

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
VÍZI KÖZMŰ ÉS KÖRNYEZETMÉRNÖKI TANSZÉK
Infrastruktúra-építőmérnök mesterszak

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**Izszapvíztelenítő centrifugák optimalizálása az
Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep energia-
és vegyszerfelhasználásának csökkentése
érdekében**

Belső konzulens:

Dr. Patziger Miklós, egyetemi docens, tanszékvezető

Külső konzulens:

Márialigeti Bence Rudolf, Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

Készítette:

Tóth Dániel

Budapest, 2023

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	5
2. A SZENNYVÍZISZAP VÍZTELENÍTÉS ÉS SZÁLLÍTÁS ENERGIA- ÉS VEGYSZERSZÜKSÉGLETÉNEK CSÖKKENTÉSE.....	7
2.1. A meglévő állapot: energia- és vegyszerfelhasználás elemzése	8
2.2. A víztelenítő centrifugák hatékonyságát javító intézkedési terv kidolgozása	8
3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
3.1. A kommunális szennyvíziszapok keletkezése és kezelése	9
<u>3.1.1. A szennyvíziszapok fajtái és jellemzői</u>	<u>10</u>
<u>3.1.2. A szennyvíziszapok mennyisége</u>	<u>12</u>
3.2. Iszapsűrítés	13
<u>3.2.1. Gravitációs sűrítő</u>	<u>14</u>
<u>3.2.2. Flotációs sűrítő</u>	<u>15</u>
<u>3.2.3. Sűrítőcentrifuga</u>	<u>16</u>
<u>3.2.4. Szalagos sűrítőasztal</u>	<u>18</u>
<u>3.2.5. Iszapsűrítés membránszűréssel</u>	<u>19</u>
3.3. Iszapstabilizálás.....	19
<u>3.3.1. Kémiai iszapstabilizálás</u>	<u>20</u>
<u>3.3.2. Termikus iszapstabilizálás</u>	<u>20</u>
<u>3.3.3. Biológiai iszapstabilizálás</u>	<u>20</u>
3.4. Iszapkondicionálás	21
3.5. Iszapvíztelenítés.....	22
<u>3.5.1. Dobszűrő</u>	<u>22</u>
<u>3.5.2. Szalagszűrő prés</u>	<u>22</u>
<u>3.5.3. Kamrás prés</u>	<u>23</u>
<u>3.5.4. Víztelenítő centrifuga</u>	<u>23</u>
4. SZENNYVÍZISZAP KEZELÉS AZ ÉSZAK-PESTI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEN	24
4.1. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep iszapkezelésének története	24
4.2. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező szennyvíziszap	29
4.3. A szennyvíziszap sűrítése	29
4.4. A szennyvíziszap és beszállított hulladékok, melléktermékek rothasztása	30
4.5. A szennyvíziszap vegyszeres kondicionálása	32

4.6.	A szennyvíziszap víztelenítése	32
4.6.1.	<i>A hatékony iszapvíztelenítés feltételei</i>	33
4.6.2.	<i>ANDRITZ D5LX típusú víztelenítő centrifuga működése</i>	33
4.6.3.	<i>Az iszapvíztelenítési folyamat nyomon követése</i>	36
5.	AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK HATÉKONYSÁGÁNAK, VALAMINT ENERGIA- ÉS VEGYSZERFELHASZNÁLÁSÁNAK ELEMZÉSE	37
6.	AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK OPTIMALIZÁLÁSA ÉRDKÉBEN VÉGZETT VIZSGÁLATOK	41
7.	AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK OPTIMALIZÁLÁSÁNAK EREDMÉNYE	42
7.1.	A szállítónyomaték beállított értékének vizsgálati eredménye	42
7.2.	A betáplált iszap mennyiségének vizsgálati eredménye	43
7.3.	A polimer-iszap arány módosításának vizsgálati eredménye	44
7.4.	A vas-klorid adagolás hatásának vizsgálati eredménye	46
7.5.	A centrifuga villamosenergia fogyasztásának vizsgálati eredménye.....	48
8.	MEGOLDÁSI JAVASLAT AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK HATÉKONYABB ÜZEMELTETÉSÉRE	50
9.	ÖSSZEFOGLALÁS	52
10.	IRODALOMJEGYZÉK	53
11.	MELLÉKLETEK JEGYZÉKE	56

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra - Az iszapkezelés főbb folyamatai	10
2. ábra - A víz kötésformái és átlagos mennyisége a szennyvíziszapban.....	11
3. ábra - Gravitációs sűrítő sematikus ábrája.....	14
4. ábra - Flotációs sűrítő sematikus ábrája.....	15
5. ábra - Dekantáló centrifuga sematikus ábrája.....	16
6. ábra - Tálcsás centrifuga sematikus ábrája.....	17
7. ábra - Dobcentrifuga sematikus ábrája	18
8. ábra - Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep folyamatábrája	24
9. ábra - Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep iszapkezelő csarnoka, 1986.	25
10. ábra - Vákuumdobszűrők az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 1986.	26
11. ábra - Víztelenített iszap lerakása a csomádi telepen, 1993.	27
12. ábra - Iszapsűrítő centrifugák az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 2001.....	27
13. ábra - Kamrás szűrőprés az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 2002.....	28
14. ábra - Gázmotoros rendszer az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 2008.....	28
15. ábra - Sűrítőasztal az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen.....	30
16. ábra - Anaerob mezofil rothasztók az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen	30
17. ábra - Iszapvíztelenítő centrifuga az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen	32
18. ábra - Csurgalékvíz lebegőanyag tartalmának meghatározása.....	42

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat - Andritz D5LX víztelenítő centrifuga műszaki paraméterei.....	33
2. táblázat - Centrifugák napi gyűjtött üzemi- és laboradatai.....	36
3. táblázat - A centrifuga szállítónyomaték érték változtatásának vizsgálati eredményei	42
4. táblázat - A centrifugába betáplált iszap mennyiség változtatásának vizsgálati eredményei	43
5. táblázat - A polimer-iszap arány érték változtatásának vizsgálati eredményei	45
6. táblázat - A vas-klorid adagolás hatásának vizsgálati eredményei.....	46
7. táblázat - A centrifuga paramétereinek vizsgálata közben mért áramerősségek	48

1. BEVEZETÉS

A 2014-ben megjelent Szennyvíziszap Kezelési és Hasznosítási Stratégia című szakmai tervdokumentumban a 2023. és 2027. közötti időszakra a keletkező szennyvíziszap mennyiségét 237 ezer, illetve 250 ezer tonna szárazanyag mennyiség közé prognosztizálták éves szinten. Az egyre növekvő távlati iszapmennyiség területi eloszlása korántsem nevezhető egyenletesnek, jellemzően a nagyvárosok, valamint a nagyobb kapacitású szennyvíztisztító telepek alkotják az iszapkeletkezés döntő hányadát. ("STRATÉGIA 2014" Konzorcium, 2014)

2022-ben az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen – amely az ország második legnagyobb szennyvíztisztító telepe – 45 800 tonna iszap keletkezett, amelynek szárazanyag tartalma 10 656 tonna volt. Ez a mennyiség országos viszonylatban is jelentős.

A Magyarországon kezelt települési szennyvíziszapok többsége minőségét tekintve mezőgazdasági és rekultivációs célokra történő hasznosíthatóságra megfelelnek. A szennyvíziszapok legkedvezőbb felhasználása, azok mezőgazdasági célú hasznosíthatósága lenne, azonban ennek legnagyobb ellenfele napjainkban a hajlandóság hiánya. A felhasználók és földtulajdonosok körében elterjedt rossz megítélés gátat szab a széleskörű elterjedésének. Másik lehetőség a rekultivációs célú felhasználás, amely külön engedélyhez kötött. Ebben az esetben a rekultivációra kijelölt területek csökkenése, valamint a talajminőségi paraméterek esetleges határérték szigorodása korlátozhatja a felhasználást. A szennyvíziszapok égetésénél a szennyezőanyag koncentrációk nem korlátozó tényezők, azonban a mechanikai víztelenítés útján elérhető maximális szárazanyag tartalom igen. A folyamat megfelelő működéséhez minimálisan 55% szárazanyag tartalmú iszap szükséges, amely egyedül más anyaggal történő együtt égetés mellett történhet gazdaságosan. Az égetés lehetősége szemléleti okok miatt is kihívást jelent, ugyanis a hulladékégetés kifejezés azonnal lakossági tiltakozást von maga után a településeken és az önkormányzatok ezt a konfliktusveszélyt nem szívesen vállalják fel. (Erdélyi, et al., 2020)

A kis- és nagyvárosi szennyvíztisztító telepek nagyságrendi eltéréseiből adódóan változatos iszapkezelési technológiákat alkalmaznak (Patziger, 2018). Az iszapkezelés kiválasztásának jóformán egyetlen szempontja a szennyvíztisztítási igényt kielégítő technológia biztosítása. Éppen emiatt gyakran nem fordítanak kellő figyelmet az iszap összetételére, egyéb jellemzőire, illetőleg az iszap elhelyezése kapcsán a piaci elvárásokra. A biztonságos és fenntartható iszapgazdálkodás kialakításánál bármely szennyvíziszap esetében — legyen az folyékony, víztelenített, vagy mésszel kezelt iszap — a végtermékek minősége

folyamatos ellenőrzést kíván. A használni kívánt technológia kiválasztásának egyik leglényegesebb szempontja a kezelés utáni iszap elhelyezésének kérdése. További feltétel a tisztítandó szennyvíz, ezáltal a keletkezett iszap minőségi és mennyiségi paraméterei. Az ideális iszapkezelési technológiai berendezések kiválasztása a kapacitás, valamint a hatékonyság és a beruházási, illetve az üzemeltetési költségek szempontjából is alapos megfontolást igényel. A legvégső lépés kivétel nélkül az iszap nedvességtartalmának csökkentése, ugyanis az iszapkezelésnek a szerves anyag tartalom minimalizálásán, valamint a patogén szervezetek elpusztításán túl a leglényegesebb feladata az iszaptérfogat lehető legnagyobb mértékű csökkentése.

A hazai szennyvíztisztító telepeket üzemeltetők nagy része az iszapelhelyezéshez kötődő legnagyobb nehézségnek az iszapvíztelenítés nem megfelelő hatékonyságát tartják. Felmérések azt mutatják, hogy a szennyvíztisztító telepek egyik legnagyobb költségét a nagy mennyiségben keletkező iszap szállítása és elhelyezése jelenti. (Somlyódy, et al., 2010)

Ezeknek a kiadásoknak az enyhítésére a megoldást az iszapvíztelenítő berendezések és a hozzájuk kapcsolódó kiszolgáló egységek hatékonyságának növelése jelentheti. Az iszapvíztelenítési technológiák legszélesebb körben elterjedt változata, a víztelenítő centrifugák optimális működésének érdekében nélkülözhetetlen az üzemeltetési paraméterek átfogó ismerete. Ennek birtokában lehet csak elvégezni a berendezések finomhangolását. A beállított paraméterek hatására bekövetkezett változások nyomon követése, illetve az üzemi adatok gyűjtése és elemzése lehetőséget biztosít az üzemeltetési kívánalmak kielégítésére. A víztelenítés során előállított iszap szárazanyag tartalma, valamint a csurgalékvíz minősége, a vegyszer-, és a villamosenergia felhasználás az üzemi tapasztalatokat felhasználva optimalizálható.

2. A SZENNYVÍZISZAP VÍZTELENÍTÉS ÉS SZÁLLÍTÁS ENERGIA- ÉS VEGYSZERSZÜKSÉGLETÉNEK CSÖKKENTÉSE

A szennyvíziszap kezelésére hangsúlyozottan érvényes az a megállapítás, miszerint a kezelési technológia mélysége elsősorban a befolyó szennyvíz és a keletkező iszap összetételétől, továbbá a folyamat egyik legkritikusabb részétől, azaz az elhelyezés, valamint a további hasznosítás módjától függ. Fontos említést tenni az iszapkezelés során keletkező csurgalékvíz összetételéről is, amelyet nagymértékben befolyásol például az iszap kondicionálására használt vegyszer típusa. A csurgalékvíz kezelésének lehetősége szintén szorosan kapcsolódik az iszapkezelési technológia megfelelő kiválasztásához. Egy másik jelentős szempont lehet a szállítás. A szállítás feltételei – figyelemmel az iszap víztartalmával összefüggő költségérzékenységre – az elhelyezéshez hasonlóan szintén visszahatnak a tisztítótelepen belüli kezelésre, illetve befolyással bírnak az elhelyezésre is. A víztelenítés hatékonysága és az iszapszállítás között fennálló kapcsolat határozottan utal az optimalizálandó folyamatokra. A végfelhasználás távolságának növekedésével a víztelenítési hatékonyság megválasztásának pénzügyi vonzata sem elhanyagolható, ugyanis a szállítandó iszap fölös víztartalma számottevő üzemköltséget eredményez. A szállítójármű befogadó kapacitásának növelése a fajlagos költségekre kedvezően hathat (Ft/t·km), azonban a törvényileg megengedett maximális össztömeg és tengelyterhelés az útviszonyok, mint például a burkolatok rossz állapota, vagy a jelentős forgalom csökkenthetik a kihasználás lehetőségét. Az élőmunka és a szállítójármű gazdaságos kihasználása minden esetben elengedhetetlen, amelynek megfelelő optimalizálása minden esetben egyedi üzemszervezési feladat.

A kezelési technológia megfelelő kiválasztása kritikus fontosságú minden szennyvíztisztító telep esetében. Ennek lehetőségét azonban nagyban nehezíti, hogy a víziközmű ágazatok napjainkban jelentősen forráshiányosak. A rezsicsökkentés, a 2013-ban bevezetett közműadó, valamint az utóbbi években bekövetkezett energia- és anyagárak drasztikus növekedésének eredőjeként az üzemeltetők rendkívül nehéz helyzetbe kerültek. A szolgáltatók többsége az eredményüket képtelenek növelni, hiszen az értékesített ivóvíz mennyisége nehezen befolyásolható, adottságnak tekinthető és jellemzően csökkenő tendenciát mutat, valamint a ráfordítások szintjét ugyancsak korlátozottan képesek változtatni. A nehéz helyzetből fakadó költségcsökkentési megoldások olyan nem kívánt hatásokkal járhatnak, mint az üzemfolytonosság csökkenése, vagy a hibák számának növekedése. (KPMG Tanácsadó Kft., 2015)

A fenti okokból kiindulva egy már kiépített, működő iszapkezelési technológia megváltoztatása, vagy átalakítása nem reális cél. A gazdasági helyzetre való tekintettel nem elvárható a teljes iszapkezelés, vagy annak egyes egységeinek azonnali cseréje. Éppen ezért törekedni kell a meglévő technológia lehető legoptimálisabb működtetésére és az ahhoz kapcsolódó kiadások mérséklésére. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep iszapvíztelenítési fokozat hatékonyság-növelésének fő célja, hogy beruházást nem igénylő, főként üzembeli változtatásokkal javítsuk az energia- és vegyszerfelhasználást, a lehető legjobb iszap szárazanyag-tartalom és csurgalékvíz minőség elérésével. Egy jó energetikai mutatókkal rendelkező, nagy szennyvíztisztító telep esetében már akár egy néhány százalékos megtakarítás is éves szinten számottevő költségcsökkenést eredményezhet.

2.1. A meglévő állapot: energia- és vegyszerfelhasználás elemzése

Dolgozatomban az iszapvíztelenítő centrifugák energia- és vegyszerfelhasználásának feltárását az üzembe helyezésük óta regisztrált üzemadatok alapján készíttem el. A berendezések működésének statisztikai értékelése, a víztelenített iszap előállításához szükséges bemeneti paraméterek, valamint a végtermék minőségi és mennyiségi adatainak elemzése alapján állítom össze a folyamat hatékonyságára vonatkozó következtetéseimet. Az iszapvíztelenítés hatékony üzemeltetésének feltételeit az optimalizálandó centrifuga részletesebb vizsgálatával feltárom. Az archivált adatok elemzésén felül további célzott, részletes helyszíni és laborméréseket végeztem. A hatékonyságjavítási intézkedések meghatározása érdekében különböző szennyvíziszap minőségi paraméterek, iszapjellemzők, valamint az energiafogyasztás vizsgálatait végeztem el. A centrifugák műszaki jellemzőinek tanulmányozása során az egyes kiszolgáló berendezéseinek összhangját ellenőriztem, olyan részleteket elemezve, mint a polielektrolit előkészítő és adagoló rendszer, az egyes szivattyúk, illetve a vegyszeradagolók üzemrendje. A részletes vizsgálatok eredményei alapján összesítem a tapasztalatokat és javaslatot teszek az optimalizációra.

2.2. A víztelenítő centrifugák hatékonyságát javító intézkedési terv kidolgozása

Az iszapvíztelenítő centrifugák üzemét megvizsgálva kidolgoztam az optimalizációhoz szükséges intézkedési terv részleteit. A meghatározott lista elemeinek végrehajtásával és a hatékonyságjavulás folyamatos mérésével pedig ellenőriztem a módosított üzemi paramétereket és kijelöltem az esetleges további feladatokat.

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

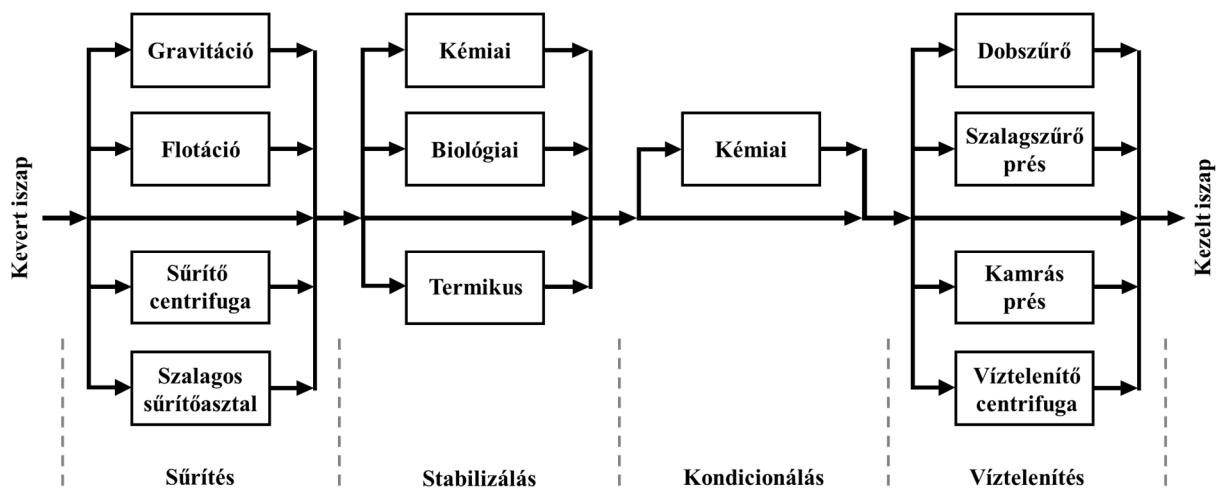
3.1. A kommunális szennyvíziszapok keletkezése és kezelése

A korszerű szennyvíztisztítás elsődleges feladata a szennyvízben található szervesanyag, valamint a növényi tápanyagok eltávolítása, amely során az említett szennyezők egy része a szennyvíziszapba jut, majd eltávolításra kerül a vizes fázisból. Tekintve, hogy a szennyvízből ülepités útján eltávolított anyagok a szennyvíziszapban koncentrálnak, a hasznosítható anyagokon felül számos káros hatású, toxikus vegyület is az iszapba juthat. Ezeknek a mértéke abban az esetben érhet el veszélyes szintet, ha a kommunális szennyvizekhez túlzott mennyiségben kerül hasznosításra alkalmatlan ipari szennyvíz, illetve a közcsatornába kerülő ipari szennyvíz előzetes kezelését nem megfelelő mértékben végezték el. A többségében elenyésző mennyiségben jelen lévő káros anyagok mellett a szennyvíziszap szárazanyag tartalmának néhány százalékát kitevő mennyiségben tartalmaz növényi makrotápanyagokat, köztük nitrogént, foszfort és kis mértékben káliumot. Ezek a tápanyagok összességében átlagosan az iszap szárazanyag tartalmának 5%-a körül mozog. A hasznosíthatósága révén Magyarországon jelenleg a keletkező szennyvíziszapok csekély részét, 2%-át deponálják és a túlnyomó részét, 98 %-át hasznosítják. A hasznosítás megoszlása a következőképpen alakul (Tomócsik, 2021):

- 46 %-ot rekultivációra,
- 38 %-ot mezőgazdasági célokra,
- 5 %-ot energetikai célokra,
- 9 %-ot egyéb célokra használnak.

A szennyvíztisztítás során eltávolításra kerülő szilárd anyagok közül az iszap térfogata nagyságrendekkel a legnagyobb, éppen ezért a kezelése és elhelyezése kiemelt jelentőségű üzemeltetői feladat. A leválasztott szennyvíziszap legnagyobb arányban vizet tartalmaz, szárazanyag tartalma elsősorban a tisztítási folyamatoktól függ. Az iszap víztartalmát, térfogatát és fertőzőképességét a további felhasználás és elhelyezés javítása érdekében csökkenteni kell. Ezeket a műveleteket átfogóan nevezzük szennyvíziszap kezelésnek. Az eljárás felépítését tekintve több egymást követő szakaszból áll, amelyeknek mind meghatározott célja van és szorosan kapcsolódnak egymáshoz. A rendszert alkotó részfolyamatok az iszap sűrítése, stabilizálása, kondicionálása, végül pedig a víztelenítése. Az eljárás során a szennyvíziszap mennyisége lecsökken, egyes tulajdonságai megváltoznak és a

folyamat végén kapott végtermék hasznosításra, elhelyezésre, vagy ártalmatlanításra alkalmas lesz. (Barótfi, 2000; Montvajszki, 2020)



1. ábra - Az iszapkezelés főbb folyamatai

Forrás: (Metcalf & Eddy, 2003) alapján szerkesztve

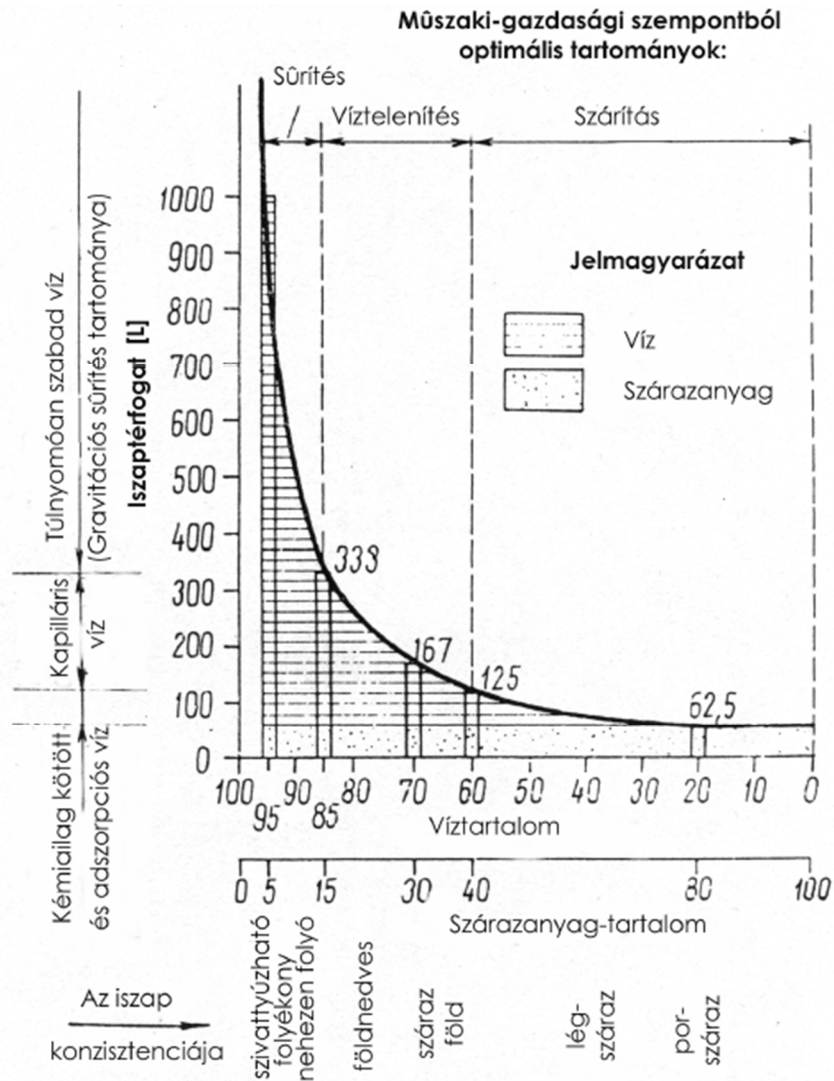
A szennyvíziszap kezelés részegységeinek definiálását már számos a témában elismert és meghatározó szakember elvégezte. A következő pontokban a vizsgált téma legkiemelkedőbb hazai, illetve nemzetközi képviselőinek munkáit tanulmányozva összefoglalom és ismertetem az iszapkezelés folyamatait és legfontosabb tudnivalóit.

3.1.1. A szennyvíziszapok fajtái és jellemzői

A kommunális szennyvíztisztító telepek eleveniszapos szennyvíztisztítása során két technológiai egységnél történik szennyvíziszap leválasztás. A mechanikai tisztítás utolsó lépésénél, az előülepítőkből a nyers iszapot, míg a biológiai tisztítás végső részfolyamatánál, az utóülepítés során a főlös iszapot távolítják el. A nyers iszap, más néven primer iszap rendkívül durva, szálas szilárd anyagokat tartalmaz. Fajsúlya, illetve sűrűsége a víznél lényegesen nagyobb, szárazanyag tartalma 2-8% között változik. A nyers iszap eltávolításával a szennyvíz lebegőanyag tartalmának rendszerint 50-70%-a, míg a szerves anyag tartalom tekintetében a KOI és BOI₅ 25-40%-a távolítható el. Az előülepített iszap szárazanyag tartalmának átlagosan 30%-a szerves, 70%-a szervesetlen anyag. (Rózsáné Szűcs, 2013; Pulger, et al., 2006)

Akárcsak az előülepítés, a biológiai tisztítás során lejátszódó átalakítás is iszaptermeléssel jár. A szennyvíztisztítás ezen fázisában keletkező iszapot, amelynek eltávolítása az utóülepítőből történik, főlös iszapnak, más néven szekunder iszapnak nevezzük. Összetételét és jellegét tekintve jelentősen eltér az előülepítőből eltávolított nyers iszaphoz képest. A főlös iszap részlegesen átalakult, oxidált szerves anyag és mikroorganizmus tömeg

keverése, víztartalma meghaladja a primer iszapét, nagysága közelítőleg 98-99%. A szekunder iszap patogenitása alacsonyabb, mint a nyers iszapé, azonban szerves anyag tartalma magasabb, vízteleníthetősége rosszabb. (Kárpáti, 2002)



2. ábra - A víz kötési formái és átlagos mennyisége a szennyvíziszapban

Forrás: (Barótfi, 2000)

A szennyvíztisztítás folyamán keletkező szennyvíziszap fő alkotóeleme a víz, amely három különböző formában lehet jelen az iszapban. A víztartalom legkönnyebben eltávolítható részét az iszap szabad víztartalma jelenti, amely az iszappelyhek között található. Ez a hányad viszonylag egyszerűen, a sűrítési eljárások alkalmazásával eltávolítható. Kisebb arányban van jelen a szennyvíziszapot alkotó pelyhek belsejébe zárt pórusvíz, amely a sűrítés komprimációs fázisában a pelyhekből, valamint azok közül felszabadul. A pórusvíz egy része kolloidálisan és kapilláris úton kötött, amelyek felszabadításához már nem elegendő a sűrítés. Ennek a vízmennyiségnek az eltávolításához energiaközlés szükséges, amelynek mennyiségétől függően akár 20-40% szárazanyag tartalom is elérhető. Ehhez az eredményhez a különböző

kondicionálási és víztelenítési eljárások kombinálását kell alkalmazni, amelyeknél a hőközlés, a kémiai hidratációs energia, a mikroorganizmusok által termelt energia és centrifugális erő szükséges. Az iszap továbbá tartalmaz sejtben kötött vizet. Ennek eltávolításához elengedhetetlen a sejtek feltárása, amely termikus eljárással, vagy biológiai kondicionálással végezhető el. (Rehm & Reed, 1999)

3.1.2. A szennyvíziszapok mennyisége

A kommunális szennyvíztisztítás során keletkező szennyvíziszapok a beérkező szennyvíz térfogatának átlagosan 0,5-1,0%-át teszik ki (Petróczi, 2004). A besűrített formában leválasztott szennyezőanyag, vagyis a szennyvíziszap mennyisége függ (Kovács, et al., 2003):

- A tisztított szennyvíz mennyiségétől és az azt alkotó anyagok fajtájától, valamint tulajdonságaitól.
- Az alkalmazott szennyvíztisztítási eljárás fajtájától és határfokától.

A szennyvíztisztítás során termelődő iszap hozamának meghatározására több módszer létezik. 1965-ben publikálták az egyik első fajlagos értéket, amelyet Fair és Geyer vizsgálatai adtak meg $80 \text{ g}_{\text{sz}/\text{fő}\cdot\text{nap}}$ értékben. Ennél a számnál pontosabb eredményt adhat a szennyvíztisztító telep anyagmérlege alapján számított iszaphozam. A nyers iszap mennyiségének számítása a befolyó szennyvízben lévő lebegőanyag tartalom adott eltávolítási határfokkal történő becslése alapján történik. A számításhoz szükséges eltávolítási határfok az előületés tartózkodási idejétől függ, amelyek összefüggése az alábbi egyenlettel írható le (Kárpáti, 2002):

$$\text{Lebegőanyag eltávolítás (\%)} = \frac{t}{a + b \cdot t}$$

ahol: t : a folyadék átlagos tartózkodási ideje az előületítőben (perc),

a : konstans (becsült értéke 0,4-0,6 perc),

b : konstans (becsült értéke $0,015 \text{ perc}^{-1}$).

A fölös iszap mennyiségének meghatározásához elengedhetetlen a relatív iszapterhelés és az azzal fordítottan arányos iszapkor ismerete, amely szoros összefüggésben van az iszap ülepedésével és vízteleníthetőségével. Az iszaphozam és iszapkor összefüggése különböző hőmérsékletekre vetítve, a tisztítandó szennyvíz KOI/BOI_s, illetve lebegőanyag/BOI_s arány tekintetében határozható meg. A tapasztalatok alapján, előületített szennyvíz esetében kisebb szekunder iszaphozam várható azonos iszapkorok mellett. (Ábrahám, et al., 2007)

Számos tervezési, valamint számítási és laboratóriumi tapasztalatok alapján megalkotott egyenlet áll rendelkezésre, amelyek egytől-egyig alkalmasak a valós körülmények modellezésére. Ilyen számításokat találhatunk például Spinosa & Vesilind (2001) Sludge into Biosolids című munkájában is. Az ATV-131 tervezési irányelvei alapján az iszaphozam számítását a biológiai és vegyszeres iszaphozam összegeként kell meghatározni ($\ddot{U}S_{d,C} = \ddot{U}S_{d,C} + \ddot{U}S_{d,P}$). A szerves anyag lebontásából keletkező iszaphozam kiszámítása az alábbi összefüggés alapján végezhető el (GFA, 2001):

$$\ddot{U}S_{d,C} = B_{d,BSB} \cdot \left[0,75 + 0,6 \cdot \left(\frac{X_{TS,ZB}}{C_{BSB,ZB}} \right) - \frac{(1 - 0,2) \cdot 0,17 \cdot 0,75 \cdot t_{TS} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{TS} \cdot F_T} \right]$$

ahol: $\ddot{U}S_{d,C}$: a szerves anyag eltávolításból származó napi iszaphozam (kg/nap),
 $B_{d,BSB}$: napi BOI_5 terhelés (kg/nap),
 $X_{TS,ZB}$: 0,45 μ m-os szűrőn fennmaradó eleveniszap koncentrációja (g/m^3),
 $C_{BSB,ZB}$: homogenizált eleveniszap mintában a BOI_5 koncentrációja (g/m^3),
 t_{TS} : az eleveniszapos medencére vonatkoztatott iszapkor (nap),
 F_T : az endogén légzés hőmérsékleti faktora ($1,072^{T-15}$).

A vegyszeres foszforeltávolítás során képződő fölösizap mennyiségének nagysága a következő képletből számolható:

$$\ddot{U}S_{d,P} = Q_d \cdot \frac{(3 \cdot X_{P,BioP} + 6,8 \cdot X_{P,Fall,Fe} + 5,3 \cdot X_{P,Fall,Al})}{1000}$$

ahol: $\ddot{U}S_{d,P}$: a foszforeltávolításból keletkező napi iszaphozam (kg/nap),
 Q_d : szárazidei befolyó szennyvízhozam (m^3/h),
 $X_{P,BioP}$: biológiailag kötött foszfát (g/m^3),
 $X_{P,Fall,Fe}$: vas tartalmú kicsapószerrel eltávolítandó foszfát (g/m^3),
 $X_{P,Fall,Al}$: alumínium tartalmú kicsapószerrel eltávolítandó foszfát (g/m^3).

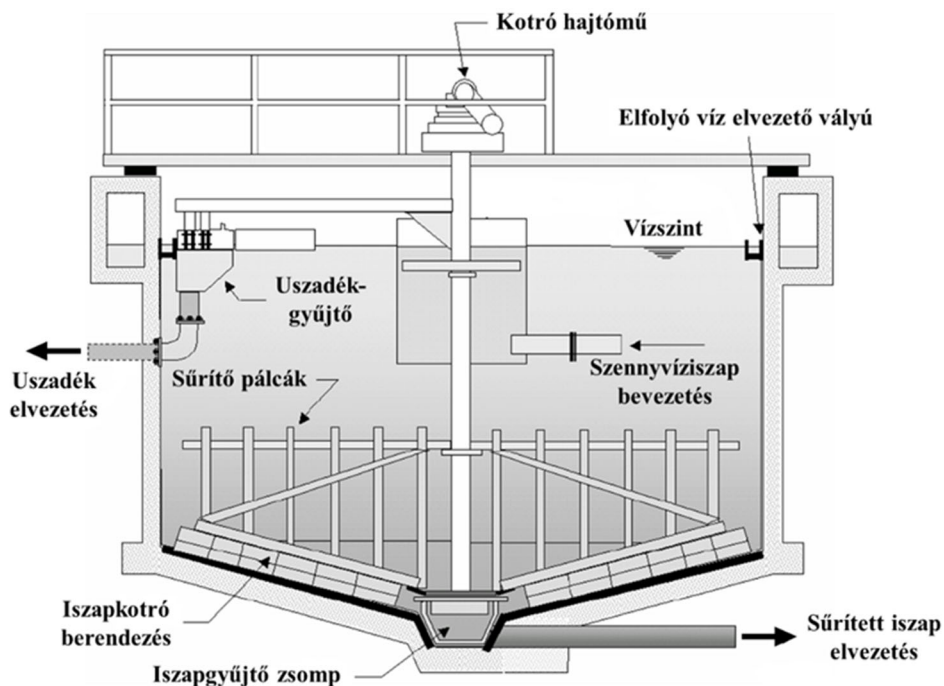
3.2. Iszapsűrítés

Az iszapkezelés technológiai sorának legáltalánosabb és a térfogatcsökkentés szempontjából legelterjedtebb eljárása a sűrítés. Ez a módszer lényegében egy konszolidációs folyamat, ami során az iszappelyhek között lévő szabadvíz tartalom elkülönítése és leválasztása történik. A sűrítés számottevő térfogatcsökkenést eredményez és az így elérhető szárazanyag tartalom a kezelendő iszap sajátosságaira és az alkalmazott sűrítési eljárás műszaki feltételeire jellemző. A sűrítési eljárások általában fizikai hatások révén mennek végbe, a folyamatok közé soroljuk a gravitációs sűrítést, a flotálást, a dobsűrítést és a centrifugálást. A sűrítés jelentősége

meghatározó a további kezelési lépések tekintetében, hiszen lényeges tervezési paraméterek függhetnek tőle: az iszap átmeneti tárolására szolgáló tartályok és aknák térfogatát, a szükséges vegyszer- és hőmennyiséget, valamint a szivattyúzási kapacitásokat mind befolyásolhatja az eljárás hatékonysága. (Metcalf & Eddy, 2003)

3.2.1. Gravitációs sűrítő

A kommunális szennyvíztisztításban legelterjedtebb sűrítési eljárás a szennyvíziszapok gravitációs sűrítése. Az egyszerűsége révén elterjedt módszer napjainkban egyre inkább háttérbe szorul az egyéb iszapsűrítési technológiák térhódítása miatt. Jellemzően a kis kapacitású telepeken (1000 LE alatt) a hagyományos, szakaszos üzemű gravitációs sűrítők terjedtek el, amelyek lehetnek beépített keverő berendezéssel ellátott kialakításúak is. A gravitációs sűrítők alkalmazása főként a kevés szakértelem igényük és az alacsony üzemeltetési, valamint karbantartási költségei miatt terjedtek el. A technológia hátrányaként megemlíthető a nagy helyigénye, a folyamat során keletkező szaghatás, és az úszó szilárd anyagok jelenléte. A korlátozott hatékonysága révén az így előállított sűrített iszapok szárazanyag tartalma nem haladja meg a 3,0-3,5%-ot. Közepes és nagyobb telepek esetében már a folyamatos üzemű gravitációs sűrítők kerülnek előtérbe, amellyel 5,0-7,0% közötti szárazanyag tartalomig tudjuk sűríteni a nyers, illetve kevert iszapokat. (Wang, et al., 2007; Kárpáti, et al., 2014)

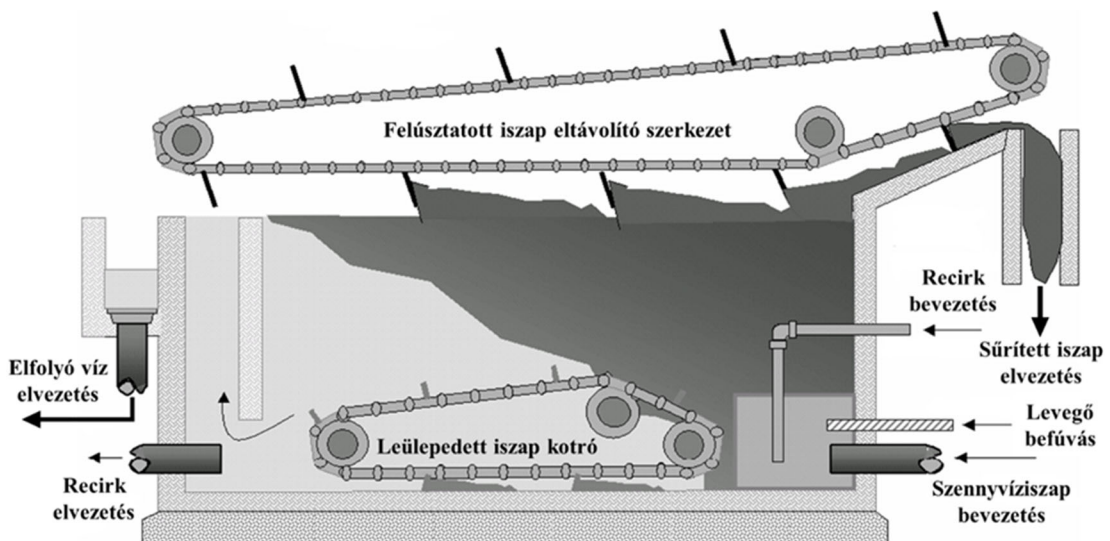


3. ábra - Gravitációs sűrítő sematikus ábrája
 Forrás: (Pa. DEP, 2009) alapján szerkesztve

A keveréssel ellátott gravitációs sűrítőkben a kotróberendezésen sűrűn elhelyezett pálcák óvatosan bolygatva átgyúrnák a betáplált iszapot, ezzel elősegítve az ülepitést. A forgó mozgás hatására a zagyban képződő gázok egyszerűen a felszínre jutnak és meggátolják az iszap-hidak kialakulását, javítva az iszap sűrítés hatásfokát. (Török, 2011)

3.2.2. Flotációs sűrítő

Kevésbé elterjedt megoldás az iszap flotációs sűrítése, amely során levegő befúvás hatására a felúszó légbuborékok hozzákapcsolódnak az iszaprészecskékhez és azok uszadék formájában sűrítik a vízzel csaknem megegyező sűrűségű vagy igen kis átmérőjű iszapot. A sűrítő alsó részén bevezetett sűrítendő iszap és a berendezésben recirkuláltatott sűrítőiszap nyomás alá kerül, majd a levegőbetáplálás utáni levegőszaturációs tartályon keresztül a keverőkamrába jut, ahonnan a flotáló zónába kerül. Amint a sűrítőbe jutó iszap a túlnyomás alól felszabadul, az atmoszferikus nyomás feletti oldott levegőhányad nagyon finom, 50-100 µm átmérőjű buborékok formájában szabadul fel. A buborékok a szuszpendált szilárd szemcsékre ható felhajtóerőt megnövelik és a nagyszámú buborékok felfelé irányuló, görbe vonalú mozgása megkezdődik. A szemcsék természetes pelyhesedési hajlama hatására egyre nagyobb méretű pelyhek képződnek, így olyan térbeli szerkezet keletkezik, amelyen át a felszálló buborékok nem képesek áthatolni. Ahogy a pelyhekhez csatlakozó buborékok mennyisége nő, végül a pelyhek a sűrítő felszínére flotálódnak. A flotált iszap eltávolításánál fontos az a tény, hogy a szárazanyag tartalom az iszapréteg mélységében változik. Ezzel a módszerrel 2-4% szárazanyag tartalmú sűrített iszap, míg a folyamat hatékonysága érdekében történő vegyszeradagolás mellett 3-5% szárazanyag tartalmú iszap állítható elő. (Öllös, 1995; Kocsis, 2011)

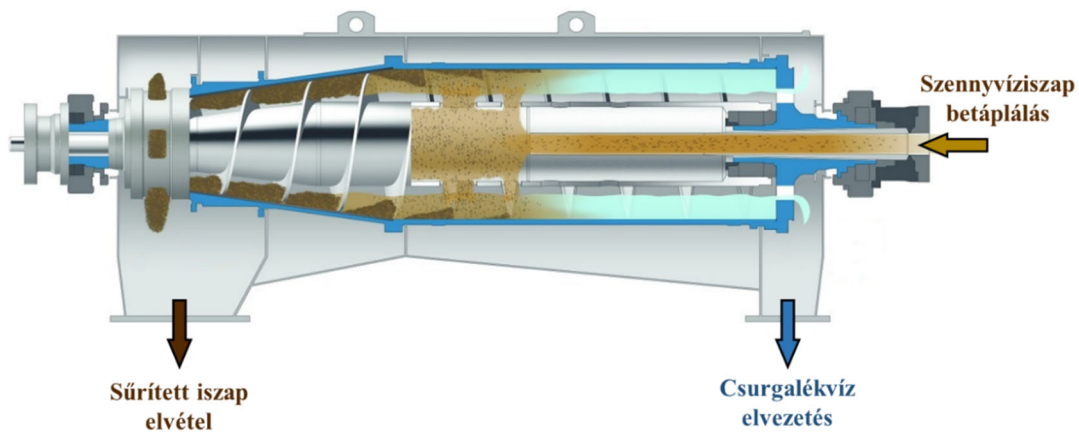


4. ábra - Flotációs sűrítő sematikus ábrája
 Forrás: (Pa. DEP, 2009) alapján szerkesztve

3.2.3. Sűrítőcentrifuga

A kombinált statikus és dinamikus hatást érvényesítő berendezések gyártása és alkalmazása az utóbbi időben egyre elterjedtebb. Ebbe a kategóriába sorolhatók a napjainkban egyre fejlődő centrifugák, amelyek iszapsűrítésre és –víztelenítésre egyaránt alkalmazhatók. Három centrifugatípus terjedt el a gyakorlatban (Kárpáti, 2002):

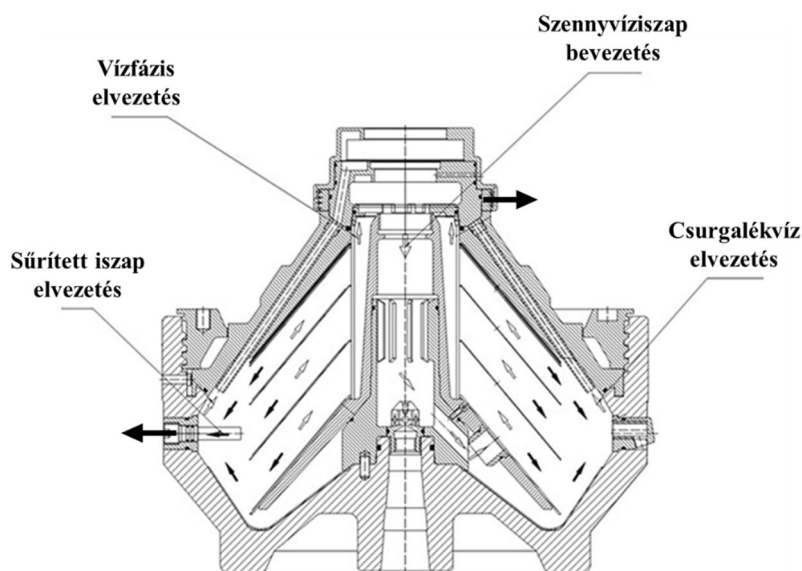
A **dekantáló centrifuga** esetében a sűrítendő iszap a köpeny alatti térbe, a berendezés egyik végén kialakított csatlakozó csövön keresztül folyamatosan kerül betáplálásra. Miután az iszapszemcsékre a centrifugális erő kifejti hatását, a forgó köpeny belső felületére préselődnek. A kisebb sűrűségű iszapvíz az iszapréteg felett összegyűlik, majd a berendezés csurgalékvíz elvezető, nagyobb átmérőjű vége irányába áramlik, ahol az állítható bukón át folyamatosan távozik. A forgó köpenyfal belső felületére kiülepedett iszapot az eltérő sebességgel forgó csiga a berendezés másik, kisebb átmérőjű lejtős felületű végéhez szállítja, ahol az távozik a rendszerből. Dekantáló centrifuga segítségével az előállított sűrített iszap szárazanyag tartalma szinte állandó, 7% körüli. Alkalmazásának előnye a berendezés könnyű létesítése, halk üzeme, az előállított sűrített iszap állandó minőségének biztosítása és a viszonylag alacsony beruházási költsége. Ezzel szemben hátránya a magas fenntartási költségei, érzékenység a sűrítendő iszap ásványi anyag tartalmára, illetve a szakképzett üzemeltetői igénye. (Öllös, 1995)



5. ábra - Dekantáló centrifuga sematikus ábrája

A **tálcás centrifuga** folyamatos üzemű berendezés, amelynek zárt köpenye függőleges tengely körül forog. A sűrítendő iszap betáplálása a centrifuga felső részén történik, majd az iszap ezt követően a kónikus tálcák között áramlik át, ezáltal rétegekre szeparálódik. A berendezésben elhelyezett tálcák egymáshoz igen közel, csaknem 10 mm távolságra helyezkednek el, amely azt eredményezi, hogy a centrifugális erő viszonylag kis iszaprétegre hat. Ennek köszönhetően az iszaprézecskek rövid út megtétele után kiülepednek a tálcák felületére. A centrifugális erő a sűrűbb anyagokat a köpenyhez szorítja, ahol újabb centrifugális

erő hatása alá kerülnek, ezáltal koncentrációjuk megnövekszik. Az iszap végül a berendezés alsó részén távozik a rendszerből, míg a folyamat során képződő csurgalékvíz felül, bukón keresztül kerül elvezetésre. A berendezés aljában koncentrált iszap egy részének recirkuláltatása az eljárás hatékonyságának növelése érdekében biztosított. Tálcsás centrifugák esetében elengedhetetlen az iszap előtisztítása. Ezzel a technológiával 4-6% közötti szárazanyag tartalmú iszap állítható elő. Előnyként felsorolható, hogy vegyszeradagolás nélkül is nagyon jó minőségű csurgalékvizet produkál, kis helyigényű és nem jár szagképződéssel. Hátránya, hogy ezzel a típusú centrifugával csak kisebb átmérőjű szemcséket tartalmazó iszapok sűrítése végezhető és amennyiben szálal anyagok kerülnek a centrifugába, fennáll az eltömődés veszélye. (Öllös, 1995; Karches, 2020)

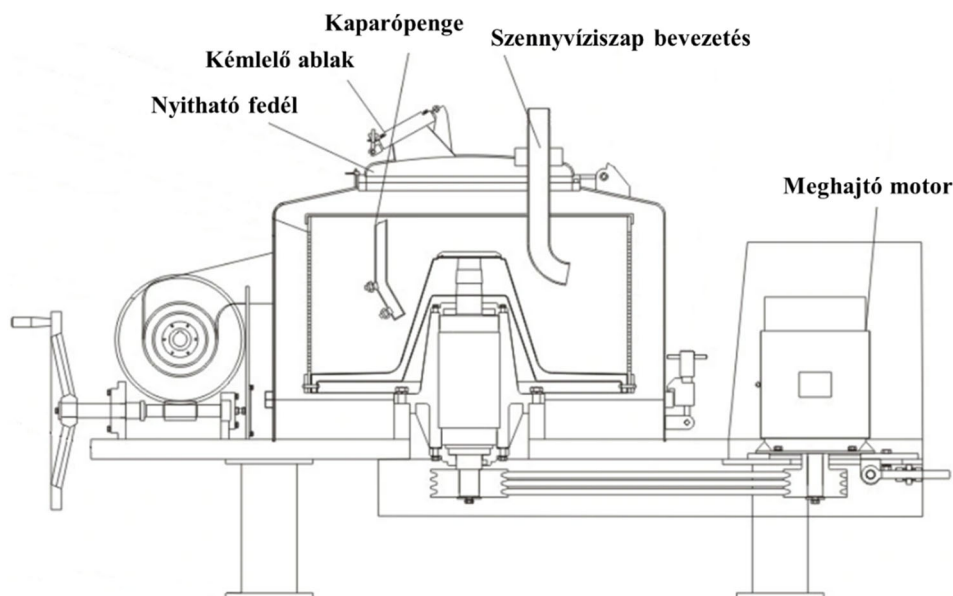


6. ábra - Tálcsás centrifuga sematikus ábrája

Forrás: (Yixing Huading Machinery Co, 2023) alapján szerkesztve

A **dobcentrifuga** függőleges tengely körül kb. 1500 percnkénti fordulattal forgó zárt dobból álló berendezés (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). A sűrítendő iszap bevezetése a berendezés felső részén történik, majd a szilárd anyag a köpenyfal körébe centrifugálódik. Miután a besűrített iszap a centrifuga belsejében bizonyos vastagságot elér, az üzemeltetést leállítják és az iszapot kaparóval eltávolítják. Az eljárás szakaszos üzemű, sűrítési kapacitása kb. 0,2 m³ iszap/perc. Az iszaplepenyt és a csurgalékvizet a berendezés aljánál vezetik el. Dobcentrifuga alkalmazásával a sűrített iszap szárazanyag tartalma átlagosan 5 és 9% közötti. A dobcentrifuga előnye, hogy ugyanaz a berendezés sűrítésre és víztelenítésre is alkalmazható, flexibilis üzemű, a homok nem befolyásolja a működését, valamint ez a centrifuga rendelkezik a legkisebb beruházási és üzemeltetési költségekkel. A berendezés

hátránya a nem folytonos üzem, speciális alátámasztást igényel és a korlátozott kapacitása miatt elsősorban kis telepek esetében alkalmazható. (Öllös, 1995; Karches, 2020)



7. ábra - Dobcentrifuga sematikus ábrája

Forrás: (Jiangsu Jieda Centrifuge Manufacture Co., 2023) alapján szerkesztve

3.2.4. Szalagos sűrítőasztal

A szalagos sűrítőasztal a koaguláció és flokkuláció hatását kihasználva az iszap szabad víztartalmát egy mozgó szövethálós vászonszalagon átszivárogtatva csökkenti. A berendezés gyakorlatilag egy szalagszűrő prés felső vízelvezető részletének módosított változata. Hatékony működésének alapfeltétele a sűrítendő iszaphoz a pehelyképződést elősegítő polielektrolit hozzáadagolása. Az iszap-polimer elegy elsőként az asztal előtt elhelyezett homogenizáló tartályba kerül, ahol a megfelelő átkeverés hatására végbemegy a homogenizálása. A felhasznált polimer mennyisége a sűrítendő iszap típusától és a szilárdanyag-jellemzőktől függ. A sűrítés hatékonyságát befolyásolhatja a keverés sebessége, amely nagymértékben hat a kialakuló pehelyszerkezetre. A tartályból kilépő kondicionált iszap a vászon teljes szélességén egyenletesen szétoszlik és megkezdődik a szilárd anyagok és a víz elkülönülése. A szétterített iszaptól elváló víz keresztülszivárog a mozgó vásznon és a csurgalékvíz gyűjtő edénybe folyik, ahonnan elvezetésre kerül. A sűrítést elősegítik az asztal teljes hosszában beépített terelő ekék, amelyek barázdákat válnak az iszapba, ezáltal utat szabadítanak fel a víz elvezetéséhez. Az iszap oldalirányú lefolyását gumiszalaggal ellátott terelőlemezek akadályozzák meg. A sűrítő berendezés végén egy állítható magasságú henger pozíciójának módosításával változtatható az iszap tartózkodási ideje és így, a nyomás alá kerülő iszap vízleadó képessége tovább fokozható. A gép legvégén egy kaparópenge távolítja el a szalagról a sűrített iszapot és juttatja ez elvezető nyílásba. Az iszaptól megszabadított vászon pórusaiba szorult szennyeződések ezt követően

mosóvízzel távolítják el. Sűrítőasztallal átlagosan 5-7% szárazanyag tartalmú sűrített iszap állítható elő. Előnye, hogy viszonylag alacsony beruházási költséggel beépíthető és az energiafogyasztása is kedvező. A sűrítés hatékonysága azonban nagymértékben függ a folyamat elején adagolt polielektrolit mennyiségétől. Az iszap száraz tömegére vonatkoztatva átlagosan 1,5–6 g/kg polimer hozzáadása szükséges. Hátrányként említendő továbbá a folyamat során keletkező jelentős szaghatás, valamint a kiemelt kezelői szakértelem szükségessége, ami elsősorban a szalag sebességének és a polimer adagolás optimális megválasztásánál lényeges. (Turovskiy & Mathai, 2006)

3.2.5. Iszapsűrítés membránszűréssel

Megemlítendő az iszap membránszűréssel történő sűrítése is. A napjainkban egyre nagyobb mértékben teret hódító membránok ilyen értelmű felhasználási lehetőségeit is érdemes számításba venni. Ezzel a megoldással egyrészt kiválthatók a gyakran nehezen üzemeltethető és karbantartható utóülepítők, másrészt betölthetik a sűrítők szerepét. A membránok alkalmazása természetesen hátrányos következményekkel is jár, mint például a viszkozitás-növekedés, vagy a szűrési ellenállás hátrányos változása, ami mind nehezíti azok üzemeltetését. (Juhász & Kárpáti, 2000; Montvajszki, 2020)

Az utóülepítés membránnal történő helyettesítésével az ülepítő 3-5 g/l lebegőanyag terhelési korlátja megszűnik és lehetőség nyílik a levegőztető medence 15-20 g/l iszapkoncentrációval történő működtetésére. Ezzel a lehetőséggel akár három-ötszörös levegőztető medence térfogatcsökkentés érhető el. A megnövekedett iszapkoncentrációval párhuzamosan magasabb iszapkor jelentkezik, ezáltal a rendszerből stabilabb és mennyiségében is redukáltabb iszap elvételére nyílik lehetőség. (Barótfi, 2000)

3.3. Iszapstabilizálás

Az iszapsűrítést követő technológiai lépcső a stabilizálás. Ennek a folyamatnak a célja az iszap víztartalmának további csökkentése, valamint a szerves anyagok stabilizálása és a patogenitás megszüntetése. Fontos, hogy a kezeléssel megelőzzük a további tárolás, vagy elhelyezés során a káros gázok keletkezését és ezzel megóvjuk a technológiai egységeket és a környezetet. Ahhoz, hogy az iszapstabilizálás végbemenjen, valamilyen módon energiaközlést kell alkalmazni (fermentációs hőenergia, mesterséges hőközlés, vegyi folyamat), amely hőátadás, vegyszeradagolás, vagy biokémia útján történhet. (Kárpáti, 2002)

3.3.1. Kémiai iszapstabilizálás

A stabilizálás egyik kezdetleges módja a szennyvíziszaphoz történő mész adagolással végezhető el. Ezzel a módszerrel megnő az iszap szárazanyag tömege, ezáltal a térfogata is és ezzel párhuzamosan lecsökken annak fűtőértéke. A mészbekeverés jelentős hátránya, hogy megnöveli az iszap ártalmatlanításának költségét. (Kárpáti, et al., 2014)

3.3.2. Termikus iszapstabilizálás

Az iszapstabilizálás elvégezhető termikus kondicionálással is, amely során az iszap sejtfalanyagának roncsolásával eltávolítható a sejtben kötött víz és egyúttal a magas hőmérséklet hatására a patogén mikroorganizmusok is elpusztulnak. Erre a feladatra számtalan műszaki megoldás létezik, közül a Porteus-eljárás, amely során a szennyvíziszap 40-220°C hőmérsékletnek és 16-20 bar nyomásnak van kitéve. A módszer hatására az iszapban kötött víz eltávolításra kerül, amely nagyban növeli a víztelenítéssel elérhető szárazanyag tartalmat a végtermékben. Hátránya, hogy az eltávolított többlet vizet tisztítani szükséges, mely növeli a tisztítási technológia költségeit. (Rózsáné Szűcs, 2013)

3.3.3. Biológiai iszapstabilizálás

A biológiai stabilizálás aerob, valamint anaerob módon, különböző hőmérsékleti tartományokban játszódhat le. A kettő módszer közötti fő különbség a folyamatot elősegítő mikroorganizmusok eltérő metabolikus jellemzői jelentik.

Az **aerob iszapstabilizálás** során a szennyvíziszap megfelelő levegőellátásának hatására olyan biológiai folyamatok mennek végbe, amelyek segítségével a szerves szennyezőanyagok koncentrációja lecsökken. A mikroorganizmusok saját protoplazmájukat felhasználva energiát termelnek. Sejtanyaguk csaknem 75-80%-a oxidálható, a maradék hányad inert anyag és le nem bontható szerves vegyület. A stabilizáció átlagosan 20 napos tartózkodási idő mellett játszódik le mechanikai vagy diffúzoros levegőellátással kiépített reaktorokban. Ilyen típusú eljárások közé soroljuk az aerob iszaprothasztást, amelynek célja az eltávolított iszap aerob úton történő lebontása. A technológiát elsősorban eleveniszapos eljárást alkalmazó szennyvíztisztító telepeken használják. A rothasztást ugyanazon méretű medencékben végzik, mint az eleveniszapos tisztítást, gyakran a levegőztető medencék egy különválasztott rekeszében. (Varga, et al., 1965)

Elterjedtebb eljárás az **anaerob iszapstabilizálás**, amely során a kezelendő iszap egy speciálisan erre a célra kialakított reaktorba kerül betáplálásra, ahol az adott körülményekhez adaptálódott mikroorganizmusok elvégzik a szennyvíziszapok bontható szerves anyag tartalmának lebontását. A reaktorban, vagy más néven rothasztóban a szerves anyagok oxigén mentes körülmények között disszimilálódnak. Ezt a folyamatot metános rothadásnak, vagy metános fermentációnak, a keletkező mellékterméket pedig biogáznak nevezzük. A folyamat technológiai szempontból alapvetően kettő hőmérsékleti tartományom játszódik le, mezofil (35-38°C) és termofil (50-56°C) tartományokon. A mezofil tartományban tapasztalható aktivitás 35°C körüli hőmérsékleten éri el a maximumát, ahonnan a hőmérséklet emelésével 40°C felett már aktivitás csökkenés figyelhető meg. A hőfok további emelkedésével, 50°C felett elérjük a termofil zónát, ahol már teljesszámú eltérő mikroorganizmus kultúra kialakulására számíthatunk. A folyamat során a biogáztermelés sebessége a kettő hőmérsékleti tartományban eltérő. Ez a szám a termofil zónában 25-50%-kal magasabb, mint a mezofilban, miközben a hozam csaknem 50%-kal kevesebb. Tekintve, hogy a termofil hőmérsékleti tartományban aktív mikroba közösségek spektruma jelentősen szűkebb, hosszabb a felfutási idő ezekben a reaktorokban és lényegesen nehezebben adaptálódnak a szubsztrát összetételének változásaihoz és a toxikus hatásokhoz. Ezzel szemben a patogenitás megszüntetésének határfoka a termofil reaktorokban nagyobb mértékű. Jellemzően az anaerob iszaprothasztás jelentős beruházási költséggel jár együtt, azonban az alacsony üzemeltetési költségek mégis kedvező megoldást jelenthet nagy telepeken esetében. A metántermelés a mezofil tartomány alatti hőmérsékleten, akár 20°C alatt is lejátszódik, amelyet pszichrofil folyamatnak nevezünk. Ezt az eljárást elsősorban az állati trágyák kezelésére használják. (Kárpáti, et al., 2014; Kovács, et al., 2003)

3.4. Iszapkondicionálás

A **segédanyag** a komposztálás elsődleges összetevőjéhez, a nyersanyaghoz kevert olyan anyag, melynek célja a szén-nitrogén egyensúly megteremtése, a pH megváltoztatása, a stabilitás megnövelése, és a megfelelő nedvességtartalom elérése. A segédanyagoknak két fajtáját különböztetjük meg:

- Szerkezetjavító segédanyagok: jellemzően szerves anyagok, használatának célja a keverék levegőellátásának fokozása a fajtérfogat és a kialakuló légtér-hányad növelésével.
- Kalóriaérték növelő segédanyagok: jellemzően szerves anyagok, feladata, hogy a nyersanyaghoz keverve megnövelje annak egységnyi tömegéből kiáramló hő mennyiségét a biológiailag bontható szerves anyag hányad növelésével.

3.5. Iszapvíztelenítés

A szennyvíziszap víztelenítése részben egyszerű fizikai művelet, részben kémiai és fizikai hatások együttese. Az iszapvíztelenítési eljárások természetes (szikkasztóágy) és mesterséges folyamatokra bonthatók. (Kárpáti, et al., 2014)

3.5.1. Dobszűrő

A szennyvíziszap víztelenítési eljárások egyik legegyszerűbb és leghatékonyabb módja a szűrés, illetve a préselés, amelyeket a statikus eljárások közé sorolunk. A szűrés legismertebb képviselője a vákuumdobszűrő. A berendezés alkalmazása esetén az iszap valamilyen formájú előkezelése szükséges, amely hatására akár 25-30% szárazanyag tartalmú iszap is előállítható. A vákuumdobszűrőknek számtalan kialakítási módja ismert. Egyes megoldásoknál a forgó dobszűrőszövetet korrózióálló acélspirálhuzalok alkotják, ebből kifolyólag a szűrőfelület tartós. A szűrés folyamatos üzemű, működés közben a dob mindenkor alsó felületrésze a víztelenítendő iszapot tartalmazó tartályba merül és a dob belsejében ható vákuum a forgó dobfelületre ráakadó iszaprétegből a szűrletvizet a dobba juttatja, ahonnan az elvezetésre kerül. A szűrőszövet a dobfelületről a terelőgörgők közvetítésével átmenetileg eltávolodik és a már víztelenített iszaplepenyt a szállítószalagra juttatja. Mielőtt a szűrőszövet újból a dobfelülethez csatlakozik, mosóvízsugárral tisztítható. (Öllös, 1975; György, 1974)

3.5.2. Szalagszűrő prés

A szalagszűrőprés a vákuumdobszűrővel szembeni legnagyobb előnye a megnövekedett szűrési nyomás, amely jóval nagyobb szűrési teljesítményt és kisebb víztartalmú iszaplepenyt eredményez. Ezzel együtt a szűrőprés fajlagos teljesítménye közel azonos, mint a dobszűrőé, azonban a nagyobb szárazanyag tartalommal megnövekedett energiafogyasztás jár. Az eljárás hátránya, hogy nehezen automatizálható és csak szakaszosan üzemeltethető. A szalagszűrő prés többnyire vízszintes helyzetű egymással fedésben lévő mozgó szalagokból álló berendezés. A prés alsó részében mozgó szalagra szivattyúzzák a víztelenítendő iszapot, ahol víztartalmának egy részét elveszíti. A kialakuló iszaplepeny a szalagon előrehaladva a felső nyomószalag hatására fokozatosan növekvő nyomás alá kerül, amelynek hatására további víztelenítés következik be. A nyomóerő nagysága a szalag megfeszítésével állítható és ennek hatására változtatható a víztelenített iszaplepeny szárazanyag tartalma. A szűrési eljárások alapján működő berendezések üzeme többnyire megbízható, a kialakuló iszaplepeny minősége egyenletes. A szűrőberendezés alacsony karbantartásigényű, kevés mozgó alkatrészt tartalmaz, illetve a szűrési folyamat viszonylag lassú, emiatt a szerkezeti anyagok igénybevétele kicsi. A

szűrők üze me jól automatizálható, gondos üzemeltetés mellett akár 20-35% szárazanyag tartalmú iszap is előállítható. (Benedek & Valló, 1990)

3.5.3. Kamrás prés

A szűrőkendővel bevont szűrőlapokat (szűrőlapköteget) egy hidraulikus munkahenger egymáshoz szorítja. Ezután egy szivattyú nagynyomással a szürendő anyagot (iszap) a szűrőlapok közötti kamrákba juttatja. A szűrőkendő áteresztő képességének megfelelő szemcseméretű és annál kisebb részek szűrletként távoznak, míg az annál nagyobb szemcsék a kamrákban rekednek. Ez utóbbiakból alakul ki az iszaplepeny. A kamrák közötti iszap maga is egyre nagyobb ellenállású szűrőréteggént működik. A kamrás préseknel alkalmazott maximális nyomás általában 10-14 bar között változik. A feltöltési fázis után a magöblítés következik, ami lehet levegővel, vízzel, vagy egymás után mindkettővel elvégezni. A kamrák tartalma, vagyis az iszaplepenyek a szűrőlapok széthúzása után eltávolíthatók. Az eltávolítás nagyobb méretű berendezéseknél gépi úton mechanikus vagy hidraulikus lapozó rendszerrel történik. A kamrás présekkel elérhető szárazanyag tartalom a nyomásprogramtól, a kondicionálástól, és a betáplált iszap jellemzőitől függően 32-42% között változhat. A szűrőkendő eltömődése miatt a szűrési ellenállás növekszik és a lepenyleválás romlik. Emiatt a szűrőkendőket az iszap minőségétől és a kondicionálástól függően 50-150 ciklusonként mosni kell. A mosás nagy méretű gépeknél gépi úton, kisméretű gépeknél kézi úton történhet. A mosáson túl szükséges a berendezést 100-500 ciklusonként savazni is. A savazás során 5%-os sósav oldattal kell a kamrákat feltölteni, majd azt 6-24 óra közötti időre a berendezésben kell hagyni. (Öllös, 1995)

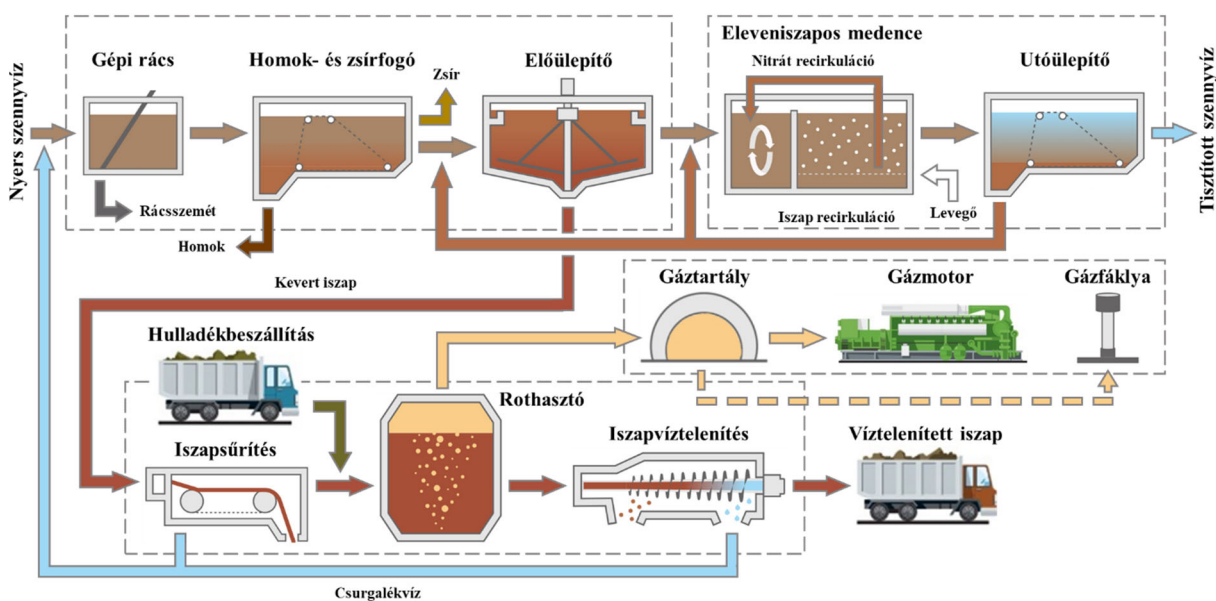
A membránnal ellátott prések esetében a kamrás préseknel alkalmazott feltöltési ciklus egy membránózási fázissal egészül ki. Ezen prések táblakötege felváltva tartalmaz kamrás és membrán táblákat. A prések iszappal történő feltöltése után a membránokba általában 15 bar nyomású vizet vezetünk egy nagynyomású szivattyú segítségével. Ezt a nyomást általában 15 percig tartjuk fent. Az ezután következő magöblítés és lapozás megegyezik a kamrás présekével. Az így elérhető iszap szárazanyag tartalma 35-45%. (Öllös, 1995)

3.5.4. Víztelenítő centrifuga

A centrifugával történő víztelenítés már a dinamikus módszerek közé tartozik. Hatékonyságuk technológiai szempontból a szűrési eljárásokkal elért eredmények alatt helyezkedik el, azonban kapacitásuk felülmúlja azt. Sokkal elterjedtebb berendezések mind ülepítési, mind víztelenítési célokra a folyamatos üzemű csigás centrifugák. (Simándi, 2011) Működésük a 3.2.3 pontban leírtakkal megegyezik.

4. SZENNYVÍZISZAP KEZELÉS AZ ÉSZAK-PESTI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEN

Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep 200 ezer m³/nap-os kapacitással Magyarország második legnagyobb szennyvíztisztító telepe. A biológiai tisztítás során keletkező szennyvíziszap kezelésére kiépített technológia a beüzemelése óta történő folyamatos fejlődés következtében napjainkra olyan szintre került, amely hatékonyan, a tisztítómű követelményeit kielégítően képes kezelni az iszapot. A folyamat első lépése az iszap sűrítése, amelyet anaerob mezofil rothasztókban lejátszódó iszapstabilizáció követ. Végezetül a kezelés utolsó fázisaként a víztelenítés következik, amely centrifugák segítségével történik.



8. ábra - Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep folyamatábrája
Forrás: saját szerkesztésű ábra

4.1. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep iszapkezelésének története

A Budapesten keletkező szennyvíz mennyiségének fokozatos növekedése és a főváros északi kerületeiben elindult igen jelentős lakótelep-építési program hatására az akkori Fővárosi Tanács a 70-es években tervpályázatot hirdetett egy új szennyvíztisztító telep megépítésére. A nyertes pályázatot Berkes László és Juhász Endre vezette Viziterves munkacsoport készítette el. A tervek szerint az új telep helyét az Újpest határában lévő Palota szigetre tűzték ki. A kiviteli tervek az 560 ezer m³/nap végkapacitásra előirányzott tisztítómű egynegyedére, az I. ütemben meghatározott 140 ezer m³/nap kapacitás kiépítésére szolgáltak. A tervek szerint az iszapkezelésre a kornak megfelelő anaerob rothasztókat választottak, amelyeket nem a szűkös tisztítótelepen, hanem nyomóvezeték közbeiktatásával a nagyjából négy kilométerre elhelyezkedő szemétegető mellé javasolták. Az elképzelésük szerint a kezelés hatására

keletkező több tízezer m³ biogáz a szeméttégetés tüzelőanyagaként szolgálhatott volna, másrészt a kirohasztott iszap elszállítása Újpestet elkerülve valósulhatott volna meg. A terveknek keresztbe tett a politikai nyomás hatására érvényesülő szocialista elszámolás, amelynek hatására a tisztítómű végleges kiviteli terveit és a gépészeti berendezéseket az egyik Moszkva Megyei Tervező vállalat szállította le. A szakma hazai képviselői és a szovjet normatívák számos nézőpontban sorra összeütközésbe kerültek. A végleges tervekbe végül a rothasztó helyett egy igen régi típusú, kis hatékonyságú dobszűrő került be, amelyhez egy hamisítatlan szovjet megoldás, egy gázüzemre átalakított MIG repülőgép-hajtómű párosult iszapszárítóként. A megvalósult szovjet technológiákat sorra kellett lecserélni, vagy átalakítani a konstrukciós hibák, illetve az elégtelen hatékonyságuk miatt. Az iszapvíztelenítésre beépített elavult, nagy önsúlyú vákuumdobszűrők mindössze 14-16%-os szárazanyag tartalmú iszapot tudtak előállítani, emellett gyakori meghibások jelentkeztek a vákuumrendszerben. (Juhász, 2011)



9. ábra - Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep iszapkezelő csarnoka, 1986.

Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

Az 1977-ben megkezdődött építési munkák az I. ütem üzembe helyezésével, 1986-ban fejeződtek be. A megvalósult iszapkezelési vonal 280 000 m³/nap szennyvízmennyiségből keletkező szennyvíziszap kezelésére volt hivatott. Az eleveniszapos rendszerből mammut szivattyúk segítségével eltávolított iszap a 250 m³ térfogatú kiegyenlítő tartályba került, ahonnan centrifugál szivattyúk az iszapkezelő csarnokba (9. ábra) szivattyúzták az iszapot. Az iszapot víztelenítés előtt vegyszeres kondicionálással, vasklorid-szulfát és mésztej-oldat hozzákeverésével kezelték. A vasklorid-szulfát tárolására 4 darab keménygumival bélelt acéltartály, a mész tárolására 3, egyenként 250 m³-es siló létesült. A kondicionált iszap

víztelenítését 8 darab, egyenként 40 m² szűrőfelületű vákuumdobszűrő (10. ábra) végezte, amelyhez a szükséges vákuumot vízgyűrűs szivattyúk biztosították.



10. ábra - Vákuumdobszűrők az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 1986.

Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

A víztelenített iszapot gépkocsikon szállították el a telepről, amelynek mezőgazdasági elhelyezése a telep vízgyűjtőterületén működött börgyárak által kibocsátott magas króm-tartalmú szennyeződések miatt megghiúsult. A telep beüzemeléskor a keletkező iszap lerakása mellett döntöttek, amelynek a Csepel-szigeti lerakó adott helyet. Környezetvédelmi okok a lerakó kiváltását tették szükségessé, amelyre az Észak-pesti Szennyvíztisztító Teleptől északra, mintegy 23 km távolságban lévő Csomád település mellett létesített ideiglenes iszaplerakó bizonyult alkalmasnak. A csomádi telepen kettő, egyenként 3500 m² alapterületű iszap tároló kazetta épült, amelyekbe az első szállítmányok 1989 novemberében indultak el. A dobszűrőkkel víztelenített iszap havi mennyisége akkoriban csaknem megegyezett egy kazetta teljes térfogatával, így a szállítmányokat a két lerakó között kellett megosztani.

A költségcsökkentés jegyében a kondicionálásra kezdetben alkalmazott mészhidrát port idővel az acetilén gyártása során keletkezett melléktermék, a lényegesen olcsóbb karbidmészszel egészítették ki. Az iszapvíztelenítő berendezések folyamatos rossz üzemeltetési tapasztalatai és az iszaplerakás hatalmas költségei miatt 1991-ben megkezdődött az iszapvíztelenítő technológia átalakítása. 4 darab vákuumdobszűrőt kiszereletek a technológiai sorból, amelyből kettő helyére egy kamrásprést építettek be, kettő helyét pedig üresen hagyták a jövőbeli fejlesztéseknek. Az új, 27 tonna iszap szárazanyag/nap teljesítményű berendezés a telepen keletkezett napi 350 m³ kevert iszap teljes mennyiségét képes volt feldolgozni. Az új berendezéssel a keletkezett víztelenített iszapleány szárazanyag tartalma 40%-ra növekedett. Ezzel a technológiával a fajlagos mészhidrát felhasználás változatlan maradt, azonban a vas-só fogyasztást sikerült a korábbi mennyiség felére csökkenteni. A napi szinten keletkezett 50 m³

iszap miatt szükségessé vált az iszaplerakó bővítése, így a kezdetben csak ideiglenes lerakóként üzembe vett csomádi telephely 1993-ban további 380 000 m³ térfogatú tárolóterrel bővült, ezzel az iszap elsődleges ürítési helyévé vált (11. ábra).



11. ábra - Víztelenített iszap lerakása a csomádi telepen, 1993.

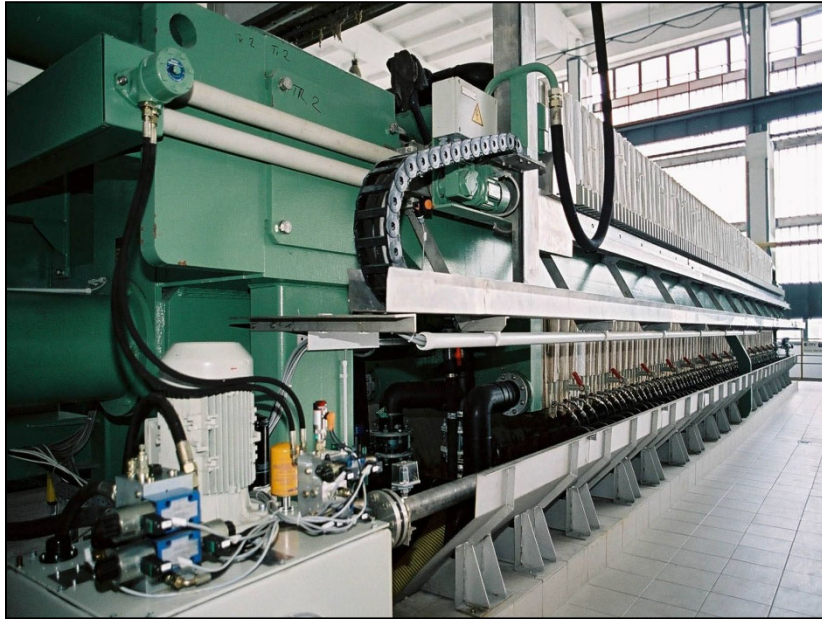
Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

Az ezredfordulót követően számos jelentős fejlesztésen esett át az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep teljes iszapkezelési technológiája. 2001-ben beüzemelésre került 3 db iszapsűrítő centrifuga (12. ábra), valamint 1 db új iszapvíztelenítő kamrás szűrőprés, amely megduplázta a telep akkori víztelenítő kapacitását. A következő évben, 2002-ben egy újabb kamrás préssel (13. ábra) egészült ki az iszapvíztelenítés.



12. ábra - Iszapsűrítő centrifugák az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 2001.

Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.



13. ábra - Kamrás szűrőprés az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 2002.
Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

Európai Uniós támogatással 2008-ban egy környezetvédelmi és bioenergetikai beruházás során az iszapkezelés tovább bővült. Megépült 2 db, egyenként 12 000 m³ névleges térfogattal rendelkező anaerob mezofil rothasztó, a hozzá csatlakozó 2720 m³-es gáztároló tartály, valamint a biogázt hasznosító és villamos energiát termelő gázmotoros rendszer egy része. A jelentős fejlesztés hatására az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep képessé vált a keletkező szennyvíziszap fermentációs kondicionálására.



14. ábra - Gázmotoros rendszer az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen, 2008.
Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

2009-ben egy új szalagos iszapsűrítő asztallal bővült a technológia, amellyel egyidőben megtörtént a sűrítő centrifugák üzemén kívül helyezése. A következő években, 2016-ig bezárólag további 2 db sűrítőasztallal egészült ki a rendszer. Az új berendezések képesek voltak a szennyvíziszap nagyobb hatékonyságú kezelésére és alacsonyabb energiaigényük révén jelentős költségmegtakarítást hoztak. 2009-ben további 2 db Caterpillar típusú gázmotort telepítettek, amellyel az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep közel 3 MW villamosenergia termelésére lett képes. A nagymennyiségben keletkező biogáz tárolókapacitásának megduplázása érdekében 2014-ben egy második gáztároló tartályt építettek.

2011-ben kezdődött meg az elavult, élettartamukat már meghaladó kamrás szűrőprések üzemén kívül helyezése. A teljes iszapvíztelenítési fokozat átépítésének első ütemében a 3 db üzemén kívül helyezett iszapsűrítő centrifuga közül 2 db felújítással egybekötött, víztelenítő centrifugává való átalakítása valósult meg, majd 2020-ban és 2021-ben, összesen 3 db új iszapvíztelenítő centrifuga telepítésével megtörtént az utolsó üzemben lévő kamrás prés kiváltása is. A fejlesztéseknek köszönhetően jelenleg 3 db szalagos iszapsűrítő asztal, illetve 5 db iszapvíztelenítő centrifuga látja el a telepen keletkező iszapok gépi kezelését.

4.2. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező szennyvíziszap

Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező nyers és fölös iszap eltávolítása egy helyen, a technológia azonos pontján történik. A biológiai tisztítási fokozat 2 párhuzamos vonaláról elvett fölös iszap teljes mennyisége szivattyúk segítségével visszavezetésre kerül az előülepítők előtti becsatlakozási pontra. A recirkuláltatott fölös iszap a befolyó szennyvíz nyers iszap tartalmával keveredik és az előülepítő medencékből kevert iszap formájában kerül eltávolításra, ahonnan csigaszivattyúk a 250 m³ térfogatú kiegyenlítő tartályba juttatják. A rendszerből elvett iszap éves mennyisége 380 000 m³, amelynek átlagos szárazanyag tartalma 2,8 és 3,6% között mozog.

A kiegyenlítő tartályban ideiglenesen tárolt iszap az iszapkezelés berendezéseinek helyet adó iszapkezelő csarnokba kerül továbbításra, ahol a 115 m³-es kevert iszap tartályba jut. Mindkét helyen keverők biztosítják az iszap kiülepedésének megakadályozását.

4.3. A szennyvíziszap sűrítése

A szennyvíziszap kezelésének első technológiai eleme a gépi sűrítés. Az iszap víztartalmának csökkentésére szolgáló folyamat 3 db szalagos sűrítőasztal (2 db PDXL-3000 és 1 db PDL-2000) segítségével megy végbe.



15. ábra - Sűrítőasztal az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen
Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

A sűrítési hatékonyság növelése érdekében flokkuláló szer, polielektrolit oldat iszaphoz keverése történik. Ezzel az eljárással a magas víztartalmú kevert iszapból 5-6% közötti szárazanyag tartalmú sűrített iszap állítható elő.

A sűrítő berendezésekből távozó iszap a mindössze 25 m³ térfogatú sűrített iszap tároló tartályba kerül, amely a rothasztó tornyokba betápláló szivattyúk puffertartályaként szolgál.

4.4. A szennyvíziszap és beszállított hulladékok, melléktermékek rothasztása

Az átlagosan 5-6%-os szárazanyag tartalmúra sűrített iszap szivattyúk segítségével a 2 db anaerob mezofil rothasztó toronyba kerül. Az egyenként 12 000 m³ térfogatú rothasztóban hozzávetőlegesen 20 nap hidraulikus tartózkodási idő mellett a betáplált iszap biológiai stabilizálása lejátsszódik.



16. ábra - Anaerob mezofil rothasztók az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen
Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

A folyamat során az iszap szerves anyag tartalmának egy része átalakul, fertőzőképessége lecsökken, szaghatása mérséklődik és melléktermékként biogáz keletkezik. A rothasztó tornyok közel állandó hőmérsékleten, 35 és 38°C között üzemelnek, amelyhez a szükséges hőmérsékletet hőcserélők biztosítják. Ehhez recirkulációs szivattyúk a tornyokból kivett iszapáramot külső ellenáramú, meleg vizes hőcserélőkben vezetik keresztül, majd juttatják vissza a tornyokba. A rothasztás során keletkező biogáz mennyiségének fokozása érdekében az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep külső forrásból beszállított melléktermékeket, illetve hulladékokat fogad. A víztelenített iszap fogadó állomáson lehetőség van kisebb szennyvíztisztító telepeken keletkező, tengelyen beszállított konténeres víztelenített iszapok fogadására, amelyet híg kevert iszappal homogenizálva szivattyúk juttatnak a rothasztókba. A telepen létesült idegen iszap fogadó állomásra különböző élelmiszeripari, folyékony hulladékok, olaj- és zsírleválasztásból származó hulladékok, cefremoslékok illetve állati eredetű fehérjefeldolgozó üzemekből származó melléktermékek beszállítására van lehetőség.

A jellemzően magas szerves anyag tartalmú beszállított anyagok a telepen belül keletkező iszaphoz keverve a rothasztókba kerülnek betáplálásra és az iszappal együtt történő rothasztásuk végbemegy. A termelődő biogáz egy része kompresszorok segítségével, tornyonként 24 db gázlándzsán keresztül visszasajtolásra kerül a rothasztókba, ezzel biztosítva a megfelelő átkeveredést. A megtermelt biogáz nagyobbik része a gázkezelő technológiai vonalra kerül, amely a gáz nedvesség- és kénhidrogén-, valamint sziloxán tartalmának eltávolítását hivatott elvégezni. A tisztított, átlagosan 60-65%-os metántartalmú biogáz 2 db, egyenként 2720 m³-es kettős membránfalú gáztároló tartályba kerül. A biogáz üzemanyagként szolgál 1 db Jenbacher és 2 db Caterpillar típusú kogenerációs kiserőműnek, valamint 2 db gázkazánnak, amelyek segítségével villamos- és hőenergia állítható elő. Az így megtermelt energia részben elegendő a telep energiaszükségletének kielégítésére, 2022-ben a telep villamosenergia-felhasználásának 77,9%-át, míg a hőenergia szükséglet 100%-át képes volt fedezni. A kirothasztott, átlagosan 3,5-4,5% szárazanyag tartalmú iszap elvétele gravitációs úton, a rothasztók tetején kialakított aknában, túlfolyásos módszerrel történik. Az elfolyó iszap ezt követően egy 1 500 m³ térfogatú rothasztott iszap tároló tartályba kerül, ahonnan szivattyúk segítségével visszajut az iszapkezelő csarnokba.

4.5. A szennyvíziszap vegyszeres kondicionálása

A rothasztott iszap utólagos kondicionálására lehetőséget nyújt az iker kialakítású, egyenként 230 m³-es kondicionáló tartály, amelyek tetején helyezkedik el a szintén iker kialakítású, oldalanként 8 m³-es vegyszerbekeverő tartály. A kirothasztott iszap tároló tartályból csigaszivattyúk emelik át az iszapot a felső vegyszerbekeverő tartályba, ahol 1,5 liter/m³ iszap adagolási arány mellett lehetőség van vas-klorid iszaphoz keverésére. Az átfolyásos tartályokból átbukással távozó iszap az alsó kondicionáló tartályba kerül, ahol folyamatos keverés hatására lezajlik a vegyszeres kondicionálás.

4.6. A szennyvíziszap víztelenítése

Az iszapkondicionáló tartályokból elvett iszap ezt követően víztelenítésre kerül, amelyet 5 db centrifuga (3 db ANDRITZ D5LX és 2 db átalakított, ANDRITZ D6LC30BHP típusú berendezés) lát el. A folyamat hatékonyságának növelése érdekében polielektrolit oldat adagolásával további iszapkondicionálás történik. Az iszapvíztelenítés hatására előállított végtermék átlagosan 23-25% szárazanyag tartalom között mozog.



17. ábra - Iszapvíztelenítő centrifuga az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen
Forrás: Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező víztelenített szennyvíziszap mennyisége éves szinten csaknem eléri a 46 000 tonnát. Az iszap átmeneti tárolását 2 db 400 m³ térfogattal bíró mozgópaddós iszaptároló siló látja el. A tárolókból történik az iszapszállító járművek megrakodása, amelyek az iszapot a végső felhasználásának helyszínére szállítják.

4.6.1. A hatékony iszapvíztelenítés feltételei

A kondicionált szennyvíziszap gépi víztelenítése előtt biztosítani kell a hatékony víztelenítés minden feltételét. A szennyvíziszap ebben a fázisban még tartalmazhat darabos, szálás szennyeződések, amelyek a szivattyúkban és egyéb gépészeti elemekben kárt tehetnek. Ennek elkerülése érdekében a kondicionált iszap elsőként egy daráló, valamint egy aprító berendezésen megy keresztül. A megfelelő homogenizálást követően a feladó szivattyúk megkezdik az iszap betáplálását a víztelenítő centrifugákba.

A kívánt víztelenítési hatásfok elérése érdekében polielektrolit oldat iszaphoz keverésére van szükség. Az oldat előkészítését és a rendszerbe történő betáplálását egy Tomal PolyRex 11 típusú berendezés és egy polimer adagolásra alkalmas csigaszivattyú végzi. A por formájú polielektrolit beoldását a berendezés beoldó tölcésére látja el, amelybe a behulló polimer por a befecskendezett vízzel elkeveredik, majd a bekeverő tartályba jut. Az 5,5 m³-es bekeverő és érlelő tartályban folyamatos keverés mellett megtörténik az oldat homogenizálása és érlelése. A 30 perces érlelési idő lejárta után megkezdődik az adagolásra kész, 0,2%-os koncentrációjú oldat átfejtése a szintén 5,5 m³-es tároló és adagoló tartályba. Innen a polielektrolit oldatot szivattyúk közvetlenül a centrifugák betápláló csövébe adagolják, ahol megtörténik az iszappal való elkeveredése.

4.6.2. ANDRITZ D5LX típusú víztelenítő centrifuga működése

A vizsgálathoz kiválasztott berendezések a 2020-ban és 2021-ben telepített ANDRITZ D5LX típusú víztelenítő centrifugák, amelyeknek a főbb műszaki paramétereit a 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat - Andritz D5LX víztelenítő centrifuga műszaki paramétereit

Kapacitás	20-40 m ³ /h
Tömeg	4811 kg
Dob átmérő	520 mm
Dob hossza	2288 mm
Centrifuga teljes hossza	4105 mm
Maximális sebesség	3220 fordulat/perc

A dinamikus elven működő centrifuga a dob forgásának hatására fellépő centrifugális erőt kihasználva elvégzi a fázisszétválasztást. A kialakult centrifugális erő összepréseli a szilárd anyagokat, ezáltal elválasztja azt a felesleges folyadéktól. A forgás következtében a nagyobb sűrűségű szilárd részecskék a dob falához préselődnek, míg a kevésbé sűrű folyadékfázis koncentrikus belső réteget alkot a doban. A dobtól eltérő sebességgel forgó csiga folyamatosan

távolítja el az elválasztott szilárd anyagokat a dob falától, és fokozatosan juttatja a dob szűkülő részébe. Az így elválasztott száraz szilárd anyag végül a dob alsó részén távozik a berendezésből.

A centrifugák számos olyan paraméterrel rendelkeznek, amelyek fontos információkkal szolgálhatnak a megfelelő üzemeltetésükhöz, amelyek beállításával optimalizálható a berendezések működése, többek között kihathatnak a végtermék minőségi tulajdonságaira. A legfontosabb üzemi paraméterek közé soroljuk az alábbiakat.

- Centrifugába betáplált iszaphozam,
- Dob abszolút sebessége,
- Csiga és dob közötti relatív sebesség,
- Szállítónyomaték,
- Folyadékgyűrű szintbeállítása.

A különböző típusú centrifugák sajátosságai a **berendezésbe betáplálható iszapáram** nagysága. Ez az érték adja meg a centrifuga hidraulikai korlátját, amely az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen üzemelő ANDRITZ D5LX centrifugák esetében minimálisan 20, maximálisan 40 m³/óra. A kapacitástúllépés iszap betömörödést, súlyosabb esetekben komolyabb meghibásodásokat okozhat.

A centrifuga fő alkatrészei a berendezésben lévő hengeres-kúpos dob és a szállítócsiga. A szállítócsiga szerepe, hogy kivonja a centrifugális erő hatására a dob falára tapasztott iszapot. A dob és a csiga közé felszerelt epicikloidális reduktor egyrésztől jelentős nyomatékot fejt ki a csigához kapcsolt kimeneti tengelyre, másrésztől a bemeneti tengelyre való egyszerű ráhatással biztosít egy precíz és változtatható differenciális sebességet (csiga sebessége a dobéhoz képest). (ANDRITZ AG, 2019)

A főmotor nyomatéka a reduktor külső gyűrűjére hat. Ez a nyomaték hajtja meg a dobot az **abszolút sebességgel** (AS) és a reduktor bemeneti tengelyét egy másodlagos sebességgel (MS). Az abszolút sebesség növekedése kedvező hatásokkal bírhat a centrifuga egyes üzemi paramétereire. Egyrészt növeli a víztelenített iszap szárazanyag tartalmát, másrészt pozitívan hat az eltávolítható lebegőanyag mennyiségére. Az abszolút fordulatszám megfelelő beállítása, valamint optimalizálása elengedhetetlen, ugyanis nem elégséges beállítása esetén számos kockázatot jelent az üzemre nézve. Előidézheti a szállítócsiga túlzott mértékű kopását, a forgatónyomaték beszorulását, jelentős rezgést okozhat, amely arányos a fordulatszám négyzetével, valamint megnövekedett zajszintet eredményezhet. (ANDRITZ AG, 2019)

A mellékmotor nyomatéka a reduktor bemeneti tengelyére a dob hajtásánál nagyobb sebességgel hat, amely a dob és a csiga között egy **relatív sebességet** (RS) hoz létre. A dob és csiga sebessége a betáplált szárazanyag-terheléshez igazodva automatikusan szabályozható frekvenciaváltók segítségével. Alacsony beállítási értéket ajánlott tartani alacsonyabb szárazanyag tartalmú iszapok esetében, ezáltal növelhető a nyomaték és a kimenő anyag szárazanyag tartalma. Magas szárazanyag tartalmú iszap víztelenítését célszerű magas relatív fordulatszám mellett elvégezni. Ügyelni kell arra, hogy elkerüljük a túlzottan alacsony beállítási értéket, ugyanis ebben az esetben a szállítócsiga dugulását idézheti elő. A relatív sebesség beállítása nagyon fontos mind a mechanika (a reduktor fáradása, eltömődés), mind teljesítmény (szárazság és tisztaság) szempontjából. A túl nagy relatív sebesség turbulenciát okozhat, amely befolyásolja a víztelenítés hatékonyságát. (ANDRITZ AG, 2019)

A centrifugák üzemeltetése szempontjából rendkívül fontos a fentebb részletezett, elsődleges sebesség (dob sebessége), másodlagos sebesség (kihordó csiga sebessége), és relatív sebesség. A relatív sebesség határozza meg az iszapkihordás sebességét és így a víztelenített iszap szárazanyag tartalmát. A rotor túlzott sebességének veszélye, hogy a dob deformálódását, vagy szétrepedését okozhatja. (ANDRITZ AG, 2019)

A relatív sebesség meghatározása az alábbi képlettel végezhető el (ANDRITZ AG, 2019):

$$RS = \frac{(AS - MS)}{k}$$

- ahol: RS: fordulatszám különbség a szállítócsiga és a dob között, azaz relatív sebesség
AS: dob fordulatszáma, azaz abszolút sebesség
MS: bemeneti tengely reduktor fordulatszáma, másodlagos sebesség
k: reduktor redukciós értéke, amely a vizsgált dekanter esetében 174.

A centrifuga **nyomaték** megfelelő paraméterezése nehéz feladat. Optimális beállítása egyrészt függ a víztelenítendő iszap minőségétől, másrészt a meghajtó motortól, a hajtómű nyomatékától és áttételétől, valamint a motor vezérléséhez használt változtatható sebességű hajtás típusától is. A legtöbb centrifuga nyomaték-szabályozási logika a szabványos, sebesség- és nyomatékkülönbségre épülő PID szabályozáson alapul, amelyek beállítása és fenntartása nehézkes. A nyomaték az iszap karakterisztikájának változásától, a feldolgozott iszap mennyiségétől, a szezonális változásoktól, valamint bizonyos esetekben a hátsó meghajtó motor kopásától függően változik. (ANDRITZ AG, 2019)

A centrifuga **szintbeállító lemezei** a dobban lévő folyadékgyűrű magasságának beállítására szolgálnak, ezek biztosítják az iszapcentrifugálás során keletkező folyadékfázis elvezetésének műszaki megoldását. A dob hengeres végén elhelyezett bukóélen keresztül folyik ki a csurgalékvíz a dobból. A bukók állításával a csurgalékvíz lebegőanyag tartalma befolyásolható. Minél magasabb a folyadékszint, vagyis minél magasabb szintről történik a csurgalékvíz elvétele, annál alacsonyabb a várható lebegőanyag tartalom. Alacsony szint esetén megnövekszik a kezelt iszap szárazanyag tartalma, azonban a szállítónyomaték és a csurgalékvíz tisztasága lecsökken. A szintbeállító lemezek magassága befolyásolja a gép teljesítményét, ezért könnyen és gyorsan módosíthatónak kell lennie. A lemezek elcsúsztathatók és egyik oldalukon látható jelölések könnyítik a beállításukat. (ANDRITZ AG, 2019)

A centrifugák megfelelő működése érdekében elengedhetetlen polielektrolit oldat előállítása 2,0 g/l-es oldatkoncentráció mellett történik. Az oldat adagolásának mennyiségi szabályozása a centrifuga beállításával, a polimer-iszap arány paraméterezésével végezhető el. Az adagolandó mennyiség meghatározása manuálisan, a víztelenített iszap szárazanyag tartalmának napi kétszeri helyszíni mérése alapján történik. A rendszer a szükséges vegyszermennyiséget az alkalmazott oldatkoncentrációból, a fajlagos iszap-polimer arányból, valamint a rothasztott iszap mennyiségéből és szárazanyag tartalmából határozza meg.

4.6.3. Az iszapvíztelenítési folyamat nyomon követése

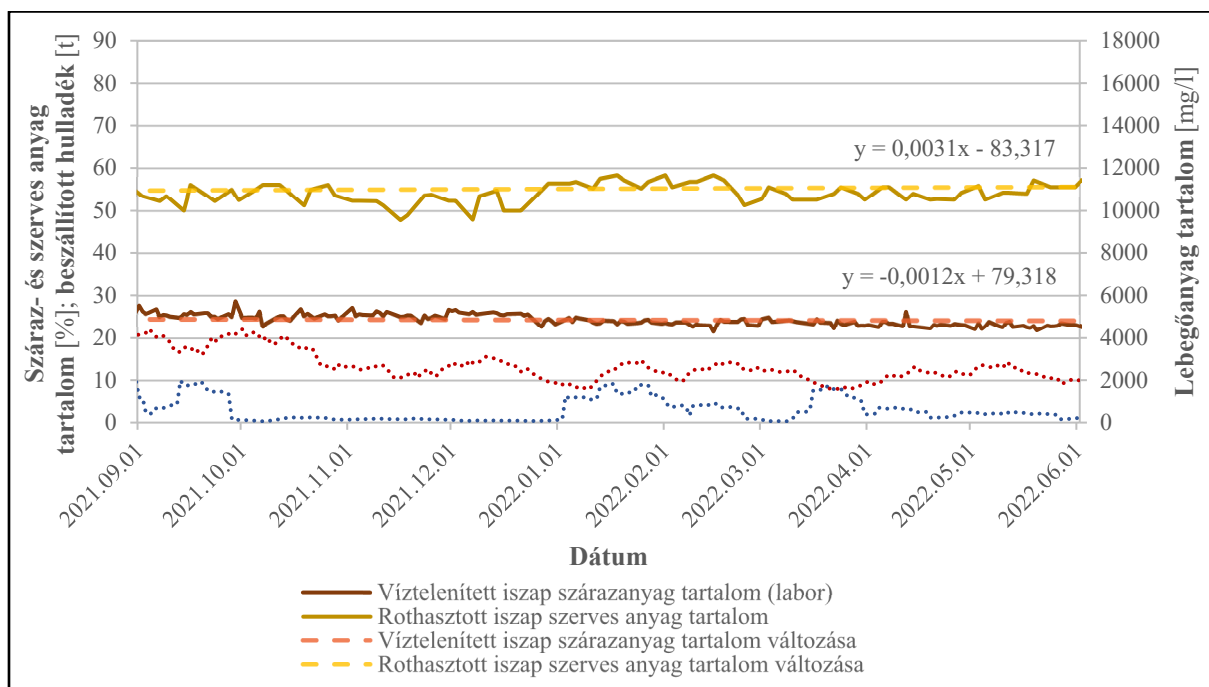
Az iszapvíztelenítés hatékony üzemeltetése szempontjából elengedhetetlen a kellő sűrűségű és megfelelő minőségű mért adatállomány. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező iszap víztelenítésének napi üzemeltetése során a 2. táblázatban felsorolt mérések és egyéb gyűjtött paraméterek állnak rendelkezésre.

2. táblázat - Centrifugák napi gyűjtött üzemi- és laboradatai

Izzapfeladás	Mért üzemadat
Polimer feladás	
Polimer-iszap arány	
Belső dob sebesség	
Külső dob sebesség	
Abszolút sebesség	
Relatív fordulat	
Nyomaték	
Hőmérséklet	
Rezgés	
Víztelenített iszap	
Csurgalékvíz	

5. AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK HATÉKONYSÁGÁNAK, VALAMINT ENERGIA- ÉS VEGYSZERFELHASZNÁLÁSÁNAK ELEMZÉSE

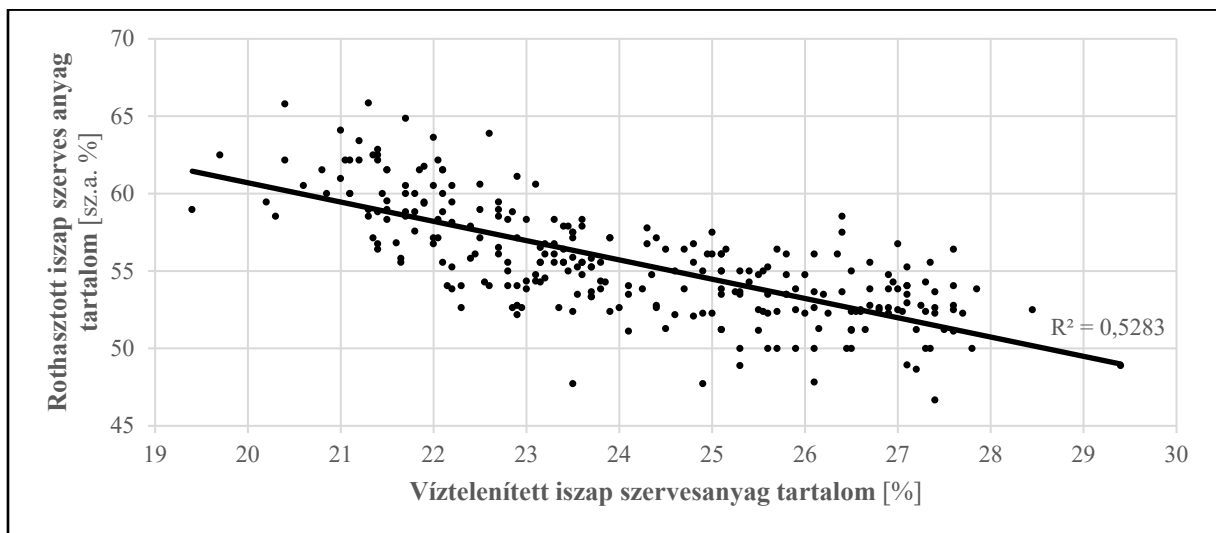
Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező szennyvíziszap víztelenítését 2021 óta túlnyomó részt a 3 db Andritz D5LX típusú víztelenítő centrifuga látja el. Dolgozatomban ezeknek a berendezéseknek a működését jártam körül. Az 1. melléklet szemlélteti a 3 vizsgált centrifuga által előállított víztelenített iszap, valamint a keletkezett csurgalékvíz minőségi adatainak átlagértékeit, a rothasztott iszap szerves anyag tartalmának változását, illetve a beszállított, magas szerves anyag tartalmú hulladékok mennyiségének alakulását. A diagram tartalmazza továbbá azokat az időszakokat, amikor a rothasztott iszap vegyszeres kondicionálása érdekében vas-klorid adagolás történt. A centrifugák adatait tartalmazó adatsorokat, illetve az ebből előállított diagramokat a berendezések üzembe állítása óta gyűjtött adataiból állítottam elő. A rothasztott iszap minőségének változása, valamint a beszállított hulladékok mennyisége közötti összefüggés jobb megértése érdekében a hulladékokat a beszállítástól számítva a rothasztók hidraulikus tartózkodási idejének megfelelő idővel, 20 nap eltolással ábrázoltam.



1. diagram - Rothasztott iszap szerves anyag tartalma és víztenített iszap szárazanyag tartalma közötti összefüggés

Az 1. melléklet diagramján ábrázolt rothasztott iszap szerves anyag tartalom és víztenített iszap szárazanyag tartalom közötti összefüggést a 2021. szeptembertől 2022. júniusig tartó időszak szemlélteti legjobban. Ezt az időintervallum részletet az 1. diagram ábrázolja. Az összefüggés bemutatására olyan időszakot választottam, ahol a centrifugák üzemi

paramétereit nem változtattuk és az egyéb üzemi körülmények is a lehető legkisebb mértékben befolyásolhatták az iszapminőségek változását. Az említett időtartamban nem végeztünk vas-kloridos vegyszeres kondicionálást, illetve a beszállított hulladékok napi mennyisége csaknem konstans volt a teljes időszakban. A rothasztott és a víztelenített iszapra felrajzolt trendvonalak meredeksége megadja, hogy a vizsgált jelenségek a trend szerint időegységenként átlagosan hányszorosára változtak, amelyek értéke ellenkező előjellel, de közel azonosak. Ez azt jelenti, hogy az emelkedő rothasztott iszap szerves anyag tartalom csökkenést eredményezett a víztelenített iszap szárazanyag tartalmában. Ezt a hipotézist a két változó közötti kapcsolatot vizsgálatával is ellenőriztem. A mérések közötti lineáris kapcsolat szorosságát korrelációs együttható számításával jellemeztem. A vizsgált időszakban mért értékpárokból szóródási diagramot állítottam elő, amelyet a 2. diagram szemléltet.

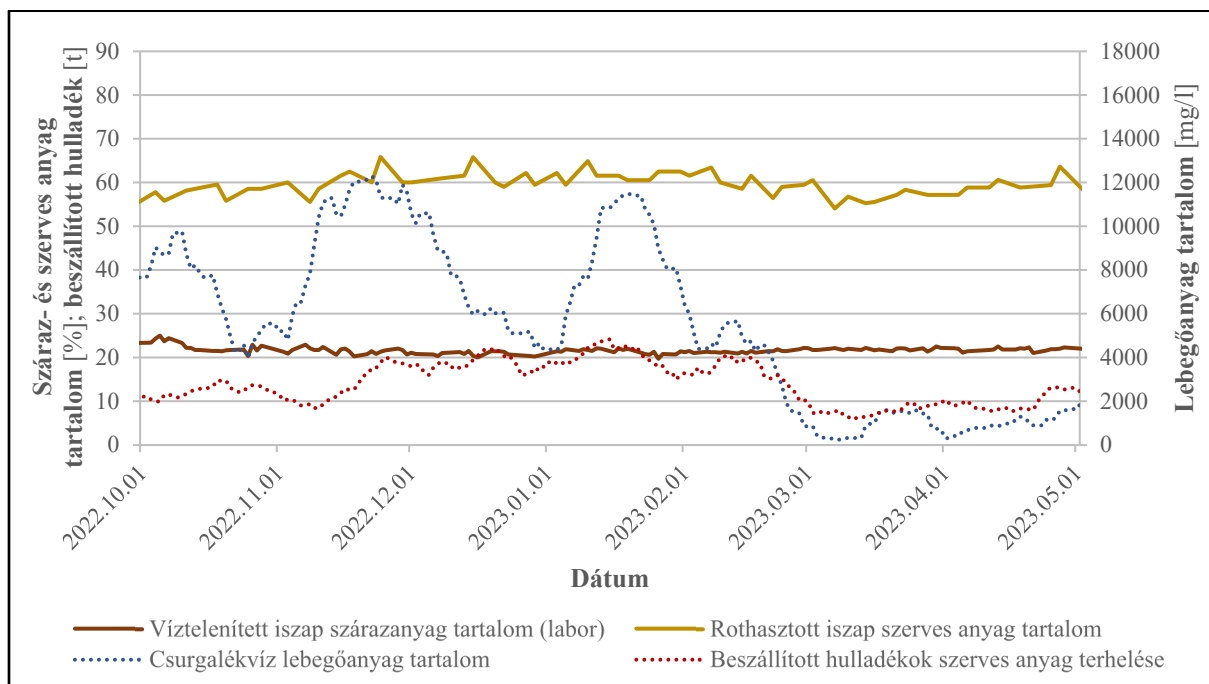


2. diagram - A rothasztott iszap szerves anyag tartalom és víztelenített iszap szárazanyag tartalom közötti kapcsolati diagram

Az ábrázolt pontok közelítőleg egy egyenes mentén helyezkednek el, amely láthatóan csökkenő. Ez alapján a rothasztott iszap szerves anyag tartalma és a víztelenített iszap szárazanyag tartalma között negatív korrelációt feltételezek. A pontpárookra illesztett trendvonal R-négyszert értéke – amely 0,53 – megadja, hogy a víztelenített iszap szárazanyag tartalmának variabilitásának hányad részét magyarázza a két változó közti lineáris kapcsolat. Ebből az értékből gyökvonással visszaszámolható az illeszkedés pontosságát jelölő korrelációs koefficiens, amely jelen esetben 0,73. A korreláció értelmezéséhez használt megközelítés (Guilford, 1954) szerint a két érték között magas korreláció áll fent, amelyből markáns kapcsolatra következtek.

A rothasztók optimális üzemeltetésének ellenére sem minden esetben biztosítható a folyamat végén előállított stabilizált iszap szerves anyag tartalmának a kívánt szinten tartása. A

befolyásolható üzemi körülmények, mint például a hőmérséklet, vagy a megfelelő átkeverés sokszor kevésnek bizonyul. Az eljárást lényegesen befolyásoló egyik külső tényező a beszállított, iszappal együtt kezelendő hulladékok és melléktermékek, amelyeknek mind a mennyiségi, mind a minőségi változékonysága szembeűnő. Az elemzés során vizsgált időszakban több esetben is megfigyelhetők a beszállításokban olyan mennyiségbeli kiugrások, amelyek egyértelműen kihatottak a rothasztott iszap szerves anyag tartalmára. Az egyik legjelentősebb ilyen intervallumot a 3. diagram ábrázolja.

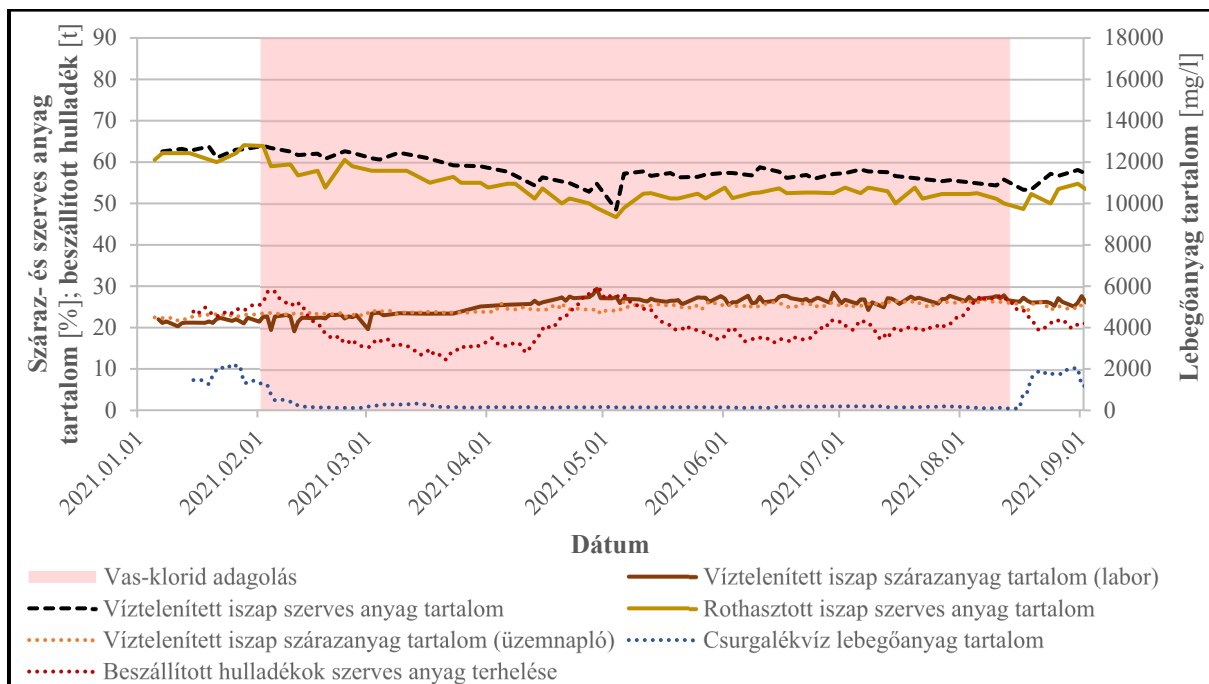


3. diagram – A rothasztott iszap szerves anyag tartalma és a beszállított hulladékok közötti összefűgés

A fenti diagramon látható, hogy 2022. november közepétől 2023. márciusáig nagymennyiségű hulladékot, a korábbi volumen közel kétszeresét szállították be a telepre. A megnövekedett szerves anyag terhelés és a nagymennyiségű betáplált hulladék és melléktermék hatására lecsökkent a hidraulikus tartózkodási idő, emiatt a szokottnál nagyobb terhelést kapó rothasztókból távozó rothasztott iszap szerves anyag tartalma is nőtt. Az említett időszakban megnövekedett rothasztott iszap szerves anyag tartalom negatív hatást gyakorolt a centrifugák működésére és a változatlan üzemi paraméterek mellett kismértékben lecsökkent a víztelenített iszap szárazanyag tartalma. Ez a hatás egyaránt megfigyelhető a 2., 3. és 4. mellékletek diagramjain is, amelyek a három vizsgált berendezés adatait külön ábrázolva mutatják.

Az opcionálisan végrehajtható vegyszeres kondicionálás – amely a rothasztott iszaphoz kevert vas-kloriddal végezhető – hatását a 2021. év első felében elvégzett próbán keresztül mutatom be. 2021. február elejétől 2021. augusztus közepéig terjedő időszakban a kirothasztott iszap vegyszeres kondicionálását végeztük, amely során vas-kloridot adagoltunk a centrifugák

előtti vegyszerbekeverő tartályba. A próbaidőszak alatt mért adatok összefoglalását a 4. diagram mutatja.



4. diagram - A vas-klorid adagolás és a víztelenített iszap szárazanyag tartalmának közötti összefüggés

A diagramon látszik, hogy az adagolás kezdetét követően 21-22%-ról egészen 27-28%-ig fokozatosan emelkedett a víztelenített iszap szárazanyag tartalma. Ezidő alatt a centrifugák üzemi paramétereiben nem következett be változás. A vas-klorid adagolás alatt megfigyelhető kismértékben ingadozó, de fokozatosan emelkedő beszállításokból eredő szerves anyag terhelésnek a végtermék minőségében éppen ellenkező hatást kellett volna kiváltania. Az ennek ellenére a növekvő szárazanyag tartalom változás részben a rothasztott iszap szerves anyag tartalmában bekövetkező csökkenés, részben a vas-kloriddal végzett kondicionálás miatt ment végbe. A vas-klorid kedvező hatására utalhat az is, hogy a vegyszeradagolás időszaka alatt jelentősen csökkent a víztelenítés során keletkező csurgalékvíz lebegőanyag tartalma.

6. AZ ISZAPVÍZTELENTŐ CENTRIFUGÁK OPTIMALIZÁLÁSA ÉRDKÉBEN VÉGZETT VIZSGÁLATOK

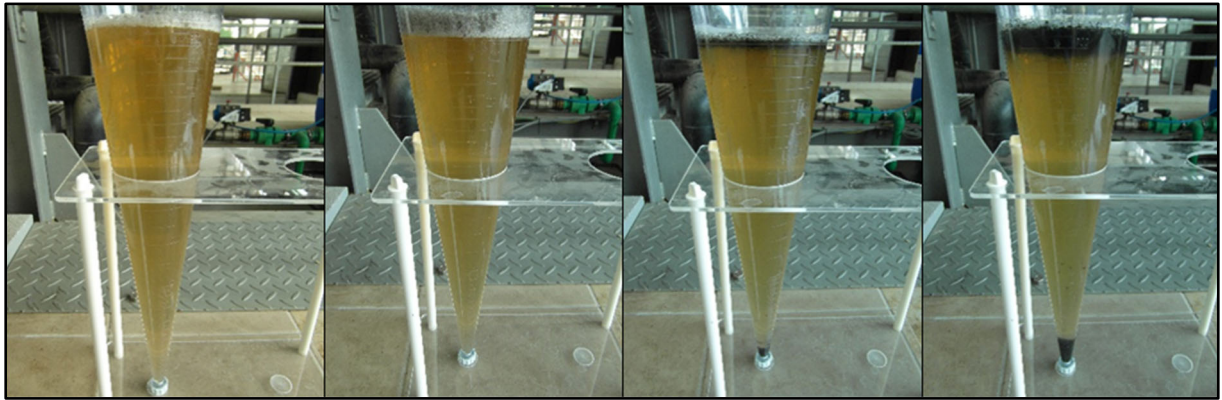
Az 5. pontban bemutatott üzemi paraméterek értékeléséből levont következtetések eredménye alapján végeztem el a centrifugák optimalizálását. Annak érdekében, hogy a berendezések üzemi értékeit és a folyamat végtermékeként kapott víztelenített iszap és a keletkező csurgalékvíz minőségi mutatóit stabil szinten, az elvártaknak megfelelő minőségen tartsuk, részletesebb vizsgálat alá vettem a centrifugákat. A további mérések kidolgozásához az összegyűjtött és már megvizsgált adatokat használtam fel, amelyek közül az alábbi paramétereket választottam ki a részletesebben feltáráshoz.

- Centrifuga szállítónyomaték
- Centrifugába betáplált iszap mennyisége
- Vegyszeradagolás (polielektrolit és vas-klorid)
- Felhasznált villamosenergia

A fenti sajátosságok vizsgálatához összeállítottam egy mérési tervet, amelynek gyakorlati megvalósítása során törekedtem a centrifuga teljesítmény-optimalizálás elvét felhasználva az üzemi paramétereket konstans értéken tartani és egyszerre minden esetben csak egy paraméter módosítását végeztem el.

Első lépésben az adott vizsgált paramétert a kívánt értékre állítottam és 30 perc zavartalan üzemelést követően, miután minden üzemi érték normalizálódott, elvégeztem a mintavételt. Minden alkalommal mintát vettem a víztelenített iszaptól, illetve a csurgalékvíztől, valamint leolvastam a berendezés által felvett pillanatnyi elektromos áramerősséget. A vizsgált paramétereket egy általam meghatározott tartományban felosztottam és kiválasztottam a megvizsgálandó értékeket.

A megvett víztelenített iszapmintákat zárható műanyagedénybe helyeztem és egy Kern MLB 50-3N típusú szárazanyag gyorsmérő készülék segítségével a helyszínen meghatároztam a szárazanyag tartalmát. A csurgalékvíz mintákat egy 1000 ml-es Imhoff-kehelybe töltöttem és 30 perces ülepedést követően leolvastam a kiülepedett iszaprézsférfogatát (18. ábra). A mintavételek megkezdése előtt minden alkalommal leolvastam a berendezés frekvenciaváltójának aktuálisan felvett áramerősségét.



18. ábra - Csurgalékvíz lebegőanyag tartalmának meghatározása

7. AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK OPTIMALIZÁLÁSÁNAK EREDMÉNYE

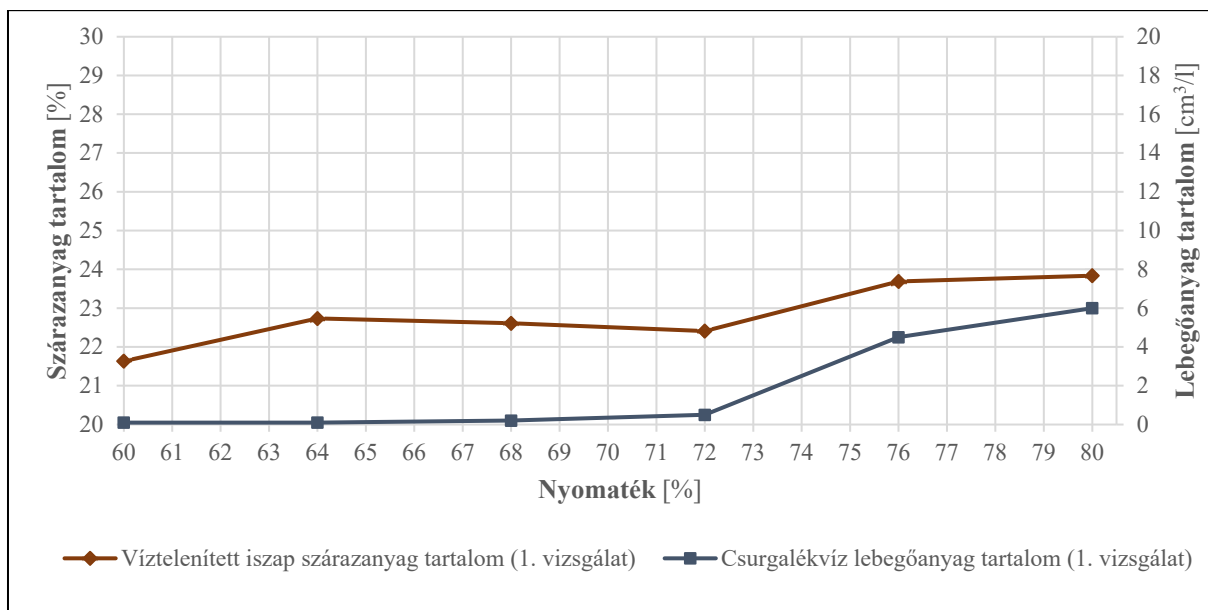
A 6. pontban bemutatott helyszíni méréseket 2023. május és november között végeztem el. A mérések időpontjait aszerint választottam ki, hogy az eltérő üzemi körülményeket kellő mértékben meg tudjam vizsgálni és az így kapott eredményeket fel tudjam használni a centrifugák megfelelő beállításához. A következő alpontokban bemutatom a vizsgálataim során előállított üzemállapotokat és a mérési eredményeimet.

7.1. A szállítónyomaték beállított értékének vizsgálati eredménye

A centrifuga szállítónyomaték értékének vizsgálati eredményeit a 3. táblázat mutatja. A nyomaték és a víztelenítés hatékonysága közötti összefüggéseket grafikusán a 5. diagram szemlélteti.

3. táblázat - A centrifuga szállítónyomaték érték változtatásának vizsgálati eredményei

Ssz.	Nyomaték [%]	Feladott iszap [m ³ /h]	Polimer-iszap arány [kg/t iszap sz.a.]	Iszap sz.a. [%]	Csurgalékvíz lebegőanyag [cm ³ /dm ³]
1/1	60	25	9,0	21,6	0,1
1/2	64			22,7	0,1
1/3	68			22,6	0,2
1/4	72			22,4	0,5
1/5	76			23,7	4,5
1/6	80			23,8	6,0



5. diagram -Nyomaték érték módosítás hatására bekövetkező változások

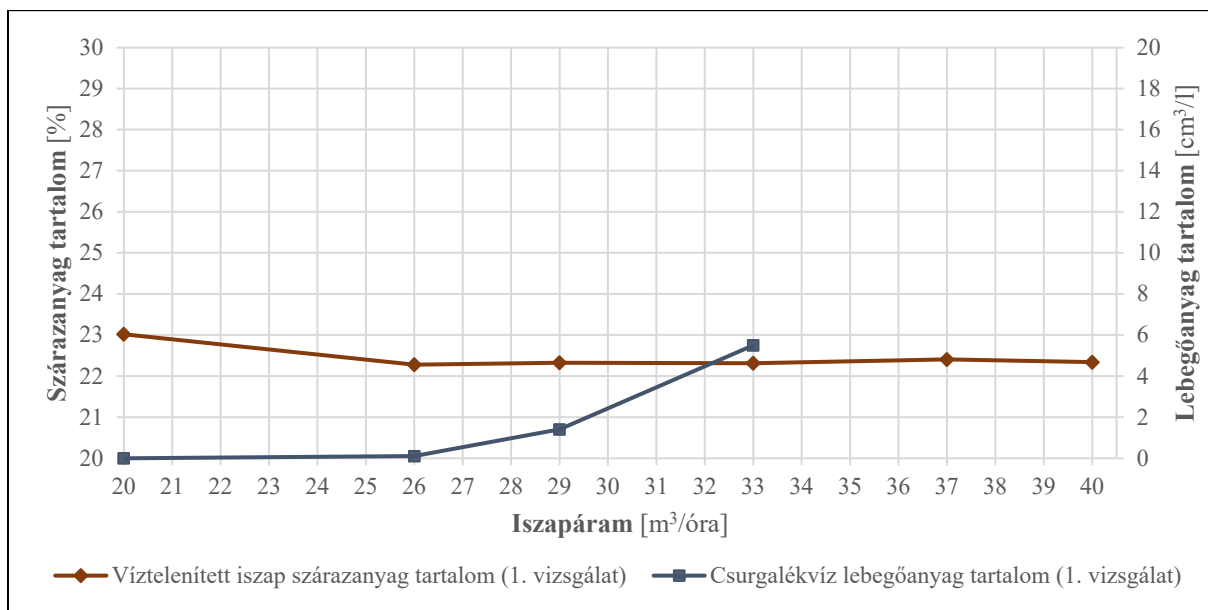
A szállítónyomaték módosításával sikerült elérni a víztelenített iszap szárazanyag tartalmának legnagyobb mértékű változását. A nyomaték növelésével emelkedett a végtermék szárazanyag-tartalma, valamint a csurgalékvíz lebegőanyag tartalmának ülepíthető és nem ülepíthető része is. A csurgalékvíz lebegőanyag tartalma kezdetben csak kismértékben változott, majd egy erőteljes ugrást követően gyorsan leromlott a minősége. A kísérlet alapján megállapítható, hogy a víztelenített iszap szárazanyag-tartalom tekintetében erre a paraméterre a legérzékenyebb. Az optimális nyomatékérték a fenti eredmények alapján vélhetően 72% körül mozog.

7.2. A betáplált iszap mennyiségének vizsgálati eredménye

A centrifugába betáplálható iszapáram minimális és maximális értéke közötti beállításokkal elért eredményeket a 4. táblázat szemlélteti. Az iszapáram és a víztelenített iszap szárazanyag tartalma, valamint a csurgalékvíz lebegőanyag tartalma között feltárt összefüggéseket a 6. diagram ábrázolja.

4. táblázat - A centrifugába betáplált iszap mennyiség változtatásának vizsgálati eredményei

Ssz.	Nyomaték [%]	Feladott iszap [m ³ /h]	Polimer-iszap arány [kg/t iszap sz.a.]	Iszap sz.a. [%]	Csurgalékvíz lebegőanyag [cm ³ /dm ³]
1/1	64	20	9,0	23,0	0,0
1/2		24		22,3	0,1
1/3		28		22,3	1,4
1/4		32		22,3	5,5
1/5		36		22,4	-
1/6		40		22,3	-



6. diagram - Betáplált iszap mennyiség módosítás hatására bekövetkező változások

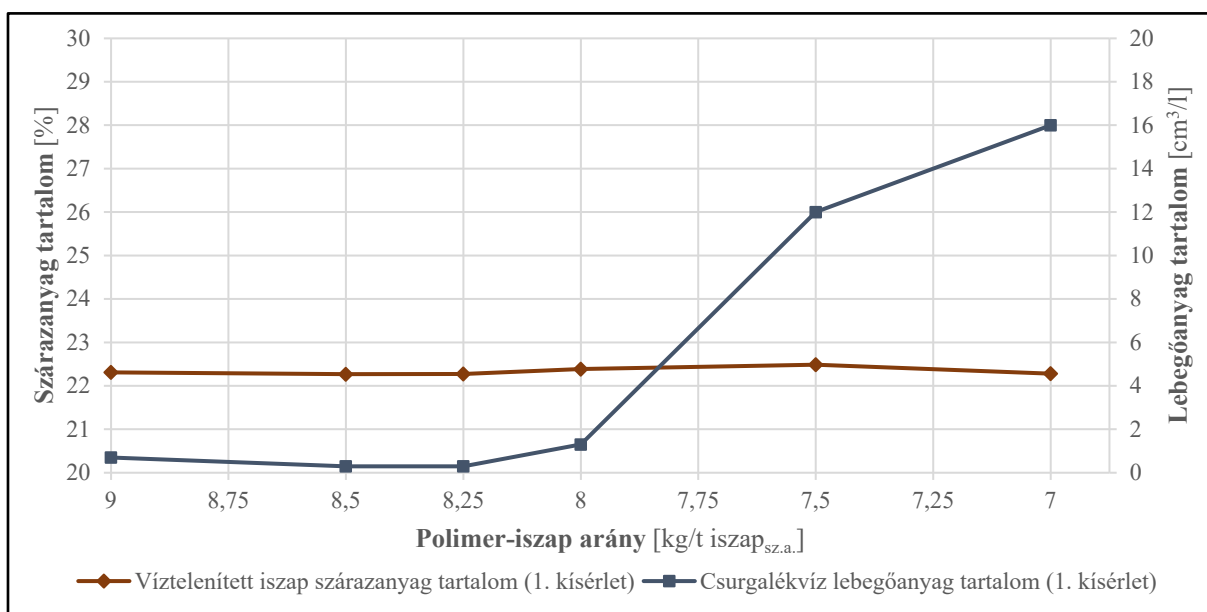
A mérési eredmények alapján a centrifugára feladott iszapmennyiség növelésével először szignifikánsan csökkent a víztelenített iszap szárazanyag tartalma, majd közel állandó értéken, 22,3%-on maradt. A csurgalékvíz esetében ez a változtatás ellenkezőképpen jelentkezett. A csurgalékvíz lebegőanyag tartalma 26 m³/óra felett hirtelen, nagymértékben kezdett emelkedni. 36 m³/h-ás iszapfeladás mellett olyan nagy mennyiségben keletkezett a csurgalékvíz, hogy a mintavételi csonkon keresztül lehetetlenné vált a mintavétel. Az elvezetőcsőben kialakult vákuum miatt nem tudtam mintát venni a csurgalékvízből. A berendezésbe betáplált ideális iszapmennyiség az iszap és csurgalékvíz minőség tekintetében 20 és 25 m³/h között helyezkedik el. Az ideális iszapmennyiség meghatározásánál számításba kell venni azt a szempontot is, hogy a legalacsonyabb, 20 m³/órás iszapfeladás elegendő-e a víztelenítendő iszap zavartalan és folytonos kezeléséhez.

7.3. A polimer-iszap arány módosításának vizsgálati eredménye

A víztelenítési folyamat során adagolt polielektrolit mennyisége alapvetően befolyásolja a teljes folyamatot. Ennek a paraméternek a módosítására kapott mérési eredményeket a 5. táblázat foglalja össze. A víztelenített iszapra és a keletkező csurgalékvízre gyakorolt hatását a 7. diagram szemlélteti.

5. táblázat - A polimer-iszap arány érték változtatásának vizsgálati eredményei

Ssz.	Nyomaték [%]	Feladott iszap [m ³ /h]	Polimer-iszap arány [kg/t iszap sz.a.]	Iszap sz.a. [%]	Csurgalékvíz lebegőanyag [cm ³ /dm ³]
1/1	64	25	9,00	22,3	0,7
1/2			8,75	22,5	0,3
1/3			8,50	22,4	0,3
1/4			8,00	22,3	1,3
1/5			7,50	22,3	12,0
1/6			7,00	22,3	16,0



7. diagram - Polimer-iszap arány érték módosítás hatására bekövetkező változások

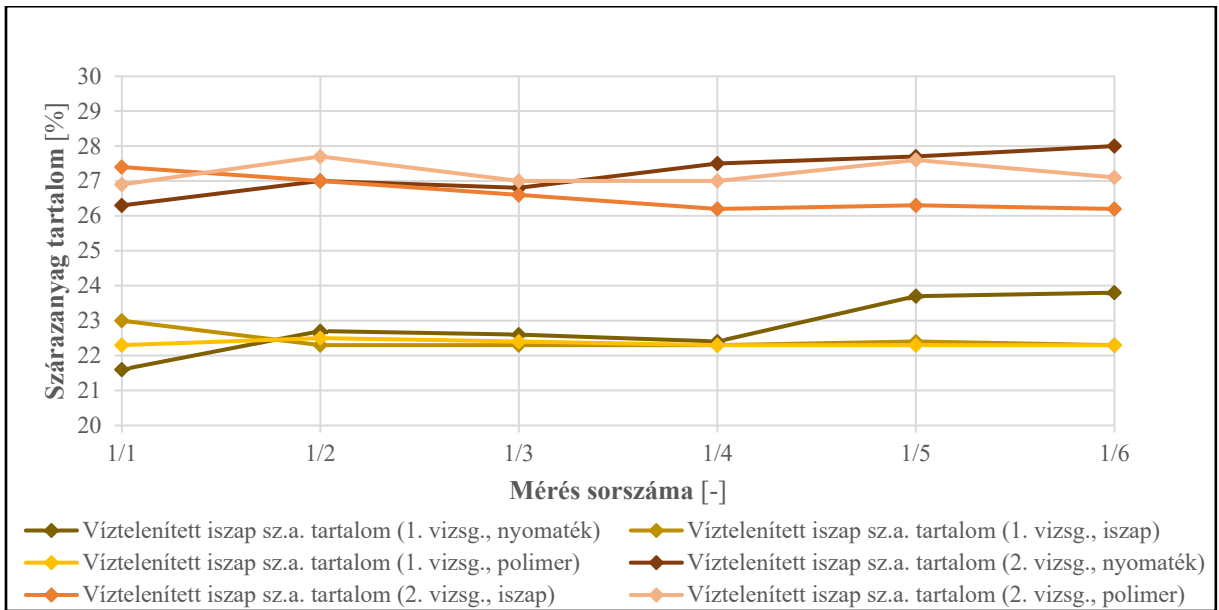
A víztelenítéshez adagolt polielektrolit oldat mennyiségének megválasztásakor törekedni kell az optimális adagolási dózis megtalálására. A kísérlet során a 2 g/l-es oldatkonzentrációjú polimer mennyiségét 9 kg/tonna iszap szárazanyag értékről kezdtem el csökkenteni egészen 7 kg/tonna iszap szárazanyag értékig. A polimer-iszap arány vizsgált tartományom belüli változtatásával a víztelenített iszap szárazanyag tartalmában nem volt megfigyelhető változás, végig azonos szinten maradt. Ezzel ellentétben a csurgalékvíz esetében jelentősen leromlott annak minősége, 8 kg/t iszap szárazanyag alatt már nagymértékben kezdett leromlani a csurgalékvíz lebegőanyag tartalma. A polielektrolit csökkentését 8 kg/t iszap szárazanyag mennyiségig a víztelenített iszap, illetve csurgalékvíz számottevő minőségromlása nélkül el lehet végezni.

7.4. A vas-klorid adagolás hatásának vizsgálati eredménye

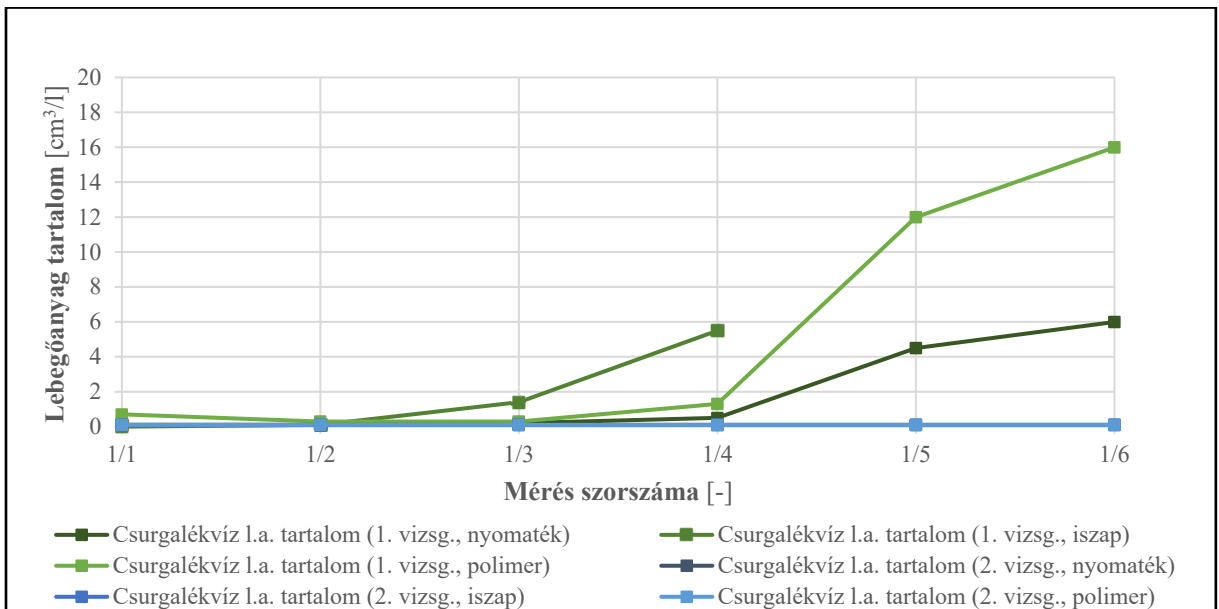
A víztelenítés hatékonyságának vizsgálatát elvégeztem a rothasztott iszap vas-kloriddal történő kondicionálása esetében is. Ehhez a fenti mérésorozatot olyan üzemi állapotban újból elvégeztem, amikor a víztelenítés előtt vas-kloridot adagoltunk a rothasztott iszaphoz. Az így kapott mérési eredményeket mindhárom vizsgált paraméter esetében a 6. táblázat összegzi. A különböző üzemi állapotokban kapott eredmények és a vegyszeradagolás hatására elért változást a 8. diagram és a 9. diagram mutatja.

6. táblázat - A vas-klorid adagolás hatásának vizsgálati eredményei

Vizsgált paraméter	Ssz.	Nyomaték [%]	Feladott iszap [m ³ /h]	Polimer-iszap arány [kg/t iszap sz.a.]	Iszap sz.a. [%]	Csurgalékvíz lebegőanyag [cm ³ /dm ³]
Szállító-nyomaték	1/1	60	25	9,00	26,3	0,1
	1/2	64			27,0	0,1
	1/3	68			26,8	0,1
	1/4	72			27,5	0,1
	1/5	76			27,7	0,1
	1/6	80			28,0	0,1
Betáplált iszap mennyisége	1/1	64	20	9,00	27,4	0,1
	1/2		24		27,0	0,1
	1/3		28		26,6	0,1
	1/4		32		26,2	0,1
	1/5		36		26,3	0,1
	1/6		40		26,2	0,1
Polimer-iszap arány	1/1	64	25	9,00	26,9	0,1
	1/2			8,75	27,7	0,1
	1/3			8,50	27,0	0,1
	1/4			8,00	27,0	0,1
	1/5			7,50	27,6	0,1
	1/6			7,00	27,1	0,1



8. diagram – Vas-klorid adagolás hatására bekövetkező változások a víztelenített iszapban



9. diagram - Vas-klorid adagolás hatására bekövetkező változások a csurgalékvízben

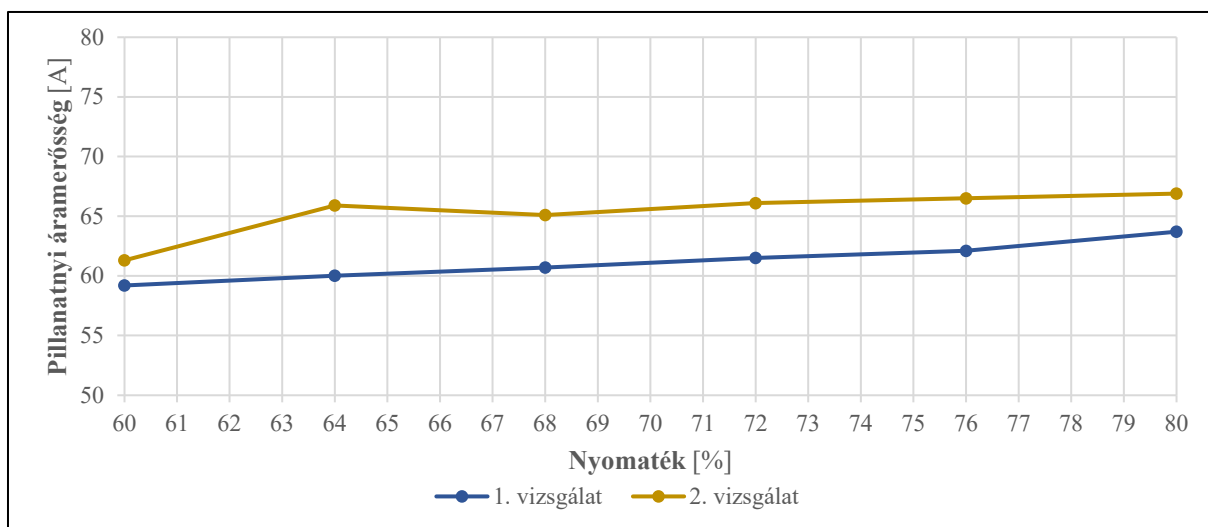
A vas-klorid adagolás hatására mind a víztelenített iszap, mind pedig a csurgalékvíz esetében jelentős javulás figyelhető meg. A víztelenített iszap szárazanyag tartalma átlagosan 20%-kal növekedett mindhárom paraméter vizsgálatánál. Igen figyelemre méltó eredményt kaptam a csurgalékvíz mérések alkalmával is, ugyanis mindhárom paraméter módosításának hatására szinte teljes mértékben megszűnt a keletkező csurgalékvíz lebegőanyag tartalma.

7.5. A centrifuga villamosenergia fogyasztásának vizsgálati eredménye

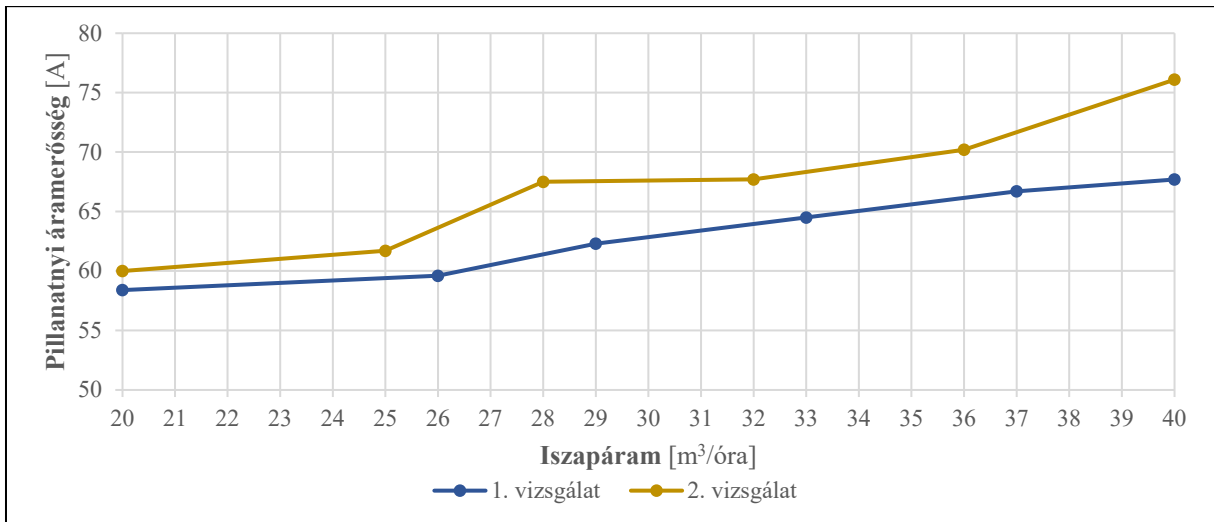
A víztelenítő berendezés villamosenergia fogyasztását a centrifuga frekvenciaváltójából kiolvasott aktuális áramerősség alapján vizsgáltam. A fentebb részletezett vizsgálatok során minden alkalommal rögzítettem az áramerősségeket és ezek nagyságából vontam le a villamosenergia-fogyasztásra vonatkozó következtetéseimet. A leolvasott értékeket a 7. táblázat tartalmazza, amelyek grafikus ábrázolását a 10. diagram, 11. diagram és 12. diagram mutatja.

7. táblázat - A centrifuga paramétereinek vizsgálata közben mért áramerősségek

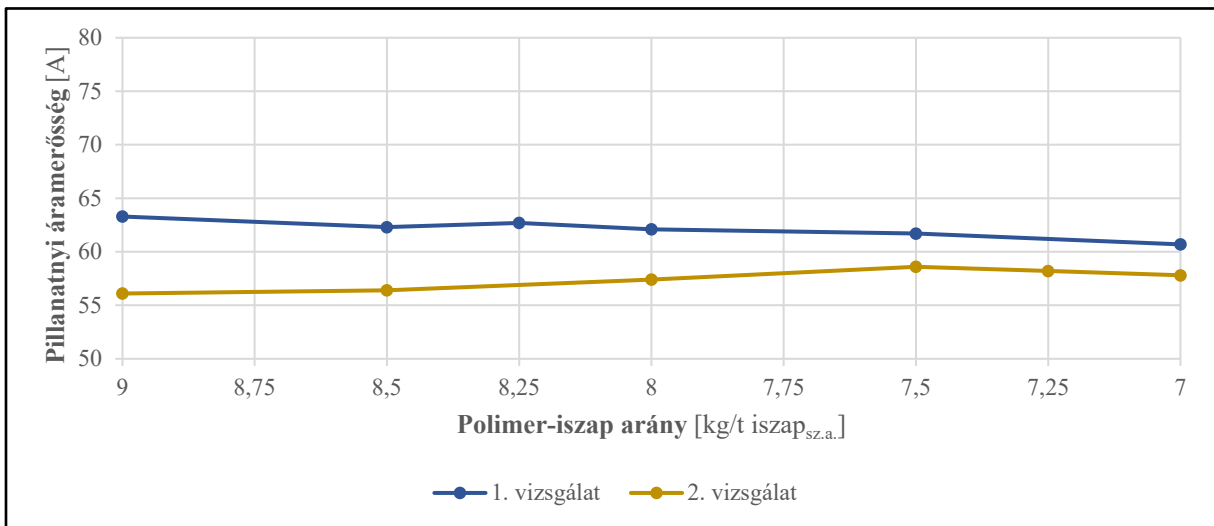
Vizsgált paraméter	Ssz.	Nyomaték [%]	Feladott iszap [m ³ /h]	Polimer-iszap arány [kg/t iszap sz.a.]	Áramerősség 1. vizsgálat [A]	Áramerősség 2. vizsgálat [A]
Szállító-nyomaték	1/1	60	25	9,00	59,2	61,3
	1/2	64			60,0	65,9
	1/3	68			60,7	65,1
	1/4	72			61,5	66,1
	1/5	76			62,1	66,5
	1/6	80			63,7	66,9
Betáplált iszap mennyisége	1/1	64	20	9,00	58,4	60,0
	1/2		24		59,6	61,7
	1/3		28		62,3	67,5
	1/4		32		64,5	67,7
	1/5		36		66,7	70,2
	1/6		40		67,7	76,1
Polimer-iszap arány	1/1	64	25	9,00	63,3	56,1
	1/2			8,75	62,3	56,4
	1/3			8,50	62,7	57,4
	1/4			8,00	62,1	58,6
	1/5			7,50	61,7	58,2
	1/6			7,00	60,7	57,8



10. diagram - Nyomaték érték módosítás hatására bekövetkező áramerősség változás



11. diagram - Betáplált iszap mennyiség módosítás hatására bekövetkező áramerősség változás



12. diagram - Polimer-iszap arány érték módosítás hatására bekövetkező áramerősség változás

A centrifuga nyomaték értékének vizsgálat során leolvasott áramerősségekből feltételezett felhasznált villamosenergia a nyomaték érték módosításával csak kismértékben változott. Ez az eredmény a víztelenített iszap és a nyomaték közötti összefüggéssel összhangban van, azonban az áramerősség esetében a növekmény jóval csekélyebb mértékű. A víztelenítő berendezésbe adagolt iszapáram növelése számottevő emelkedést eredményezett a pillanatnyi áramerősség nagyságában. A vizsgálatok alapján ezt a paramétert tekinthetjük a felhasznált villamosenergiára leginkább érzékenynek. A polimer-iszap arány esetében is szinte változatlan, csak kismértékben ingadoztak a leolvasott eredmények. A csökkentett vegyszerdózis hatására elenyésző mértékben változott az áramerősség, emiatt célszerű csökkenteni a polimer-iszap arány értékén.

8. MEGOLDÁSI JAVASLAT AZ ISZAPVÍZTELENÍTŐ CENTRIFUGÁK HATÉKONYABB ÜZEMELTETÉSÉRE

A vizsgálsorozat összegzett eredménye alapján az látszik, hogy a víztelenített iszap szárazanyag tartalma és a csurgalékvíz lebegőanyag tartalma leginkább a vas-klorid adagolás hatására javult. A vegyszeradagolás tehát kedvező hatással van a víztelenítésre, az eredmények alapján átlagosan 20%-kal növekedett a víztelenített iszap szárazanyag tartalma. A vegyszeres kondicionálás további pozitív hatása, hogy a koaguláció-flokkuláció eredményeként számottevően csökkent a keletkező csurgalékvíz lebegőanyag tartalma, ami azért jelentős, mert ezáltal minőségi javulás jelentkezhet a tisztítási fokozatra visszavezetett magas szennyezőanyag tartalmú, koncentrált csurgalékvíz esetén is. A telep terhelésének ilyen módon történő mérséklése további költségmegtakarítást jelent a biológiai tisztítási fokozaton. Az adagolt vegyszer optimális mennyiségének megállapításához további vizsgálatokat kell végezni. A vizsgálatok alatt a vas-kloridot 1,5 liter/m³ rothasztott iszap mennyiségben adagoltuk. Ennek a mértékének finomhangolásával akár tovább növelhető a víztelenítés hatékonysága. A vegyszerköltség, illetve a magasabb szárazanyag tartalmú iszap mozgatásának és elhelyezésének kedvezőbb költségvonzata közötti optimum megtalálása érdekében meg kell találni a megfelelő vegyszerdózist.

A kísérletek kimutatták, hogy a centrifuga üzemi paraméterei közül a nyomaték értéke van a legnagyobb hatással a víztelenített iszap szárazanyag tartalmára. A berendezés ideális üzemeltetése érdekében ennek a paraméternek a beállítását részben az üzemi tapasztalatok alapján kell elvégezni. Az elvégzett mérések alapján az optimális nyomaték érték 70 és 74% között helyezkedik el, azonban az ideális érték beállításához egyéb szempontokat is meg kell vizsgálni. Tudni kell, hogy a beállított érték hosszútávon okoz-e gépészeti meghibásodásokat. A nyomaték emelésével a berendezés villamosenergia felhasználása a felvett áramerősség vizsgálata alapján csak kismértékű emelkedéssel jár együtt. További hatékonyságjavulás érhető el a nyomaték értékének beállításához kapcsolódóan a relatív sebesség finomhangolásával. A relatív sebesség a másodlagos motor sebességének beállításával állítható be. A telepen működő centrifugák relatív sebességének szabályozása manuálisan történik. A nyomaték növelésével együtt csökkenteni kell a relatív sebesség értékét, ezáltal a szárazanyag tartalom és az elfolyó vízben lévő oldott anyag mennyisége növelhető. A pontos összefüggések megértése érdekében, valamint a kettő paraméter összehangolása miatt további vizsgálatokat kell végezni.

A centrifugába betáplált kezelendő iszap mennyiségét tekintve célszerű azt alacsonyabb értéken tartani, ugyanis a felvett áramerősség vizsgálatakor kiderült, hogy erre a paraméterre a

leginkább érzékeny a berendezés. A szárazanyag változására csak kismértékben hatott az iszapáram nagyságának módosítása. Ebben az esetben szintén célszerű az üzemi tapasztalatokra hagyatkozni és az adott telepi sajátosságok alapján megadni a betáplált mennyiséget. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep esetében az iszapkezelési technológia egységeinek működése (beleértve a szivattyúk üzemrendjét, az iszapsűrítő asztalok hozamát, valamint a víztelenítést kiszolgáló berendezéseket, mint például a polielektrolit előkészítő rendszert), alapvetően 25 m³/órás iszapvíztelenítő kapacitáshoz vannak igazítva. Ez a gyakorlat a korábbi tapasztalatok alapján megfelelően működik, amelyet a mérések eredményei is alátámasztanak.

Az előzetesen várt eredményekkel ellentétben a centrifuga polimer-iszap arányának módosítása alig okozott változást a víztelenített iszap szárazanyag tartalmára nézve. Vas-klorid adagolás nélküli időszakban a polimer dózis csökkentése jelentős lebegőanyag növekedést indukált a csurgalékvízben, azonban ez a vas-klorid adagolást követően megszűnt. Az említett paraméter csökkentése a vegyszerfelhasználás tekintetében nem csak a polielektrolit ára miatt fontos, hanem a polimerhasználat hatására keletkező csurgalékvíz-habzás elleni habzástlító vegyszer adagolandó mennyisége miatt is, amelyeknek mind jelentős költségvonzata van. Az utóbbi időszakban megfigyelhető vegyszerárak emelkedése a polielektrolit és a habzástlító esetében kiugró mértékű volt. Emiatt kiemelt figyelmet kell fordítani a mennyiségük optimalizálására. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen lehetőség van a centrifugák által használt pontosabb polimerdózis meghatározására. Jelenleg az adagolandó mennyiség meghatározása a víztelenített iszap szárazanyag tartalmának napi kétszeri helyszíni mérése alapján történik. Ennek optimalizálása érdekében lehetőség van valós idejű szabályozás közbeiktatására. A telepen működő, elsősorban a régebbi típusú centrifugák optimalizálásához kiépített SOLITAX mérőműszer vezérlésbe bevonásával valós időben, folyamatosan szabályozhatóvá alakítható az adagolandó polimeroldat mennyisége. Az optimalizálással stabilabb víztelenített iszap szárazanyag biztosítható, valamint egyúttal csökkenthető a felhasznált vegyszermennyiség.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A szennyvíztisztító telepek üzemeltetőinek napjaink egyik legfontosabb feladata az egyre inkább előtérbe kerülő anyag- és energiatakarékos működés megvalósítása. A fenntartható üzemeltetésre való törekvés igénye a víziközmű ágazat gazdasági helyzetéből, azon túl a környezettudatos működés megvalósításából fakad. Ennek jelentősége egyre inkább előtérbe kerül, amelynek a megvalósítását komoly törekvések és kezdeményezések célozzák.

Valamennyi hazai szennyvíztisztító telep költségein belül az iszapkezeléshez kapcsolódó kiadások igen magas arányt képviselnek. Ez a részarány az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep esetében sincs másképpen. Éppen ezért kiemelten fontos ezeknek a költségeknek a csökkentése. A szennyvíziszap hasznosításán, valamint energetikai felhasználásán túl olyan egyéb megoldások alkalmazására kell törekedni, amellyel csökkenthető az iszapvíztelenítés során keletkező víztelenített iszap térfogata, illetve optimalizálható a folyamat egyes részegységeinek üzemeltetése.

Kutatómunkán során elsődleges célom volt, hogy az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen keletkező szennyvíziszap víztelenítését végző centrifugák anyag- és vegyszerfelhasználás tekintetében a lehető legoptimálisabban üzemeltethető legyen. Az adatgyűjtésre alapozva meghatároztam a centrifugák optimalizálható paramétereit, amelyek részletesebb vizsgálatához helyszíni méréseket végeztem. Megvizsgáltam a kiválasztott üzemi paraméterek lehetséges hatásait az energia- és anyaggazdálkodás, valamint a végtermék szárazanyag-növelés és a keletkező csurgalékvíz minőségjavulás területein. A feltérképezett hatékonyságnövelést több irányból közelítettem meg.

Egyrészt a centrifugák vegyszerfelhasználásának optimális mennyiségének beállításához megvizsgáltam a vegyszeres kondicionálás hatására elérhető iszap szárazanyag értékeket. Ez alapján kiszámítható a víztelenített iszap minőségének javításával elérhető költségmegtakarítás.

Munkám során kitértem a centrifuga olyan paramétereinek részletes vizsgálatára, amelyek az üzem hatékonyságát leginkább befolyásolják. A berendezés szállítónyomatékának, a betáplált iszap mennyiségének, vagy éppen a polimer-iszap arány megfelelő beállításával finomhangolható a centrifugák működése, így kismértékben, de javítható a víztelenítés során előállított iszap szárazanyag tartalma és a csurgalékvíz lebegőanyag tartalma. Ezekkel a hatékonyságnövelő intézkedésekkel végeredményben hozzájárulunk a szennyvíztisztító telepek villamosenergia felhasználásának csökkentéséhez.

10. IRODALOMJEGYZÉK

"STRATÉGIA 2014" Konzorcium, 2014. *Szennyvíziszap Kezelési és Hasznosítási Stratégia 2014-2023*, Budapest: Országos Vízügyi Főigazgatóság.

Ábrahám, F. és mtsai., 2007. *A szennyvíztisztítás alapjai*. hely nélk.: ismeretlen szerző

ANDRITZ AG, 2019. *Víztelenítő centrifuga kezelési kézikönyv*. Graz: ANDRITZ AG.

Barótfi, I., 2000. *Környezettechnika*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.

Benedek, P. & Valló, S., 1990. *Víztisztítás, szennyvíztisztítás zsebkönyv*. negyedik szerk. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.

Erdélyi, T. és mtsai., 2020. *Globális és helyi fenntarthatóság, környezetmenedzsment - Vízgazdálkodásunk néhány aktuális kérdése*. Budapest: Magyar Mérnökakadémia.

GFA, 2001. *ATV-DVWK - A 131 Munkafüzet - Egylépcsős eleveniszapos berendezések méretezése*. Budapest: Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség.

Guilford, J. P., 1954. *Psychometric methods*. második szerk. New York: McGraw-Hill.

György, I., 1974. *Vízügyi létesítmények kézikönyve*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.

Jiangsu Jieda Centrifuge Manufacture Co., 2023. *Jiangsu Jieda Centrifuge Manufacture Co.* [Online]
Available at: <https://jiedamachine.en.made-in-china.com/>
[Hozzáférés dátuma: 05. november 2023.].

Juhász, E., 2011. *A szennyvíztisztítás története*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség.

Juhász, E. & Kárpáti, Á., 2000. Szennyvíziszap hosszú távú kezelése és biztonságos elhelyezése. *Vízügyi Közlemények*, pp. 107-120.

Karches, T., 2020. *Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó.

Kárpáti, Á., 2002. Lakossági szennyvizek és tisztítása, iszaptermelése. In: Á. Kárpáti, szerk. *Szennyvizek aerob tisztítása eleveniszapos és más módszerekkel*. Veszprém: Veszprémi Egyetem, pp. 1-17..

Kárpáti, Á., 2002. *Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás*. Veszprém: Veszprémi Egyetem.

Kárpáti, Á., Fazekas, B. & Kovács, Z., 2014. *Szennyvíztisztítás korszerű módszerei*. Veszprém: Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet.

Kocsis, I., 2011. *Higtrágya és szennyvíziszap kezelés*. Gödöllő: Szent István Egyetem.

Kovács, A. és mtsai., 2003. *A szennyvíziszap-kezelés és hasznosítás jogi, gazdasági, műszaki, környezet-egészségügyi feltételrendszere*, Budapest: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

KPMG Tanácsadó Kft., 2015. *A magyar víziközmű ágazat bemutatása - átfogó tanulmány*. második szerk. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség.

Metcalf & Eddy, I., 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th szerk. New York: McGraw Hill Higher Education.

Montvajszki, V., 2020. *Szennyvíziszap innovatív kezelése*. Miskolc: Miskolci Egyetem.

Öllös, G., 1975. *Vízellátás-Csatornázás II.* Budapest: Tankönyvkiadó.

Öllös, G., 1995. *Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése I.* Budapest: Akadémiai Kiadó.

Öllös, G., 1995. *Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése II.* Budapest: Akadémiai Kiadó.

Pa. DEP, 2009. *Wastewater Treatment Plant Operator Certification Training Module 6: Solids Handling and Disposal*. Harrisburg: Penn State Harrisburg Environmental Training Center.

Patziger, M., 2018. *Közepes és kis szennyvíztisztító telepek hatékony üzemeltetése: technológiai ismeretek*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség.

Petróczki, F., 2004. *Kommunális szennyvíziszapból készült komposzt hatása a növényi fejlődésre és beltartalomra*. Keszthely: Veszprémi Egyetem.

Pulger, V., Peszmeg, G. & Kárpáti, Á., 2006. A szennyvíziszap-égetés gyakorlati megvalósítása. In: Á. Kárpáti, szerk. *A szennyvíztisztítás, iszaphasznosítás újabb ismeretei, fejlesztési irányai*. Veszprém: Veszprémi Egyetem, pp. 79-88..

Rehm, H.-J. & Reed, G., 1999. *Biotechnology: Environmental Processes I*. Weinheim: Wiley-Blackwell.

Rózsáné Szűcs, B., 2013. *Anaerob előkezelés hatása a szennyvíziszapok komposztálására*, Gödöllő: Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola.

Simándi, P., 2011. *Szennyvíztisztítási technológiák I.* Gödöllő: Szent István Egyetem.

Somlyódy, L. és mtsai., 2010. *Stratégiai Kutatási Terv*. Budapest: Nemzeti Víztechnológiai Platform.

Spinosa, L. & Vesilind, P. A., 2001. *Sludge into Biosolids: Processing, Disposal and Utilization*. London: IWA Publishing.

Tomócsik, A., 2021. *Kommunális szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági hasznosításának értékelése tartmkísérletben*. Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.

Török, S., 2011. *Vízellátás és szennyvízkezelés*. Gödöllő: Szent István Egyetem.

Turovskiy, S. I. & Mathai, P. K., 2006. *Wastewater Sludge Processing*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc..

Varga, J., Mucsi, G. & Valló, S., 1965. *Vízellátás és szennyvízkezelés műtárgyai*. Budapest: Tankönyvkiadó.

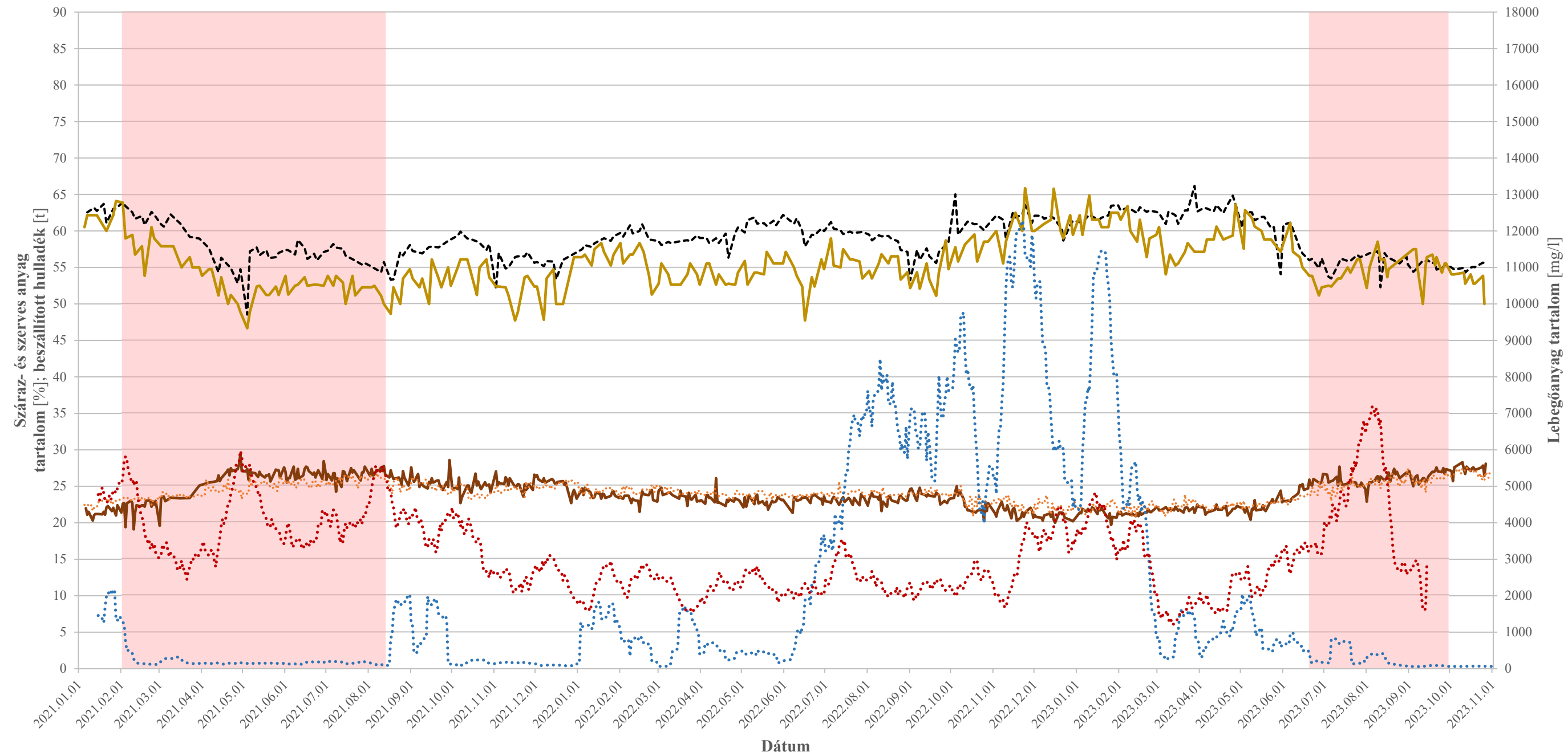
Wang, K. L., Shamma, K. N. & Yung-Tse, H., 2007. *Biosolids Treatment Processes*. Totowa: Humana Press Inc..

Yixing Huading Machinery Co, 2023. *Yixing Huading Machinery Co.* [Online] Available at: <https://www.huading-separator.com> [Hozzáférés dátuma: 05. november 2023].

11. MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

1. melléklet - Iszapvíztelenítő centrifugák üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.....	57
2. melléklet - 3-as jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.....	58
3. melléklet - 4-es jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.....	59
4. melléklet - 5-ös jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.....	58

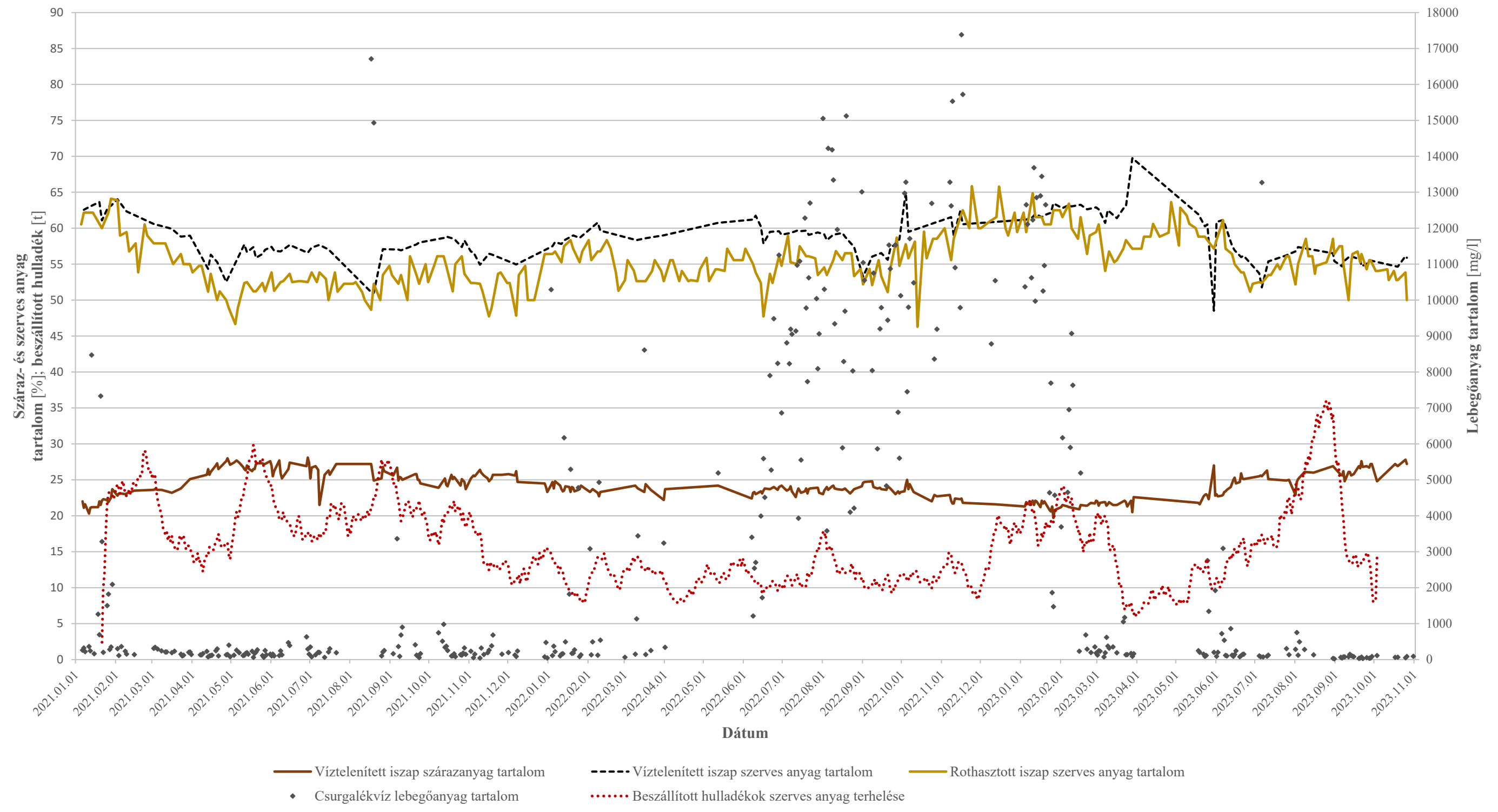
Iszapvíztelenítő centrifugák üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.



- Vas-klorid adagolás
- Víztelenített iszap szárazanyag tartalom (labor)
- - - Víztelenített iszap szerves anyag tartalom
- Rothasztott iszap szerves anyag tartalom
- ⋯ Víztelenített iszap szárazanyag tartalom (üzemnapló)
- ⋯ Csurgalékvíz lebegőanyag tartalom
- ⋯ Beszállított hulladékok szerves anyag terhelése

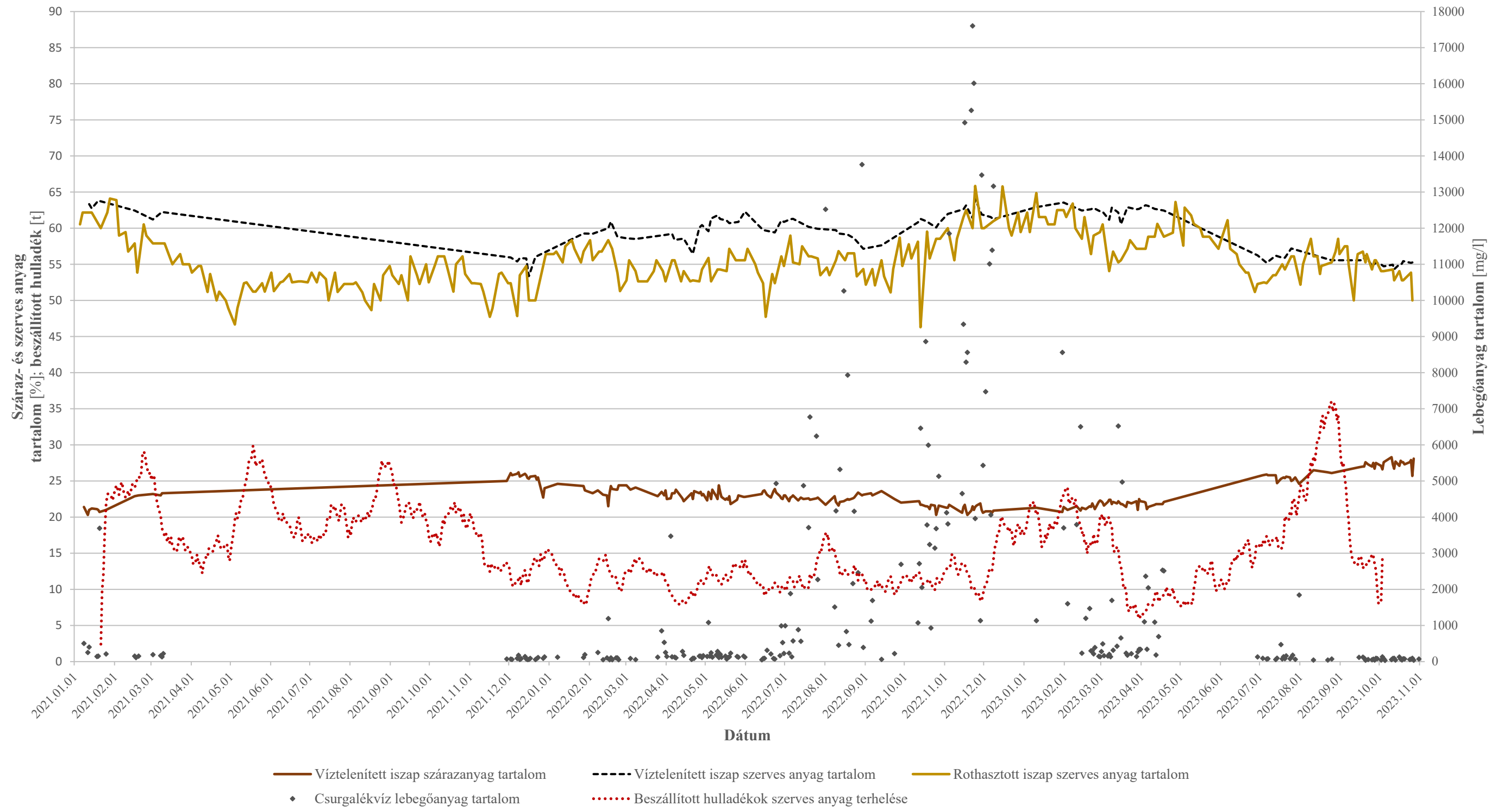
1. melléklet - Iszapvíztelenítő centrifugák üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.

3-as jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.



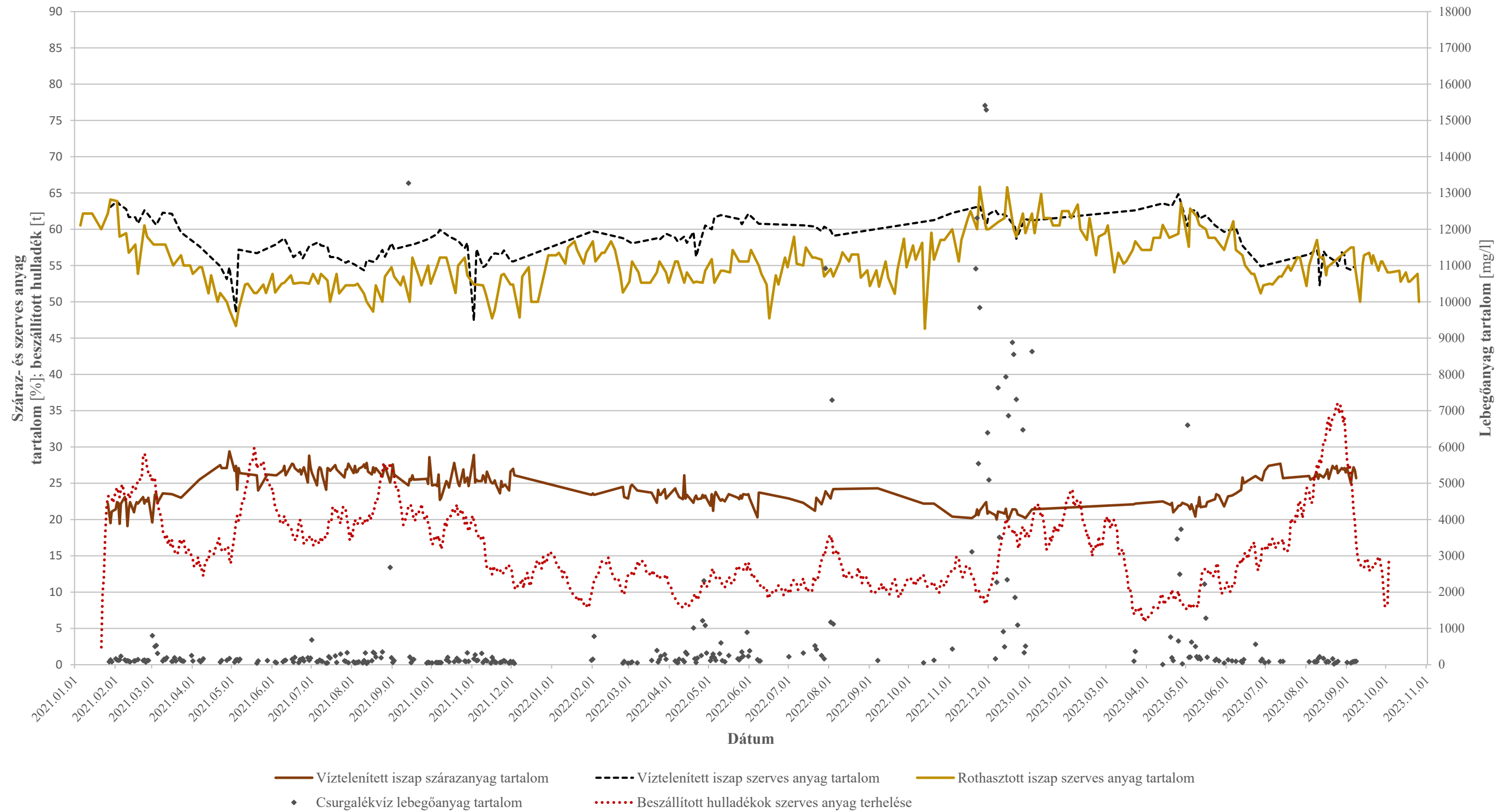
2. melléklet - 3-as jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.

4-es jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.



3. melléklet - 4-es jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.

5-ös jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.



4. melléklet - 5-ös jelű centrifuga üzeméhez kapcsolódó paraméterek, 2021-2023.