N}$ [mg/l]	0,157	0,016	-	-	10,4	4,3
$\text{NO}_3\text{-N}$ [mg/l]	<0,5	0,7	-	-	92	70
Összes foszfor [mg/l]	8,8	15,9	-	-	1,21	3,12
$\text{o-PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	7,3	6,4	-	-	0,052	0,62
Összes keménység [CaO mg/l]	227	182	-	-	955	886
Ca^{2+} [mg/l]	70	105	-	-	557	452
Mg^{2+} [mg/l]	56	15,8	-	-	75	109
Klorid [mg/l]	117	50	-	-	117	100
Lúgosság [mmol/L]	15,5	15,0	-	-	10,0	11,0
Hidrogén-karbonát [mg/l]	946	915	-	-	610	671

- | | |
|--|--|
| 1. tisztítatlan szennyvíz a végátemelőből | 4. tisztított szennyvíz az 2. szűrőmező kifolyójából (nem működik) |
| 2. ülepitett szennyvíz | 5. tisztított szennyvíz az 3. szűrőmező kifolyójából |
| 3. tisztított szennyvíz az 1. szűrőmező kifolyójából (nem működik) | 6. tisztított szennyvíz a fertőtlenítőből |



8-5. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.07.27.

minta sorszáma	1	2	3	4	5	6
pH	8,20	7,27	-	-	6,91	7,36
Vezetőképeség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2030	1836	-	-	1785	1824
Oldott O_2 [mg/l]	4,59	0,28	-	-	0,55	2,13
Oxigén telítettség [%]	50,4	3,1	-	-	6,0	23,5
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	19,4	20,2	-	-	19,5	20,2
Lebegő anyag [mg/l]	360	290	-	-	116	380
KOI_{Cr} [mg/l]	898	761	-	-	128	825
BOI_5 [mg/l]	325	182	-	-	85	-
Összes nitrogén [mg/l]	51	68	-	-	42	70
Szerves nitrogén [mg/l]	3,8	7,1	-	-	5,1	12,2
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l]	43,9	58	-	-	33,8	54
$\text{NO}_2\text{-N}$ [mg/l]	0,019	0,013	-	-	<0,01	<0,01
$\text{NO}_3\text{-N}$ [mg/l]	3,4	3,3	-	-	3,0	3,6
Összes foszfor [mg/l]	8,5	9,7	-	-	9,6	10,1
$\text{o-PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	6,3	9,4	-	-	5,0	9,0
Összes keménység [CaO mg/l]	180	173	-	-	251	158
Ca^{2+} [mg/l]	47,9	37,0	-	-	73	34,0
Mg^{2+} [mg/l]	49,0	53	-	-	65	47,9
Klorid [mg/l]	617	83	-	-	83	67
Lúgosság [mmol/L]	17,6	15,7	-	-	15,6	17,0
Hidrogén-karbonát [mg/l]	1074	964	-	-	952	1037

- | | |
|--|--|
| 1. tisztítatlan szennyvíz a végátemelőből | 4. tisztított szennyvíz az 2. szűrőmező kifolyójából (nem működik) |
| 2. ülepített szennyvíz | 5. tisztított szennyvíz az 3. szűrőmező kifolyójából |
| 3. tisztított szennyvíz az 1. szűrőmező kifolyójából (nem működik) | 6. tisztított szennyvíz a fertőtlenítőből |



8-6. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.08.16.

minta sorszáma	1	2	3	4	5	6
pH	7,91	7,24	7,14	7,18	7,13	7,17
Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2050	1987	2050	1922	1953	1921
Oldott O_2 [mg/l]	3,32	0,40	0,52	0,23	0,47	0,61
Oxigén telítettség [%]	36,8	4,6	5,8	2,6	5,4	6,9
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	19,9	20,8	20,6	21,0	22,0	21,3
Lebegő anyag [mg/l]	250	252	573	159	159	142
KOI_{Cr} [mg/l]	713	642	324	334	317	306
BOI_5 [mg/l]	500	280	170	260	300	-
Összes nitrogén [mg/l]	61	197	98	81	119	80
Szerves nitrogén [mg/l]	10,4	112	27,7	3,0	48,3	4,0
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l]	50	85	70	78	71	76
$\text{NO}_2\text{-N}$ [mg/l]	0,018	0,011	0,01	<0,01	0,01	<0,01
$\text{NO}_3\text{-N}$ [mg/l]	<0,5	0,5	0,5	<0,5	0,95	0,65
Összes foszfor [mg/l]	10,3	11,2	9,7	8,2	8,4	8,5
$\text{o-PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	8,4	11,2	0,42	0,52	0,48	0,48
Összes keménység [CaO mg/l]	157	177	259	254	352	347
Ca^{2+} [mg/l]	26,1	27,8	77	59	66	68
Mg^{2+} [mg/l]	52	60	66	75	113	109
Klorid [mg/l]	567	117	50	67	67	117
Szulfát [mg/l]	78	98	2,8	3,1	2,9	3,1
Lúgosság [mmol/L]	14,9	15,9	16,3	15,1	16,7	16,2
Hidrogén-karbonát [mg/l]	909	970	994	921	1019	988

1. tisztítatlan szennyvíz a végátemelőből
2. ülepitett szennyvíz
3. tisztított szennyvíz az 1. szűrőmező kifolyójából

4. tisztított szennyvíz az 2. szűrőmező kifolyójából
5. tisztított szennyvíz az 3. szűrőmező kifolyójából
6. tisztított szennyvíz a fertőtlenítőből



8-7. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.09.07.

minta sorszáma	1	2	3	4	5	6
pH	8,18	7,24	6,95	6,93	-	7,01
Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1922	2060	1945	1894	-	1885
Oldott O_2 [mg/l]	3,12	0,21	0,46	0,13	-	0,80
Oxigén telítettség [%]	35,6	2,2	5,2	1,3	-	8,8
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	21,3	22,0	21,4	22,1	-	21,6
Lebegő anyag [mg/l]	486	50	113	129	-	120
KOI_{Cr} [mg/l]	926	868	195	310	-	288
BOI_5 [mg/l]	420	390	70	130	-	125
Összes nitrogén [mg/l]	95	109	84	97	-	88
Szerves nitrogén [mg/l]	2,9	6,9	11,4	21,9	-	14,1
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l]	92	102	73	75	-	74
$\text{NO}_2\text{-N}$ [mg/l]	0,01	0,01	0,15	0,04	-	0,03
$\text{NO}_3\text{-N}$ [mg/l]	0,35	0,56	2,0	0,35	-	0,29
Összes foszfor [mg/l]	11,5	14,9	10,9	12,7	-	11,9
$\text{o-PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	7,95	11,1	4,1	10,3	-	9,75
Összes keménység [CaO mg/l]	129	149	205	161	-	168
Ca^{2+} [mg/l]	35,0	37,5	82,5	70,0	-	50,0
Mg^{2+} [mg/l]	34,7	41,9	38,9	27,4	-	42,6
Szulfát [mg/l]	107	86	16,4	21,2	-	20,4
Klorid [mg/l]	467	83	67	83	-	67
Lúgosság [mmol/L]	16,2	16,2	16,0	15,2	-	15,4
Hidrogén-karbonát [mg/l]	988	988	976	927	-	939

1. tisztítatlan szennyvíz a végátemelőből
2. ülepített szennyvíz
3. tisztított szennyvíz az 1. szűrőmező kifolyójából

4. tisztított szennyvíz az 2. szűrőmező kifolyójából
5. tisztított szennyvíz az 3. szűrőmező kifolyójából (nem működik)
6. tisztított szennyvíz a fertőtlenítőből

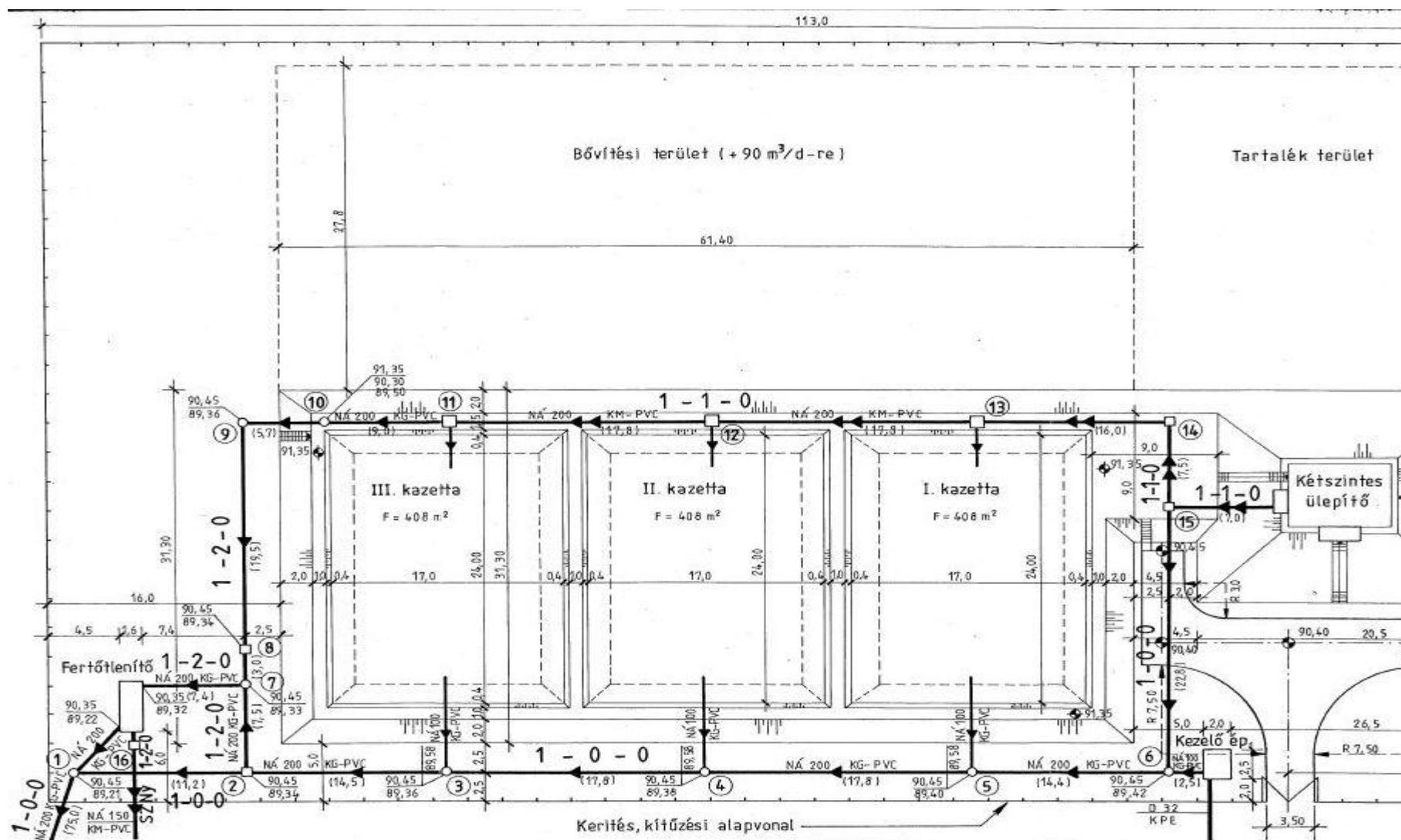


8-8. táblázat: A síóagárdi szennyvíztisztító telep mérési eredményei 2011.10.10.

minta sorszáma	1	2	3	4	5	6
pH	7,98	7,20	7,12	7,13	-	7,19
Vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1407	2050	1914	1911	-	1914
Oldott O_2 [mg/l]	3,37	0,50	0,68	0,86	-	1,80
Oxigén telítettség [%]	34,9	5,2	6,8	8,3	-	18,0
Hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	17,2	17,7	16,2	15,2	-	15,4
Lebegő anyag [mg/l]	172	236	68	69	-	68
BOI_5 [mg/l]	340	450	90	125	-	100
KOI_{Cr} [mg/l]	513	716	159	162	-	159
Összes nitrogén [mg/l]	64	105	97	87	-	94
Szerves nitrogén [mg/l]	56	88	82	77	-	82
$\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l]	7,7	16,3	14,1	10,4	-	11,1
$\text{NO}_2\text{-N}$ [mg/l]	<0,01	0,01	0,17	<0,01	-	0,02
$\text{NO}_3\text{-N}$ [mg/l]	<0,5	0,6	0,8	<0,5	-	1,0
Összes foszfor [mg/l]	9,7	12,3	15,7	11,8	-	11,9
o- $\text{PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	7,2	10,9	12,5	10,8	-	11,5
Összes keménység [CaO mg/l]	265	216	184	202	-	212
Ca^{2+} [mg/l]	40,5	59	35,1	37,8	-	40,5
Mg^{2+} [mg/l]	90	58	59	65	-	67
Szulfát [mg/l]	40	54	1,48	0,41	-	7,2
Klorid [mg/l]	17	83	117	117	-	117
Lúgosság [mmol/L]	12,6	15,8	14,8	15,2	-	15,4
Hidrogén-karbonát [mg/l]	769	964	903	927	-	939

1. tisztítatlan szennyvíz a végátemelőből
2. ülepitett szennyvíz
3. tisztított szennyvíz az 1. szűrőmező kifolyójából

4. tisztított szennyvíz az 2. szűrőmező kifolyójából
5. tisztított szennyvíz az 3. szűrőmező kifolyójából (nem működik)
6. tisztított szennyvíz a fertőtlenítőből



8-1. ábra: A sióagárdi szennyvíztisztító telep alaprajza és bővítési területe