



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Gödöllői Campus

Környezetgazdálkodási Agrármérnök Msc
Foszforeltávolítás az egri szennyvíztisztító telepen

Belső konzulens: Dr. Cserhádi Mátyás Ph.D

Belső konzulens tanszéke: Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet,

Molekuláris Ökológiai tanszék

Külső konzulens: Imre Tamás

Heves Megyei Vízmű Zrt. Szennyvízszolgáltatási ágazatvezető

Készítette: Ugrai Attila

2023.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzés	2
2.	Szakirodalmi áttekintés	3
2.1.	Szennyvíz	3
2.2.	A szennyvíziszap keletkezése	4
2.3.	A szennyvíztisztítás folyamata.....	5
2.3.1.	Vízvonal.....	5
2.3.2.	Izrapvonal	24
2.4.	Kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása	28
3.	Alkalmazott módszerek.....	29
4.	Eredmények és értékelésük	35
4.1.	Eger városi szennyvíztisztító telep általános bemutatása	35
4.1.1	Szennyvíztelep műtárgyai.....	35
4.2.	Foszfor kicsapatási kísérlet.....	49
4.2.1	Vas-só adagolás nélkül kapott vizsgálati eredmények	49
4.2.2	Vas-só adagolással kapott vizsgálati eredmények összefoglalása	55
4.2.3.	A vizsgálati eredmények összesítése	61
5.	Következtetések és javaslatok.....	67
6.	Összefoglalás.....	69
7.	Irodalomjegyzék.....	70

1. Bevezetés és célkitűzés

Diploma dolgozatom témaválasztásában jelentős szerepet játszott egri lakóhelyem, valamint 2011-ben írt szakdolgozatom, amelyet “A Heves megyei Vízmű Zrt. és hulladékgazdálkodása” címmel írtam. Korábbi dolgozatom elkészítése során betekintést nyerhettem az egri szennyvíztisztító telep működésébe, ahol felfigyeltem a szennyvíziszap, mint a telephelyen keletkező hulladék kezelésének és felhasználásának lehetőségeire. Kérdésként merült fel bennem az akkori körülményeket figyelembe véve, hogy milyen módon lehetne hasznosítani a nagy mennyiségben termelődő szennyvíziszapot, amely ahelyett, hogy csak halmozódik, felhasználása akár pozitív hatású is lehetne. A telepen számos fejlesztés ment végbe az idő folyamán, amely tartalmazza az iszapáram teljes átalakulását. Ma már hasznosítható értékes nyersanyagként tekintenek a szennyvíztisztítás során keletkező szennyvíziszapra és a lehetőségekhez mérten hasznosítják azt a telepen belül és kívül egyaránt.

A diploma készítés alatti időszakban az egri szennyvíztisztító telepen megismerhettem a szennyvíztisztítás műtárgyainak technológiai működését és a szennyvíztisztító telep laborvizsgálatainak tevékenységét. A kezelt szennyvíziszap mezőgazdaságban való hasznosíthatóságának lehetőségei is bemutatásra kerültek részemre.

Fontos, hogy a szennyvíztisztító telepre kerülő szennyvizet a szennyvíztisztítási folyamatok segítségével tisztított formában juttassuk a befogadó vízfolyásokba. A szennyvíztisztító telepek kötelessége, hogy olyan minőségű szennyvizet bocsátsanak vissza a természetbe, amely az ökoszisztémára nem veszélyes.

Diploma dolgozatom célja, hogy bemutassam az Egri szennyvíztisztító telep szennyvíztisztítási folyamatát. Továbbá egy kísérlet segítségével szemléltetem, hogy az egri szennyvíztisztító telepen milyen hatásfokkal történik a szennyvízből a foszfor eltávolítása.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Szennyvíz

Szennyvíznek tekinthető minden szennyezett víz, amelyeknek fő forrása a lakosság, és az azt kiszolgáló szolgáltató és ipari tevékenység.

Szociális szennyvíznek nevezzük azt a szennyvíztípust, amely a lakásokban, intézményekben, üzemekben keletkezik. Üzemi szennyvízen pedig az iparosított mezőgazdaság termék-feldolgozásának szennyezett vizét értjük. A lakossági, kommunális szennyvíz egy összetett rendszer, amelyben mikroorganizmusok és a növekedésükhöz szükséges tápanyagok találhatóak. A mikroorganizmusok szaporodásához megfelelő környezet (pH, hőmérséklet, oldott oxigén) szükséges. Az általunk elfogyasztott tápanyag eredeti szervesanyag tartalmának körülbelül a negyede kerül a szennyvízbe. A vízszennyezők sokféle anyag keverékéből adódnak, amelyek egyedi vegyületek és különböző vegyület-csoportok komponenseit tartalmazzák (Harrison et al., 2006).

Az éttermi és kifőzdei maradékok állatok etetésére való felhasználása ma már a jogszabály értelmében nem engedélyezett. Azonban, ha ezek a szennyvíz részét képeznék jelentősen növekedne a terhelése. Az iszaprothasztóval rendelkező telepeken általános gyakorlat ezen hulladékok közvetlen feldolgozása, de a komposztálására is lehetőség van.

A szennyvizek szervesanyagoktól és növényi tápanyagoktól való megtisztítása a lakossági szennyvíztisztító telepen történik. A tisztított vizet nagyobb mértékben a természetes vizekbe, befogadókba juttatják, amelyek lehetnek patakok, folyók, tavak, vagy tengerek, kisebb része öntözéssel újra felhasználásra kerül. A lakossági szennyvíz a lakosság öblítővízzel eltávolított hulladékait is tartalmazza, amelyek a fürdésből, zuhanyzásból, kézmosásból, főzésből, mosogatásból, mosásból származnak. A lakossági szennyvíz közcatornákon keresztül jut el jellemzően a lakott területeken kívül elhelyezett szennyvíztisztítóba. A közcatornába kerül a közintézmények szennyvize is, amely biológiailag jól bontható és semmiféle veszélyt nem jelent a lakossági szennyvíztisztítókra. A lakossági szennyvízhez hasonlóan tisztítják a kórházak, szállodák, éttermek szennyvizeit is. Az éttermek szennyvizében nagyobb koncentrációban zsír, a kórházakéban fertőtlenítő szerek, klór és jód-tartalmú fertőtlenítő anyagok fordulnak elő.

Az ipari szennyvizeknek az élő szervezetek nem feltétlenül alkotórészei. A közcatornába kerülnek azoknak az iparágaknak a szennyvizei is, amelyek biológiailag könnyen bonthatók, szennyvíztisztítás szempontjából pedig nem jelentenek veszélyt a lakossági szennyvíztisztítókra. Ide sorolhatók a hús-, tej- és konzervipar, valamint a

gyümölcsfeldolgozók szennyvizei. Vannak olyan iparágak, melyek szennyvízkibocsátásai veszélyesek lehetnek a lakossági szennyvíztisztítókra toxikus anyagtartalmuk miatt, amely abban nyilvánul meg, hogy el is pusztíthatja a kommunális tisztító biológiáját és mikroorganizmusait.

A befogadó felszíni víztestekre nagy veszélyt jelent az elégtelen szennyvíztisztítás, ami oxigénhiányt, túlterhelést, halpusztulást eredményezhet. Kiemelten veszélyes anyagok a cianid, szulfát szerves vegyületei, fenolok és származékjaik, továbbá a többgyűrűs aromás szénhidrogének. Emellett a gyógyszerek, növényvédő szerek, szervesetlen komponensek, mint például az ólom, higany, kadmium és egyéb nehézfémek is hasonló veszélyt jelentenek. A veszélyes anyagokat szennyvízbe juttató vállalatoknak előtisztítást kell alkalmazniuk az anyagok koncentrációjának előírt határérték alá csökkentése érdekében (Kárpáti, 2007).

2.2.A szennyvíziszap keletkezése

Szennyvíziszapnak nevezzük a kommunális szennyvíztisztítás során keletkező másodlagos nyersanyagot, mely mikroorganizmusokból, iszapvízből, aprított ásványi részecskékből, szerves anyagokból, tápanyagokból (N, P, K) és nyomelemekből tevődik össze. Azaz a települési folyékony hulladék kezelésével keletkező olyan iszap, amelynek a szennyezőanyag tartalma az előírásoknak megfelel (Fijalkowski et al., 2017). A szennyvíziszap a szennyvízkezelési folyamatok mellékterméke. A megfelelően kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági területekre való kijuttatása az egyik fontos ártalmatlanítási alternatíva (Singh-Agrawal, 2006).

A talajvédelmi hatóság engedélyezésével a szennyvíziszap kezelést követően felhasználható mezőgazdasági célra. Az iszapkezelés magába foglalja a víztelenítést, a stabilizálást, a szennyező anyagok káros mennyiségének az eltávolítását és a fertőtlenítést. A megfelelően kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági területre való kijuttatásával a talaj szervesanyag, ásványianyag és tápanyag utánpótlása biztosítható (http1). A kihelyezésre a vegetációs időszakon kívül van lehetőség, melyet az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet szabályoz. A kihelyezés előtt az alábbi anyag- és higiéniai csoportok esetében kell határértékeknek megfelelnie a szennyvíziszapnak: toxikus elem tartalom, TPH, fekál coliform szám, fekál streptococcus szám, Salmonella sp szám, humán parazita bélféreg pete szám, stb. A mezőgazdasági kihelyezés előtt a konkrét területen is talajvizsgálatokat kell végezni és az iszap és talajvizsgálati paraméterek összevetésével talajvédelmi terv keretében lehet elvégezni a kijuttatást (http2).

A szennyvíziszap és a bioszilárd anyagok kezelése a víz- és szennyvíztechnológia központi

elemei. A korábbi technológiák és szabályozások az aktuális problémák megoldására irányultak, nem pedig a fenntarthatóságra. Napjainkra az iszap gazdasági és társadalmi felelősséggé vált. Az iszapkezelés gyakorlatának a megfelelő energetikai és vegyi eszközök hasznosítása mellett védenie kell a környezetet és az emberi egészséget. Ezzel az új kezelési technológiák alkalmazása mellett, gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatóság biztosítását kell kialakítani (Peccia-Westerhoff, 2015).

A stabilizált szennyvíziszap megfelelő földterületen való felhasználása pozitívan járulhat hozzá a mezőgazdasági termeléshez (Wang, 1997).

2.3.A szennyvíztisztítás folyamata

A szennyvíztisztítás a XX. század elejétől iparosodott, amely a fizikai és kémiai módszerek együttes alkalmazásában nyilvánult meg. Majd ugyanezen században kezdték el alkalmazni a biológiai szennyvíztisztítási módszereket is.

Napjainkban biológiai és kémiai módszerekkel, vagy azok akár együttes használatával történik a szennyvíztisztítás. Ha a két módszert együtt alkalmazzák, akkor a biológiai szennyvíztisztítás hatásfokának a növelése céljából a kémiai kezelést iktatják be. A mechanikai szennyvíztisztítás folyamatánál a szennyvizek fizikailag leválasztható anyagainak eltávolítása zajlik. A biológiai szennyvíztisztítás során pedig azok a szerves anyagok kerülnek lebontásra, amelyek a mechanikai szennyvíztisztítás folyamatában nem voltak eltávolíthatók. A növényi tápanyagok eltávolítása fizikai, biológiai vagy kémiai módszerekkel történhet.

A szennyvíztisztítás fő célja, hogy minél hatékonyabban távolítsák el a károsan és hátrányosan ható szennyező anyagokat a szennyvízből. Ennek megvalósulása esetén a víz visszanyerheti valódi értékét.

2.3.1. Vízvonal

2.3.1.1. Mechanikai tisztítás

A szennyvíztisztítás a mechanikai (elsőfokú) tisztítással kezdődik. A folyamat során a fizika törvényszerűségeit kihasználva távolítják el a szennyvízből a benne található szűrhető és ülepezhető anyagokat.

- **Rács alkalmazása a szűrési folyamatban**

A nagyobb méretű szennyező anyagok eltávolítására a rácsok szolgálnak, melyek további feladata a szennyvíztisztítás során használt berendezések védelme, rácsszemét kiszűrése, valamint a dugulás elleni védelem. A szennyvíztisztító telep területén belül a rácsok a

homokfogó berendezés előtt helyezkednek el, amelyek általánosságban a szennyvízátemelők és szivattyúk előtt üzemelnek.

A rácsoknak több típusa is elterjedt. Nagyobb létesítményekben leginkább a síkrácsot, illetve a léptetőrácsot alkalmazzák. Mindkét típusnál a rendszer idővezérléses, általában a víztükör szintkülönbségről történik a vezérlés. Kisebb telepeken dobrácsot alkalmaznak, amelynél a rácsszemétkösző préssel együtt kombinálva működik. A préselés ebben az esetben csigaprésel történik, amely során a keletkező szemetet ideiglenesen konténerben tárolják az elszállítás idejéig.

A rácsook feloszthatóok a rácso pálcaköze szerint durva és finomrácsokra. A durvarács 6-60 mm, a finomrács 4-6 mm. Manapság jellemzőbb az egyre kisebb pálcaközű rácsook alkalmazása.

- Az ülepités technikájának típusai

A szennyvíztisztító telepen elfoglalt helyük szerint megkülönböztetünk elő-, közbenső- és utóülepitőt. A szennyvíztisztító telepek javarészt elő- és utóülepitővel rendelkeznek. Az előülepitőket nagy szennyvíztisztító telepek esetén célszerű alkalmazni, ahol a nyers iszapból lehetőség nyílik energiatermelésre is akár biogáz formájában.

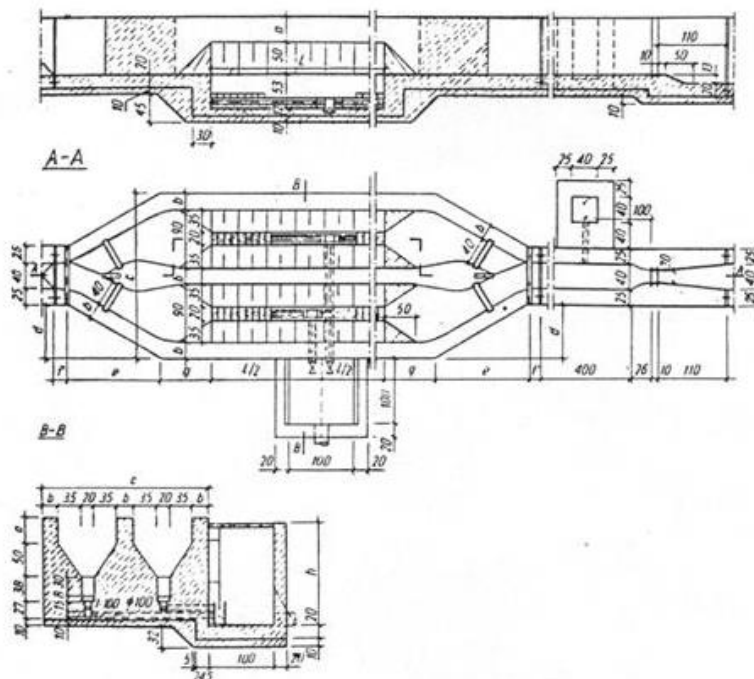
A szennyvíz ülepitése során a víznél nagyobb sűrűségű, ülepithető lebegőanyagok víztől való elválasztása történik. Az el nem távolított, víznél kisebb sűrűséggel rendelkező anyagok egy része az előülepitőben válik ki a szennyvízből. Az ülepitők méretük segítségével az érkező szennyvíz sebességét lecsökkentik, aminek hatására a lassuló áramlás kialakulásánál fázisszétválasztás történik. A leülepedett iszapot kiemelik (leeresztik), az ülepitett víz pedig bukóélen át kerül a következő műtárgyba. Az előülepitő alkalmazása esetén megjelenik a primer nyersiszap, amely képződése folyamatos, azt meghatározott időközönként vagy akár folyamatosan le kell eresztetni a rendszerből. Az ülepités hatásfoka százalékban határozható meg az összes lebegőanyag, az ülepedőképes lebegőanyag és a biológiai-oxigénigény csökkenéseként. Az előülepitőben a szennyvízből másfél és kétórás tartózkodási idővel az összes lebegőanyag 60-70%-os, az ülepithető lebegőanyag-tartalom 90%-os csökkenése érhető el.

- **Az ülepitést szolgáló homokfogók**

A homokfogó a szennyvízrácsokat követő technológiai berendezés, amelynek a funkciója az ülepités. Csak úgy, mint a rácson való szűrésnek, a homokfogónak is védelmi funkciója van, amely a berendezések és a szennyvíztisztítás gépészeti részének a védelmét szolgálja. A szennyvízből a 0,2 mm-nél nagyobb szemcseátmérőjű anyagok (homok, ásványi szemcsék) eltávolítására szolgál lerakódásuk és kiülepedésük elkerülése érdekében. A homokfogóban jelentősebb a szerves lebegőanyag nélküli homok és az egyéb szervesetlen

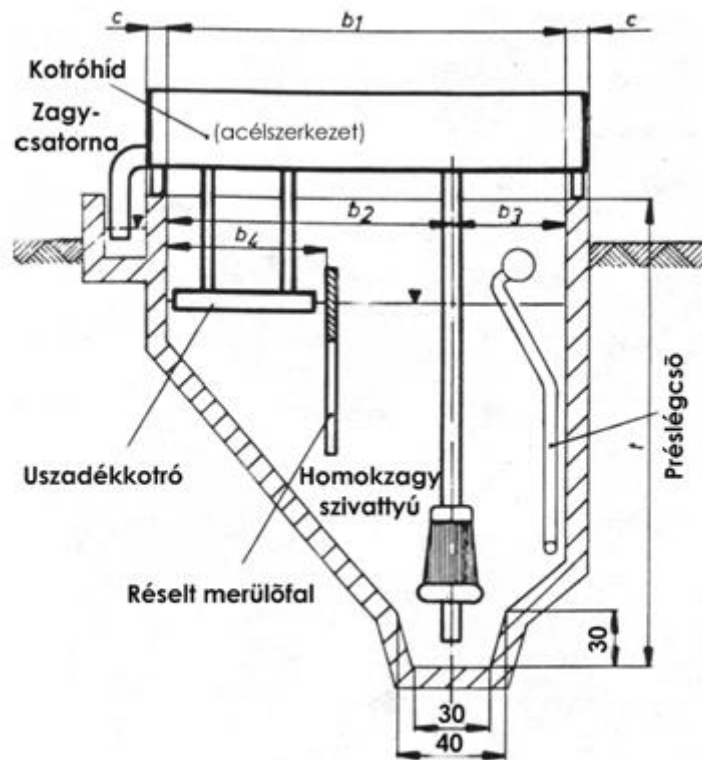
részecskék leülepedése, ugyanis itt történik a kifogott homok és a szerves szennyeződések szétválasztása.

Főbb típusai közé tartozik a hosszanti átfolyású homokfogó (1. ábra), amely, változó vízhozam mellett is biztosítja az állandó 0,3 m/s átfolyási sebességet, amely lehetővé teszi, hogy csak az ásványi anyagok ülepedjenek le, a finomabb szervesanyagok pedig a vízmozgással tovább haladjanak. A másik típus a légbefúvásos homokfogó (2. ábra), amely a legelterjedtebb hazánkban. Ennél a típusnál a homokfogó keresztmetszetében, aszimmetrikusan, a medence hosszanti falsíkjában, a beépített légbefúvó elemsoron bevezetett préslevegővel vízszintes tengelyű forgó vízhenger jön létre. A légbefúvás intenzitásával szabályozható a primer áramlás forgási sebessége, melynek nagy szerepe van a tisztítás határfokában. A kereszt és hosszirányú áramlás szuperpozíciójával spirális áramlás jön létre. A homok a levegő befúvással ellentétes oldalon ülepedik ki a műtárgyban. A szennyvíz, amelyet a műtárgyba 0,75-1,0 m/s sebességgel vezetnek be, irányváltás következtében kénytelen spirális mozgást végezni, amelynek következményeként az áramlás iránya a fal mentén lefelé mutat. Utóbbi hatására a hordalék a 45°-os oldalfalú homokgyűjtőbe kerül. A bevezetésnél a vízkivétel egy magasabb és szélesebb küszöbön történik, melynek célja, hogy kisebb legyen a kilépési sebesség a belépőnél, ez a 0,9 m/s-ot ne haladja meg. Itt a szennyvíz tartózkodási ideje 35-45 perc. A kör alakú homokfogók legtöbbször iker elrendezésűek. Azokon a szennyvíztisztító telepeken alkalmazzák, amelyek közepes vagy nagy méretűek és ahová a szennyvíz folyamatosan érkezik.



1. ábra: Hosszanti átfolyású homokfogó metszete

A levegőztetett homokfogónál a cél, hogy a homokot teljes mértékben ülepítse, de a kisebb fajsúlyú ülepedő anyagokat ne. Pozitív mellékhatása a beoldódó oxigén által az érkező szennyvíz felfrissítse. A merülőfal mögött áramlási holtter alakul ki, ahol egyes anyagok (zsírok, olajok, hab) felúsznak, így összegyűjthetővé válnak.



2. ábra: Légbefúvós homokfogó metszete

Az ülepítő medence felépítése és funkciója

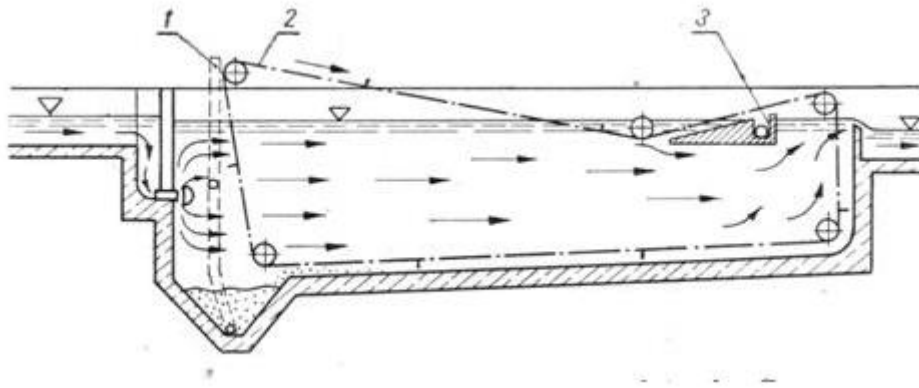
Kialakítás szempontjából igen változatosak, mégis jól elkülöníthetők az egyes részei, melyek az előkamra, a befolyási tér, a tényleges ülepítőtér, az elvezetést biztosító kamra, és az iszapgyűjtő tér.

A leggyakrabban alkalmazott ülepítő típusok a következők:

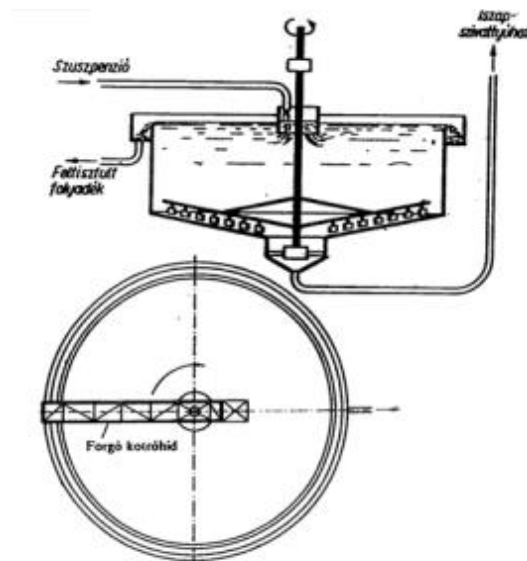
1. hosszanti átfolyású ülepítők gépi kotró berendezéssel (pl. Lipcsei típusú), melynél a bevezető elemeken áramlik át a szennyvíz a medencébe, ezt követően hosszanti irányba egyenletesen, lamináris áramlással halad az elvezető vályú vagy a bukó irányába (**3. ábra**).
2. sugárirányú átfolyású ülepítők gépi kotróberendezéssel (pl. Dorr típusú), melynek a medencéjébe vezetett víz sugárirányban halad, majd a műtárgy kerülete mentén elhelyezett egy vagy kétoldalú, fogazott bukóélel rendelkező, merülőfallyal védett, gyűjtővályúba jutva hagyja el azt (**4. ábra**). A vízelosztómű feladata a medence középpontjában lévő vízhozam

egyenletes bevezetése és elosztása. A szimmetrikusan elhelyezett bevezető idomok teszik lehetővé az egyenletes vízelosztást. A műtárgy aljára ülepedett iszap terelését, szívó szerkezettel történő elvezetését kotrószerkezet hajtja végre. A kotróhídhhoz rögzített uszadéktoló-lap a merülőfal belső oldalán kialakított aknába tereli a felúszó iszapot.

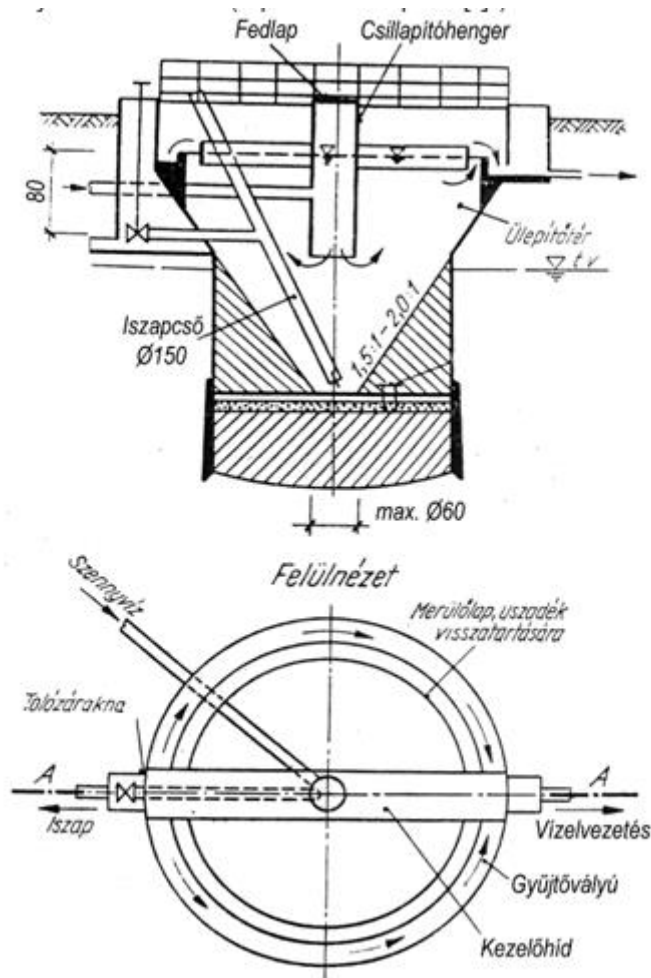
- függőleges átfolyású tölcéses ülepítők (pl. Dortmundi típusú), melyet leginkább utóülepítőként használnak a kisebb szennyvíztisztító telepeken. A szennyvíz a függőleges csillapító hengerbe érkezik, ahonnan lefelé áramlik. Az irányváltást követően a felfelé áramlás hatására, pelyhes anyagok ülepedése esetén iszapfelhő jön létre, amely szűrőhatása növeli a tisztító folyamatokat. A medence kerülete mentén elhelyezett, merülőfallyal védett bukóvályúkkal végzik a szennyvíz elvezetését (5.ábra).



3. ábra: Hosszanti átfolyású ülepítő láncos kotróval (Lipcei típusú)



4. ábra: Sugárirányú átfolyású ülepítő (Dorr típusú)



5. ábra: Függőleges átfolyású ülepitő (Dortmundi típusú)

Két különböző szerepük lehet az ülepitő medencéknek a szennyvíztisztító telepen: előülepitő, valamint utőülepitő. Az előülepitő feladata megfelelő hatásfokkal a rácsok és homokfogók után megmaradt lebegőanyag eltávolítása, amivel a soron következő biológiai berendezést tehermentesítik a szerves anyagoktól. Az előülepitő általában a homokfogó után és a biológiai tisztító műtárgy előtt helyezkedik el. Az utőülepitőben történik a szétválasztása a biológiai tisztítás során képződő pelyhesedett eleveniszapnak és a tiszta vízfázisnak. Ez az utolsó technológiai berendezés, amely után a tisztított víz egyenesen a befogadóba ömlik, illetve szükség esetén a fertőtlenítő medencébe.

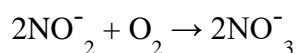
2.3.1.2. Biológiai tisztítás

A mechanikai tisztítást követi a biológiai, második fokozata a tisztításnak, amely során a szerves anyag eltávolítása és a nitrifikáció megy végbe.

A biológiai eleveniszapos tisztításnál a mikroorganizmusoknak azt a képességét használják ki, hogy a szerves anyagokat képesek lebontani, amelyek így ártalmatlanná alakíthatók ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). A folyamat létrejöttének az a felétele, hogy a megfelelő baktérium a megfelelő helyen legyen, valamint a környezeti körülmények is optimálisak legyenek számukra az életfenntartásukhoz. Az oxigénnek fontos szerepe van a folyamatban, mivel megfelelő koncentrációja a szennyvízkezelés során a tisztításban résztvevő mikroorganizmusok számára létfontosságú.

A biológiai bonthatóságot befolyásoló környezeti tényezők közé tartozik a hőfok, a pH és az oldott oxigén elérhetősége. Az oxigén koncentrációja szerint megkülönböztetünk aerob és anaerob folyamatokat. Aerob folyamat esetén oxigéndús környezetben megy végbe a reakció ott, ahol nagy jelentősége van a szerves anyagok koncentrációjának és a nitrifikációnak.

A nitrifikációnál a vízben jelenlévő ammónium két lépésben nitráttá alakul:



A lebontás típusát az oldott oxigén mennyisége határozza meg a tisztításra kerülő szennyvízben, amely alapján aerob vagy anaerob mikroorganizmusok végzik a szerves anyagok lebontását. Anaerob reakció esetén a vízben nincs oldott oxigén, aerobnál viszont jelen van annyi a közegben, amennyi a biológiai lebontáshoz szükséges. Az anoxikus folyamatoknál nincs szabad oxigén, csak nitrátban kötött formában. Itt kell megemlíteni a denitrifikációt, amely a gáznemű nitrogén előállítását, a nitrogén-oxidok mikrobiális redukcióját jelenti. A baktériumok az egyetlen olyan organizmusok, amelyek rendelkeznek a denitrifikáció fiziológiai tulajdonságával. Az anaerob folyamatok ott játszódnak le ezzel szemben, ahol nincs se szabad oxigén, se nitrát (Blackall et al., 2002).

- Biológiai tisztítási módszerek

A két legelterjedtebb biológiai tisztítás a fixfilmes és az eleveniszapos szennyvíztisztítás.

1) Fixfilmes szennyvíztisztítás

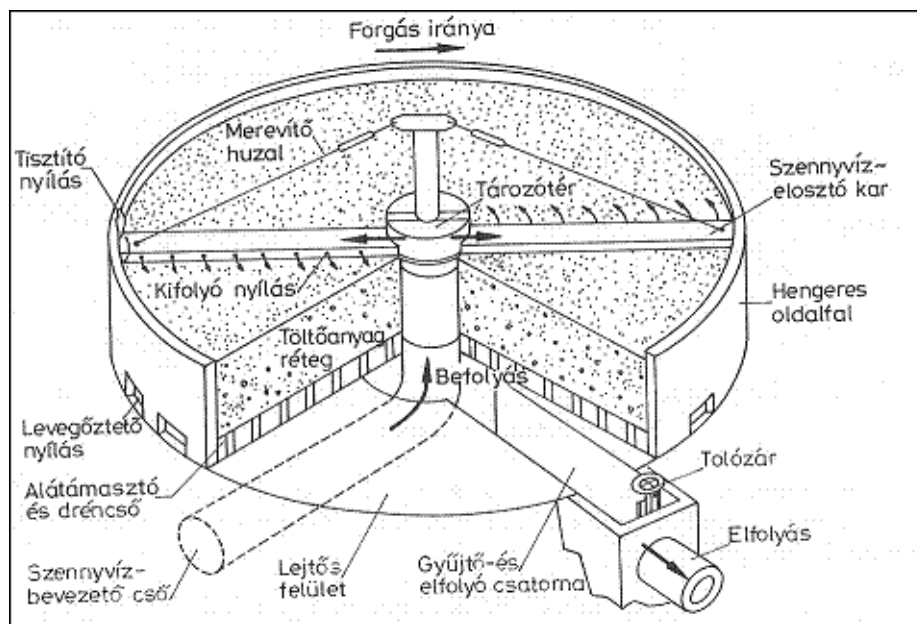
A filmes szennyvíztisztítás két nagy csoportra osztható:

1. csepegtetőtestes

2. forgó-merülő tárcsás

A csepegtetőtestes rendszer (6.ábra) az aerob biológiai tisztítás egyik jellemző szennyvíztisztítási formája, mely alapvetően aerob jellegű. A biológiai lebontást a csepegtetőtestet kitöltő anyag felületén elhelyezkedő mikroorganizmusok hajtják végre biológiai hártát alkotva. A biológiai hártá megvastagodhat annyira, hogy az alatta elhelyezkedő területekre nem jut oxigén, így anaerob jellegűvé válik a szennyvíztisztítás. A hártá csak bizonyos mértékig képes megvastagodni. Amennyiben a tömege túl nagy, leválik a kitöltő anyagról és a szennyvízzel távozik. A távozó anyagot humuszsizapnak nevezik, ami később végleg eltávolításra kerül a vízből az utóülepítés során.

A kör alaprajzú és hengeres oldalú csepegtetőtestek egykor téglából készültek, majd felváltotta a vasbeton. Napjainkban viszont már fémszerkezetű műtárgyakkal is találkozhatunk. A csepegtetőtest kitöltő anyaga bazalt, de használnak már salakot vagy habkövet is, valamint PVC alapú műanyagot. Az anyag két fontos követelménye egyrészt, hogy a lehető legnagyobb pórusfelületet adja, másrészt pedig fagyálló legyen. Átlagosan 2-3 méter vastagságú, de lehet akár 5 méter is. Kialakítását tekintve a csepegtetőtest lehet nyitott és zárt. Nyitott esetben az oxigénellátást a természet biztosítja, zártnál a levegő áramlását szellőzőkürtőkkel segítik elő.

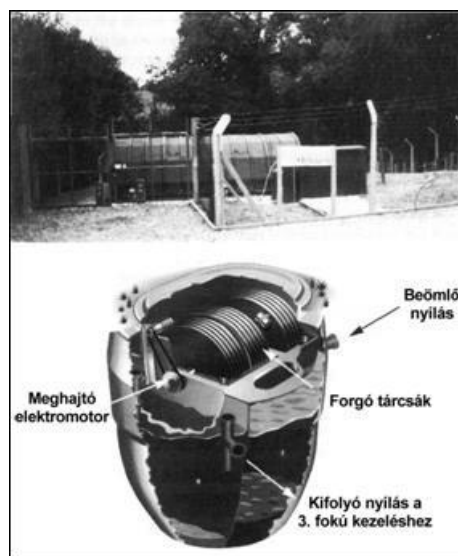


6. ábra: Csepegtetőtest

A csepegtetőtestek terhelésük alapján három csoportra oszthatók, a kis terhelésű, a közepes terhelésű és a nagy terhelésű csepegtető testekre. A terhelés két részből tevődik össze, egyik a térfogati szervesanyag-terhelés, másik a felületi hidraulikai terhelés. A legnagyobb szervesanyag lebontási hatásfokkal a kis terhelésű berendezés rendelkezik, míg a nagy terhelésű

a legkisebbel. Ahogy nő a terhelés úgy egyre nagyobb szerepe lesz a recirkulációnak, azaz a visszavezetésnek. Az utóülepítő iszapzsompjából a kiülepedett iszapot visszavezethetik a technológia elejére. A csepegtető test hatásfoka a mai kor elvárásainak már nem igazán tud megfelelni, valamint a tisztítás hatásfokát az időjárás jelentősen befolyásolja.

A forgó-merülőtárcsás rendszer (7.ábra) biológiai rendszer, csakúgy, mint a csepegtetőtestesek, a hártvás rendszerű biológiai berendezések csoportjába tartoznak. A két rendszer nagyon hasonló, de üzemeltetésükben és szerkezeti kialakításukban eltérnek. A forgó-merülőtárcsás rendszer a hagyományos csepegtetőtestes szennyvíztisztítás elve alapján működik, üzeme azonban egyszerűbb és gazdaságosabb.



6. ábra: *Forgó-merülőtárcsás rendszer*

A tárcsák általában 1,5-3 m átmérőjű műanyag lapok, melyek anyaga polisztirol, poliuretán, polietilén vagy polivinilklorid. A tárcsák egy forgó tengelyen helyezkednek el, amelynek a forgáshoz szükséges energiát egy elektromotor biztosítja. A forgó-merülő tárcsás szennyvíztisztítóhoz tartozik egy rövid tartózkodási idejű ülepítő, amely recirkulációt igényel. A biológiai hártva a tárcsákon tapad meg, amelyek csak félig érnek bele a szennyvízbe, így a rajta levő mikroorganizmusok a forgás során hol tápanyaghoz, hol pedig oxigénhez jutnak, tehát ez az eljárás is aerob jellegű.

2) Az eleveniszapos szennyvíztisztítás

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás egy reaktorban lejátszódó a folyamat, amelyben a mikroorganizmusok megfelelő keverés és optimális környezeti feltételek esetén a szerves vegyületeket bontják. A tisztítás során egy medencébe vezetik a szennyvizet, ahol a vízben lebegve vannak jelen a mikroorganizmusok és a tápanyagok. A medencében két anyag intenzív

érintkezése zajlik, elkeveredés és oxigénbevitel, amely során levegőztetést alkalmaznak. Az idő függvényében az üleptéssel elszeparálják az eleveniszapot, amit fölös iszapként elvezetve tárolnak vagy recirkuláltatnak. Alapjában véve, a természetben lejátszódó aerob folyamatok játszódhatnak le az eleveniszapos rendszerben is, azonban utóbbi esetben az ember irányítása alatt tudja tartani az eseményeket.

Az eleveniszapos rendszerek három csoportja az iszapkor alapján a nagy terhelésű rendszerek, a közepes rendszerek és az alacsony idejű levegőztetéssel ellátott rendszerek.

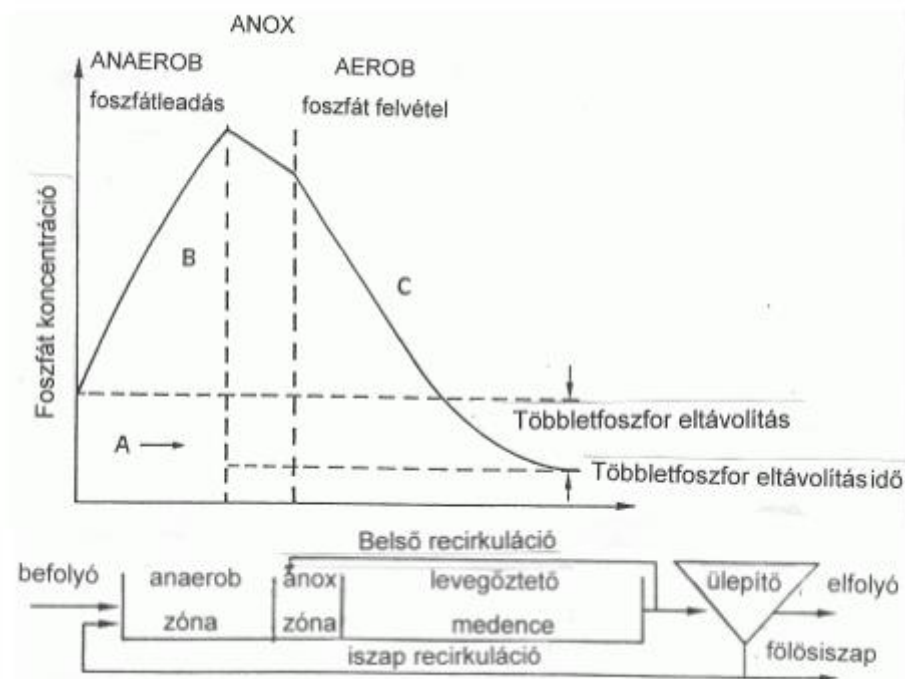
Az iszap biológiai rendszerben való tartózkodásának idejét az iszapkor adja meg. A nagy terhelésű rendszer az egyik, amelyben magas a víz szervesanyag tartalma. Az eleveniszapos rendszerek akár több tízezer lakossal rendelkező városokat is ki tudnak szolgálni, oxigénbevittől függően. Az eleveniszapos tisztítók méretezésénél figyelembe kell venni a nitrifikáló baktériumok szaporodási sebességét, mivel negatívan hat rá a biológiai és a térfogati túlterhelés is. A mechanikai tisztítás után következik az eleveniszapos technológia, majd ezt követi a fertőtlenítés. A technológia tervezésénél elsődleges feladat, hogy biztosítsák a mikroorganizmusok megfelelő oxigénellátását. Ezt leggyakrabban légbefúvásos technikával valósítják meg.

2.3.1.3. A növényi tápanyagok eltávolítása (Harmadik fokozat)

A tápanyagok eltávolítása történhet biológiai vagy kémiai úton. A biológiai eljárásnál az anaerob medencét és az anoxikus medencét kell megemlíteni. A foszfor eltávolításához anaerob medence szükséges. A biológiai többletfoszfor eltávolítása olyan mikroorganizmusok segítségével történik, amelyek nagyobb mennyiségű foszfor felvételére képesek, mint amennyit valójában igényelnek. Ennek megvalósulásához szükséges, hogy a mikroorganizmusokat felváltva anaerob és aerob körülmények közé helyezzük. Az anaerob körülmények a mikroorganizmusok számára kedvezőtlenek, aminek következtében megszabadulnak a sejtépítéshez felvett foszfortól. Majd az aerob körülményeknél hirtelen nagy mennyiségű foszfor felvétele történik, amely beépül a sejtanyagba. Végül a foszforral együtt a folyamat mikroorganizmusai a fölősiszap elvétellel kikerülnek a tisztítórendszerből. Ez a folyamata tehát a foszfor eltávolításának a vízfázisból.

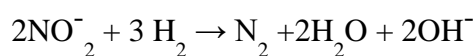
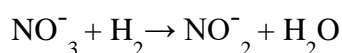
A biológiai többletfoszfor eltávolításra alkalmas eleveniszapos szennyvíztisztító anaerob foszfát leadása és anoxikus, valamint oxikus foszfát felvétele a **8. ábrán** van szemléltetve. Az ábrát szövegesen jellemezve elmondható, hogy az iszap aerob fázisban több foszfátot vesz fel, mint amennyit az anaerob fázisban lead. A foszfor a keletkező szennyvíziszapban koncentrálnak, ahol az többletfoszforaként jelenik meg, így az a szennyvíziszappal együtt

eltávolítható lesz. A foszfát felvétele az anoxikus szakaszban lassúbb, mint az aerobban. Az ábrán a betűjelekkel (A,B,C) a foszfátkoncentrációk is jelölésre kerültek: „A” a szennyvíz befolyó vize, „B” a recirkuláltatott iszaptól leadott foszfát hatására az anaerob szakaszban kialakuló, „C” eleveniszap foszfátfelvétele.

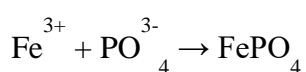
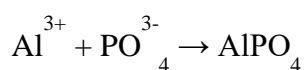


7. ábra: Foszforeltávolítás folyamata a szennyvíztisztításnál

A denitrifikáció folyamata az anoxikus medencében zajlik, amely a nitrátok átalakulását nitrogénné jelenti. Ezt az alábbi két lépésben táthatjuk leírva:



A kémiai tápanyag eltávolítása a foszfor eltávolítása a szennyvízből, ami az előülepítőbe vegyszerek adagolásával történik. Erre alumínium- vagy vassót használnak. A vegyszerek megkötik a vízben oldott állapotban lévő foszfátokat, amelyek kiülepednek szilárd csapadék formájában a szennyvízből. Ez a folyamat a következőképpen néz ki:



A következőkben a fent említett nitrogén és foszfor, valamint a hozzájuk kapcsolódó folyamatok bemutatása következik:

- Nitrogén

Nitrogénre minden élőlénynek szüksége van. Alkotóeleme sok alapvető fontosságú szerves vegyületnek, mint például a fehérjék és az örökítést biztosító DNS és RNS szálaknak. A légkör 78%-ban szabad nitrogénből tevődik össze, ami viszont mégsem könnyen hozzáférhető az élővilág számára. Oka, hogy a talajban élő baktériumok és bizonyos zöldségféléken kívül más élőlény közvetlenül nem tudja felhasználni és nem tudja beépíteni a szerves vegyületeibe. Ezt a folyamatot nitrogénmegkötésnek nevezzük. A folyamat nagy mennyiségű energiát igényel, és a nitrogén-nitrogén kötés megbontása sem könnyű feladat. A biológiai nitrogénmegkötés fontos részét képezi a nitrogén-körfolyamatnak. Ma a nitrogénkötés nagyobbik felét iszapszerű ammóniatermelés képviseli (Haber-Bosch szintézis), amely kifejlesztése ennek a korlátozott tápelemnek a bőségét hozta el a mezőgazdaság számára. A felfokozott nitrogénforgalom olyan vízminőségi problémákhoz vezetett, mint például az oxigénfogyasztó nitrogénformák okozta vízterhelés és a felszíni vagy felszín alatti vizek nitrátszennyezése. A baktériumok bármely nitrogénforma átalakítására képesek. A szerves nitrogénvegyületek lebomlása esetén ammónia (NH₃) jön létre, amely a vízben oldva ammóniumionokkal áll egyensúlyban.



Ha sok antropogén nitrogén kerül a vízbe, az környezeti és emberi egészségi problémákat okozhat. Elmondható, hogy a világ egyes részein az élelmiszertermelés nitrogénhiányos, ami rávilágít a nitrogéntartalmú műtrágyák elosztásának egyenlőtlenségeire is (Galloway et al., 2008).

A szerves nitrogén és foszfor eloszlása, valamint vizsgálati kísérletek is azt mutatják, hogy a nitrogén a kritikus korlátozó tényező az algák növekedésében és eutrofizációjában tengeri ökoszisztémákban (Ryther-Dunstan, 1971; Howarth-Marino, 2006).

- Nitrifikáció

Egyes baktériumok képesek arra, hogy felhasználják az ammóniában, vagy az ammóniumionban megkötött energiát. Az oxigén jelenlétében a *Nitrosomonas* nemzetség tagjai nitritté alakítják át az ammóniát. A természetben a nitrit ritkábban fordul elő, mint a nitrát. Ennek oka, hogy azt a *Nitrobacter* nemzetség tagjai azonnal tovább alakítják nitráttá. A baktériumok hatására az ammónia nitráttá alakulásának folyamatát nitrifikációnak nevezzük. Az ammóniát, ammóniumiont, valamint a nitrátot számos növény és mikroorganizmus fel tudja venni, majd azt vissza is juttatja az ökológiai rendszerbe. A természetes nitrogénkörfolyamat a szerves nitrogén és ammónium, illetve a nitrát közötti átalakuláshoz kapcsolódik.

- Denitrifikáció

A denitrifikáció során anoxikus körülmények között nitrogénlégzés megy végbe. A folyamatban a nitrát jelentős része szabad nitrogénné alakul, majd a légkörbe távozik (Tiedje, 1983).

- Foszfor

A foszfor a nitrogénhez hasonlóan létfontosságú elem, viszont ez a tápanyag szűkösebben áll rendelkezésre az élő szervezetek számára. A foszfor az élő szervezetekben főként az energiaforgalmat biztosító vegyületekben fordul elő. Emellett az örökítő anyagban (DNS, RNS) és a sejtmembránban is megtalálható. A foszfátszennyezésre az algák és a vízi növények tömegszaporodással reagálnak, majd a megnövekedett növényi biomassza elbomlása elvonja az oldott oxigén tartalmat a víztestből, amely a természetes vizek megnövekedő oxigénfogyasztásával súlyos vízminőség romlást idéz elő. Ezt nevezzük eutrofizációnak (Horváth, 2021).

A szennyvízből a foszfor eltávolítása történhet vegyszeres eljárással, biológiai kezeléssel vagy a kettő kombinációjával. A vegyszeres eljárásnál a szennyvízből a foszfor kicsapatása kalcium-, vas- vagy alumíniumsók hozzáadásával érhető el.

A biológiai foszforeltávolítás a normál bakteriális anyagcsere-szükségletek foszforfelvételtől függ. A biológiai foszforeltávolítást a kémiai kezelés alternatívájaként javasolják (Yeoman et al., 1988).

- Eutrofizáció

Az eutrofizáció egy általános kifejezés, amelyet a vízben a tápanyagokkal való megtermékenyítés hatására fellépő tünetek leírására használnak. A foszfor a vízi ökoszisztémák eutrofizációjának fő okozója (Schindler, 2006).

Gyakori tünetei közé tartozik a sűrű algavirágzás, amely nagy zavarosságot és fokozódó anoxiát okoz a vizekben, azoknak is a mélyebb részeiben az üledő növényi anyagok bomlása következtében. Az anoxia nyáron halpusztulást okozhat. Az eutrofizáció egyik tünete a lebegő alga virágzás. Édesvizekben a felszíni virágzást gyakran nitrogént megkötő cianobaktériumok (kék-zöld algák) okozzák (Schindler et al., 2008). A tápanyag túldúsulása mérgező algavirágzást okozhat, amely az oxigénhiány előidézése mellett a vízi élővilág pusztulásához vezethet (Rogers et al., 1996).

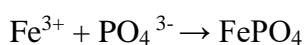
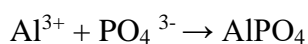
A tavakban, lassú folyású folyókban a megnövekedett foszforbeáramlás megzavarhatja az ökológiai egyensúlyt. Ha túl sok szerves tápsó kerül a víztestekbe az azok eutrofizációjához vezet. A folyamat következményei lehetnek a hab- és nyálkaszennyezés a strandokon és a cianobaktériumok által okozott toxinok képződése, ami embereknél bőr- és légúti problémákat okozhat, állatoknál azok elpusztulásához vezethet. Az algák éjszakai oxigén légzése és az azt

követő biomassza lebomlás oxigénhiányt eredményez a vizekben, ami halpusztuláshoz vezethet. Az oxigénhiány a nitrát másodlagos redukcióját okozza, az mérgező nitritté alakul, vagy foszfát szabadulhat fel az üledékből. Az eutróf vizekből való ivóvíz előállításához nagy tisztítási hatások szükségesek. Napjaink szennyvíztechnológiájának az egyik legfontosabb célja a szerves tápsók, a nitrogén és a foszfor minél jelentősebb mértékben való eltávolítása a szerves szennyezőanyagok eltávolítása mellett (Schön, 1996).

2.3.1.4. Kémiai szennyvíztisztítás

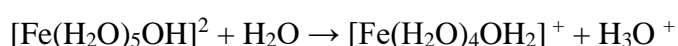
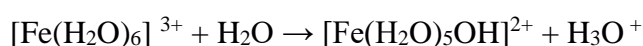
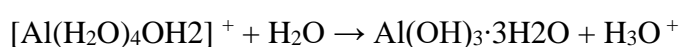
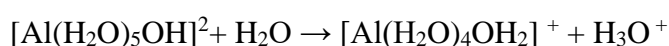
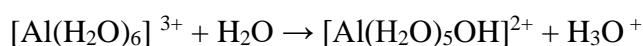
A tisztítási hatások növelésének az egyik módja a kémiai kezelés alkalmazása. A továbbiakban a kémiai kezelések típusai kerülnek ismertetésre, azok alkalmazási lehetőségei, valamint tisztítási hatások. Ha a kémiai kezelést kombináljuk a biológiai szennyvíztisztítással akkor egy magas hatásfokú tisztítási folyamat alakítható ki.

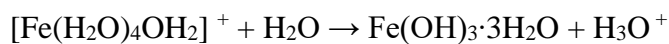
Elsősorban a szennyvíz foszfortartalmának csökkentésére vegyszeradagolást használnak. A vegyszer használata a szervesanyag és lebegőanyag eltávolításban is igen jó eredményeket mutat. Felhasználható vegyszer a mészhidrát, alumínium-szulfát, vas(II)-szulfát és vas(III)-sók. A mészhidrát adagolásánál a kalcium-foszfat csapódik ki. Ehhez igen magas, körülbelül 10-es pH szükséges, ami azonban a biológiai folyamatokhoz túl magas, így azt csak a folyamatok végén alkalmazzák. A vas és alumínium vegyületek hatásfoka a szennyvíztisztításnál jellemző semleges közeli pH értékkel közel azonos. A vas(II) és a vas(III)-só a leggyakrabban használt vegyszer. A vas-ionok rosszul oldódó csapadékot alkotnak a vízben lévő foszfát ionokkal, aminek hatására a szennyvízből eltávolíthatók a szilárd-folyadék fázisszétválasztással. Az ortofoszfát ionokkal az oldott állapotú alumínium és vas(III) vegyületek a következő reakció egyenletek alapján reagálnak:



A keletkező alumínium és vas(III)-foszfát vízben nagyon rosszul oldódó vegyület, amely így a szilárd-folyadék fázisszétválasztással a víztől elkülöníthető, majd a tisztítási rendszerből a fölösisszappal együtt eltávolítható.

Az alumínium és vas(III)-sók részvétele a hidrolízis folyamatában:





A hidrolízissel ellentétes folyamat a keletkező H_3O^+ ionok miatti savasodás. A felszíni és a felszín alatti vizek Magyarországon nagy mennyiségben tartalmaznak hidrogén-karbonát ionokat, amelyek semlegesítik a H_3O^+ hatását. Az adagolt vegyszer koncentrációk a víz pH értékét nem, vagy csak kis mértékben képesek megváltoztatni, ami a biológiai tisztításra nincs jelentős hatással. Az OH atomcsoportjai a képződő alumínium- és vas(III)-hidroxidoknak képesek H-híd kötést létrehozni, amivel közöttük egy vonzó hatás alakul ki. Az alumínium- és vas(III)-hidroxidok kitűnő koagulánsok, amelyek a szennyvíz lebegőanyagait koaguláltatják. Megállapítható a szennyvíz lebegőanyag tartalmát és HCO_3^- koncentrációját vizsgálva, hogy az adagolt vegyszer nagyobb mértékben vesz e részt foszforeltávolításban, mint a koagulációs-flokkulációs folyamatokban. A foszfát ionok a keletkező hidroxid pelyhekbe épülnek be. A pelyhek a lebegőanyagokat is magukba zárják, amivel azok egy része kiülepszik.

Részecske méret (μm)	Oldott	Kolloid	Kvázi-kolloid	Ülepíthető
	<0,08	0,08-1,0	1-100	>100
Szervesanyag megoszlása (%)				
KOI	25	15	26	34
TOC	31	14	24	31
Zsír	12	51	24	19
Fehérje	4	25	45	25
Szénhidrát	58	7	11	24
Oxidáció sebességi állandója	0,39	0,22	0,09	0,08

1. táblázat: A kémiai összetétel és méreteloszlás a házi szennyvizekben

A fenti táblázatban (1.táblázat) a nyers szennyvízben lévő szennyezőanyagok méreteloszlása látható. Láthatjuk továbbá, hogy a méreteloszlás függvényében változik a biológiai lebontásra jellemző sebességi állandó értéke. Az előülepszőben kiülepedő nagyobb részecskék ($>100 \mu\text{m}$) biológiai lebontására jellemző sebességi állandó hozzávetőlegesen ötször kisebb, mint az oldott állapotú szennyező anyagokra jellemző érték. Ez a felét jelenti az oldott anyagokéhoz képest a kolloid mérettartományba eső részecskékénél. A biológiai lebontás sebességi állandója és a lebontási idő szorzata állandó. A lebontására ötször hosszabb időre van szükség a kvázi-kolloid és az ülepíthető szilárd részecskéknek.

A szilárd állapotú részecskék lebontási folyamata bonyolultabb és több időt vesz igénybe, mint az oldott állapotú anyagoké. Az oldott állapotú szerves anyag a sejtmembránon könnyen átjut, így az a mikroorganizmusok számára könnyen hozzáférhető. Ezzel szemben a szilárd állapotú

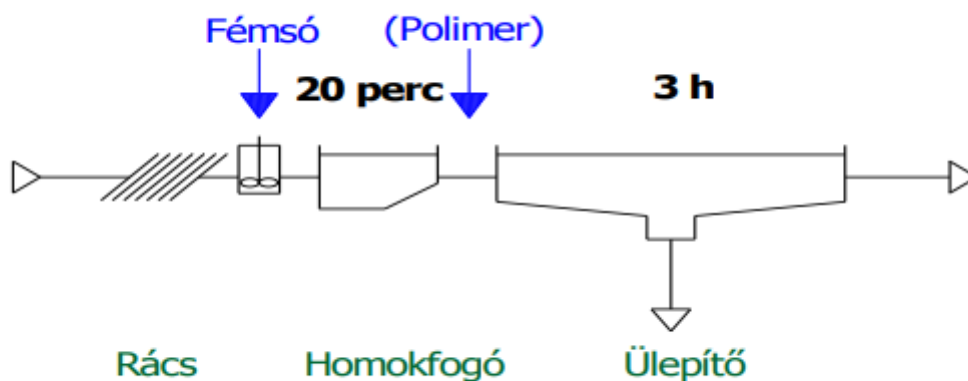
szerves anyagok nem képesek átjutni a sejtmembránon, emiatt először át kell alakítani a mikroorganizmusoknak azokat enzimeik segítségével. A mikroorganizmusoknak erre nagy mennyiségű energiára van szükségük, amelyet oldott állapotú szerves anyagokból képesek fedezni. Könnyen bontható szerves anyagok mellett megfelelő mennyiségű oldott oxigénre van szükség.

Ha a nagyobb lebontási időt igénylő szilárd részecskék már az előülepítőben eltávolításra kerülnek, akkor a levegőztető tisztítási rendszerek a szennyvízből nagymértékben tehermentesíthetők. A koagulációs és flokkulációs folyamatok befejezésével a kolloid és kvázi kolloid részecskék az alumínium- és vas(III) sók részben ülepíthetővé válhatnak hatásukra (Horváth, 2021).

A kicsapószer adagolás helye szerint különböztethetjük meg a kémiai szennyvízkezelés alkalmazásának módszereit. A vegyszert három különböző ponton adagolhatjuk a tisztítási technológiáknál. A vegyszeradagolás az előkicsapatsnál az előülepítő előtt, a szimultán kicsapatsnál a levegőztető medence elé, az utókicsapatsnál az utóülepítő után történik. A későbbiekben bemutatott vegyszer adagolásos kísérleti eredményeknél a vegyszer adagolása az előülepítő előtt történt, vagyis az előkicsapats módszerét alkalmaztuk.

1) Tisztítás kizárólag vegyszeradagolással:

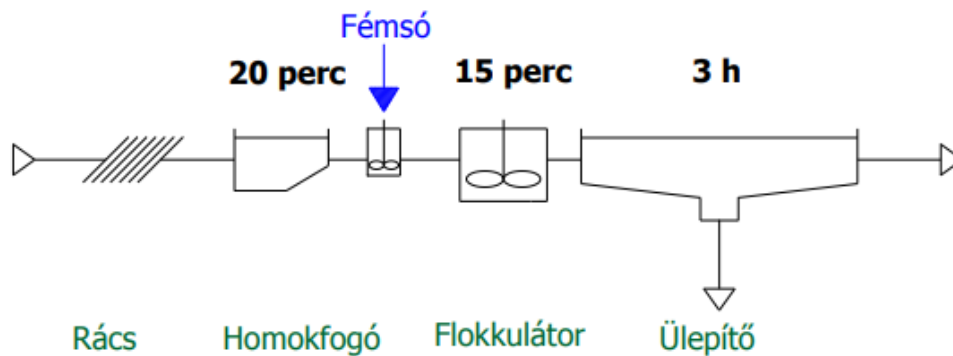
A CEPT eljárást bemutató **9. ábra**:



8. ábra: CEPT eljárás folyamata

A CEPT eljárás vegyszeradagolással kiegészített mechanikai tisztítás. A kis dózisú vegyszer adagolása a homokfogó előtt történik (20-40 mg/l fém só), aminek célja, hogy jobb hatásfokban távolítsák el a lebegőanyagot. Flokkulálószer adagolnak a fém-só hatására keletkező pelyhek növelésére, amelyek szerves polimerek. A tartózkodási ideje a szennyvíznek 3-3,5 óra. A

hatásfoka a lebegőanyag és az összes foszfor eltávolításának körülbelül 70-75%. Ezzel a módszerrel a biológiailag bontható szerves anyagoknak (BOI5), mintegy 50%-a távolítható el. Közvetlen kicsapatás folyamata a **10. ábrán** látható:

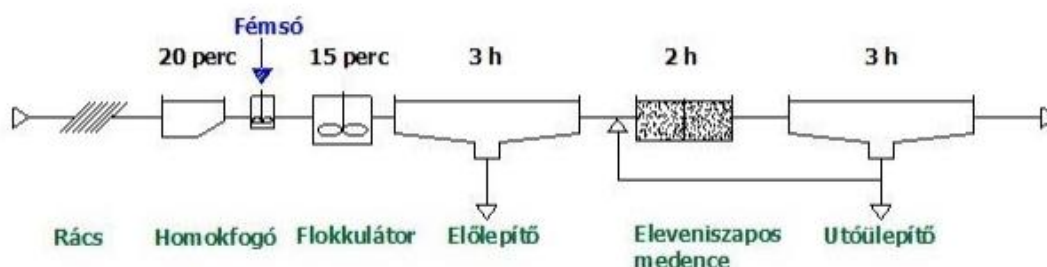


9. ábra: Közvetlen kicsapatás

A különbség a közvetlen kicsapatás és a CEPT eljárás között, az hogy a vegyszer adagolásra jóval nagyobb mértékben kerül sor, ami körülbelül 100-200 mg/l-t jelent. A cél a szennyvízben lévő foszfor eltávolítása mellett a lebegőanyag eltávolításának növelése. Lassú keverőt alkalmaznak a vegyszer adagolását követően, azzal a céllal, hogy minél hatékonyabban keveredjen el a vegyszer, illetve, hogy a képződő pelyhek növekedése céljából. A szennyvíz tartózkodási ideje itt több, mint a CEPT eljárásnál, ez itt 3,5-4 órát jelent. A tisztítási hatásfok lebegőanyag és összes foszfor tekintetében körülbelül 85-90%, a BOI5 eltávolítás 70% körüli.

2) Kombinált biológiai-kémiai szennyvíztisztítás

A **11. ábra** mutatja be az előkicsapatás mechanizmusát:



10. ábra: Előkicsapatás

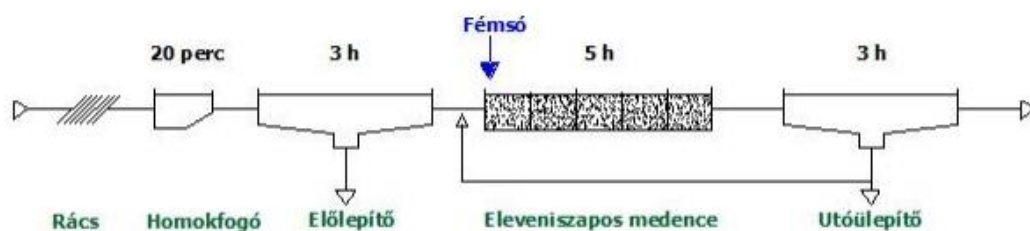
Az előkicsapatás technológiai folyamata látható a folyamatábrán, amelyen a szükséges tartózkodási idők fel vannak tüntetve. Ez tulajdonképpen egy hagyományos biológiai tisztítást jelent. A különbség annyi, hogy itt a vegyszeradagolás közvetlenül az előülepítő előtt történik.

A hatásfoka 90% fölötti lebegőanyag és BOI5-ben kifejezett szervesanyag eltávolításnak, az összes foszfor eltávolítási hatásfoka 95% fölötti is lehet. A tisztításhoz szükséges időtartam megközelíti a 9 órát.

A kémiai előkezelés előnyei közé tartozik a foszforeltávolítás hatásfokának növekedése. Az előülepítőről elfolyó ortofoszfát mennyisége vegyszerrel jól szabályozható. Az előülepítő hatásfoka jelentősen megnő, amely 15-20%-ról 40-60%-ra való növekedést jelent. A szennyvíz lebegőanyag tartalma szinte teljes mennyiségben kiülepíthetővé válik. Az előülepítőben a szerves anyagok 40-70%-a eltávolítható, amivel csökken a biológiai rendszer terhelése, a levegőztetési igény és az energiafelhasználás. Az eleveniszapos rendszer közepes vagy kis terhelésűvé válik. Nagyobb mennyiségű szerves anyag jelenik meg az előülepítőben, ami rothasztó esetén nagyobb mennyiségű biogáz keletkezését okozhatja. A kinyerhető energia mennyisége is nő. Részben a csökkenő levegőztetési igény, részben a biogáz növekedése miatt a szennyvíztisztító telep energia mérlege javul. Nagy terhelésű telepeknél, mivel kevesebb szerves anyag érkezik a biológiai rendszerbe, a nitrifikációban javulás következhet be.

A kémiai előkezelés hátrányai közé sorolható a könnyen bontható szerves anyagok mennyiségének csökkenése, amelyek a denitrifikáló baktériumok tápanyagai, valamint az elő- és szimultán denitrifikáció hatásfoka is csökkenést mutathat. Ha a könnyen bontható szervesanyag tartalma alacsony a nyers szennyvíznek, akkor szükség lehet külső szénforrás biztosítására. Körülbelül 15-25%-ra megnő a keletkező nyersiszap mennyisége, amivel az iszapkezelés költsége is növekszik. A hidraulikai, valamint a szerves szennyezőanyag túlterhelés esetén valósul meg a kémiai előkezelés alkalmazhatósága. A tisztított szennyvízben 2 mg/l, vagy annál kisebb összes foszfor koncentráció biztosítása szükséges. A cél a szennyvíztisztító telep energiamérlegének javítása. Az egri szennyvíztisztító telepen az általunk elvégzett vizsgálatok és azok eredményei ebbe a folyamatba helyezhetők bele.

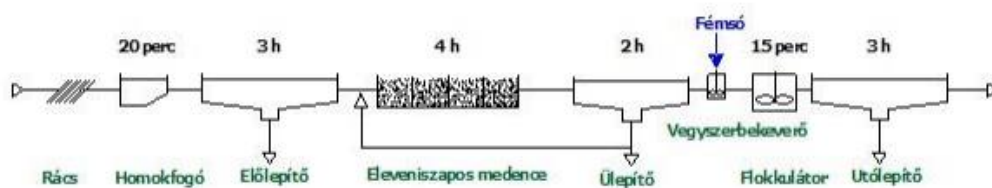
Szimultán kicsapatás folyamatát a **12. ábra** mutatja:



11.ábra: Szimultán kicsapatás

A szimultán kicsapatás hasonló az előkicsapatáshoz, azzal a különbséggel, hogy a szimultán kicsapatásnál a vegyszeradagolás közvetlenül a levegőztető medencébe történik. Nincs szükség vegyszerbekeverőre, mivel az adagolt vegyszert a levegőztetésnél kialakuló turbulens mozgás megfelelően elkeveri. A tisztításhoz 11-12 óra szükséges, ami 3 órával hosszabb, mint az előkicsapatásnál. Ennek az az oka, hogy az előkicsapatásnál a szilárd nehezen bontható szerves anyagokat eltávolítottuk a levegőztető medence előtt, így oda már nagyrészt oldott állapotú könnyen bontható szerves anyag érkezett. A szimultán kicsapatásnál a levegőztetési idő kétszer-háromszor nagyobb, mint a kémiai előkezelésnél. A tisztítási hatások lebegőanyag és BOI₅-ben kifejezett szerves anyag tekintetében is 90% fölötti, azonban az összes foszfor eltávolítási hatások kisebb, mint az előkicsapatásnál (80-90% közötti). Ez annak köszönhető, hogy a levegőztető medencében jelentősen nagyobb a lebegőanyag tartalom, mint a nyers szennyvízben. A lebegőanyag tartalma a nyers szennyvíznek 300-600 mg/l, a levegőztető medencében 3-5000 mg/l ez az érték. A levegőztető medencében a vegyszer több anyaggal tud reakcióba lépni, mint a nyers szennyvíznél. Összehasonlítva az előkicsapatás és szimultán kicsapatás szennyezőanyag eltávolítás hatásfokainak szervesanyag és lebegőanyag értékét (BOI₅-ben kifejezve), megközelítőleg azonos értékek szerepelnek. A foszforeltávolítás a szimultán kicsapatás esetén gyengébb. Hosszabb levegőztetési idő szükséges, amely nagyobb energiafelhasználást jelent és nagyobb műtárgy térfogat kell a hosszabb levegőztetési időből adódóan. Nagyobb beruházási és üzemeltetési költséggel jár, valamint a tisztított szennyvíz minősége is rosszabb.

Utókicsapatás ábrázolása a **13. ábrán**:



12. ábra: Utókicsapatás

Az utókicsapatás a hagyományos eleveniszapos biológiai tisztító rendszertől abban különbözik, hogy az ülepítő után egy vegyszerbekeverővel, egy flokkulátorral és egy utóülepítővel egészül ki a technológiai sor. A tisztításhoz szükséges idő, a szimultán kicsapatáshoz hasonlóan 12 óra körülbelül. Lebegőanyag és BOI₅ tekintetében a tisztítási hatások 90% fölötti, az összes foszfor 95%-nál is nagyobb. Az utókicsapatásos módszernek a legjobb a szennyezőanyag

eltávolítási hatásfoka az eddig alkalmazott technológiák közül. Meg kell említeni azt is, hogy a legnagyobb beruházási költséget ez az eljárás igényli. Az üzemeltetés költsége a szimultán kicsapathoz hasonló. Az alkalmazása, abban az esetben javasolt, ha a befogadó vízfolyás szigorú környezetvédelmi határértékekkel rendelkezik a tisztított szennyvizet illetően (Kárpáti, 2007).

2.3.1.4. Kémiai szennyvízkezelési eljárások hatékonysága

A 2. táblázat alapján megállapítható, hogy az előkicsapath és az utókicsapath mutatja a legjobb szennyezőanyag eltávolítási hatásfokot. A két módszer közül az előkicsapath a kedvezőbb a rövidebb tartózkodási idő, a kevesebb levegőztetési idő és a gazdaságossági szempontok miatt. Az előkicsapathal elérhető szennyezőanyag eltávolítás a befogadók vízminőségével szembeni követelményeket kielégíti. Költség-haszon elemzés alapján szükséges dönteni a kémiai előkezelés alkalmazhatóságáról. A vegyszeradagolás többletköltségét, a csökkenő levegőztetési igényből adódó költségmegtakarítást, valamint a tisztított víz minőségének javulását is érdemes figyelembe venni.

Tisztítási eljárás	Szennyezőanyag komponens				Tartózkodási idő (h)
	Lebegőanyag (%)	Szerves anyag (%)	Összes P (%)	Összes N (%)	
Közvetlen kicsapath	>90	75	>90	25	3-4
Előkicsapath	>90	>90	>90	40	8-9
Szimultán kicsapath	>90	>90	<90	40	11-12
Utókicsapath	>90	>90	95	40	12-13

2. táblázat: Kémiai szennyvízkezelési eljárások összehasonlítása

- Fertőtlenítés

Az utóülepítőből kikerülő tisztított szennyvíz fertőtlenítésére minden szennyvíztisztító telepen van lehetőség, azonban alkalmazására csak az ÁNTSZ előírása esetén kerül sor. A fertőtlenít leggyakrabban labirint medencében történik klórgáz vagy hypo hozzáadásával (Kárpáti, 2007).

2.3.2. Iszapvonal

A korábban taglalt eljárások és műveletek mind a szennyvíztisztítás vízvonalára vonatkoztak,

azonban nagyon fontos az iszapvonal is, mely az előülepítőben keletkezett nyersiszap és az utóülepítőben kiülepedett fölös iszap kezelését jelenti. Az eleveniszapos szennyvíztelepeken nagy mennyiségű iszap keletkezik, amelyet el kell távolítani a biológiai tisztítás folyamatából, ez fölös és nyersiszapként történik. A cél az iszap kezelése során, hogy lecsökkenjen a szennyvíziszap nedvességtartalma, rothasztás során pedig a fertőzőképessége, illetve, hogy biogáz termelődjön. A rothasztási folyamat során a szervesanyag 50%-a lebontódik. A képződő iszap mennyisége legfőképp a szervesanyag-terheléstől, valamint a hőmérséklettől függ.

A biológiai tisztítás fölösiszapjának szárazanyag-tartalma 0,8-1%, az előülepítő nyersiszapjának pedig 3-6%. Kiemelten fontos az iszap szárazanyag-tartalmának növelése a további kezelések, valamint a víz szállításának elkerülése érdekében.

Az iszapkezelés technológiai közé sorolható a sűrítés, amely célja az elő- és utóülepítőkből kikerülő iszapok víztartalmának csökkentése meghatározott mértékben, így a szállító vagy a következő technológiai elem számára a feltételek kedvezőbbek lehetnek. A sűrítés lehet gravitációs, flotációs, dinamikus, szűrés vagy vegyszeres.

A rothasztás célja az iszap víztelenítő képességének biológiai úton való előkészítése, továbbá a képződő biogáz energiatartalmának hasznosítása. Az eljárás során metánná és széndioxiddá alakítják át a metán képző baktériumok a szerves anyagokat. Ennek a két vegyületnek a keverékét nevezzük biogáznak, amit villamos energia termelésére is hasznosítható (Horváth, 2021).

1. A víztelenítés

A víztelenítés célja a további kezelés, tárolás, szállítás, hasznosítás és az egyéb elhelyezés feltételeinek kedvezőbbé tétele, mely folyamat természetes vagy mesterséges módon történhet. A természetes módszerek közé tartozik az iszapágyas eljárás, a lagúna és a szolár víztelenítés. A mesterséges folyamatokat a szűrés, a gépvíztelenítés, a vákuumágyas- és a rázószítás eljárás jelenti.

Az iszap nagy mennyiségű vizet tartalmaz, szárazanyag-tartalma alacsony az iszapsűrítés és a stabilizáció után is. A víztartalom tulajdonságai szerint három típusa létezik a megkötött víznek az iszappelyhekben. Ezek a pelyhek közötti víz (szabadvíz/üregvíz) (kb. 3/4), a kapilláris víz (kb. 1/4) és a sejtekben megkötött víz (kb. 1/12). Az iszap víztelenítésénél cél annyi vizet kinyerni, amennyit csak lehet, amivel növelhető annak szárazanyag-tartalma. A kinyert víz a pelyhek közötti szabadvíz, valamint a kapilláris víz.

Az iszap víztelenítésének egyszerű módja az iszapágyak alkalmazása, mely során az iszapot egy medencébe, vagy ágyba engedik, ami alatt vízelnyelő réteg helyezkedik el (homok, kavics, perforált csövek). A víz mennyisége az elnyelés és a párolgás miatt csökken. Hátránya, hogy

zavaró szagok jelenhetnek meg, fedett kialakítást igényel, valamint a mechanizmus területigénye is jelentős, amely miatt csak kis szennyvíztisztító esetén jöhet számításba.

A mechanikai víztelenítés a legkorszerűbb alternatíva az iszap víztelenítésére, amely ellenőrzött körülmények között zajlik. Polimereket adagolnak az iszaphoz a jobb hatékonyság érdekében. A szárazanyagtartalom-növelése a víztelenített iszap mennyiségének csökkenését, továbbá az elhelyezés költségének csökkenését jelentheti. A polimerek az elektromosan töltött részecskék közötti taszítást csökkentik, valamint a nagyméretű iszappelyhek kialakulását segítik. A felhasznált anyagok a polimerelektrolitok, amelyekben töltéssel rendelkező csoportok vannak a hosszúláncú szerves molekuláin. Az ide tartozó szerves vegyszerek a kalcium-, alumínium- és a vasvegyületek. Mechanikus víztelenítő eszközök a csigaprések, a kamrás szűrőprések, a szalagos szűrőprések és a víztelenítő centrifugák (Juhász, 2013).

- Centrifugák

A víztelenítő centrifuga egy vízszintesen forgó hengeres-kúpos acéldob, amely egy belső spirális szállítóval rendelkezik. Fordulatszáma 1500-3000 fordulat/perc, de a belső spirális szállító ettől lassabban forog. A dob közepébe engedik az iszapot. A centripetális erő a pelyheket nekinyomja a falnak a nagy fordulatszám következtében, majd a centrifuga kúpos vége felé haladnak, végül a szabadba távoznak. Előnye, hogy nincs nagy helyigénye, és magas szárazanyag tartalom érhető el vele (~25%). Hátránya a nagy fordulat és a zajhatás. Az előírt higiéniai körülmények fenntartása érdekében a víztelenítő egység burkolattal zárt. A centrifuga nem csak zajos, működése kopással is jár, főleg, ha homokszemcsék is előfordulnak az iszapban. A műszerek fenntartása jelentős energiafelhasználást, karbantartása hozzáértő szakembert igényel.

- Szalagprés

A szalagprés a szűrés elvén alapszik, melynek során két szűrő funkciót ellátó szalag közé engedik az iszapot. A szűrő szitájának átmérője nem haladja meg a 0,2-1,5 mm-t. A szalagok útja két görgősor között vezet, melynek során kiszorítják a vizet az iszappelyhek közül. Ez az eljárás kevésbé zajos, továbbá a víztelenítés eredménye is kiszámíthatóbb. Előnyei közé sorolható még az alacsony energiaigény, a helyi gyorsan kivitelezhető karbantarthatóság, illetve az egyszerű kezelhetőség. Hátránya viszont a helyigény, a szétfröcskölődő víz mennyisége, valamint a nyitott berendezés miatt kellemetlen szagok megjelenhetnek. A módszer alkalmazásával 18-20 % szárazanyag tartalom érhető el.

- Kamrás szűrőprés

Olyan különálló, térben elválasztott négyzetes kamrákból áll, melyek filterszövettel fedett üreges táblákból lettek kialakítva. A szűrőprésbe az iszapot 5-25 bar nyomáson vezetik be a

táblákon kialakított lyukon keresztül. A nyomást egészen addig fennáll, míg az iszap teljesen feltölti a kamrákat. Miután megteltek a kamrák, kiürítésre kerülnek. A kamraoldalak lenyitásával a nyomás fokozatosan csökken, és az iszap kihullik. A prés nagy helyigényű és fontos a gyakori tisztítása, ezért folyamatos felügyeletet igényel. Előnye viszont, hogy helyben elvégezhető a karbantartás, kis energiaigényű, továbbá a legjobb eredmények nyerhetők segítségével, és akár 25-30%-os szárazanyag tartalom is elérhető, ami túlmutat a korábban bemutatott két eljáráshoz viszonyítva.

- Csigaprés

A berendezés hasonlítható a centrifugához külső kialakítása miatt, viszont forgása sokkal lassabb, a kinyerhető szárazanyagtartalom 18-22%. Működési elve a paradicsompasszírozóhoz hasonlítható. Egy csiga alkalmazásával a bevezetett iszapot egyre szűkebb helyre továbbítva a prés külső, lyuggatott felületén folyamatosan vizet veszít. Előnyös konstrukció az egyszerű, zárt felépítés és az alacsony elektromosenergia-igénye miatt. Kisebb mértékű alkatrész kopás várható az alacsonyabb működési sebességből adódóan. Hátránya a centrifugával szemben annál nagyobb mérete és nehezebb súlya. Külső karbantartása okán problémás lehet, viszont vízfelhasználása alacsony (Kárpáti, 2007).

2. Szárítás

A szennyvíziszap szárításánál szintén (a víztelenítéshez hasonlóan) természetes és mesterséges eljárásokat különböztetünk meg. Természetes szárítás történhet komposztálás, szolár- és bio-szárítás útján. A mesterséges szárítás eszközei közé sorolható a csőreaktor, a fluid- és, az etage kemence, a szalag, továbbá a tárcsás szárító (Juhász, 2013).

3. Égetés

Akár a szennyvíziszap elégetésére is sor kerülhet, ha a mezőgazdaság vagy az érdekelt ipari ágazatok egyike sem tudja fogadni, vagy olyan esetben, ha az iszap tartalmaz a hasznosíthatóságát gátló anyagokat vagy, ha a hosszan tartó tárolás forrása lehetne súlyos környezeti ártalomnak (Juhász, 2013).

4. Elhelyezés

A szennyvíziszap többféle helyen elhelyezhető, abban az esetben, ha megfelelően víztelenített. Használható a mezőgazdaságban a természetbe való visszaforgatás céljára, kerülhet személtlerakóba, de akár a felhasználását lehetővé tevő egyes iparágak is felhasználhatják (Juhász, 2013).

2.4.Kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása

A szennyvíziszap is a biomassza része, nem csupán melléktermék. Nagy mennyiségben tartalmaz értékes anyagokat, amelyek a természetes anyagforgalomból származnak és azt célszerű oda vissza is juttatni. (http3)

A szennyvíziszapkezelés célja a fertőzőképesség és a térfogat csökkentése, a hasznosíthatósági és elhelyezési lehetőségek megteremtése. Az szennyvíziszap stabilizálásának célja a könnyen bomló szerves anyagok szagmentes, tovább már nem bomló, fertőzést nem okozó anyaggá alakítása. Ez történhet anaerob, aerob, vagy kémiai kezeléssel segítségével. A szennyvíziszap térfogatcsökkenése víztelenítéssel érhető el, amivel az iszap földszerű, trágyaszerű halmazállapotúvá válik. Ez a mezőgazdasági elhelyezés szempontjából is a legkedvezőbb állapot. A szennyvíziszapról elmondható, hogy a biomassza része és nem csak egy melléktermék. Nagy mennyiségben tartalmaz a természetes anyagforgalomból származó anyagokat, amelyeket célszerű oda visszajuttatni (Juhász, 2013).

A szennyvíziszap mezőgazdaságban való felhasználása engedélyhez kötött. A felhasználást a talajvédelmi hatóság engedélyezi. A kezelt szennyvíziszapnak a mezőgazdasági területen való szakszerű felhasználását követően nincs sem a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, az emberek egészségére, a növényekre és állatokra sem káros hatása (http4).

A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásáról rendelkezik az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól. A Kormány pedig a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény 59. §-a (1) bekezdésének p) pontjában kapott felhatalmazás alapján meghatározott rendelet alapján szabályozza annak felhasználási lehetőségeit és szabályait (http5).

3. Alkalmazott módszerek

A diploma dolgozatom elkészítésének helyszíne az egri szennyvíztisztító telep, ahol elsődlegesen megismerhettem a telep szerkezeti felépítését, az ott található műtárgyakat és a szennyvíztisztító telep laboratóriumát. Továbbá a telep működési folyamataiba is betekintést nyerhettem, az ott zajló kísérletek és az ott dolgozók napi rutinfeladatai által.

A telep megismerése után a vizsgálatom célja volt a jelenlegi foszforeltávolítás megismerése, amely az egri szennyvíztisztító telepen biológiai módszerrel történik. Egy kísérlet keretében azonban kémiai kezelés alkalmazásával is megvizsgáltuk a foszfor eltávolítási hatásfokának növelési lehetőségét, ami jelen esetben vas-só adagolást jelentett. A foszfor értékeinek mérési eredményei az egri szennyvíztisztító telep laboratóriumában kerültek megállapításra. A vizsgálathoz szükséges mintákat a telep homokfogó, előülepítő, anaerob 1-es és 2-es medence, az anox 1-es, 2-es és 3-as medence, az I-es és II-es levegőztető medence, valamint az elfolyó területéről vettük. Az alkalmazott módszernél az összes foszfor mérési eredményeit kaptuk meg. Az egri szennyvíztisztító telepen a tisztított szennyvízre vonatkozó foszfor határérték 5 mg/l.

A kísérlet során a KOI érték változását is mértük, mivel a vas-só adagolás következtében kialakuló pelyhesedés a KOI értékre is hatással van. A KOI (kémiai-oxigénigény) mérése a telepen naponta történik, amelyhez a befogadó és az elfolyó területéről veszik a szükséges mintákat. A KOI a szervesanyagok kémiai oxidációjához szükséges oxigén mennyiségét jelenti. Határértéke az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozólag 125 mg/l. A minták feldolgozása során fontos megjegyezni, hogy először mindig a bejövő mintát vizsgáljuk meg, amelynek jelentősége a szennyezettebb mintától a tisztább felé történő haladás folyamatát jelzi.

	Összfoszfor (mg/l)	KOI (mg/l)
Egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó határérték	5	125

3. táblázat: Üzemeltetési engedélyben szereplő határértékek a tisztított szennyvízre vonatkozólag az egri szennyvíztisztító telepen, Kivonat

A **3. táblázatban** a tisztított szennyvíz minőségére vonatkozó határértékek láthatók az összfoszfor és a kémiai-oxigénigényre vonatkozólag az egri szennyvíztisztító telepre érvényes vízjogi üzemeltetési engedély alapján. Ennek azért van jelentősége, mivel a szennyvíztisztító telep elfolyójából a tisztított szennyvíz az Eger-patakba kerül kibocsátásra. A mérések és a kísérlet során határérték túllépésre egyik mérési eredmény alapján sem került sor.

Mintavételezés a műtárgyakból



14. ábra: *Mintavétel a Dorr típusú előülepítőből*

A **14. ábrán** a Dorr típusú előülepítőből való mintavételezést láthatjuk a laborvizsgálatok elvégzéséhez, amelyet a hozzá szükséges eszközökkel hajtottak végre.

Szárazanyag tartalom mérése

A következőkben bemutatott szárazanyag mérésének folyamat a dolgozat tekintetében nem releváns, viszont a szennyvíztelepen eltöltött gyakorlati időszakban ezen mérési eredmények elvégzésében is részt vettem, amely a következőképp zajlott. Szárazanyag tartalom mérés (15.ábra), úgy történik, hogy a mintákat 105 fokon szárítjuk elpárologtatva a mintából a nedvességet, így megkapjuk az iszapok szárazanyag tartalmát. Ez fontos paraméter. Ebből

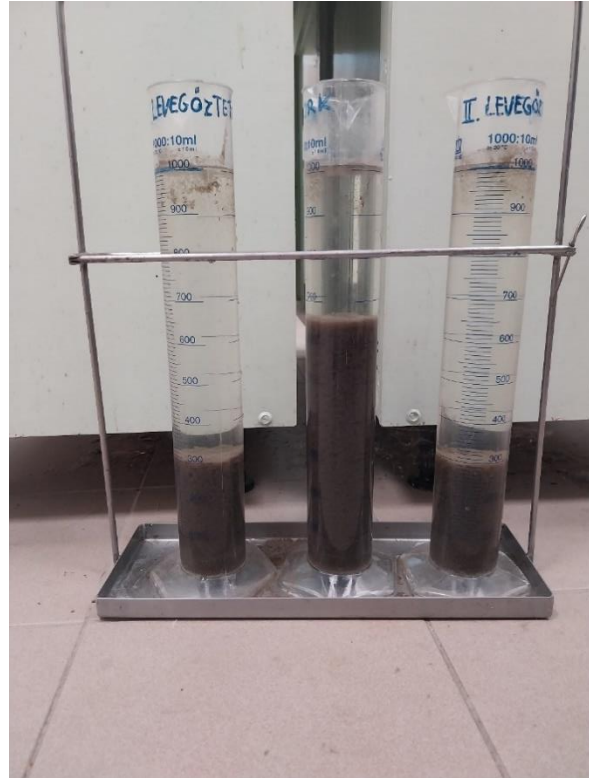


15. ábra: Labor, szárazanyag tartalom mérés

tudjuk, hogy mennyi eleveniszap van a tisztítási rendszerben, illetve iszapvíztelenítésnél a hatásfokot látjuk, hogy milyen szárazanyagtartalom lesz a víztelenítés után.

Eleveniszap ülepedési vizsgálat

A 16. ábra bal oldali minta edénye az I-es levegőztető, középső a Recirkulációs iszap, jobb oldali a II-es levegőztető mintáját tartalmazza. Mindhárom az eleveniszap ülepedőképességét mutatja, melyből az iszap szerkezetére lehet következtetni. A minták eredményeit a vizsgálat során 30 perc ülepedés után olvassuk le.



16. ábra: Ülepedésvizsgálat

KOI vizsgálatok

A 17. ábrán látható Összes foszfor vizsgálatánál 5 ml bejövő szennyvíz és 10 ml elfolyó szennyvíz esetén 4 ml kálium-peroxi diszulfátot és 1-szer hármas hígítású kénsavoldatot mérünk be. Feltöltjük desztillált vízzel 50 ml-ig és 50 percig melegítjük. Lehűtés után A, B és C oldatot adunk hozzá és 100 ml-re feltöltjük és 10 percen túl de 30 percen belül megmérjük a

koncentrációját fotométerrel. Az „A” oldatból (28 cm^3 tömény kénsavat óvatosan kb. 60 cm^3 desztillált vízbe öntünk, majd lehűlés után a térfogatot 100 cm^3 -re egészítjük ki) 4 ml-t, a „B” oldatból (5g aszkorbinsavat 0,055 g kálium-antimonil-tartarátot ($\text{K/SbO/C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times 1/2 \text{ H}_2\text{O}$), 0,025g Komplexon-III-at és $0,5 \text{ cm}^3$ hangyasavat oldunk desztilláltvízben, majd kiegészítjük az oldat térfogatát 100 cm^3 -re. Sötét üvegben hűtőszekrényben tárolva 5 hónapig használható kb.) 2 ml-t, valamint a C oldatból (2,4g ammónium-heptamolibdát-tetrahidrátot ($\text{NH}_4/6\text{Mo}_7\text{O}_2 \cdot 4 \times 4\text{H}_2\text{O}$) desztillált vízben oldunk, majd 100 cm^3 -re töltjük fel) 4 ml-t adunk a mintához.



17. ábra: *Minták foszfor vizsgálata*

Vas-só adagolás hatásának vizuális bemutatása laboredényekben



18. ábra: *Minták vegyszeradagolás nélkülötől a vegyszeradagolás fokozása szerint*

A **18. ábrán** az előülepítőre ráfolyó vételezett mintákat láthatjuk, amelyeket fél órán át hagytuk ülepedni. Bal oldalról jobbra haladva látható, hogy a minták egyre áttetszőbbek. Balról az első edény vegyszeradagolás nélküli mintavételt tartalmaz, az attól jobbra lévő minták már vas-só adagolást tartalmaznak, annak fokozódó mértéke szerint. Megállapítottuk szemrevételezéssel, hogy a mintákban balról jobbra haladva egyre több a kiülepedő anyagok mértéke, emellett pedig a folyadékok egyre tisztábbnak, áttetszőbbnek tűnnek.

4. Eredmények és értékelésük

Ez a fejezet két részre tagolódik: az első részben bemutatom Eger városának szennyvíztisztítási folyamatát. A második részben a foszforeltávolítás hatékonyságának fokozására elvégzett fémsó adagolási kísérletet mutatom be.

4.1. Eger városi szennyvíztisztító telep általános bemutatása

Az egeri szennyvíztisztító telep biológiai kapacitása 19700 m³/d. Az átlagos bejövő szennyvíz mértéke jelenleg 12 000 m³/napot jelent. Az Eger városi szennyvíztisztító telepen kerül tisztításra Eger (összlakosság száma: 49 182 fő), valamint 6 település (Egerbakta (összlakosság száma: 1388 fő), Egerszólát (összlakosság száma: 1034 fő), Egerszalók (összlakosság száma: 2104 fő), Ostoros (összlakosság száma: 2830 fő), Novaj (összlakosság száma: 1296 fő), Felsőtárkány (összlakosság száma: 3583 fő)) szennyvize. Összesen tehát, ~61 000 lakos által keletkezett szennyvíz tisztításáról gondoskodik a szennyvíztisztító telep. A szennyvíztisztító telep feladatai közé tartozik a környéki szennyvízelvezető rendszeren elvezetett szennyvizek fogadása, mechanikai és biológiai tisztítása és a tisztított szennyvíz felszíni élő vízbefogadóba vezetése.

Az iszapkezelés aerob és anaerob rothasztással történik. Az ott keletkező biogáz gázmotorokban, illetve kazánokban kerül hasznosításra. A víztelenítést követően a rothasztott iszap a szolár szárító csarnokokba kerül további szárításra. A szárított szennyvíziszap teljes mértékben mezőgazdasági felhasználásra kerül.

4.1.1 Szennyvíztelep műtárgyai

1) A mechanikai tisztítás elemei

- Szennyvízrács (19.ábra)

A gépi tisztítású szennyvízrács 2 db HUBER rakemax típusú berendezésből áll. A szennyvízrács rácsszélessége 1500 mm, a pálcaköze 5 mm, valamint a kapacitása 505 l/s.

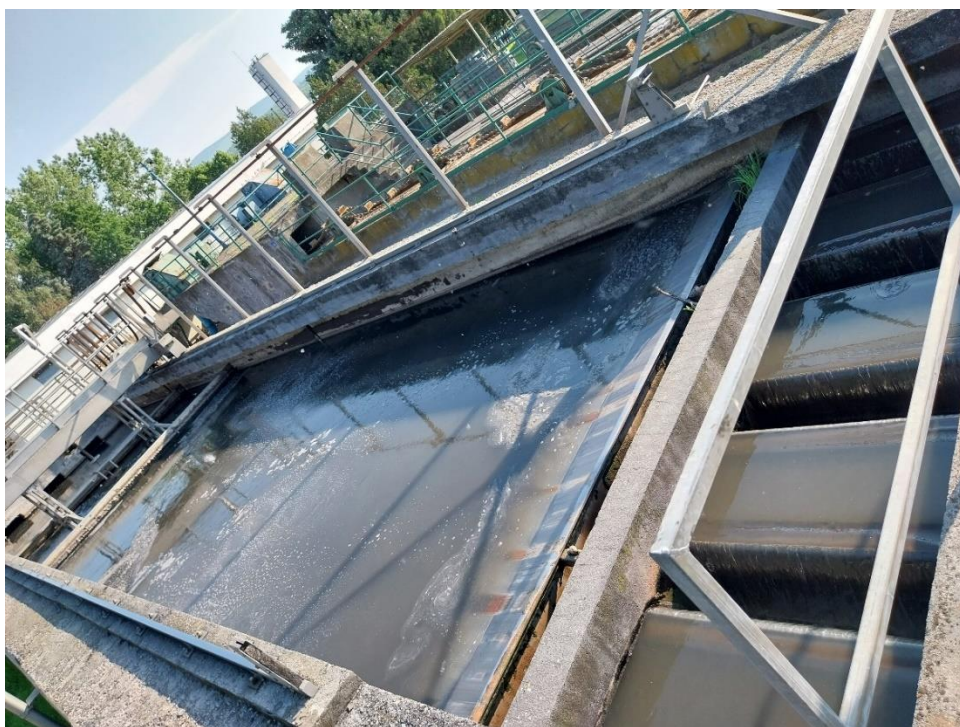


19. ábra: Szennyvízrács

- A homok (20.ábra) és zsírfogó

Ez egy 212 m³ térfogatú medence, amelyben a visszatartott homokot OTV-DG 5 típusú kotró juttatja a zsompba. A zsiradék felszínre emelését 4 db Aeroflot 321 típusú levegőztető búvárturbina segíti, ahonnét a zsír egy zsírfogó aknába kerül, majd a csatornamosó autóval átszállítják azt az iszapvonalra rothasztásra.

A telepített homok és zagyszivattyú 2 Emu FA 103-200 típusú.



20. ábra: *Homokfogó*

- Előülepítők

A szennyvíz előülepítésére 2db Dorr ülepítőt (**21.ábra**) használnak, amely átmérője 22 m, $V_H=2 \times 800\text{m}^3$, $AH=2 \times 320\text{m}^2$.



21. ábra: *Dorr ülepítő*

Biológiai tisztítás

- Anaerob medencék

1 db $V_H=125 \text{ m}^3$, amelybe 1+1 db 220 mm átmérőjű propelleres merülő keverő került beépítésre. A keverési teljesítménye 100 l/s.

Továbbá 1 db $V_H=600 \text{ m}^3$, amelybe 1 db 500 mm-es átmérőjű propelleres merülő keverő is be van építve, amely keverési teljesítménye 400 l/s.

- Anoxikus medencék

3 db 600 m^3 -es medencét jelent, $V_H=3 \times 600 \text{ m}^3$. Az anoxikus 3-as medencében van egy recirkulációs szivattyú, amely a biológiai iszapot forgatja vissza az anaerob 1-es medencébe.

- **Levegőztető medencék (22.ábra)**

2 db $V_H=2 \times 2400 \text{ m}^3$ -es medencéből áll, amelyek beépített levegőbevivő elemekkel rendelkeznek. Összesen 3240 db Flygt sanitaire típusú finombuborékos mély légbevivő elemmel rendelkeznek.

Emellett 5db Aerzen Delta Hybrid légfúvó gondoskodik a megfelelő oxigénbevitelről. A levegőztető medencék végében hozzá 1+1 db beépített kiskörös recirkulációs szivattyúk csatlakoznak, amely Flygt CP 3300 LT 804 típusúak. $Q=370 \text{ l/s}$, $H=4\text{m}$, $p=27 \text{ kW}$.



22. ábra: *Levegőztető medence*

- Utóülepítők (23.,24.,25. ábra)

A 2 db Dorr ülepítő szolgál a szennyvizek utóülepítésére. Ezek átmérője 32 m, $V_H=2 \times 1800 \text{ m}^3$, $AH=2 \times 630 \text{ m}^2$.

Az iszap reciklációját 3db EMU FA 251 típusú szárazaknás szivattyúval biztosítják. $Q=130-150 \text{ l/s}$, $H=5,5 \text{ m}$, $p=11 \text{ kW}$



23. ábra: *Dorr típusú utóülepítő*



24. ábra: *Dorr típusú utóülepítő*



25. ábra: *Dorr típusú utóülepítő*

1) Fertőtlenítés

A fertőtlenítés a régi $V_H=160\text{ m}^3$ -es labirint rendszerű medencében, valamint az utána épített $V_H=400\text{ m}^3$ -es labirint rendszerű medencében történhet, amennyiben a hatósági előírás megvalósul. Jelenleg az egri szennyvíztisztító telepen nem alkalmaznak fertőtlenítést.

Az Eger patak a tisztított szennyvíz befogadója.

2) Iszapvonal

- Kevert iszap tároló

Ide kerül a technológiából elvett fölös és nyers iszap, mérete 150 m^3 .

- Sűrítő gépház

Az iszap sűrítését 2 db Technofanghi dobsűrítő gép végzi. A kevert iszap 0,6-1,2 %-os szárazanyagtartalmú. A sűrítő gépek az iszapot 5-6 %-osra sűrítik be, amely a rothasztó tornyokba szükséges.

- Külső iszap fogadó (26.ábra)

Ez egy 50 m^3 -es műtárgy, amelybe külső telepekről víztelenített iszapot szállítanak be. A fölös iszap hozzáadásával körülbelül 5 %-osra hígítják az anyagot, amely ezt követően bekerül a rothasztási folyamatba.



26. ábra: Külső iszap fogadó

- Sűrített iszap tároló

A műtárgy 126 m³-es, amelybe a sűrítő gépekről lekerülő iszap tárolódik. A rothasztótornyok töltése innen történik.

- Rothasztó tornyok (**27.ábra**)

Az iszap rothasztását 2 db 1300 m³-es mezofil rothasztó torony végzi. A biológiailag lebontható szerves anyagokat anaerob körülmények között különböző, speciális baktériumtörzsek egy komplex, többlépcsős folyamat során biogázzá alakítják. A két fő komponense a keletkező biogáznak a metán (kb. 60-65%) és széndioxid. A szerves anyag körülbelül 45%-a kerül lebontásra az iszap rothasztása során, ami megfelelő iszapstabilizációt eredményez. Az anaerob rothasztás folyamatához mezofil hőmérsékleti tartományt biztosítanak. A gázmotorok hulladékhője, illetve szükség esetén a gázkazánok fedezik a 35-38°C fenntartásához szükséges hőigényt.



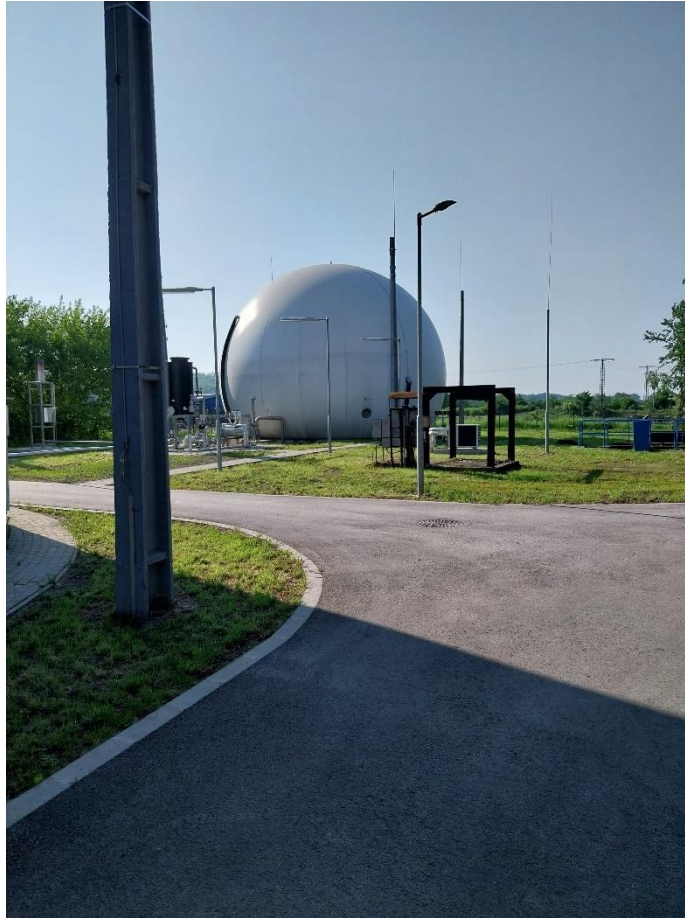
27. ábra: Rothasztó tornyok

1) Biogáz kezelés tárolás (28.ábra)

1 db duplafalú 1000 m³-es biogáztárolóban tárolják a felhasználásra váró biogázt. A gázt hűtik, ezt követően aktív szénen szűrik a gázban lévő kén-hidrogén megkötése miatt. Egy automata üzemű fáklya biztosítja az esetleges fölös mennyiségű biogáz elégetését.

- Rothasztott iszap tároló

A rothasztó tornyokról lekerülő iszap egy 372 m³-es mütárgyban gyűlik. A víztelenítést végző csigás préseket innen töltik.



28. ábra: *Biogáz tároló*

2) Biogáz felhasználás

Az anaerob rothasztókban keletkező biogázt elsősorban elektromos energia termelésére használják. A keletkező hulladékhő pedig a technológiai hőigények kielégítésére és az épületek fűtésére fordítható, a szolár csarnok fűtését is ebből oldják meg többek között. Az elektromos energia és a kapcsolt hőenergia termelése 1+1 db biogáz tüzelésű gázmotorban (200 kWe) zajlik. A megtermelt elektromos energiát a telep elektromos rendszerébe vezetik.

A kazánok biogáz és földgáz üzemre is képesek. Ez teszi lehetővé a hőigények kielégítését akkor is, amikor nem áll rendelkezésre biogáz (pl. a rothasztók beindításakor) és ha annak

mennyisége nem elegendő a rothasztók hőn tartásához. A tervezett kapacitása a kazánoknak 190 kW és 360 kW.

3) Víztelenítő gépház

2 db IEA típusú csigásprés végzi a víztelenítést. A nagyjából 3%-os szárazanyagtartalmú kirothasztott iszapot körülbelül 20%-os szárazanyagtartalomra tudják vízteleníteni. Az iszap a szolár szárító csarnokokba csővezetéken szivattyúval és polielektrolitos kenés segítségével jut be.

4) Szolár szárító csarnok (29.ábra)

A szolár szárító fontos része az iszapkezelés fejlesztésének, mivel az a víztelenített iszap térfogatát jelentős mértékben csökkenti. A csarnok azért lett megépítve, mert az iszapszárítás hatására ~50 %-kal csökken a telepen keletkezett szennyvíziszap, így az iszap elszállítási költsége jelentősen csökken. Továbbá a mezőgazdasági felhasználást is elősegíti. Alkalmas arra, hogy a szennyvíztisztító telepen keletkező iszap szárítását elvégezze akkor is, ha az előzőleg nem került be a rothasztókba. A két üzemmód viszont egyszerre nem megvalósítható. Az anaerob rothasztóban kezelt szennyvíziszap a fermántációt követően a technológia részét képező tárolóba kerül. Szükség esetén az iszapgépházban is lehetőség van szennyvíziszap tárolásra. Az iszaphulladék kezelése folyamatosan zajlik, így hulladéktárolás nem valósul meg a szennyvíztisztító telepen.

Az egri szennyvíztisztító telepen két szolár csarnok egymás mellett helyezkedik el párhuzamosan, így a szárítás 3240 m² alapterületen valósul meg. A csarnokok 90 m hosszúak és 12 m szélesek. A csarnok vasbeton alaplemeze épül, amelyet 1 m magas és 20 cm széles vasbeton fal vesz körül. Ez szolgál a nemesacélból készült iszapmenedzser kerettartó szerkezetének alapjául.

A szolár szárító csarnok szerkezete tüzihorgonyzott acélból áll, amelynek burkolata magas fényáteresztő képességű üvegből készült, aminek segítségével a szolár szárítás hőigényét a napenergia biztosítja. Emellett az egyenletes iszapszáradást belső keringtető ventilátorok is segítik.

A víztelenített iszap felületi rétegének száradását a csarnokban légcserével gyorsítják. A vízgőzzel telített levegőt ventilátorokkal vezetik el, amelyek fordulatszáma automatikusan szabályozható a belső levegő nedvességtartalma, a külső és belső levegőhőmérséklet, valamint a napsugárzás erőssége és a szélereősség szerint.

A víztelenítő berendezésből az iszap a szolár szárító csarnokba zárt vezetéken keresztül kerül. A csarnokokban az iszap keverését és mozgatását egy-egy iszapmenedzser végzi. Az iszapmenedzser alkalmazásával teljesen automatikusan történik az adagolás és szárítás, az

ürítés pedig homlokrakodóval történik. A forgató és szállító berendezés egy futómacskával ellátott, kerettartóra szerelt keverő. A hídról levehető gép nemesacélból készült. Előnye, hogy kevés karbantartást igényel, viszont üzembiztosnak mondható. Az átforgatható iszapréteg maximálisan 20-30 cm vastagságú. A szolár csarnok működtetése az iszap nedvességtartalma függvényében a szárítóberendezés szabályozásával történik, de az függ az időjárási viszonyoktól és a hőbeviteltől is. Az adagolás és az ürítés az iszapmenedzser alkalmazásával teljesen automatikusan történik, amivel lehetővé válik az egyszerű be- illetve kivétel. A szárítandó anyag átkeverése és levegőztetése ellenőrzött, amit a szárítás sebességével optimalizálnak, amely az anaerob lebomlási folyamatokat és ezáltal a szag képződését minimalizálja.

Közvetlenül a csarnok mellé épült a biofilter, amelynek töltete egy monolit vasbeton műtárgyban kerül elhelyezésre. A biofilter a szolár csarnokokhoz szervesen kapcsolódik, amelyen a belső tér levegőjét ventilátorok segítségével átnyomják, és tisztítják. A belső levegőt forgató ventilátorok a tartó gerendákon vannak elhelyezve. Először egy vízpermetező rendszeren vezetik keresztül a biofilterre vezetett levegőt. A levegőben lévő por leválasztásra kerül, majd a szagmentesített levegő a tölteten áramolva a biofilter külső felületén távozik.

A szolár csarnok padlófűdémjének szilárd burkolatát úgy építették meg, hogy az alkalmas legyen arra, hogy a homlokrakodó az iszapot onnan össze tudja gyűjteni.

A szárított iszap szárazanyag-tartalma éves átlagban 50% körüli, nyári időszakban 90% körül is lehet. Az kezelt iszapot mezőgazdaságban hasznosítják. A szoláris szárítás terméke nem szagos, a mezőgazdasági felhasználás mellett energetikai célokra, égetésre is hasznosítható.

A szolár csarnok fűtésére a biogázvonalról származó, körülbelül 200 kW-nyi hőenergiát használják. Lehetőség van téli üzemben elektromos működésű termoventilátorok működtetésére, amivel a szárítási teljesítmény növelhető napsugárzás hiányában. Az iszap külső hővel történő szárítását fűtőrendszer telepítésével is tudják biztosítani a szolár szárítóban. Megemlíteném, hogy a kezelt szárított szennyvíziszap foszfor tartalmára vonatkozó értékekre a dolgozat elkészítéséig nem kaptam hiteles adatokat, így azok nem képezik annak részét (<http6>).



29. ábra: *Szolár szárító csarnok*

4.2.Foszfor kicsapatási kísérlet

A kísérlet leírása:

A telephely a foszforra vonatkozó határértéket képes tartani a normál vas-só nélküli üzemmód mellett is.

A kísérletekkel azt teszteltük, hogy a vas-só adagolása milyen mértékű többlet foszfor kicsapatást eredményez és a rendszer működését hogyan befolyásolja.

Első lépésként vas-só adagolása nélkül vizsgáltuk meg a foszfor és a KOI értékek alakulását a következő tisztítási műszaki helyszíneken: homokfogó, előülepítő, anaerob2, anox3, levegőztető, elfolyó.

Ezt a vizsgálatot 4 napon keresztül végeztük július 11-től július 14-ig.

Ezt követően 4 napon keresztül teszteltük és mértük naponta a vas-só adagolás hatását a tisztítórendszerben szintén a foszfor és a KOI értékek változásainak figyelemmel kísérésével.

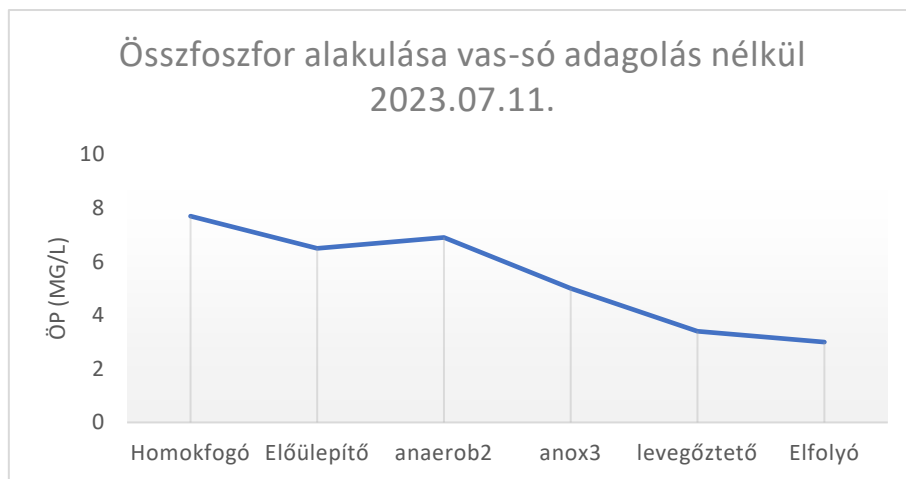
4.2.1 Vas-só adagolás nélkül kapott vizsgálati eredmények

A vas-só adagolás nélküli vizsgálatokat négy nap végeztük 2023.07.11-től 2023.07.14-ig az egri szennyvíztisztító telepen. A vizsgálatok a szennyvíz összfoszfor tartalmára és annak KOI-re terjednek ki vas-só adagolás nélküli esetekben. A kísérlethez szükséges szennyvíz minták a telep táblázatokban feltüntetett mûtárgyaiból kerültek vételezésre.

Vas-só adagolás nélkül, 1. nap			
Dátum	2023.07.11		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatásfok (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	7,7		
Előülepítő	6,5	16	456
Anaerob2	6,9		
Anox3	5		
Levegőztető	3,4		
Elfolyó	3		65

4. táblázat: Vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények 2023. 07.11.

A **4. táblázatban** 2023.07.11-re vonatkozó vas-só adagolás nélküli mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőképpen alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 7,7 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 6,5 mg/l-re csökkent. Az anaerob 2-es medencében kisebb növekedés volt megfigyelhető, az érték 6,9 mg/l értékre növekedett. Az anox3 medencékben az összfoszfor értékére visszaesés volt tapasztalható, az 5 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 3,4 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 3 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatti, így megállapítható, hogy a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba biológiai eljárás folytatásával szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 16 % volt vas-só adagolás nélküli esetben. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 456 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 65 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.11. napra vonatkozólag az **1. grafikonon** is szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége eleget tett a határértékre vonatkozó elvárásnak ezen mérések alapján is.



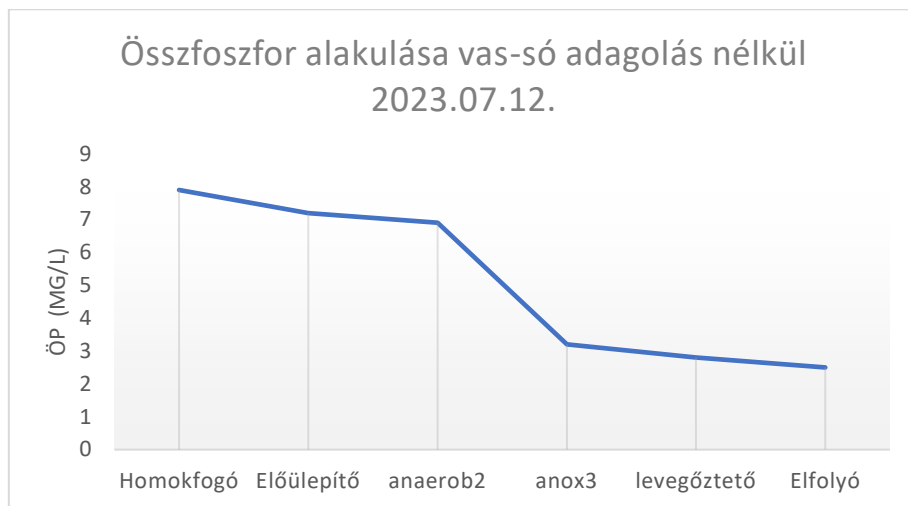
1. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás nélkül 2023.07.11.

Vas-só adagolás nélkül, 2. nap			
Dátum	2023.07.12		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatások (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	7,9		
Előülepítő	7,2	9	380
Anaerob2	6,9		
Anox3	3,2		
Levegőztető	2,8		
Elfolyó	2,5		38

5. táblázat: Vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények 2023.07.12-én

A **5. táblázatban** 2023.07.12-ére vonatkozó vas-só adagolás nélküli mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőképpen alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 7,9 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 7,2 mg/l-et mutatott. Az anaerob 2-es medencében a vizsgálat során kapott érték 6,9 mg/l volt. Az anox3 medencékben az összfoszfor értékére visszaesést tapasztaltunk, az 3,2 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 2,8 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 2,5 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatti, így megállapítható, hogy a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba biológiai eljárás folytatásával is szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 9 % volt vas-só adagolás nélküli esetben. Az előülepítőben az adott napon a

szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 380 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 38 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.12. napra vonatkozólag az **2. grafikonon** is szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége eleget tett a határértékre vonatkozó elvárásnak ezen mérések alapján is.



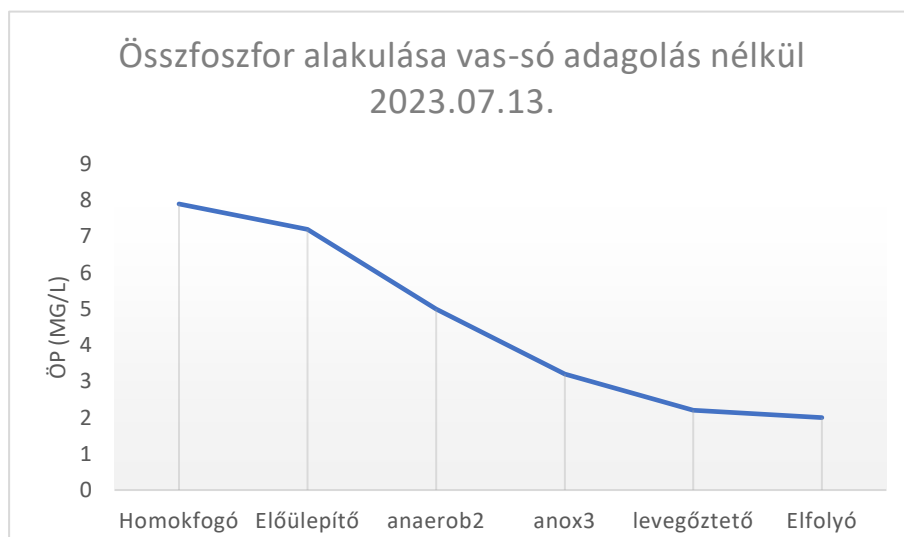
2. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás nélkül 2023.07.12.

Vas-só adagolás nélkül, 3. nap			
Dátum	2023.07.13.		
	Összfoszfor (mg/l)	eltávolítási hatásfok (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	7,9		
Előülepítő	7,2	9	275
Anaerob2	5		
Anox3	3,2		
Levegőztető	2,2		
Elfolyó	2		45

6. táblázat: Vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények 2023.07.13-án

A **6. táblázatban** 2023.07.13-ára vonatkozó vas-só adagolás nélküli mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőképpen alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 7,9 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 7,2 mg/l-re csökkent. Az anaerob 2-es medencében kisebb növekedés volt megfigyelhető, az érték 5 mg/l értékre növekedett. Az anox3 medencékben az összfoszfor

értékére visszaesés volt tapasztalható, az 3,2 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 2,2 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 2 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatti, így megállapítható, hogy a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba biológiai eljárás folytatásával is szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 9 % volt vas-só adagolás nélküli esetben. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 275 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 45 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.13-ai napra vonatkozólag az **3. grafikonon** is szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége eleget tett a határértékre vonatkozó elvárásnak ezen mérések alapján is.

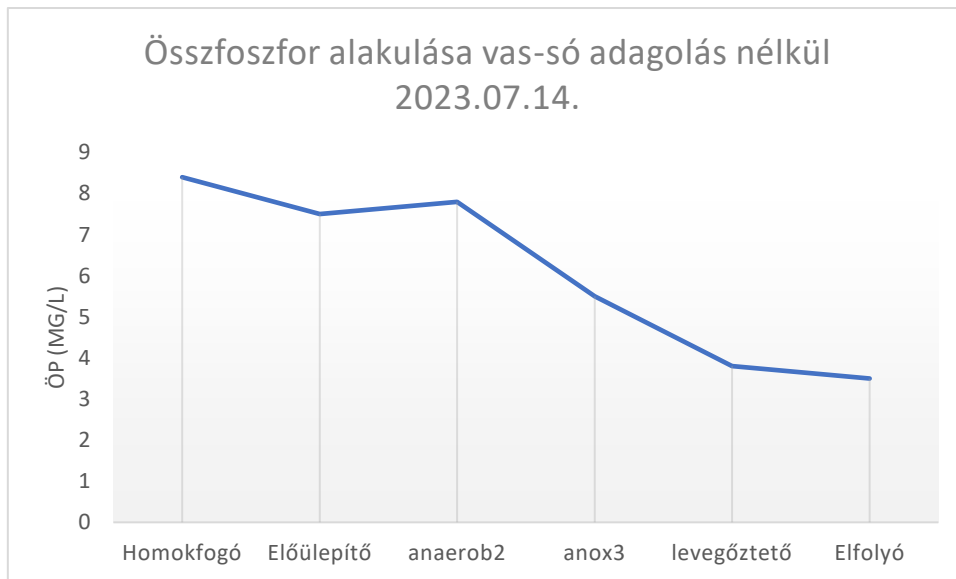


3. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás nélkül 2023.07.13.

Vas-só adagolás nélkül, 4. nap			
Dátum	2023.07.14.		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatások (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	8,4		
Előülepítő	7,5	11	320
Anaerob2	7,8		
Anox3	5,5		
Levegőztető	3,8		
Elfolyó	3,5		35

7. táblázat: Vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények 2023.07.14-én

A **7. táblázatban** 2023.07.14-ére vonatkozó vas-só adagolás nélküli mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőképpen alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 8,4 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 7,5 mg/l-re csökkent. Az anaerob 2-es medencében kisebb növekedés volt megfigyelhető, az érték 7,8 mg/l értékre növekedett. Az anox3 medencékben az összfoszfor értékére visszaesés volt tapasztalható, az 5,5 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 3,8 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 3,5 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatti, így megállapítható, hogy a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba biológiai eljárás folytatásával is szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 11 % volt vas-só adagolás nélküli esetben. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 320 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 35 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.14-ai napra vonatkozólag az **4. grafikonon** is szemléltettem.



3. grafikon: *Összfoszfor alakulása vas-só adagolás nélkül 2023.07.14.*

4.2.2 Vas-só adagolással kapott vizsgálati eredmények összefoglalása

A vegyszeradagolással kapcsolatos kísérletet 2023. 07. 18-én kezdtük meg és 2023.07.21-ével bezárólag fejeztük be. A vas-só adagolós vizsgálatokat négy nap végeztük. A vizsgálatokat 2023.07.18., 07.19., 07.20. és 07.21. napokon hajtottuk végre.

A vas-só adagolására a rendszerbe az előülepítő előtt került sor.

A kísérlet értékeléséhez szükséges eredményeket a mintavételt követő laboratóriumi vizsgálatok adták. A vizsgálatok a szennyvíz összfoszfor tartalmára és annak KOI-re terjednek ki. A kísérlethez szükséges szennyvíz minták a telep műtárgyaiból kerültek vételezésre.

A vas-só adagolás költségvonzata:

Az adagolt vegszerdózis a kísérletek során 800 liter/nap volt, aminek a költsége 59.360 Ft/napot jelentett. Ez abból adódik, hogy a vas-klorid ára 53 Ft/kg, és mivel 1,4 a sűrűsége, így 1 liter ára 74,2 Ft.

Vas-só adagolással, 1. nap			
Dátum	2023.07.18		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatások (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	12		
Előülepítő	4,9	59	265
Anaerob 1	5,7		
Anaerob 2	11		
Anox1	4,3		
Anox2	2,9		
Anox3	2,5		
I-II Lev	1,6		
Elfolyó	1,4		71

8. táblázat: Vas-só adagolás esetén kapott eredmények 2023.07.18.

A **8. táblázatban** a 2023.07.18. napra vonatkozó mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőként alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 12 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 4,9 mg/l-re csökkent. Az anaerob 1-es medencében az összfoszfor értéke kis mértékű emelkedést mutatott, amely 5,7 mg/l-t jelentett. Az anaerob 2-es medencében már jelentősebb növekedés volt megfigyelhető, 11 mg/l értékre növekedett az összfoszfor mennyisége. Az anox medencékben jelentős visszaesés volt tapasztalható, az anox1-es medencében 4,3 mg/l, az anox 2-es medencében 2,9 mg/l, az anox3-as medencében 2,5 mg/l értékek voltak mérhetőek. A levegőztető I. és II. medencében tovább csökkentek az értékek, 1,6 mg/l eredményt kaptunk. Az elfolyó mérési eredménye 1,4 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatt van, tehát a tisztított szennyvíz a befogadó felszívi vízfolyásba szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 59 % volt vas-só adagolás esetén. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 265 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 71 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.18. napra vonatkozólag az **5. grafikonon** is

szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége hozta az elvárt eredményeket, a foszforeltávolítás hatása növekedett a szervesanyagtartalom pedig csökkent.



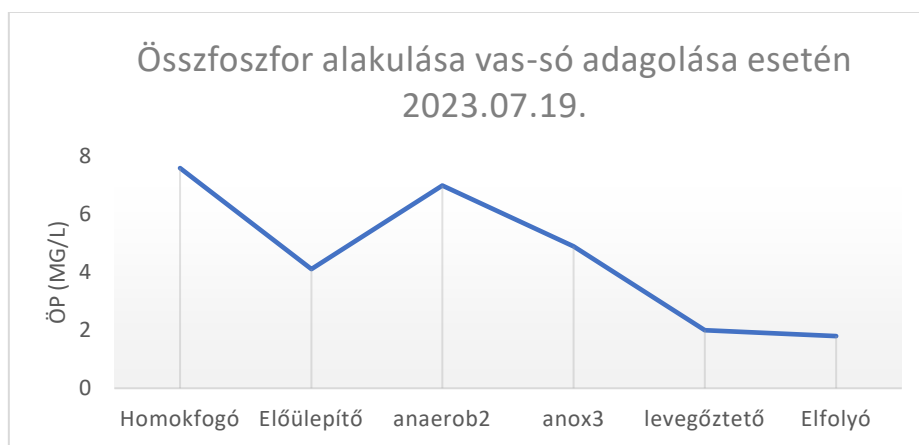
5. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás esetén 2023.07.18.

Vas-só adagolással, 2. nap			
Dátum	2023.07.19.		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatások (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	7,6		
Előülepítő	4,11	46	213
Anaerob 2	7		
Anox3	4,9		
Levegőztető	2		
Elfolyó	1,8		32

9. táblázat: Vas-só adagolás esetén kapott eredmények 2023.07.19.

A **9. táblázatban** a 2023.07.19-ére vonatkozó mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőként alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 7,6 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 4,11 mg/l-re csökkent. Az anaerob 2-es medencében majdnem a kiinduló értékre való növekedés volt megfigyelhető, az 7,0 mg/l értékre növekedett. Az anox3 medencékben az összfoszfor értékére visszaesés volt tapasztalható, az 4,9 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 2,0 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 1,8 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-

es összfoszfor határérték alatt volt ismét, így a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 46 % volt vas-só adagolás esetében. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 213 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 32 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.19-ei napra vonatkozólag az **6. grafikonon** is szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége eleget tett a határértékre vonatkozó elvárásnak ezen mérések alapján is.



6. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás esetén 2023.07.19

Vas-só adagolással, 3. nap			
Dátum	2023.07.20.		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatásfok (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	6,8		
Előülepítő	3,7	46	276
Anaerob 2	5		
Anox3	3		
Levegőztető	1,6		
Elfolyó	1,3		32

10. táblázat: Vas-só adagolás esetén kapott eredmények 2023.07.20-án

A **10. táblázatban** a 2023.07.20-ára vonatkozó mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőként alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 6,8 mg/l volt. Az előülepítőben mért

érték 3,7 mg/l-re csökkent. Az anaerob 2-es medencében majdnem a kiinduló értékre való növekedés volt megfigyelhető, az 5 mg/l értékre növekedett. Az anox3 medencékben az összfoszfor értékére visszaesés volt tapasztalható, az 3 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 1,6 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 1,3 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatt volt ismét, így a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 46 % volt vas-só adagolás esetén. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 276 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 32 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.20-ai napra vonatkozólag az **7. grafikonon** is szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége eleget tett a határértékre vonatkozó elvárásnak ezen mérések alapján is.



7. garfikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás esetén 2023.07.20.

Vas-só adagolással, 4. nap			
Dátum	2023.07.21.		
	Összfoszfor (mg/l)	Foszfor eltávolítási hatások (%)	KOI (mg/l)
Homokfogó	8,6		
Előülepítő	5	42	140
Anaerob 2	6		
Anox3	3,4		
Levegőztető	2,02		
Elfolyó	1,9		54

11. táblázat: Vas-só adagolás esetén kapott eredmények 2023.07.21-én

A **11. táblázatban** a 2023.07.21-ére vonatkozó mérési eredmények láthatók. Az összes foszfor értékeinek alakulása a műtárgyakban a következőként alakult. A beérkező szennyvíz összfoszfor értéke a homokfogóban mért értékek alapján 8,6 mg/l volt. Az előülepítőben mért érték 5 mg/l-re csökkent. Az anaerob 2-es medencében kisebb növekedés volt megfigyelhető, az érték 6 mg/l értékre növekedett. Az anox3 medencékben az összfoszfor értékére visszaesés volt tapasztalható, az 3,4 mg/l értékekre csökkent vissza. A levegőztető medencében tovább csökkent az összfoszfor értéke, 2,02 mg/l-t kaptunk a vizsgálat során. Az elfolyó mérési eredménye 1,9 mg/l volt, amely a szennyvíztelepre vonatkozó 5 mg/l-es összfoszfor határérték alatt volt ismét, így megállapítható, hogy a tisztított szennyvíz a befogadó felszíni vízfolyásba itt is szabadon kibocsátható. A foszforeltávolítás hatásfoka a homokfogó és az előülepítő között 42 % körül volt vas-só adagolás esetében. Az előülepítőben az adott napon a szennyvíz szervesanyag tartalmára utaló KOI koncentráció 140 mg/l volt, mely a kémiai kezelés hatására 54 mg/l-re csökkent le az elfolyóban mért minta alapján. Ez az érték jóval az egi szennyvíztisztító telepre vonatkozó kibocsátható szennyvíz határértéke alatt van, amely 125 mg/l értéket jelent. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a 2023.07.21-ei napra vonatkozólag az **8. grafikonon** is szemléltettem. Elmondható, hogy a vegyszeradagolás tevékenysége eleget tett a határértékre vonatkozó elvárásnak ezen mérések alapján is.



8. grafikon: *Összfoszfor alakulása vas-só adagolás esetén 2023.07.21.*

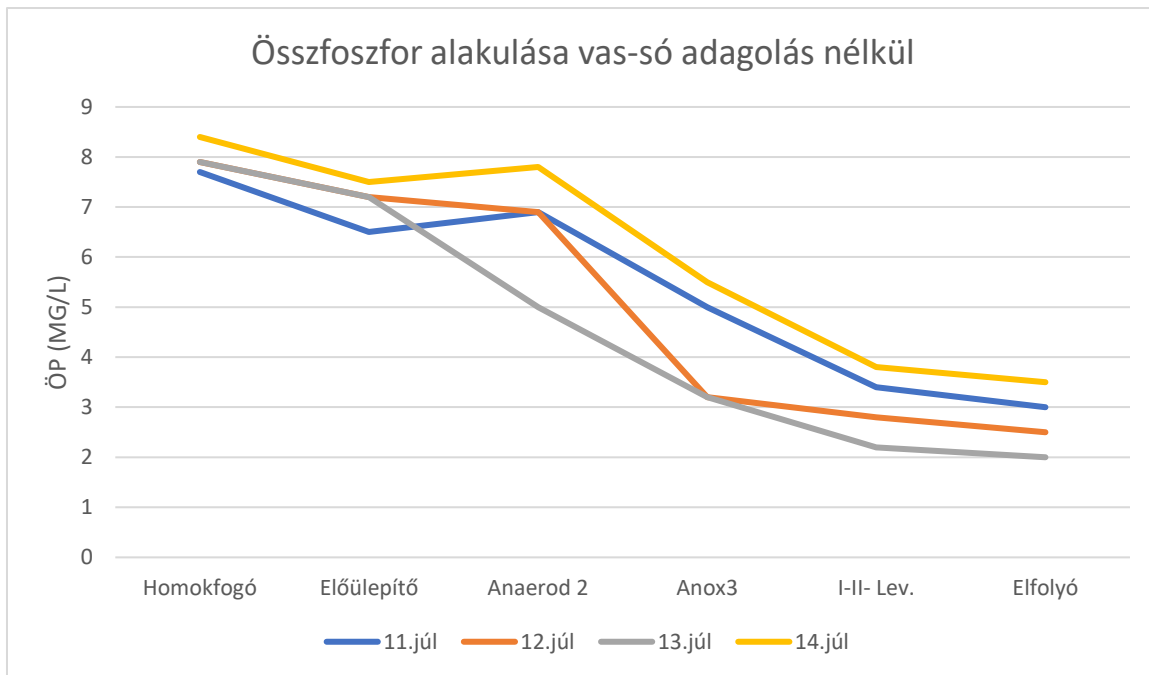
4.2.3. A vizsgálati eredmények összesítése

Elsőként a foszforra vonatkozó eredmények összesítését mutatom be, majd ezt követően a KOI értékek szemléltetésére kerül sor.

Foszforvizsgálati eredmények bemutatása

		2023.07.11.	2023.07.12.	2023.07.13.	2023.07.14.
Összfoszfor	Homokfogó	7,7	7,9	7,9	8,4
	Előülepítő	6,5	7,2	7,2	7,5
	Anaerob 2	6,9	6,9	5	7,8
	Anox3	5	3,2	3,2	5,5
	I-II- Lev	3,4	2,8	2,2	3,8
	Elfolyó	3	2,5	2	3,5

12. táblázat: *Vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények összfoszfor értékei a műtárgyakban*



9. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás nélkül

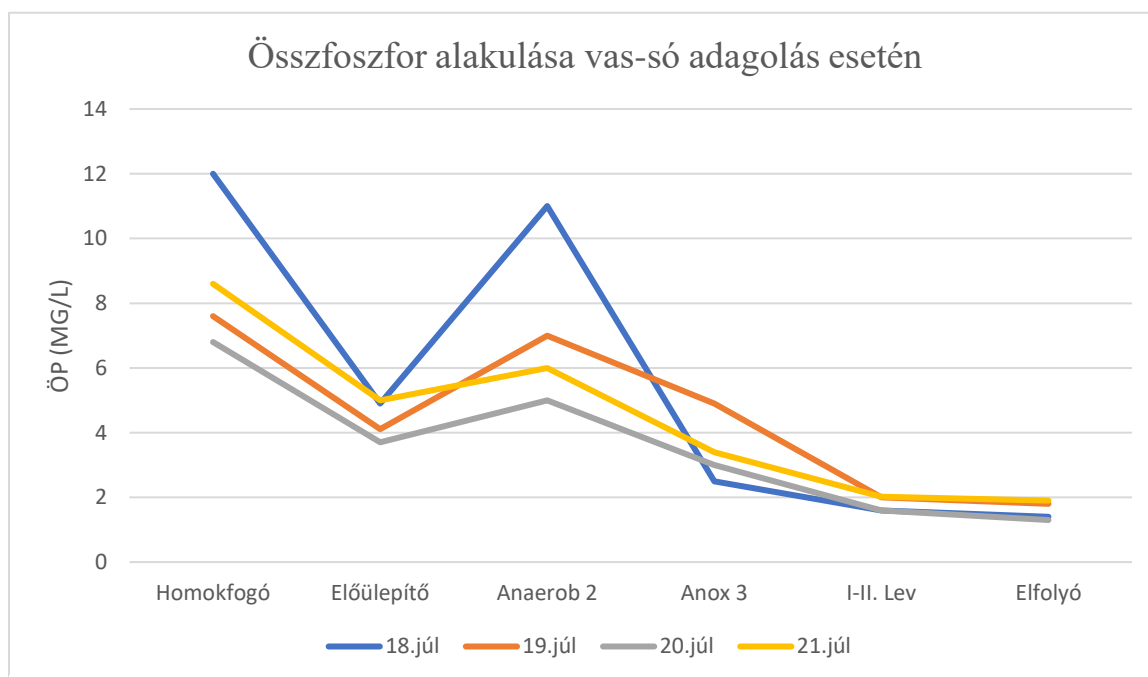
A **12. táblázatban** a vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények láthatóak összefoglalóan összfoszfor tartalomra vonatkozólag, napi bontásban és műtárgyak szerint. A táblázat értékei alapján látható, hogy a homokfogó műtárgyra beérkező szennyvíz összes foszfor koncentrációjának legkisebb értéke a vizsgált napokon 7,7 mg/l, a legmagasabb értéke 8,4 mg/l volt. Az kapott értékek minden esetben átlagosnak tekinthetők Magyarországi viszonylatokban. Az előülepítőn a kapott értékek minden esetben csökkenést mutatnak. A vizsgált napokon közel azonos összfoszfor értékek voltak megfigyelhetők, azok 6,5 mg/l és 7,5 mg/l között alakultak. Az anaerob 2-es medence mérési eredményei alapján a legmagasabb összfoszforra vonatkozó érték 7,8 mg/l volt, a legalacsonyabb 5 mg/l. Az anox3-as medencéből a legnagyobb mérési eredmény 5,5 mg/l, a legkisebb érték 3,2 mg/l volt.

Az I-es és II-es levegőztető medencékből vett értékek közül a legmagasabb értéket a 3,8 mg/l, a legalacsonyabbat 2,2 mg/l jelentette. Az elfolyóból vételezett minták mérési eredményeiből látható, hogy a tisztított szennyvíz ÖP koncentrációjának legalacsonyabb értéke a vizsgált napok tekintetében 3,5 mg/l, a legmagasabb értéke 2 mg/l volt.

Ez alapján elmondható, hogy a szennyvíztisztító telep kezelt szennyvize a befogadó felszíni víztestbe akadály nélkül kibocsátható a fent végzett vizsgálati eredményekből következően, mivel a kapott értékek 5 mg/l határérték alatt voltak minden esetben. A kapott vizsgálati eredmények alakulását a négy napra vonatkozólag az **9. grafikonon** is szemléltettem.

Összfoszfor		2023.07.18.	2023.07.19.	2023.07.20.	2023.07.21.
	Homokfagó	12	7,6	6,8	8,6
	Előülepítő	4,9	4,11	3,7	5
	Anaerob 1	5,7			
	Anaerob 2	11	7	5	6
	Anox1	4,3			
	Anox2	2,9			
	Anox3	2,5	4,9	3	3,4
	I-II. Lev	1,6	2	1,6	2,02
	Elfolyó	1,4	1,8	1,3	1,9

13. táblázat: Vas-só adagolás esetén kapott eredmények összfoszforra



10. grafikon: Összfoszfor alakulása vas-só adagolás esetén

A 13. táblázatban a 4 napos vas-só adagolási kísérlet sorozatának eredmények összfoszfor tartalomra vonatkozólag láthatóak, napi bontásban és műtárgyak szerint. A táblázat értékei alapján látható, hogy a homokfagó műtárgyra beérkező szennyvíz összes foszfor koncentrációjának legkisebb értéke a vizsgált napokon 6,8 mg/l, a legmagasabb értéke 12 mg/l volt. Az kapott értékek minden esetben átlagosnak tekinthetők Magyarországi viszonylatokban. A vegyszer hatására az előülepítőben a mérések során minden esetben jelentős csökkenés volt megfigyelhető foszfor tekintetében. A vizsgált napokon közel azonos összfoszfor értékek voltak megfigyelhetők, azok 5,0 mg/l és 3,7 mg/l között alakultak. Az anaerob1-es medencéből csak az első összfoszforra

vonatkozó mérési nap vizsgáltunk mintát, ott a kapott érték 5,7 mg/l volt. Az anaerob 2-es medence mérési eredményei alapján a legmagasabb összfoszforra vonatkozó érték 11 mg/l volt, a legalacsonyabb 5 mg/l.

Az anox 1-es és 2-es medencékből csak az első mérési napon végeztünk mintavételezést ezek értékei anox1-es medence esetén 4,3 mg/l, anox2-es medence esetén 2,9 mg/l volt. Az anox3-as medencéből már mind a négy mérési napon mintavételeztünk, azok közül a legnagyobb mérési eredmény 4,9 mg/l, a legkisebb érték 2,5 mg/l volt. Az I-es és II-es levegőztető medencékből vett értékek közül a legmagasabb értéket a 2,02 mg/l, a legalacsonyabbat a két vizsgálati napon is mért 1,6 mg/l jelentette.

Az elfolyóból vételezett minták mérési eredményeiből látható, hogy a tisztított szennyvíz ÖP koncentrációjának legalacsonyabb értéke a vizsgált napok tekintetében 1,3 mg/l, a legmagasabb értéke 1,9 mg/l volt. Ez alapján elmondható, hogy a szennyvíztisztító telep kezelt szennyvize a befogadó felszíni víztestbe akadály nélkül kibocsátható a fent végzett vizsgálati eredményekből következően, mivel a kapott értékek 5 mg/l határérték alatt voltak minden esetben.

A kapott vizsgálati eredmények alakulását a négy vizsgált napra vonatkozólag az **10. grafikonon** is szemléltettem.

KOI vizsgálati eredmények bemutatása

Vas-só adagolás nélküli KOI eredmények					
KOI (mg/l)		2023.07.11.	2023.07.12.	2023.07.13.	2023.07.14.
	Előülepítő	456	380	275	320
	Elfolyó	65	38	45	35

14. táblázat: Vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények KOI-ra

A **14. táblázat** a vas-só adagolás nélkül kapott KOI eredményekre vonatkozó összesítéseket tartalmazza az adott vizsgálati napokra vonatkozólag, az előülepítőben és az elfolyóban mért értékek alapján. Az elfolyóban mért mérési eredmények legmagasabb értéke 65 mg/l, a legalacsonyabb értéke 35 mg/l volt.

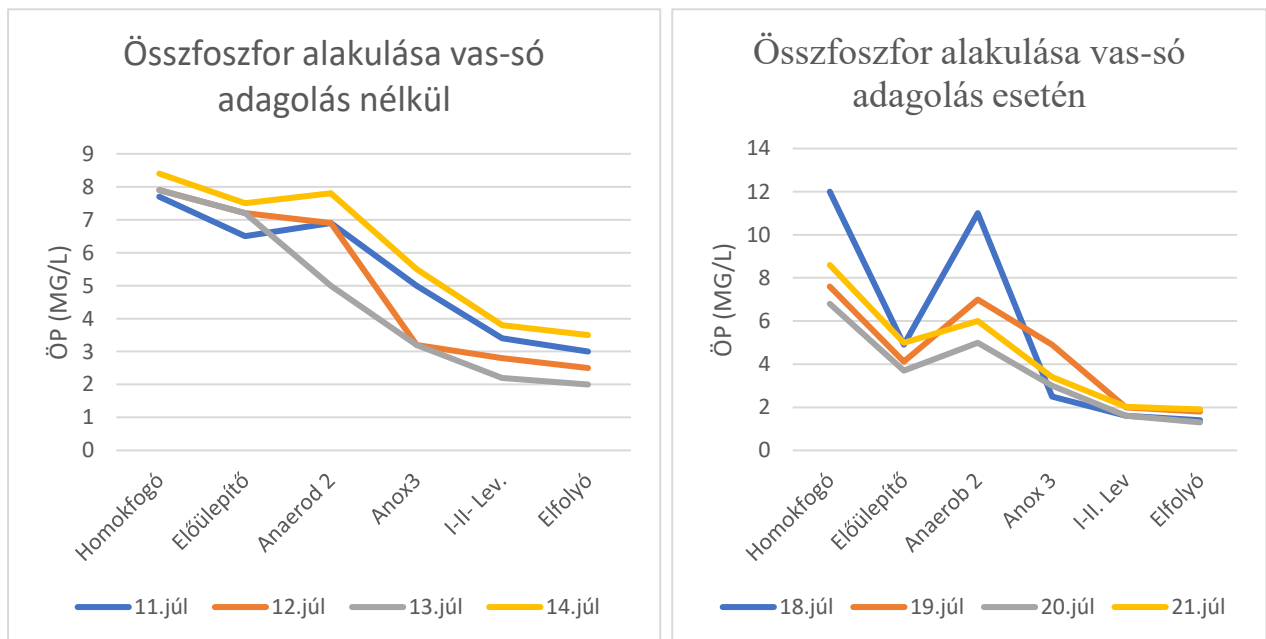
A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az egri szennyvíztisztító telep megfelel a vonatkozó környezetvédelmi határértéknek a kibocsátásra kerülő szennyvíz értékei alapján. A KOI tekintetében a határérték túllépése a vizsgálatok során nem volt tapasztalható, az elfolyó rendszerből vett, majd megvizsgált minták mind végig az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó 125 mg/l határérték alatt maradtak.

Vas-só adagolási kísérletek KOI eredmény sora					
KOI (mg/l)		2023.07.18.	2023.07.19.	2023.07.20.	2023.07.21.
	Előülepítő	265	213	276	140
	Elfolyó	71	32	32	54

15. táblázat: Vas-só adagolás esetén kapott eredmények KOI-re

A 15. táblázat a vas-só adagolás esetén kapott KOI eredményekre vonatkozó összesítéseket tartalmazza a vizsgálati napokra vonatkozólag, az előülepítőben és az elfolyóban mért értékek alapján. Az elfolyóban mért mérési eredmények legmagasabb értéke 71 mg/l, a legalacsonyabb értéke 32 mg/l volt, amely két nap is tapasztalható volt.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az egri szennyvíztisztító telep megfelel a vonatkozó környezetvédelmi határértéknek a kibocsátásra kerülő szennyvíz értékei alapján. A KOI tekintetében a határérték túllépése a vizsgálatok során nem volt tapasztalható, az elfolyó rendszerből vett, majd megvizsgált minták mind végig az egri szennyvíztisztító telepre vonatkozó 125 mg/l határérték alatt maradtak.



11. grafikon: Összfoszfor értékek összehasonlítása

A 11. grafikonon egymás mellett szemléltettem a vas-só adagolás nélküli és a vas-só adagolással mért eredmények görbéit. Elmondható, hogy a vas-só adagolás nélküli vizsgálati eredmények egyenletesebb görbét mutatnak, mint a vas-só adagolás esetén kapott eredmények. A vegyszeradagolás hatására a vízfázisban lévő foszfor mennyisége jelentős csökkenést mutat az adagolás pont után, amely az előülepítő előtt volt. A foszfor mennyisége 59-42% közötti

értékekkel csökkent az előülepítőben a homokfogóhoz képest. Vegyszeradagolás nélkül ez az érték csak 9-16% között változott. A adagolt vegyszerdózis a kísérletek során 800 liter/nap volt, aminek a költsége 59.360 Ft/napot jelentett. A vegyszer adagolásos módszer pozitív hatása a szennyvíztisztító telep műtárgyainak légfúvóinak tehermentesítése, amivel kevesebb energia felhasználását teszi szükségessé a szennyvíztisztítás folyamatában.

5. Következtetések és javaslatok

A szennyvíztisztító telep működéséről elmondható, hogy a jelenlegi technológia methodikával eleget tesz a környezetvédelmi normatíváknak. Az egri szennyvíztisztító telepen a foszfor eltávolításra a biológiai módszert alkalmazzák, mivel ezzel is képesek a kibocsátási határérték alatt tartani az összfoszfor koncentrációt. A szennyvíztisztító telep által megtisztított szennyvíz felszíni víztestbe való kibocsátásával nem veszélyezteti azt eutrofizáció fokozódását.

A diplomadolgozatomban 4 napon keresztül végeztünk vas-só adagolást a szennyvízbe, annak érdekében, hogy a vegyszeradagolás hatására a foszforeltávolítás határfoka hogyan változik az egri szennyvíztisztító telepen. A vizsgálati eredmények alapján jelentősen nőtt az előülepítőben a foszforkicsapódás mértéke. Ennek hatására az elfolyó vízben is alacsonyabb foszforértékeket mértünk közel 50%-al, mint a vegyszeradagolás nélküli vizsgálatoknál. Megállapítható volt az is, hogy az előülepítő után a szennyvíz szervesanyag tartalma kevesebb volt, mint a vegyszeradagolás nélküli méréseknél, ami által elmondható, hogy csökkent a biológiai rész terhelése és a légfűvők villamos energia felhasználása is. Ez számokkal kifejtve annyit jelent, hogy az előülepítőben mért KOI átlagosan 223 mg/l vas-só adagolás esetén, vas-só adagolás nélkül átlagosan 357 mg/l volt, amelyből megállapítható, hogy vas-só adagolás esetén 62%-kal kevesebb volt a mért KOI érték, így ennyivel csökkent a biológiai terhelés mértéke is.

Megállapítást nyert az is, hogy a vegyszer adagolás hatására több nyersiszap képződik, ami az iszapvonalon több biogáz képzését teszi lehetővé.

A vegyszeres és vegyszer nélküli mérési eredmények értékelése szerint megállapítást nyert, hogy jelenleg nem indokolt a vegyszeres adagolás alkalmazása, mivel a kapott értékek a vegyszer nélküli tisztítás esetén is határérték alattiak voltak.

Kiszámítottam a vas-só adagolás éves költségigényét, ami közel 22 millió Ft, ez alapján a jelenlegi vegyszer adagolás nélküli szennyvíztisztítási mód költséghatékonyabb, így a gazdasági szempontok is e mellett szólnak, bár az energiaárak emelkedése akár indokolttá is teheti a jövőben ezen beavatkozás egyéb hatásai miatti alkalmazást, mint például a légbefűvés mérséklése a szerves lebegőanyag csökkenésének következtében. A vegyszer adagolásos módszer alkalmazásának pozitívumai közé tartozik, hogy hatására a szennyvíztisztító telep műtárgyainak légfűvői tehermentesíthetők, így kevesebb energia felhasználása szükséges a szennyvíztisztítás folyamatában. További megállapítások, pozitív és negatív hatások a kémiai kezeléssel kapcsolatban nem kerültek megállapításra, mivel a részletesebb vizsgálati eredményekhez és azok értékeléséhez hosszabb időre volna szükség.

Javaslatom az lenne, hogy a szennyvíztisztító telep továbbra is a vegyszeradagolás nélküli tisztítási módot alkalmazza, mivel jelenleg ezzel a módszerrel is tartja a meghatározott határértékeket. Ha a jövőben szigorúbb határértékek kerülnének megállapításra, akkor előre láthatólag vegyszeradagolás módszerével azok tarthatók lennének a kísérleti eredményekből következtethetőleg.

6. Összefoglalás

Az egri szennyvíztisztító telepen a szennyvíztisztítási tevékenység során 19 700 m³ /nap szennyvizet, 83 333 LE kapacitással kezelnek, amely Eger város, valamint 6 környező település (Felsőtárkány, Ostoros, Novaj, Egerszólát, Egerszalók és Egerbakta) szennyvizéből tevődik össze, amely szennyvízmennyiség ~ 61 000 lakos által keletkezik.

A kísérletek és mérési eredmények alapján elmondható, hogy az egri szennyvíztisztító telep megfelelő tisztítási hatásokkal működik, a határértékeknek eleget tesz, amelyek a foszfor esetében 5 mg/l, míg a KOI-ra vonatkozólag 125 mg/l-ben van meghatározva.

A telep jelenleg csak a biológiai tisztítási lépéssel távolítja el a többletfoszfort a szennyvízből, de ezzel a megoldással is tudja tartani a kibocsátási határértéket. A diploma készítés során megvizsgáltam, hogyha vas-só adagolás történik az adott műtárgynál a tisztítási folyamatban, akkor az hogyan befolyásolja az összfoszfor koncentrációt, a KOI (azaz a nyers szervesanyag) értékét. A mérési eredményekből megállapítottam, hogy a vas-só adagolással tovább javítható a telep összfoszfor tisztítási hatásfoka, közel 50%-a. A vas-só adagolás a lebegő szervesanyag alakulására is jelentős hatással van, mivel már a biológiai fázis előtt jelentősen képes csökkenteni annak mértékét (62%-ban), így a levegőztető medencében kevesebb levegőbefúvás és alacsonyabb energia felhasználás valósulhat meg magasabb tisztítási hatásfok elérése mellett.

Azonban a vas-só adagolása napi szinten közel 60 ezer Ft-os többletköltség növekedést jelet, amely jelenleg gazdaságilag nem tartható opció a cég életében. További vizsgálatok lennének szükségesek, hogy a vas-só adagolás másodlagos hatásainak (energiafogyasztás optimalizálása és a megnövekedett iszapmennyiség a biogázfermentor esetében) költséghatékonyságra gyakorolt hatása hosszú távon megéri-e a cég számára, így a befogadó vízfolyás (Eger patak) és a cég energetikai mérlege is javulhat.

7. Irodalomjegyzék

Szakkönyvek:

Horváth Gábor (2021): Szennyvíztisztítási alapismeretek, Kiadja a Horváth Gábor Környezetmérnöki Kft., Fertőszentmiklós, ISBN 978-963-615-01-1446-0

Juhász Endre (2013): Települési szennyvíziszapok kezelése. Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, ISBN: 978-615-5545-58-0

Kárpáti Árpád (2007): A szennyvíztisztítás alapjai

Internetes forrás:

http1: Nemzeti Agrárgazdasági Kamara: Szennyvíziszap, iszapkomposzt, termékkomposzt termőföldön történő felhasználása <https://www.nak.hu/kiadvanyok/kiadvanyok/3739-szennyviziszap-iszapkomposzt-termekkomposzt-termofoldon-torteno-felhasznalasa/file>

http2: „50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól - Hatályos Jogszabályok Gyűjteménye”. Elérés 2023. október 22. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0100050.kor>.

http3: Kamara, Nemzeti Agrárgazdasági. „Szennyvíziszap-kezelés, - elhelyezés és - hasznosítás”. nak.hu, 2022. január 21. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/ontozes/104178-szennyviziszap-kezeles-elhelyezes-es-hasznositas>.

http4: Kamara, Nemzeti Agrárgazdasági. „A szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának általános feltételei”. nak.hu, 2019. július 31. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/kornyezetgazdalkodas/100026-a-szennyvizek-es-szennyviziszapok-mezogazdasagi-felhasznalasanak-altalanos-feltetelei>

http5: Nébih : Szennyvizet, szennyvíziszapot vagy szennyvíziszap komposztot a termőföldre. Megtekintve: 2023. szeptember 20. <https://portal.nebih.gov.hu/-/szennyvizet-szennyviziszapot-vagy-szennyviziszap-komposztot-a-termofoldre>

http6: Heves Megyei Kormányhivatal Egri Járási Hivatala (2019): Határozat <https://andornaktalya.hu/dokumentumok/1908/Hat%C3%A1rozat%20egys%C3%A9ges%20%C3%B6rnyezethaszn%C3%A1lati%20enged%C3%A9ly%20megad%C3%A1s%C3%A1r%C3%B3l%20Eger%20V%C3%A1ros%20Szennyv%C3%ADztiszt%C3%ADt%C3%B3%20telep%20korszer%C5%B1s%C3%ADt%C3%A9s%C3%A9re.pdf>

Tudományos közlemények:

Blackall, Linda L., Gregory R. Crocetti, Aaron M. Saunders, és Philip L. Bond. „A Review and Update of the Microbiology of Enhanced Biological Phosphorus Removal in Wastewater Treatment Plants”. *Antonie van Leeuwenhoek* 81, sz. 1 (2002. december 1.): 681–91. <https://doi.org/10.1023/A:1020538429009>.

Fijalkowski K, Rorat A, Grobelak A, Kacprzak MJ (2017) The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. *Journal of Environmental Management* 203:1126–1136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.068>

Galloway JN, Townsend AR, Erismann JW, Bekunda M, Cai Z, Freney JR, Martinelli LA, Seitzinger SP, Sutton MA (2008) Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science* 320:889–892. <https://doi.org/10.1126/science.1136674>

Harrison EZ, Oakes SR, Hysell M, Hay A (2006) Organic chemicals in sewage sludges. *Science of The Total Environment* 367:481–497. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.002>

Howarth RW, Marino R (2006) Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. *Limnology and Oceanography* 51:364–376. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0364

Peccia J, Westerhoff P (2015) We Should Expect More out of Our Sewage Sludge. *Environ Sci Technol* 49:8271–8276. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01931>

Ryther JH, Dunstan WM (1971) Nitrogen, Phosphorus, and Eutrophication in the Coastal Marine Environment. *Science* 171:1008–1013. <https://doi.org/10.1126/science.171.3975.1008>

Singh RP, Agrawal M (2008) Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* 28:347–358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>

Schindler DW (2006) Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography* 51:356–363. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0356

Schindler DW, Hecky RE, Findlay DL, Stainton MP, Parker BR, Paterson MJ, Beaty KG, Lyng M, Kasian SEM (2008) Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:11254–11258. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805108105>

Schön G (1996) Polyphosphatspeichernde Bakterien und Weitergehende biologische Phosphorentfernung in Kläranlagen. In: Lemmer H, Griebe T, Flemming H-C (eds) *Ökologie der Abwasserorganismen*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 221–244

Tiedje, James M. „Denitrification”. In *Methods of Soil Analysis*, 1011–26. John Wiley & Sons, Ltd, 1983. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c47>.

Wang M-J (1997) Land application of sewage sludge in China. *Science of The Total Environment* 197:149–160. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)05426-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)05426-0)

Yeoman, S, T Stephenson, J. N Lester, és R Perry. „The removal of phosphorus during wastewater treatment: A review”. *Environmental Pollution* 49, sz. 3 (1988. január 1.): 183–233. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(88\)90209-6](https://doi.org/10.1016/0269-7491(88)90209-6).

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről

A hallgató neve: Ugrai Attila
A Hallgató Neptun kódja: 1WIR9D
A dolgozat címe: Foszfor-eltávolítás az agri szennyvíztisztító telepen
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
A konzulens tanszékének a neve: Akvakultúra és Környezetbiztonság Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 11 hó 05 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat
III. Hallgatói Követelményrendszer
III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat
6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója
4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Ugrai Anikó (név) (hallgató Neptun azonosítója: IWRSD)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2023 év november hó 5 nap



belső konzulens

Dr. JORDÁN MARIKA

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.