KOVÁCS CSONGOR
TDK DOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK

KOVÁCS CSONGOR

TDK DOLGOZAT

Depóniagáz-üzemű gázmotorok hulladékhő hasznosításának vizsgálata veszélyes iszapszerű hulladékok szárítására

Konzulens:
Szabó Zádor
Energetikai mérnök

Témavezető:
Szücs Botond
Doktorandusz

Budapest, 2021

Szerzői jog © Kovács Csongor, 2021.

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke vii
1. Bevezetés 1
2. Szakirodalmi áttekintés, Előzmények 2
2.1. Metán kibocsátás forrásai és hatása 2
2.2. Hulladékhierarchia (hulladékpiramis) 3
2.3. Depóniagáz kezelésének lehetőségei 4
2.4. Telephely bemutatása 5
2.4.1. A dépónigáz keletkezése, útja 5
2.4.2. Gázmotorok 7
2.4.3. Cívis 1 gázmotor hulladékhője 8
2.4.4. Cívis 2 gázmotor hulladékhője 9
2.5. Iszapszárítási technológiák 10
2.5.1. Iszapsűrítés 11
2.5.2. Kondicionálás 16
2.5.3. Víztelenítés 17
2.5.4. Szárítás 17
3. A feladat kibontása 21
3.1. A feladat leírása 21
3.2. Az iszap nedvességtartalmának meghatározása 22
3.3. A szárításhoz rendelkezésre álló hő 24
3.4. A szárításhoz szükséges hő 25
3.5. Lehetséges szárítási technológiák áttekintése 26
3.5.1. Szoláris iszapszárító 26
3.5.2. Dobszárító 27
3.5.3. Összefoglalás 27
3.6. Megtakarítás 28
4. Összefoglalás 29
5. Felhasznált források 30
6. Summary 32

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik tanácsaikkal, meglátásaikkal segítették e dolgozat létrejöttét. Elsősorban szeretnék köszönetet mondani külső konzulensemnek, Szabó Zádornak, hogy segítségével betekintést nyerhettem az erőművi üzemeltetés világába, és hogy lehetőséget kaptam jelen téma feldolgozására. Továbbá szeretném hálámat kifejezni témavezetőmnek, Szűcs Botondnak a több, mint féléven át ívelő folyamatos segítségnyújtásáért. Ezen személyek támogatása nélkül a dolgozatom nem jöhetett volna létre.

Szeretném továbbá megköszönni az ALTEO Energiaszolgáltató Nyrt. összes munkatársának, akik valamilyen formában hozzájárultak dolgozatom sikerességéhez.

Budapest, 2021. október 29.

Kovács Csongor

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
d	átmérő	m
g	gravitációs gyorsulás (9,81)	m/s^2
h	*entalpia*	*kJ/kg*
m	*tömeg*	*kg*
p	*nyomás*	*bar*
r	*sugár*	*m*
s	*fajlagos entrópia*	*J/(kg·K)*
S	*szárazanyag tartalom tömege az iszapban*	*kg*
v	*sebesség*	*m/s*
V	*iszap térfogata*	*m3*
w	*szögsebesség*	*1/s*
x	*iszap szárazanyag tartalma (koncentrációja)*	*kg/m3*

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
ρ	sűrűség	kg/m^3
μ	dinamikai viszkozitás	Pa·s

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
i	általános futóindex (egész szám)
nom	névleges (nominális) érték
opt	legkedvezőbb (optimális) érték
0	kezdeti érték (iszapkezelés előtt)
S	iszapszemcsére jellemző mennyiség
F	folyadékra jellemző mennyiség
’	telített folyadék állapot
’’	telített gőz állapot

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a biogáz és depóniagáz energiahordozót energiatermelés céljából hasznosító üzemeknél elterjedt probléma a telephelyen keletkező hő hasznosítása. Ennek oka elsősorban, hogy az említett üzemek jellemzően a lakosságtól távol kerülnek elhelyezésre, hogy a telephelyekkel járó erős szaghatás a lakosság számára ne okozzon kellemetlenséget. Így az ezen energiahordozókat hasznosító berendezések – a kapcsoltan hőt és villamos energiát előállító gázmotorok és gázturbinák – hulladékhője nem hasznosítható távfűtésre, vagy csak nagyon költségesen. Ezért a keletkezett hő hasznosítására a telephelyen vagy annak közvetlen közelében szükséges megoldást keresni. Amennyiben a telephelyen nincsen technológiai hőigény és a lakosságtól is távol helyezkedik el, akkor a megtermelt hő csak egy kis része hasznosítható használati melegvíz előállítására vagy az üzem fűtési hőigényeinek kiszolgálására, a maradék hő pedig hasznosítatlanul leadásra kerül a környezetnek.

Az általam vizsgált telephely a Debreceni Regionális Hulladéklerakó északi részén helyezkedik el. Területén két, depóniagázzal működő gázmotor helyezkedik el, egyenként 499 és 625 kW villamos teljesítménnyel. A motorok hőjét jelenleg az erőmű telephelye mellett megtalálható hulladékválogató épületben hasznosítják fűtési céllal, azonban ennek hőigénye igen csekély, így a motorokban keletkező hő túlnyomó része a környezetbe távozik.

A hulladéklerakó területére évi 6000 tonna iszapszerű veszélyes hulladékot is szállítanak, melynek deponálásáért a hulladéklerakó üzemeltetője lerakási díjat fizet, a lerakott mennyiség tömegével arányosan. A beérkező iszap nedvességtartalma igen magas, így amennyiben a gázmotorok hulladékhője az iszap szárítására fordítódna, jelentős mértékben csökkenthető lenne a veszélyes hulladék lerakási díja, illetve későbbiekben a megszárított iszap akár energetikai hasznosításra is alkalmassá tehető. A szárítás környezetvédelmi szempontból is előnyös, a depóniatestben képződő szennyező csurgalékvíz mennyisége csökkenne, valamint a redukált iszapmennyiség következtében a depóniatest telítődése késleltethető lenne.

Dolgozatomban a rendelkezésre álló hő és helyi adottságok figyelembevételével vizsgálom, hogy a telephelyen megtalálható motorok segítségével milyen szárítási technológia illesztése bizonyulna alkalmasnak mind technológiai, mind gazdasági szempontból a beszállított veszélyes hulladék szárítására.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS, ELŐZMÉNYEK

2.1. Metán kibocsátás forrásai és hatása

Az üvegházhatású gázok (ÜHG) közül az éghajlatváltozáshoz leginkább hozzájáruló gáz a szén-dioxid után a metán. Az üvegházhatású gázok a nap rövidhullámú sugárzását átengedik, nagy hullámhosszú sugárzását, viszont gyengítik. Jelenlegi hatásuk nagyjából 35 °C-kal emeli a Föld átlaghőmérsékletét. [1]

Minden üvegházhatású gáz esetében szmítható egy úgynevezett globális felmelegedési potenciállal (Global Warming Potential) vagy GWP értékkel. A GWP lehetővé teszi az üvegházhatású gázok összehasonlítását olyan módon, hogy egy tonna gáz mennyi energiát nyel el egy adott időintervallum alatt (jellemzően 20, 100, 500 év) egy tonna szén-dioxidhoz képest. Fontos megjegyezni, hogy például a metán esetében ez az érték a vizsgált időtartomány növelésével folyamatosan csökken, ennek oka, hogy a gázok tartózkodási ideje a légkörben eltérő. A szén-dioxid több ezer évig jelen lehet a légkörben, míg a metán tartózkodási ideje néhány évtized. [2]

Gáz elnevezése	Kémiai formula	GWP 100 éves időtartamra nézve
Szén-dioxid	CO_2	1
Metán	CH_4	28

1. táblázat: Szén-dioxid és metán GWP értéke 100 évre nézve [3]

Az 1. táblázat alapján látható, hogy a felmelegedés elleni küzdelemben nagyon nagy szerepet játszik az emberi tevékenység által légkörbe kieresztett metán mennyiségének csökkentése. Amennyiben lehetőség adódna az emberi metán kibocsátás 50%-os csökkentésére a következő 30 évben, akkor becslések szerint a Föld átlaghőmérséklete 0,18 °C-kal lenne csökkenthető 2050-re. [1]

Az Európai Unión belül az antropogén metán kibocsátás túlnyomó részéért három szektor felelős, 53%-a az emissziónak a mezőgazdaságból, 26%-a hulladéklerakásból és 19%-a az energiaiparból ered. A harmadik helyen álló energiaszektorban a metán felszabadulás elsősorban a fosszilis energiahordozók előállítása, valamint felhasználása során történik. Az EU klímát célzó terve szerint a legköltséghatékonyabb csökkentés, ebben a szektorban lehetne elérhető. A mezőgazdaság a második potenciális iparág, ahol az emisszió csökkentése lehetséges lenne, ahol elsősorban a metán kibocsátása a kérődző állatoktól ered, melyek a mezőgazdasági kibocsátás nagyjából 80%-áért felelősek. A hulladékszektorban a metán kibocsátásának elsőszámú okozója a hulladéklerakókban termelődő metántartalmú depóniagáz szabályozatlan emissziója, illetve a szennyvízkezelőkben és biogázüzemekben tervezési hibából vagy nem megfelelő karbantartásból adódó szivárgások. [1]

Az EU-s jogszabályok hatására a deponálásból adódó emisszió 1990 és 2017 között 47%-kal csökkent. Ezért elsősorban a biológiailag lebomló hulladékok jobb kezelése a felelős. A hulladékhierarchiában magasabban elhelyezkedő eljárás alkalmazása, mint a komposztálás, anaerob fermentáció, valamint a lebomló hulladék deponálás előtti stabilizálása, tette lehetővé az ekkora mértékű csökkenést. [1]

2.2. Hulladékhierarchia (hulladékpiramis)

A hulladékhierarchia legjobban egy ötlépcsős prioritási piramissal szemléltethető, melyben minden lépcső hulladékkezelési eljárásokat ábrázol, a hierarchia pedig aszerint van kialakítva, hogy mely eljárás, milyen hatással van a környezetre.

1. ábra: Hulladékhierarchia [16]

A hulladék piramis legfelső fokán a prevenció, megelőzés áll. Az Uniós keretirányelvek szerint minden tagállamnak intézkedéseket kell tennie a hulladéktermelés csökkentésének irányába. [1] [4]

A második fokon az újrahasznosításra való felkészülés áll, mely során azon újrahasznosítási folyamatok ellenőrzése, tisztítása, karbantartása megy végbe. [1] [4]

A fordított piramis harmadik szintjén az újrahasznosítás helyezkedik el. Az újrahasznosítás olyan folyamat, mely során hulladékok újra felhasználásra kerülnek valamilyen termékben vagy anyagban. Ennek előremozdítása érdekében születtek meg különböző Uniós szabályozások, melyek a hulladékok szétválasztásával kapcsolatosak. Például 2025-re minden tagállamtól elvárt, hogy legalább a papír, fém, műanyag és üveghulladék külön kerüljön gyűjtésre. Az Európai Unió irányelvei alapján 2020-szal kezdődően 5 évente folyamatosan emelni kell az újrahasznosításra kerülő hulladék részarányát. Az irányelvek szerint 2020-ra a hulladéktömeg 50%-ának, 2030-ra pedig a hulladékok 65%-ának kell újrahasznosítottá válnia. [1] [4]

A hulladék hierarchia negyedik fokán a hulladék hasznosítása áll, ez elsősorban az energetikai hasznosításban jelenik meg. Hulladék vagy hulladéklerakóban keletkező depóniagáz égetésével villamosenergiát, illetve hőt tudunk előállítani. A hulladékégetés esetében további előny, hogy csökken a hulladék mennyisége. [1] [4]

A hulladékhierarchia alapján a végső és legkevésbé környezetkímélő megoldás a hulladék lerakása, deponálása, mely jelentős környezetterheléssel bír. [1] [4]

A hulladékok kezelése itthon is égető probléma, 2016-os adatok szerint Magyarországon a hulladékok mindössze 35%-a került újrahasznosításra és 50%-uk hasznosítás nélkül került lerakásra hulladéklerakókban, mely nem felel meg az EU-s irányelvekben elvártaknak. [5]

2.3. Depóniagáz kezelésének lehetőségei

Láthattuk, hogy a metán emissziója a szén-dioxid mellett milyen mértékű hatással lehet az üvegházhatásra, ezért ennek csökkentése kulcsfontosságú az emberiség számára. Európában a metán kibocsátás 26%-áért a hulladéklerakók felelősek. Életciklus elemzések alapján ennek 70-80%-át a hulladéklerakóban végbemenő szerves anyagok anaerob bomlásának terméke, a depóniagáz teszi ki. [1]

A modern hulladéklerakó telephelyeken külön gázgyűjtő rendszerek vannak használatban a gáz begyűjtése érdekében. A keletkező depóniagázt elsősorban égetéssel szokták kezelni, a legelterjedtebb eljárások a fáklyázás vagy gázturbinában, gázmotorban történő hasznosítás. Így a keletkező depóniagáz elégetésével negatív üvegházhatású gáz kibocsátás érhető el, mivel a gáz elégetését követően a környezetbe elsősorban szén-dioxid kerül kibocsátásra, melynek GWP-je 28-ad része [3] a metánnak.

A legegyszerűbb a fáklyázás, mely során általában nyitott lángú megoldást alkalmaznak. A technológia egy csőből, melyen keresztül a közeg áramlik, illetve egy őrlángból áll, ami a közeg begyújtásáért felelős. Az égés során a gáz metántartalma elég, így ennek emissziója minimalizálásra kerül, viszont a levegőbe nagy mennyiségű szén-dioxid kerül egyrészt a gázból, melynek meghatározó hányada szén-dioxid, másrészt pedig a metán égése során keletkező szén-dioxid kibocsátásából. Nagy előnye az egyszerűsége, de sajnos ez számos hátránnyal is jár más technológiákhoz képest elsősorban a rossz hatásfokú égés és a magas szén-dioxid emisszió miatt. [6]

Amennyiben a keletkező gáz megfelelő metántartalommal, nagyobb mennyiségben fennáll, lehetőség adódik ennek energetikai hasznosítására is. Ekkor jellemzően külön kis fűtőértékű gázokra tervezett gázmotorral vagy ritkábban gázturbinával állítanak elő energiát. A folyamat során szintén megszűntetésre kerül a metán kibocsátása, illetve az energiatermelő egységből kiáramló füstgáz további tisztításra is kerül, így még jobban csökkenthető a depóniagáz környezetterhelése, miközben villamosenergiát, melyet a hálózatra kapcsolás után eladhatunk és hőt állítunk elő, mely felhasználható a telephelyen vagy akár beépíthető távhőrendszerbe is. [6]

2.4. Telephely bemutatása

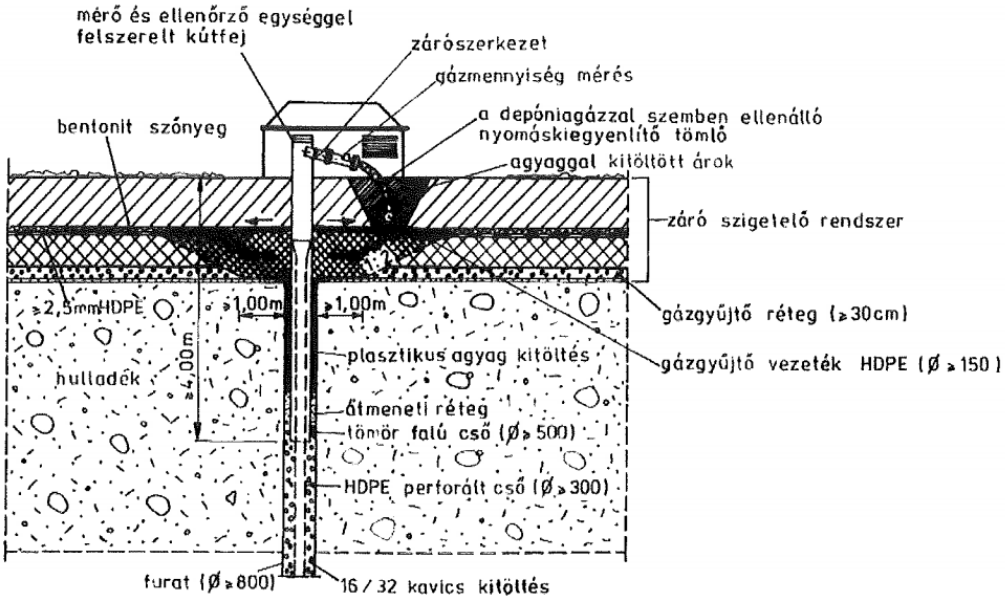
2.4.1. A DÉPÓNIGÁZ KELETKEZÉSE, ÚTJA

A kommunális hulladékban megtalálható szerves anyagok anaerob bomlása során keletkező gázt nevezzük depóniagáznak. Ezen gáz főbb összetevői a metán, szén-dioxid, nitrogén és kis mennyiségben megtalálható benne hidrogén, vízgőz, oxigén és egyéb nyomelemek (pl.: hidrogén-szulfid, ammónia) is. A komponensek közül az energetikai hasznosítás során a legértékesebb a metán, mivel ennek égetéséből felszabaduló hőenergiát alakítjuk át először mechanikai, majd villamos energiává, így ennek részaránya adja meg a depóniagáz fűtőértékét. A debreceni telephelyen kinyert depóniagáz összetétele a 2017. júliusi mérés alapján az 2. táblázatban figyelhető meg.

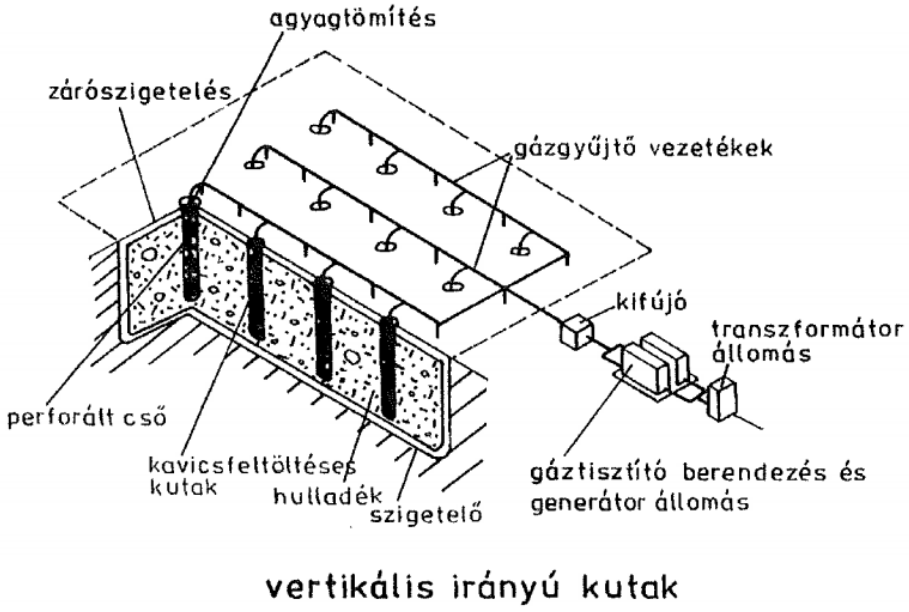
Komponens	**Összetétel, V/V%**		
	3. ütem	**4. ütem**	**5. ütem**
CO_2	34,30	34,37	31,67
C_2H_4	<0,093	<0,093	<0,093
C_2H_6	<0,065	<0,065	<0,065
H_2S	<0,107	<0,107	<0,107
H_2	<3,975	<3,975	<3,975
O_2	0,53	2,19	2,09
N_2	2,99	6,77	7,23
CH_4	55,38	47,59	50,67
CO	<0,092	<0,092	<0,092

2. táblázat: A depóniagázból vett minta összetétele (2017.07.) [7]

A depóniában keletkező gáz kitermelésére úgynevezett gázkivételi kutakat alkalmaznak. A kemény polietilén (innentől: KPE) kúttest 10-12 méter mélységbe kerül lefúrásra, melynek felső vége a talajszint felé kerül kivezetésre. Annak érdekében, hogy a gázba a környezeti levegő betörése megakadályozásra vagy mérséklésre kerüljön, a kúttest felső részét úgynevezett zárószigetelő réteg veszi körbe több rétegű kialakítással. A kutak egyesével szabályozhatóak, valamint el vannak látva gáz összetétel mérésére alkalmas csonkkal is, a gázból vett mintái is itt kerültek begyűjtésre. Mindegyik kút KPE csővezetékkel csatlakozik a szintén KPE anyagú vízszintes gerincvezetékhez. A csővezeték hálózat több pontján kondenzvíz (csurgalékvíz) gyűjtő tartályok kerültek elhelyezésre, melyekből kézi átemelő szivattyúval távolítható el a keletkezett kondenzátum, ami később semlegesítésre kerül. A kutakból kinyert gáz az alapvezetéken keresztül kerül elszállításra az erőmű telephelyéig, ahol nyomásfokozás és tisztítás után a gázmotorban elégetésre kerül hő- és villamosenergia termelés céljából. [8]



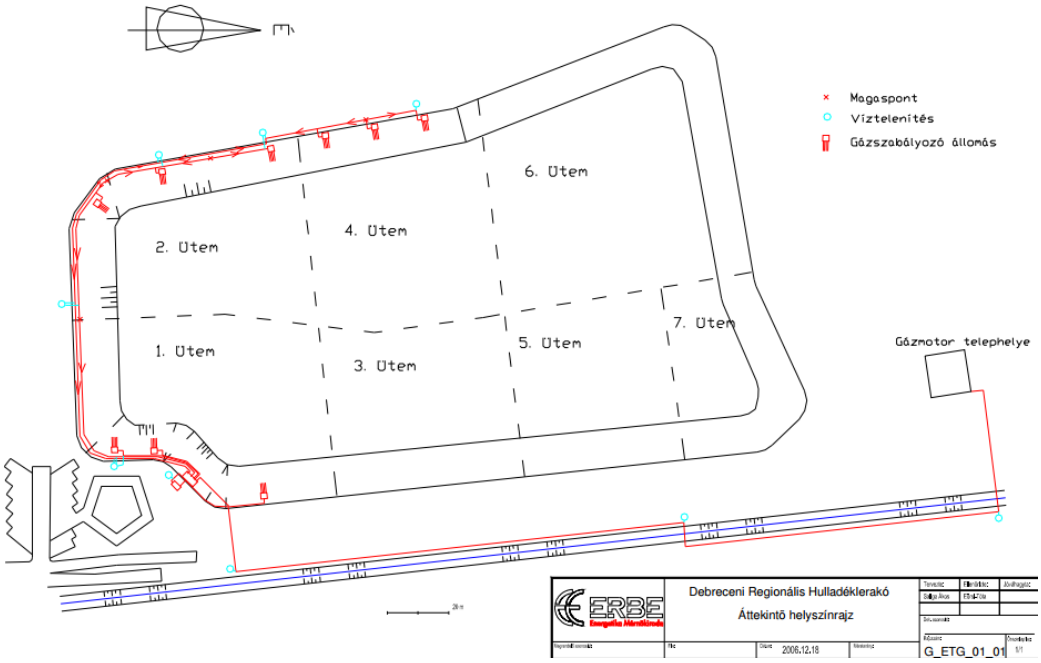
2. ábra: Gázkivételi kutak általános kialakítása [8]



3. ábra: Vertikális irányú kutak kialakítása [8]

2.4.2. GÁZMOTOROK

Az általunk vizsgált telephely a Debreceni Regionális Hulladéklerakó telephelyének északi részén helyezkedik el.



4. ábra: A Debreceni Regionális Hulladéklerakó áttekintő helyszínrajza (2006.12.18) [9]

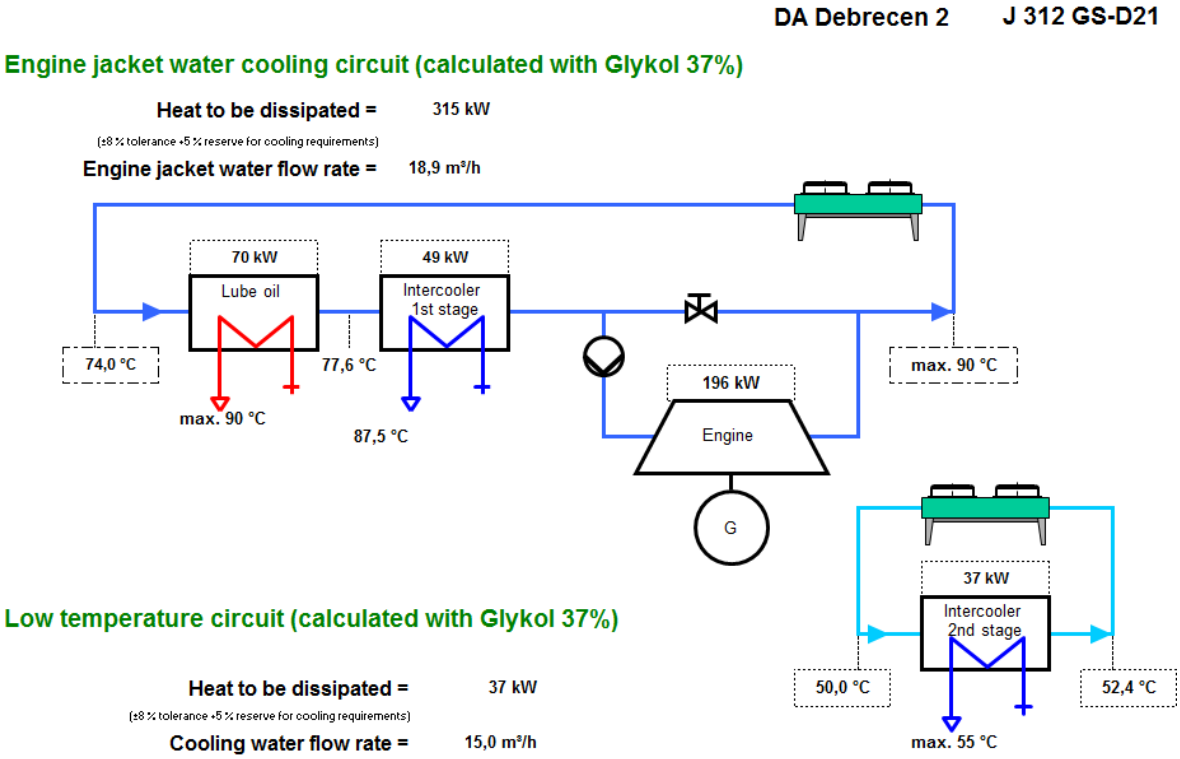
A telephelyen jelenleg két depóniagáz energiahordozót hasznosító gázmotoros kiserőmű üzemel. Mind a két gázmotort alacsony fűtőértékű gázok hasznosítására tervezték, így megfelelőek depóniagáz hasznosítására. A motorokhoz kettős gázszerelvény épült ki, így amennyiben a depóniagáz metántartalma túl alacsony értékre csökkenne, lehetőség van földgáz hozzákeverésnek is, azonban ennek a funkciónak a használatára eddig nem került sor. A gázt a motorba juttatás előtt megfelelő nyomásra (170-180 mbar) hozzák gázfúvók segítségével, majd ezután kerül a motorban elégetésre. Először a GE Jenbacher gyártmányú JGS 312 GS-L.L 625 kW névleges villamos teljesítményű, négyütemű gázmotor került telepítésre (továbbiakban: Cívis 1 gázmotor), ezt egy épületen belül helyezték el. Majd évekkel később, 2017-ben került megépítésre, mintegy 300 millió forintból a telephelyen működő második motor, amely szintén GE Jenbacher gyártmányú, azonban eltérő, JGS 312 L.L.C típusú, kisebb, 499 kW névleges villamos teljesítményű négyütemű gázmotor (továbbiakban Cívis 2 gázmotor), mely a telephelyen egy konténerbe került telepítésre.

2.4.3. CÍVIS 1 GÁZMOTOR HULLADÉKHŐJE

A telephelyen elsőként megépülő 625 kW villamos teljesítményű gázmotor a telephely délkeleti részén került elhelyezésre egy a motor segédberendezéseit és kezelő állomásának is helyül szolgáló épületbe. A gázmotor hűtése két hűtőkör segítségével üzemel, egy alacsonyabb és egy magasabb hőmérsékletűvel, mindkét esetben a hűtőközeg etilén-glikolos víz. A magasabb hőmérsékletű hűtőkör végzi a kenőolaj, a turbófeltöltő utáni gáz-levegő keverék és a motorköpeny hűtését. A hűtővíz motorköpeny utáni hőmérséklete 90 °C körüli értékre emelkedik. A felmelegedett vizet léghűtéssel hűtik le 70 °C alá, a hűtéshez szükséges teljesítmény körülbelül 340 kW. Az alacsonyabb hőmérsékletű hűtőkör a magasabb hőmérsékletű hűtőkör által lehűtött gáz-levegő keveréket hűti tovább a gázmotor előtt. Az itt áramló hűtőközeg térfogatárama nagyjából 15 m^3/h, a hőcserélőben a víz hőmérséklete nagyjából 50 °C alatti hőmérsékletről melegszik néhány fokot, majd visszahűl 50 °C környékére a keverékhűtőben, mely folyamat során 34 kW hűtési teljesítményre van szükség. A magasabb hőmérsékletű hűtőkör hőjének kis része hasznosításra kerül a telephely mellett található hulladékválogató üzemben, azonban minden maradék hő felhasználás nélkül a környezetbe kerül. A gázmotor füstgázában rejlő hő is hasznosítatlanul kerül a környezetbe, mert az erőmű építésekor nem került füstgáz hőcserélő kiépítésre. A füstgáz nagyjából 3345 kg/h tömegárammal 550 °C-on lép ki a gázmotor kéményén. [10]

2.4.4. CÍVIS 2 GÁZMOTOR HULLADÉKHŐJE

A második gázmotor kisebb, 499 kW villamos teljesítményű egység. Hőkiadása a Cívis 1-gyével gyakorlatilag azonos. Ugyanúgy megtalálható a két vizes hűtőköre, a magasabb hőmérsékletű körben a víz nagyjából 70 °C-ról 90 °C-ra emelkedik, ami hozzávetőlegesen 315 kW körüli hőteljesítménynek felel meg. Alacsonyabb hőmérsékletű hűtőrkörében a víz hőmérséklete szintén kb. 50 °C-ról emelkedik néhány fokot, mely nagyjából 35-40 kW hőteljesítménynek felel meg. A gázmotorból távozó 2705 kg/h tömegáramú füstgáz hőmérséklete ennél a motornál is nagyjából 550 °C. A Cívis 1-hez hasonlóan ennél a motornál sem építettek be külön hőcserélőt a füstgáz hőjének hasznosítása érdekében, így a füstgáz hője itt sem hasznosul. [11]



5. ábra: Cívis 2 hűtésének egyszerűsített ábrája [11]

2.5. *Iszapszárítási technológiák*

Az iszapok kezelésének számos módja ismert és alkalmazott világ szerte, így a megfelelő berendezés vagy berendezések kiválasztása nem teljesen egyértelmű folyamat. Amennyiben célunk a legalkalmasabb iszapkezelési technológiai kiválasztása, három fő kérdésre kell választ adnunk: Milyen komponensek vannak jelen a vizsgált iszapban? Hol szeretnénk elhelyezni az iszapot? Mire kívánjuk felhasználni az iszapot? Ezen kérdésekre megválaszolása esetén megállapítható a szükséges kezelés mélysége, bonyolultsága.

Az iszapban tárolt víznek vagy iszapvíznek három különböző fajtáját szokás megkülönböztetni, ezek a pórusvíz (nagyjából az iszapvíz 70%-a), a kapillárisokban kötött víz (nagyjából 22%-a), valamint a sejtekben kötött víz (nagyjából 8%-a). A különböző fajták eltávolítására, eltérő módszerek alkalmasak, melyek általában egymás után kerülnek alkalmazásra. Az iszapvíz fajtáinak és eltávolítási módszereinek összefoglalása a 3. táblázatban látható. [12] [13]

Iszapvíz fajtája	**Víz eltávolítási módszere**
Pórusvíz	Iszapsűrítés
Kapillárisokban kötött víz	Először: Kondicionálás, stabilizálás Utána: Víztelenítés
Sejtekben kötött víz	Szárítás

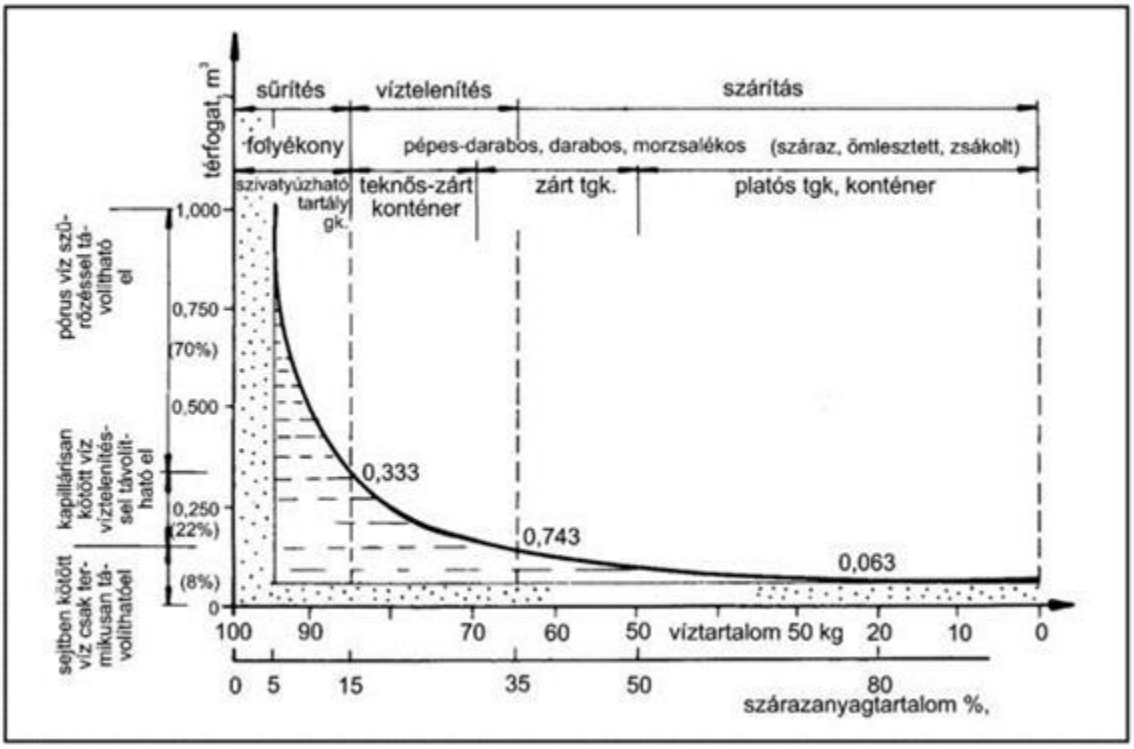
3. táblázat: Iszapvíz fajtái és eltávolítási módszerei [13]

Az iszapkezelés folyamata során az iszap térfogata a szárazanyag tartalmának növekedése függvényében hiperbolikusan csökken (3). [13]

szárazanyag tartalom tömege: $$m = V \cdot x \quad (1)$$

$$m = V_0 \cdot x_0 \quad (2)$$

így az iszap térfogata: $$V = V_0 \cdot x_0 \cdot \frac{1}{x} \quad (3)$$



6. ábra: 5%-os szárazanyag tartalmú iszap térfogatának változása és víztelenítései lehetőségei [13]

2.5.1. ISZAPSŰRÍTÉS

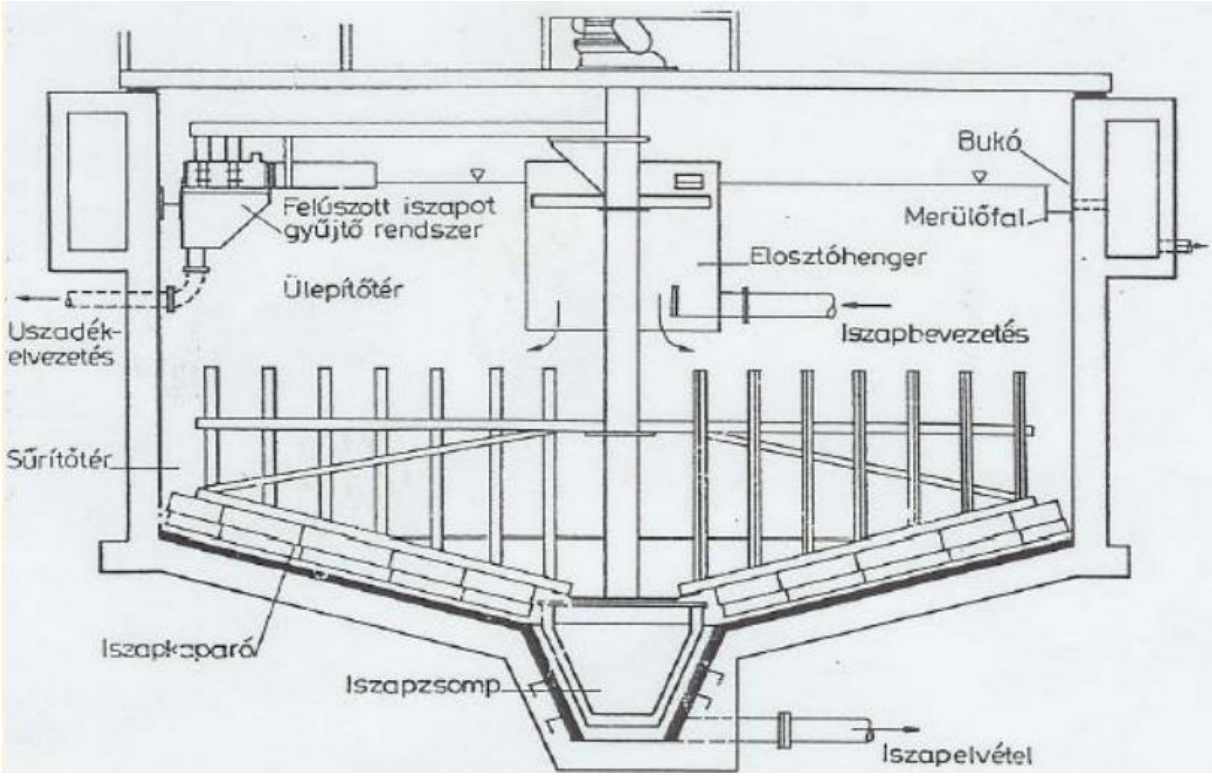
Az iszapkezelés első eleme az iszapsűrítő, melynek célja, hogy a rendelkezésre álló iszap mennyiségét csökkentse. A különböző iszapok sűrítésére több technológia is alkalmazható, ezek csoportosítva láthatók a 4. táblázatban. Korábban a gravitációs és flotációs technológiák voltak elterjedtek, de az utóbbi időben a dinamikus és szűrőket alkalmazó eljárások egyre nagyobb teret nyertek. [12][13]

Sűrítési technológiák	**Módszerek**
Gravitációs sűrítés	Természetes úton (tölcséres sűrítők) Mesterséges keverő berendezéssel
Flotációs sűrítés	Levegő befúvással Vegyszerrel
Dinamikus sűrítés	Vibrációs hatással Centrifugálással
Szűréssel történő sűrítés	Membrán szűréssel

4. táblázat: Sűrítési technológiák csoportosítása [13]

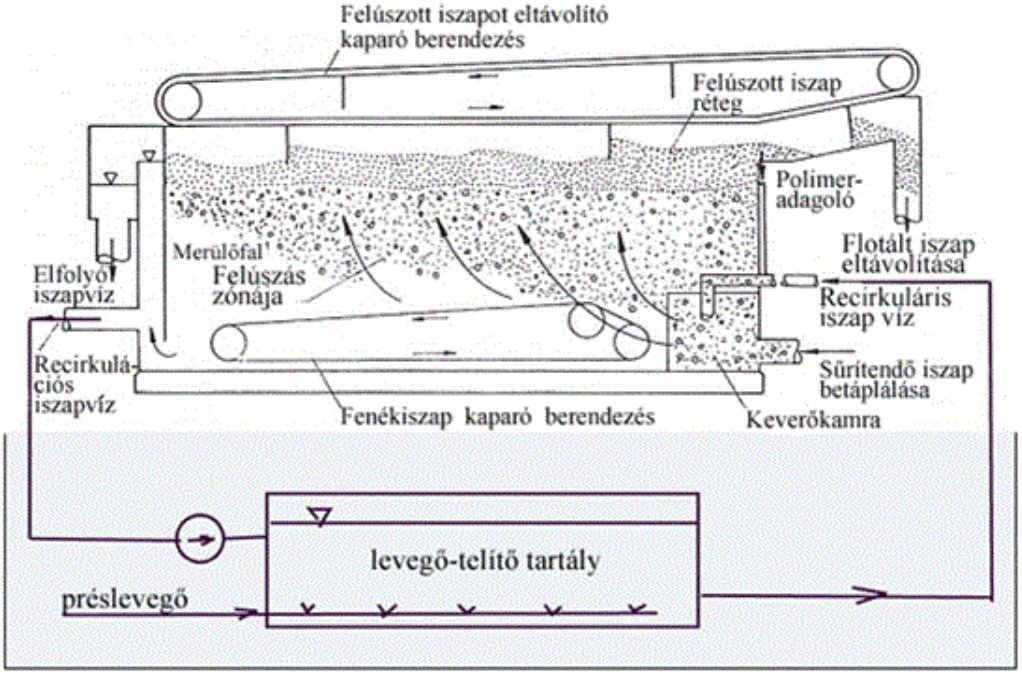
A gravitációs sűrítők közül a legegyszerűbb kialakítással a tölcséres sűrítők működnek. Ezek jellemzően kisebb vagy közepes méretű telepeken kerülnek alkalmazásra, általában ikerelrendezésben üzemeltetési szempontok miatt. A velük elérhető szárazanyag-tartalom 2,5-4% között várható. [12]

A mesterséges keverő berendezéssel működő sűrítők radiális átfolyású berendezések. Az iszap az elosztóhengerbe kerül bevezetésre, ahonnan sugárirányba távozik, a sűrítő széléhez közeledve a nagyobb sűrűségű részecskék leülepednek a sűrítő lejtős fenekére. A leülepedett részecskék egy része a zsompban gyűlik össze, a maradékot pedig kaparó elemekkel juttatják a zsompba, ahonnan az iszap elvezetésre kerül. A folyadék pedig az ülepítőtér tetején a bukóéleken keresztül távozik. Ezzel a technológiával elérhető szárazanyag-tartalom 3-6% között mozog. [12][13]



7. ábra: Keverőberendezéses iszapsűrítő [14]

Egy másik lehetőség a flotációs iszapsűrítés, mely során valamilyen megoldással gázbuborékokat hozunk létre, amik felfelé mozgásukkal magukkal ragadják az iszapszemcséket. Általában túlnyomásos kezelést alkalmaznak, mely során az iszapot egy tartályban nyomás alá helyezik és levegőt vagy valamilyen egyéb gázt kevernek hozzá. Ezt követően az úgynevezett lefölöző medencében lassan légköri nyomásra engedik a keveréket, mely során a bekevert levegő vagy gáz finom szemcsékben kiválik és elindul felfelé. [12][13]

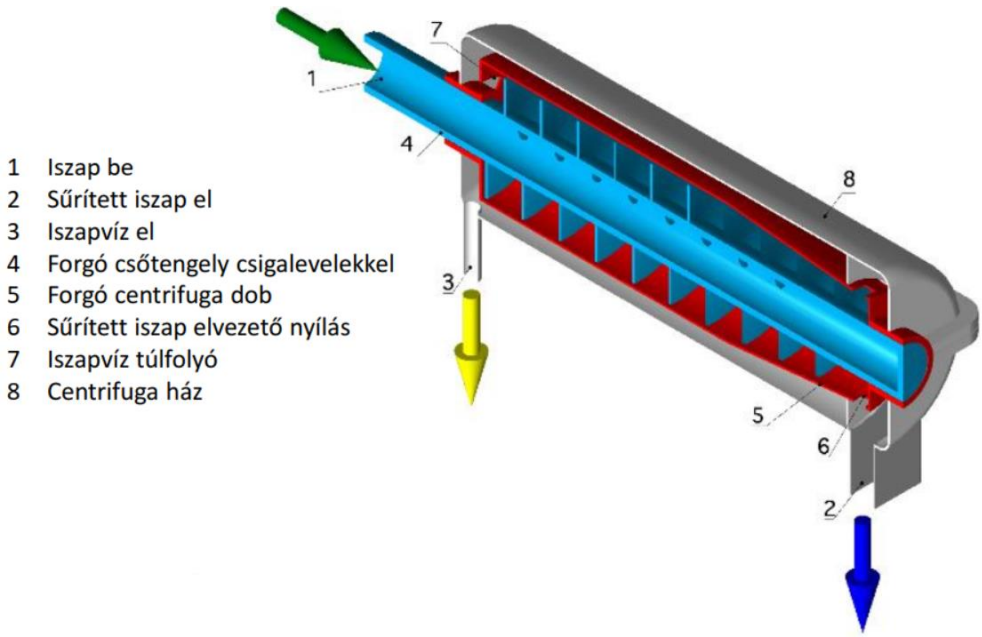


8. ábra: Túlnyomásos flotációs iszapsűrítő vázlata [14]

A dinamikus sűrítési módszerek közül a legelterjedtebb a centrifugális ülepítés. Centrifugális ülepítés során meghatározható a centrifugális ülepedési sebesség (4), ami megadja, hogy másodpercenként hány métert mozdulnak el az iszapszemcsék a centrifuga dob sugarának irányába. Amennyiben a gravitáció hatását elhanyagoljuk, a következőképpen határozható meg: [13]

$$v_{\ddot{u}c} = \frac{d_S^2 \cdot (\rho_S - \rho_F) \cdot r \cdot w^2}{18 \cdot \mu_F} \tag{4}$$

A legelterjedt centrifugális ülepítéssel működő berendezés a dekanter centrifuga, mellyel nagyjából 8-12%-os szárazanyag-tartalmú sűrített iszap képezhető. Ezen berendezések folyamatos üzemre vannak tervezve, szakaszos üzem esetén, az indítások és leállások során létrejövő magasabb igénybevételek miatt gyakoribb karbantartásra szorul. Nagy előnyük, hogy helyigényük és az iszap tartózkodási ideje a gravitációs sűrítésre alkalmas berendezések töredéke. Kialakítását tekintve, axiális irányban lép be az iszap a berendezésbe egy csőtengelyen keresztül, amin perforációk találhatók, ezeken keresztül jut az iszap a centrifuga dobba, ahol a forgómozgás hatására dob falára ülepedik a sűrített iszap. A sűrített iszap eltávolítására a csőtengelyre rögzített csiga szolgál. [12][13]

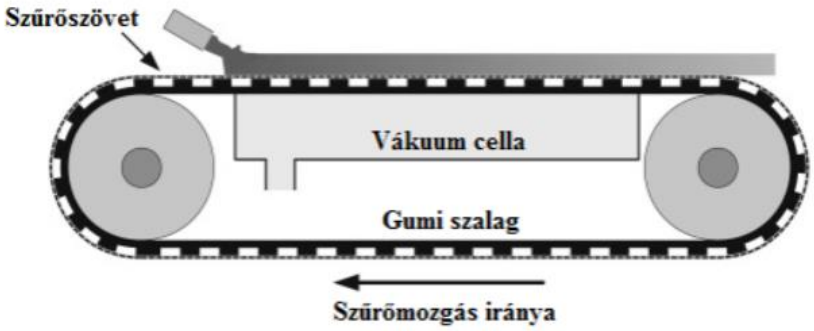


9. ábra: Dekanter centrifuga működése [13]

Az iszap sűrítésére szintén gyakran alkalmazott módszer a szűrés. Sűrítés során első sorban felületi szűrést alkalmaznak szűrőprések vagy szalagszűrők alkalmazásával. A keretes szűrőprés nagy előnye egyszerű kialakítása és kis helyigénye, azonban működése során a szűrőket tisztítani, cserélni kell, ami nem tesz lehetővé folyamatos működést, illetve a sűrített iszap eltávolítása is nehézkes. [12][13]

10. ábra: Keretes szűrőprés [15]

A szűrőpréssel ellentétben a szalagszűrők folyamatos működésre képesek. Több fajta szalagszűrős kialakítás is létezik, ezek közül elterjedt megoldás a vákuum szalagszűrő. A vákuum szalagszűrő működését tekintve, két görgőre erősített szalagból áll, mely a görgők forgatásának hatására folyamatosan mozog. A besűrítendő iszapot a szalagra adagolják, a szalag egy gumiszalagból és felette elhelyezett szűrőszövetből épül fel. A szalag alatt vákuum kamrát hoznak létre egy vákuumszivattyúval, az így kialakuló szívó hatást alkalmazva kerül felesleges víz eltávolításra. Másik elterjedt megoldás a kétszalagos szűrő vagy más néven szalagszűrő prés használata. [12][13]



11. ábra: Egyszalagos vákuum szalagszűrő egyszerűsített ábrája [13]

2.5.2. KONDICIONÁLÁS

Az iszap víztelenítésének előkészítése érdekében szükséges az iszapot kondicionálni. A kondicionálás lényege, hogy a kapillárisokban tárolt víz is elpárologtatható legyen, ennek érdekében energiát kell bevinni az iszapba. Az energiabevitel típusától függően megkülönböztetünk fizikai, kémiai és biokémiai kondicionálást. [13]

A fizikai kondicionáló eljárások közül a legelterjedtebbek a pasztőrözés és a termikus kondicionálás, ezen kívül még bizonyos esetekben alkalmazzák a fagyasztásos kondicionálást és az iszapmosást is. Pasztőrözés során az iszapot nagyjából 60-80°C-ra melegítik fel és ezen a hőmérsékleten tartják nagyjából 15-30 percen keresztül. Ennek során az iszap szerkezete megváltozik, a pórusokban tárolt víz kiengedésre kerül. Másik elterjedt eljárás a termikus kondicionálás, melyre akkor van szükség, ha az iszapban olyan veszélyes anyag található mely hőbontást igényel. Ezért ebben az esetben jóval magasabb hőmérsékletre, 180-220°C-ra hevítik az iszapot és nagyjából 30 percen keresztül hőntartják, ezzel teljes sejtpusztulást eredményezve. [12][13]

Kémiai kondicionálás során valamilyen szerves (pl. polielektrolitek) vagy szervetlen koagulánsokat (pl. $FeCl_3$, $FeSO_4$, CaO) viszünk az anyagba. A létrejövő kémiai reakció hatására a vízteleníthetéség javul, illetve csökken a patogének mennyisége is. A vegyszeres kezelés hatására legtöbb esetben az iszapot, a kondicionálást követően nem lehet mezőgazdasági célokra felhasználni. A biokémiai kondicionálás történhet levegő alkalmazásával, ezt nevezzük aerob kondicionálásnak vagy levegőtől elzárva, ezt pedig anaerob kondicionálásnak nevezzük. Az aerob kondicionálás során jellemzően a már sűrített iszapot egy medencébe vezetjük, melynek fenekén levegőbevezetés található, ennek segítségével az iszapot intenzív levegőztetésnek teszik ki. A levegőztetés során az iszapban található szennyező alkotók oxidálásra kerülnek. Ennek működtetése igen egyszerű, valamint beruházási költsége viszonylag alacsony, azonban az üzemeltetési költsége kifejezetten magas a levegőztető rendszer miatt. [12][13]

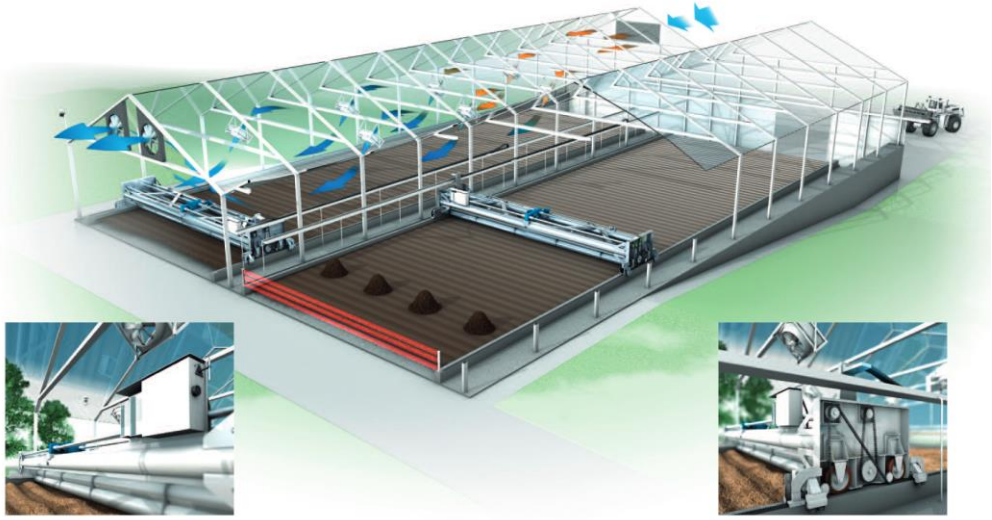
Az anaerob kondicionálás vagy másnéven rothasztás nagy előnye, hogy a folyamat során különböző gázok mellett metán szabadul fel, ami energetikailag hasznosítható. A biogáz mellett a fermentáció végén maradó iszap is hasznosítható a mezőgazdaságban trágyázásra. [12][13]

2.5.3. VÍZTELENÍTÉS

A kondicionálást követően az iszap víztelenítése történhet gépi vagy természetes úton. Gépi víztelenítésre általában a korábban már bemutatott dekanter centrifugát vagy szalagszűrőt, szűrőprést alkalmaznak. Természetes víztelenítés esetén a kondicionált iszap medencékben, iszapágyakban kerül elhelyezésre, ahol a nap sugárzásának hatására folyamatosan csökken nedvességtartalma, azonban ez a folyamat nagyon lassú és csak időszakosan, a nyári időszakban alkalmazható megfelelően. [13]

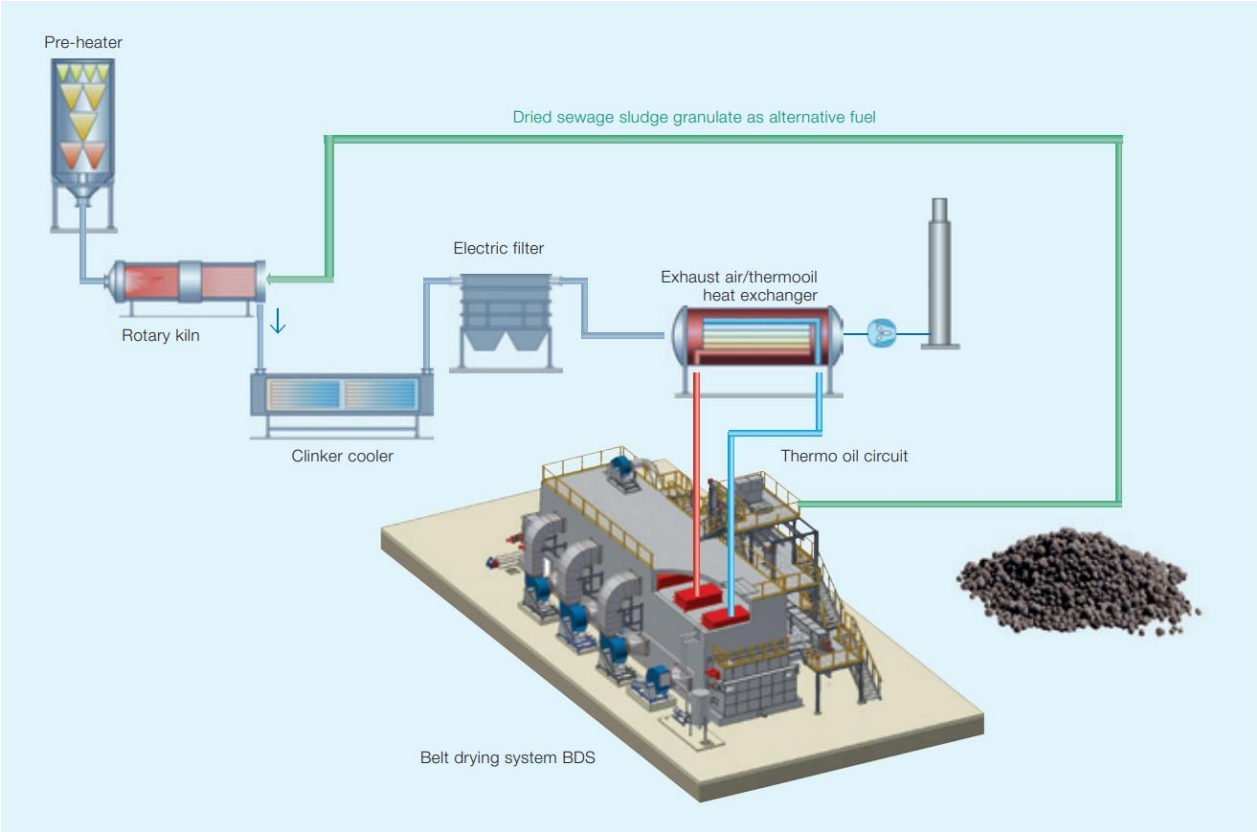
2.5.4. SZÁRÍTÁS

A víztelenítést követően nyílik lehetőség az iszap szárítására. A szárítás végezhető gépi vagy akár természetes úton is. A gépi szárítás a sűrítéshez vagy a víztelenítéshez képest jóval nagyobb energiafelhasználást igényel. A szárítást követően az iszap víztartalma nagyjából 35%-ra csökkenthető, míg a sűrítést és víztelenítést követően az eredeti nedvességtartalom mindösszse 15%-a kerül eltávolításra [12]. A gépi szárítás során az iszappal hőt közlünk és annak érdekében, hogy ne csak a felső rétegek száradjanak, valamilyen módon mozgatnunk, kevernünk kell az iszapot. Az esetekben többségében szárításra használt technológiák a szalagszárítók, a fluidszárítók és a dobszárítók. Ezek mellett néhány telephelyen megtalálható a természetes úton történő szárítás, mely során a nap energiáját felhasználva szárítják jellemzően egy fedett térben a víztelenített iszapot. Annak érdekében, hogy az iszapnak ne csak a felső rétege érje el a kellő szárazságot az iszapágy fölé egy tolókeverőt helyeznek el, ami folyamatosan forgatja a száradó iszapot. Ez a megoldás a nyári időszakban többnyire jól működik, azonban az ezt követő hűvösebb időszakban nem alkalmas a berendezés szárításra. [13] Magyarországon például a Veszprémi szennyvíztisztítóban találhatóak ilyen, szoláris iszapszárítók [16].



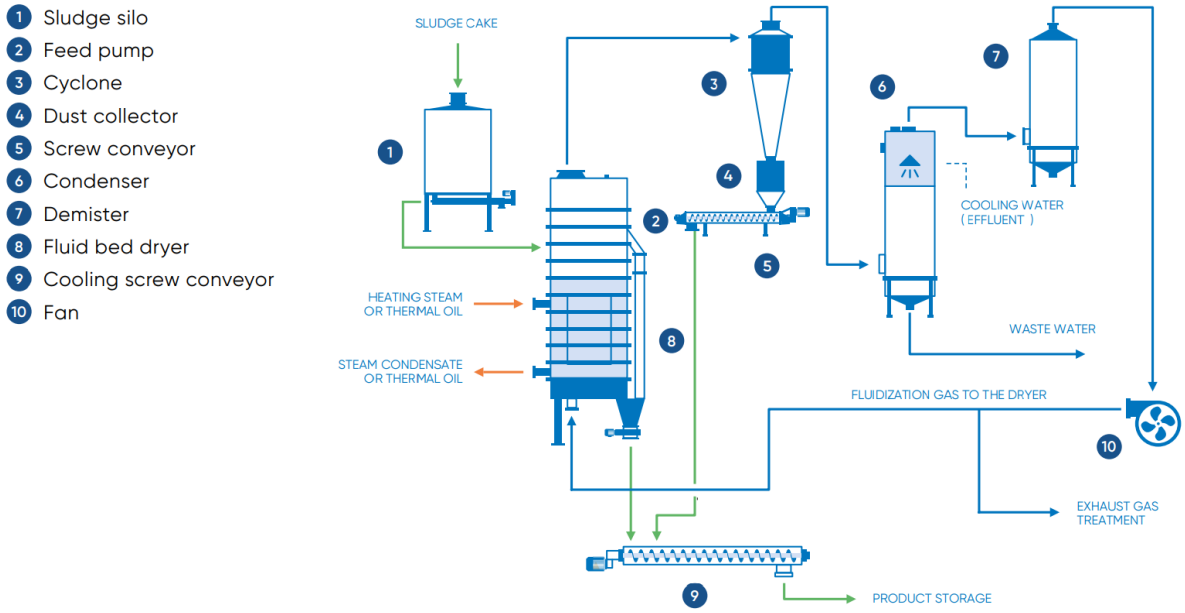
12. ábra: Huber szoláris iszapszárító [17]

A szalagszárítás esetén általában alacsonyabb, 130 °C-os hőmérséklet alatti levegőt alkalmaznak szárításra. A víztelenített iszap a szalagra kerülés előtt egy keverőbe adagolóba kerül, ahonnan egyenletesen kerül elosztásra a szalagon. A szalagon lévő iszapréteg vastagsága általában állítható az adagoló beállításainak változtatásával. A meleg levegő előállhat egy égő segítségével vagy valamilyen hulladékhő hasznosításával hőcserélőn keresztül is. A keletkező meleg közeget ventilátorok segítségével áramlik végig a szárító zónán az iszapot szárítva, majd a levegő egy része recirkulációra kerül. [18][19]



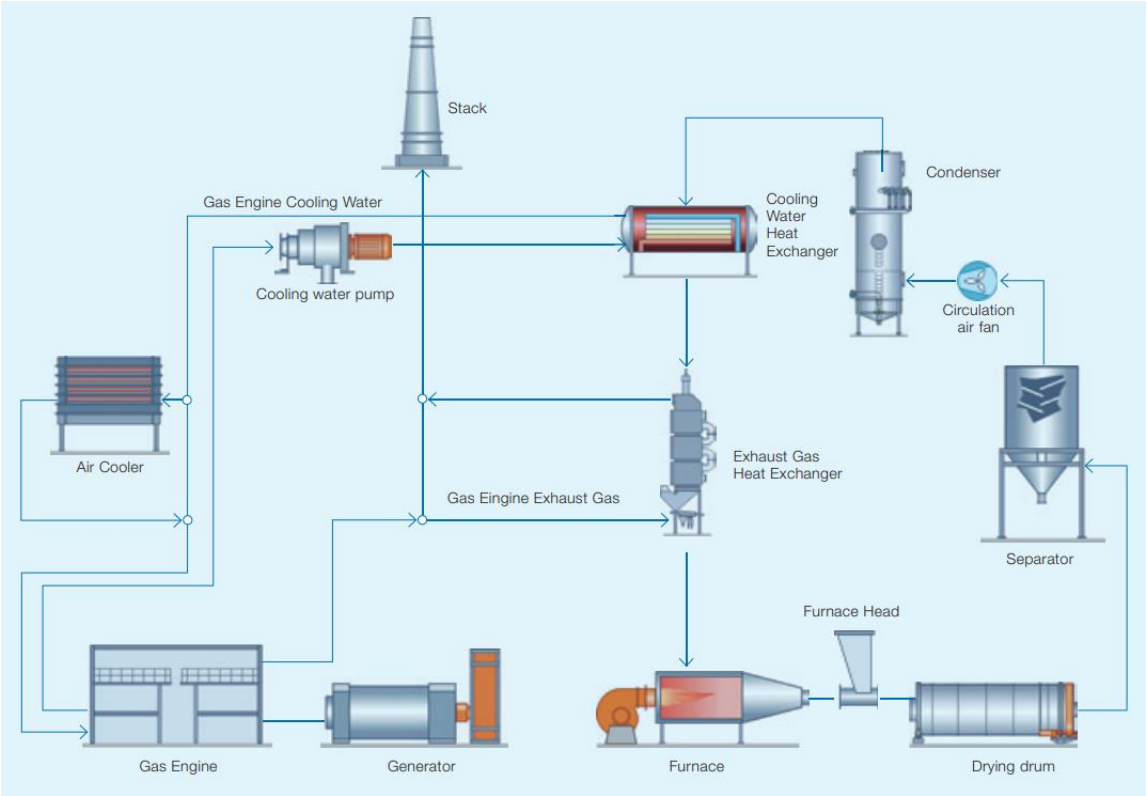
13. ábra: Andritz szalagszárító egyszerűsített rajza [18]

A fluidizációs szárító a szalagszárítónál magasabb, jellemzően 150-180 °C feletti közeggel történik a szárítás. Valamilyen hulladékhőt, például gázmotor hőjét használva egy hőcserélőn keresztül gőz vagy termoolaj kerül melegítésre, melyet bevezetnek a fluidszárítóba, ahol hőcserélőkön keresztül átadja a hőjét a fluidágynak és az iszapnak. A szárító berendezésben szemcsés fluidágy van elhelyezve, mely a meleg közeg bevezetése után lebegésbe jön. A lebegő fluidágyba felülről kerül bevezetésre az iszap, melyet apró darabokra vágnak egy speciális berendezéssel a szárítón belül, az így kialakuló granulátumszerű iszap pedig összekeveredik a lebegő fluidággyal és így szárad meg. Ezzel a technológiával akár 90% feletti szárazanyag tartalom is elérhető az iszapban. A létrejövő közel teljesen pormentes iszapgranulátum pedig szállítható, tárolható vagy akár energiatermelés céljából égethető is. [18][20]



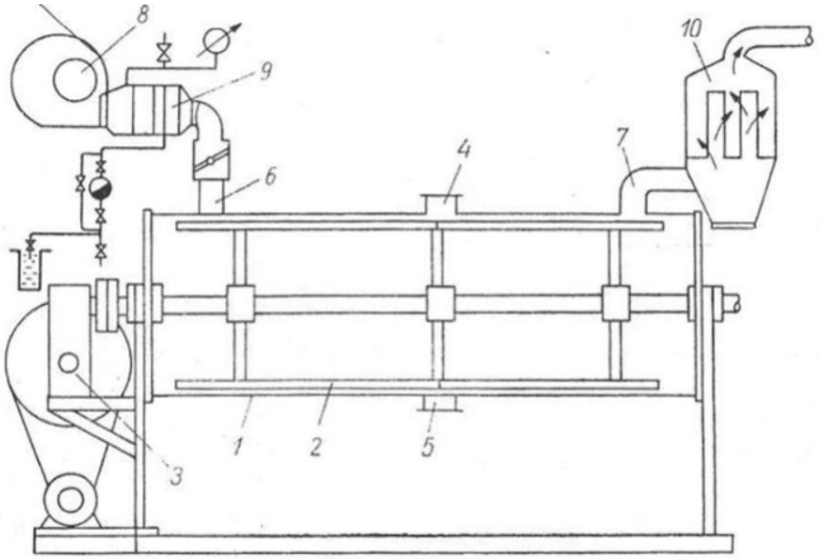
14. ábra: Andritz fluidszárító vázlata [14]

A legmagasabb hőmérsékleten működő szárító berendezés a dobszárító. Akár égés során keletkező 500-600 °C-os füstgázok segítségével is végezhető a szárítás közvetlenül. A dobszárítóba vezetés előtt a korábban víztelenített iszapot sok esetben előkészítik, darabolják, granulálják, majd ezt követően vezetik a dobszárítóba, így a bevezetett forró közeg tudja a granulátumot szállítani a dobban, mely forgó mozgást végez. A folyamat végén keletkező anyag szárazanyagtartalma 90-95%, ami könnyedén szállítható, tárolható vagy égethető. [18]



15. ábra: Andritz dobszárító vázlata [18]

Léteznek olyan dobszárítók is melyek esetében a dob nem forog, hanem egy benne elhelyezett keverőelem végzi az iszap folyamatos átforgatását. Ebben az esetben az iszap nem a dob végén, hanem a dob alján kerül kivezetésre. [13]



1 dob; *2* keverőszerkezet; *3* hajtómű; *4* anyagbeadagolás; *5* ürítőnyílás; *6* levegőbevezetés; *7* levegőelvezetés; *8* ventilátor; *9* kalorifer; *10* zsákos porleválasztó

16. ábra: Keverős dobszárító egyszerűsített rajza

3. A FELADAT KIBONTÁSA

3.1. A feladat leírása

A hulladéklerakóba évi nagyjából 6000 tonna veszélyes hulladékként minősített, gyógyszergyári eredetű iszap érkezik be végleges lerakásra. Az iszapszerű hulladék azonosító kódja 070511*, mely kategóriába a szerves kémiai folyamatból származó a folyékony hulladéknak a képződése helyén történő kezeléséből származó, veszélyes anyagokat tartalmazó iszapok kerülnek besorolásra.

A gyógyszergyár területén keletkező friss iszap víztelenítésre kerül egy szűrőprés és egy dekanter centrifuga segítségével. Ezt követően az iszapot átszállítják a hulladéklerakó területére, ahol a beérkező iszapot városi zöldhulladékkal keverik úgy, hogy az iszap és a zöldhulladék aránya 50-50% legyen. A keverést követően a hulladékot meghatározott ideig pihentetik, keverik, majd ezt követően a hulladéklerakó tetejére szállítják.

Az ilyen anyag deponálása után lerakási díj fizetésére kötelezik a hulladéklerakó üzemeltetőjét, melynek díja jelenleg 4000 Ft tonnánként, így ezért a tevékenységért az üzemeltetőnek jelenleg évi 24 millió Ft-ot kell fizetnie 6000 tonna/év iszappal számolva. Azonban az üzemeltetővel történt egyeztetés során kiderült, hogy ez az összeg 2023-at követően a saját becsléseik szerint nagyjából 14 000 Ft-os tonnánkénti árra számítanak, mely már 84 millió Ft-ot jelentene évente.

Annak érdekében, hogy a lerakási díj mérséklésre kerüljön az iszapot szárítani kell, lehetőleg minél olcsóbb technológiával. A telephelyen üzemelő két gázmotor hasznosítatlan hője megoldást tudna biztosítani a problémára valamilyen szárítási technológia fűtésre révén.

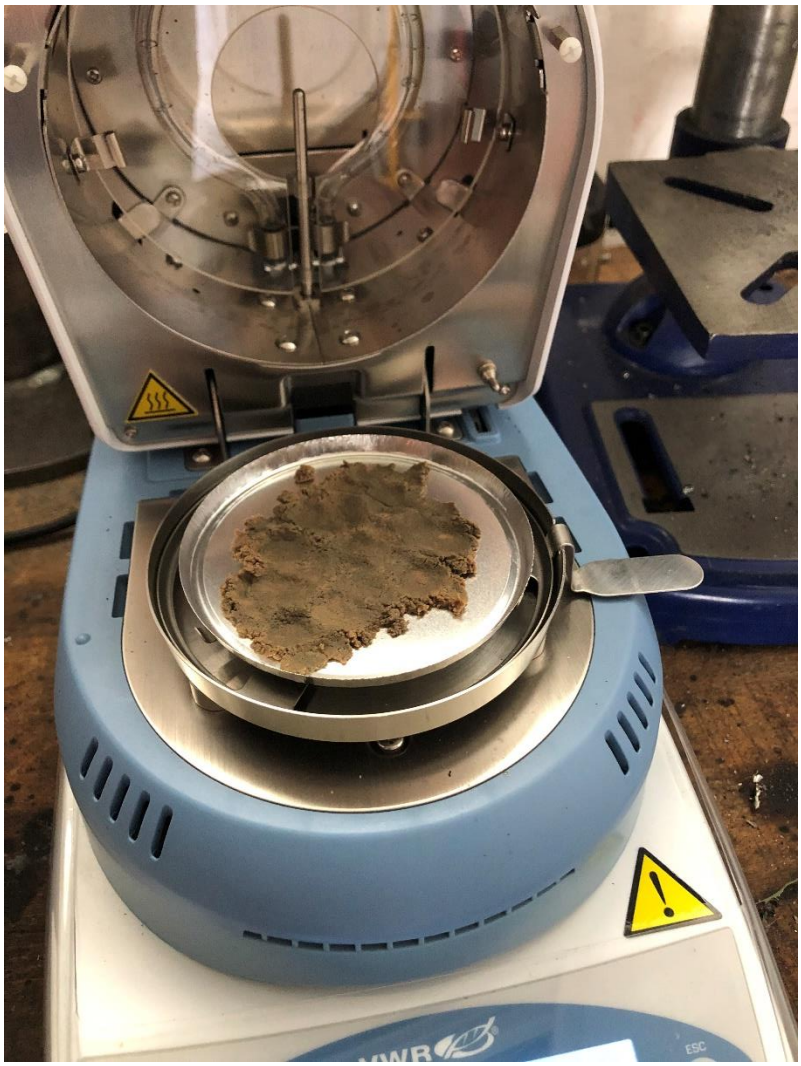
Továbbá elképzelhető, hogy a magas, 550 °C hőmérsékletű füstgázzal való szárítás lehetővé tenné az iszapban megtalálható kórokozók, valamint gyógyszergyári hatóanyagok, hormonok hatástalanítását, mely eredményeképpen az iszapot újra lehetne minősíteni, már nem veszélyes hulladékká.

Abban az esetben, ha a szárítás végén kapott anyag fűtőértéke megfelelő, akár tüzelőanyag is előállítható lenne az iszapból, melynek eladása növelhetné az üzemeltető bevételeit.

3.2. Az iszap nedvességtartalmának meghatározása

Az üzemeltető elmondása alapján a telephelyre beérkező iszap szárazanyagtartalma 15-17% között mozog, melyet laborban alkalmazott vákuumszárítóval határoztak meg. Ennek ellenőrzéseképpen én is mintát vettem a frissen beérkezett iszapból, majd a VWR Moisture Analyser típusú nedvességtartalom mérő segítségével megmértem szárazanyagtartalmát és kiszárítottam azt.

A mérés során a mintát 105°C-on 0,01%-os nedvességtartalomig szárítottam két alkalommal. A mérések nagyjából 45 percet vettek igénybe, ennyi ideig tartott a minta kiszárítása.



17. ábra: A minta szárítás előtt

A mérések eredménye minden esetben igazolta az üzemeltető által megadott szárazanyagtartalmat. A mérések során a minta szárazanyagtartalma mindkét alkalommal 14,6% körül mozgott. Így a későbbi számításaim során ezt az adatot vettem alapul.

	Első mérés	Második mérés
Nedvességtartalom	85,36%	85,48%
Szárazanyagtartalom	14,64%	14,52%
Kezdeti tömeg	12,5 g	8,4 g
Szárítás utáni tömeg	1,832 g	1,223 g

5. táblázat: A szárazanyagtartalom-mérés eredményei

18. ábra: A minta szárítás után

3.3. A szárításhoz rendelkezésre álló hő

A két gázmotoron két-két helyen, a köpenyhűtésért felelős hűtőközegből és a füstgázból kinyerhető hőt lehetséges iszapszárításra alkalmazni. Az alacsony hőmérsékletű hűtőkör hőmérséklete igen alacsony szárításhoz, 50°C körüli, ez önmagában nem elegendő. Abban az esetben válna hasznosíthatóvá, ha a szárítást valamilyen a füstgáztól eltérő közeggel végeznénk, például szalagszárító esetén levegő előmelegítésére használható lenne, azonban a rendelkezésre álló hőteljesítmény is igen csekély, 34 és 35 kW.

A köpeny-, olaj- és keverékhűtésért felelős magas hőmérsékletű hűtőkör etilén-glikolos oldatának 90°C-os hőmérséklete elegendő szalagszárító fűtéséhez, így ilyen berendezés beépítése kedvező lehet. Egyetlen problémája a technológia magas villamosenergia igénye. A Huber Technology Wastewater Solutions ajánlatában is viszonylag magas, maximum 0,15 kWh villamos energia szükséges a hő mellett 1 kg víz elpárologtatásához. Abban az esetben, ha évi 6 000 tonna 85%-os nedvességtartalmú iszap 30%-os nedvességtartalomra való szárítása a cél, akkor évente nagyjából 4 714 tonna vizet kell elpárologtatni az iszapból, melynek villamosenergia igénye 707 MWh. Ennek értéke, amennyiben a hulladékból nyert kötelező átvételű villamos energia árral számolunk - mely csúcsidőben 35,77 Ft/kWh - összesen évente 25,3 millió Ft, így a berendezés kiválasztásánál látható, hogy a villamosenergia fogyasztást is figyelembe kell venni.

A füstgáz hője hasznosítható majdnem minden szárítási technológiához magas hőmérsékletének köszönhetően. Vannak technológiák, mint a dobszárítók, melyek alkalmasak lehetnek füstgáz hasznosítására, mint szárító közeg, köztes hőcserélő beépítése nélkül, ami csökkenti a beruházási költséget. Azonban a dobszárítóknál problémát jelenthet a szárított anyag állaga. Nedves iszapszerű anyag hajlamos lehet a dob falára kenődni és felületére ragadni, erre megoldás lehet, valamilyen szilárd anyag hozzákeverése vagy valamilyen előszárítás.

A két motor évente átlagosan 7500 órát üzemel, a maradék időben karbantartáson esnek át, azonban a két motor közül mindig legalább egy üzemel az év egészében, így az évben végig rendelkezésre áll legalább a kiadható hő fele. 7500 éves üzemórával számolva az évi kiadható hőmennyiség motoronként a 6. táblázatban látható.

Gázmotor	**Hőforrás**	**Hőteljesítmény [kW]**	**Évi rendelkezésre álló hő [MWh]**	**Hőmérséklet [°C]**
Cívis 1	Alacsonyabb hőmérsékletű hűtőkör	34	255	kb. 50
	Magasabb hőmérsékletű hűtőkör	340	2550	kb. 90
	Füstgáz	465	3487,5	kb. 550
Cívis 2	Keverékhűtés	35	262,5	kb. 50
	Köpenyhűtés	315	2362,5	kb. 90
	Füstgáz	375	2812,5	kb. 550

6. táblázat: A telephelyen üzemelő gázmotorok hője

3.4. A szárításhoz szükséges hő

Az évi 6000 tonna iszap szárításához nagy mennyiségű folyamatosan elérhető hőre van szükség. Amennyiben 15%-os kiinduló szárazanyagtartalommal és 70%-os szárítás utáni szárazanyagtartalommal számolunk, évi 6000 tonna iszap esetén, 4714 tonna víz elpárologtatására van szükség. Az ehhez szükséges hő, amennyiben a párolgás atmoszférikus nyomáson történik, és az iszap hőmérsékletét átlagosan 20°C-nak tekinthető, nagyjából 3400 MWh évente (5).

$$Q = m \cdot \left(\left(h'' - h' \right) + \left(h' - h\left(t = t_{iszap} \right) \right) \right) \tag{5}$$

Azonban ez az érték nem tartalmazza a hőveszteségeket, valamint a sejtfalak roncsolásához szükséges hőt. Szárítótípusonként meghatározható egy érték, amely megadja az iszapban lévő víz kg-onkénti elpárologtatásához szükséges hőt.

Szárító technológia	Hőátadás módja	Iszaphőmérséklet [°C]	Szükséges hő [kWh/kg elpárologtatott víz]	Szükséges villamos energia [kWh/kg elpárologtatott víz]
Flash szárító	Konvekció	96	0,99	0,06
Fluidszárító	Konvekció	NA	1,07	0,03
Rotációs szárító	Konvekció	90	0,95	0,10
Szalagszárító	Konvekció	65	0,80	0,02
Dobszárító	Konvekció	115	0,92	0,15
Lapátszárító	Konvekció	115	0,90	0,02

7. táblázat: Elérhető szárító technológiák és energiaigényük [21]

A 7. táblázatban megtalálható értékeket összevetve több gyártó leírásával elmondható, hogy a táblázat igen pontosan használható a hőigények számítása során. Például a HUBER Technology Wastewater Solutions szalagszárítójának adatlapja alapján a hőigénye 0,8-0,85 kWh/kg elpárologtatott víz, ami közel megegyezik a táblázatban található szalagszárító 0,8 kWh/kg-os értékével.

Így a fenti táblázatban lévő értékeket alapul véve számítható, hogy mekkora a szárítás éves hőigénye a szárítási technológia függvényében:

Szárítási technológia	**Szárításhoz szükséges hő [MWh/év]**
Flash szárító	4667,14
Fluidszárító	5044,29
Rotációs szárító	4478,57
Szalagszárító	3771,43
Dobszárító	4337,14
Lapátszárító	4242,86

8. táblázat: 6000 tonna iszap 70%-os szárazanyagtartalomra szárításának hőigénye technológiánként

3.5. Lehetséges szárítási technológiák áttekintése

Az előzőekben áttekintetettem az általam vizsgált telephelyet, az iszapszárítás folyamatát, a rajta működő gázmotorok hulladékhőjét, valamint a szárítási technológiák hőigényét. Ezen ismeretek birtokában már felvázolható több megoldás, mely alkalmas lehetne a gázmotor hulladékhőjének hasznosítására. Fontos kiemelni, hogy a telephelyen nagy mennyiségű felhasználatlan hő áll rendelkezésünkre, ezért a szárító kiválasztása során meghatározó szempont, hogy a füstgáz hőenergiája kerüljön hasznosításra és egyéb forrásból származó mechanikai energiára csak kis mértékben vagy egyáltalán ne legyen szükség.

Az általunk szárítani kívánt iszap veszélyes hulladéknak minősül, ezért szárítása során a hulladék hatástalanítása is fontos szempont. A veszélyes hulladékok ártalmatlanítására több kémiai módszer is alkalmas, azonban jelen esetben a legcélszerűbb a rendelkezésre álló magas hőmérsékletű hőforrás, a gázmotorok füstgázának használata. Egy füstgáz-levegő hőcserélő alkalmazásával vagy a füstgáz egy részének közvetlen elvezetésével lehetőség lenne az iszap termikus ártalmatlanítására.

A hatástalanítás közben vagy azt követően megvalósítható az iszap szárítása, mely során eltávolításra kerül az iszapból a sejtekben kötött víz. Ennek érdekében valamilyen termikus elven működő gépi szárító berendezés kiépítése szükséges. A berendezés lehet szoláris szárító, szalagszárító, fluidszárító vagy dobszárító.

A megfelelő technológia kiválasztása során összesen 5 helyről kértem ajánlatot, hogy felmérjem, Magyarországon milyen megoldások milyen költséggel állnak rendelkezésre. A dolgozat megírásának időpontjáig 3 iszapszárítással foglalkozó vállalkozástól kaptam visszajelzést, ebből 2 cégtől árajánlattal együtt. Így ebben a pontban ezeket mutatom be részletesebben.

3.5.1. SZOLÁRIS ISZAPSZÁRÍTÓ

A szoláris iszapszárító a nap energiáját hasznosítja az iszap szárítására. A technológia helyigénye kifejezetten nagy, igen nagy szabad terület szükséges a megépítéséhez, melyet UV sugárzásnak ellenálló, a sugárzást viszont átengedő polikarbonát lemezzel burkolnak. Az épületen belül a szellőzést ventilátorok biztosítják, melyek lehetővé tehetik a motoroknál keletezett hulladékhő szállítását is, így nem csak szezonálisan a nap energiáját, hanem a motorok hőenergiáját is kihasználva oldható meg az iszap szárítása. A szárítási kapacitás a téli időszakban csökken, a napsugárzás mérséklődésének következtében.

A Horváth Gábor Környezetmérnöki Kft.-től kért ajánlatban a szárítani kívánt mennyiséghez összesen 2600 m^2 alapterületű, 3 m magas szárítóra kaptam ajánlatot, mely egyidejűleg hasznosítja a nap és a gázmotorok hőjét. Az ajánlat alapján a szárító 20-40 kWh villamos energiát igényel minden tonna elpárologtatott vízhez, ami éves szinten 3,3 - 6,7 millió Ft költséget jelentene kötelező átvételű villamos energia árral számolva. A beruházás értéke meghaladná a 630 millió Ft-ot, az iszap adagolása manuálisan történne egy homlokrakodó segítségével, melyre szintén be kellene ruházni, ennek értéke is megjelenítésre került az ajánlatban opcióként, ennek értéke további 18 millió Ft.

Látható, hogy ezen technológia költsége igen magas, illetve helyigénye sem elhanyagolható, az általam vizsgált debreceni telephelyen nem áll rendelkezésre elegendő szabad terület az ajánlatban kapott szoláris szárító elhelyezéséhez.

3.5.2. DOBSZÁRÍTÓ

A dobszárító magas hőmérsékletű közeg segítségével, jellemzően valamilyen füstgázzal végzi a szárítást. Az iszapot a dobba adagolás előtt egy szalagos felhordóval, szállítószalaggal szállítják az adagolóhoz, mely biztosítja az iszap folyamatos beadagolását. A szárítódob működhet forgatós elven, mikor a dob forgatásával érik el az anyag keveredését és a benne található tolólapátok, valamint a dob megdöntésének következtében távozik a száradt iszap belőle. A másik elterjedt működési elv, amikor a dob nem forog, hanem benne helyezkedik el egy keverőelem, ami folyamatosan forog, ezzel keverve a szárítandó iszapot. A keverés közben a dob belsejébe folyamatosan áramlik ventilátorok segítségével a forró füstgáz az iszapot szárítva.

A piacon több olyan dobszárító berendezés is elérhető, mely lehetővé teszi, hogy a szárított iszapot őrlés után kazánban elégetésre kerüljön. Így amennyiben a szárított iszapot tüzelésre lehetne használni valamilyen közeli üzemben, akár az iszap deponálására sem lenne szükség.

Villamosenergia igénye hasonló a szoláris iszapszárítóhoz a LIME-Pellet-Hungary Kft.-től kapott ajánlatban szereplő szárító villamos teljesítménye összesen 15 kW, ami évi 7500 óra működés esetén kötelező átvételi árral számolva nagyjából 4 millió Ft évente. Az árajánlat tartalmazta a szárítóberendezést, adagolókat, alapanyagmozgatókat, ventilátorokat, porleválasztó ciklont, az acélszerkezetet és a vezérlést is. A felsorolt berendezések ára, valamint a szállítás, összeszerelés és üzembe helyezés költsége az ajánlat szerint nettó 24,855 millió Ft.

A technológia 7. táblázat utolsó előtti sorában feltüntetett éves hőigény (4340 MWh) kiszolgálható a gázmotorok füstgázából kinyerhető hővel, ami összesen évi 6300 MWh (5. táblázat). Továbbá a szárító és segédberendezések helyigénye is jóval kisebb, mint a szalag- vagy a szoláris szárítónak. A telephelyen rendelkezésre áll elegendő terület az elhelyezéséhez.

3.5.3. ÖSSZEFOGLALÁS

A kapott két ajánlatot összehasonlítva látható, hogy a szoláris iszapszárító több szempontból is elmarad a dobszárítóhoz képest. A szoláris szárító ára jóval magasabb a dobszárítónál, továbbá telephely nem tudja kiszolgálni a szoláris szárító 2600 m^2-es helyigényét, egyetlen előnye a rendszer egyszerűsége, kevesebb lehetőség van a meghibásodásra, így feltételezhetően a karbantartás költségei is jóval alacsonyabbak.

A dobszárító minden szempontból alkalmas a telephelyi igények kielégítésére. Közvetlenül felhasználható a füstgáz hője a szárítóberendezésben, helyigénye alacsony, villamosenergia fogyasztása is alacsony.

3.6. Megtakarítás

Jelenleg a Debreceni Regionális Hulladéklerakó üzemeltetője tonnánként 4 000 Ft-ért helyezi le a beérkező iszapot. Ez az összeg előreláthatólag 2023-tól 14 000 Ft/t-ra fog emelkedni. Amennyiben 6 000 t 75% nedvességtartalmú anyagot 30%-os nedvességtartalomig szárítunk, akkor a lecsökkent tömeg következtében 2023 előtt évi közel 19 millió, 2023 után évi 66 millió Ft lenne megtakarítható. Ez azt jelenti, hogy 15 év alatt 8,5%-os diszkontrátával számolva [22] jelenértékben 547,5 millió Ft-os megtakarítás érhető el.

Látható, hogy a dobszárító berendezés beruházása az esetlegesen felmerülő karbantartási költségek mellett is megtérülő beruházásnak bizonyul. Azonban a szoláris szárítóra kapott ajánlat már nem térülne meg 15 év alatt.

Továbbá a deponált iszap szárítása nem csak gazdaságilag, hanem környezetvédelmi szempontból is előnyös megoldás, a szárítást követően jelentősen kevesebb veszélyes hulladékot kerülne a hulladéklerakó ütemeire.

3.7. Szárított iszap, mint másodlagos tüzelőanyag

Ugyan a szárítással csökkenthető a deponált hulladék mennyisége, de így sem kerülhető ki a hulladékhierarchia legalsó foka. Illetve várhatóan a veszélyes hulladékok deponálásának díja további növekedést fog mutatni, így teljes megoldást a hulladék lerakásának megszüntetése jelentene.

Ez a cél viszont nem lehetetlen, a piacon elérhetők olyan dobszárító megoldások, melyek a szükséges hőt egy kazánból segítségével állítják elő. Annak érdekében, hogy a kazán a lehető leggazdaságosabban működjön, a szárítás után a száraz iszap másodlagos tüzelőanyagként felhasználható a kazánban. Amennyiben a hulladéklerakó területén a hulladékhővel szárított iszapot valamilyen közeli üzemben, erőműben is fel lehetne használni tüzelőanyagként, úgy a veszélyes hulladék deponálása teljesen kiváltható lenne. Ez további megtakarítás, valamint a hulladék újrahasznosítását jelentené.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban a Debreceni Regionális Hulladéklerakó területén elhelyezkedő két depóniagáz-üzemű gázmotornak helyet adó telephelyet vizsgáltam. A két gázmotor jelenleg kizárólag villamosenergia előállítás céljából működik, melyet a Cívis 2 gázmotor esetén a KÁT mérlegkörben, a Cívis 1 motor esetében pedig a villamos energia piacon értékesítenek. A gázmotorok által kiadott hő így nem kerül hasznosításra, mindössze elenyésző részét használják a magasabb hőmérsékletű hűtőkör vízéből kinyerhető hőnek épületfűtési célokra a telephely mellett elhelyezkedő hulladékválogatóban, a maradék hő hasznosítás hiányában a környezetbe kerül.

A hulladéklerakót üzemeltető cégnek egyéb hulladékok mellett engedélye van iszapszerű veszélyes hulladék deponálására. Évente összesen 6000 tonna ilyen hulladék kerül elhelyezésre a lerakóban. Az üzemeltetőnek azonban a deponált veszélyes hulladék után tömegarányosan fizetési kötelezettsége keletkezik. Jelenleg 4 000 Ft-ot fizet tonnánként, így a veszélyes hulladék éves lerakási díja jelenleg 24 millió Ft. Azonban 2023-tól a lerakási díjak emelése után tonnánként 14 000 Ft-os díj fizetése várható, mely évente már 84 millió Ft-ot jelentene.

A hulladéklerakóba szállított hulladék nedvességtartalma igen magas, 85% körüli, így tömegének nagy részét víz teszi ki. Az anyag nedvességtartalma a lerakó üzemeltetőjének megbízásából készült vizsgálatok során került megállapításra, ezt egy általam elvégzett méréssel is igazoltam egy nedvességtartalom mérésére alkalmas berendezés segítségével. Amennyiben a víz elpárologtatásra kerülne, azaz az iszapot szárítani lehetne, akkor a deponált hulladék tömege jelentősen lecsökkenne. 30%-os nedvességtartalomra szárítás esetén a megmaradó, száraz iszap tömege nem érné el az 1300 tonnát.

Az iszapok szárítására meglehetősen sok, egymástól eltérő megoldás áll rendelkezésre. A telephelyi adottságokból adódóan a lerakóba érkező iszap szárításához célszerű olyan technológiát választani, melynek a mechanikai vagy villamosenergia felvétele viszonylag alacsony. A telephelyen a két gázmotornak köszönhetően nagy mennyiségben áll rendelkezésre hulladékhő, így elsősorban ennek felhasználásával kell az anyag szárítását megoldani.

A telephelyen két hőmérsékletszinten áll rendelkezésre szárításra alkalmas hő. Az alacsonyabb hőmérsékletű szárító technológiákhoz a motor köpeny-, keverék- és olajhűtéséért felelős hűtőkör 90°C-os hője lehet alkalmas. A magasabb hőmérsékletet igénylő berendezésekhez pedig alkalmas lehet a két motor füstgázának hője, melynek hőmérséklete nagyjából 550°C. A két motor hője összesen elegendő a beérkező 6 000 tonna szárítására.

Különböző szárítóberendezésekre kért ajánlatok alapján a dobszárító bizonyult a legalkalmasabb választásnak az elérhető technológiák közül. Villamosenergia fogyasztása egy szalagszárítóhoz képest alacsony, helyigénye kicsi, mind a szoláris iszapszárító, mind a szalagszárító jóval nagyobb helyet foglal el. A beérkezett árajánlatok alapján is a dobszárító bizonyult a leggazdaságosabb megoldásnak, telepítésének ára töredéke a szoláris iszapszárítónak.

Amennyiben a szárítóberendezés beruházása megvalósulna, úgy 2023-ig évi több, mint 18,8 millió Ft-ot, 2023 után pedig évi 66 millió Ft-ot takaríthatna meg a hulladékkezelő üzemeltetője. Amennyiben 15 éves időszakot vizsgálunk, akkor az jelenértéken 504,6 millió Ft megtakarítást jelentene. A megtakarítás összege elegendő, hogy a dobszárítóra való beruházás az időszakos karbantartásokkal együtt is megtérüljön. Sajnos ez a szoláris szárító esetében nem mondható el, a beruházás ebben az esetben nem térülne meg 15 éven belül.

5. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. European Commission (2008): *DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL.*
2. Daniel A. Vallerp (2019): *Air Pollution Calculations.*
3. Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In*: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. European Commission (2008): *Guidance on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98/EC on waste.*
5. European Commission (2018): *The early warning report for Hungary.*
6. Agency for Toxic Substances & Disease Registry (2001): *Landfill Gas Control Measures.*
7. Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar (2017.): *Vizsgálati jelentés.*
8. KEIV Kft. (2017): *Új depóniagázos kiserőmű épületgépészeti kiviteli műszaki leírás.*
9. MVM ERBE Zrt. (2008): *A Nyíregyháza-Oros és Debrecen települések hulladéklerakóin üzemelő gázmotoros kiserőművek átvilágítása, döntést segítő tanulmány.*
10. GE Jenbacher GmbH & Co (2006.): *Áramfejlesztő gépcsoport JGS 312 GS-L/N.L Leírás/Kezelés.*
11. GE Jenbacher GmbH & Co: *Genset JGS 312 GS-L.LC technical description.*
12. Barótfi István (2000): *Környezettechnika.* Mezőgazda Kiadó, 1034 Budapest, Bécsi út 122-124.
13. Dr. Bothné Fehér Kinga (2020): *Iszapkezelés előadás, Környezetvédelmi eljárások és berendezések tantárgy.*
14. Kocsis István (2011): *Hígtrágya és Szennyvíziszap kezelés.* Szent István Egyetem
15. Indufil.hu: *Keretes szűrőprések.*
16. *Szennyvíztisztítás korszerű módszerei II.* (2014)
17. HUBER Sludge Turner SOLSTICE® Solar sewage sludge drying
18. ANDRITZ AG (2012): *Drying technologies for sewage sludge.* ANDRITZ AG, Stattegger Strasse 18, A-8045 Graz, Austria
19. ANDRITZ AG: *Belt drying system BDS.* ANDRITZ AG, Stattegger Strasse 18, A-8045 Graz, Austria
20. ANDRITZ AG (2020.): *SEPARATION.* ANDRITZ AG, Stattegger Strasse 18, A-8045 Graz, Austria
21. Belzahet Treviño Arjona, Ph.D., José Rodríguez Cisneros, Eng. (2005): *Analysis of Drying Technologies for Wastewater Treatment Plant Sludge as an Alternative Source of Energy*
22. Független könyvvizsgáló jelentése (2021): *ALTEO Nyrt. 2020. pénzügyi évre vonatkozó éves jelentése, egyedi (nem konszolidált) vállalat IFRS-ek szerinti beszámolója*

23. European Comission (2020): *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions.*
24. Pratibha Gautamab, Sunil Kumar (2021): *Characterisation of Hazardous Waste Landfill Leachate and its Reliance on Landfill Age and Seasonal Variation: A Statistical Approach.*
25. Ihsan Hamawand, Wilton Pereira da Silva, Friederike Eberhard, Diogenes L. Antille (2015): *Issues related to waste sewage sludge drying under superheated steam*
26. Poós Tibor, Horváth Miklós (2014): *Municipal Waste Sludge Drying in Agitated Drum Dryer*
27. Shane Donatello, Christopher R. Cheeseman (2012): *Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review*
28. S. Donatello, M. Tyrer, C.R. Cheeseman (2009): *EU landfill waste acceptance criteria and EU Hazardous Waste Directive compliance testing of incinerated sewage sludge ash*
29. J. Werther, T. Ogada (1999): *Sewage sludge combustion*
30. Yua Liang, Donghai Xu, Peng Feng, Botian Hao, Yang Guo, Shuzong Wang (2021): *Municipal sewage sludge incineration and its air pollution control*
31. Jiao Mao, Lei Zhang, Aimin Li (2016): *Energy-efficient co-biodrying of dewatered sludge and food waste: Synergistic enhancement and variables investigation*
32. degremont® water handbook: *Dewatered sludge treatment*
33. Huber Technology Waste Water Solutions (2017): *Huber Belt Dryer BT for sewage sludge drying*
34. Huber Technology Waste Solutions (2016): *HUBER Sludge Turner SOLSTICE® Solar sewage sludge drying*
35. D. Gewald, K. Siokos, S. Karellas (2012): *Waste heat recovery from a landfill gas-fired power plant*
36. International Best Practices Guide for LFGE Projects (2012): *Landfill Gas Energy Utilization Technologies*

6. SUMMARY

In my dissertation, I examined a site for two landfill gas engines located at the Debrecen Regional Landfill. The two gas engines operate only for the production of electricity. The electrical energy of the Cívis 1 power plant is sold at the KÁT system, as for the Cívis 2 gas engine the energy is sold ont he electricity wholesale market. The heat emitted by the gas engines is not utilized, only a negligible amount which is used for heating purposes at the waste sorting facility next door.

The landfill company has a permit to among other waste dispose sludge-like hazardous waste. A total of 6,000 tonnes of such waste is landfilled each year. However, the operator is obliged to pay for the deposited hazardous waste. It currently pays HUF 4,000 per tonne, so the annual landfill fee for hazardous waste is currently HUF 24 million. Furthermore, from 2023, after the increase of landfill fees, a fee of HUF 14,000 per tonne is expected to be paid, which would mean HUF 84 million per year.

The moisture content of the waste transported to the landfill is very high, around 85%, so most of its weight is water. The moisture content of the material was determined during tests commissioned by the landfill operator, which was also confirmed by a measurement I performed with the help of a device suitable for measuring the moisture content. If the water were evaporated the sludge could be dried, the weight of the deposited waste would be significantly reduced. When dried to a moisture content of 30%, the weight of the remaining dry sludge would not reach 1300 tons.

There are quite a few different solutions for drying sludges. Due to the site conditions, it is advisable to choose a technology for sludge drying which has a low mechanical or electrical energy uptake. The two gas engines have a large amount of waste heat available at the site, so the drying of the material should be solved primarily by using heat not mechanical energy.

Heat suitable for drying is available at two temperature levels. For lower temperature drying technologies, heat of the cooling circuit is available, the temperature of the cooling circuit is around 90 °C. For dryers with higher temperature requirements, the heat of the flue gas could be used, which has a temperature of approximately 550 °C. The combined heat of the two engines is sufficient to dry the incoming 6,000 tons.

Based on the offers requested for various drying equipment, the drum dryer proved to be the most suitable choice among the available technologies. Its electricity consumption is low compared to a belt dryer, its space requirements are small, both the solar sludge dryer and the belt dryer take up much more space. Based on the offers received, the drum dryer proved to be the best solution economically as well.

If the investment in the drying equipment were to be realized, the operator of the waste treatment plant could save more than HUF 18.8 million a year until 2023, and HUF 66 million every year after 2023. If we examine a 15 year period, it would mean a saving of HUF 504.6 million at present value. The amount of savings is sufficient to recoup the investment in the drum dryer, including periodic maintenance. Unfortunately, this is not the case with the solar dryer, the investment would not pay off within 15 years.

Keywords: *gas engine, landfill gas, sludge drying, waste heat, drum dryer, solar dryer, band dryer*