

S Z A K D O L G O Z A T

Balogh Zsófia

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Műszaki Intézet, Épületgépészeti és Energetikai
Tanszék
Energiagazdálkodási Szakmérnök Szak

SZENNYVÍZISZAP, MINT ENERGIAFORRÁS

Belső konzulens:	Dr. Schrempf Norbert Attila Tanszékvezető, egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Műszaki Intézet, Épületgépészeti és Energetikai Tanszék
Külső konzulens:	Pápai László Szennyvíztechnológiai és hálózati üzemvezető
Készítette:	Balogh Zsófia

Gödöllő

2024

**MŰSZAKI INTÉZET - ENERGIAGAZDÁLKODÁSI SZAKMÉRNÖK SZAKIRÁNYÚ
TOVÁBBKÉPZÉS**

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Balogh Zsófia (TK8WQW)

részére

A szakdolgozat címe:

Szennyvíziszap, mint energiaforrás

Feladatkiírás:

A szakdolgozat témája a nem megújuló és megújuló energiaforrások csoportosítása, bemutatása – előnyök; hátrányok meghatározása. A szennyvíztisztítás alapjainak ismertetése, a keletkező szennyvíziszap hasznosításának lehetőségei. Kitalált/valós adatok alapján mezofil rothasztó berendezés létesítésének kidolgozása, majd a keletkezett biogáz hasznosításának megtervezése egy gázmotoros kogenerációs kiserőműben. Az előállított villamos, és hőenergia meghatározása.

Közreműködő tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: *Pápai László szennyvíztechnológiai és hálózati üzemvezető, E.R.Ö.V. Víziközmű Zrt., 7100 Szekszárd, Mátyás király u. 62.*

Belső konzulens: *Dr. Schrempf Norbert Attila tanszékvezető, MATE, Műszaki Intézet*

Beadási határidő: 2024. április hó 22 nap

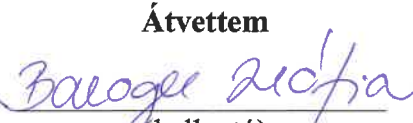
Gödöllő, 2024. hó nap

Jóváhagyom


(tanszékvezető)

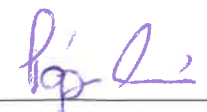

(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024. hó nap


(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	4
2.	Célkitűzés.....	5
3.	Energiaforrások.....	5
3.1.	Nem megújuló energiaforrások.....	6
3.1.1.	<i>Fajtái.....</i>	6
3.2.	Megújuló energiaforrások.....	8
3.2.1.	<i>Fajtái.....</i>	9
4.	Szennyvíztisztítás.....	11
4.1.	Mechanikai tisztítás.....	12
4.1.1.	<i>Rácsok.....</i>	12
4.1.2.	<i>Homokfogó.....</i>	13
4.1.3.	<i>Hidrociklon.....</i>	13
4.1.4.	<i>Úszatóberendezések.....</i>	13
4.1.5.	<i>Zsír és olajfogók.....</i>	14
4.1.6.	<i>Flotációs berendezések.....</i>	14
4.1.7.	<i>Ülepítő.....</i>	14
4.1.8.	<i>Sűrítés.....</i>	15
5.	Újrahasznosítás.....	16
5.1.	Szennyvíz.....	16
5.2.	Szennyvíziszap.....	17
5.2.1.	<i>Mezőgazdasági hasznosítás.....</i>	19
5.2.2.	<i>Égetés.....</i>	24
5.2.3.	<i>Biogáz.....</i>	28
6.	Példák a gyakorlatban.....	37
6.1.	Biogáz a budapesti szennyvíztisztító telepen.....	37
6.2.	Biogáz hasznosítása gyakorlati példán keresztül.....	38

7. Következtetések, javaslatok	50
8. Összefoglalás.....	52
9. Summary	53
10. Irodalomjegyzék.....	54
11. Ábrajegyzék	55
12. Mellékletek.....	56

„Ki mondta, hogy nem tudod megváltoztatni a világot?”

(A Föld napja mozgalom egyik jelmondata)

1. BEVEZETÉS

Napjainkra, Földünk erőforrásait az emberiség növekvő lélekszáma, és ezeknek az embereknek az egyre magasabb elvárásai a mindennapi életszínvonallal kapcsolatban nagymértékben megterhelik, kimerítik. 2017 – es kutatások alapján az emberiség, az adott évben másfélszeresét fogyasztotta el a Föld ökológiai kapacitásának. Az évek során ezek a számok csak egyre magasabbra nőttek, míg a népesség 100 év alatt csupán ”csak” 4 – szeresére emelkedett, a termelés és ennek hulladéka ezzel szemben 20 – szorosára nőtt. Ez az igény kiterjed mind a nyersanyagokra, ivóvízre és legfőképp az energiára is egyaránt. A folyamat pedig a környezetünk károsításával, szennyezésével jár. A fogyasztói társadalom növekvő igényei végtelenek, a Föld erőforrásaiban azonban végesnek bizonyulnak (*http15, 2024*).

Azokat a természetes anyagokat, amelyek szerkezetükből adódóan lehetővé teszik, hogy energiát nyerjünk ki belőlük vagy fizikai tulajdonságaik révén energiaátadásra képesek energiahordozóknak nevezzük (*http16, 2024*).

A fosszilis energiahordozók az elsődleges energiahordozók csoportjába tartoznak és nagymértékű szén-dioxid kibocsátásuk ellenére az emberiség által leggyakrabban használt nem megújuló energiaforrásnak bizonyulnak. Többek között ide sorolhatjuk a szenet, a kőolajat és a földgázt is. Az elégetésük és gőzként való felhasználásuk mellett, (*gőz meghajt egy turbinát – turbinához generátor kapcsolódik – generátor elektromosságot fejleszt*) alkalmazásuk nagyon sok féle lehet. Járművek üzemanyagaként szolgálhatnak, gázzal működő épületek energiaellátásáért felelhetnek, illetve erőművek tüzelőanyagaként is felhasználhatóak.

A számtalan lehetőség közül ellenben egy sincs, amely meggátolná az elégetés következtében keletkező káros anyagok kibocsátását. Ebből az okból kifolyólag mindennapi felhasználásuk nem hozható párhuzamba a fenntartható fejlődésre való törekvésekkel. Fokozzák az környezet és a légkör szennyezését, az üvegházhatás kialakulását és a globális felmelegedést is egyaránt (*http17, 2024*).

A kialakult helyzetet pedig, egy másik szempontból még tovább nehezítette a COVID-19 világjárvány kirobbanása. Kiszámíthatatlanná váltak az energiapiacok és problémák merültek fel az ellátásban. A piac ezekre a problémákra áremelkedéssel reagált, ami azt jelentette, hogy az energia árak közel duplájára emelkedtek 2022 elejére.

Mindezt tetőzte Oroszország Ukrajna elleni háborúja, ami eddig példátlan energiaválságot hozott magával, mivel az oroszok háborús fegyverként használták az energiát. A legfőbb

törekvés az Oroszországból származó fosszilis tüzelőanyagoktól való függés csökkentése, tisztább energia használata. Az ezzel kapcsolatos intézkedések még most is folynak, az ellátásbiztonság és az energiaárak normalizálásának érdekében.

Tehát, mindezek alapján én úgy gondolom, hogy mind környezeti, mind gazdasági és politikai okokból kifolyólag egyre nagyobb hangsúlyt kell kapjanak az alternatív – megújuló energiaforrások (*http17, 2024*), (*http18, 2024*).

2. CÉLKITŰZÉS

Dolgozatomban bemutatom a nem megújuló és megújuló energiaforrások fajtáit, lehetőségeit az előnyeikkel és a hátrányaikkal egyaránt. A megújuló lehetőségek közül kiemelném azt, hogy a – főként kommunális szennyvizek, hulladékok milyen módon szolgálhatnak az energiatermelés alapjául. Alternatív megoldást nyújtva ezzel például a villamos és hőenergia előállítására egyaránt. A szennyvíz újrafelhasználásának opciói sokfélék, mint például biogáz, villany, állandó vízből származó légkondicionálás, baktériumok által termelt villamos energia. E közül a számos változat közül én a szennyvíziszapok használatára egy gyakorlati példán keresztül térek ki.

Egy fiktív szennyvíztisztító telep technológiai vonalán az előülepítés során keletkező nyers iszap és a biológiai tisztítás során keletkező fölös iszap anaerob kezeléséhez egylépcsős mezofil rothasztó telepítése szükséges. Az itt keletkezett biogáz hasznosítása egy kogenerációs kiserőműben fog történni. A vizsgálat végső célja megállapítani, hogy mennyi villamos és hőenergia mennyiséget tudunk, így előállítani és mennyi energiaköltséget lehet, így megtakarítani eltekintve a telepített berendezések bekerülési és fenntartási kiadásaitól.

3. ENERGIAFORRÁSOK

A Föld népességének folyamatos növekedésével együtt egyre magasabb igények, technológiák és eszközök jelentek – jelennek meg. Ezeknek a technikai vívmányoknak a fejlődéséhez pedig nélkülözhetetlenek a nyersanyag források. Ide tartoznak az évmilliók alatt kialakult fosszilis

energiahordozók és az ezeket napjainkban felváltani készülő már megújuló energiaforrások (*http17, 2024*), (*http19, 2024*).

3.1. Nem megújuló energiaforrások

A fosszilis tüzelőanyagok kialakulásához évmilliók kellettek, keletkezésük egészen az őskorba nyúlik vissza. Elpusztult és lebomlott állati és növényi maradványokból származnak, amelyek megkövesedve az idők során a talaj mélyebb rétegeibe kerültek. Mivel szerves anyagok lebomlása útján jöttek létre magas a szén és hidrogén tartalmuk. Ennek köszönhetően energiasűrűségük is nagy. Halmazállapotukat tekintve lehetnek akár szilárdak, folyékonyak és gázneműek is. A nem megújuló jelző arra utal, hogy ezek az általunk leggyakrabban használt energiaforrások emberi léptékben mérve már nem tudnak újratermelődni (*http21, 2024*), (*http23, 2024*).

3.1.1. Fajtái

Legjelentősebb közülük a rendelkezésre álló készleteket tekintve a szén – kőszén. A feltárt készletek 75% -át képezi, ¹fűtőértéke pedig 20 000-32 000 kJ/kg között mozog. Azonban környezetszennyező hatása is ennek a legnagyobb. Hazánkban a lignit, a barna és a feketekőszén található meg. Lignit és barnakőszén több helyen is előfordul, míg a feketekőszén egyedülként a Mecsekben fellelhető. A működő szénbányák legtöbbje mára már bezárt, ennek legfőbb oka nem a teljes szénvagyon kitermelése volt, hanem a gazdaságtalanná váló bányászat és a környezetvédelem előtérbe helyezése. Ma már csak néhány elsősorban lignitet termelő bánya működik az országban, ezek közül kiemelkedik a Mátrai Erőmű két bányatelke: Visonta és Bükkábrány (1.ábra). Ezek a külszíni fejtések, azonban örökre nyomot hagynak és nem tűnnek el. Az ipari felhasználás során szén és kén-dioxid kerül a levegőbe, amelyek belélegzése légzőszervi megbetegedésekhez vezethet. Ezen felül a mindennapi lakossági felhasználás is problémákat okoz, ugyanis míg az erőművekből származó füst megszürt állapotában kerül a légkörbe, addig a kályhákból szüretlenül kerül ki.

¹A fűtőérték (H_d) az a hőmennyiség, mely a tüzelőanyag felsorolt körülmények közötti elégetésekor szabadul fel, de az eredeti nedvessége és az elégés alkalmával képződött víz az égéstermékben gőz állapotban van jelen. Az égéshőt és a fűtőértéket szilárd és folyékony tüzelőanyagoknál 1kg tömegre, gázoknál 1 Nm³térfogatra szokták megadni kJ, MJ, kWh, régebben kcal (forrás: Dr. Barótfi István, PPT).

1. ábra Légifelvétel – Bükkábrány (forrás: mert.mvm.hu)



Elméletben a hazai szén tartalékok lehetővé tennék, hogy energiafejlesztési tervek – programok alapjául szolgáljanak, ámde ez a gyakorlatban való megvalósításhoz nem elegendő. Mind politikai, mind gazdasági szempontból számos kérdés merül fel. A kitermelés csak abban az esetben lehetséges, ha a felmerülő kockázatokat képesek mérsékelni. A nagy készletekkel rendelkező bányák esetében, korszerűsítés, gépesítés szükséges. Tehát, a magyarországi bányák üzemelésével kapcsolatban rengeteg a vita és a megoldandó kérdés. Mindezek ellenére az az egy bizonyos, hogy a hőerőművek üzemeltetéséhez szükséges a hazai szén.

A kőolaj szénhidrogén, amely főként szerves anyagban gazdag állati eredetű maradványokból alakult át. Fűtőértéke 41870-48150 kJ/kg. Magyarországnak éves viszonylatban nagyságrendileg 1 000 000 tonna a kőolajfogyasztása. A legtöbb becslés szerint készleteink pár évtizeden belül kimerülnek. Feldolgozása során metán kerül ki a felszínre, ezen felül az olajszennyezés is nagy károkat okoz, főként a tengerek élővilágában. Sűrűségéből adódóan úszik a víz tetején, elzárva ezzel a fény és az oxigén útját.

A fosszilis energiahordozók közül egy másik fajta szénhidrogén a földgáz, amit összetétele miatt a legtisztábbnak tekintünk. Metánt tartalmaz, azonban kénmentes. Keletkezése a kőolajjal egyidőre tehető. Ugyanannak az átalakulási folyamatnak a folyékony, és a gáznemű

szénhidrogénekből álló termékei. A kőolaj előfordulásnak rendszerint kísérője a földgáz. A földgázfogyasztás itthon évente 15 000 000 m³. Fűtőértéke nagy, Magyarországon átlagosan 34-34,2 MJ/m³ ennek eredményeképpen nagy energiaátadásra képes. A szénhez hasonlóan elégetésével szén-dioxid, illetve nitrogén-oxid is kerül a levegőbe, igaz kisebb mértékben mintha szénrel tüzelnénk.

Meg kell még említeni a nem fosszilis eredetű nukleáris energiát, aminek előnye, hogy kicsi a környezetkárosító hatása, azonban költséges és nagyobb beruházást igényel, ami csak hosszú idő után térül meg. Hazánkban 1983 óta termelnek Pakson nukleáris energiát (*http21, 2024*).

3.2. Megújuló energiaforrások

Megújuló energiaforrásoknak nevezzük azokat a természetben fellelhető erőforrásokat, amelyek még életünk során képesek újra és újra megújulni. Ezek közé soroljuk a napenergiát, szélenergiát, vízenergiát, biomasszát, geotermikus energiát, a tenger hullámzásából kinyerhető energiát és az árapály energiát. Előfordulásukat az adott terület földrajzi elhelyezkedése is befolyásolja. Utóbbi kettőt például sajnos hazánkban tenger hiányában nem tudjuk hasznosítani.

Környezetbarátak és korlátlan mennyiségben állnak rendelkezésre. Magának az energiaforrásnak nincs ára, így elméletben bárki hozzáférhet. Ezeken felül tisztább energia, mint a fosszilis választási lehetőségek.

Ám ezek kitermelésük és begyűjtésük miatt nem teljes mértékben emissziómentesek. Kiszámíthatatlanabbak is, mivel sokkal nagyobb mértékben ki vannak téve a környezeti hatásoknak. Illetve a helyi adottságok is befolyásolják a felhasználási lehetőségeket. Az időszakosság mellett, a hátrányok közé sorolandó még a nehezen megoldható tárolásuk is. Végül pedig érdemes számolni a szerkezetek költségeivel, amelyek képesek begyűjteni és átalakítani ezeket az energiákat. Ez rövidtávon nagy beruházást jelent, azonban hosszútávon költséghatékonyabbak (*http23, 2024*).

3.2.1. Fajtái

Ha az alternatív energiára gondolunk, a legtöbb embernek a napaenergia jut először eszébe. Noha valójában csupán csak a 3. leggyakrabban alkalmazott megújuló energiaforrás a szél és a vízenergia után. Ez valószínűleg azért lehet, mert a mindennapokban sűrűbben találkozhatunk vele. Hasznosítása egészen az emberiség kezdetéig nyúlik vissza. Alapvetően két fajtáját különböztethetjük meg egymástól. Passzív esetben az adott épület tájolásának és az építés során használt építőanyagoknak van kulcsfontosságú szerepe. A hőtermelés ilyenkor az üvegházhatásnak köszönhető. Az aktív lehetőségek közé pedig a napelemek, a napkollektorok és a naphőerőművek tartoznak. Utóbbi kettő a Nap közvetett hőenergiáját hasznosítja, míg a napelemes rendszerek pedig elektromos áramot hoznak létre. Napjainkra Magyarországon valóban ez áll a legnagyobb mértékben rendelkezésre. 2024 – re az ipari naperőművek teljesítménye 3478 MW – ra nőtt, míg a 260 000 lakossági rendszer összteljesítménye 2362 MW. Jelentős részük nagyobb kapacitású napelem telepeken helyezkedik el, amik gyakorta sajátos mezőgazdasági területekre esnek. Ebből a szempontból itthon lenne még mit javítani a napelemek elhelyezésén és törekedni az európai példára, ugyanis itt leginkább városi építményekre telepítik őket. Ipari és lakossági felhasználásra egyaránt alkalmas, ugyanakkor mindenképpen gondoskodnunk kell a tárolásról is annak érdekében, hogy maximálisan felhasználhassuk a csúcsidőszakok alatt termelődött mennyiségeket.

A szél energiájának kihasználására Magyarország 40-50% -a alkalmas, igaz a nagyon nagy erősségű szél ritka errefelé. A fentebb említett napelemekkel ellentétben lakott területen kívüli, általában mezőgazdasági területeken vannak telepítve. Ezek többségében művelés alatt állnak, így külön erre szolgáló terület nem szükséges. A termelést egyáltalán nem befolyásolják, sőt az élővilágra való negatív hatásaik is jóval kisebbek, elenyészőek más egyéb veszélyeztető tényezőkhöz képest. Tehát, a szélenergia használatának elvileg semmilyen gátja nincs, ugyanakkor drága és leginkább csak kiegészítő jellegű lehet egy háztartásban. Nálunk a legmegfelelőbb helyük a Kisalföldön és a középhegységeinkben lehet.

Geotermikus energia kiemelkedő mennyiségben és elérhetőségben található térségünkben. Hazánkban a földkéreg vékonyságának köszönhetően a ²geotermikus gradiens 5°C/100 m, míg a világátlag 3°C/100 m. A folyamat lényege, hogy a föld alatt található (termál) vizet szivattyúk által a felszínre jutassák. Ezután ezt közvetlenül fűtésre vagy gőzturbinák segítségével

² A geotermikus gradiens a felszín alatti hőmérsékletnövekedés mérőszámaként használt mutató, az egységnyi mélységváltozásra jutó hőmérsékletváltozást fejezi ki.

elektromos áram termelésére használják. Ezt nevezzük konvektív kitermelésnek. Az egyetlen probléma mindössze az, hogy ez a kitermelt – felhasznált víz, ritkán pótlódik a csapadékvíz által. A föld alatt megtalálható vizek általában már évmilliárdokkal ezelőtt maradtak ezekben a rétegekben. A fenntarthatóságához tehát, a benne található hő igénybevétele után a lehűlt vizet visszajuttatjuk, majd itt újra felmelegszik. Emellett egy másik, úgynevezett konduktív módszer is alkalmazható, ezt nevezzük hőszivattyúzásnak. Alkalmazásakor a talajba függőlegesen vagy vízszintesen szondákat helyeznek el. Ez egy oda – vissza működő folyamat, amihez valamilyen közvetítő közegre van még szükség. Ez lehet például levegő vagy valamilyen fagyálló folyadék. A hatékonyság igen magas, 1 kWh energia bevitelével 4-6 kWh energiát transzformálhatunk. Télen a kinyert hővel fűtünk, nyáron pedig a fölösleges hőt vezetjük a talajba. Maga a termálvíz természetesen elfogyhat, kiapadhat, a kimerült kutak pedig hosszú idő múlva használhatók újra. Magát a földhőt viszont a radioaktív anyagok hőtermelése révén keletkezik, így ez állandó. Az iparban előszeretettel használják, de 9 magyar város távhőszolgáltatása is így megoldott.

A víz energianyerésre való használata a régmúltba nyúlik vissza. Az ókorban megjelentek a vízkerekek, majd a vízimalmok is. A technika fejlődésével ma már villamos áramot is képesek vagyunk előállítani víz útján. Legnagyobb hazai erőműveink a kiskörei (26, 9 MW) és a tiszalöki. (12,4 MW).

Biomassza biológiai eredetű szervesanyagok összessége. Ebből adódóan széles körben tartoznak ide energiaforrások. Ilyen például a növény és erdőgazdálkodás mellékterméke, a kommunális hulladék, a szennyvíz, sőt a kifejezetten ilyen céllal termesztett energianövények is. Elégetésük sokkal környezetkímélőbb, mint például a széné vagy a kőolajé, ugyanis a növények által megkötött szén-dioxid mértéke megegyezik a légkörbe kerülő mennyiséggel. Használható hő és áramtermelésre is egyaránt. Közvetve – átalakítás útján bioüzemanyagként vagy biogázként hasznosítják. Közvetlenül pedig a már említett elégetéssel. Hazánk agronómiai lehetőségei szempontjából jelentős szerepe van a mezőgazdaságban és a vidékfejlesztésben. A keletkező biomasszának leginkább csak a hulladékát ajánlott energetikai célokra alkalmazni. A pirolízis és a biogázos eljárások során a szén és az ásványi anyagok visszajutnak a talajba, ezzel egy körfolyamatot létrehozva – hatékonyabbá téve a talajművelést. Az eljárások során keletkező hulladékhő pedig alkalmas lehet fűtésre és melegvíz előállítására is. Tehát ahelyett, hogy a fát a hagyományos úton használjuk fel és kályhákban égetjük el, előnyösebb, ha az elgázosítást választjuk. Magyarország egyetlen biomasszát feldolgozó erőműve Szakolyban található, teljesítménye pedig mintegy 19,8 MW.

Összességében elmondható, hogy rengeteg változás indult el a teljes energiaátmenet megvalósításához. Azonban a fosszilis energiahordozók magunk mögött hagyása még jóideig várat magára, hiszen a több száz év alatt kiépült infrastruktúra sokkal fejlettebb a fosszilis energia esetében. Ezért jóval egyszerűbben és gazdaságosabban használható fel, mint az atomenergia vagy a különböző megújuló energiaforrások (*http23, 2024*), (*http24, 2024*), (*http25, 2024*), (*http26, 2024*).

4. SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

A felsorolt lehetőségek közül én a szennyvizekben rejlő potenciálokat vizsgálom meg, azonban ehhez elengedhetetlen ismernünk az teljes folyamatot.

A víz nélkülözhetetlen eleme életünknek, életközeg. Földünk nagyrészt, egészen pontosan 71% -át víz borítja, ugyanakkor ehhez az egész nagy számhoz képest az édesvizek aránya igencsak elenyésző, mindössze 2%. Ha a vizet bármilyen céllal felhasználjuk, evidens, hogy annak állapota, minősége megváltozik. Benne ³szuszpendált, vagy ⁴emulgált formában idegen, szennyező anyagok találhatóak meg. Tehát, ezek a természetbe visszakerülő vizek, valamilyen mértékben mindenképpen szennyezve vannak, szennyvíznek nevezzük őket. Ez a vízszennyezés pedig antropogén eredetű, tehát a mi feladatunk ennek kezelése is, annak érdekében, hogy elkerüljük a szennyvizek emberekre és ökológiai környezetre gyakorolt negatív hatásait.

Az általunk létrehozott szennyvíztisztító létesítményekben valójában ugyanazok a folyamatok valósulnak meg amelyeket a felszíni víztestekben természetes közegben figyelhetünk meg. A különbségek csak azok, hogy itt a művelet irányított körülmények között zajlik, lehetőség van a befolyásolására, illetve magát a tisztítást végző mikroorganizmusok jóval magasabb számban vannak jelen, mint a természetben, tehát a biomassza koncentrációja nagyobb. Eredetétől függően a szennyvíz koncentrációja és összetétele eltérhet egymástól, ez pedig nagymértékben meghatározza az alkalmazott technológiák kiválasztását. A szennyvíztisztítás során fizikai, kémiai és biológiai eljárásokat alkalmaznak, amelyek mind összefüggésben állnak egymással (*Simándi, 2011*), (*Bognár és társai, 2020*).

³ szuszpenzió: folyadék, amelyben szilárd szemcsék vannak elosztatva

⁴ emulzió: keveréke két nem keveredő, vagy egymásban nem oldódó folyadéknak

4.1. Mechanikai tisztítás

Az egyszerűség érdekében, ha csak a kommunális szennyvíztisztító telepekre gondolunk a szennyvíz három féle módon érkezhethet be a telepre. Beszélhetünk tengelyen szállított, azaz szippantott vizekről, illetve a közcsatornán beérkező szennyvizekről, amik gravitációs úton vagy nyomás alatt jutnak el ideig. A szennyvíztisztítás elsődleges fokozata, az úgynevezett mechanikai tisztítás, ami a legrégebb óta használt eljárások közé tartozik. Önmagában csak ezt a tisztítási módot nem alkalmazzák, ugyanis a megtisztítás mértéke, így még nem elegendő. A mechanikai egységekben fizikai folyamatok játszódnak le, figyelembe véve a vizek áramlásának szabályszerűségeit és az erőhatásokat (például: tehetetlenségi, súrlódási, nehézségi erők). Ennek a fázisnak a célja, hogy a nagyobb fizikailag is kiszűrhető részecskéket eltávolítsa, védve ezzel a tisztítási technológia során következő egységeit. Továbbá pedig a szennyvíz előkészítése is megtörténik a következő műtárgyakban történő eljárások számára. Következésképpen a mechanikai tisztítás során szűrést és ülepitést valósítanak meg. Előbbi a méretkülönbség elvén alapul, berendezései pedig a rácsok és a különböző szűrők. Ezek lehetnek szita, szövet vagy szemcsés anyagúak is. Az ülepedés pedig sűrűségkülönbség hatására jön létre az ülepitőben vagy valamilyen felúszató berendezésben. Korántsem biztos, hogy mindkét eljárás megvalósul egy adott telepen, ugyanis az úgynevezett előülepitésre nem mindig van szükség. Azokban az esetekben amikor nem alkalmaznak előülepitőt mechanikai előtisztításról beszélhetünk. A nagyobb telepek esetében viszont mindegyik műtárgy alkalmazásra kerül, tehát végbemegy a teljes mechanikai tisztítás. Ennek szükségességét a beérkező víz minősége, a további tisztítási technológia, vagy az elérni kívánt hatásfok határozza meg *(Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020)*.

4.1.1. Rácsok

A rácsok a technológiai sor első állomásai, a szennyvíz ezekkel a berendezésekkel érintkezik először. Feladatuk a darabosabb szennyeződések eltávolítása mellett, a gépészeti eszközök védelme. Az anyagok egy részét tehát visszatartja, ezzel ellenállást okoz és visszaduzzasztja az áramló szennyvizet. A rácson fennmaradt, úgynevezett rácsszemetet pedig gépi vagy kézi tisztítással eltávolítják. Tehát tisztításuk alapján megkülönböztethetünk gépi és kézirácsokat, pálcaközük szerint, finom – közepes vagy durvarácsot. Ezek különböző közeiknek köszönhetően, más – más méretű szemcsék megszűréséért felelnek. Értelemszerűen a nagy pálcaköztől haladunk az egyre kisebb felé. Elhelyezésük alapján lehetnek ferdék és

függőlegesek is. Kialakításuk pedig lehet teljesen sík, íves, álló vagy akár mozgó is. Az esetleges meghibásodások kiküszöbölése ellen gyakorta alkalmaznak két műtárgysoros megoldást, azonban, ha ez nem megoldható abban az esetben is szükséges telepíteni egy megkerülő ágat vész esetére (Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020).

4.1.2. Homokfogó

Sűrűségkülönbség elvén alapuló technológia. A homok szemcséinek sűrűsége nagyobb a víznél, ebből az okból kifolyólag a gravitáció hatására gyors leülepedésre lépések. A homokfogókat elsősorban az egyesített vagy vegyes rendszerű csatornahálózatok esetén indokolt alkalmazni. Fő feladata a víz útja során bekövetkező nem kívánatos kiülepedések megakadályozása. Még nagyobb jelentősége van a következő fázisok védelmében, mint az ezt megelőző rácsoknak, ugyanis egy jó hatásfokkal működő homokfogó tehermentesíti a soron következő berendezéseket és megvédi őket a kopástól. A legelterjedtebb a levegőztetett homokfogó rugalmas szabályozhatósága miatt. Az áramlási sebesség állítható, ennek köszönhetően pedig az eltávolítási hatások is meghatározható. A durvabuborékos levegőztetés hatására spirál áramlás jelentkezik. A sűrűség és a viszkozitás a bejutatott levegő hatására csökken, így a szilárd szemcsék kiülepedése felgyorsul. A légbefúvásos technikán kívül megkülönböztethetünk még vízszintes átfolyású, függőleges átfolyású és tangenciális (függőleges tengelyű) homokfogókat is (Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020).

4.1.3. Hidrociklon

Ez egy szintén a sűrűségkülönbség elvén működő, elválasztási műveletek végrehajtásához alkalmazott berendezés. A kör alaprajzú műtárgyba nagy sebességgel vezetjük be a vizet, ami a palást mentén körpályára kényszerül, függőleges tengelyű cirkulációs mozgást végez. Szóval a centrifugális erőter következtében történik meg az elválasztás. Két fő fajtája a zárt és a nyitott (Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020).

4.1.4. Úsztatóberendezések

Céljuk a víznél kisebb sűrűségű anyagok visszatartása, ugyanis ezek a megfelelő áramlási viszonyok mellett a víz felszínére emelkednek, így eltávolíthatóak. Ezt medence jellegű műtárgyakban valósítják meg. A víz áramlása itt körülbelül 5-10 mm/s, így a kisebb sűrűségű

anyagoknak jut elég idő arra, hogy felússzanak a víz tetejére. Alkalmazása szintén indokolt a további berendezések védelme miatt, illetve anyagviszanyerés miatt is fontos. Típusait a szennyeződés eredete és anyaga szerint határozhatjuk meg. Megkülönböztetünk zsírfogót, olaj és benzinfogót, habfogót és egyéb uszadékfogókat (Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020).

4.1.5. Zsír és olajfogók

A zsír és olajfogókat ezen anyagok eltávolításának érdekében használják, mivel ezek nagymértékben rontják a tisztítási hatékonyságot. A zsírfogókat telepíthetik a szükséges helyekre, például hűsüzemek mellé – a közcatornába való bevezetés előtt vagy közvetlenül a szennyvíztisztító telepen. Rendszerint egy téglalap alakú műtárgyról beszélhetünk, amelynek a végén terelőfalak helyezkednek el. A zsírsavak korróziós hatásait elkerülve érdemes vízzáró vakolatot és saválló lapburkolatot használni. A hatékony működéshez 2-5 perc tartózkodási idő biztosítása szükséges. Célszerű ezt a lépést kombináltan végezni az ülepitéssel, ugyanis a légfúvók levegő buborékjai felfelé terelik a zsíradékot (Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020).

4.1.6. Flotációs berendezések

Célja a szennyvízben található víznél kisebb sűrűségű olajok, valamint a fel nem úszó és nem is ülepithető részecskék eltávolítása, az emulzió szétválasztása. A flotációs berendezések szintén a sűrűségkülönbségnek köszönhetően működnek. A felúszási sebesség növelésére segédanyagot alkalmazunk, ami általában levegő. A nem túl jól nedvesedő szilárd részecske felületére ezek a levegőbuborékok rátapadnak, majd ez a halmaz a víz felszínére kerül. Itt már könnyedén eltávolítható fölözéssel. A tartózkodási idő itt 20-30 perc. Érdekességként érdemes még megemlíteni az elektroflotálást. Ebben az esetben a víz nem csak levegőt, hanem egy plusz elektrolit adalékanyagot is kap a gázbuborékok jobb tapadása érdekében (Simándi, 2011), (Bognár és társai, 2020).

4.1.7. Ülepítő

Alapvető elemei a szennyvíztisztításnak, ahogy a fentiek az ülepités is a sűrűségkülönbség elvén működik. Kis méretű lebegő és úszó anyagokat kell eltávolítani és közvetetten a BOI – biológiai oxigénigény csökkentését fokozza. Az előülepitőket leginkább közepes és nagy

kapacitású telepeken alkalmazzák. Méretezésüknél az alábbi paramétereket kell figyelembe venni:

- felületi hidraulikus terhelés (m^3/d),
- szükséges elméleti tartózkodási idő (h),
- felületi lebegőanyag-terhelés ($kg/m^2 \times h$),
- függőleges, illetve vízszintes átfolyási sebesség (cm/s),
- bukóélterhelés ($m^3 / m \times h$).

Csoportosításuk több szempont alapján történhet. Például átfolyás szerint megkülönböztetünk hosszanti, radiális és függőleges átfolyású ülepítőket. Alaprajzi kialakítását tekintve a téglalap, a négyzet és a kör alaprajz az elterjedt.

A hosszanti átfolyású, lipcsei típusú ülepítők téglalap alakú, vasbetonból készült műtárgyak, melyekben az áramlás hosszirányú. Az itt keletkező iszapot egy karos kotró juttatja el az iszapzsompba, amit centrifugál vagy mamutszivattyú továbbít. Használatuk leginkább az előülepítésnél történik.

A sugárirányú, kör alaprajzú ülepítőket Dorr medencének nevezzük. Érdekessége, hogy a tisztított vizet a műtárgy kerületén vályúkon keresztül buktatják tovább. Az iszap összegyűjtésére szintén kotrókat alkalmaznak. Elő és utóülepítőként egyaránt alkalmazzák.

A függőleges átfolyású, dortmundi ülepítők szintén kör alaprajzú vasbeton szerkezetek. Részben előülepítőként is alkalmazzák, azonban utóülepítőként gyakrabban használják, mivel jól alkalmazható a pelyhes szerkezetű iszap leüleptetésére. Az tisztított szennyvíz szintén bukóvályúkon távozik. Az itt kiülepedett iszap magas szervesanyag tartalommal bír, legtöbbször sűrűbb, mint az utóülepítő általános iszapja (*Simándi, 2011*).

4.1.8. Sűrítés

A sűrítés folyamatát már inkább az iszapkezeléshez soroljuk, mintsem magához a szennyvíz megtisztításához. A sűrítők feladata a keletkezett iszap térfogatának lecsökkentése. Azonos térben és időben játszódik le az ülepítési fázissal. Megkülönböztethetünk gravitációs, flotációs,

statikus és dinamikus sűrítést is. A még magasabb hatékonyság érdekében az iszapot ezután gyakran víztelenítik is (Simándi, 2011).

5. ÚJRAHASZNOSÍTÁS

5.1. Szennyvíz

A házi és intézményi szennyvizeken belül két csoportot különböztethetünk meg. Az egyik az úgynevezett szürke szennyvíz, amely nem tartalmaz fekáliát csak a mosás és mosdás során keletkező enyhén szappanos mosószeres víz. Használható például takarításhoz, vécéöblítéshez, autómosáshoz, felmosáshoz és akár a növények locsolásához is. Felhasználása előtt maximum szűrniük szükséges. Ezzel szemben a fekete szennyvizek nagyobb tisztítást követelnek, mielőtt ismét igénybe vennék őket. Felhasználásuk a kommunális szennyvíztisztító telepeken való áthaladás után valósulhat csak meg. Ahogyan a *1. számú mellékletben* is látható a használt, úgynevezett „fekete” vizek újra hasznosításának jóval több lehetősége van, mint azt elsőre gondolnánk. Az általunk felhasznált víz elsőként szennyvíz formájában a kommunális tisztító telepekre kerül, itt pedig a feldolgozás során két fajta termék keletkezik. Az egyik a tisztított szennyvíz, melynek egyik felhasználási módja a hőcserélős melegvíz előállítás, amit fűtési energiaként vissza tudunk táplálni a szennyvíz tisztító telepre. Továbbá a kenderfűz, azaz elterjedt nevén energiafűz telepítésére és feldolgozására is lehetőséget nyújt. Ez egy Svédországban nemesített fafajta, ami a nedves talajt kedveli, ahol naponta akár 3-3,5 cm-t is képes növekedni. Ez a típus igencsak ellenálló a betegségekkel szemben, s szalicil-alkohol tartalma miatt a vadállatok sem kedvelik. A papírgyártás, bútorgyártás mellett, a sokszínű felhasználási módok közé sorolható a hőenergia előállítása és a biomasszaként való hasznosítása is. Fűtőértéke ~ 20 000 kJ/kg. Az így megtermelt hőenergiát mind a lakossági felhasználók, mind az erőművek tudják alkalmazni. Ezen felül a gyökérszén tisztítás is egy opció, s az így megtisztított víz használható a mezőgazdaságban, különböző vizes szabadidős tevékenységek során, sőt természetes módon is újrahasznosul párolgás révén.

5.2. Szennyvíziszap

Azonban én most a dolgozatomban a technológiai folyamatok során keletkezett szennyvíziszapban rejlő lehetőségeket szeretném részletesebben ismertetni.

A 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet megkülönbözteti az iszap és a szennyvíziszap fogalmát a következők szerint:

„iszap: a települési szennyvíz tisztítása során keletkező és az ehhez hasonló összetételű szennyvizeket kezelő egyéb szennyvíztisztító művekből, szennyvízkezelő berendezésekből származó iszap és a települési folyékony hulladék;

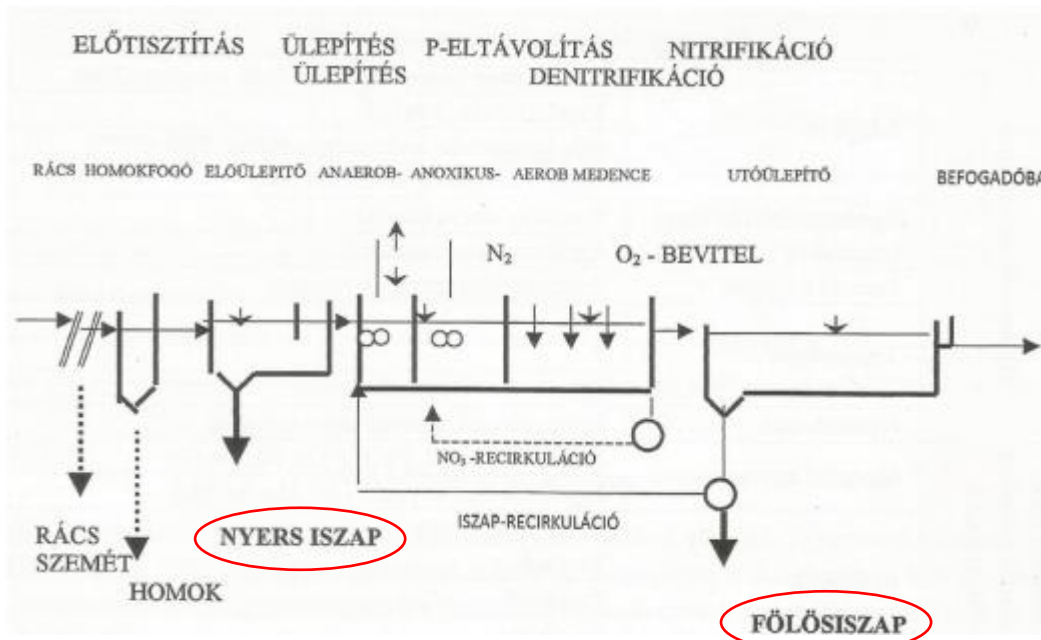
kezelt iszap (a továbbiakban: szennyvíziszap): biológiai, kémiai, illetve hőkezeléssel vagy más megfelelő eljárással (így különösen szennyvíziszap felhasználásával történő biogáz előállítás, komposztálás révén), továbbá a települési folyékony hulladék tartós, legalább 6 hónapig tartó tárolásával vagy kémiai kezelésével nyert olyan iszapok, melyek szennyezőanyag tartalma e rendelet előírásainak megfelel, és amelyekben a kezelés hatására a fekál coli és a fekál streptococcus szám iszap ml-ben mért mennyisége az eredeti érték tíz százaléka alá csökken;”
(50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet)

A kettő közötti különbségből következik a szennyvíztisztítás legfontosabb feladata a szennyező anyagok eltávolítása a vizes fázisból, melynek egyik eredménye a szennyvíziszap.

Harmadikként pedig fontos megemlítenünk még a szennyvíziszap komposztot, melynek meghatározása a rendeletben a következő:

„szennyvíziszap komposzt: olyan szennyvíziszap, amelyhez az e rendelet előírásainak megfelelő minőség elérése érdekében biohulladékot és ásványi eredetű adalékokat kevertek, és az a külön jogszabály szerinti komposztáló telepen kerül előállításra” (50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet)

2. ábra Iszap keletkezés helye - települési szennyvíztisztítás (forrás: Dr. Juhász Endre)



Az iszapkezelés lépései a következők:

- iszapstabilizálás,
- iszapsűrítés,
- kondicionálás,
- iszap fertőtlenítése,
- víztelenítés,
- szárítás,
- komposztálás,
- szállítás, deponálás

Az iszap stabilizálása oxigén jelenlétében aerob, illetve oxigénhiányos – anaerob folyamatok révén is lejátszódhat. Mindkét esetben elmondható, hogy a baktériumok az iszapot a további kezelés előtt stabilizálják, egyszerűbb formákká alakítják.

Ezt a lépést követi általában a gravitációs vagy flotációs sűrítés, amely során a felesleges vizet eltávolítják csökkentve ezzel az iszap mennyiségét.

Ezután jön a kondicionálás, amivel előkezelik az iszapot a víztelenítése, szállítás, elhelyezése és hasznosítása előtt. Erre a célra leginkább két eljárás használata az elterjedt. Az egyik az

úgynevezett pasztőrözés, ami hőkezelést jelent, a másik mód pedig a rothasztás. A rothasztás egy anaerob folyamat, tehát levegőtől elzártan következik be. Ennek következménye, hogy a szerves anyagok metánná – CH₄ és szén-dioxiddá – CO₂ alakulnak. Ezt a metángázt tudjuk a későbbiekben energiává alakítani.

Az fertőzésmentes hasznosítás következtében nagy hangsúlyt kell fektetnünk a fertőtlenítésre. Problémákat okozhat a toxikus nehézfémek jelenléte és a mikrobiológiai szennyezők.

Az ártalmatlanítás után az iszapot dobszűrő, szalagszűrő vagy iszapcentrifuga segítségével víztelenítik. Gyakorlatban való használat szempontjából az utóbbi kettő releváns.

A víztelenítés után is megmaradt nedvességtartalmat szárítás révén, a víz párolgási elvén csökkentik. A szárítógépekben a fő hajtóerő a gőznyomás-különbség, amelyet a légkörbe párologtatnak el. Továbbá végezhető még iszapszárítás napenergiával és hulladékhővel is.

Ezt követően komposztálhatjuk az iszapot, ami mind az ártalmatlanításra, mind a hasznosításra egyaránt alkalmazható. A folyamat során aerob mikroorganizmusok segítségével a szervesanyag tartalmú hulladékok hőtermelés közben lebomlanak, átalakulnak. Nagyon sokféle helyről származó szerves anyag komposztálható, s így újrahasznosíthatóak. Az így keletkező anyag pedig alkalmas a talaj tápanyag szolgáltató képességének megőrzésére és javítására.

Tehát ezek lennének az iszapkezelés főbb lépései, azonban nem csak azt a szennyvíziszapot tudjuk hasznosítani, ami a teljes folyamaton végigment. Alkalmazhatjuk a nyers, a víztelenített és a komposztált iszapot is egyaránt. Ezekről a későbbiekben mind szó esik (*Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2014*), (*Tomócsik, 2021*).

5.2.1. Mezőgazdasági hasznosítás

A mezőgazdasági területen való felhasználást egy másik, a 50/2001. (IV. 3.) számú Korm. rendelet határozza meg. Tartalmazza a kijuttatás, illetve a felhasználás feltételeit is. A szennyvíz, szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági alkalmazása a talajvédelmi hatóság engedélyéhez kötött tevékenység. Ami tartalmazza az előzetes talajvizsgálat alapján, az adott helyre vonatkozó nehézfémek maximális értékét, de ezek mellett még számos kritériumnak kell megfelelnie a kihelyezett iszapnak (*Biomassza Termékpálya Szövetség, 2018*).

5.2.1.1 Nyers iszap

A kezelt iszap, szennyvíziszap mellett az elő és utóülepítő fenekéről és felszínéről eltávolított lebegő iszap, azaz nyersiszap. Ennek felhasználási lehetősége a talajba való injektálás. Ehhez az eljáráshoz 5-6% szárazanyag-tartamú szuszpenzió szükséges, aminek a folyamatosan termelődő szennyvíziszap teljes mértékben eleget tesz, azonban az injektálás csak a vegetációs időszakon kívül lehetséges. Az állandóan keletkező iszapot fél évig szükséges tárolni, míg az nem stabilizálódik teljesen. Erre a célra jól szigetelt medencéket építenek ki, amik a baleset és a fertőzés veszély miatt kerítéssel elzárt területen helyezkednek el, lakott területen kívül elkerülve a zavaró szaghatást. A tárolt iszapban különböző kémiai és biológiai folyamatok zajlanak le, így számolni kell a szén-dioxid, metán, merkaptán és ammónia jelenlétével is. Tehát a megfelelően izolált tárolóhely nélkülözhetetlen, melynek költsége igen magas. A hosszú medencében való tartózkodás alatt a szuszpenzió ülepedik, s a víznél kisebb sűrűségű részecskék a medence felszínén jelennek meg, ezek homogenizálásáról gondoskodnunk kell még a talajba való kijuttatás előtt. A felszín alá juttatásnak két módját szokták alkalmazni. Az első, mikor a szuszpendált iszapot 13-18 cm mélyre injektálják, ahol a növények gyökerei behálózak a talajt. A másik lehetőség pedig, amikor a mélylazítás szintjéig dolgozunk. Az, hogy melyik módszert választjuk a talajtól és az iszapkezelés céljától is függ. Az első esetet akkor választjuk, ha a talajerő visszapótlását szeretnénk elérni, a második esetet pedig akkor használjuk, ha a termőréteget mélyítenénk. Fontos, azonban figyelniük a talajvíz szintjére, ugyanis nem célszerű, ha az iszap közvetlenül a talajvízbe jut. A fokozott odafigyelés mellett nehézséget okoz még, hogy a mély rétegbe való bejuttatás a legtöbb esetben mélylazítást igényel, ami igensok energiát igényel. Mindkét módszer esetén gondolkodni kell a talaj lezárásáról.

Injektálás esetén a szennyvíziszap 50-90 cm-re egymástól, "csíkokban" kerül a talajba, eloszlása egyenetlen. Az iszap koncentrációja magasabb, mint magának a szennyvíznek, a szárazanyagok pedig nagyrészt vízben oldhatatlan állapotúak, ebből kifolyólag a magas koncentrációt hosszú ideig fent tudják tartani a beinjektálás helyén. A vízzel való vándorlásuktól tehát nem kell tartanunk, ott fognak maradni, ahol elhelyeztük őket. Ezzel szemben azonban figyelniük kell arra, hogy pontosan ebből kifolyólag nem szabad egymás után teljesen ugyanoda kialakítanunk az iszap injektálásához szükséges barázdákat, ugyanis egyes anyagok felhalmozódhatnak. A legcélszerűbb, ha 45°-ban toljuk el őket az előzőekhez képest (*Biomassza Termékpálya Szövetség, 2018*), (*Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2014*).

5.2.1.2. Víztelenített iszap

A szennyvíztisztítás eredményeképpen egy nehezen kezelhető viszkózus állagú iszapot kapunk, aminek a szárazanyag tartalma maximum az 5% -ot éri csak el. Ennek köszönhetően érthető, hogy a fentebb említett injektáláson kívül, a kezelhetőség és egyéb hasznosítás érdekében igyekeznek az iszap víztartalmát csökkenteni, azaz víztelenítik azt. Erre a célra elsősorban mechanikai eszközöket használnak. A különböző gépek működési elve mind azonos, azonban leginkább a szalagprés és a centrifuga használata terjedt el. A szalagprés két azonos irányba futó és egymáshoz közeledő gumiszalag közé préseli az iszapot, amiből a nyomás hatására víz távozik, ezt pedig a tisztítandó szennyvízbe juttatjuk vissza. Annak érdekében, hogy a szárazanyag koncentrációja minél nagyobb % -ot érhesen el pelyhesítő anyagot lehet keverni fokozva ezzel a besűrítetőséget. A 20% eléréséhez flotáció szükséges. A leggyakrabban ezt alkalmazzák, ugyanis energiaigénye és ára aránylag alacsony.

3. ábra Szalagprés (forrás: hu.honglafiliterpress.com)



A szennyvízkezelésben használt centrifuga, működési elve megegyezik a hétköznapi életben használatos centrifugákéval. A sűríteni kívánt iszapot egy forgó dobba vezetik bele, aminek a belsejében egy dobbal azonos irányba, de lassabban forgó továbbító csiga van elhelyezve. A távozó víz a dob lyukain tud kifolyni, a víztelenített iszap pedig a dob falára kerül, ahonnan egy kaparó eszköz szedi le azt. Ezzel az eszközzel legfőképp akkor érhetünk el magas hatásfokot – akár 50% -os szárazanyag részt, ha a víztelenítendő anyag szuszpenzió. A probléma azonban

4. ábra ⁵Dekanter centrifuga (forrás: alfalaval.hu)



az, hogy a szennyvíziszap esetében a víz a sejtekbe van zárva, amelyet ezzel az eszközzel sem lehet eltávolítani, így a valóságban csupán csak 1-2 % - kal hatékonyabb a szalagprésnél. Ez a minimális különbség pedig nem elegendő ahhoz, hogy megtérüljön a többlet energiafelhasználás és a magasabb bekerülési költség. Ebből fakadóan a szennyvíziszap mechanikai víztelenítésére a legtöbb esetben nem ezt alkalmazzák. Használata inkább a fermentációs maradványok esetében gyakori, ugyanis magasabb koncentrációt érhetünk el vele, mint a szalagpréssel. Tehát összegezve a szennyvíziszap esetében a szalagprésszel, a fermentációs maradványok víztelenítésekor pedig a centrifuga bizonyul hatékonyabbnak.

A víztelenített szennyvíziszap egy sárhoz hasonlító, ragadós állagú anyag. A víz eltávolításával pedig körülbelül ötödére csökken a tömege. Mindezek miatt szállítása sokkal könnyebben megvalósítható, mint a nyers iszap esetében. Ebben a formában az iszap már újra felhasználható. Kihelyezhetjük mezőgazdasági felhasználás céljából, komposztálhatjuk különböző növényi adalékanyagokkal együtt, rothaszthatjuk biogáz előállítás céljából, illetve tovább száríthatjuk elégetési céllal.

A legáltalánosabb alkalmazás a mezőgazdasági kihelyezés, aminek két alapfeltétele van. Az első, hogy az iszapban található nehézfémek, mérgező anyagok és patogének mennyisége ne haladja meg az erre vonatkozó kormányrendeletben megszabott határértékeket. A másik

⁵dekantálás: Leülepedett szilárd részecskék alkotta réteg felett lévő folyadék elvétele. A szennyvíziszap dekantálásánál a szilárd részecskéket kell a folyadéktól elválasztani. A dekanter centrifuga a különböző keverékek fázisátválasztásáért felelős eszköz.

elengedhetetlen dolog pedig, hogy az adott területre rendelkezünk felhasználási engedéllyel. Ezek mellett azonban nem szabad megfeledkezni arról, hogy a kezelt iszapot hat hónapos tárolási időt követően használhatjuk csak fel. Az úgynevezett „szennyvíziszap stratégia”, ami a szennyvíziszap hatékony kezelésére és hasznosítására vonatkozó tervdokumentum is ezt a felhasználási módot szorgalmazza, ugyanis úgy tartják, hogy társadalmi szempontból ez a legkedvezőbb lehetőség.

A talajra kedvező hatású a nagy mennyiségű növényi eredetű makro tápanyag, amely növeli a szerves anyag tartalmát, élénkíti a talajéletet és ezeknek köszönhetően termésfokozó hatással bír. Kockázatként pedig nem szabad megfeledkezni a már említett nehézfémek jelenlétéről. *(Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2014).*

5.2.1.3. Komposztálás

A komposztálás folyamata lényegében mikroorganizmusok által végzett biológiai oxidáció, ami magas szervesanyag – tartalmú hulladékok természetes bomlását eredményezi. Ez a bomlás több lépcsőben megy végbe és sebessége nagyban függ a komposztált anyag összetételétől. A talán három legfontosabb befolyásoló tényező közé sorolható a nedvességtartalom, ami 45-55% -nál a legideálisabb. Illetve az aerob viszonyok, azaz, hogy mennyi oxigént juttatunk be a keverékünkbe a légátjárhatóság érdekében. Ennek mértékét a rendszeres forgatással és levegőztetéssel tudjuk fokozni. Nem utolsó sorban pedig figyelniünk kell a C:N:P jelenlétére is, ami 25:30:1 arányban a legkedvezőbb. Mindezek mellett lényeges még a hőmérséklet – kórokozók elpusztítása érdekében, a szemcseméret – aminek az optimális nagysága 25 – 40 mm közé tehető és a pH is, ami 4 – 9 között az ideális. A komposztálás során megváltozik a kiindulási anyag tömege, térfogata és víztartalma is egyaránt. Az oxidáció során víz és CO₂ egyaránt távozik. Az alacsonyabb széntartalomnak köszönhetően a keverék szárazanyag tartalma is csökken. A bomlás eredményeképpen kapott anyagot komposztnak nevezzük, amely egy földszerű, huminsavakban dús anyag, hozzávetőlegesen 20:1 szén – nitrogén aránnyal. Kiválóan alkalmazható a talaj tápanyag szolgáltató képességének megőrzésére és javítására. A szennyvíziszap komposzt összetétele részben eltér a ”hagyományos” komposztétól. Olyan szennyvíziszapról beszélünk, amelyhez különböző biohulladékot és ásványi eredetű adalékot kevernek, annak érdekében, hogy a mezőgazdasági felhasználáshoz megfelelő minőséget érjenek el. Ahhoz ugyanis, hogy komposztálni tudjunk a kiindulási anyag 50 % -a szárazanyag kell legyen, a szennyvíziszap esetében ez pedig mindössze 20%. Tehát, az

elhelyezésével kapcsolatban felmerülő problémákon túl megfelelő kezeléssel és újrahasznosítással sok lehetőséget rejt. A tisztítási technológiák ellenére szerves anyag tartalma változatlanul magas.

Törekedni kell arra, hogy a tápanyagok minél nagyobb arányban és a növények számára jól felvehető állapotban legyenek jelen. Ez mind a nagymennyiségben keletkező szennyvíziszap elhelyezésének, mind a szervesanyag hiányban szenvedő talajoknak a problémáját mérsékeli. Javulhat a fizikai-kémiai és mikrobiológiai tulajdonság. Ezzel szemben azonban a környezet számára káros anyagokat – például nehézfémek minimalizálni szükséges. Ugyanis ezek a komposztban található szerves vegyületeknek köszönhetően oldhatóvá válnak, jelen lehetnek a talajoldatban, a talaj szilárd alkotóelemeihez kapcsolódva vagy oldhatatlan csapadék formájában ezzel pedig a természetű növények akár képesek lehetnek felvenni őket.

A mezőgazdaságban való hasznosítás mellett esetünkben fontos még beszélni a komposzt energetikai célú alkalmazásáról is. A komposztálás során jelentős a szárazanyagvesztés az oxidáció miatt, amely CO₂ kibocsátással jár, aminek következménye pedig az energia vesztesége. Amennyiben a talajra való kihelyezés a cél ez figyelmen kívül hagyható, ám az energetikai célú hasznosítás, azaz a szennyvíziszap komposzt elégetése esetében egyáltalán nem mindegy, hogy milyen fűtőértékű a tüzelőanyagunk. A szén-dioxidon felül pedig még nagyobb emissziót jelent az ammónia és az esetleges metán (*Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2014*), (*Kovács, 2019*).

5.2.2. Égetés

A szennyvíziszap égetésére három lehetséges módot tudunk felsorolni. Első a monoégetés, második az együttegetés – itt valami mással való égetésről beszélünk és harmadik pedig a szennyvíziszap erőművekben, cementgyárakban történő elégetése. Ebben az esetben a sima tüzelőanyagokhoz szennyvíziszapot kevernek hozzá kezelt állapotban. Például szennyvíziszap komposztot, vagy szárított iszapot. Az iszapszárítók energiaigénye igen magas, enélkül a folyamat nélkül azonban a hulladékégetők nem tudják azt fogadni.

Az égetés egyik alapfeltétele, hogy a füstgáz hőmérséklete ne csökkenjen 850 °C alá. Viszont ehhez legalább 55% szárazanyag-tartalom szükséges. A fentebb említettek alapján tudjuk, hogy a szennyvíziszap mechanikai úton legfeljebb csak 20 % szárazanyag tartalomúvá sűríthető. Tehát, szárítással további víz elvonására van még szükség. Ám a berendezés energiaigénye figyelembevéve a fajlagos teljesítményét magasabb, mint az 1kg 20% -os iszap elégetésével

nyerhető energia. Ennek következtében a szennyvíziszap egyedüli égetése további energiabevitelt igényel. Elméletben megoldást nyújthat erre, ha nem monoégetést alkalmazunk, hanem együttégetést. Erre a célra alkalmas lehet a sok településen problémát jelentő TSZH, azaz települési száraz hulladék szerves anyag hányada. Ahhoz, hogy ezt ki tudjuk nyerni úgynevezett RDF technológiát kell alkalmaznunk. Az RDF (*Refuse Derived Fuel*), vagyis másodlagos tüzelőanyag, amelyet a kevert települési hulladékok és a szelektív hulladékgyűjtés maradékának kiválogatása után nyernek. Ennek segítségével kiszűrhetőek a hasznos anyagok, az ilyen módon nem felhasználható szerves anyagokból pedig magas szárazanyag tartalmú – 70-90% -os tüzelőanyagot állítanak elő, amely magas fűtőértékkel bír. Ez a szám körülbelül 14-20 MJ/ szárazanyag kg -ra tehető. Tehát, ha ezt a mechanikailag víztelenített szennyvíziszappal keverni elhanyagolható lenne a költséges szárítás, s így az égetéssel energiát nyerhetnénk. Ezenfelül pedig megoldódna a települési hulladékok elhelyezésének problémája is. Természetesen az RDF technológiának is van energia igénye, ám ez sokkal kisebb, mint ami a szárításhoz szükséges. Így tehát a teljes folyamatot tekintve az égetés által kinyert energia, messze meghaladja az RDF által felhasznált mennyiséget.

Ha a hulladékégetésre gondolunk, a legtöbb embernek a nagy ipari hulladékégető telepek jutnak az eszébe. Ezek a mindennapokban úgy működnek, hogy az elégetni kívánt hulladékokat a tulajdonosok a meghatározott előírásoknak megfelelően – előkészített állapotban, átvételi díj ellenében beszállíthatják. Néhány kezdeményezés alakult arra vonatkozóan, hogy előnyösebb lenne, ha nem a tüzelőanyagot szállítanák az égetőbe, hanem az égető berendezéseket kellene elvinni a hulladékok keletkezési helyére. Ez esetben megtakarítható lenne az előkészítés, a szállítás költsége és megszüntethető lenne a ⁶diffúz emisszió és minden egyéb környezetre és egészségre káros hatás. Mivel az együttégetéssel szükségtelessé válik a szárítás lépése, így az eddig erre a célra igénybevett energia felhasználható maradna az elégetés után. Jelenleg erre a célra ebben a formában nincs még hazánkban működő berendezés, csupán csak prototípusok. Továbbá az RDF és szennyvíziszap együttégetésének jelenleg jogszabályi korlátozása van, ugyanis a szennyvíztisztító telepekre más hulladékot nem lehet beszállítani. S persze a településeken belüli hulladékégetés ténye a lakosságnak sincs kedvére (*Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2014*).

⁶ Anyag vagy energia kijuttatása a levegőbe, nem pontforrásokon keresztül. A gyakorlatban az emissziót levegőterhelésnek is nevezik.

5. ábra Fővárosi Hulladékhasznosító Mű (forrás: fkf.hu)



A szennyvíziszap égetéséről fontos néhány dolgot tudni. Az égetés során minden káros anyag elpusztul. Ezzel szemben viszont az értékes anyagok a nitrogénen kívül nem, tehát megmarad a foszfor, kálium és esszenciális nyomelem tartalom. A keletkezett hamu elhelyezése problémákat okoz, de a valóságban korántsem beszélünk akkora mennyiségről, mint amit feltételeznek. Ez legfeljebb 20% -ot tesz ki a szárazanyag-tartalomból. Ehhez hasonlóan az üvegházhatású gázok kibocsátása sem annyira magas, mint azt gondolják, igaz ettől eltekintve az emisszió valóban szennyezi a levegőt. Ám ez az érték még így is csak körülbelül harmada az ugyanilyen mennyiségű szennyvíziszap komposztálásakor keletkezőnek. Az égés során a hamuban feldúsulnak nehézfémek és egyéb káros anyagok, ám ez közel sem akkora mértékű, hogy veszélyeztesse a lerakhatóságot.

Kezdetben, a 2014-es szennyvízstratégia szerint csak azokat a szennyvíziszapokat szabadott elégetni, amelyek nem feleltek meg a mezőgazdasági kihelyezés kritériumainak. Azonban napjainkra realizálódott, hogy a nagy mértékű szennyvíziszapból készült komposztokra közel sincs akkora igény, amekkora mennyiségben rendelkezésre állnak, így indokolt volt a változás. A stratégia jelenlegi álláspontja az, hogy a mezőgazdasági hasznosítás stagnálása nem

növelhető, ezért az égetési lehetőségek fejlesztése, bővítése szükséges. A cél, hogy 2027-re az országban a keletkező iszap egyharmadát égessék el. A szennyvíziszap esetében, a hulladékokkal való együttégetéssel szemben, a monoégetést preferálják. Ennek oka, hogy lehetővé teszi a foszfor visszanyerését, ami a talaj utánpótlásából nagy jelentőségű. Mindemellett úgy tartják, hogy a monoégetés biztosítja az üzemeltetés függetlenségét, míg az együttégető műveknél szükség van más egyéb hulladékokra is.

Ezzel szemben a valóságban vitatható, hogy a foszfor csak a monoégetés által lehetne visszanyerni. Az iszaphamuból való foszfor kinyerése jelenleg is sok helyütt kidolgozás alatt áll. A stratégia azon állítása, hogy a monoégetéssel lehetséges csak a független üzemelés részben igaz csak. Ebben az esetben, biztos, hogy önállóan is lehetséges a működés, ám a TSHZ mennyisége napjainkban körülbelül háromszorosa a szennyvíziszapnak, elhelyezése problémákat okoz. Így az ezzel való égetésnek mennyiségi okokból eredő akadályai nemigen fordulhatnak elő. Ha valamilyen oknál fogva mégis hiány lépne fel az adalékanyagokból a szennyvíziszapot szárítani szükséges. A stratégia növelni kívánja az iszapszárítók kapacitását, erre pedig külön összeget is szánnak. Ha van szárítóberendezés, akkor az iszap megfelelő szárazanyag tartalmú lesz és egyedül is égethető. Azonban véleményem szerint nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy ezeknek az eszközöknek nem csak a bekerülési költségei magasak, hanem az üzemeltetésük is és ugyanúgy ott kötünk ki, hogy sem a költségek, sem az energia tekintetében nem lesz nyereséges a használatuk. További cél még, hogy az 50 000 LE feletti szennyvíztisztító telepeken a szennyvíziszapból biogázt állítsanak elő. Ez Magyarország termelői iszappennyiségének hozzávetőlegesen kétharmadát jelentené. A fermentációs maradvány és a szennyvíziszap közötti felhasználásban nem tennének különbséget. A maradvány esetében a szárazanyag nagyjából 40% -al kevesebb és így az energia is lecsökken a rothasztott szennyvíziszap esetében. A fermentáció az eddigi ismeretek alapján nem befolyásolja a szubsztrátban jelenlévő nehézfémek mennyiségét, azonban a szén tömegének csökkenése miatt koncentrációnövekedést okozhat. Ennek bizonyosságáról azonban egyelőre konkrét vizsgálatok nem állnak rendelkezésre.

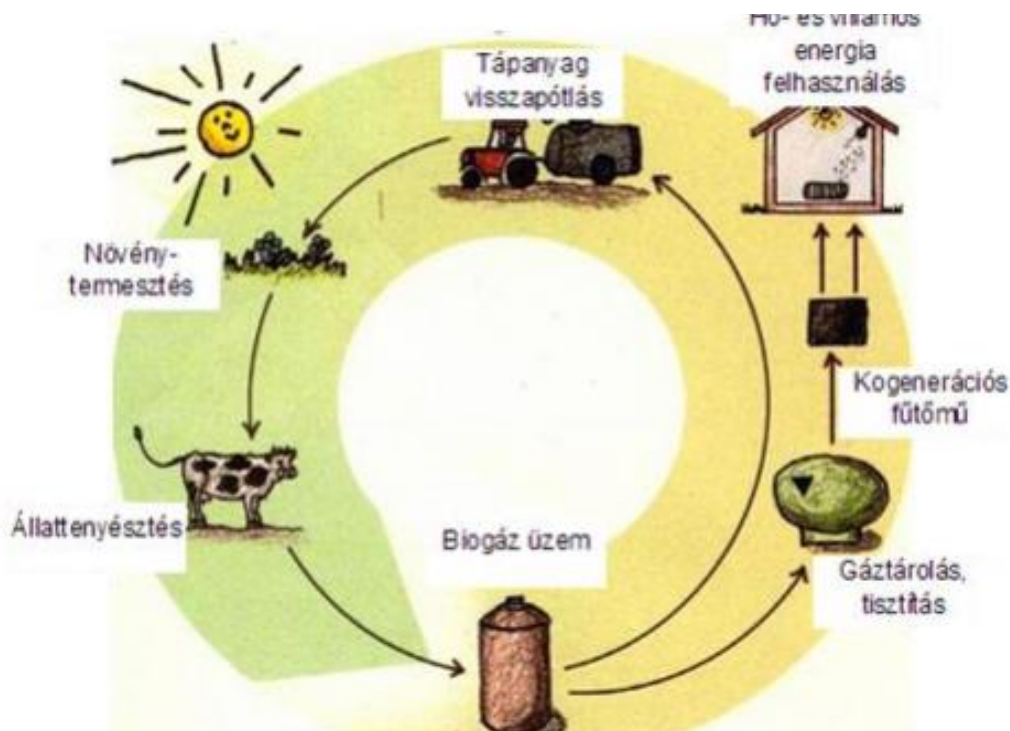
Összeségében tehát a szennyvíziszap és a fermentációs maradvány esetében is van létjogosultsága a mono, és az együttégetésnek is. Az költség és energiamegtakarítás érdekében kedvezőbb lenne a hulladék keletkezésének helyén létesíteni égetőműveket. Csökkentve ezzel az egyéb kockázatokat is. A települési szilárd hulladék és a szennyvíziszap együtt égetésével pedig mindkettő elhelyezési problémája megoldottá válna (*Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2014*).

5.2.3. Biogáz

A szerves anyagokból biológiai úton, anaerob baktériumos erjedéssel keletkező gázt, biogáznak nevezzük. Összetételét tekintve 55-65% -ban metán, 35-45% -ban pedig szén-dioxid. Illetve elenyésző mennyiségben körülbelül 1% -ban tartalmaz kén és foszfor vegyületeket is. Energiatartalmát tekintve itt sem beszélhetünk konkrét köbevésett számokról, ugyanis a biogáz esetében a metán mennyisége határozza meg ezt. Ha mégis szeretnénk meghatározni fűtőértéke 19-23 MJ/m³ -re tehető.

Ez az összetett, komplex rendszer anaerob erjesztésen alapul, környezetbarát, újrahasznosítja a hulladékot és CO₂ semleges energiatermelést tesz lehetővé. Csökkenti a biológiai hulladékok okozta környezetterhelést és kihasználja a megújuló energiaforrások adta lehetőségeket. Az anyagok a biológiai cikluson belül maradnak, azonban az energia felszabadul, az égési CO₂-ot pedig a növények képesek ismét felvenni.

6. ábra Biológiai ciklus (forrás: Dr. Tóth László)



A biogáz képződésének két útja lehetséges. Az első, amikor a folyamat magától megy végbe. Ez előfordulhat mélyvízi tengeröblökben, mocsarakban és hulladéktároló telepeken. A másik opció pedig, hogy a biogázt valamilyen eljárás segítségével előállítják. Ez a módszer előfordul

a hulladéklerakóknál, szeméttelpeken, ahol a szilárd hulladékból készítenek depóniagázt. A mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermékek esetében, amik vegyes alapanyagot nyújtanak a biogáz termelésnek. Végül pedig az általam választott témába tartozó szennyvíztisztító telepek, ahol a kommunális szennyvíziszapból lesz biogáz. Ebben az esetben az anaerob fermentáció célja a biogáz előállítása és hasznosítása mellett az iszap tömegének, térfogatának és fertőzőképességének csökkentése. Továbbá biológiai szempontból stabil trágya előállítása, amit mezőgazdasági és rekultivációs céllal hasznosíthatnak. Ez pedig úgy megy végbe, hogy az 5-6% -os szárazanyag-tartalmú, 60-70% szerves anyaggal rendelkező iszapokat anaerob rothasztó tartályokban kezelnek, mezofil körülmények között. A tartózkodási idő 20-30 napra feltételezhető. A fermentáció után a szerves anyagok 45-50% -a lebomlik és biogáz válik belőle.

Azonban a gázképződésnek számos feltétele van, amit biztosítani szükséges. A folyamat csak oxigénmentes-anaerob környezetben tud végbemenni 6,5 -es és 8,5 -es kémhatás között. Fontos még emellett az állandó 30-55 °C közötti hőmérséklet. Szükséges a szén-nitrogén-foszfor megfelelő aránya és a mikroelemek jelenléte, mint például a magnézium. Ezzel szemben a toxikus vegyületeket távol kell tartani. A művelethez elegendő tér kell, ami biztosítja a megfelelő tartózkodási időt. Mint sok más eljárásban itt is befolyásoló tényező a víz mennyisége, aminek ebben az esetben 50% -nál magasabbnak kell lennie. Szükséges a biodegradálható – a mikroorganizmusok által lebontható szerves anyagban gazdag környezet. Illetve az egyik leglényegesebb a szerves biomassza azonos időben, mennyiségben és minőségben való adagolása és ennek megfelelő keverése, hogy a baktériumok minél nagyobb felülethez juthassanak

A biogáz képződését, azaz az anaerob fermentációt négy fázisra szokták bontani. Első lépés a hidrolízis, amely során a makromolekulák monomerekre bomlanak le, vagyis a bakteriális enzimek a szerves anyagokat alapegységeikre bontják. Hidrolizáló mikroorganizmusok végzik.

Ezután ezek a már feloldott állapotban lévő anyagok szerves savakká kis szénatomszámú alkoholokká, aldehidekké, hidrogénné, szén-dioxiddá és egyéb gázokká alakulnak, ezt a savképződésnek nevezett folyamat addig tart, míg a baktériumok saját lebontó tevékenységük eredményeképp nem oldódnak fel, pusztulnak el. Fakultatív anaerob mikroorganizmusok végzik.

A következő lépésben az acetogén baktériumok dolgoznak, az előző fázis anyagait alakítják át esetsavvá, ezt nevezzük acetogén fázisnak.

Végezetül a metánképződés során ecetsavat vagy hidrogént és szén-dioxidot metanogén baktériumok metánná, szén-dioxiddá és vízzé alakítják át. Tehát, az első két lépésben történik a fermentáció, amely akkor tekinthető optimálisnak, ha a fermentálandó anyagban a szén és nitrogén aránya 13:30 a második részben pedig a metánképződés.

1. táblázat A biogáz képződés feltételei

Befolyásoló tényezők	Hidrolízis	Metántermelés
Hőmérséklet	25-30 °C	Mezofil: 32-42°C Termofil: 50-58°C
pH érték	5,2-6,3	6,7-7,5
C:N arány	10-45	20-30
Száranyag-tartalom	<40%	<30%

A szennyvíziszapból való biogáz előállításnak több módja is van. Magának a beruházásnak a költségét és a kapott gázhozam mennyiségét leginkább három megkülönböztetési módnál kell érdemes figyelembe venni. Az erjedés fázisai alapján beszélhetünk egy- és többlépcsős technológiáról. Az egylépcsős erjedésnél mind a négy szakasz egyetlen térben történik. Hátránya, hogy a folyamat különböző részeinek, más és más kémhatás lenne az ideális. Ez azonban ugyanabban a fermentorban nem biztosítható, ami azt eredményezi, hogy a biogáz mennyisége jóval alacsonyabb, mint az elméletben előállítható lenne. Előnye viszont, hogy így a berendezés és a vezérlése is olcsóbb. A több lépcsős esetben a fázisok elkülönített terekben zajlanak le, ez pedig nagyobb gázmennyiséget eredményez. Emellett azonban érhető módon költségesebb is. A kiinduló anyagként szolgáló iszap szárazanyag-tartalma szerint is csoportosíthatjuk az előállítás fajtáit. A nedves módszer esetében a szubsztrátum szárazanyag-tartalma kevesebb, mint 15%. Az alapanyag általában hígtrágya, ami 2-8% -os, és szerves anyag tartalma 40-60% között mozog. Pozitívuma, hogy folyamatosan adagolható – a szubsztrátumot rendszerint naponta, szivattyúval táplálják be, emellett automatizálható és jól irányítható. Magának az erjedésnek az ideje pedig rövid. Hátránya azonban, hogy állandó keverést igényel, annak érdekében, hogy meggátolják a leülepedést. Negatívum még a nagyobb térfogatú fermentor és az, hogy az erjedés utáni maradvány víztartalma is magas marad, így víztelenítést igényel. A felszár az eljárás esetén az iszap szárazanyag-tartalma már 15-25%. Ezzel egyenesen arányosan a maradvány szárazanyag-tartalma is magasabb, ami a további kezelés

szempontjából kedvező. Ez, illetve a kisebb fermentor térfogat olcsóbb megoldást jelent. Ebben az esetben is lehetséges lenne a folyamatos adagolás, azonban ez nagyon bonyolult és költséges megoldás. Így a beadagolást és a kitérőtést leginkább szakaszosan oldják meg, ami a magas nedvességtartalmú eljárásnál bonyolultabb és növeli az erjedés idejét. A legmagasabb szárazanyag-tartalmú anyagot pedig a száraz eljárásmód során használják, ami 25% feletti értéket jelent. Mértéke olyan alacsony, hogy akár teljesen elhagyható a mechanikai víztelenítés. A fermentáció hosszát növeli a be és kitérőtés szakaszossága. A szennyvíziszap esetében a leggyakrabban használt az egylépcsős, nedves mezofil rothasztás, melynek ideális hőmérséklete 30-42 °C. Könnyebben bomló egységes alapanyagok esetén a tartózkodási idő hozzávetőlegesen 25 nap.

A szennyvíziszapból 1 t szárazanyagot tekintve a használt technológia függvényében 200-500 m³gázt lehetséges előállítani. A kiindulási állapothoz képest a szubsztrátum szárazanyag és energiatartalma egyaránt csökken. Ellenben az összes tömeg és az összes energia a zárt tér miatt változatlan marad. Ebből kifolyólag a gázhozamból kiindulva megállapítható a fermentációs maradvány szárazanyag tömege és annak energia tartalma is.

A rothasztás eredményeként, a fermentációs maradvány sok szempontból kérdéseket vet fel, amiben a szakértők sem feltétlenül értenek egyet. Vannak, akik úgy tekintenek a rothasztásra, mint egy lezárt folyamatra, amely után már semmilyen más teendőnk nincs és a maradványát egy ártalmatlanított terméként kezelik, ami alkalmas a talajba való visszapótlásra. Én azzal a véleménnyel értek egyet, hogy a szennyvíziszap rothasztása során keletkezik felhasználható energia és hulladék is egyaránt. Ez az állítás pedig gyakorlatban bekövetkező, érzékelhető folyamatokon alapul. A fermentáció során a kiindulási anyag szárazanyagából csak a szén távozik – gáz, biogáz formájában. A megmaradt anyag szárazanyag hányada csökken, ennek következtében a megmaradó, nem távozó anyagok nagyobb koncentrációban lesznek jelen. Ez pedig vonatkozik minden káros mérgeanyagra is. Sőt a leggyakrabban használt mezofil erjesztés során az élő patogén szervezetek nem pusztulnak el. Eltávolíthatóságuk még termofil esetben sem teljesen valószínű (*Debreceni Egyetem, 2009*), (*Tóth, 2011*).

5.2.3.1. Biogáz hasznosítása

A szennyvíziszap biogázként való hasznosítása már jóval régebbre nyúlik vissza, mint gondolnánk. Az iszapot már az 1910-es években némileg elgázosították az ülepítő medencékben. Azonban a gáztömör fedlap – amin nem szivárog át a gáz és a fűtés kialakítása

drágának bizonyult, így végül fa fedelet használtak és a levegőbe engedték ki a gázt. Az 1920-as évekre a Ruhr-vidéken a biogázt már a gázhálózatokba táplálták be. A fermentorokat már teljes mértékben lefedték, a szennyvíztisztító telepen pedig külön hálózatot alakítottak ki a biogáz számára, a helyi gázhálózatba betáplált mennyiséget pedig óra segítségével mérték is. Egy évtizeddel később már új módon hasznosították, mivel a gépjárművek biogázüzemre való átalakítását szorgalmazták a közlekedésben. Elsőként 95 tehergépjármű üzemelt biogáz meghajtással. A gázt kéntelenítették, de szén-dioxid tartalma megmaradt. 1937-ben Németország már 8 biogáz töltőállomással is rendelkezett. Egy következő lépést jelentett a CO₂ tartalom csökkentése, ezzel pedig nagyobb hatótávolságokat tudtak elérni. A II. világháború után azonban a szennyvíztisztítóknál alkalmazott rothasztók száma lecsökkent és ezzel együtt a biogáz energetikai célú hasznosítása is. 1954-ben bezárták az utolsó töltőállomást is. A biogáz direkt termeléséről és az energiagazdálkodásban való felhasználásáról egy jóidőre "megfeledkeztek".

Napjainkban számos módja van a biogáz hasznosításának, én leginkább a szennyvíziszap biogázként való energetikai célú lehetőségei közül mutatok be néhányat.

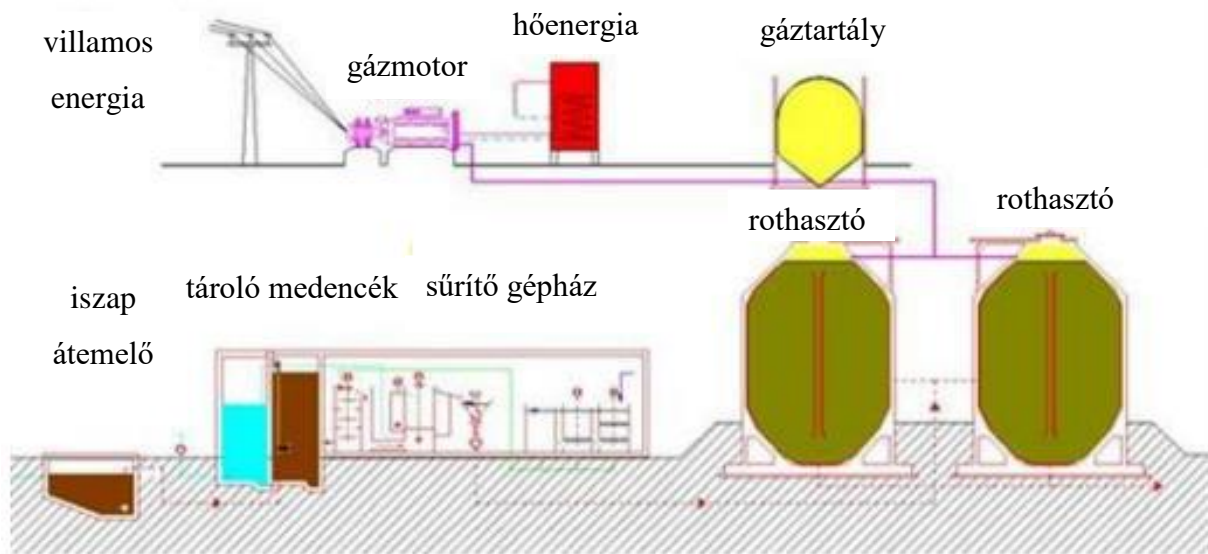
A biogázt, ahogy már említésre került legtöbb esetben mezofil eljárás során állítják elő. Az ehhez szükséges hőmérséklethez pedig, elengedhetetlen a fermentor fűtése. A gyakorlati tapasztalatok szerint, közepes gázhozam mellett a folyamat fűtési energia igénye felemészti a biogáz körülbelül 15% -át. Természetesen ezt az arányt a környezeti hőmérséklet is befolyásolja, tehát télen ez a szám sokkal magasabb. Ez pedig azt jelenti, hogy hidegebb időben kevesebb hőt tud rendelkezésre bocsátani. Ezt a felhasználási módot leginkább akkor alkalmazzák, ha a biogáz üzem közelében nagy, állandó hőigényű létesítmény található. Ilyen lehet például a bioetanol előállítása. Azonban legtöbbször a keletkező hőt fűtési célra használják fel. A gond csak az, hogy a fentebb említett ok miatt a legnagyobb hőmennyiség a melegebb időszakokban kinyerhető, amikor az erre való igény ellenben alacsonyabb ilyenkor.

Az energia felhasználásának szempontjából a legkedvezőbb, ha a gázt elégetjük, ugyanis az így keletkező hő teljes mértékben felhasználható. Kedvező lehetne, azaz opció is, ha gázhálózatba kerülne bevezetésre, ám erre szigorú előírások vannak érvényben. A meghatározott paraméterek betartásához nagyon drága berendezések kellenének, így ez a lehetőség csak elméleti síkon működik, a valóságban emiatt legjobb tudomásom szerint nincs erre itthon példa. Tőlünk nem messze Németországban és Ausztriában van erre precedens.

A tisztítás a biogáz szén-dioxid és egyéb gázoktól való megszabadítását jelenti, földgáz minőségűvé tisztítva ezzel. A földgázzal pedig, a nem megújuló energiaforrásokról szóló fejezetben esett szó, mint a legtisztább szénhidrogén. Ez a megtisztított földgáz a hálózatba vezethető vagy palackozható is. Emellett biometán formájában hasznosíthatjuk járművek üzemanyagaként. Magyarországon erre elsőként Zalaegerszegen találhatunk példát. Az eredményül kapott tiszta, metándús biogázt, biometánt nagy nyomásúra sűrítik majd hengeres tartályokban tárolják el, s végül ebben a formájában már alkalmas gépjárművek tankolására. Ennek az üzemanyagnak a károsanyag kibocsátása jóval alacsonyabb, mint a benzin vagy dízelüzemű változatoké.

A folyékony biogáz előállító technológiákat a nagyobb szennyvíztisztító telepeken alkalmazzák. A telepen kívülről érkező iszapokat konténerekben szállítják és a fogadó állomás, fogadó garatjában ürítik le. Ez egy mozgatható tetőszerkezettel van ellátva, amely az ürítés után visszazárul. A víztelenített iszapot a garatban lévő csigák juttatják tovább a tömő szivattyúba, ami a homogenizáló tartályba továbbítja azt, itt pedig a telep fölös iszapjával kerül összekeverésre, annak érdekében, hogy elérje az 5-7% -os rothasztáshoz indokolt koncentrációt. A nyomó vezeték az iszapot a homogenizáló tartályba való továbbítás helyet képes a fogadó garatba is visszavezetni. Szükség esetén híg telepi iszap is kerülhet ide, ezzel pedig egy homogénebb, kevert iszap jut a homogenizálón keresztül a rothasztóba. A rothasztás során a felhasznált iszap szerves anyag hányadának körülbelül fele lebomlik. A rothasztás nem csak energetikai szempontból előnyös, hanem egyéb más szempontokból is. Az iszap mennyisége harmadával csökken, bűze megszűnik és a benne lévő kórokozók mintegy 90% -a elpusztul. Ez a megoldás azt is lehetővé teszi, hogy egyéb más szilárd részt nem tartalmazó, rothasztásra alkalmas anyagok a fogadó garatba kerülhessenek. Az így keletkező biogázt a szennyvíztisztító telepek a saját hő és villamos energia szükségleteik fedezésére tudják használni.

7. ábra Biogáz előállítása szennyvíziszapból (forrás: Dr. Tóth László)



A fermentorokból a gáztartályba való eljutást műanyag csövek biztosítják. A fermentorban a hőmérséklet 30-35°C, ami a talajban vezetett csövekben lehül. A nagy hőmérséklet különbség miatt a vízpára kondenzálódik és kicsapódik, a csőben pedig összegyűlik. Végül megfelelő lejtés esetén meghatározott helyre kerül. Ez jelenti a gáz kiszáritását, és a vízpára mentesítését. A gázban jelenlévő kén-dioxidot a kisebb berendezések esetében azzal szokta ezt csökkenteni, hogy a reaktorba levegőt pumpálnak, a kén a reaktorban a szubsztrátum alsó részére süllyed le, és innen az átvezető csöveken a tárolóba kerül. A nagyobb eszközöknél alkalmaznak fizikai, kémiai abszorpciós kéntelenítő berendezéseket, membránokat, szűrőket.

Erre a biogázban lévő energia kinyerésére a leggyakoribb az úgynevezett CHP (Combined Heat and Power Technology) egység használata., amit kogenerációnak is neveznek. A villamos áram előállítása során valamilyen tüzelőanyagot használnak energiaforrásként, s ez a folyamat minden esetben nagy mennyiségű hőtermeléssel jár. A hőerőművekben pedig, nem túl előnyös módon a hő a környezetbe jut. Ezt a hulladékhőt használja fel a CHP, ami a hő és villamos energia előállítására is alkalmas egyidejűleg, növelve ezzel az összteljesítményt. A készülék fő elemei a gázmotor, generátor, hőcserélő és a segédberendezések. Segédberendezések alatt értjük például a szabályzókat, katalizátorokat vagy a zajcsillapítót. A CHP technológiákat megkülönböztethetjük az elsődleges mozgató szerint, ami alapján beszélhetünk gázturbinás, gőzturbinás és belsőégésű rendszerekről. Az első kettő technológia kombinálható is, ez esetben a gázturbinából kilépő égéstermékot hasznosítjuk a gőzturbina kazánjának fűtésére. A legelterjedtebb azonban a gázmotorok használata, amely úgy van kialakítva, hogy a

kipufogógázban és a hűtővízben lévő hő is hasznosítható legyen. Így módon a biogáz összes energiájának 82-85% -a nyerhető ki. Ebből a hőenergia 51% -ra tehető, míg az elektromos energia aránya 49%. Ez a technológia tehát lehetővé teszi, hogy az áramot ne elektromos művektől kelljen vásárolni, a hőenergiát pedig ne tüzelőanyagok elégetésével kelljen fedezni. Ha az előállított villamos áram kevesebb mint az igény és a létesítmény felhasználja azt, abban az esetben szükséges még a hálózathoz is áramot venni. Ha pedig több áram termelődik a felesleg eladható. A termelt hőenergiával a víztelenített iszap szárítása is lehetséges, amit ezután kazánokban égetnek el. A CHP rendszerek segítségével a különböző intézmények maguk tudják előállítani a villamos áramot és a hulladékhő segítségével a fűtési és melegvíz előállítás költségeit. Illetve alkalmazható a távfűtésre és üvegházaknál, valamint a nagy hulladékhővel rendelkező iparágak kiadásainak csökkentésére.

2. táblázat CHP berendezések üzemelési adatai

	GŐZTURBINA	GÁZTURBINA	BELSŐÉGÉSŰ MOTOR
Teljesítmény (W)	>10MW	>0,5MW	>100kW
Tüzelőanyag	minden (kivéve folyamatból származó hulladék)	nagy tisztóságú folyadék vagy gáz (földgáz, propán, biogáz, olaj)	folyadék vagy gáz
Teljesítmény/tüzelőanyag arány	0,1-0,2	0,2-0,4	0,3-0,4
Hő/tüzelőanyag arány	0,5-0,8	0,4-0,7	0,4-0,5
Teljesítmény/hő arány	<0,3	0,4-1	0,5-2
Hőenergia	gőz: 125-300°C	füstgáz: 400-600°C	füstgáz: 300-600°C víz: 100°C
A kilépő hő hasznosítása	kis, nagy nyomású gőz	hő, melegvíz, kis, nagy nyomású gőz	hő, melegvíz, kis nyomású gőz
Zaj	nagy	közepes	nagy
Indítási idő	1 óra-1 nap	10 perc-1 óra	10 mp-1 p
Részterhelés	igen	kis hatásfok	igen
Élettartam	25-35 év	15-20 év	15-25v

Ezenfelül, léteznek még kevésbé elterjedt technológiák is, mint például az üzemanyagcellák és a mikro-turbinák. Az üzemanyagcellák az elemekhez hasonló módon vegyi reakciók segítségével közvetlenül tudnak elektromosságot előállítani., tehát kémiai energiából elektromos energiát állítanak elő. Kitűnő a hatásfokuk, a kibocsátásuk és a zajterhelésük pedig egyaránt alacsony, áruk ezzel szemben magas. Utóbbiak pedig lényegében kisebb teljesítményű – 30-35 kW, méretű gázturbinák, amiket kisebb hőmérsékletű igénybevételeknél lehet alkalmazni. A mikro-turbinák esetében kompresszor segítségével komprimáljuk, azaz sűrítjük a biogázt és az égéstérbe juttatjuk. Az égéshez feltétlenül szolgáló levegőt léghevítővel melegítjük elő és így juttatjuk az égőtérbe. A meleg levegővel egy „víz-levegő” hőcserélő segítségével melegvizet állítunk elő. A villamos energiát a generátor szolgáltatja, amely egy tengelyen található a levegő-kompresszorral és a turbinával is. Ezek a berendezések azonban költségesek, hatásfokuk pedig alacsony, így leginkább belsőégésű motorokat alkalmaznak helyettük.

Nem csak a biogázt lehet energetikai célokra alkalmazni a folyamat során, hanem az erjedési maradékot is lehet hasznosítani. Jól használható tápanyag visszapótlására. A gázosítás után megmaradó, nehezen lebontható szénvegyületek kedvezőek a humusztartalom pótlásának szempontjából. A szerves kötésű nitrogén kiejátszása után a növény részére azonnal felvehető formában áll rendelkezésre. Mentess a kellemetlen szagoktól, mert a szagterhelést okozó illékony vegyületek a metánterjesztés alkalmával lebomlanak. Alacsonyabb a C:N aránya, így ez is gyorsabb és könnyebb bomlást eredményez. Kevesebb az üvegházhatást okozó hatás klímagáz kibocsátás, mivel kisebb mértékű az NO₂. A maradványok használatával nem szükséges műtrágyát alkalmazni, aminek nagy az előállítási energiaigénye, ezáltal csökken a környezetterhelés mértéke. Higiénikusabb és a gyommagvak csírákéességét is csökkenti. Azonban nem szabad megfeledkeznünk a már említett káros anyagok jelenlétéről is.

Sőt, ha már a maradvány agyagokról esik szó fontosnak tartom megemlíteni azt az eshetőséget mikor a termelt biogáz mennyiségét nem tudják felhasználni teljes egészében. Leginkább ebben az esetben alkalmazzák a biogáz” fáklyázását”, azaz elégetését. Igaz, hogy így is kerül a légtérbe üvegházhatású gáz, szén-dioxid formájában, de jóval elenyészőbb mennyiségben, mint a metán esetében (Tóth, 2011), (http27, 2024).

6. PÉLDÁK A GYAKORLATBAN

6.1. Biogáz a budapesti szennyvíztisztító telepen

Tehát, a szennyvíziszap energetikai célú felhasználásának valóban számos módja akad, ebből pedig mindegyiknek kisebb-nagyobb mértékben akad létjogosultsága. Az én álláspontom szerintem a szennyvíztisztító telepeken alkalmazott, iszapok hasznosítása útján történő biogáz felhasználás az egyik olyan mód, amit a valódi életben gyakorlatban is jól lehet alkalmazni és kihasználni az ez által kapott lehetőségeket. Emiatt választottam ki egy konkrét példát is ennek bemutatására.

Budapest nagyságát tekintve több szennyvíztisztító teleppel is rendelkezik. Az Észak, és a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepen egyaránt foglalkoznak biogáz előállításával. A minél nagyobb biogáz hozam elérésnek érdekében külső szervesanyag forrásokat is fogadnak be. A különböző keverékek együtt való rothasztását KO-SZUBSZTRÁT rothasztásnak nevezzük. Ilyenkor kettő vagy több szubsztrátból készült homogén keverék kerül a fermentorba. Az alap szubsztrát ebben az esetben értelemszerűen szennyvíziszap, de ez akár lehet állati trágya is. Ez tartalmazza az alapvető tápanyagokat, mint például a N, P, illetve a mikroelemeket is, mint a Ca és a Mg. Emellé adagolják kiegészítésként például a kerti vagy konyhai hulladékot. A megfelelő makro és mikro tápanyagoknak köszönhetően a rothasztás sokkal hatékonyabb, mint a mono-szubsztrátok rothasztása. A sokféle anyagnak köszönhetően a szerves anyagok koncentrációja nő, a sokféleség hatására a rothasztó teljes térfogata jobban kihasználható, a biogáz képződés pedig lényegesen javul. A közös fermentáció alatt a könnyen lebontható anyagokkal kevert – nehezebben lebontható anyagok bomlása is javul. A különböző komponensű anyagokból más és más mennyiségű metán keletkezik. 1 kg lebontott szénhidrátból – 0,4 Nm³ metán, 1 kg lebontott zsírból – 0,86 Nm³ metán és 1 kg lebontott fehérjéből – 0,5 Nm³ metán keletkezik.

Magyarország első szennyvíztisztító telepe a Dél-pesti Szennyvíztisztító telep, amely 1966 óta van üzemben. A telep napi 53 000 m³ fogad be, tisztít meg, majd enged bele a befogadóba. A folyamat során 500 m³ iszap keletkezik melléktermékként és ehhez adódik még hozzá a beszállított hulladék is. 1989 -től biogáz hasznosítással is foglalkoznak, ami segítségével a az eleveniszapos rendszer légfűvőinek működését biztosítják, gázmotor által előállított energiával. A folyamat 1 termofil és 4 mezofil rothasztó toronyban megy végbe. A termofil anaerob

rothasztó 55 °C üzemi hőmérsékleten működik, hasznos térfogata pedig 2000 m³, míg a mezofil rothasztók 35 °C -kal és 3x 2600 m³ hasznos térfogattal működnek. A 3 gázmotor képes 40 m³ megtermelésére naponta, elektromos teljesítményük 625, 836 és 1200 KW, ezt az egész telep szükségleteinek kielégítésére hasznosítják fel. A hőenergia pedig hőcserélő segítségével fűtésre szolgál. 2014 -ben gáztároló is épült, ami biztosítja, hogy a gáz a megfelelő időszakban kerülhessen felhasználásra, valamint a gázmotor leállása esetén való biogáztárolást is. A megmaradt depónia gázt itt is fáklyázzák, mivel, ahogy fentebb említésre került már ennek széndioxid tartalma kevésbé káros, mint a metán okozta üvegházhatás.

A 2022. év adatait tekintve a gázmotorokkal és kazánokkal előállított hőenergia a fűtési szükségletek 100% -át fedezte, míg a kinyert villamos energia a Dél-pesti telep 100% -át, míg az Észak-pesti telep 78% -át biztosította a teljes villamos energia felhasználásukból (*Simándi 2011*), (*http28, 2024*).

6.2. Biogáz hasznosítása gyakorlati példán keresztül

A dolgozatban eddig leírtak alapján jól látszik, hogy a szennyvíziszap sokszínűen hasznosítható energiagazdálkodási szempontból. Alkalmazása mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból előnyös. Még amellet is, hogy károsanyag kibocsátása nem 100% -ban kiküszöbölhető, az alkalmazott berendezések bekerülési költsége pedig relatív magas. Mindezek ellenére szerettem volna saját magam is megbizonyosodni erről egy gyakorlati példán keresztül.

Egy fiktív szennyvíztisztító telepen az ülepítés során keletkező nyers iszap és a biológiai tisztítás során keletkezett elősűrített fölös iszap anaerob lebontása egylépcsős mezofil rothasztóban történik. A tervezésük során az üzembiztonság és a karbantartási munkálatok szempontjából 2 reaktor kerül beépítésre. Fontos, hogy a reaktorban a hőmérséklet mindig mezofil tartományon belül maradjon, annak érdekében, hogy a lebontási sebesség az optimális értékeken belül legyen. A rothasztók pontos üzemi hőmérsékletének meghatározása mindig a tervező feladata. Ezen kívül szükséges még megadni a rothasztók hőigényét és a szükséges hőcserélő kapacitását, valamint a keverés fajtáját és teljesítményét.

3. táblázat Iszapadatok

Nyersiszap	
összes szárazanyag [kg/d]	7754
koncentráció [%]	5
relatív sűrűség	1,02
szerves anyag tartalom [%]	65
Sűrített fölös iszap	
összes szárazanyag [kg/d]	5822
koncentráció [%]	4
relatív sűrűség	1
szerves anyag tartalom [%]	80

4. táblázat Tervezési alapadatok

Alapadatok	
hidraulikus tartózkodási idő HRT [d]	20
biogáz ÁTLAGOS metán tartalma [%]	65
Hőmérsékleti adatok	
külső levegő hőmérséklete [°C]	5
Földhőmérséklet a takart oldalfal körül [°C]	7
Földhőmérséklet a műtárgy fenék alatt [°C]	12
Betáplált szennyvíziszap hőmérséklete [°C]	15
Rothasztási hőmérséklet [°C]	35-38

5. táblázat Hőátadási tényezők

Hőátadási tényezők (U)	
Szigetelt szabad oldalfal (W/m ² °C)	0,7
Takart oldalfal (W/m ² °C)	0,62
Műtárgy fenék földben (W/m ² °C)	0,85
Rothasztó szigetelt teteje (W/m ² °C)	0,95

1. Napi iszapmennyiség meghatározása

Az iszapmennyiség meghatározásának általános módja – az iszap összes szárazanyagtartalmának és a relatív sűrűség, a vízsűrűség és a koncentráció szorzatának a hányadosa:

$$\text{Iszapmennyiség} = \frac{\text{Összes szárazanyag} \left[\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right]}{\text{Relatív sűrűség} \times \text{Víz sűrűsége} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \times \text{Koncentráció}}$$

$$\text{Nyersiszap mennyisége} = \frac{7754 \text{ kg/d}}{1,02 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,05} = 152,04 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Sűrített fölös iszap mennyisége} = \frac{5822 \text{ kg/d}}{1,00 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,04} = 145,55 \text{ m}^3/\text{d}$$

Értelemszerűen a nyers és a fölös iszap mennyiségéből kapjuk meg a teljes napi iszapmennyiséget.

Napi iszapmennyiség:

Nyersiszap mennyisége [m^3/d] + Sűrített fölös iszap mennyisége [m^3/d]

$$\text{Napi iszapmennyiség } [Q] = 152,04 + 145,55 = 297,59 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (298 m}^3/\text{d)}$$

2. Hasznos rothasztó térfogat meghatározása

A hasznos rothasztó térfogatot a napi iszapmennyiség és a HRT (Hydraulic Retention Time), azaz a hidraulikus tartózkodási idő alapján tudjuk meghatározni, ami a szennyvíz bioreaktorban töltött idejét jelenti. A hidraulikus tartózkodási idő iszapkezelési technológiánként eltérő. Azoknál az anaerob rothasztóknál, ahol nem recikculáltatják vissza az iszapot a HRT megyegyezik az SRT -vel (Solids Retention Time), vagyis az iszap tartózkodási idejével. A települési szennyvíztisztító telepeken keletkező szennyvíziszapok telepen belüli kezelésének tervezéséhez a mezofil rothasztók esetében 20 napos, a termofil rothasztók esetében 10 napos hidraulikus tartózkodási időt irányoznak elő. Tehát, én ebben az esetben 20 nappal számoltam.

Hasznos rothasztó térfogat:

$$\text{Napi iszapmennyiség (Q)} \times \text{HRT} = 298 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 20 \text{ d} = \mathbf{5952 \text{ m}^3}$$

3. Száraz-szervesanyag terhelés meghatározása

Az OLR (Organic Loading Rate) a száraz – szervesanyag terhelés rövidítése, mely az iszapok száraz és szerves anyagainak összesített szorzatából kapható meg. A reaktor egységnyi térfogatába, meghatározott idő alatt betáplált szerves anyag mennyiség. Mezofil rothasztók esetében értéke 0,8-2,kg/m³d között az optimális.

Összes száraz-szervesanyag = Nyersiszap összes szárazanyag [kg/d] × Szervesanyag tartalom [%] + Sűrített fölös iszap összes szárazanyag [kg/d] × Szervesanyag tartalom [%]

Összes száraz – szervesanyag:

$$(7754 \text{ kg/d} * 0.65) + (5822 \text{ kg/d} * 0.80) = 9697,7 \text{ kg/d}$$

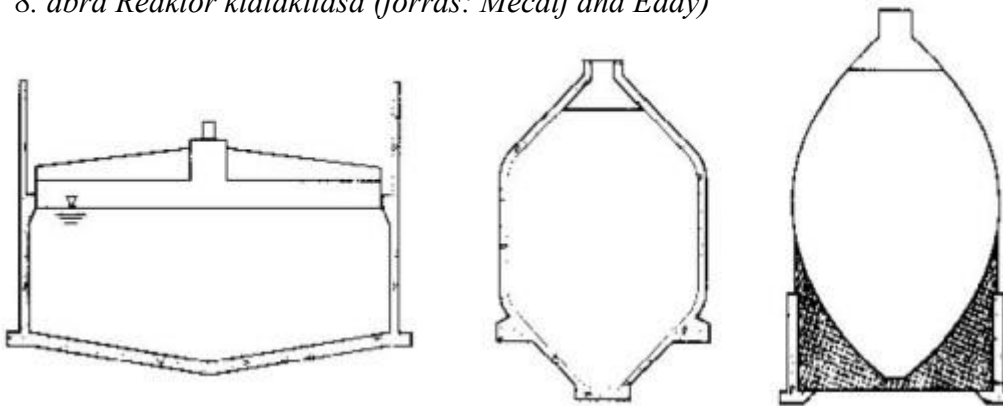
Száraz – szervesanyag terhelés (OLR):

$$\frac{\text{Összes száraz- szervesanyag}}{\text{Hasznos rothasztó térfogat}} = \frac{9697,7 \text{ kg/d}}{5952 \text{ m}^3} = \mathbf{1,63 \text{ kg m}^3\text{d}}$$

4. Rothasztó méreteinek meghatározása

Biztonsági szempontokból két rothasztó torony kerül kialakításra, amik henger alakúak és egyaránt 15m -es átmérővel rendelkeznek. A fenék alakja kúp, mélysége pedig 1,5m. A hasznos térfogat és a hasznos mélység meghatározásra során ezt nem kell figyelembe venni. Alakját tekintve nem csak henger lehet, létezik még más egyéb kialakítás is. Kúpos fenék, kúpos fedél vagy akár tojás.

8. ábra Reaktor kialakítása (forrás: Mecalf and Eddy)



$$\text{Rothasztók hasznos térfogata} = \frac{5952 \text{ m}^3}{2} = 2976 \text{ m}^3$$

Írja be az egyenletet ide

$$\text{Alap terület} = \frac{D^2 \times \pi}{4} = 314,16 \text{ m}^2 \sim 314 \text{ m}^2$$

$$\text{Hasznos mélység} = \frac{\text{Rothasztó hasznos térfogat}}{\text{Alap terület}} = \frac{2976 \text{ m}^3}{314 \text{ m}^2} = \mathbf{9,47 \text{ m}}$$

Azonban itt még nem elhanyagolható a műtárgy alján keletkező homokrég és a vízfelszínen kialakuló hab. Ezekkel is szükséges számolni, annak érdekében, hogy meglegyen a kellő térfogat a lefedés és a vízfelszín között.

A hasznos mélységet növelni kell:

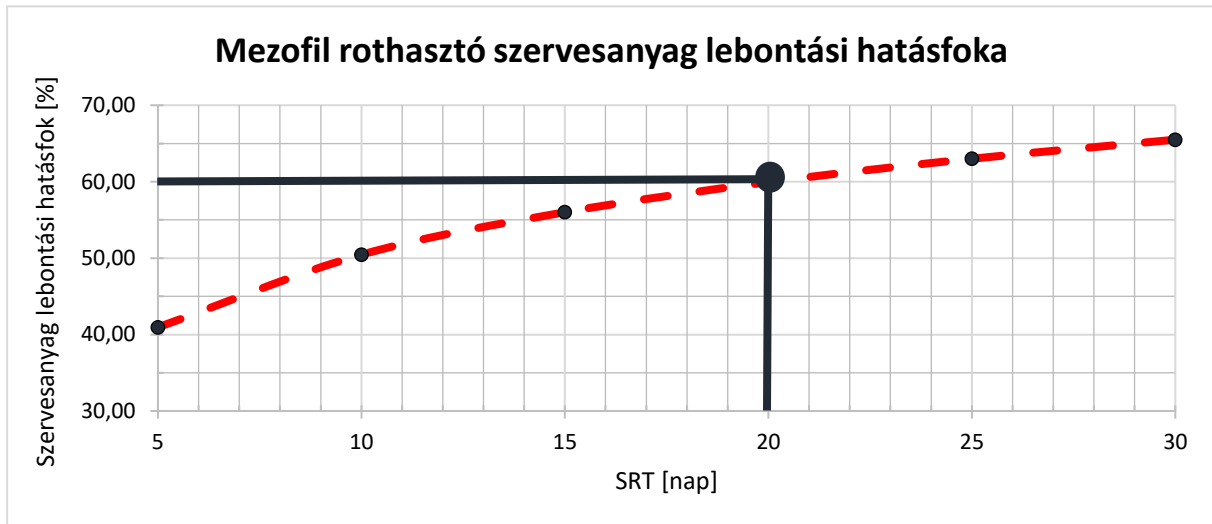
- Homok réteg (műtárgy alján) = 0,5 m
- Habréteg = 0,5 m

– Lefedés alatti tér = 1.0 m

Hasznos mélységet megnövelendő = 0,5 m + 0,5 m + 1 m = 2,0 m

A teljes mélység = 9,47 + 2 = 11,47 m

5. Szervesanyag lebontás hatásfokának meghatározása – mezofil rothasztó



Mivel visszaforgatás nélkül üzemel az anaerob rothasztó, így:

SRT (d) = Szilárd anyagok tartózkodási ideje

HRT (d) = Hidraulikus tartózkodási idő

A diagrammról leolvasható, hogy a mezofil rothasztónk 20 napos hidraulikus tartózkodási időnél 60% -os lebontási hatásfokkal dolgozik.

Ezt ellenőrzés képpen számítással is meghatározhatjuk.

$$V_d = 13,7 \times \ln(\text{SRT}) + 18,9$$

ahol:

V_d - Szerves anyag lebontás hatásfoka (Volatile Solids Destruction) %

SRT (d) = HRT (d)

$$V_d = 13,7 \times \ln(20) + 18,9 = 59,94\% \sim 60\%$$

Lebontott száraz-szervesanyag:

Összes száraz-szervesanyag \times szervesanyag lebontási hatásfok =

$$9697,7 \text{ kg/d} * 0.6 = 5819 \text{ kg/d}$$

A biogáztermelés meghatározása nagyon könnyen és gyorsan lehetséges az úgynevezett közelítő módszer segítségével. A lebontott szerves anyag tömegére van csupán szükség, ugyanis: $1 \text{ kg lebontott szervesanyag} = 1 \text{ Nm}^3 \text{ biogáz}$.

$$\underline{\text{Biogáz képződés}} = \text{Lebontott száraz-szervesanyag} \times 1 \text{ m}^3/\text{kg} = 5819 \text{ kg/d} \times 1 \text{ m}^3/\text{kg} = \mathbf{5819 \text{ m}^3/\text{d}}$$

Számítással pedig meghatározható még a kémia oxigénigény – KOI alapján is.:

$$\text{VCH}_4 = 0,35 \times (\text{KOI}_{\text{be}} - \text{KOI}_{\text{ki}}) \times Q$$

A képletben szereplő tagok:

KOI_{be} : A bemenő folyadékáram KOI koncentrációja (kg/m^3).

Q: A betáplálás térfogatárama (m^3/d).

KOI_{ki} : Az elmenő folyadékáram KOI koncentrációja (kg/m^3). A termelt metán mennyiségét Nm^3/d -ban kapjuk meg.

6. Rothasztott iszap szárazanyag tartalmának a meghatározása

Összes száraz szervesanyag (kg/d):

Összes szárazanyag (kg/d) - Összes száraz szerves-szárazanyag (kg/d)

Összes száraz szervesanyag:

Nyersiszap összes szárazanyag (kg/d) + Fölősiszap összes szárazanyag (kg/d) – Összes száraz-szervesanyag (kg/d) = $(7754 \text{ kg/d} + 5822 \text{ kg/d}) - 9697,7 \text{ kg/d} = 3878 \text{ kg/d}$

Összes száraz-szervesanyag rothasztás után (kg/d):

Összes száraz-szervesanyag (kg/d) - Lebontott száraz-szervesanyag (kg/d) = $9697,7 \text{ kg/d} - 5819 \text{ kg/d} = 3879 \text{ kg/d}$

Összes szárazanyag rothasztás után(kg/d) =

Összes száraz szervesanyag (kg/d) + Összes száraz-szervesanyag rothasztás után (kg/d) = $3878 + 3879 = 7757 \text{ kg/d}$

Rothasztott iszap relatív sűrűsége: **1,02 %**

$$\text{Rothasztott iszap konc. (\%)} = \frac{\text{Összes szárazanyag rothasztás után (kg/d)}}{1,02 \times 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \text{Napi iszapmennyiség } Q \text{ (m}^3\text{/d)}}$$

$$\text{Rothasztott iszap konc. (\%)} = \frac{7757 \text{ kg/d}}{1,02 \times 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 297,59 \text{ m}^3\text{/d (m}^3\text{/d)}}$$

$$\text{Rothasztott iszap konc. (\%)} = 0,025556 = \mathbf{2,25\%}$$

7. A rothasztó hőtani méretezése

Hőmérséklet adatok:

Külső levegő hőmérséklete = 5 °C

Földhőmérséklet a takart oldalfal körül = 7 °C

Földhőmérséklet a műtárgy fenék alatt = 12 °C

Betáplált szennyvíziszap hőmérséklete = 15 °C

Rothasztási hőmérséklet = 35 °C

Hőátadási tényezők (U):

Szigetelt szabad oldalfal = 0.70 W/m².°C

Takart oldalfal = 0.62 W/m².°C

Műtárgy fenék földben = 0.85 W/m².°C

Rothasztó szigetelt teteje = 0.95 W/m².°C

$$\text{Napi iszapmennyiség rothasztónként} = \frac{297,59 \text{ m}^3 \text{ /d}}{2} = 148,79 \sim \mathbf{149m /d}$$

7.1 A nyersiszap felmelegítésének hőigénye

$$Q_1 = W_f \times C_p \times (T_2 - T_1) =$$

$$= (1000 \text{ kg/m}^3 \times 148,79 \text{ m}^3/\text{d}) \times 4200 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (35-15) ^\circ\text{C} = \mathbf{124,98 * 10^8 \text{ J/d}}$$

Q_1 - A nyersiszap felmelegítésének hőigénye, J/d

C_p - Az iszap fajhő értéke (azonos a víz fajhőjével) = 4200 J/kg °C

T_1 - A betáplált szennyvíziszap hőmérséklete, °C

T_2 - A rothasztó üzemi hőmérséklete, °C

W_f - A betáplált iszap tömege, kg/d

Iszap sűrűség = 1000 kg/m³

7.2 A rothasztó hővesztésének meghatározása

Az oldalfal felszíne rothasztónként = $2 \times r \times \pi \times \text{Teljes mélység} = 15 \text{ m} \times \pi \times 11,47 \text{ m} = \mathbf{720,84 \text{ m}^2}$

Az oldalfal ½ része terepszint feletti = $720,84 \text{ m}^2/2 = \mathbf{360,42 \text{ m}^2}$

Az oldalfal ½ része terepszint alatti, takart = $720,84 \text{ m}^2/2 = \mathbf{360,42 \text{ m}^2}$

Műtárgy fenék földben = $\pi \times r \times s = \pi \times 7,5 \times 7,65 = \mathbf{180,21 \text{ m}^2}$ (A kúp palást területe)

Rothasztó szigetelt teteje = $r^2 \times \pi = (7,5)^2 \times \pi = \mathbf{176,71 \text{ m}^2}$

A rothasztó hővesztésének meghatározása:

$$Q_2 = U \times A \times (T_2 - T_3) =$$

Q_2 - Hővesztés, J/h

U - Hőátadási tényező, J/s x m² x °C

A - Felület, m²

T_2 - A rothasztó üzemi hőmérséklete, °C

T_3 - A külső levegő hőmérséklete, °C

$$\text{Szigetelt szabad oldalfal} = 0,70 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times 360,42 \text{ m}^2 \times (35-5) \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{7569 \text{ W}}$$

$$\text{Takart oldalfal} = 0,62 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times 360,42 \text{ m}^2 \times (35-7) \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{6257 \text{ W}}$$

$$\text{Műtárgy fenék földben} = 0,85 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times 180,21 \text{ m}^2 \times (35-12) \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{3523 \text{ W}}$$

$$\text{Rothasztó szigetelt teteje} = 0,95 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times 176,71 \text{ m}^2 \times (35-5) \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{5036 \text{ W}}$$

$$\text{Összes hőveszteség} = 22385 \text{ W} = 22385 \text{ J/s} =$$

$$22385 \text{ J/s} \times 86400 = \mathbf{19,34 \times 10^8 \text{ J/d}}$$

8. Biogáz fűtőértékének meghatározása

A biogáz fűtőértékét a metántartalom alapján tudjuk meghatározni. A 65% -os metán tartalmú biogáz, pedig **22 000 kJ/m³** fűtőértékkel rendelkezik.

9. Hőcserélő méretezése

A rothasztó összes hőigénye:

A nyersiszap felmelegítésének hőigénye + Összes hőveszteség =

$$(124,98 + 19,34) \times 10^8 \text{ J/d} = \mathbf{144,32 \times 10^8 \text{ J/d}}$$

Természetesen az iszap fűtésére is számos lehetőség van. Történhet közvetlen módon túlhevített gőzzel, vagy magában a reaktortérben elhelyezett fűtőcsövek segítségével. A másik mód a külső ellenáramú melegvizes hőcserélő használata, amely lehet spirál, csöves vagy lemezes kialakítású. Ezek közül most a külső ellenáramú, meleg vizes hőcserélővel történő fűtés alkalmazzuk.

A csöves kialakítású hőcserélő feltételezett hatásfoka: $\eta = 0,75$

$$\text{A hőcserélő tényleges hőigénye: } 144,32 \times 10^8 \text{ J/d} / 0,75 = \mathbf{192,43 \times 10^8 \text{ J/d}}$$

Mivel 2 db mezofil rothasztót alkalmazunk, ezért 2 db hőcserélőre is van szükség.

$$\text{A két hőcserélő tényleges hőigénye: } 2 \times 192,43 \times 10^8 \text{ J/d} = 384,86 \times 10^8 \text{ J/d} = \mathbf{3,8487 \times 10^7 \text{ kJ/d}}$$

A rothasztó fűtéséhez szükséges biogáz mennyisége:

$$3,8487 \times 10^7 \text{ kJ/d} / 22\,000 \text{ kJ/m}^3 = \mathbf{1749 \text{ m}^3/\text{d}}$$

Mivel a rothasztókban képződött biogáz mennyiség $5819 \text{ m}^3/\text{d}$, ezért $4070 \text{ m}^3/\text{d}$ a felesleg.

10. Keverő teljesítmény meghatározása

A keverésnek nagyon nagy jelentősége van az anaerob rothasztók esetében. Nem megfelelő átkeverésükkor, a stabilizálódás sem lesz megfelelő, a metánhozam csökken, s ez végül nem megfelelő fertőtlenítést okoz. Ezeken felül pedig kiülepedés és felúszás is előfordulhat. A keverők jóval több karbantartási munkát igényelnek, mint a reciklációs berendezések. Leggyakoribb probléma a keverő köré rakódó szálanyag tömeg.

A reaktorok méretéből adódóan azonban mechanikai keverést alkalmazunk. Az ehhez szükséges teljesítményt katalógusok, táblázatok segítségével tudjuk meghatározni. Metcalf & Eddy -Wastewater Engineering, Treatment and Reuse című könyvében található, 2013-13-33 számú táblázat alapján a fajlagos teljesítmény értéke $0,005\text{-}0,008 \text{ kW}/\text{m}^3$ rothasztó térfogat.

A keverő teljesítmény meghatározásakor én ennek az intervallumnak a felső határértékét választottam ki, a biztonságos üzemelés érdekében.

Tehát:

Keverő teljesítmény (kW): Fajlagos teljesítmény (kW/m^3) \times Rothasztó térfogat (m^3) =

$0,008 \text{ (kW}/\text{m}^3) \times 2976 \text{ m}^3 = \mathbf{24 \text{ kW rothasztónként.}}$

11. Biogáz (üzemanyag) energia tartalmának meghatározása

Biogáz mennyisége: $5819 \text{ m}^3/\text{d} = 242,44 \text{ m}^3/\text{h}$

Biogáz fűtőértéke: $22,0 \text{ MJ}/\text{m}^3$

Biogáz fűtőértéke: $22,0 \text{ MJ}/\text{m}^3 = 6,25005 \text{ kWh}/\text{m}^3$

Mivel a rothasztóban képződött biogáz mennyisége nem szükséges teljes egészében a rothasztó fűtéséhez, így javasolt ennek felhasználása egy kogenerációs kísérőműben, amivel biztosítani tudjuk a szennyvíztisztító telep villamos energia szükségletét is. Ennek kiválasztásához meg kell határoznunk a biogáz (üzemanyag) energiatartalmát.

Biogáz (üzemanyag) energia tartalma:

$$242,44 \text{ m}^3/\text{h} \times 22\,000 \text{ kJ/m}^3 = 5\,333\,735 \text{ kJ/h} = \mathbf{1481,18 \text{ kW}}$$

12. Gázmotoros kogenerációs kiserőmű

A 2. számú melléklet szerint – a DEUTZ katalógus 3 oldalán található a „Sewage gas application”. Itt az „Energy balance” táblázaton belül a „Fuel consumption - üzemanyag fogyasztás” sorban látható, hogy a TCG2016 B V16 típus fogyasztása 1725 kW. biogáz üzemanyag energia tartalma szerint 1 db TCG2016 BV16 típusú kogenerációs kiserőművet alkalmazunk.

13. Kogenerációs kiserőmű által termelt villamos és hőenergia

A katalógus 3. oldalán található a „Sewage gas application”. Itt az „Energy balance” táblázaton belül jól látható, hogy a TCG2016 B V16 típus esetében az „Electrical efficiency, azaz elektromos hatásfok 41,5 % , míg ugyanebben a táblázatban a „Thermal efficiency” – termikus hatásfok 36,9% .

Termelt villamos energia (kW):

Biogáz (üzemanyag) energia tartalma (kW) \times elektromos hatásfok

$$1481,18 \text{ kW} \times 0,415 = \mathbf{614,689 \text{ kW}}$$

Termelt hőenergia (kW):

Biogáz (üzemanyag) energia tartalma (kW) \times termikus hatásfok

$$1481,18 \text{ kW} \times 0,369 = \mathbf{546,55 \text{ kW}}$$

A hőcserélők napi hőigénye:

$$2 \times 192,24 \times 10^8 \text{ J/d} = 384,87 \times 10^8 \text{ J/d} = \mathbf{3,849 \times 10^7 \text{ kJ/d}}$$

Termelt hőenergia:

$$1 \text{ kW} = 3600 \text{ kJ/h} = 86\,400 \text{ kJ/d}$$

$$546,55 \text{ kW(kWh/h)} = 1967580 \text{ kJ/h} = 4722920 \text{ kJ/d} \sim \mathbf{4,72 \times 10^7 \text{ kJ/d}}$$

A számítások egy napos időintervallumra vonatkoznak. A termelt villamos energia 614,689 kW, ha ezt vesszük a napi fogyasztásunk alapjául az 14 757,36 kWh, amely a 70,1039 Ft -os piaci árral számítva 1 034 548 Ft.

Tehát, ennyibe került volna ez az energiamennyiség, ha ezt meg kell vásárolnunk.

A hőenergia tekintetében pedig, a rothasztó felfűtéséhez szükséges hőcserélők napi hőigénye $3,849 \times 10^7$ kJ/d, a termelt hőenergia pedig $4,72 \times 10^7$ kJ/d.

Tehát a megtermelt hőenergia elegendő a rothasztók fűtésének ellátására!

Ez a megoldás kedvező mind, energiagazdálkodási, mind környezetvédelmi szempontból. Az így megtermelt hőenergia fedezi a telep szükségleteit, sőt még "fölösleg" is marad. A termelt villamos energia pedig szintén felhasználható a telep igényeire. Ezáltal nem kell ezeknek a szükségleteknek a kielégítésére különböző energiaforrásokat megvásárolni. S a fosszilis tüzelőanyagok okozta emisszió sem áll fent.

7. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Összességében elmondható, hogy napjaink egyik legjelentősebb problémája az energiabiztonság. Hazánkban a 90 -es évek óta jelent növekedő gondot. Az elmúlt években világossá vált az emberek számára, hogy a jelenlegi életmódunk, a hosszútávú környezetszennyezés és energiapazarlás a természeti erőforrások kimerüléséhez és környezet hatalmas mértékű károsodásához vezethet, amely talán visszafordíthatatlan lesz. Jelenleg is sok-sok kisebb-nagyobb jele van annak, hogy nem jó irányba haladunk. A fogyasztói társadalom folyamatosan növekvő elvárásainak az eredménye Földünk kizsigerelése. Ebből az okból kifolyólag a gazdaság növekedésének fenntartása, a környezet védelme és a foglalkoztatás növelése miatt nélkülözhetetlen az átállás a megújuló energiaforrások használatára. Ez, az úgynevezett "energiaátmenet" a fosszilis energiahordozók elhagyását jelenti, ezzel párhuzamosan pedig a káros üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkenését. Lászik is, hogy a megújuló energiaforrások használata és az általuk termelt energia mennyisége egyre nagyobb, azonban ezzel együtt az energiafelhasználás is folyamatosan nő. A megújuló energiamennyiség növekedése körülbelül egyharmada a világ energiaigény növekedésének. Ennek ellenére igyekeznünk kell a körforgás létrehozására – fenntartására. A legkevesebb már nem hasznosítható energiaforrásra kell törekedni. Az egyik ezt segítő fő cél a víz újra felhasználása. A szennyvíztisztítás során keletkező iszap elhelyezése állandó kihívást jelent.

Erre jelentenek megoldást a szennyvíziszapot hasznosító biogázüzemek. A költségesen kezelendő, elszállítandó szennyvíziszap ártalmatlanítását is el lehet vele végezni miközben mezőgazdasági tápanyag és energia képződik. Napjainkra egyre több szennyvíztisztító telep rendelkezik saját biogáz előállító üzemmel, így a megtermelt energiát saját működésükre is tudják fordítani. Ezzel pedig csökkentik a károsanyag kibocsátást, energiát és költséget takarítanak meg. Dolgozatomban egy ilyen biogázt hasznosító kogenerációs kiserőmű paramétereinek megtervezését írtam le, végigvezetve a folyamatot megbizonyosodott, hogy ennek a technológiának az alkalmazásával elegendő hőt tudunk biztosítani magának az eljárásnak a működtetéséhez is, illetve a fennmaradt mennyiséget hasznosítani lehet a szennyvíztisztító telepen akár csak a villamos energiát. Az én számításaim leginkább a módszer elvének vizsgálatára irányultak, részletes költségelemzést nem tartalmaznak. Környezetünk és természeti erőforrásaink megvédésének érdekében a megújuló energiaforrásoknak kell teret adni. Ebből adódóan a jövőben megfontolandó lehetőségnek tartom olyan valós szennyvíztisztító telepek vizsgálatát, melyek nem rendelkeznek még saját biogáz hasznosító üzemmel. A munkálatok során minden esetben érdemes megkeresni az adott paramétereknek legmegfelelőbb technológiát annak érdekében, hogy optimális hatásfokon tudjuk kezelni a feldolgozandó anyagokat, biztosítva ezzel a szennyvíztisztító telep saját energiaszükségleteit. Természetesen a valóságban elengedhetetlen a tervezési folyamatok mellett a gazdasági oldalt is figyelembe venni. Ezek a beruházások költségesek, de hosszabb távon mind anyagi, mind környezeti szempontból megtérülnek.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Földünk egyik legégetőbb problémája az energiával való gazdálkodás, mind környezetvédelmileg, mind gazdaságilag. Napjainkra a megújuló energiaforrásoknak sikerült teret nyernie, azonban az ezekre való átállás sok szempontból nem zökkenőmentes. Dolgozatomban ezek közül emeltem ki a szennyvizet és a benne rejlő potenciálokat, bemutatva az egész szennyvíztisztítási folyamatot az elejétől, a végéig. Az eredményül kapott szennyvíziszapot többféle módon is tudjuk energiatermelésre hasznosítani. A számos lehetőség között van például a mezőgazdasági hasznosítás, komposztálás, égetés és az általam kiválasztott biogázként való felhasználás. Az erre alkalmazott technológiák közül bemutatásra került, egy – a gyakorlatban jól működő rendszer is a budapesti szennyvíztisztító telepen, ahol KO-SZUBSZTRÁT rothasztást alkalmaznak. Az így előállított biogázt, pedig gázmotorok segítségével alakítják hő és villamos energiává. Azt a gázt, amit nem hasznosítanak azonnal, gáztárolókban tudják eltárolni. Ezek alapján saját adatokkal elkészítettem egy szennyvíztisztító telep biogázhasznosító üzemének tervét. A rendszer az előülepítésből származó nyersiszapot és a biológiai fokozaton keletkezett fölösiszapot kezeli, tehát ezekből került megállapításra a napi összes iszapmennyiség. Ezek a technológiáról egy anaerob rothasztóba kerülnek. Az általam alkalmazott egy mezofil fermentor volt, amelynek meghatározásra került a hasznos térfogata és hasznos mélysége – figyelembe véve a reaktor alján keletkező homokréteget és a vízfelszínen megjelenő habréteget is. Az optimális lebontási sebességhez szükséges hőmérséklet érdekében, meg kellett határozni a rothasztók üzemi hőmérsékletét – hőigényét, és a kiválasztott hőcserélő kapacitását. A megfelelő keverés mellett keletkezett biogázhozamunkat pedig egy kogenerációs kiserőmű, gázmotor segítségével alakítja át hő és villamos energiává. A vizsgálat végső célja volt megállapítani, hogy mennyi hő és villamos energiát tudunk, így előállítani és mennyi energiaköltséget lehet megtakarítani eltekintve a telepített berendezések bekerülési és fenntartási költségeitől.

9. SUMMARY

One of the most pressing problems of our planet is energy management, both environmentally and economically. Nowadays, renewable energy sources have managed to gain ground, but the transition to them is not smooth in many ways. In my dissertation, I highlighted wastewater and its inherent potential, presenting the entire wastewater treatment process from beginning to end. The resulting sewage sludge can be used for energy production in several ways. Among the many options are, for example, agricultural utilization, composting, burning, and using it as biogas, which I chose. Among the technologies used for this, a system that works well in practice was presented at the sewage treatment plant in Budapest, where KO-SUBSTRATE digestion is used. The biogas produced in this way is converted into heat and electricity with the help of gas engines. The gas that is not used immediately can be stored in gas storage tanks. Based on these, I prepared a plan for the biogas utilization plant of a wastewater treatment plant using my own data. The system handles the raw sludge from pre-sedimentation and the excess sludge produced in the biological stage, so the total daily sludge volume was determined from these. These are transferred from the technology to an anaerobic digester. The one I used was a mesophilic fermenter, the useful volume and useful depth of which were determined - taking into account the sand layer formed at the bottom of the reactor and the foam layer appearing on the water surface. In order to obtain the temperature required for the optimal decomposition rate, it was necessary to determine the operating temperature of the digesters - their heat demand, and the capacity of the selected heat exchanger. Our biogas yield, created with proper mixing, is converted into heat and electricity with the help of a small cogeneration power plant and a gas engine. The final goal of the study was to determine how much heat and electricity we can produce and how much energy costs can be saved apart from the costs of installation and maintenance of the installed equipment.

10. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól
- [2] Bakos I. (2018): *A szennyvíz vizsgálata az energiabiztonság szempontjából*, BÁNKI KÖZLEMÉNYEK 1. ÉVFOLYAM 3. SZÁM
- [3] Biomassza Termékpálya Szövetség (2018.): *Szennyvíz – szennyvíziszap hasznosítás*
- [4] Barótfi I. (2022): *Energiagazdálkodás alapjai tantárgy, Hőenergia előállítása című Power Point Prezentáció*
- [5] Bognár F., Dalkó I., Karches T., Orgoványi P., Papp T., Török L., Vadkerti E. (2020): *Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények*, Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.
- [6] Debreceni Egyetem, Mezőgazdasági- Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar; Pannon Egyetem, Georgikon Kar (2009): *Agrár-környezetvédelmi Modul; Agrár-környezetvédelem, agrotechnológia Power Point Prezentáció*
- [7] Fuchsz M. (2016): Doktori (PhD) értekezés, Gödöllő
- [8] Juhász E. (2013): *Települési szennyvíziszapok kezelése*, KSZGYSZ
- [9] Kovács D. (2019): *A komposztálás folyamatának nyomonkövetése új vizsgálati módszer alkalmazásával*, Gödöllő
- [10] Metcalf and Eddy (2003): *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*
- [11] Simándi P. (2011): *Szennyvíztisztítási technológiák I.*, Szent István Egyetem
- [12] SZENNYVÍZISZAP KEZELÉSI ÉS HASZNOSÍTÁSI STRATÉGIA 2014-2023, Készítette az Országos Vízügyi Főigazgatóság megbízásából a „STRATÉGIA 2014” KONZORCIUM (2014)
- [13] Tomócsik A. (2021): *KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZISZAP KOMPOSZT MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE TARTAMKÍSÉRLETBEN*, Gödöllő
- [14] Tóth L. (2011): *Települési Energetika*, Szent István Egyetem
- [15] <https://www.fna.hu/vilagfigyelo/tulhasznalat>

- [16] <http://energiapedia.hu/energiahordozok>
- [17] <https://greendex.hu/fosszilis-energiahordozok/>
- [18] <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/energiapiaci-betekinto/fosszilis-energia>
- [19] http://kkft.bme.hu/attachments/article/33/1.Bevezet%C3%A9s,%20fosszilis%20energia%20hordoz%C3%B3k.pdf?fbclid=IwAR3J1wn0uh0niG1WAhWL7r_lcsKZQFGBvuxw8RCp02dTcdSZ_xbzIqR09RU
- [20] <https://ptm.hermuz.hu/fosszilis-energiahordozok-kontra-megujulo-energiaforrasok/>
- [21] <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/jel/jel309052.pdf>
- [22] https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/megujulo-energiaforrasok?fbclid=IwAR2I4J4ICVKM2xTJG1BX98fqcvrukVakG09cyQpgLQayds-a2g2Y_J9-Mu0
- [23] <https://www.eon.hu/hu/blog/napenergia/megujulo-energiaforrasok.html>
- [24] <https://muszaki.uni-mate.hu>
- [25] <https://www.eu-solar.hu/blog/napenergia-felhasznalasa/>
- [26] <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/2024/03/nagyon-jo-hirt-kozolt-az-energiaugyi-miniszterium>
- [27] https://www.energiaporta.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=78%3Achptecnologia&catid=30%3Akutatasfejlesztes&Itemid=200&lang=hu
- [28] <https://www.fcsm.hu/szolgáltatások/szennyvíztisztítás/észak-pesti-szennyvíztisztító-telep>

11. ÁBRAJEGYZÉK

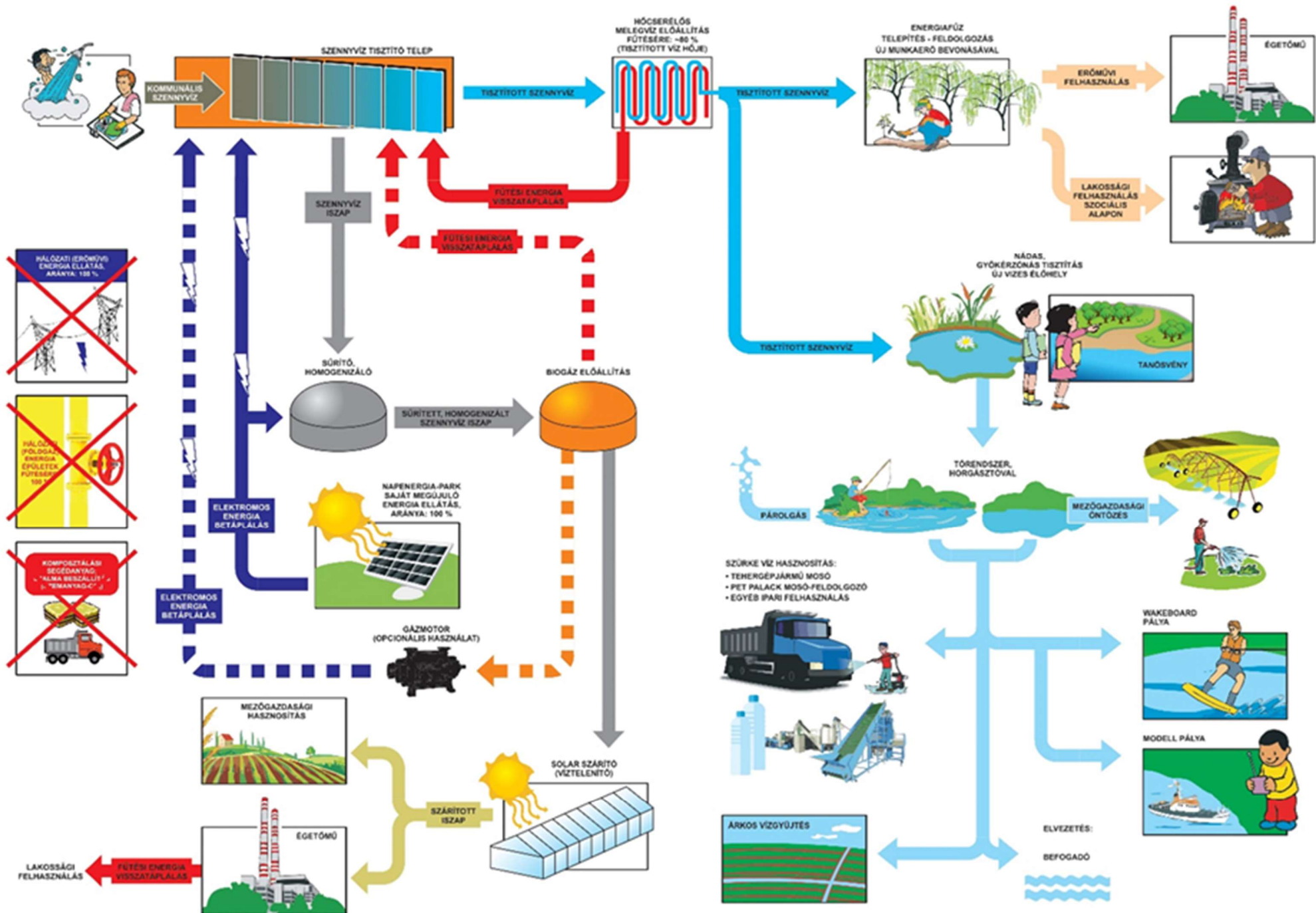
- | | |
|--|----|
| 1. ábra Légifelvétel – Bükkábrány (forrás: mert.mvm.hu) | 7 |
| 2. ábra Iszap keletkezés helye - települési szennyvíztisztítás | 18 |
| 3. ábra Szalagprés (forrás: hu.honglafiltpress.com)..... | 21 |
| 4. ábra ⁵ Dekanter centrifuga (forrás: alfalaval.hu)..... | 22 |

5. ábra Fővárosi Hulladékhasznosító Mű (forrás: fkf.hu)	26
6. ábra Biológiai ciklus (forrás: Dr. Tóth László)	28
7. ábra Biogáz előállítása szennyvíziszapból (forrás: Dr. Tóth László).....	34
8. ábra Reaktor kialakítása (forrás: Mecalf and Eddy).....	42
1.táblázat A biogáz képződés feltételei	31
2.táblázat CHP berendezések üzemelési adatai.....	36
3.áblázat Iszapadatok.....	40
4.táblázat Tervezési alapadatok.....	40
5.táblázat Hőátadási tényezők.....	40

12. MELLÉKLETEK

1. sz. melléklet: Szennyvíz hasznosításának lehetőségei (forrás: E.R.Ö.V. Víziközmű Zrt.)
2. sz. melléklet: Deutz Katalógus

1. számú melléklet Szennyvíz hasznosításának lehetőségei (forrás: E.R.Ö.V. Víziközmű Zrt.)



2. számú melléklet – Deutz katalógus

Technical data 50 Hz – Sewage, bio and landfill gas applications

$\text{NO}_x \leq 500 \text{ mg/m}_a^3$ ¹⁾

Sewage gas (65 % CH_4 / 35 % CO_2)

Biogas (60 % CH_4 / 32 % CO_2 , rest N_2).

Landfill gas (50 % CH_4 / 27 % CO_2 , rest N_2)

Lower heating value (LHV) = 5.0 kWh/m_a³
dry exhaust manifolds

Engine type		TCG 2016 B V12	TCG 2016 B V16
Engine power ²⁾	kW	555	740
Speed	min ⁻¹	1500	1500
Exhaust temperature	approx. °C	445	450
Exhaust mass flow wet	approx. kg/h	2967	3940
Combustion air mass flow ²⁾	approx. kg/h	2735	3634
Combustion air temperature minimum/design	°C	20/25	20/25
Water inlet temperature intercooler	°C	50	50
Ventilation air flow ³⁾	approx. kg/h	13986	19005
Engine parameters			
Bore/stroke	mm	132/160	132/160
Displacement	dm ³	26.3	35.0
Compression ratio		15.0 : 1	15.0 : 1
Mean piston speed	m/s	8.0	8.0
Lube oil content ⁴⁾	dm ³	100	135
Typical mean lube oil consumption ⁵⁾	g/kWh	0.2	0.2
Generator			
Efficiency ⁶⁾	%	96.7	96.8
Energy balance			
Electrical power ⁶⁾	kW	537	716
Jacket water heat	±8 % kW	203	270
Intercooler LT heat ⁷⁾	±8 % kW	100	128
Exhaust cooled to 150°C	±8 % kW	271	367
Engine radiation heat	kW	20	28
Generator radiation heat	kW	18	24
Fuel consumption ⁸⁾	+5 % kW	1297	1725
Electrical efficiency	%	41.4	41.5
Thermal efficiency (exhaust cooled to 150 °C)	%	36.5	36.9
Total efficiency	%	77.9	78.4

NYILATKOZAT

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

A hallgató neve: BALOGH ZSÓFIA
A Hallgató Neptun kódja: TK8WQW
A dolgozat címe: SZENNYVÍZISZAP, MINT ENERGIAFORRÁS
A megjelenés éve: 2024
A konzulens tanszék neve: ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS ENERGETIKAI TANSZÉK

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

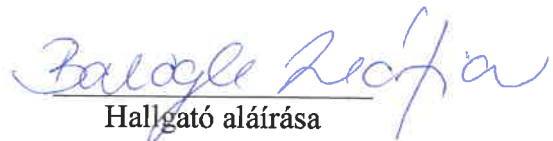
Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

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

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

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

Kelt: 2024 év április hó 20 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

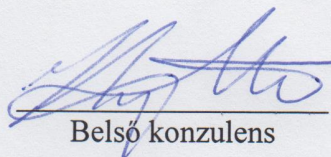
KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

BALOGH ZSÓFIA (név) (hallgató Neptun azonosítója: TK8WQW) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfólió¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

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

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*³

Kelt: 2024. év április hó 18. nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.