



*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vízi közmű és Környezetmérnöki Tanszék*

**A Solymári Szennyvíztisztító Telep üzemeltetésének vizsgálata és optimalizálásának
lehetőségei**

Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat



Készítette: Barta Diána Környezetmérnök BSc. IV. évfolyam

Konzulensek: Dr. Clement Adrienne egyetemi docens, **Zajzon Gergő** doktorandusz

Jászay Tamás szennyvíztechnológus

Budapest, 2014

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Szennyvíztisztítás jogszabályi háttere	5
2.2. Eleveniszapos technológia alapfolyamatai	7
2.2.1. A mikroorganizmusok szaporodásának Monod-kinetikája	8
2.2.2. Iszapkor meghatározás.....	9
2.2.3. Szervesanyagok lebontása.....	10
2.2.4. Nitrogén eltávolítás	11
2.2.5. Foszfor eltávolítás	14
2.3. Iszapkezelés	17
3. A Solymári szennyvíztisztító telep technológiájának leírása	18
3.1. Mechanikai tisztítási szakasz.....	19
3.2. Biológiai tisztítási szakasz.....	21
3.3. Iszapkezelés	24
4. Működési problémák feltárása és célkitűzés	27
5. Az iszap szárazanyag tartalmának növelése.....	28
5.1. Alkalmazott vizsgálati módszerek.....	28
5.2. A vizsgálat folyamata	29
5.3. Eredmények és következtetések	33
5.4. Várható megtakarítás számítása	36
7. Összefoglaló	37
Irodalom jegyzék.....	38
Adattáblázatok.....	40

1. Bevezetés

A tanulmány tárgyát képező Solymári Szennyvíztisztító telep hosszú múltra tekint vissza. Solymár községben 1972. előtt csak vízvezeték hálózat épült, - az egész országban lévő gyakorlat szerint - szennyvízelvezetés, illetve szennyvíztisztítás nélkül. A hetvenes évek elejétől azonban a szennyvíz elhelyezés megoldatlansága kezdett kritikussá válni, több oknál fogva is kénytelen volt a község ezzel a problémával foglalkozni. A tisztítótelep megtervezésének feladatával a Pest megyei Tanácsai Tervező Vállalatot bízták meg. 1983-ban helyezték üzembe a végleges tisztítótelepet, mely azóta számtalan újjáépítésen és fejlesztésen esett át. A rendszerváltás után az első önkormányzati ciklus alatt a szennyvíztisztító telepet átvette a helyi önkormányzat, és Közcsatorna KFT néven önálló üzemeltető vállalatot alapított. 2014-től a Kft. a Dabas és Környéke Vízügyi Kft-hez (DAKÖV) tartozik. [1.]

Magyarországon a kommunális szennyvíztermelés ~110-150 liter egy emberre nézve naponta. Ez rendkívül nagy mennyiség, aminek a tisztítása a szennyvíz minőségétől és a befogadó igényeitől függően más-más tisztítást kíván. A vízminőségvédelem alapvető szabálya, hogy toxikus szennyezők ne kerüljenek természetes vizekbe az oxigénháztartás védelme és az eutrofizáció elkerülése érdekében. A maximálisan visszaengedhető szervesanyag, nitrát és foszfát tartalom határértékekben meghatározott. A természetes vizekben ezeknek az anyagoknak a feldúsulása algásodást, az oldott oxigén csökkenését, végül a vízi állatvilág pusztulását okozza. A befogadóba engedett tisztított szennyvíz - még a tisztított szennyvíz kibocsátási határértékének a betartásával is - terhelést jelent a befogadó élővizek ökoszisztémájára. A környezettudatosság és a tudomány fejlődésével a szennyvíztisztítás fejlesztése az elérhető minimális környezetterhelést igyekszik megvalósítani.

A tanulmány a Solymári szennyvíztisztító telep működésének vizsgálatára, valamint az üzemeltetés során felmerült problémák javítására irányul. A dolgozatban bemutatom a vizsgált szennyvíztisztító telep felépítését és értékelem a működését.

A nyári szakmai gyakorlatom során részt vettem a szennyvíztechnológus üzemeltetés javítását célzó vizsgálataiban, melyek alapján láthatóvá váltak a telep működésének gyengeségei. A telep üzemeltetése jórészt az évek során szerzett tapasztalatok alapján működik, azonban kisebb változtatásokkal növelhető a telep hatásfoka és ezáltal jelentős költségeket spórolhat meg az

üzemeltető. A dolgozat első részében bemutatom a szennyvíztisztító telep felépítését és értékelem a működését. Majd ezt követően az iszap víztelenítés hatékonyságának növelésével foglalkozom részletesebben, mely jelenleg a telep egyik megoldandó problémája. Az iszapsűrítőben eszközölt változtatásokkal, valamint a vegyszer adagolás optimalizálásával sikerült növelni az iszap szárazanyag tartalmát és ezáltal csökkenteni az elszállításra kerülő préselt iszap mennyiségét. Az ősz folyamán megvalósított változtatásokat saját méréseim alapján értékelem és javaslatokat teszek a további lehetőségek kihasználására.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Szennyvíztisztítás jogszabályi háttere

A víziközmű-szolgáltatás legfontosabb alapelveként a vízi közmű törvény (2011. évi CCIX. törvény) definiálja a „természeti erőforrások kíméletének elvét”. Eszerint: a víziközmű-szolgáltatás kialakítása és fejlesztése tekintetében azt a műszaki, közgazdasági és szervezeti megoldást kell előnyben részesíteni, amely az ország természeti erőforrásainak védelmét, így különösen az ivóvíznyerő források és készletek, valamint a tisztítottszennyvíz-befogadók hosszú távú, fenntartható igénybevételét szolgálják” [2]

A fenntartható fejlődés fontos részét képezi a vizeink minőségének megóvása. Ennek érdekében lépett életbe 2000. december 22.-én az **EU Víz Keretirányelv**. A Víz Keretirányelv egy Európai Uniósi vízvédelmi politikát fogalmaz meg, mely a vizet örökségnek tekinti. Ennek értelmében olyan vízgazdálkodás kialakítását segíti, mely a jövő nemzedékei számára is biztosítani tudja a vízkészletek jó minőségét. A fő célkitűzés a vizek állapotromlásának megelőzése és a felszíni és felszín alatti vizek jó állapotának elérése legkésőbb 2015-ig. A vizek besorolásához az állapotfelmérést és a monitorozást lehetővé kell tenni. Magyarországon az illetékes hatóság jelenleg a Vidékfejlesztési Minisztérium (azelőtt a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium volt). Feladatai közé tartozik a víztestek állapotának meghatározása és ennek megfelelően a víztest terhelhetőségének szabályozása határértékek formájában. [3]

A **Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv** foglalja össze azokat a vízminőségi kritériumokat, melyek alapján a víztest terhelhetőségének besorolását végzik. Ezen paraméterek alapján különböző típusú víztestekre meghatározza a szükséges határértékeket. [4]

A szennyvizek befogadóba való közvetlen bevezetésére vonatkozó, vízminőségvédelmi területi kategóriák szerint meghatározott kibocsátási határértékeket a **28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet** 2. számú melléklete foglalja magába. [5]

A Solymári szennyvíz telep befogadója az Aranyhegyi-patak. Annak ellenére, hogy az elfolyó tisztított szennyvíz megfelel a 28/2004 (XII.25) KvVM rendelet szerint előírt vízminőségi határértékeknek, az Aranyhegyi-patak a tápanyagterhelés és az oxigénháztartás mutatói szerint erősen szennyezett. Ennek oka részben illegális tevékenységek folytatása (ismeretlen szennyvíz bevezetések, hulladéklerakás) valamint bemosódás lehet. [6]

A vízminőség javulása érdekében a telep jóval a megszabott határérték alatt tartja a szennyezőanyag kibocsátást. Ez saját érdeke is, mivel a környezetbe kijuttatott szervesanyag (KOI_k), összes foszfor (öP) és az összes szerves nitrogén (öN) után a **2003. évi LXXXIX. törvény** 2. sz. melléklete alapján környezetterhelési díjat kell fizetnie a szennyvíztisztítónak. [7]

Paraméter	Dikromátos O ₂ -fogyasztás KOI _k	Biokémiai oxigénigény BOI ₅	Összes lebegőa anyag LA	Összes foszfor (öP)	Összes nitrogén (öN)		Ammónium- Nitrogén [NH ₄ -N]
					V. 1-jétől XI. 15-ig	XI. 16-tól IV. 30-ig	
Határérték	mg/l						
Technológiai	125	25	35	80%, 2(1)	15	25	-
Kibocsátási	75	25	50	5	25(2)	25(2)	5(2)

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

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

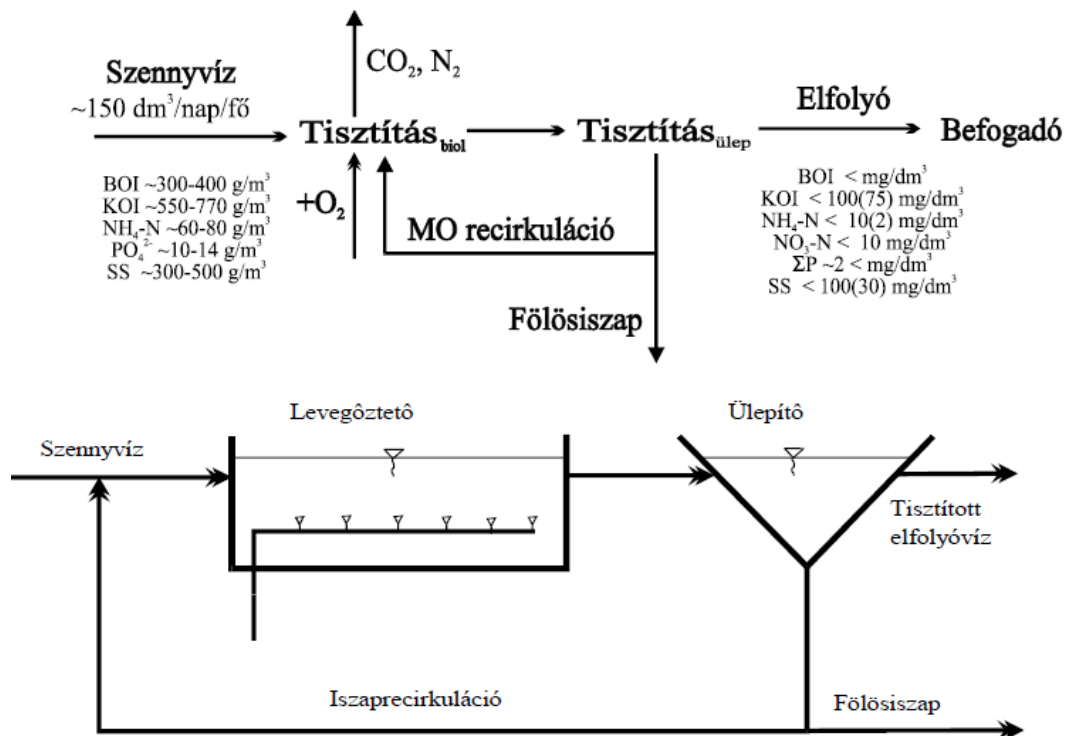
(2): A határérték a nem nitrát érzékeny területeken kétszeres

A Solymári Szennyvíztisztító telep vízgyűjtő területe a vonatkozó rendeletek alapján nem nitrátérzékeny. Mivel az üzemeltető számára fontos szempont a környezet védelme, így a befogadó vízminőségének megóvása érdekében célul tűzte ki a foszfor kibocsátásra a 2mg/l és az ammónia kibocsátásra 5mg/l-es határértékek betartását.

A hivatalos, elfolyó szennyvíz minőségi adatainak alapján mind a rendelet, mind a saját maga által felállított határértékeknek megfelel a befogadóba bocsátott szennyvíz.

2.2. Eleveniszapos technológia alapfolyamatai

Az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás célja a szennyvízben található szerves szén, nitrogén, valamint foszfor vegyületek eltávolítása. Ezen makro-tápanyagok eltávolítását a szennyvíziszapban található mikroorganizmusok (MO) végzik. A szerves vegyületek lebontásakor keletkező energiát saját életműködésükhez használják fel. Oxigén segítségével részben széndioxidot, részben saját sejtanyagot, biomasszát állítanak elő. A következő ábra az eleveniszapos szennyvíztisztítás elvi sémáját mutatja be.



1. ábra: biológiai szennyvíztisztítás elvi sémája [8]

Az ilyen rendszerben a szerves anyag és a nitrát eltávolítását, főleg heterotróf baktériumok végzik. Az ammónium oxidációját a nitrifikáló autotróf baktériumok, míg a különösen nagy foszforfelvételt a foszfor-akkumuláló heterotróf mikroorganizmusok (PAH) végzik. A nitrifikációhoz megfelelő iszapkort és oxigénellátottságot, a denitrifikációhoz ugyanakkor oxigénhiányt kell biztosítani. A foszforfelvételt biztosító fajok elszaporodásához viszont váltakozva anaerob, majd aerob körülményeket kell a rendszerben biztosítani. A fenti körülmények létrehozása három egymástól eltérő környezetben lehetséges, amit vagy térben elválasztva, vagy időben változtatva lehet megvalósítani. [8]

2.2.1. A mikroorganizmusok szaporodásának Monod-kinetikája

Az eleveniszap heterogén mikroflórával rendelkezik, melyben jelen vannak a biológiai szennyezők eltávolítását végző mikroszervezetek. Az eltávolítás hatásfoka ezen szervezetek metabolizmusától függ. A növekedésükhöz és szaporodásukhoz szükséges energiát a szubsztrátként felhasznált szervesanyag mennyisége és minősége határozza meg.

A biológiailag bontható, nem mérgező anyagokat felhasználó mikroorganizmusok szaporodási kinetikáját a Monod-egyenlet írja le:

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X$$

ahol a tagok jelentése:

- X = pillanatnyi sejt koncentráció [g/l]
- μ = fajlagos növekedési sebesség [1/nap]

Az egyenletben a fajlagos növekedési sebesség állandónak tekinthető, de ez csak a szaporodás exponenciális szakaszára érvényes. Mivel a valóságban a szubsztrátok mennyisége limitálja a szaporodási sebességet az egyenlet módosul:

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_S + S}$$

ahol az új tagok jelentése:

- μ_{max} = maximális fajlagos növekedési sebesség [1/nap]
- S = a limitáló szubsztrát koncentrációja [g/l]
- K_S = féltelítési állandó [g/l] (az a szubsztrát koncentráció, melynél a fajlagos növekedési sebesség a maximális érték fele)

Ahhoz, hogy megállapíthassuk az egységnyi szubsztrát eltávolítással járó biomassza szaporulatot a következő egyenletet használhatjuk fel:

$$\frac{dX}{dS} = -Y_{X/S}$$

A hozam (Y [g/l]) fordítottan arányos a szubsztrát mennyiségével ezért negatív előjelű.

[9]

2.2.2. Iszapkor meghatározás

Az iszapkor (Sludge Retention Time= SRT) megadja az iszap tartózkodási idejét a biológiai rendszerben. Iszaprecirkuláció nélkül ez egyenlő lenne a hidraulikai tartózkodási idővel. A recirkuláció szerepe, hogy megakadályozza a mikroorganizmusok kimosódását. A stacionárius állapot fenntartása érdekében a képződött többlet biomasszát elvezetik a rendszerből, ezt fölösiszapnak nevezik. A fölösiszap elvétel az utóülepítő iszapzsompjából történik. A rendszerből eltávolított iszapot víztelenítés után elszállítják.

Az iszapkort a következő összefüggés adja meg:

$$STR = \frac{V \cdot X}{\text{iszapelvétel}} = \frac{1}{\mu} [d]$$

ahol a tagok jelentése:

- V= biológiai reaktor térfogata [m³]
- X= biomassa koncentrációja [kg/m³]
- iszapelvétel (egyenlő az elvett iszap térfogatáramának és iszapkoncentrációjának szorzatával) [kg/d]

Az iszapkor változtatásával szabályozhatjuk a mikrobák mennyiségét a rendszerben.

Ha $STR \ll \frac{1}{\mu}$, akkor a rendszerből kimosódik a biomassa, ha pedig $STR \gg \frac{1}{\mu}$, akkor feldúsul.

Ennek a szabályozásnak fontos szerepe van a nitrifikációban, mivel a nitrifikáló baktériumok lassan szaporodó autotróf szervezetek. Rendszerben tartásukhoz szükséges tartózkodási idő többszöröse a heterotróf szervezetekre vonatkozó értékekhez képest. Fontos azonban figyelembe venni, hogy a mikroorganizmusok szaporodása jelentős mértékben függ a hőmérséklettől. Télen nagyobb iszapkort szükséges biztosítani, nyáron azonban csökkenteni kell, mivel a baktériumok túlszaporodása habzáshoz és a tisztítási hatásfok csökkenéshez vezet.

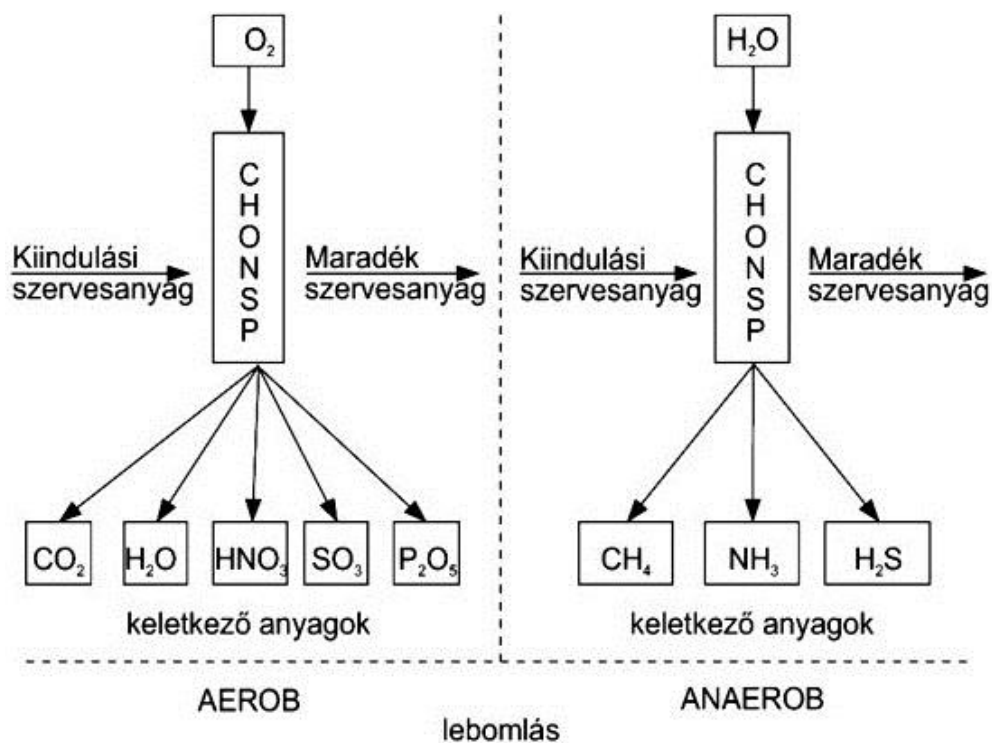
Általánosságban elmondható, hogy a nagy terhelésű telepek rövid iszapkort (1-2nap), a közepes és kisebb terhelésű telepek közepes iszapkort (2-7nap) tartanak fenn. A teljes oxidációs telepek nagy (7napnál nagyobb) iszapkort igényelnek.

[10]

2.2.3. Szervesanyagok lebontása

A különböző méretű és minőségű szervesanyagok mikrobiológiai bonthatósága eltérő. A baktériumok első sorban kisméretű, egyszerű felépítésű molekulákat tudnak közvetlenül hasznosítani. Az ilyen molekulák, mint például: glükóz, metanol, ecetsav, propionsav, segítik a mikroorganizmusok elszaporodását. A nagyobb méretű szerves molekulákat először hidrolízis segítségével kisebb molekulákká bontják a mikroorganizmusok. A hidrolízist sejten kívüli enzimek (exo-enzimek) segítségével végzik. A biológiai növekedéshez viszonyítva ez a folyamat lassú ezért limitálja a szervesanyag lebontást. Ezen okból kifolyólag az oldott és partikulált szervesanyagok biológiai lebontása jelentősen különböző lehet. Megállapítható tehát, hogy a kommunális szennyvízben lévő szilárd szervesanyag szemcseméretének növekedésével nő az eltávolításához szükséges idő is. [11]

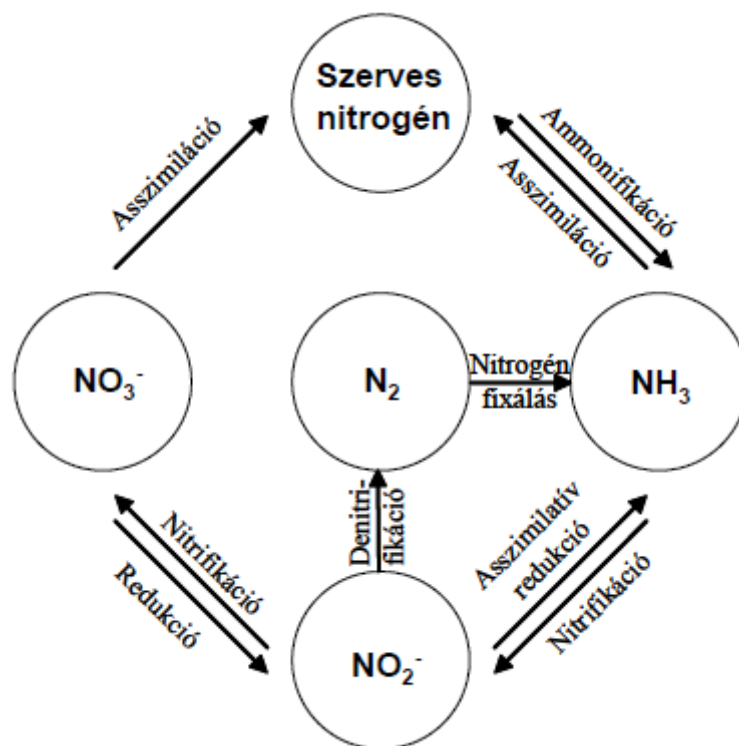
A szervesanyag lebontás aerob és anaerob környezetben is végbemegy, különböző módon.



2. ábra: aerob és anaerob folyamatok sémája [12]

2.2.4. Nitrogén eltávolítás

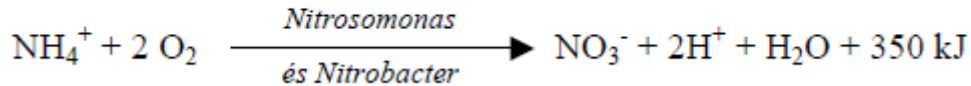
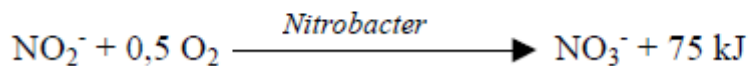
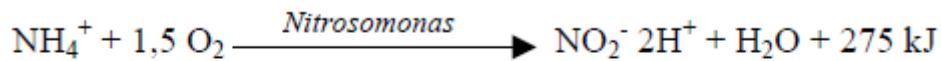
A befolyó szennyvízben a nitrogén különböző formákban van jelen: szerves nitrogén, ammónia nitrogén, nitrit-, illetve nitrát-ion. Az amino csoportot tartalmazó szerves vegyületek ammonifikációs lebontó folyamatok során ammóniává alakulnak. Mivel a szerves vegyületek bomlása már a csatornarendszerben elkezdődik, a beérkező szennyvízben lévő nitrogén túlnyomó része ammónia formájában van jelen. A baktériumok az ammóniából képesek asszimilálni a számukra szükséges nitrogént. [13] A következő ábrán a nitrogén körforgalma látható.



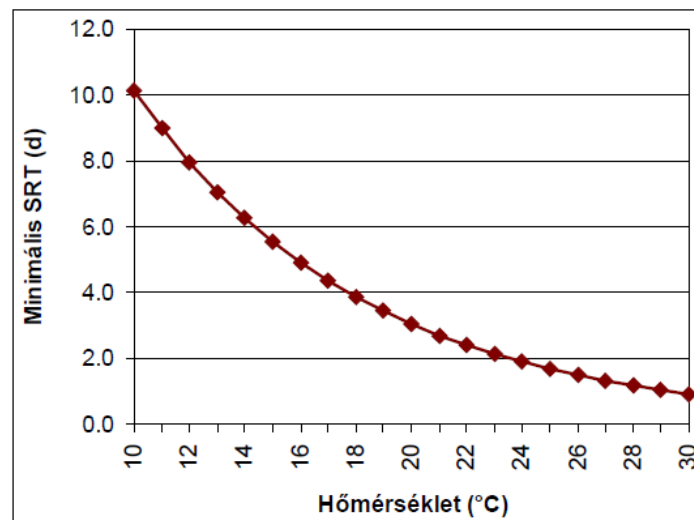
3. ábra: A nitrogén körforgalma

A többlet nitrogén eltávolítása nitrifikáció illetve denitrifikáció útján történik. A nitrifikáció során az ammóniából nitrát-nitrogén, a denitrifikáció során a nitrát-nitrogénből nitrogén gáz keletkezik.

A nitrifikáló baktériumok lassan szaporodó aerob autotróf mikroorganizmusok, melyek az ammóniát nitráttá oxidálják. A biológiai szennyvíztisztító rendszerekben ezt a feladatot alapvetően két csoport végzi: a *Nitrosomonas* és a *Nitrobacter* nemzetségek. [14]



A nitrifikáció folyamata során felszabaduló energia kicsi a szaporodási energiaszükséglethez képest, ezért csak kismértékű iszapszaporulatot eredményez. A megfelelő ammónia eltávolítás érdekében ezért fontos a nagyobb iszapkor fenntartása. Az 1. diagram a nitrifikáló baktériumok szakirodalmi maximális fajlagos növekedési sebessége alapján [15] mutatja be a nitrifikációhoz szükséges minimális iszapkort a hőmérséklet függvényében.

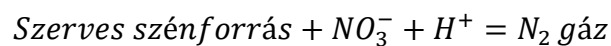


1. diagram

A nitrifikációhoz optimális pH tartomány 7,2-8 közötti. [16] Annak ellenére, hogy a nitrifikáció folyamata a pH-t csökkenti, a szennyvíz puffer kapacitása segít a megfelelő értékeken belül maradni. Az aerob medence ajánlott oldott oxigén koncentrációja 0,5-2,0 mg/l közötti. [17] Az aerob medencében végbemenő nitrifikáció érzékeny az oldott oxigén csökkenésre, a pH ingadozásra és a toxikus anyagokra.

A denitrifikáció során a nitrát molekuláris nitrogénné redukálódik. A folyamat során a nitrát vagy annak redukciós termékei szerves, vagy szervesetlen vegyületek oxidációjához terminális elektron-akceptorként szolgálnak. A megfelelő nitrát mennyiséget az aerob medencéből recirkulációval biztosítják. Anoxikus körülmények között megy végbe a folyamat, oxigén hiányban, nitrát jelenlétében. A denitrifikáló baktériumok fakultatívan aerob heterotróf szervezetek, melyek működéséhez szerves szénforrás szükséges. Mivel az oxigénnek metabolikus előnye van ezért oxigén jelenlétében nem, vagy csak elhanyagolható mértékben megy végbe denitrifikálás. [13]

A folyamat egyszerűsített felírása:



Szénforrásként elsősorban könnyen biodegradálható szubsztrátok alkalmasak denitrifikációhoz. 1mg/l nitrát nitrogén eltávolításához 2,86 mg/l KOI egyenértékű könnyen bontható szerves szubsztrát szükséges. [18] A denitrifikációt tehát javítja, ha nagy a $\frac{BOI}{KOI}$ arány, mert ebben az esetben nagy a felhasználható szerves szén mennyisége. A solymári szennyvíztisztító telepen is alkalmazott elődenitrifikáció előnye, hogy a biológiai medence elején, még nagy a szennyvíz szervesanyag tartalma, így elkerülhető a pót szénforrás adagolása. Ezenfelül az elődenitrifikációval eltávolított nitrogén szervesanyag felhasználása, csökkenti a levegőztetéssel bevitt oxigén igényét az aerob medencében végbemenő szervesanyag lebontáshoz.

A nitrogénformák eltávolítása a szennyvízből több ok miatt is fontos feladat. A redukált nitrogén vegyületek a nitrifikáció által többlet oxigén igényt jelentenek és az ammónia, ha nem disszociált (szabad ammónia) formájában van jelen, már kis koncentrációban (1mg/l) is halpusztuláshoz vezet. A nitrát ivóvízbázisokban problémát okoz és az összes szervesetlen formája növényi asszimiláció révén fokozza az eutrofizációt.

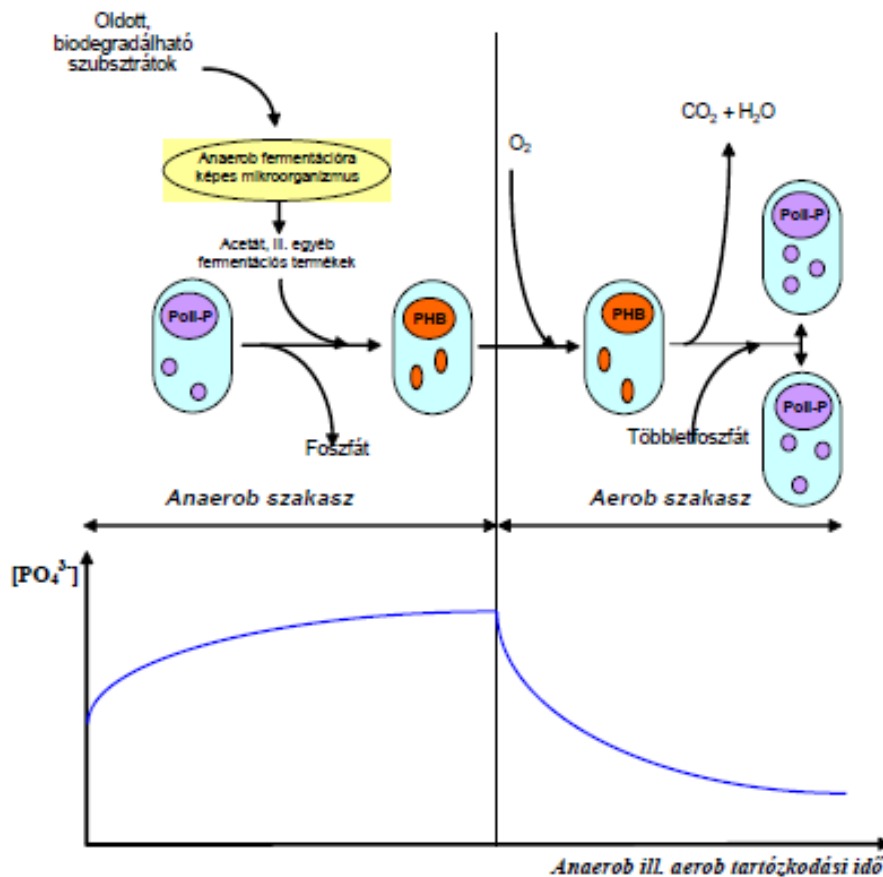
2.2.5. Foszfor eltávolítás

A foszfor eltávolításnak két formája használatos a szennyvíztisztításban, a kémiai és a biológiai eltávolítás. A foszfátiont kémiai úton kicsapatással vagy a foszfor biomasszába történő beépítésével, immobilizációjával lehet szilárd fázisba vinni.

A mikroorganizmusok sejtjeiben különböző formában található meg a foszfor. A sejt metabolizmusában vesz részt, fontos szerepet játszik az energiaátviteli folyamatokban és a bioszintézisben. A foszfor a sejt szárazanyag tartalmának átlagosan 2%-a. Egyes mikroorganizmusok azonban többletfoszfor felvételre is képesek, ezeket foszfor akkumuláló organizmusoknak (PAO- Phosphorus Accumulating Organisms) nevezzük. Szárazanyagra vonatkoztatott foszfortartalmuk a 7%-ot is elérheti. A többletfoszfátot sejtjeikben poli-foszfát formájában tárolják. Ezeknél a heterotróf szervezeteknél a poli-foszfát szintézise csak akkor lehetséges, ha megfelelő mennyiségű szervesanyag áll rendelkezésre. A szerves tápanyag oxidációjával nyert energiát a poli-foszfát kiépítésére használják fel.

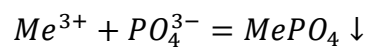
Ahhoz, hogy a többletfoszfor elraktározást előidézzük, stresszállapotot kell előidézni. Anaerob körülmények között a PAO-k az elraktározott intracelluláris polifoszfátok hidrolízisével energiát termelnek, miközben könnyen biodegradálható szubsztrátokat használnak fel és polihidroxibutirát (PHB) formájában raktározzák. Ebben a szakaszban a szennyvíz foszfor koncentrációja megnő. Ezután aerob környezetben a PAO-k lebontják a PHB-ot, hogy szintézishez és sejtosztódáshoz szükséges energiát fedezzék és elkezdik a foszfor elraktározását poli-foszfát formájában. Az elraktározott foszfor többszöröse az előzőekben leadottéhoz képest, ezáltal végeredményben csökken a szennyvíz foszfortartalma. [19]

A 4. ábra a biológiai foszforeltávolítás folyamatát mutatja be, az anaerob és aerob szakasz egyszerűsítetten leírt folyamatait, illetve a szennyvíz foszfát koncentrációját feltüntetve.



4. ábra: Foszfor eltávolítás folyamata

A foszforeltávolítás hatékonyságát a biológiai folyamatok mellett kémiai vegyszer alkalmazásával lehet növelni. A vízben oldott foszfát-iont valamilyen többértékű fémion segítségével vízben oldhatatlan csapadékká alakítják.



Jellemzően vas vagy alumínium sókat használnak erre a célra. A fémektől függően különböző pH tartományok kedveznek a hatékony kicsapathoz. A fém sók flokkuláló szerként is funkcionálnak mivel a keletkezett csapadék elősegíti a pehelyképződést és ezáltal az ülepedést.

Az alumínium tartalmú vegyszerek (pl.: polialumínium-klorid PAX) hatékonyan visszazorítják egyes habzást okozó fonalas baktériumok elszaporodását. Ennek érdekében ajánlott a vegyszert az anaerob vagy a levegőztető medencékbe adagolni. [20]

A szennyvizek foszfortartalma a befogadó élővizek szempontjából a legkritikusabb paraméterek közé tartozik, ugyanis a természetes vizekben a foszfor koncentrációja több nagyságrenddel alacsonyabb, mint a kommunális szennyvízben. Tavakban az elsődleges termelést leggyakrabban a foszfor hiány korlátozza, ezért a foszfor tartalmú szennyvizek

bevezetésével az algásodást elősegítjük. Tekintve, hogy minden folyóvíz előbb-utóbb egy állóvízbe torkollik, nem csak a tavakba történő közvetlen bevezetés vezet problémához.

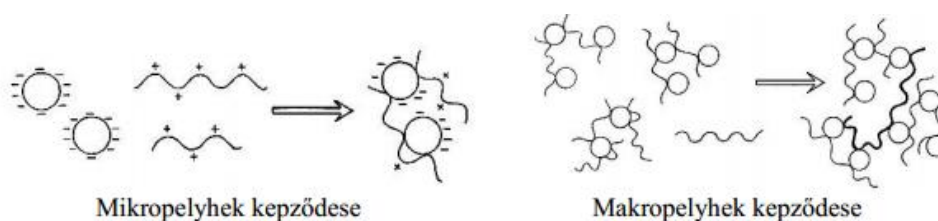
2.3. Iszapkezelés

Az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztításban alapvetően kétfajta iszap keletkezhet. Az előüleptetés során primer-, nyersiszap és az utóülepedés során keletkezett szekunder-, főlősiszap. A nyersiszap a víznél nagyobb sűrűségű 2-3% szárazanyag tartalmú, könnyen rothasztható iszap. Durva-, és szálás anyagok alkotják, 4-5%-ra besűríthető. A főlősiszap szárazanyagtartalma 1-1,5% ez nehezebben sűríthető 3-4%-ra főleg szilárd lebegőrészecskéket tartalmaz.

Az iszapkezelésnél a hatékony térfogatcsökkentés a cél, a szilárd fázisba vitt szennyezőanyagokat minél kevesebb víztartalommal kell eltávolítani a rendszerből. Ez költséghatékonyság szempontjából is fontos, mivel a tisztítás során végtermékként elszállításra kerülő víztelenített iszap szállítási költsége rendkívül magas.

Az iszapot rendszerint először valamilyen sűrítőbe vezetik, ami lehet gravitációs, flotációs vagy centrifugálásos sűrítő. Ha szükséges az iszapot stabilizálják, mivel könnyen elkezd rothadni, ami kellemetlen szagú és fertőzésveszélyes. A stabilizálás történhet kémiai vagy hőkezeléssel, illetve aerob vagy anaerob lebontással. Az iszapot a víztelenítés előtt kondicionálják kémiai úton vagy hőkezeléssel. Erre a célra például mész, vasklorid vagy valamilyen polielektrolit szolgál. A víztelenítés történhet szűréssel, centrifugálással, vagy szikkasztóágyakban. [21]

A polielektrolit egy hosszú láncú vízoldható polimer, amely sok pozitív töltésű csoportot tartalmaz. A szennyvíz iszap egy kolloid rendszer melyben egymást taszító negatív felületi töltésű szilárd anyagok találhatók. A polielektrolit hosszú molekulája a szilárd részecskéket abszorbeálja így mikropelykeket alkot. A polimer molekula szabad részei hidat képeznek a kisebb egységek között, ez hálósodást, tömörödést eredményez. [22]



5. ábra: Pehelyképződés folyamata

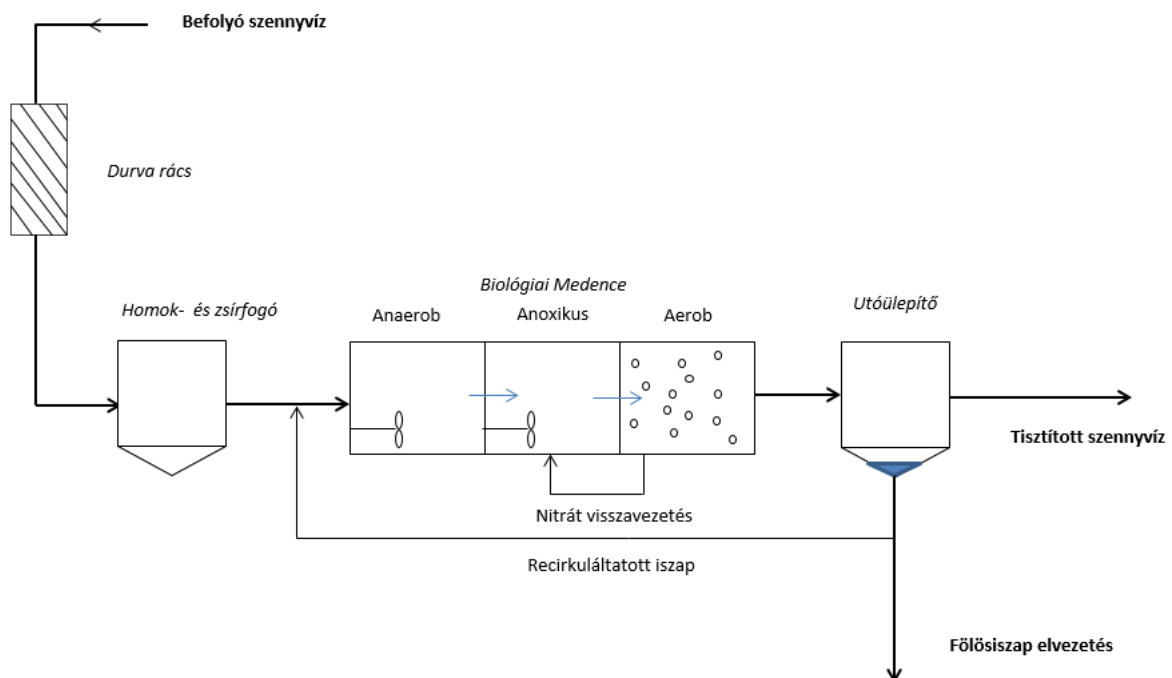
[21]

3. A Solymári szennyvíztisztító telep technológiájának leírása

A telep Solymár nagyközség és Pilisszentiván község szennyvizeit fogadja és tisztítja eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítási technológia alkalmazásával.

A szennyvizet a környéki átemelők juttatják el a telepre. A telepre szippantott szennyvíz is érkezik. Az átlagos napi befolyó szennyvíz 1642 m³/nap, emellett évente közel 8000 m³ szippantott szennyvíz érkezik a telepre. A névleges kapacitása 2400 m³/nap így a telep hidraulikai kihasználtsága körülbelül 70%-os.

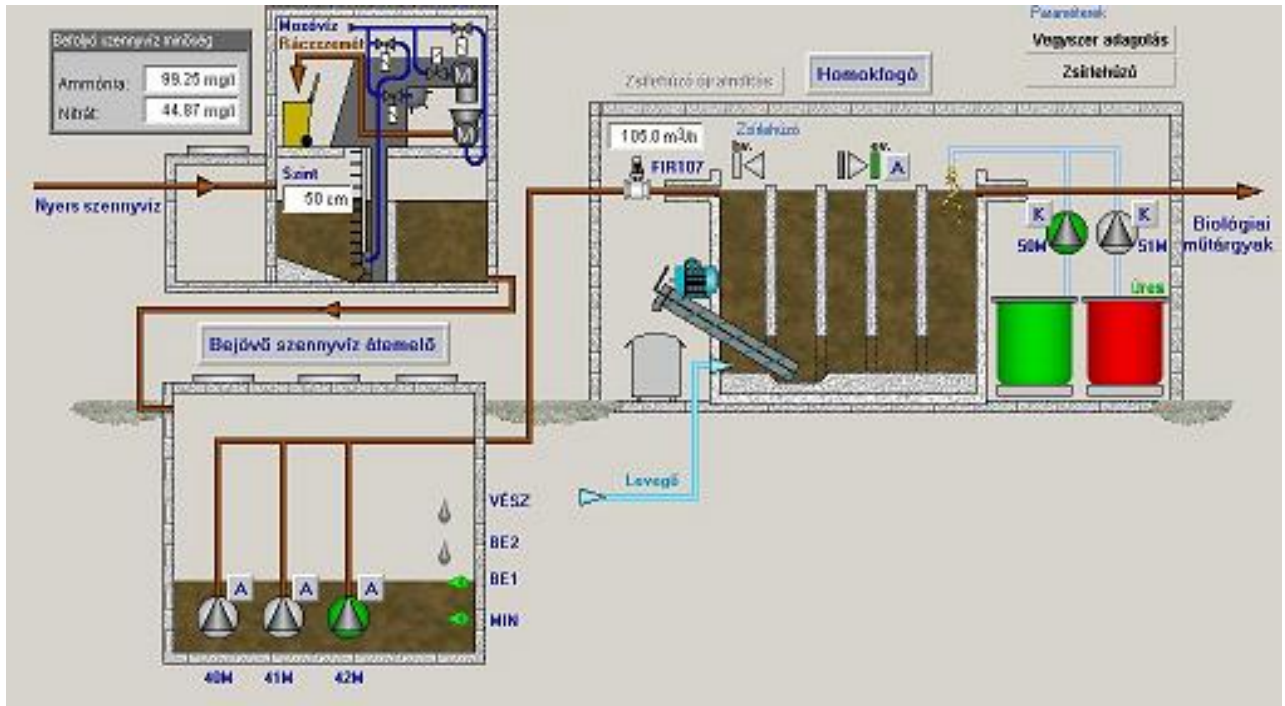
A beérkező szennyvíz tisztítási mechanizmusa két fő szakaszra bontható. Az elsődleges mechanikai tisztítás során a nagyobb szennyező anyagokat egy durva rácsszűrő fogja fel. A kisebb mechanikai szennyezőket és a vízben nem oldódó zsírokat és olajokat a homok- és zsírfogó medencében távolítják el. Ezután a második szakaszban a biológiai tisztítás következik. Ennek feladata a szervesanyag, nitrát és foszfát eltávolítása a mikroorganizmusok által. A biológiai egység az eleveniszapos medencéből és az utóülepítőből áll. Az utóülepítőben történik a tisztított szennyvíz és az iszap elválasztása. Ezután a tisztított szennyvíz a befogadóba engedhető.



6. ábra: A szennyvíztisztítás folyamatábrája

3.1. Mechanikai tisztítási szakasz

A szennyvíz kezelés első lépése a szilárd szennyezések eltávolítása. Ennek a résznek a szerepe az, hogy a biológiailag nem bontható szennyezőket eltávolítsa és a rendszer műtárgyait óvja a mechanikai terheléstől, ami dugulást, meghibásodást vagy rövidebb élettartamot okozhat.



7. ábra Mechanikai tisztítás folyamatábrája

Az áttemelők útján beérkező szennyvizet először egy gépi rácsszűrőn vezetik át. Mikor a rácsnak - a szennyezőanyagok fennakadása miatt - megnő az ellenállása és a vízszint megemelkedik, a vépszint elérésekor a rácsforgató motor bekapcsol. A víz útjába a rácstiszta része kerül, a szennyezett részt pedig vízszög megtisztítja.



1. kép: Rácsszűrő

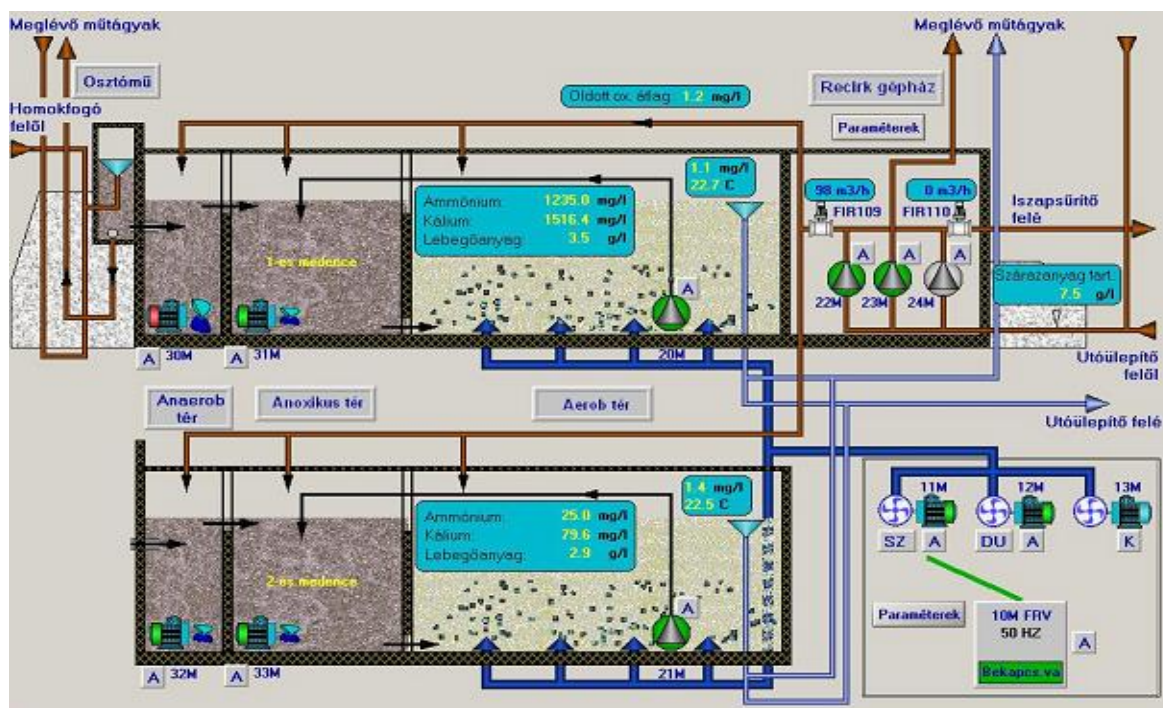
Innen a szennyvizet egy átemelő segítségével a homok- és zsírfogó medencébe vezetik. Itt a szemcsés anyagok leülepednek a medence alján lévő zsompba, ahonnan egy gépi csiga eltávolítja, majd hulladékként elszállításra kerül. A vízben nem oldódó zsírok és olajok flotálás segítségével kerülnek elválasztásra. A vízben keletkező buborékokra abszorbeálódnak a zsírok és olajok, majd a sűrűségkülönbség hatására felúsznak a víz felszínére, ahonnan ezt a habot szintén elszállítják.



2. kép : Homok- és zsírfogó medence

3.2. Biológiai tisztítási szakasz

A telepen a három lépcsős Phoredox eljárást alkalmazzák. [23]

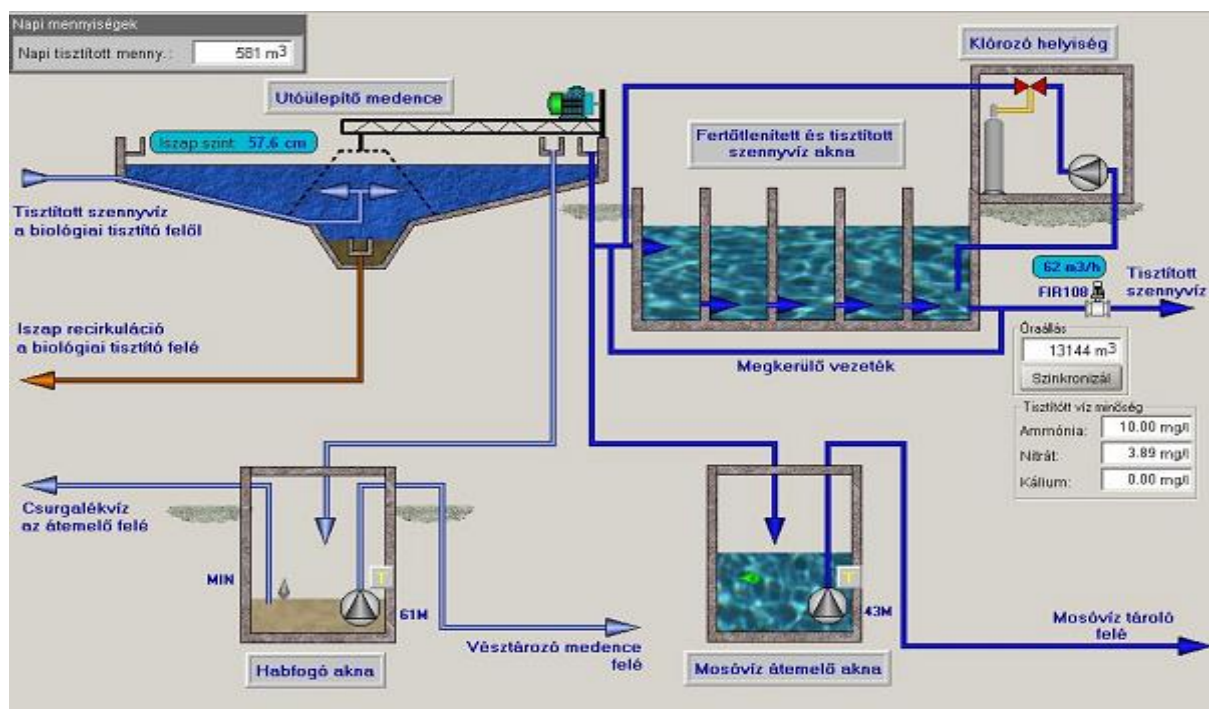


8. ábra: Biológiai tisztítás folyamatábrája

Az anaerob medencében történik a foszfor leadása. Azért van a folyamat elején mert itt még sok a könnyen bontható szervesanyag mennyisége, amit felhasználhatnak a PAO-k. Az anoxikus medencében zajlik az elődenitrifikáció, melynek szintén nagy a szerves szénforrás igénye és a folyamathoz szükséges nitrátot az aerob nitrifikáló medencéből recirkuláció útján pótolják. A harmadik lépcső a levegőztetett medence, ahol a fokozott foszforfelvétel, a nitrifikáció és a szervesanyag lebontásának túlnyomó része zajlik. Az utóülepítőből recirkuláltatott biomassza szerepe, hogy megakadályozza a mikroorganizmusok kimosódását, így a rendszert visszaoltják, és ezzel növelik a szennyezőanyagok eltávolításának hatásfokát.

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás két párhuzamosan futó, kaszkádszerű reaktorrendszerben történik. A hatékonyabb foszforeltávolítás érdekében a biológiai eltávolítás mellett kémiai foszfor kicsapást is alkalmaznak. A biológiai vonal elején az osztóműbe polialumínium-kloridot adagolnak, mely az oldott foszfáttal oldhatatlan alumínium-foszfát (AlPO₄) csapadékot képez.

Az utolsó lépés, az utóülepítőben, a tisztított víz és az iszap szétválasztása történik.



9. ábra: Tisztított szennyvíz útjának folyamatábrája

Az aerob medencéből az eleveniszapos víz egy Dorr-típusú utóülepítőbe kerül, ami egy kúpos fenekű hengeres tartály, ahol az iszap leülepszik és a kotró lapátok az ülepítő alján lévő zsompba terelik azt. A zagy betáplálása a tartály közepén történik, ahonnan sugár irányú átfolyás után a tisztított folyadék átbukik a paláston és az elvezető csatornán keresztül távozik. A tartály aljában közepén, a zsompba összegyűlt iszap recirkuláció útján visszakerül a biológiai tisztító műbe, a fölösiszapot pedig az iszapsűrítőbe vezetik.

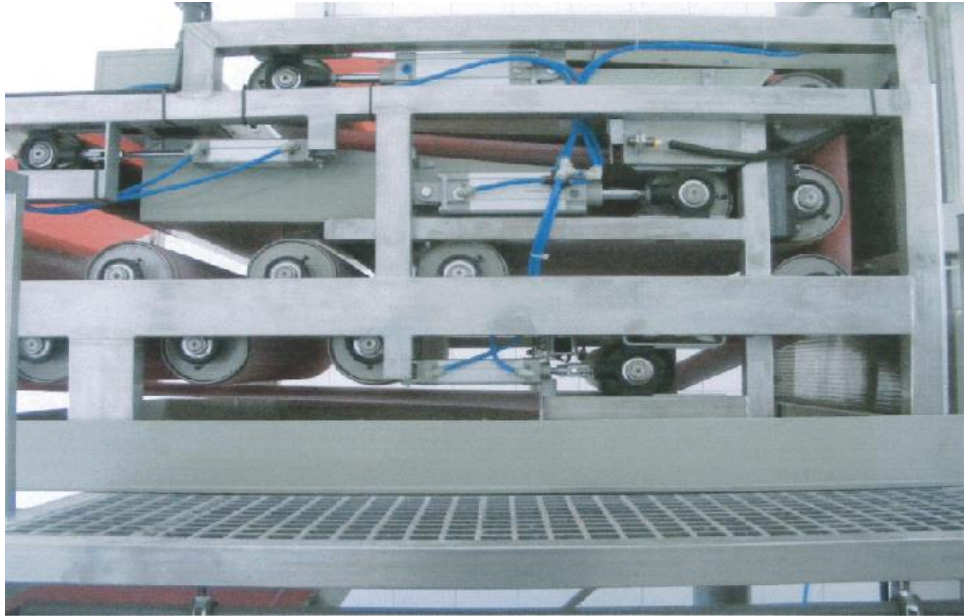


3. kép: Dorr-típusú ülepitő

A tisztított szennyvíz a klórozó medence felé folyik, ahol szükség esetén a szennyvíz fertőtlenítése történik. Amennyiben az ÁNTSZ nem rendeli el a fertőtlenítést, a víz a medencét megkerülve az Aranyhegyi-patakba folyik.

Az elfolyó szennyvíz minden előírt határértéknek megfelel (a telepvezető beszámolója alapján), ami azt igazolja, hogy a biológiai folyamatok megfelelően működnek. Megfigyeléseim alapján azonban, esetenként nagyobb mértékű habzás tapasztalható a biológiai medencében, és felúszások az utóülepitőben. Ezek a jelenségek a nem megfelelő iszapkor beállítások miatt jelentkezhetnek. A habzást például okozhatja, a fonalas baktériumok elszaporodása, a felúszást pedig a spontán denitrifikáció, ami rontja a tisztított szennyvíz minőségét, mivel növeli az elfolyó foszfor és nitrogén mennyiséget.

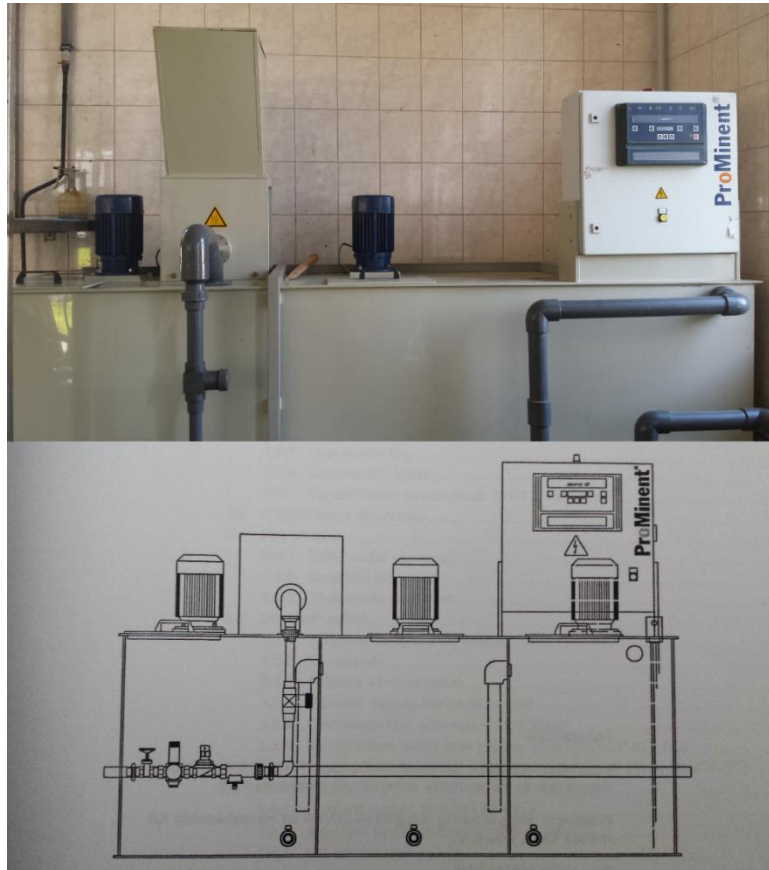
Az iszap útja a sűrítőből egy tározóba majd a gépi víztelenítőbe vezet. Erre a célra egy szalagprést használnak.



5. kép: Szalagprés [24]

A szűrő egység két részből áll, egy alsó és egy felső szűrőszalagból, melyek közös keretre vannak felfeszítve. Az iszapot a szalagok közé vezetik, ahol a kapilláris vizet statikus erőhatással távolítják el. Irodalmi adatok szerint ezzel a módszerrel akár 15-25%-os szárazanyag tartalmú préselt iszap is elérhető. Ahhoz, hogy a préselés hatékonyan működjön a sűrített iszaphoz flokkulációszerként polielektrolitot adagolnak.

Az iszaphoz kevert vegyszer polielektrolit por vizes oldata, melyet a képen látható berendezés állít elő. A port egy csigás porkihordó adagolja az oldóvízhez az első tartályba, melyek aránya a beállított koncentrációtól függ. A második tartály az oldat érlelését biztosítja, a harmadikból történik a vegyszeroldat adagolása. Minden tartály rendelkezik vegyszerkeverővel. A vegyszer és az iszap keverése a flokkulátorban történik, ezután vezetik a szűrőprésszalagra. A polielektrolittal történő pelyhesítés nagyon gyors folyamat, egy lassú bekeverés után a folyamat pillanatszerűen lejátsszódik. A szükséges fajlagos polielektrolit igény nagyságrenddel, rendekkel kisebb, mint a szervesetlen koagulációszer esetében.



6. kép: Vegyszer oldó-adagoló berendezés

A présvíz szintén visszakerül a folyamat elejére. A gépi szalagprésből kikerülő préselt iszapot 8 m³-es konténerekbe gyűjtik és elszállítják.



7. kép: Szalagprés

4. Működési problémák feltárása és célkitűzés

Nyári gyakorlatom során végzett méréseim alapján megállapítható volt, hogy a sűrített és préselt iszap szárazanyag tartalma messze a szakirodalmi érték alatt vannak. Az iszapkezelés hatékonysága mind gazdaságilag, mind környezetvédelmileg fontos. Az üzemeltetési költségek egy jelentős részét a préselt iszap elszállítása teszi ki. Célunk, hogy minél inkább le tudjuk csökkenteni a tisztított szennyvíztől elválasztott biomassa térfogatát. Ennek megvalósításához a sűrítő hatékonyságát növelni kell és a sűrített iszaphoz adagolt flokkulálószer mennyiségét optimalizálni szükséges.

A probléma elsődleges forrása a sűrítő rossz hidraulikai kialakítása volt. A gravitációs sűrítő feladata az iszap ülepedése és dekantálása. Mivel a sűrítőre az iszapot a műtárgy tetején vezették rá, a bevezetés függőleges iránya és a befolyó iszap belépési sebessége akadályozta az ülepedést. Emiatt a sűrítő alig töltötte be a funkcióját, az iszapprésbe vezetett iszap szárazanyagtartalma csaknem egyenlő volt az elvett fölősiszapéval. A probléma megoldására a bevezető cső meghosszabbításával és a végére tett terelőlemezzel kedvezőbb áramlási körülményeket alakítottak ki.

A sűrített iszap szárazanyag tartalmának további növeléséhez optimalizálni kell a présgép beállításait illetve az iszaphoz adagolt vegyszeres oldat mennyiségét és koncentrációját.

Célom az átalakított sűrítő hatékonyságának a vizsgálata és az iszap víztelenítés legkedvezőbb paramétereinek megállapítása. A vizsgálati módszereket, az elvégzett átalakítást és az elért eredményeket az 5. fejezetben ismertetem.

Végül megvizsgálom, hogy az elérhető szárazanyag tartalom függvényében hogyan alakul a préselt iszap mennyisége, és ez a csökkentett iszap mennyiség milyen megtakarítást jelenthet a kiadásokban.

5. Az iszap szárazanyag tartalmának növelése

5.1. Alkalmazott vizsgálati módszerek

A szárazanyag tartalom méréseket a szennyvíz telep laboratóriumában egy Kern MLB 50-3 típusú szárazanyag tartalom mérő műszerrel végeztem.



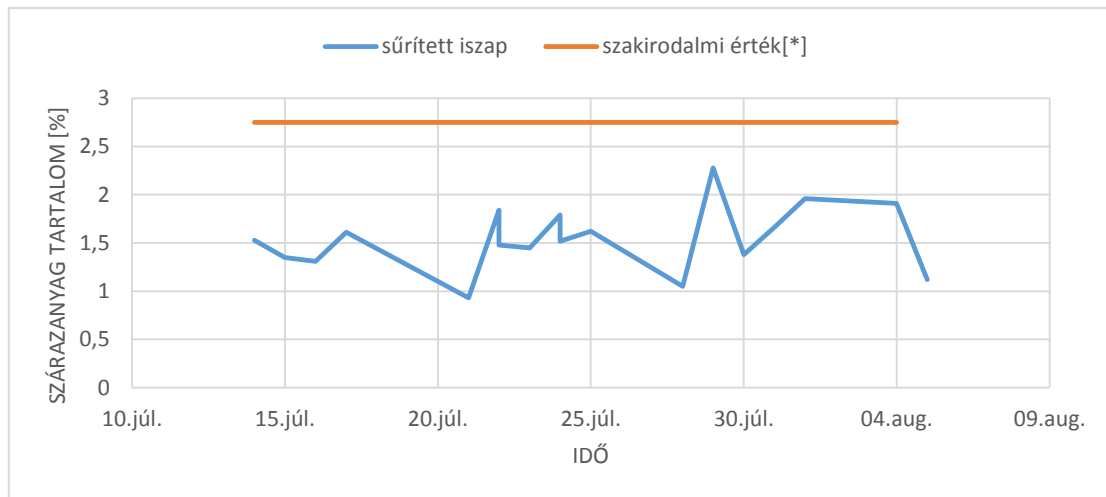
8. kép: Kern MLB 50-3 mérőműszer

A műszert egy 400W teljesítményű halogén kvarcüveg fűtő forrósítja fel 130°C-ra. A kijelzőn nyomon követhető a hőmérséklet, mérési idő és a szárazanyag tartalom tömegszázalékban. A készülék mérési határa 50g és a felbontása 0,001g.

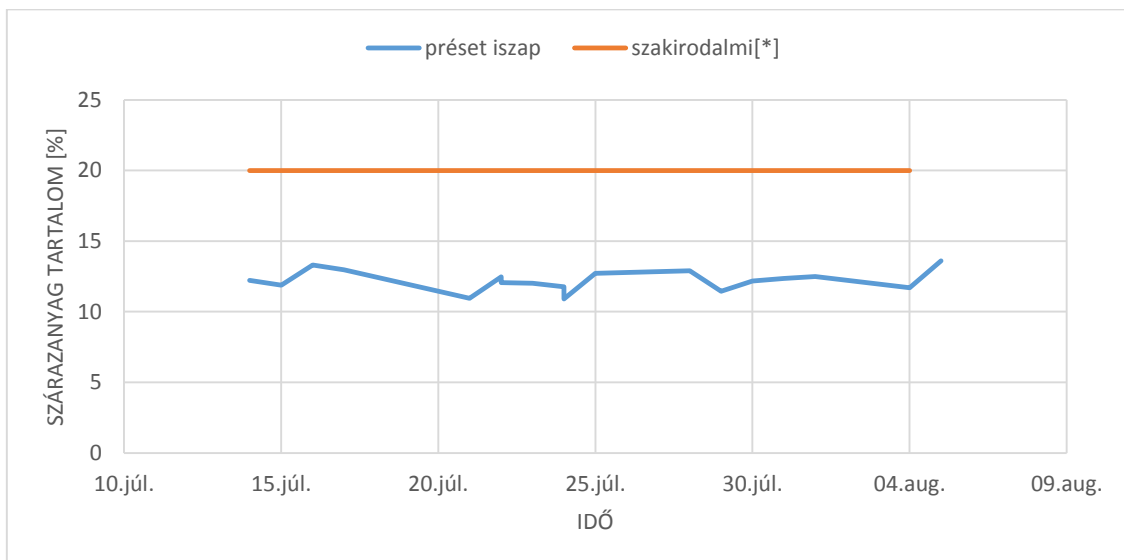
A méréshez szükséges sűrített iszapmintát az iszaptározóból, a préselt iszap mintát a prészalag végéről vettem.

5.2. A vizsgálat folyamata

A nyári gyakorlatom során három héten keresztül naponta mértem a sűrített és préselt iszap szárazanyag tartalmát. A mérésorozat rávilágított az iszap víztelenítés alacsony hatásfokára. Ez a mérésorozat adja a viszonyítási alapot a javítások értékeléséhez.



2. diagram: sűrített iszap szárazanyag tartalma



3. diagram: préselt iszap szárazanyag tartalma

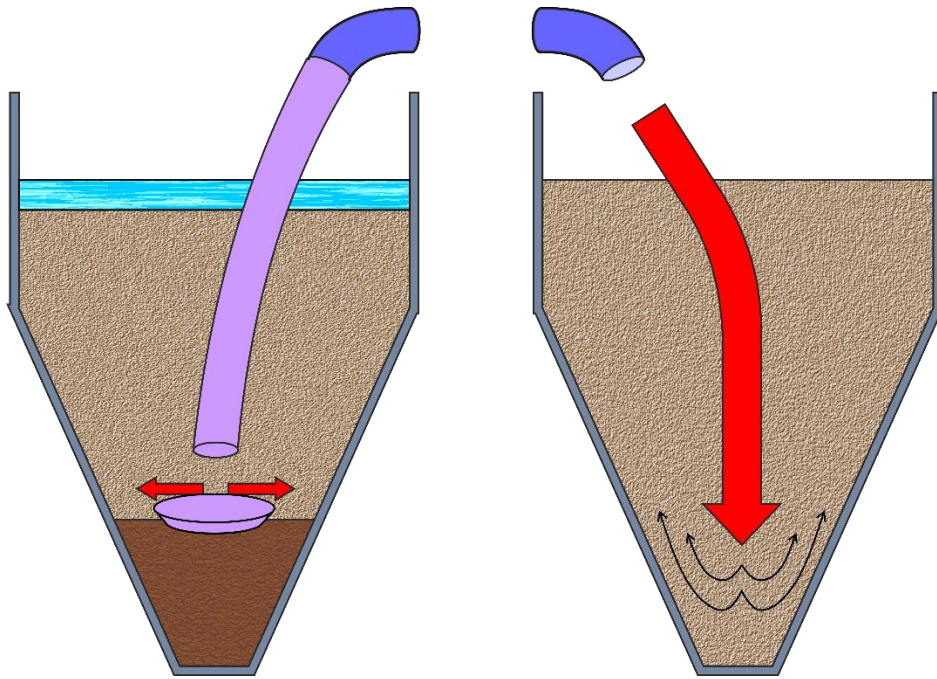
A probléma feltárása utáni következő lépés az iszapsűrítők átalakítása volt. Az utóülepítőből elvett iszap sűrítésére két 30 m³-es gravitációs elven működő tölcéses sűrítő szolgál. A

műtárgyak belsejében dekantáló csővel lehet az ülepedés során elválasztott vizet elvezetni. Amint a képen is látható, az iszap bevezetése a műtárgy tetején történt.



9. kép: Iszapsűrítő régi bevezetése

Emiatt a tervezési probléma miatt, a sűrítő nem tudta betölteni a funkcióját, mivel a belevezetett iszap felkavarta az alsóbb rétegeket, így megakadályozta az ülepedést. Az új koncepció szerint, a cső meghosszabításával a bevezetést az iszapszint alá – az egyik sűrítőben 2,5 a másikban 1,5 méter mélyen - a sűrítő közepére helyeztük át, ezzel csökkentve a beérkező iszap sebességét. A még nagyobb hatékonyság érdekében egy terelő lemezt helyeztünk a bevezetés alá, így az iszap, sugár irányú kifolyása miatt kevésbé keveredik össze az alatta lévő leülepedett réteggel. A dekantáló cső használata helyett a túlfolyót alkalmazzuk a csurgalékvíz elvezetésére. A tartály megtelése után az időszakos (jelenleg félóránként 3-4m³) iszapelvétel beleengedésével a tetején maradt víz túlfolyik. Így a rendszer önmagát dekantálja nem kell külön csővel leereszteni a vizet. A következő képen a sűrítő új felépítésének vázlata látszik a régivel szemben.



11. ábra: Sűrítő átalakítása

Ezt a változtatást 2014. szeptemberében sikerült kivitelezni mindkét sűrítő tartályon. További beavatkozást igényelt az ülepedés után maradt víz eltávolítása a sűrítő tetejéről. Mivel a túlfolyó eredetileg csak vészhelyzet esetére lett kialakítva, egy közel fél méter mély betonfal visszatartja a tetején lévő víz egy részét. A víz elvezetését a közepre erősített dekantáló csővel oldottuk meg, a vízréteg magasságába lett rögzítve és folyamatos lefolyást biztosít mikor megemelkedik az iszapszint.



10. kép: Sűrítő átalakított bevezetéssel

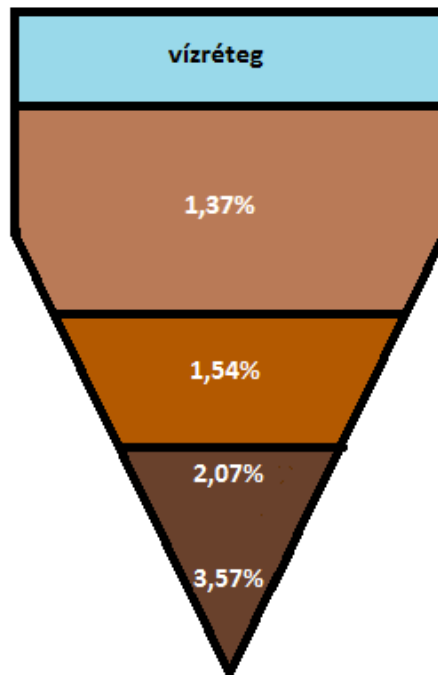
A sűrített iszap minőségének javítása után a gépi víztelenítés hatásfokának javítási lehetőségeit vizsgáltuk. Elsősorban az iszaphoz adagolt vegyszer mennyiségét állítottuk be. Töményebb vegyszer oldatot hoztunk létre, melyből az eddiginél kevesebbet szükséges az iszaphoz adagolni. A flokkulátorba adagolt iszap és vegyszeroldat mennyiségét a szivattyúk frekvencia beállításával szabályoztuk. A beállított Hertz arányos a szállított térfogatárammal. További méréseket végeztünk a préselt iszaptermék vastagsága és szárazanyag tartalma közti összefüggésre. Korábban a szalagról, mint az a 7. képen is látható a préselt iszap darabokban jött le. A présgép beállításával arra törekedtünk, hogy a présből távozó termék szőnyegszerű, összefüggő és vastag legyen. Az így kapott préselt iszap szárazanyagtartalma nagyobb, mivel az összefüggő, sűrű pelyhes szerkezetű iszap több vizet tud magából kiszorítani és a végtermék tömörebb lesz.



11. kép: Összefüggő préseltiszap-termék

5.3. Eredmények és következtetések

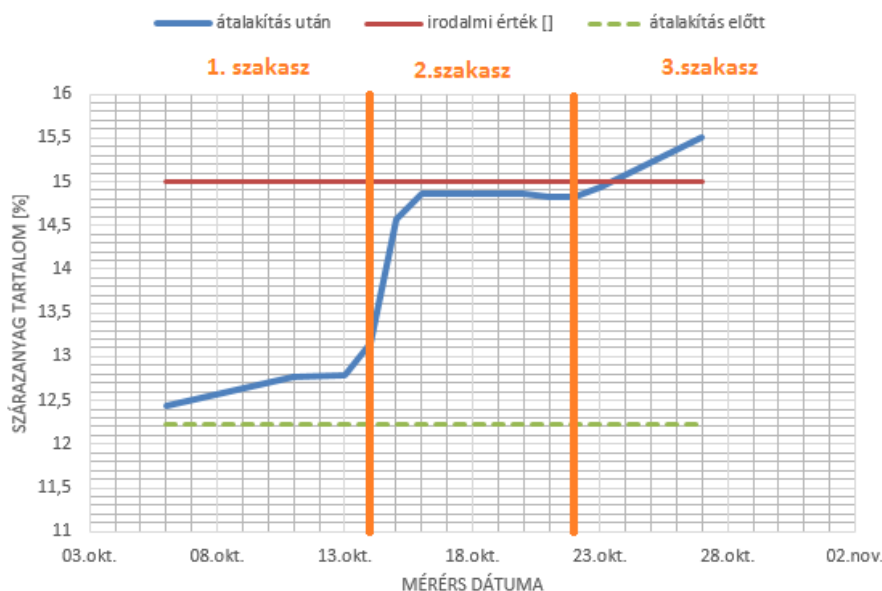
A sűrítő átalakítását követően egy leeresztés alkalmával több mintát is vettünk az iszapból és ezek alapján következtettünk a tartályban kialakuló rétegek sűrűségére.



12. ábra: Sűrítő tartály rétegződése

Az átalakítás előtt a sűrített iszap szárazanyag tartalma átlagosan csak 1,54% volt. Szakirodalmi adatok szerint ennek az értéknek 2-3,5% között kell lennie. A legkedvezőbb az, ha a párhuzamosan üzemeltetett sűrítők fenéktermékének csak a legsűrűbb részét engedjük az iszaptározóba, ami megközelítőleg kétszer 13m^3 . Ennek a sűrű iszapnak a szárazanyagtartalma méréseim szerint átlagosan 2,82%. Korábban a sűrítő tartályok használata rendszertelen volt és a hatékonysága elhanyagolható. A feltöltött tartályok meghatározatlan ideig (3-12 órát) álltak kezelés nélkül, majd a dekantáló csővel leengedték róla a vizet és átvezették a tárolóba. Az új koncepció szerint az iszapelvétele jelenleg fél óránként $3-4\text{ m}^3$, amivel szimultán töltik mindkét sűrítőt. Ha sűrítők megteltek, akkor a sűrítőbe érkező elvétellel dekantálódnak. Megközelítőleg a tartályban az iszap tartózkodási ideje 12 óra.

A préselés folyamatának optimalizálásánál több paramétert is figyelembe kellett venni. A legkedvezőbb beállítás megtalálását a végtermék szárazanyagtartalmának növekedése jelezte.

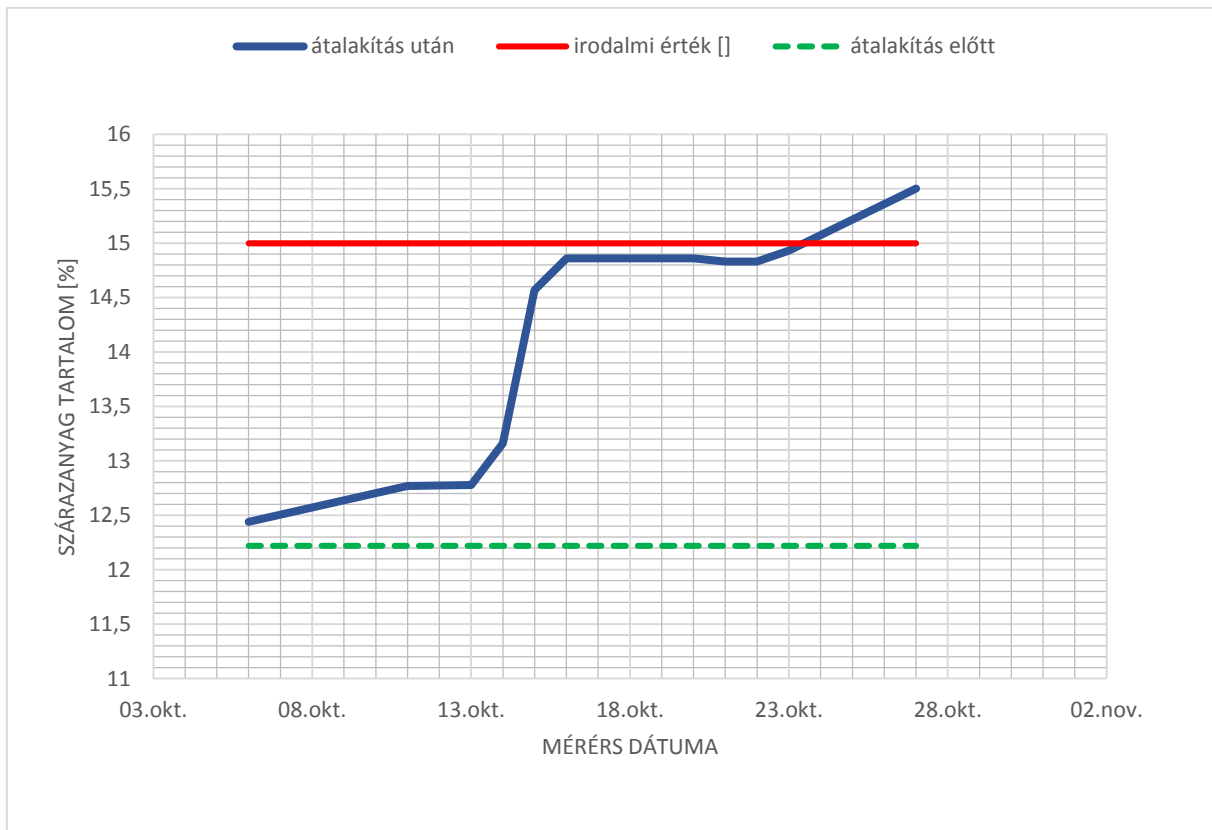


4. diagramm: Eredmények szakaszos felbontása

Az első szakasz a vegyszer koncentrációjának növelése volt. A régi beállítást, 0,05%-ot megnöveltük 0,2%-ra.

A második szakaszban a vegyszer és az iszap adagolásának térfogatáramát változtattuk meg. A tapasztalat szerint polielektrolit oldat legjobb hatását akkor lehet elérni, ha a töményebb vegyszerből kevesebbet adunk hozzá (10,1Hz) viszont több iszaphoz keverjük (30-40Hz az iszap minőségétől függően). A kedvező az, ha az iszap és a vegyszer keveredése során a lehető legtöbb polimer beépül az iszap szerkezetébe és elválk a víztől. A megfelelő beállítással így a szalagprés elején az elővíztelenítő szalagról elfolyt víz közel vegyszermentes. Ezeket a paramétereket korábban minden dolgozó saját belátása szerint állította be a préseléshez. A problémát a prészalag túlterhelése okozta, mivel a korábbi híg iszap víztartalmát nem tudta kellőképp eltávolítani.

A harmadik szakaszban a cél a préselt iszaptermék vastagítása volt. Az iszapfeladás növelésével és az alsó prészalag lassításával sikerült elérni a jobb minőségű préselt iszapot. Ennek az összefüggő (kb. 1cm vastag) végterméknek a szárazanyagtartalma már meghaladja a 15%-ot. Sikerült a kiindulási 12%-os szárazanyagtartalmat 25%-ával megnövelnünk.



4. diagramm: A préseltiszap szárazanyagtartalmának növekedése

Ezzel az átalakítással az üzemeltetés is könnyebbé tehető. A sűrítők sokkal több elvezetett iszap sűrítésére alkalmas egy periódusban külső beavatkozás nélkül és végeredményben sűrűbb iszapot kapunk melynek szárazanyagtartalma kedvezőbb. A sűrítők párhuzamos feltöltése után, mindig a két műtárgy alján lévő legsűrűbb iszapot kell elvezetni az iszaptározóba így a felsőbb rétegeknek lesz idejük tovább ülepedni. A préselés ideje is rövidebb, így a gépek működési idejének csökkenésével nő az élettartamuk, az elektromos áram felhasználás is csökken, és kevesebb mosóvíz kerül visszavezetésre a szennyvíztisztító rendszerbe.

5.4. Várható megtakarítás számítása

Nemcsak környezetvédelmi szempontból fontos a termelt iszap-hulladék térfogat csökkentésének maximalizálása, hanem gazdasági szempontból is. A préselt iszap elszállításáért havonta körülbelül másfél millió forintot fizet az üzemeltető. A rendelkezésemre álló számlák és mérési adatok alapján közelítő számítást végeztem a szárazanyag tartalom növelésével elérhető megtakarításra.

Korábbi iszap adatai: $V = 1008 \text{ m}^3/\text{félév}$, $\rho = 960 \text{ kg/m}^3$, $m/m\% = 12,22\%$

Elszállított termék tömege:

$$m = \rho \cdot V \rightarrow 960 \text{ kg/m}^3 \cdot 1008 \text{ m}^3 = 967680 \text{ kg}$$

mivel az iszap 12,22 tömegszázalékos a szárazanyag tartalma,

$$967680 \cdot 0,1222 = 118250 \text{ kg}$$

a fennmaradó tömeg víz:

$$967680 - 118250 = 849430 \text{ kg}$$

Feltételezzük, hogy a telep szárazanyag termelése állandó, ebben az esetben a 15%-os iszappal elszállítandó szárazanyag szintén 118250 kg, csak a víz mennyisége csökken.

A 15% szárazanyag tartalmú iszap össztömege egy félévben: $\frac{118251}{15} \cdot 100 = 788333 \text{ kg}$

Az új elszállítandó tömegben a víz mennyisége már csak:

$$788333 - 118250 = 670083 \text{ kg}$$

Az iszapban kötött víz mennyiségének csökkenése a szárazanyag tartalom növekedésével:

$$849430 - 670083 = 179347 \text{ kg}$$

Mivel a víz sűrűsége ismert kiszámolható, hogy az elszállítandó víz különbség hány m^3 :

$$\frac{179347 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 179 \text{ m}^3$$

Az elszállítás ára 9843 Ft/m^3 , vagyis a megtakarítás egy félév során:

$$179 \cdot 9843 = \mathbf{1\ 761\ 897\ Ft}$$

7. Összefoglaló

Napjainkban a környezetvédelem és környezettudatosság térhódítása minden iparágban egyre szigorúbb megkötések ír elő. A szennyvíztisztítás technológiája folyamatos fejlődésben lévő tudomány, ami igyekszik a tisztítás feladatát úgy ellátni, hogy minél kisebb környezeti terhelést okozzon. Mivel a szennyvíztelepek jórészenek üzembe helyezése óta sok előírás szigorodott, fontos, hogy a meglévő technológiákat lehető legjobb módon használjuk. Kisebb átalakítások és az üzemeltetés megfelelő szabályozása sokat javíthat a telep tisztítási hatékonyságán illetve költséghatékonyságán.

A Solymári Szennyvíztisztító Telepen végzett méréseim is ezt támasztják alá. Az iszapsűrítőben végzett kisebb átalakításokkal és az iszappréselés beállításának optimalizálásával sikerült hatékonyan csökkentenünk a préselt iszap-hulladék termelést és könnyítenünk az ehhez kapcsolódó üzemeltetési feladatokat. Mivel a préselt iszap kezelésére (rothasztás, égetés) helyben nincs lehetőség, ezért elszállításra kerül melynek költsége igen magas. Az elszállítási költségek csökkentése mellett a karbantartási javítások sűrűsége is csökken, mivel az új koncepció jobban kíméli az iszapvíztelenítő rendszert.

További vizsgálatok elvégzésével még magasabb szárazanyag tartalom érhető el. Ehhez szükséges az iszapkor és hőmérséklet összefüggésének vizsgálata, a fölősiszapelvétel módjának és mennyiségének vizsgálata, valamint a jelenlegi két különböző mélységű iszapsűrítő bevezetés összehasonlítása.

Véleményem szerint, a jól működő szennyvíztisztító telepek megfelelő áttekintéssel és vizsgálatokkal még jobba tehetők. A kísérletekre fordított idő és az esetleges beruházásokra fordított pénz megtérül, emellett a vízkincs védelmét szolgálja.

Irodalom jegyzék

1. Szennyvízcsatorna és tisztítótelep építése:
http://www.solymar.hu/tortenet/adalekok/241_szennyvizcsatorna.html
2. 2011. évi CCIX. törvény a víziközmű-szolgáltatásról
3. EU Víz Keretirányelv: <http://www.euvki.hu/>
4. Magyarország Vízyűjtő-gazdálkodási Terve 2009
5. 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet 2. számú melléklet
6. Bodáné Kendrovics Rita (2012): Vízminőség-védelem gyakorlati oktatási metodika fejlesztése a műszaki felsőoktatásban (az Aranyhegyi-patak vízminőségi vizsgálatának példáján) PhD disszertáció, NyME, Sopron
7. 2003. évi LXXXIX. törvény 2. sz. melléklete
8. Kárpáti Árpád: Eleveniszapos szennyvíztisztítás fejlesztésének irányai I-II.
9. Sevela, B.: Biomérnöki műveletek és folyamatok, Műegyetem kiadó, Bp, 1998.
10. http://www.vkkt.bme.hu/feltoltesek/2012/11/szvkc3%20B6rnytechn_3_2012.pdf
11. Szabó Anita: Foszfor eltávolítás és a biológiai szennyvíztisztítás intenzifikálása kémiai előkezeléssel, Doktori (PhD) disszertáció, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Víz- és környezetmérnöki alprogram, 2006.
12. Virtuális mérnöki szakkör: <http://www.handout.hu/szakkor/szerves.html>
13. Grady C.P.L., Daigger G.T.: Biological Wastewater Treatment: Theory and Application, 2. Edition, Marcell Dekker, Inc., New York 1999.
14. Focht D.D., Verstraete W. (1977) Biochemical ecology of nitrification and denitrification, Advanced Microbiological Ecology, I.
15. Painter H.A., Loveless J.E. (1983) Effect of temperature and pH value on the growth-rate constants of nitrifying bacteria in the activated-sludge process, Water Research 17.
16. Quinlan A.V. (1984) Prediction of the optimum pH for ammonia-N oxidation by Nitrosomonas Europaea in well-aerated natural and domestic wastewaters, Water Research, 18.
17. Dulovics Dezső (2007): Kis- és közepes szennyvíztisztító rendszerek, Akadémia Eur Kft. Kiadó Bp.,.
18. Henze M. (1986) Nitrate versus oxygen utilization rates in wastewater and activated sludge system, Water Science and Technology 18.

19. Maurer, M., Gujer, W., Hany, R. and Bachmann, S. (1997): Intracellular carbon flow in phosphorus accumulating organisms from activated sludge systems, *Water Research*, 31.
20. Dries, B. R. – Schultz, D. (2001): Maßnahme zur Bekämpfung von Blähschlamm im Klärwerk Breisgauer Bucht. *Der Kemwaterspiegel* Nr.1, 6 – 10
21. Dr. Öllös Géza: *Szennyvíztisztítás*, Bp., 1992
22. Dr. Bokányi Ljudmilla: *fizikaikémiai módszerek*
23. Koroknai Balázs: *Az eleveniszapos szennyvíztisztítás - rendszerkiépítésének konfigurációi –*
24. *A Piliszántói Szennyvíztelep szalagprésének gépkönyve*

Adattáblázatok

Nyári mérésorozat:

sűrített iszap	préselt iszap
1,53	12,23
1,35	11,87
1,31	13,3
1,61	12,97
0,93	10,95
1,84	12,47
1,48	12,07
1,45	12,02
1,79	11,76
1,52	10,91
1,62	12,73
1,05	12,89
2,28	11,44
1,38	12,18
1,66	12,36
1,96	12,49
1,91	11,71
1,12	13,6

Átalakítás utáni mérésorozatok:

Dátum	préselt i. [%]
06.okt	12,44
11.okt	12,77
13.okt	12,78
14.okt	13,16
15.okt	14,57
16.okt	14,86
20.okt	14,86
21.okt	14,83
22.okt	14,83
23.okt	14,93
27.okt	15,5

vegysz konc.	iszap [Hz]	vegyszer [Hz]	préselt [%]
0,1	27,4	11,7	14,57
0,1	32	11	13,16
0,1	25	14,2	12,58
0,2	22,7	13,3	14,83
0,2	34	11,3	13,35
0,2	32	11,7	12,64
0,2	40	18	13,56
0,2	40	23	13,5
0,2	38	11,3	14,3
0,2	40	10,8	14,83
0,2	27,5	10,7	14,93