

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET Földrajztudományi Központ

**A Pusztazámori Hulladéklerakó rekultivált területének energetikai hasznosítása
fotovoltaikus rendszerrel**

MÁTTYÁS ANDRÁS CSABA

Tudományos Diákköri Konferencia

Földrajz BSc – Megújuló energiaforrások szakirány

Témavezető: Dr. Munkácsy Béla



ELTE
EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM

BUDAPEST, 2022

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
1.1 A TANULMÁNY CÉLJA	4
1.2 KUTATÁSI KÉRDÉSEK:	4
1.3 ÁTTEKINTÉS	5
2. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK AKTUÁLIS HELYZETE MAGYARORSZÁGON	5
2.1 MAGYARORSZÁG ENERGIAMIXE	5
2.2 NAPENERGIA	6
2.2.1 Napelemek kapacitásfaktora hazánkban	7
2.3 DEPÓNIAGÁZ	8
2.3.1 Depóniagáz jellemzése	9
2.3.2 Keletkezés	9
2.3.3 Kinyerés	10
2.3.4 Hasznosítás	11
2.3.5 Napelemek és gázmotorok hibrid üzeme	12
3. A MAGYARORSZÁGI HULLADÉKLERAKÓK ÁLTALÁNOS FOTOVOLTAIKUS POTENCIÁLJA	13
4. A REKULTIVÁLT HULLADÉKLERAKÓK FOTOVOLTAIKUS HASZNOSÍTÁSÁVAL JÁRÓ ELŐNYÖK	14
4.1 KÖZVETLEN ELŐNYÖK	14
4.2 KÖZVETETT ELŐNYÖK	15
5. KÜL- ÉS BELFÖLDI PÉLDÁK HULLADÉKLERAKÓKON TELEPÍTETT FOTOVOLTAIKUS RENDSZEREKRE	16
5.1 KÜLFÖLDI PÉLDÁK	16
5.2 BELFÖLDI PÉLDÁK	18
5.2.1 Bogács utcai hulladéklerakó (1 MW)	18
5.2.2 Csurgói hulladéklerakó (1,5 MW)	19
6. A PUSZTAZÁMORI HULLADÉKLERAKÓ JELLEMZÉSE:	20
6.1 ELHELYEZKEDÉS	20
6.2 KAPACITÁS	21
6.3 MŰSZAKI VÉDELEM	24
6.4 AZ I. ÜTEM JELLEMZÉSE	26
7. SWOT ANALÍZIS	27
7.1 EREDMÉNYEK	28
8. AZ I. ÜTEMRE TELEPÍTHETŐ NAPELEMES RENDSZER	33
9. A PUSZTAZÁMORI HULLADÉKLERAKÓ HIBRID ÜZEME ÉS ENERGIATÁROLÁSI LEHETŐSÉGEI	36
9.1 A PUSZTAZÁMORI HULLADÉKLERAKÓ HIBRID ÜZEMELTETÉSE	36
9.2 ENERGIATÁROLÓ KAPACITÁSOK	38
10. ÖSSZEGZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	39
10.1 ÖSSZEGZÉS	39
10.2 KÖVETKEZTETÉSEK	39
IRODALOMJEGYZÉK	41

1. BEVEZETÉS

Hazánk, Magyarország, nagyjából 7,2-7,3 millió hektárral rendelkezik, ha a termőterületek kiterjedését vesszük figyelembe (KSH, 2019). Kétséget kizáróan ezeket a területeket érdemes növénytermesztésre hasznosítani, vagy a természet számára visszaszolgáltatni (ÁNGYÁN J. et al. 1999). Hasonló helyzetet láthatunk, ha a természet vagy épp a tájvédelem szempontjából vizsgálódunk, hisz itt is könnyű belátni, hogy nem engedhetjük, hogy hazánk kivételes és egyedi tájai, természetvédelmi területei csorbát szenvedjenek bármely fajta zöldmezős beruházástól, főleg abban az esetben, ha mindazt képesek vagyunk más egyéb módokon is kivitelezni. Azonban, ha Magyarország teljesíteni, vagy épp túlszárnyalni akarja a 2030-ra kitűzött minimum 20%-os megújuló energia részarányt a bruttó végső villamosenergia-fogyasztásban (ITM, 2020a), illetve Kormányunk konzisztens szeretne maradni állításával, miszerint: „*A hazai beépített fotovoltaiikus kapacitás 2030-ra meghaladja a 6000 MW-ot, 2040-re pedig megközelíti a 12000 MW-ot.*” (ITM, 2020b), mindemellett pedig az Európai Unió által preferált célt is tartani kívánja, azaz, hogy 2050-re klímasemlegessé kell válnia a tagállamoknak, ezalatt értendő a „*net-zero*”, azaz a nettó zéró üvegházhatású gázkibocsátás (EURÓPAI UNIÓ, 2019), akkor igen nagy mennyiségű fotovillamos kapacitást kell kiépítenie. Köztudott, hogy a nagyobb teljesítménnyel rendelkező napelemes rendszerek területigénye kifejezetten nagy, több tíz, sőt, jóval inkább száz hektáros szokott lenni, vegyük például a Kaposváron 2021-ben épült 100 MW-os teljesítményű napelemparkot az *1. ábrán*, mely 220 hektáron terül el (emellett élő példája az értékes termőterületek felesleges elvételének...).



1. ábra. Kaposvári napelempark (Solarpro Holding, 2021)

Amennyiben tehetjük, ezen rendszerek tetemes hányadát barnamezős beruházásként kell megvalósítani, ezzel is óvva Magyarország értékes termőterületeit, illetve természeti kincseit. Erre nyújthat egy igen jó alternatívát a rekultivált hulladéklerakók fotovillamos rendszerekkel történő beépítése, melyre világszerte sok példát találunk, csak az USA-ban, New Jersey államban, legalább 20 ilyen rendszert építettek ki az elmúlt évtizedekben (NEW JERSEY DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION DIVISION OF SOLID AND HAZARDOUS WASTE, 2020). De Magyarországon sem számít teljesen idegennek egy ilyen beruházás, jól mutatja ezt a 2020-ban Csurgón átadott 1,5 MW-os napelempark (HIRADO.HU, 2020), vagy a 2019-ben Miskolcon átadott, a Bogáncs utcai hulladéklerakón telepített 1 MW-os rendszer (MISKOLCI ÖNKORMÁNYZAT, 2019). A tanulmány egy az előbbiekhöz hasonló hulladéklerakóra koncentrál, a Pusztazámori Hulladéklerakóra, mely egyben országunk legnagyobb szilárdhulladék-lerakójának számít.

1.1 A tanulmány célja

Célom, hogy ezzel a tanulmánnyal elméleti háttérrel, ezzel pedig lehetőséget teremtsék a Pusztazámoron létesített szilárdhulladék-lerakó telep I. ütemének napelemesítésére, illetve, hogy bemutassam az esetlegesen megépülő rendszer lehetőségeit a hibrid üzemre, azaz a depóniagáz és a napenergia integrált hasznosítására. Célom, hogy a hibrid üzem mértékét feltárjam a hulladéklerakón, és meghatározzam a termelés éves átlagát. Véleményem szerint napjainkban egyre relevánsabb témává válik, hogy hová telepítsük a nagyobb napelemparkokat, melyek tiszta megújuló energiával tudnák ellátni a közelben lévő településeket, létesítményeket. Miután a hulladéklerakó 3-5 kilométeres sugarában több település is található, illetve a terület jelenleg egyre több ipari parknak ad otthont, így kétség kívül lesz igény a rendszer által megtermelt villamos energiára. Mindemellett tanulmányom azt a célt is szolgálja, hogy rávilágítson a tényre, miszerint **hazánk értékes termőterületeit nem szabad kizárólag fotovillamos energiatermelés céljára felhasználni**, mivel a telepített napelemeknek több szempontból is jobb, illetve kevésbé értékromboló helyet is lehet találni.

1.2 Kutatási kérdések:

Kutatásom legfőbb kérdései a következők:

- Mekkora mennyiségű energiát képes a rendszer megtermelni?
- Melyik a legjobb termelési forma a napelemek tekintetében (tájolás)?
- A hibrid üzem milyen lehetőségeket rejt magában a Pusztazámori Hulladéklerakón?

1.3 Áttekintés

Tanulmányomban többek közt ismertetni kívánom a megújuló energiaforrások (specifikusan a napenergiát és depóniagáz) helyzetét, illetve a napenergia kapacitásfaktorát hazánkban az aktuális állapot szerint, betekintést szeretnék nyújtani a hulladéklerakók hibrid üzemének lehetőségeibe, azaz a depóniagáz és napenergia integrált hasznosításába, és ezek alapvető előnyeibe. Majd bemutatom a hulladéklerakók általános fotovoltaiikus potenciálját Magyarországon, mindemellett pedig részletezem egy ilyen beruházással járó előnyöket, legyen szó mind a gazdasági, mind pedig a természeti, társadalmi szempontokról. Emellett ismertetek majd több külföldi és belföldi gyakorlatot is rekultivált hulladéklerakókra telepített napelemes rendszerekről.

Ezt követően mélyebben érinteni szeretném a Pusztazámori Hulladéklerakó jelenlegi helyzetét, kilátásait a jövőre, majd bemutatom az általam készített SWOT analízist a hulladéklerakóra, melyben tárgyalom a napelemes rendszer pozitív vonzatai mellett az esetlegesen felmerülő problémákat, illetve megoldást is próbálok rájuk nyújtani. Mindezek után ismertetni kívánom az általam végzett számításokat a hulladéklerakó I.ütemének napelemesítésével kapcsolatban, illetve be szeretném mutatni a hulladéklerakó opcióit a hibrid üzem tekintetében, majd javaslatot adok különböző tárolókapacitások alkalmazásához.

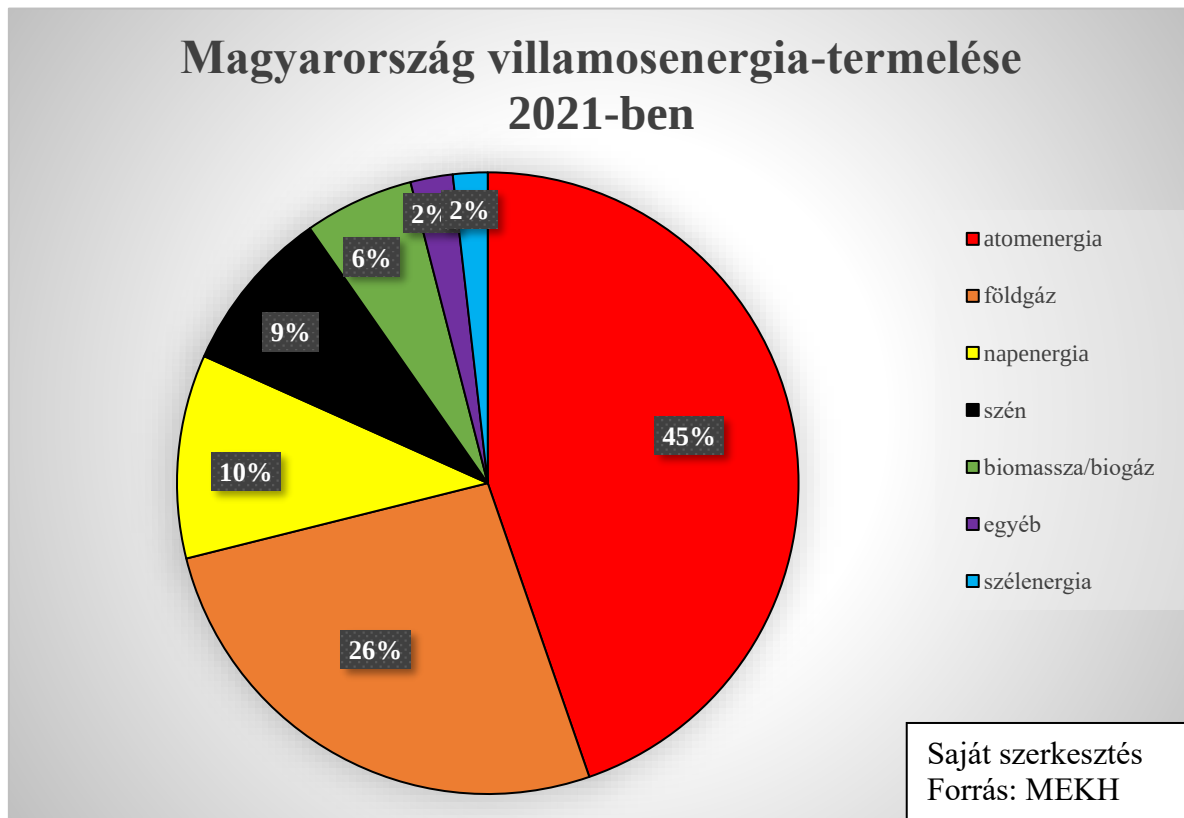
Végezetül, összegzem a tanulmány eredményeit, és következtetéseket vonok le.

2. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK AKTUÁLIS HELYZETE MAGYARORSZÁGON

2.1 Magyarország energiamixe

Hazánkban jelenleg a teljes energiamixet tekintve 14,1% a megújuló energiaforrások részaránya, a bruttó végső energia fogyasztáson belül. Ebből a hazai ellátást tekintve a legjelentősebb termelő a biomassza volt közel 8%-kal, ezt követték az egyéb éghető megújuló anyagok (pl.: biodízel, biobenzin, biogázok, megújuló hulladék, stb...) 3,15%-kal, majd a naperőművek 1,25%-kal. Nagyon fontos itt megjegyezni, hogy hazánk legjelentősebb megújuló energiaforrását, a biomasszát, ahol is elsősorban tűzifára kell gondolni, tetemes hányadban hőenergia előállítására használjuk, így érdemes ilyen téren ketté választani az energiamixet, hő, illetve elektromos áram termelésre. Így tekintve a rendszert azt láthatjuk, hogy a hazai bruttó

végső villamosenergia-fogyasztásban a megújulók részaránya 13,7%, míg a bruttó végső hőenergia-fogyasztásban 18% (MEKH, 2022a). Miután a tanulmány elsősorban a villamosenergia-termelésre van kiélezve, így a továbbiakban ezt a szekunderenergiát fogom vizsgálni, illetve szemléltetem Magyarország villamosenergia-termelését a 2.ábrán.



2. ábra. Hazánk villamosenergia-termelése 2021-ben

2.2 Napenergia

Hazánk villamosenergia-fogyasztása az önfogyasztással és a hálózati veszteségekkel 48 560 GWh (gigawattóra) volt 2021-ben. Ugyanebben az évben 3793 GWh villamos energiát termeltek az országban telepített 50 kW-nál fotovoltaiikus naperőművek. Ez azt jelenti, hogy a napelemek az ország villamosenergia-ellátásának csaknem 7,8%-áért felelősek. Ha ehhez még hozzáadjuk a háztartási méretű kiserőműveket (HMKE), illetve a többi 50 kW-nál kisebb méretű fotovoltaiikus erőművet, akkor ez a szám már eléri a 10,6%-ot, miután hazánkban csak ezen napelemes kiserőművek 1370 GWh villamos energiáért felelősek (MEKH, 2022b). Míg 2021-ben a napelemes rendszerek bruttó beépített kapacitása 2954 MW köré volt tehető, addig ez mára, 2022 októberére már 3678 MW lett, tehát kevesebb, mint 1 év alatt több mint 500 MW-tal növekedett a bruttó beépített kapacitás (MAVIR, 2022).

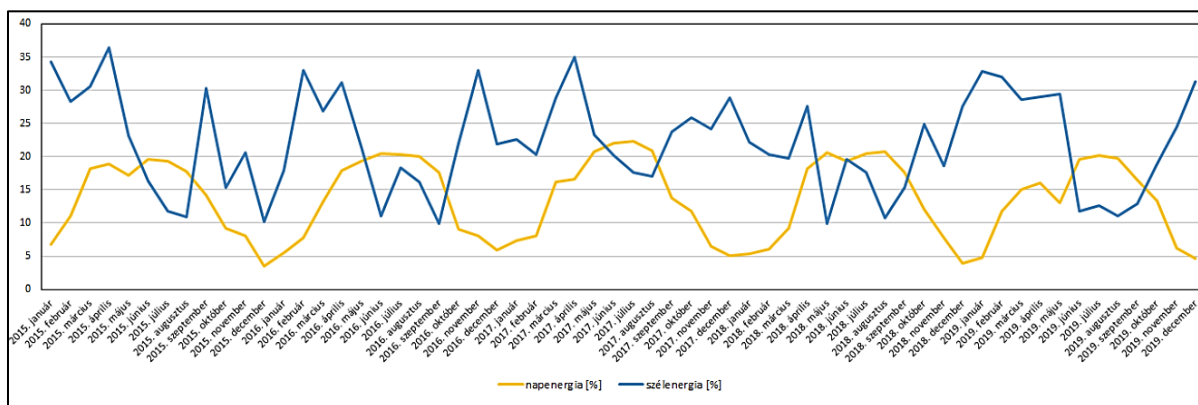
Magyarország Kormánya 2022. 10. 26.-án hivatalosan is bejelentette, hogy: „A 2022. október 31. napját megelőzően tett igénybejelentések alapján megvalósított háztartási méretű

kiserőművek a közcélú hálózatra feltáplálhatnak.”, viszont az azt követő időszakban már nincs erre lehetőség, ezzel pedig drasztikusan megnő a HMKE-k várható gazdasági megtérülési ideje. A Kormány elősorban azzal indokolta a döntést, hogy a hálózat már nem bírja a rendszerterhelést, fejleszteni kell a villamosenergia-rendszert (A KORMÁNY 413/2022. (X. 26.) KORM. RENDELETE A VESZÉLYHELYZET IDEJÉN A HÁZTARTÁSI MÉRETŰ KISERŐMŰVEK KÖZCÉLÚ HÁLÓZATBA TÖRTÉNŐ FELTÁPLÁLÁSÁNAK KÉRDÉSEIRŐL, 2022). Ugyan ezen okból a MAVIR már sokkal hamarabb leállította a nem HMKE telepítését, tehát az 50 kW-nál nagyobb rendszereket. 2021 áprilisa óta a MAVIR nem ad ki csatlakozási jogosultságot a kereskedelmi célú napelemes erőműveknek, illetve 2022 májusában kihirdetett kapacitástenderben 0 kW szabad kapacitást írtak ki. A MAVIR közleményében olvasható *„újabb csatlakozási igény egyedi eljárás keretében, valamint az időjárásfüggő erőművek esetén a jogszabályi előírások szerinti, ügynevezett mentességi feltételek vállalása esetén fogadható be.”* (MAVIR, 2022a), azonban ennek határidejét a Kormány egészen 2023 február 1. napjáig halasztotta, így újabb napelemes erőműveket azóta se lehet telepíteni (A KORMÁNY 433/2022. (XI. 2.) KORM. RENDELET A VILLAMOS ENERGIÁRÓL SZÓLÓ 2007. ÉVI LXXXVI. TÖRVÉNY VESZÉLYHELYZET IDEJE ALATT TÖRTÉNŐ ELTÉRŐ ALKALMAZÁSÁRÓL, 2022).

2.2.1 Napelemek kapacitásfaktora hazánkban

A napelemekkel történő villamosenergia-termelésnek több fontos faktora is van. A teljesség igénye nélkül, ilyenek, a napsütéses órák száma, a globálsugárzás mértéke, a napelemek tájolása és dőlése, a nap beesési szöge, az árnyékoló hatás, a napelemek felületének szennyezettsége, a napelemek hőmérséklete, technológiája, hatásfoka, a napsugarak légkörben megtett távolsága, stb... (VÉGHELY T, 2012) A rengeteg tényezőt azonban jól össze lehet foglalni két számértékkel, melyek az adott napelem névleges teljesítménye (wattban megadva), illetve az adott projektre jellemző átlagos kapacitásfaktor (%-ban megadva). A kapacitásfaktor (vagy a magyar szakirodalomban sokszor „kihasználási tényező”) egy olyan érték, mely két másik érték, a napelem által gyakorlatilag, illetve elméletileg megtermelt energia (100%-os kihasználtságot feltételezve) hányadosából áll elő. Miután az időjárás folyamatos változásban van, illetve egyik év sem ugyan olyan, mint az azt megelőző, így a kapacitásfaktor értéke évről évre minimálisan, de eltérő lehet. Azonban a sokéves átlagot tekintve kijelenthető, hogy Magyarországon a

napelemek kapacitásfaktora nyári 20%, illetve téli 5-10% körül mozog, melyet a 3.ábra szemléltet (MUNKÁCSY B. et al., 2020).



3. ábra. A napelemek és szélturbinák havi kapacitásfaktorainak változása (%)

Magyarországon 2015-2019 közötti időszakra vonatkozóan (MUNKÁCSY B. et al., 2020)

Az Európai Bizottság gondozásában megjelent PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System, vagy magyarul Fotovoltaikus Földrajzi Információs Rendszer) alkalmazás 5.2-es verziója, melyben pontosan megadhatóak a naperőmű adatai (lokáció, dőlés, rendszerveszteség, technológia, stb...), egy 1 kW_p-os rendszer esetében (optimalizált dőléssel, 38°), ~1450 kWh megtermelt energiát állapított meg, ami az (100%-os kihasználtságot feltételezve, azaz 8760 kWh) elméleti maximum megtermelhető energia ~16,55%-a (EURÓPAI BIZOTTSÁG, 2022). A 3.ábra emellett azt is jól szemlélteti, hogy:

- a) napelemes rendszerek termelésre évről-évre minimálisan de eltérő, illetve
- b) hónapos bontásokban is óriási különbségek figyelhetők meg (nem is beszélve a napi bontásról...).

2.3 Depóniagáz

Jelen vizsgálat szempontjából nem csak a napelemes termelés lehetőségét szükséges vizsgálni, de azt is, hogy a napelemek időjárás és napszak függvényében változó termelése milyen módon volna jobban illeszthető a villamosenergia-rendszer változó igényeihez. A hulladéklerakókon, így a tanulmány vizsgálata alá eső Pusztazámori Hulladéklerakón is, a kommunális hulladék szervesanyag tartalma miatt, folyamatosan depóniagáz keletkezik. Így pedig, a tanulmányban igen fontos szerepet kell tulajdonítanunk ennek az anyagnak, hisz megfelelő hasznosításával támogatható a napelemek rendszerintegrációja.

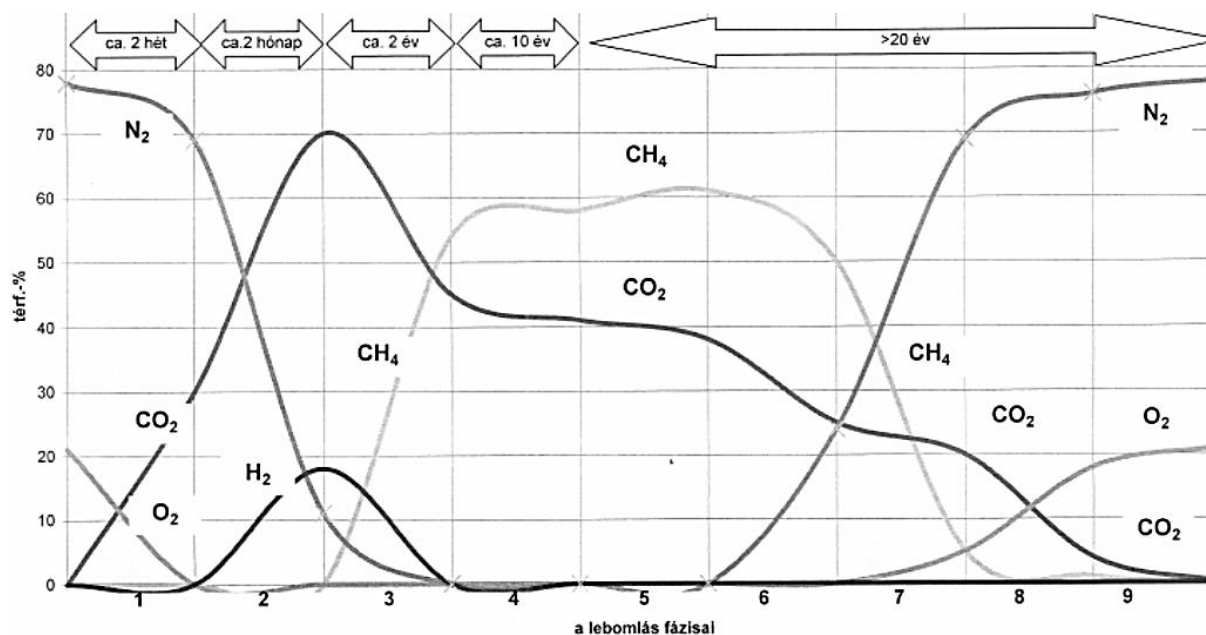
2.3.1 Depóniagáz jellemzése

„A depóniagáz, a biogáz egyik specifikus változata, mely a kommunális hulladéklerakókon keletkezik, hasznosítása pedig energetikai, hulladékgazdálkodási és fenntarthatósági szempontból is kedvező folyamat.” (MUNKÁCSY B. et al., 2014)

2.3.2 Keletkezés

A depóniagáz, a hulladéklerakók szerves anyagának anaerob bomlásából származó biogáz, mely a hulladéklerakást követő néhány hónap elteltével kezd keletkezni. A folyamatban kulcsfontosságú szerepet játszanak a metanogén baktériumok, melyek a szerves anyagokat lebontva metánt termelnek. A depóniagáz keletkezését tekintve 5 fázist lehet elkülöníteni, melyet a 4. ábra szemléltet:

1. Aerob bomlás (a hulladék elhelyezése után közvetlenül, megrekedt O_2 a szemétben, illetve a légkörből beszivárog, kb. 2 hét)
2. Anaerob bomlás kezdete (O_2 lassan elfogy, N_2 szint csökken, CO_2 nő, H_2 megjelenik, kb. 2 hónap)
3. Metanogén fázis (megjelennek, majd elszaporodnak a metanogén baktériumok, CH_4 koncentráció növekszik, CO_2 , N_2 , H_2 „kárára”, kb. 2 év)
4. Stabil metán fázis (CH_4 szint 40-60% körül stabilizálódik, szinte csak CO_2 marad ezen kívül, a gazdaságos kitermelés ideje, kb. 15-20 év)
5. „Hanyatlás” (szerves anyag elfogy, emiatt a CH_4 szint csökken, már nem gazdaságos a kinyerés) (WOPERÁNE SERÉDI Á. - TANKA S., 2011)

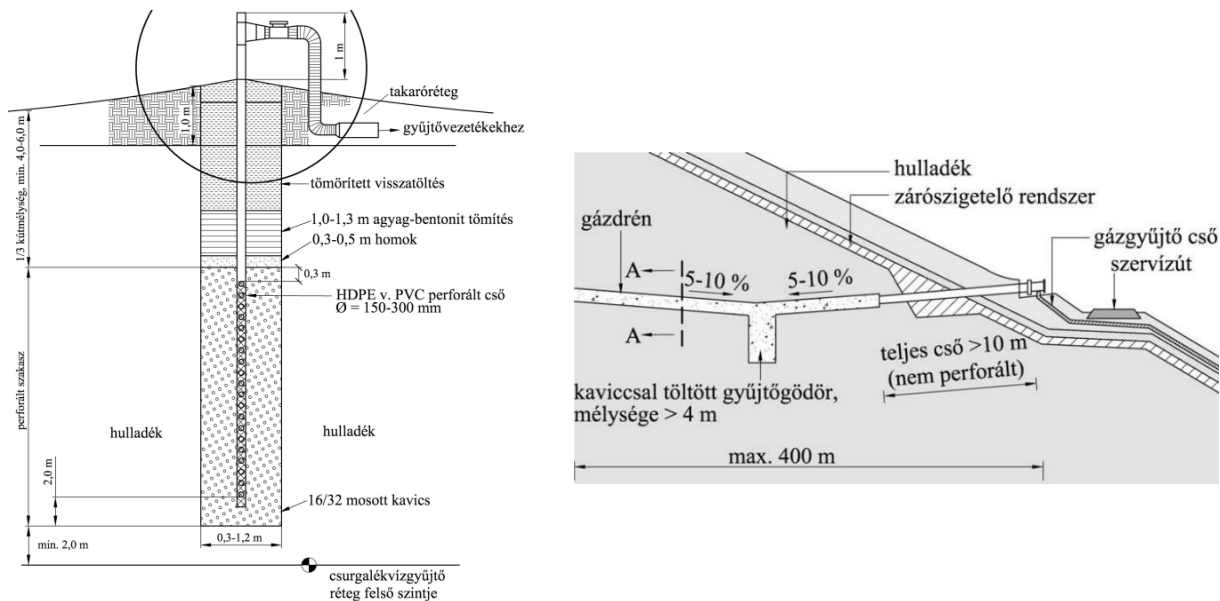


4. ábra. A depóniagáz képződésének folyamata (WOPERÁNE SERÉDI Á. - TANKA S., 2011)

2.3.3 Kinyerés

A termelődő depóniagáz kinyerése nem csak egy lehetőség a hulladéklerakó számára, hanem egyenesen kötelezettség, melyet az Európai Unió Tanácsának 1999/31/EK irányelve mond ki, miszerint: *„A lerakóban termelődő gázt minden olyan hulladéklerakóban gyűjteni kell, amelyben biológiaiilag lebontható hulladékot fogadnak. A gázt kezelni és hasznosítani kell. Ha az összegyűjtött gázból nem lehet energiát nyerni, azt fáklyában kell elégetni.”* (AZ EURÓPAI UNIÓ TANÁCSÁNAK 1999/31/EK IRÁNYELVE, 1999). Továbbá pedig, a magyar jogszabályi rendszerben, a 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet (1.sz melléklet 5. bekezdés) kimondja, hogy: *„Ha a lerakómedencében a lerakott hulladékból gázképződés lehetséges, gondoskodni kell a keletkező hulladéklerakó-gázok rendszeres eltávolításáról, gyűjtéséről és kezeléséről. A B3 kategóriájú hulladéklerakón (amilyen a Pusztazámori is...) a biológiaiilag bomló összetevőkből képződő gázok kezelésére minden esetben ki kell alakítani a gázkezelő rendszert.”* (20/2006. (IV. 5.) KvVM RENDELET A HULLADÉKLERAKÁSSAL, VALAMINT A HULLADÉKLERAKÓVAL KAPCSOLATOS EGYES SZABÁLYOKRÓL ÉS FELTÉTELEKRŐL, 2006).

A keletkező gáz kinyerésének több módja is létezik. A két legáltalánosabb, és egyben költséghatékonyabb módszer, a vertikális, és a horizontális fűrés. Mindkét esetben, a már átmeneti rekultivációval ellátott hulladéklerakóba fűrnak gázkinyerő kutakat, legfőbb különbségük, – a fűrés tengelyén túl – a fűrésok számában és költségében van. Míg a vertikális fűrés olcsóbb, viszont több fűrt kútra van szükség, addig a horizontális fűrés drágább, de kevesebb a fűrt kutak száma (a két lehetőség a 5.ábrán van szemléltetve). Napjainkban már gyakran preferált módszer a kutak fűrése helyett, hogy a hulladéklerakók kialakítása (aktív hulladéklerakás) közben építsék be azokat. Ilyen esetben effektívebb a kinyerés, azonban kialakításuk sok tervezést igényel. Emellett a gáz kinyerését elősegítendő, az aktív kinyerési módok használata, ahol a gáz nem csak a túlnyomásból eredően jut a kutakhoz (passzív kinyerés), hanem ventilátorokkal, szívó egységekkel is segítjük azt. Az egyes hulladéklerakók több aspektusban is eltérhetnek egymástól, így a kinyerés módja minden esetben komoly tervezést igényel, és területspecifikus (MOLNÁR T. G., 2012; SCHARFF, 2019; SZABÓ I. - SZABÓ A., 2012; USEPA, 2021).



5. ábra. Egy vertikális (bal) és egy horizontális kút (jobb) tervezete (SZABÓ I. - SZABÓ A., 2012)

2.3.4 Hasznosítás

A kinyert depóniagázt, a hasznosítás tekintetében, két részre bonthatjuk. A gazdaságos, és a nem gazdaságos hasznosításra. A magyar jogszabályi környezet kötelezi is a lerakók egy részét a kinyert depóniagáz használatára. A 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet (1.sz melléklet 5. bekezdés) kimondja, hogy: „A B3 kategóriájú hulladéklerakón nemcsak az elvezetésről kell gondoskodni, hanem mindaddig, amíg a keletkező gáz gazdaságosan hasznosítható, gondoskodni kell a hulladéklerakó-gáz felhasználásáról. Ha a hasznosítás nem gazdaságos, akkor gondoskodni kell a gáz biztonságos ártalmatlanításáról (pl. fáklyázással történő elégetéséről).” (20/2006. (IV. 5.) KvVM RENDELET A HULLADÉKLERAKÁSSAL, VALAMINT A HULLADÉKLERAKÓVAL KAPCSOLATOS EGYES SZABÁLYOKRÓL ÉS FELTÉTELEKRŐL, 2006). A gazdaságosan hasznosítható depóniagáz metánkoncentrációja minimum 30-35%, mivel ezen érték alatt a gáz alkalmatlan az önálló égésre (WOPERÁNÉ SERÉDI Á. - TANKA S., 2011). Ekkor hőenergia előállítására tudjuk hasznosítani (pl.: gázbojlerekben vizet melegíteni). Gázmotorokban történő eltüzelésre a metánkoncentráció elméleti minimuma 45%, a gyakorlatban azonban célszerű, ha meghaladja a 60%-ot (MOLNÁR T. G., 2012). Gázmotorokban történő elégetéskor alkalmazhatunk kogenerációt (kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés), így pedig akár 85% fölötti hatékonysággal is tudunk energiát termelni. A depóniagáz minden esetben tartalmaz vízgőzt, illetve más szennyező anyagokat (elsősorban CO₂-ot), melyek akár képesek korrodálni a gázmotort is. Ezek az anyagok megfelelő monitoring mellett kimutathatóak, ezáltal leválaszthatóak a biogázzal. A vízgőzt

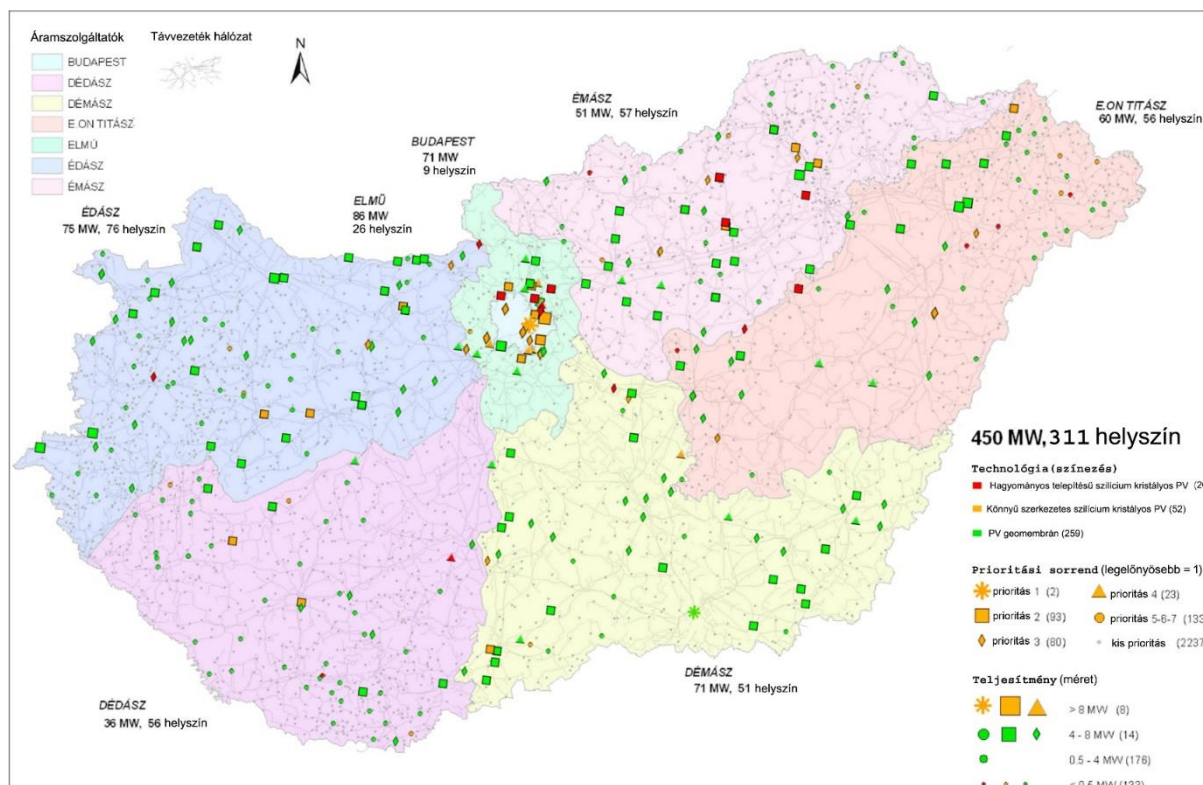
leegyszerűbben a gáz kondenzációjával tudjuk leválasztani, az egyéb ballasztanyagokat pedig több módszerrel is. A CO₂-ot, amely az összes ballasztanyag $\geq 95\%$ -át alkotja, leghatékonyabban vízes szeparációval elkülöníthető, ahol magas nyomáson a depóniagázt vízzel elegyítik, így a CO₂ a vízzel szénsavat képez. A megtisztított, közel 100% metántartalmú biogáz, más néven biometán, alkalmas a közvetlen energetikai hasznosításon túl a gázhálózatra való feltáplálásra, vagy CNG-üzemű járművek működtetésére is. A depóniagáz tisztításának mértéke, és felhasználása minden esetben területspecifikus, és szintén komoly tervezést igényel (BAI A., 2011; MOLNÁR T. G., 2012; I. SZABÓ I. - SZABÓ A., 2012; WOPERÁNE SERÉDI Á. - TANKA S., 2011).

2.3.5 Napelemek és gázmotorok hibrid üzeme

A napelemekkel és biogázzal történő energiatermelés legfontosabb eleme, azok integrált kezelésében rejlik. Megfelelő méretezés esetén, a két rendszer jól ki tudja egymást egészíteni, így pedig maximalizálni tudjuk vele mind a napelempark, mind pedig a biogáz által termelt energiát, miközben minimalizáljuk a költségeket. Ez egy hulladéklerakó esetében is megvalósul, sőt, ebben az esetben a napelemek által termelt többletenergia számos egyéb feladatra is alkalmas. A plusz energia segítségével képesek vagyunk kitermelni a keletkező depóniagázt, tudjuk működtetni a csurgalékvíz elvezetést és tisztítást, a depóniagáz tisztítást, biztosíthatjuk részben a telephely energiaellátását. Emellett, a közös villamosenergia-termelés miatt, képesek vagyunk kiegyengetni a napelempark termelésének ingadozásait, így jobban tudunk alkalmazkodni a fogyasztói igényekhez. Ezáltal a kiépített napelemes rendszer jóval egyszerűbben beleilleszthető a villamosenergia-rendszerbe is. Annak köszönhetően, hogy a naperőmű energiát takarít meg a lerakónak, rengeteg depóniagázt „spórol”, ezáltal sokkal megbízhatóbb készletek fognak a gázmotorok rendelkezésére állni. Így, a hulladéklerakó akár képes lehet csúcserőműként is funkcionálni, ezzel extra bevételeket szerezve. Emellett a napelemek növelik a gázmotorok életciklusát is, hisz sok esetben nem lesz szükség az addig általuk termelt energiára. A depóniagáz kitermelés és tisztítás révén pedig a napelempark többletenergiáját képesek vagyunk eltárolni, akár biometán, vagy BioCNG formájában, akár zöld hidrogénben. Buragohain et al. (2021) számításai szerint, míg a hibrid üzem optimális esetben 0,21\$/kWh-ért termelt villamos energiát, addig a két rendszer egyedülállóan csak 0,15\$/kWh-ra volt képes. Emellett a diszkontált megtérülési ideje a hibrid üzemnek rendre 6,45 és 17 év közé esett, míg a különálló rendszereknél ez 16,7 és 24,6 év között volt (BURAGOHAIN et al., 2021; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ et al., 2014; S. SZABÓ et al., 2017; USEPA - NREL, 2022).

3. A MAGYARORSZÁGI HULLADÉKLERAKÓK ÁLTALÁNOS FOTOVOLTAIKUS POTENCIÁLJA

Magyarországon jelenleg körülbelül 51 km² az a terület, melyen legális hulladéklerakó üzemel a KSH adatai szerint (KSH, 2018). Ezzel szemben egy 2017-es tanulmányban Szabó et al. ugyan ezt az értéket 30 km²-ben határozták meg, melyet összesen 2568 hulladéklerakó összeterületéből számoltak ki, illetve ugyanebben a tanulmányban meg is határozzák a magyarországi hulladéklerakók potenciális fotovillamos teljesítményét is, összesen 450 MW-ban, ez a legkedvezőbb adottságú 331 hulladéklerakóra telepített napelemek teljesítménye, ahol Szabó et al. a számítás során 1,5 ha/MW fajlagos értékkel számoltak, majd a kapott eredményeket térképre vitték, mely a 6.ábrán látható (SZABÓ S. et al., 2017). Amennyiben Szabó et al. közel pontos adatokat állapítottak meg, úgy ez azt jelenti, hogy csak a hulladéklerakókra elhelyezhető napelemes rendszerek kapacitása eléri a napjainkban telepített bruttó összkapacitás több, mint 12%-át. Azonban fontosnak tartom megjegyezni, hogy a PV technológia rohamos fejlődése mellett 5 év rengeteg idő, így a 2017-ben számított 450 MW teljesítmény mára már jóval magasabb értékeket is mutathat, abban az esetben, ha az alkalmasnak minősített hulladéklerakók számában nem volt érdemi visszaesés ugyanezen időszak alatt. Ha pedig az 50 kW-nál nagyobb fotovoltaikus erőművek 3-4 éves telepítési trendjét vesszük figyelembe, azt is kijelenthetjük, hogy a hulladéklerakókra helyezett napelemes rendszerek összteljesítménye közel azonos a Magyarországon 1 év alatt telepített napelemes rendszerek összteljesítményével (MAVIR, 2022).



6. ábra. A Szabó. et al. (2017) által készített térkép, a Magyarországon fekvő, fotovoltaikus energiatermelésre alkalmas hulladéklerakókról

4. A REKULTIVÁLT HULLADÉKLERAKÓK FOTOVOLTAIKUS HASZNOSÍTÁSÁVAL JÁRÓ ELŐNYÖK

4.1 Közvetlen előnyök

A hulladéklerakók napelemesítése egy barnamezős beruházás, így nem kell értékes termőföldeket feláldozni energetikai célú beruházásra, vagy épp hazánk tájait, tájképét rombolnunk. Emellett egyéb gazdasági, környezeti, és társadalmi előnyökkel is jár egy ilyen rendszer megépítése.

A hulladéklerakók nagy, nyitott terület biztosítanak, ahol minimális, vagy egyáltalán nincs árnyékoló hatás, így a napelemek optimális tájolása ilyen téren nem ütközhet problémába. A táj és tájképromboláson túl a városi látképet sem változtatja meg, hisz a hulladéklerakók nem a város közvetlen közelében kapnak helyet, emellett pedig a környezet más jellegű károsítása sem jöhet szóba, hisz a legális hulladéklerakók működésük ideje alatt minden esetben el vannak kerítve a külvilágtól, illetve rendszeres felügyelet alatt állnak. A rendszeres monitoringból és elkerítésből kifolyólag, nem kell külön kerítést építeni a napelemes rendszer köré, ezzel óvva

annak biztonságát, mindezen túl nem kell külön személyzetet sem fenntartani a rendszer őrzése végett. Ezen felül nincs szükség különböző utak megépítésére, betonozására, hisz a hulladéklerakó esetében ez alapvető követelmény, ezzel is csökkennek a szükséges kiadások a telepítésnél. Mindemellett, egy legális hulladéklerakó minden esetben fel van csatlakoztatva az elektromos hálózatra, annak külön kiépítése nem, vagy csak részben terheli a napelemes beruházást, illetve, ha a hulladéklerakón depóniagáz-kinyerés mellett energetikai felhasználás is történik (gázmotorokban), akkor a villamosenergia-hálózatot még feljavítani sem kell minden esetben, elég kisebb átalakításokat végezni azon, hogy alkalmas legyen a napelemes kapacitások befogadására (SZABÓ S. et al., 2017)

4.2 Közvetett előnyök

A hulladékgazdálkodási oldalról vizsgálódva, a napelemes rendszerek telepítésének fő előnye, hogy összekapcsolja a hulladékot és az energiát, ezzel esélyt biztosít azok integrált kezelésére. Egy megfelelően elhelyezett fotovillamos rendszer lehetőséget ad arra, hogy a hulladéklerakó tulajdonosa addig elérhetetlen pénzüsségeket tudjon megszerezni, ezzel érdekeltté lehet tenni az üzletben, és az így befolyt pénzüsséget vissza lehet forgatni a hulladéklerakóba. Emellett abban az esetben amikor egy hulladéklerakó megkezdí működését, számos drága eljárást kell elvégezni, ilyen a felső hulladékréteg takarása, vízzárásának biztosítása, az esetleges előre nem látható költségek (melyek például jelentkezhetnek üzemi hibákból) megfizetése, stb... Azonban nem minden esetben van megfelelő pénzügyi háttér mindezek fedezésére. Szabó et al. tanulmányában leírja, hogy a telepített napelemfarmból származó bevételek viszont alkalmasak mindezek finanszírozására, emellett megfelelő mennyiségű elektromos áramot biztosít a hulladéklerakónak, legyen itt szó a csurgalékvíz szivattyúzásáról, a terület kivilágításáról, felügyeletéről, a depóniagáz kitermeléséről, vagy akár a logisztikai rendszerről (pl.: számítógépek, hídmérlegek, légkondicionálók áramellátása), így nem kell külön elektromos áramot vásárolnia mindezek fenntartására. Azáltal pedig, hogy a hulladéklerakónak többlet bevételt teremtünk, nem csak gazdaságilag segítjük annak működését, hanem környezeti vagy épp társadalmi szempontból is előnyei vannak. Ilyen például, hogy, a hulladéklerakónak több lehetősége lesz a környezetvédelmi szempontok betartására, legyen itt szó a csurgalékvíz megfelelő gyűjtéséről és tisztításáról, a depóniagáz szivattyúzásáról, a talaj monitoringról, vagy az esetleges hibák, károk elhárításáról, javításáról (pl.: a sérült takaróréteg pótlása, javítása). Így drasztikusan csökken az esélye az esetleges környezetkárosításnak, mint a nehézfémek bejutása a talajba majd a talajvízbe, vagy a nem megfelelően takart szemét kijutása a külső környezetbe. Emellett a telepített napelemekkel munkalehetőséget is biztosítunk, hisz a

telepítéstől kezdve, az időközönkénti karbantartáson át, a tisztításig, minden munkafolyamathoz emberekre van szükség, így akár a helyi lakosság is profitálhat a projektből. Nem beszélve arról, hogy azáltal, hogy a napelemek többletenergiát termelnek a hulladéklerakónak, rengeteg depóniagázt "megspórolnak", amit különben a gázmotorokban el kellett volna égetni, hogy fenntartsák a létesítményt. Így pedig ezt a gáz esetlegesen a lakosság részére lehet bocsátani, vagy a gázmotorokban kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés útján elégetve, helyben előállított villamos energiával lehet ellátni a környező települést/településeket, emellett pedig a távhőszolgáltatás kialakítására is nagyobb lehetőséget ad. Mindez pedig végső soron csökkenti a környezetterhelést, növeli az ellátásbiztonságot, helyi zöld energiával látja el a lakosságot és minimalizálja a terület energiafüggőségét is (SZABÓ S. et al., 2017; CIRIMINNA R. et al., 2018; MUNKÁCSY B. et al., 2021) .

5. KÜL- ÉS BELFÖLDI PÉLDÁK HULLADÉKLERAKÓKON TELEPÍTETT FOTOVOLTAIKUS RENDSZEREKRE

5.1 Külföldi példák

A legtöbb ilyen rendszert a világon az Amerikai Egyesült Államokban találjuk, ahol a 2000-es évektől kezdve több ilyen projekt is kivitelezésre került. Az első ilyen rendszert New Jersey államban, azon belül is Paulsboro városában alakították ki még 2002-ben (a napelemek összteljesítménye 276 kW)(SZABÓ S. et al., 2017). 2020-ra csak New Jersey államban 20 hulladéklerakót napelemesítettek, emellett 10 másik kialakítása volt már tervben (NEW JERSEY DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION DIVISION OF SOLID AND HAZARDOUS WASTE, 2020). Egy másik korai, nem az USA-ban létesült ilyen rendszer, Jeonju-ban található, Dél-Koreában, melyet 2008-ban adtak át, a napelempark teljesítménye 2 MW, emellett pedig a napelemek egytengelyű napkövetésre is képesek (SZABÓ S. et al., 2017). Az USA nem csupán a hulladéklerakók napelemesítésében számít pionírnak, de 2009 áprilisában itt, Texas államban, azon belül is San Antonio közelében adták át a világ első flexibilis geomembrán PV rendszerét, amely 130 kW villamos teljesítménnyel rendelkezik, mely a 7.ábrán látható (SAMPSON G., 2009; CIRIMINNA et al., 2018).



7. ábra. Geomembrán (flexibilis) PV a Tessman Road-i hulladéklerakón Texasban (SAMPSON G, 2009)

Európa területén is sok példával találkozhatunk ilyen és hasonló rendszerek terén, például a 2009-ben átadott Fitoi hulladéklerakó Franciaországban, vagy a szintén ekkor telepített rendszer Bochumban, Németországban. Németország emellett még sok másik hasonló vállalkozást is véghez vitt, ilyen az egyik első rendszer, a 2003 és 2004 közt üzembe helyezett 1 MW teljesítményű napelempark Atzenhofban, Bajorországban, mely 250 háztartás energiaellátását biztosítja évente, vagy a szintén bajorországi Erbenschwangban telepített erőmű is (SZABÓ I. et al., n.d.). Az Atzenhofban telepített napelemes rendszer alább, az 8. ábrán látható.



8. ábra. Atzenhofi hulladéklerakón telepített 1 MW-os napelempark (készítette: Hajo Dietz)

2011-ben szintén Németországban adtak át egy rendszert Heckfeldben, amely évi 2 GWh villamos energiát is megtermelt. Európa legnagyobb hulladéklerakó telepén Malagrottában, Olaszországban is létesítettek egy 1 MW villamosteljesítményű rendszert, mely teljesítmény 2/3-ad részét vékonyrétegű napelemek képviselték. Emellett Olaszországban épült meg egy igen jelentékeny teljesítménnyel bíró napelempark Rezzatoban, amely 7 MW-os, és több, mint 23 000 darab napelemből áll, melyek egyesével 300 W fölötti csúcsteljesítménnyel bírnak, délre tájoltak. 2017-ben pedig Máltán, a maghtabi hulladéklerakóra telepítettek egy 5 MW-os rendszert (SANGIORGIO – FALCONI, 2015; SZABÓ S. et al., 2017).

5.2 Belföldi példák

5.2.1 Bogács utcai hulladéklerakó (1 MW)

Napjainkra már Magyarország területén is találunk nem is egy, hanem kettő hulladéklerakóra telepített napelemparkot. Az első ilyen naperőművet még 2019-ben adta át a Miskolci Önkormányzat, ez a Bogács utcai hulladéklerakóra telepített 1 MW-os rendszer, mely 20 hektáron terül el, és fő célja az önkormányzat közintézményeinek ellátása. További célja az önkormányzatnak az volt a beruházással, ahogy a honlapjukon is olvashatjuk, hogy: *„az önkormányzat tulajdonában lévő terület ismét hasznosításra kerüljön, és az új beruházás által rendezettebbé váljon, javítsa a város tájképét, az itt élő emberek közérzetét.”*, tehát egyértelműen pozitív térhasználatról, és megfelelő területhasználatról beszélhetünk. Emellett azt is olvashatjuk a beruházással kapcsolatban, hogy: *„Az erőmű kiépítéséhez kapcsolódnak az irányítástechnikai, védelmi, távközlési és automatika rendszerek, melyek biztosítják az erőmű*

felügyelet nélküli folyamatos üzemeltetését.”, így megállapítható, hogy az erőmű nem igényel többlet figyelmet, felügyeletet, hisz egy modern rendszerrel már a teljes automatizáció is elérhető. A naperőmű 3480 darab monokristályos napelemből áll (egy panel 290 W-os), melyek 58 tartószerkezeten és 406 darab beton alaptesten pihennek, illetve 7 közintézményt látnak el villamos energiával. A beruházás, mely a 9.ábrán látható mintegy 1000 tonnával csökkentette az önkormányzat közintézményeinek CO₂ kibocsátását. A beruházás főbb elemei a: termelői földkábel, transzformálás állomás, transzformátor, kapcsoló berendezés, napelem panelek, 29 db inverter, beton alaptestek és tartószerkezetek. A beruházás bruttó összértéke 770 708 906 Ft, mely 100%-ban vissza nem térítendő támogatásból valósult meg, az Európai Unió és a Magyar Állam közreműködésével, az Európai Regionális Fejlesztési Alapból (MISKOLCI ÖNKORMÁNYZAT, 2019).



9. ábra. A Bogács utcai hulladéklerakóra telepített 1 MW-os napelempark Miskolcon (MISKOLCI ÖNKORMÁNYZAT, 2019)

5.2.2 Csurgói hulladéklerakó (1,5 MW)

A második ilyen napelemparkot 2020-ban adták át Csurgó településén, ez egy 1,5 MW csúcsteljesítményű rendszer. A három hektáron elhelyezkedő naperőművet az ASTRASUN Solar építette, kizárólag saját forrást felhasználva, a teljes projekt megközelítőleg 600 millió forint volt. A cég első alkalommal építkezett rekultivált hulladéklerakóra. Egy könnyű szerkezetes állványzatot használtak, melyen a napelemek pihennek, ami nem tartalmaz beton alapot, kizárólag a földben „gyökérszerűen elágazó” lábazat stabilizálja a teljes rendszert. Amellett, hogy így a beruházás ára csökken, a környezetkárosítás mértéke is kisebb lesz a

betonozás hiányának köszönhetően. A naperőmű az akár 100 km/h-s szélnek is ellenállt bármilyen szerkezeti sérülés nélkül. A rendszer, mely a 10. ábrán látható, a maximális energiatermelés végett, napkövető (horizontálisan), így garantálva minden esetben a legoptimálisabb termelést. A terület rendezettségének fenntartása pedig egy többszörösen előnyös megoldással lett kivitelezve. Úgynevezett „szolárbirkák” legelnek a napelempark területén, mindezzel pedig nem csak az aljnövényzet túlnövését akadályozzák, de a kivitelező így állattartással is tud foglalkozni ugyan azon a pár hektáron, mindemellett pedig a birkák trágyázzák a talajt, ezzel is segítve annak megfelelő körforgását. Ezzel pedig a gazdasági és a társadalmi előnyökön túlmutatva, komoly környezeti előnyökről is beszélhetünk, hisz a rekultivált hulladéklerakón így egy teljes értékű ökoszisztéma tud üzemelni, a napelemekkel maximális összeférhetőségben (HIRADO.HU, 2020; MAGYAR NEMZET, 2020; SOMOGY TV, 2020; SONLINE SOMOGY MEGYEI HÍRPORTÁL, 2020).



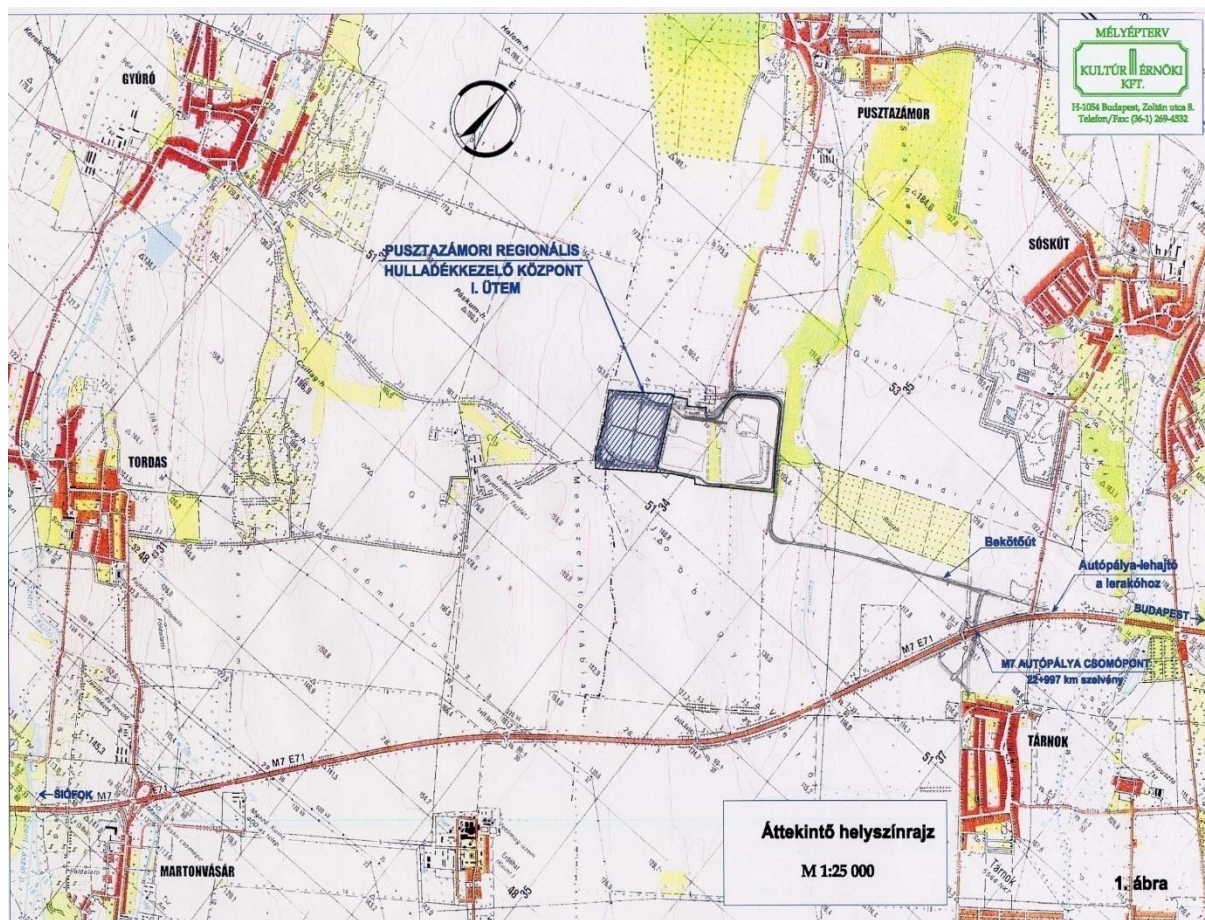
10. ábra. A csurgói hulladéklerakón telepített 1,5 MW-os napelempark (forrás: MTI/Varga György)

6. A PUSZTAZÁMORI HULLADÉKLERAKÓ JELLEMZÉSE:

6.1 Elhelyezkedés

Pusztazámor közigazgatási területéhez tartozik az ország legnagyobb települési szilárd hulladéklerakója, a Pusztazámori Regionális Hulladékkezelő Központ. A fővárostól mintegy 25 km-re, DNY-i irányban található lerakó, igen elszigetelve, Pusztazámor településétől is több, mint 2,4 km-re helyezkedik el. A környező egyéb települések (Tordas, Gyúró, Tárnok, Sóskút, Martonvásár) 3-5 km-es távolságra találhatóak. Megközelítése elsősorban a lerakóhoz kiépített

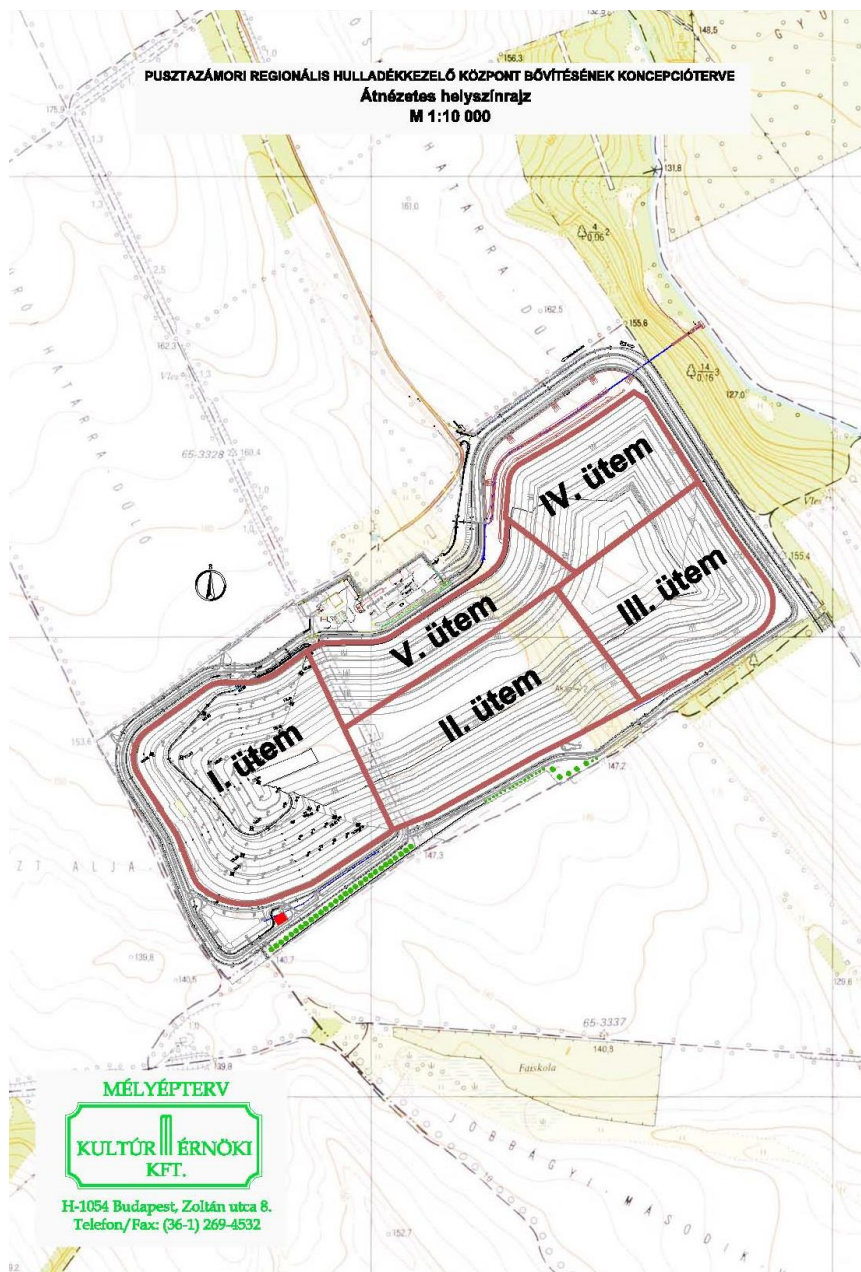
bekötőútról történik, mely közvetlenül az M7-es autópályához csatlakozik, mindezt mutatja a 11. ábrán látható térkép (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018).



11. ábra. A Pustazátori Regionális Hulladékkezelő Központ elhelyezkedése (BKM FKF, 2022)

6.2 Kapacitás

A Pustazátori Hulladéklerakó mintegy 91 hektáros területen helyezkedik el, itt találhatóak többek közt, a hulladéklerakó területen túl, a logisztikai központ, a szennyvíztisztító, a komposztáló tér, és a gázmotorok, stb... A hulladéklerakó területet öt külön részre tudjuk tagolni. Ezek az I-V-ig tartó úgynevezett „ütemek”, melyek a 12. ábrán láthatóak. Ezek az ütemek szolgálnak a területre szállított szilárd hulladék lerakására és ártalmatlanítására. Az ütemek összesen 62,3 hektáros területet foglalnak el, és összesen körülbelül 19,5 Mm³ (millió köbméter) hulladékot képesek befogadni (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018).



12. ábra. A Pusztazámori Hulladéklerakó bővítésének koncepciója (BKM FKF, 2022)

Kiemelendő azonban, hogy napjainkban már több éve egy zöldhulladék gyűjtő és komposztáló egység található az V-ös ütem területén. Amennyiben az ütem a későbbiekben sem kerül feltöltésre, akkor a lerakható hulladékbefogadásra alkalmas térfogata csak $\sim 13,4 \text{ Mm}^3$ lesz. Alább látható a 13. ábrán a hulladéklerakó majdani látképének terve.



13. ábra. A teljes egészében rekultivált lerakó elméleti látképe (BKM FKF, 2022)

A főváros által éves szinten megtermelt mintegy 700 000 tonna települési szilárd hulladéknak igen nagy részét, körülbelül 420 000 tonnát termikusan hasznosítanak a Fővárosi Hulladékhasznosító Műben, a maradék nagyjából 40%-át pedig a Pusztazámori Hulladéklerakón helyezik el. Mindemellett a termikus hasznosítás végtermékét, az égetés után megmaradó hamut is a hulladéklerakón helyezik el, mint takaróanyag. Az évente lerakott körülbelül 280 000 tonna szilárd hulladék, amit a lerakón folyamatosan tömörítenek, mintegy 350 000 tömör m³-t tesz ki, mellyel a lerakó egyes ütemeinek „élettartama”, azaz, hogy hány évig képes fogadni a hulladékot, kiszámítható. Az egyes ütemek működési ideje, területei, illetve a művelés tervezett kezdete, és a lerakott hulladék mennyisége az *I. táblázat*-ban olvasható. A mára már ideiglenesen rekultivált I-es ütem még 2000-ben kezdte meg működését, majd 2012 decemberére érte el a teljes feltöltöttségét. Ekkor nyitották meg a még ma is aktív II-es ütemet, mely az eredeti tervszerint 2022-ben fejezné be működését, azonban mára már biztos, hogy ez csak 2024.- végére, 2025. elejére fog bekövetkezni. A III. ütem tervezett megnyitása így biztos, hogy később fog megtörténni, ezáltal pedig – mivel a III. ütem kialakításakor nyert talajt használják az I. ütem végleges rekultivációjához – az I. ütem is később kapja meg a végleges rekultivációt (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018).

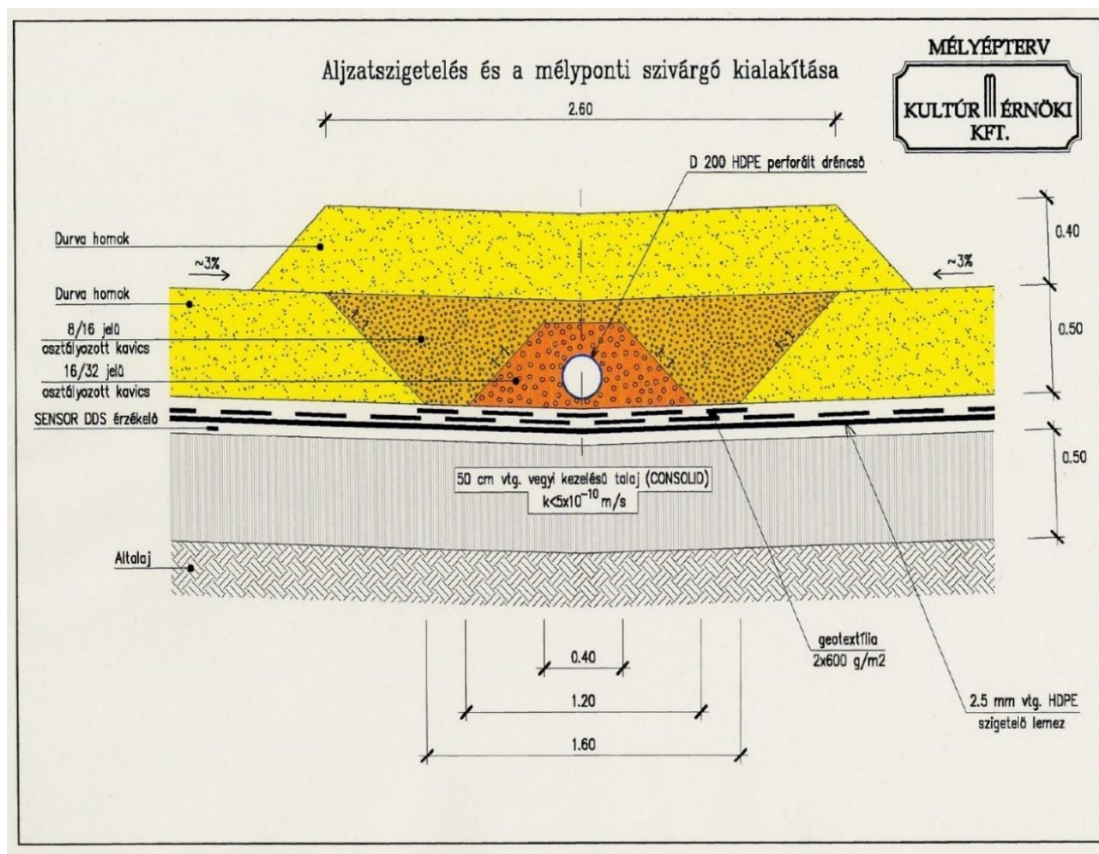
1. táblázat. Hulladéklerakó tervezett kapacitása és működési időtartama (BKM FKF, 2022)

	Mérték egység	I. ütem	II. ütem	III. ütem	IV. ütem	V. ütem	Összesen
Lerakótér területe	ha	18.3	15.8	12.4	8.9	6.9	62.3
Depónia hulladék térfogata	Mm3	3.8	3.5	3.6	2.5	6.1	19.5
Üzemeltetési idő	év	12	12	12	8	20	64
Üzembe helyezés	év	2000	2013	2025	2037	2045	

6.3 Műszaki védelem

A már műszaki védelemmel ellátott lerakótér minden környezetvédelmi előírásnak megfelel. A lerakótér fenékszintje alatt több tíz méteren át agyagos talajréteg található, illetve legfelső fél méteres agyagréteg bentonittal is kondicionált. Emellett a jelenleg is üzemelő második ütemet plusz vízzáró réteggel is ellátták (bentonit paplan). Ezt az ásványi szigetelést 1000 db geofizikai szenzorból álló érzékelő hálózattal borították, majd efölé helyezték el a HDPE (High-Density Polyethylene, magyarul nagy sűrűségű polietilén) réteget. A 2,5 mm vastag HDPE réteggel mind a medence fenékszintjét, mind pedig a töltések rézsűit takarták. Ezt követően egy geotextil védőréteget is elhelyeztek, majd erre hordták rá az I. ütem esetében a 0,5 m vastagságú durva homok szivárgóréteget (a II. ütem esetében ez a 16/32 kavicszivárgó réteg). A beépített szenzorhálózat és talajvízfigyelő kutak még a hulladéklerakó végleges lezárása után is évtizedekig ellenőrzik a területet. A 14. és 15. ábrán látható az aljzatszigetelés kivitelezése.

A hulladéklerakók egyik alapvető műszaki védelmét képzik emellett a lerakó területén elhelyezett gázmotorok illetve fáklyák, melyek a hulladéklerakás egyik végtermékét, a depóniagázt hivatottak kezelni, mely nem kerülhet ki a légterbe. Erről a Pusztazámori Hulladéklerakón két darab 1-1 MW-os gázmotor, illetve egy fáklya gondoskodik, melyek képesek ártalmatlanítani a keletkező gázt, emellett pedig energiát is termelnek a motorok (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018).



14.ábra. A hulladéklerakó aljzatszigetelésének terve (BKM FKF, 2022)



15.ábra. A szigetelés gyakorlati megvalósítása (BKM FKF, 2022)

6.4 Az I. ütem jellemzése

A 2012-ben feltöltött, 2013-ra ideiglenesen rekultivált I-es hulladéklerakó ütem, mintegy $3,8 \text{ Mm}^3$ tömörített hulladékot tartalmaz. A lerakó kialakításakor az eltávolított földtakarót a közelben deponálták, fennsíkját bevágással, 12 db ferde síkból fűrészfogszerűen alakították ki. A vágások hosszúsága 2%, emellett a vágások és a gerincvonalak közti keresztesítés 3%. Az I. ütem bevágásának munkálataiból visszamaradt talajból építették meg az azt körülvevő szorítótöltést, amely 1600 méter hosszúságú, illetve, melynek belső rézsűje 2:3, külső rézsűje 1:3 hajlású. Az átmeneti rekultiváció rétegrendje a következő: kiegyenlítő réteg, 30 cm vastag agyagréteg, 40 cm vastag termőtalaj-keverék. A rekultivációhoz szükséges termőtalajt, a hulladéklerakó 2005 óta működő komposztálóüzem biztosította. A mintegy $200\,000 \text{ m}^2$ -es területen történt átmeneti rekultivációból, egy 1600 m^2 nagyságú próbaszakaszon végleges rekultivációt is végrehajtottak. A végleges rekultiváció rétegrendje a következő: kiegyenlítő réteg, 50 cm (2x25 cm) agyagszigetelés, 25 cm szivárgó, 1 m vastag földtakarás (0,6 m vegyes talaj + 0,4 m humuszban gazdag talaj), ezt a 16. ábra alább szemlélteti. A végleges rekultiváció esetében van lehetőség a szigetelőréteg anyagának kiváltására, azaz a 2x25 cm agyagszigetelés módosítására (elsősorban abban az esetben, ha az adott anyag a helyszínen és környékén nem elérhető a kívánt mennyiségben). Ennek feltétele a szivárgási tényező (jele: k) egyenértékűsége, melynek 50 cm-es fedés esetén, B3-as típusú lerakónál (mely típusba a Pusztazámori Hulladéklerakó is tartozik) $k \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ -nak kell lennie. Így például a 2x25 cm vastagságú agyagréteg kiváltható, egy 0,5 cm vastagságú bentonit szigetelőlemezzel ($k \leq 10^{-10} - 5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$) (CSÖKE B., n.d.; 20/2006. (IV. 5.) KVM RENDELET A HULLADÉKLERAKÁSSAL, VALAMINT A HULLADÉKLERAKÓVAL KAPCSOLATOS EGYES SZABÁLYOKRÓL ÉS FELTÉTELEKRŐL, 2006). Az átmeneti rekultiváció legalább a lerakott hulladék biológiailag lebomló szerves összetevőinek biológiai stabilizálódásáig kell, hogy lezárja a hulladéktestet, de legfeljebb 10 évig. (Szabó I. et al., n.d.) Miután az I. ütem 2012 decemberében lett ideiglenesen rekultiválva, így pont napjainkra esedékes a 10 éves átmenet vége. Azonban, mivel az I. ütem végleges rekultiválásához szükséges takaróanyag egy igen nagy hányadát, a III. ütem kialakításakor fogják kinyerni, így csak 2-3 év múltán lesz lehetőség a végleges felső záróréteg rendszer kiépítésére (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018).



16. ábra. A végleges rekultiváció rétegrendje. 1 – Kiegyenlítő réteg; 2 – 50 cm agyagszigetelés; 3 – 25 cm szivárgó réteg; 4 – 1 m földtakarás (60 cm vegyes talaj + 40 cm humuszban gazdag talaj) (BKM FKF, 2022)

7. SWOT ANALÍZIS

A SWOT analízis egy igen hatékony elemzési módszer, mellyel elemezhetjük és megérthetjük egy vállalkozás, projekt, vagy épp ötlet jelenlegi helyzetét, így pedig megtervezhetjük a jövőbeni stratégiánkat. Így rálátást kaphatunk a vizsgálatunk, tehát projektünk, ötletünk későbbi sikerére, esetleges buktatóira. A szó maga, a négy vizsgált terület angol elnevezéseinek mozaikjából tevődik össze: Strengths (erősségek), Weaknesses (gyengeségek), Opportunities (lehetőségek), és Threats (veszélyek). Lényegében, a SWOT egy olyan elemzési technika, amivel egy cég, termék, ötlet vagy projekt életképességét vizsgáljuk meg. Feltérképezi az elemzés tárgyának az erősségeit, gyengeségeit, lehetőségeit és veszélyeit. A fenti négy területet a SWOT elemzés 2 külön kategóriába rendezi:

- Belső tényezők – ezekre van ráhatásunk. Ide tartoznak az erősségek (S) és a gyengeségek (W).
- Külső tényezők – ezekre nincs közvetlen ráhatásunk, mert a hatáskörünkön kívül esnek. Ilyenek a lehetőségek (O) és a veszélyek (T).

Annak érdekében, hogy a lehető legalaposabb munkát végezzem, és, hogy a legtöbb és legpontosabb adatot tudjam gyűjteni a Pusztazámori Hulladéklerakó jelenlegi helyzetéről, **Mile Gábor szakfőmérnök Úrral csináltam mélyinterjút**, aki a hulladéklerakó 2000-es elindulásától kezdve felügyelte annak folyamatait. Egészen nyugdíjba vonulásáig ő volt a lerakó főmérnöke, mára csak megnevezése változott, hisz váltás hiányában ő végzi el a főmérnöki feladatokat a lerakóval kapcsolatban. Interjúm során, (mélyebb gazdasági kérdéseken kívül) minden témát érintettünk, emellett pedig egy 3 pontos súlyozást is alkalmaztam (ahol 1/3 a legkevésbé, 3/3 a leginkább fontos tényező) az egyes felvetésekre, ezzel tovább mélyítve és pontosítva az analízis eredményeit. Az egyes felvetések súlyát Mile Gábor szakfőmérnök Úrral közösen határoztam meg úgy, hogy a véleményünk szerint leghangsúlyosabb pontokat szemléltessék, így viszonyítási alapot tudtunk nyújtani az egyes pontok behatásai közt. Ezzel pedig, véleményem szerint egy kellően átfogó képet tudtam alkotni a Pusztazámori Hulladéklerakó I. ütemének, és magának a teljes lerakónak a jelenlegi helyzetéről.

7.1 Eredmények

Eredményeim ugyan átfogóak, de biztosan nem fedik le 100%-ig a Pusztazámori Hulladéklerakó jelenlegi helyzetét. Az alábbi *2.táblázatban* összefoglalva láthatják elemzésemet, melyet alább részletezek (ahol szükséges), illetve feltárom a logikai kapcsolatokat.

A SWOT elemzés eredményeivel képesek vagyunk kialakítani egy jövőbeli stratégiát úgy, hogy a felmerülő gyengeségekre és veszélyekre, kihasználva a lehetőségeinket és erősségeinket, megoldást keresünk. A 3 pontos súlyozást a következőképp használom fel: Egy negatív 3/3-as tulajdonságot, csak vele ekvivalens (vagy magasabb) értékű pozitív tulajdonság válthatja ki, emellett pedig csak a logikailag párokba rendezhető tulajdonságok képesek kiváltani egymást. Ha az összes negatív tulajdonságot sorba véve, képesek vagyunk mindre megoldást nyújtani, abban az esetben a projekt teljesen életképes. Elemzésem ezen részét a táblázat alatt részletezem, és egy egyszerű színkódot használtam a jelölésekhez. Sorba veszem egymás után a negatív tulajdonságokat, melyet **piros** színnel jelölök (illetve mellette a súlyosságot is), majd

alatta felsorolom a logikailag kapcsolódó pozitív tulajdonságokat, melyet **zöld** színnel jelölök (a súlyok szintén megjelennek). A tulajdonságok felsorolása után pedig röviden feltárom a kapcsolatokat, és részletezem a probléma megoldását. Fontos, hogy van olyan probléma, melyet egy másik problémával képes voltam „kiküszöbölni”, ideiglenesen megoldani, ebben az esetben a tulajdonságot **zöld színnel és piros aláhúzással** jelöltem.

2. táblázat. SWOT analízis (saját szerkesztés)

	Pozitív	Negatív
Belső	- legnagyobb lerakó az országban, sok napelem 3/3 - jól tömörített a hulladék, stabil a lerakó felülete 3/3 - megfelelőek a technikai feltételek és az anyagi háttér 3/3 - I. ütem újrafelmérése esedékes 3/3 - összközműves 3/3 - könnyen megközelíthető, kiépített utak 3/3 - nagy mennyiségű depóniagáz érhető el, kiépített technológiával 2/3 - több 10 évre elegendő gázkészlet a későbbi ütemek kapacitása végett 2/3 - megfelelő mennyiségű takaróanyag, 2/3 - folyamatos és erős felügyelet, kerítés 2/3 - geológiai kockázatoktól mentes 2/3 - viszonylagos szélárnyék a déli lejtőkön 2/3 - dominancia a külső vállalkozókkal szemben 2/3 - végleges rekultiváció min. 2 m vastag 1/3 - jó a lerakó megítélése a környéken 1/3 - nagy távolságra van a lakott területtől 1/3 - végleges rekultiváció és a napelemek sem okozhatnak nagy süllyedéseket 1/3 - alapos monitoring rendszer 1/3 - talajsüllyedés viszonylag egyenletes 1/3 - megfelelő szélviszonyok 1/3	- a napelemparknak kell energiatároló kapacitás 3/3 - naperőművet csak 2024 végére, 2025 elejére lehet kivitelezni 3/3 - jelenleg nem lehet napelemes projektet indítani az országban, hálózatfejlesztés szükséges 3/3 - elektromos hálózat nem elég erős a napelemekhez 3/3 - szállópor és szemét megtelepedhet a napelemeken 2/3 - állatvilág beszennyezheti, megrongálhatja a napelemeket 2/3 - nincs szakképzett munkaerő a napelemekhez 2/3 - I. ütemben csökken a depóniagáz mennyisége 2/3 - vegyesen gyűjtött hulladék esetén nincs biológiai válogatás, előkezelés 1/3
Külső	- 6000 MW kapacitás 2030-ra 3/3 - megújuló energiaipar egyre olcsóbb, hatékonyabb 3/3 - ipari parkok épülnek a terület közelében 2/3 - Uniós pályázat elnyerése 2/3 - III. ütem megnyitása, II. ütem rekultiválása esedékes 1-2 éven belül 2/3 - lehetőség a terület további bővítésére 1/3	- elektromos hálózat nem épül ki 3/3 - napelemek jelenlegi kétséges helyzete nem változik 3/3 - szélterhelés megrongálja a napelemeket 2/3 - földcsúszás kockázata a napelemek alatt 2/3 - ütemek kialakításának, rekultivációjának magas költsége 2/3 - direkt rongálás 1/3 - hóterhelés 1/3

- A napelemparknak kell energiatároló kapacitás 3/3

- megfelelőek a technikai feltételek és az anyagi háttér 3/3

- több 10 évre elegendő gázkészlet 2/3

- dominancia a külső vállalkozókkal szemben 2/3

- Uniós pályázat elnyerése 2/3

- megújuló energiaipar egyre olcsóbb, hatékonyabb 3/3

Megfelelő anyagi háttérrel, a lerakó képes megvásárolni a szükséges technológiákat, melyek az évek múlásával egyre jobb áron kaphatóak. Emellett több 10 évre elegendő gázkészlettel rendelkezik a lerakó, így a depóniagáz valamilyen formájában történő energiatárolás könnyen kivitelezhető. A dominancia a külső vállalkozásokkal szemben lényeges, mivel így a lerakó a lehető legkedvezőbb áron tudja beszerezni a kívánt eszközöket (tender kiírás). Amennyiben Uniós pályázatot tud elnyerni a lerakó a fejlesztésre, részben vagy egészben de mentesül a költségek alól, így könnyebb a kivitelezés.

- Naperőművet csak 2024 végére, 2025 elejére lehet kivitelezni 3/3

- jelenleg nem lehet napelemes projektet indítani az országban, hálózatfejlesztés szükséges 3/3

Ebben az esetben nincs valós megoldás a problémára, azonban egy másik probléma, az országban jelenleg uralkodó hálózatfejlesztési krízis, melynek hatására nem lehet napelemes rendszereket telepíteni, elodázza a problémát, hisz a napelemek most nem tudnak és nem is lehet őket kiépíteni. Így a problémát egy másikkal „oldottuk meg”, ezáltal ez oda-vissza igaz.

- Elektromos hálózat nem elég erős a napelemekhez 3/3

- megfelelőek a technikai feltételek és az anyagi háttér 3/3

- ipari parkok épülnek a terület közelében 2/3

- jelenleg nem lehet napelemes projektet indítani az országban, hálózatfejlesztés szükséges 3/3

A megfelelő anyagi háttérnek köszönhetően a hulladéklerakó képes lesz kivitelezni a hálózat fejlesztését amennyiben szükséges, emellett pedig épp azért nem valósulhatnak meg a napelemes beruházások, mert a fejleszteni kell a villamosenergia-hálózatot. Tehát az Államnak érdekében áll a hálózat fejlesztése, emellett pedig a nagy ipari parkoknak köszönhetően ez a terület egy kiemelt prioritást fog élvezni a hálózatfejlesztéssel kapcsolatban.

- szállópor és szemét megtelepedhet a napelemeken 2/3

- III. ütem megnyitása, II. ütem rekultiválása esedékes 1-2 éven belül 2/3

- megfelelő szélviszonyok 1/3

- alapos monitoring rendszer 1/3

A megfelelő szélviszonyoknak köszönhetően (ÉNy-i), a szállópor igen kis hányada megy az I. ütem irányába, melyet az alapos monitoringgal kis is lehet mutatni. Emellett a III. ütem, mely a napelemek kiépítésekor az aktív rakodótér lesz, 700 m-re van az I-es ütemtől, illetve az arra egyedül veszélyt jelentő II. ütem addigra rekultiválva lesz, a szállópor kibocsátása kvázi nulla.

- állatvilág beszennyezheti, megrongálhatja a napelemeket 2/3

- folyamatos és erős felügyelet, kerítés 2/3

- III. ütem megnyitása, II. ütem rekultiválása esedékes 1-2 éven belül 2/3

A kerítésnek köszönhetően az állatok egy része kizárható a lerakó területéről, a madarak pedig, elsősorban az aktív hulladéklerakó körül gyülekeznek, nem a már rekultivált területeken, az esedékesen aktív III-as ütem pedig 700 m-re van a napelemektől.

- nincs szakképzett munkaerő a napelemekhez 2/3

- megfelelőek a technikai feltételek és az anyagi háttér 3/3

- dominancia a külső vállalkozókkal szemben 2/3

Megfelelő anyagi háttér esetén nem okozhat problémát egy szakképzett alvállalkozó foglalkoztatása. Emellett a velük szembeni dominanciának köszönhetően, nem is kell keresni alvállalkozókat, hisz azok fognak a lerakóhoz árajánlatot tenni, hogy karbantarthassák a napelemeket.

- I. ütemben csökken a depóniagáz mennyisége 2/3

- több 10 évre elegendő gázkészlet 2/3

- III. ütem megnyitása, II. ütem rekultiválása esedékes 1-2 éven belül 2/3

A több évtizedre elegendő gázkészletek, és a II. ütem 1-2 éven belüli rekultivációja, ezzel együtt depóniagáz készleteinek feltárása kizár mindenféle kockázatot.

- vegyesen gyűjtött hulladék esetén nincs biológiai válogatás, előkezelés 1/3

- megfelelőek a technikai feltételek és az anyagi háttér 3/3

- Uniós pályázat elnyerése 2/3

- lehetőség a terület további bővítésére 1/3

A terület bővíthetőségéből adódóan, illetve a megfelelő anyagi háttérrel, az ehhez szükséges technológiák a lerakó rendelkezésére tudnának állni. Nem beszélve arról, ha mindehhez Uniós forrás is társul, így még tovább csökkentve a beruházás költségeit.

- elektromos hálózat nem épül ki 3/3

- 6000 MW kapacitás 2030-ra 3/3

- ipari parkok épülnek a terület közelében 2/3

Az elektromos hálózat kiépítését nem lehet a végtelenségig halasztani, hisz az Állam vállalta, hogy 2030-ra 6000 MW lesz a beépített villamosenergia-kapacitás. Emellett az ipari parkoknak köszönhetően a terület prioritást fog élvezni a hálózatfejlesztés terén.

- napelemek jelenlegi kétséges helyzete nem változik 3/3

- 6000 MW kapacitás 2030-ra 3/3

Az előbbieken leírtakhoz hasonlóan, az Állam kénytelen integrálni a napelemeket a villamosenergia-rendszerbe, hisz 2030-ra teljesítenie kell a vállalt 6000 MW-os beépített napelemes kapacitást.

- szélterhelés megrongálja a napelemeket 2/3

- viszonylagos szélárnyék a déli lejtőkön 2/3

- végleges rekultiváció min. 2 m vastag 1/3

- megfelelő szélviszonyok 1/3

Az I. ütem déli oldalai viszonylagos szélárnyékban vannak az ütem kialakításának köszönhetően, így az általában megfelelő szélviszonyoknak köszönhetően jóval kisebb a szélterhelés mértéke. Emellett a végleges rekultiváció talajvastagsága minimum 2 méter, ezáltal megfelelő alapozást lehet biztosítani a napelemeket tartó egységeknek.

- földcsúszás kockázata a napelemek alatt 2/3

- jól tömörített a hulladék, stabil a lerakó felülete 3/3

- geológiai kockázatoktól mentes 2/3

A hulladéklerakó kompaktorokkal lett tömörítve, a rajta fekvő takarórétegek stabilok és ellenállóak. Emellett a hely geológiai szempontból fel lett mérve, teljes mértékben inaktív és biztonságos.

- ütemek kialakításának, rekultivációjának magas költsége 2/3

- megfelelőek a technikai feltételek és az anyagi háttér 3/3

- dominancia a külső vállalkozókkal szemben 2/3

A Pusztazámori Hulladéklerakó költségvetésében a rekultiváció, az új ütemek kialakítása, szigetelése, egy pontosan számított, és minden esetben önköltségből megvalósítható beruházás. Emellett a tenderkiírásnak köszönhetően, a hulladéklerakó itt is képes a lehető legköltséghatékonyabb beruházást választani.

- direkt rongálás 1/3

- folyamatos és erős felügyelet, kerítés 2/3

A hulladéklerakón üzemelő több, mint 15 kamera, és a lerakó védelmét biztosító 6-7 ór, minden kétséget kizáróan elégséges a külső behatásokkal szemben, melyre egyébként a lerakó üzemelése óta nem volt precedens.

- hőterhelés 1/3

- alapos monitoring rendszer 1/3

- megújuló energiaipar egyre olcsóbb, hatékonyabb 3/3

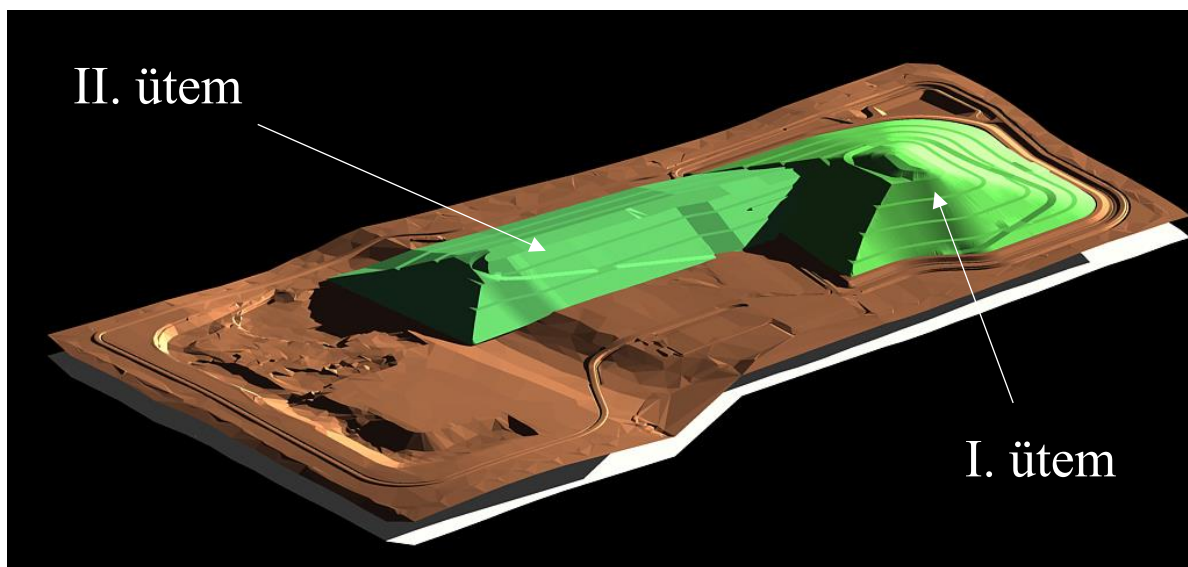
A monitoring rendszer már több éve nem mutatott nagy mennyiségű hótakarót, mindemellett a napjainkban gyártott napelemek már képesek hófedés esetén is gyengébb hatékonysággal ugyan, de üzemelni. Mindemellett a déli lejtőt érő potenciálisan több napsütés, az esetleges hótakarót hamar leolvasztja a napelemekről.

Az egyes problémákat valamilyen módon minden esetben sikerült megoldani, vagy ideiglenesen kiküszöbölni, így az általam készített analízis bizonyítja, hogy az I. ütemre telepíthető napelempark egy életképes koncepció. Fontosnak tartom azonban megjegyezni, hogy munkám nem fed le minden faktort, így a jövőben mindenképp további kutatásokra van szükség a témát illetően, azonban a jelenlegi dolgozat jó támpontot nyújthat mindezek megvalósításához.

8. AZ I. ÜTEMRE TELEPÍTHETŐ NAPELEMES RENDSZER

Abban az esetben tehát, ha tudjuk, hogy pontosan mekkora a névleges teljesítménye a napelemparknak, akkor becsülhető a várhatóan megtermelt villamos energia mennyisége is. A Pusztazámori Hulladéklerakó I. ütemének esetében, mely 18,3 ha-os működési területtel

rendelkezik, két oldal jöhet szóba, mint villamosenergia-termelésre alkalmas terület. Az I. ütem „gúla” kialakítását tekintve, 5 részre lehet bontani az alakzat felületét. Egy délnyugati (DNy) és egy délkeleti (DK), illetve egy északnyugati (ÉNy) és egy északkeleti (ÉK) részre, mindezen felül pedig egy tetőre. A 17. ábrán jól látható az I-es (és a II-es) ütem felépítése, az ábrán a lerakót északról dél felé nézve tekinthetjük meg.



17. ábra. Az I-es és II-es ütemű lerakótér csatlakozása (BKM FKF, 2022)

Értelemszerűen, a villamosenergia-termelésre alkalmas oldalak a DNy-i és a DK-i felületek, melyeknek dőlésszöge (az 1:3 hajlású, azaz 33,33%-os lejtőnek köszönhetően) körülbelül $18,431^\circ$ -os. A tető területe ugyan szintén alkalmas a villamosenergia-termelésre, viszont annak módja vitatott, hisz magasságából adódóan (az első ütem megközelíti a 48 m-es relatív magasságot...) szélturbina telepítése lenne az ideális, azonban a jogállás mai helyzetét tekintve, ez nem kivitelezhető. Ettől függetlenül úgy gondoltam, hogy a napjainkban zajló energiaválság végett, a szélturbinákra vonatkozó jogszabályok a közeljövőben ugyan enyhülhetnek, de műszakilag igen bonyolult a turbina kivitelezése. Ezáltal a tető területét is belekalkuláltam a számításokba, melynek dőlésszögét 0° -ban határoztam meg (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018). A DNy-i és DK-i oldalak, illetve a tetőn elhelyezhető napelemek villamosenergia-termelésének megállapításához, elkerülhetetlen a napelemsorok közti távolság kiszámítása, így elkerülve az árnyékolást. Sangiorgio és Felconi tanulmányában, a sorok közti távolság kiszámítására szolgáló képletet alább a 18. ábrán láthatjuk.

$$D = L \cos(\beta - \gamma)[1 + \tan(90 - \alpha - \gamma) \cdot \tan(\beta - \gamma)]$$

18.ábra. A napelemek közötti sortávolság kiszámításának képlete, ahol: D=sortávolság, L=napelem magassága, α =téli napforduló idejében a delelő Nap beesési szöge, β =a napelem dőlésszöge (vízszinthez képest), γ =a talaj dőlésszöge (vízszinthez képest) (SANGIORGIO - FALCONI, 2015)

Az általam választott napelem, a Bluesun Solar BSM585PMB6-60SC modellje, melyet kifejezetten napelemparkok építésére hivatott, és jelenleg a technológia csúcsát jelenti, 590 W_p-os teljesítményével. A napelem hosszúsága 2,384 méter, szélessége 1,096 méter. A 2.2.1-es alfejezetben már említett PVGIS 5.2-es verziójával, kiszámítottam a napelemek legoptimálisabb dőlésszögét, mely 38°-os, illetve a téli napforduló idejében a delelő Nap beesési szögét, mely 19°-os. Emellett pedig a talaj dőlésszögét is megadtam, mely a feljebb említett 18,431°. Ezen adatok alapján ki tudtam számítani a napelemsorok közti távolságot, illetve azt is, hogy mekkora a napelemek felszínre vetített alapterülete. Ezt követően, az AutoCAD tervezőprogram (melyben megvolt a hulladéklerakó első ütemének tervrajza), illetve a Google Earth Pro segítségével kiszámítottam, hogy körülbelül hány napelem fér el a vizsgált felületeken. A DNy-i és DK-i oldalon hozzávetőlegesen 16 000 db napelem, míg a tetőn 600 db napelem fér el, melyek összesen ~9,8 MW_p beépített kapacitást képesek elérni. Miután tanulmányom a maximális energiatermelésre fókuszál, így a tetőre a déli tájolás mellett kiszámítottam a K-Ny-i tájolást is. Ebben az esetben a napelemek optimális dőlésszöge megváltozik, melyet a gyakorlatban a helyszínen adott szélességi fokhoz szokták igazítani (RODRÍGUEZ, 2021), jelenleg ez ~47°. Emellett fontos, hogy a K-Ny-i tájolás esetén nem beszélünk sortávolságokról (vagy csak elhanyagolható mértékben), hisz a napelemek közvetlenül egymást érintik. Az így kapott adatok alapján, az AutoCAD és a Google Earth Pro segítségével kiszámítottam, hogy körülbelül 2775 db napelemet tudunk elhelyezni, melyek ~1,65 MW_p kapacitást képviselnek. Természetesen ennek a tájolásnak, mivel a táblák nem dél felé néznek, kisebb lesz a kapacitásfaktora, így pedig kevesebb lesz az 1 W-ra jutó villamosenergia-termelés, de még így is nagyobb a várható termelése, mint a déli tájolásnak ugyan ezen a területen. Mindemellett megjegyzendő, hogy a K-Ny-i tájolású rendszerek napelemtábláinak optimális dőlésszögét befolyásolhatja a gazdasági faktorok figyelembevétele, melyet Hartner et al. alaposan kifejt tanulmányában (HARTNER et al., 2015), de jelen dolgozat csak az megtermelt energia maximalizálására fókuszál, így az egyéb változók figyelmen kívül vannak hagyva. Ezáltal, ha a tetőn a K-Ny-i tájolást alkalmazzuk, akkor az összesen beépíthető

kapacitás már ~11,1 MW_p. Az eddigi legfontosabb eredményeket, illetve az egyes esetekben megtermelhető villamos energia mennyiségét egy évre vetítve a következő 3.táblázat összegzi:

3.táblázat. Legfontosabb eredmények a napelemes rendszerről

	Beépíthető kapacitás	Összesen megtermelhető villamos energia/év
DK-i és DNy-i lejtők	9,45 MW	11 000 MWh
Tető déli tájolással	0,35 MW	440 MWh
Tető K-Ny-i tájolással	1,65 MW	1600 MWh
Lejtők+tető(déli tájolással)	9,8 MW	11 440 MWh
Lejtők+tető(K-Nyi-i tájolással)	11,1 MW	12 600 MWh

A villamosenergia-termelés kiszámítását a PVGIS 5.2-es rendszerében végeztem, mely körülbelül 21-22%-os teljes veszteséggel (rendszeres veszteség, hő, és alacsony besugárzás okozta veszteségek, stb...) számolt.

Számításaim egyértelműen igazolták, hogy a megtermelhető energia tekintetében, az optimális döntés, ha a tetőn elhelyezkedő napelemeket K-Ny-i tájolással helyezzük el. Fontosnak tartom azonban megjegyezni, hogy **számításaim csak közelítő értékűek**, több tényező is, mint az alul és felülméretezések, a kerekítések, a programok kisebb pontatlanságai, stb. befolyásolhatták a kapott végeredményt, illetve az, hogy az I. ütem még nincsen véglegesen rekultiválva, plusz, hogy minden napelem más paraméterekkel rendelkezik, tovább árnyalja az általam kapott eredményeket. Mindezen felül viszont eredményeim önmagukban megállják a helyüket, és alapot adhatnak későbbi számítások, pontosítások elvégzéséhez.

9. A PUSZTAZÁMORI HULLADÉKLERAKÓ HIBRID ÜZEME ÉS ENERGIATÁROLÁSI LEHETŐSÉGEI

9.1 A Pusztazámori Hulladéklerakó hibrid üzemeltetése

A Pusztazámori Hulladéklerakón telepíthető napelemes rendszer, illetve a már meglévő depóniagáz felhasználó egységek, teljes mértékben megfelelnek a hibrid működtetés alapelveinek. A Pusztazámori Hulladéklerakó rendelkezik 2 db, 1 MW_p teljesítményű 16 hengeres Caterpillar gázmotorral, melyek kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésre képesek. A lerakó jelenleg nem rendelkezik a depóniagáz megtisztítására alkalmas

technológiával, de mind a csurgalékvíz szivattyúzás és tisztítását, mind pedig a gázkollektorok szivattyúzását villamos energiával oldják meg, melyet a napelemek is biztosíthatnak. Emellett a napelemek a lerakó egyéb villamosenergia-igényét is tudná részben fedezni, mint a kivilágítás, logisztikai és monitoring rendszerek működtetése, stb...

A II. ütem rekultiválását követően, rengeteg új depóniagáz kapacitás fogja a lerakót terhelni, így elképzelhető új technológiákra való beruházás is, melyekkel el lehet tárolni, át lehet alakítani, vagy fel lehet használni a többlet biogázt. Mivel a MW-os kapacitású naperőművek esetében kötelező az energiatárolás kiépítése, így ezt a megoldás tűnik a legrelevánsabbnak a lerakó szempontjából, de nem zárja ki a többi lehetőséget sem.

A napelemes kapacitások által emellett a lerakó rengeteg depóniagázt tud „spórolni”, mivel az sok esetben ki tudja váltani a gázmotorok termelését abban az esetben, amikor azt a lerakó önfenntartása céljából üzemeltetik. Területhasználat szempontjából kifejezetten előnyös lenne a napelemes rendszer kiépítése, hisz az I. ütem a rekultiválást követően sem kapna egyéb más szerepet, így a napelemek többlet területet nem igényelnének. Miután van lehetőség a terület további bővítésére, illetve a meglévő területen is sok a szabad hely, így újabb technológiák kiépítése nem okozhat problémát. A pozitív területhasználaton túl, műszaki szempontból is előnyös lenne a hibrid rendszer, hisz így képes lehetne a naperőmű jobban alkalmazkodni a fogyasztói igények változásához, a 2.3.5-ös *Hibrid üzemben* leírtak alapján. A rugalmas energiatermelés, miszerint azokban a szakaszokban, mikor a napelem nem alkalmas a termelésre, vagy visszaesés tapasztalható (pl.: felhőátvonulás végett), a gyorsan fel és leszabályozható gázmotorokkal képesek vagyunk kiegyenlíteni a megtörni látszó termelési görbét, a Pusztazámori Hulladéklerakó esetében is kivitelezhető. A 2 db 1-1 MW_p-os gázmotor éves szinten több, mint 12,5 GWh elektromos energiát termelt az elmúlt években, melyek így képesek voltak kielégíteni a hulladéklerakó teljes villamosenergia igényét, a fennmaradó energiát pedig a hálózatra táplálták fel. Napjainkra ez a szám már csökkent, mivel az I. ütem kezd belelépni a „hanyatlás” fázisába a depóniagáz termelés tekintetében. Azonban pár éven belül elkezdődik a II. ütem depóniagáz kitermelése, mely éves szinten több millió m³ gáz kinyerésére ad lehetőséget, ezzel pedig több lesz az elérhető gázkészlet, mint amelyet a 2 db gázturbina kezelni tudna. Emellett a gázturbinák hulladékhőjével képesek lehetünk kiváltani a telepen üzemelő 270 kW-os gázkazánt, amely a fűtésért felelős, és szintén a depóniagázt hasznosítja, így még több gázt vagyunk képesek villamosenergia-termelésre hasznosítani. Szintén a gázturbinák hulladékhűjét hasznosítva, arra is nyílik lehetőség, hogy a környéken épülő ipari parkoknak ezt a hőenergiát értékesítsük, ezzel pedig további bevételt generálva a lerakónak. A PVGIS 5.2-es rendszere képes arra is, hogy havi bontást adjon az éves szinten

megtermelt villamos energiáról. Ezt felhasználva kiszámítottam, hogy az általam tervezett rendszer decemberben fogja a legkevesebb energiát termelni, mely hozzávetőleg 380 000 kWh, azaz napi 12 000 kWh villamos energia. Ez többszöröse a Pusztazámori hulladéklerakó nap elektromos áram igényének, így a fennmaradó energiát tovább tudjuk hasznosítani, vagy értékesíteni. A többi hónapban ez az érték csak magasabb, csúcsát pedig júliusban éri el, amikor az egy napra eső termelés megközelítőleg 50 000 kWh. Ezáltal, illetve a gázturbinák által megtermelt többletenergia, mely a lerakón nem kerül hasznosításra, lehetőséget adhat a Pusztazámori Hulladéklerakónak a csúcserőművi működésre, melyet jelen dolgozat mélyebben nem vizsgál, de fenntartja lehetőségét. (BKM FKF, 2022; FKF NONPROFIT ZRT., 2018).

9.2 Energiatároló kapacitások

Ahogy azt már a dolgozatban tárgyaltam, a MW-os léptékű napelemes projekteknek kötelezettsége, hogy energiátároló kapacitással is rendelkezzenek. Ezt a Pusztazámori hulladéklerakó esetében több irányból is megközelíthetjük.

Az egyik legkézenfekvőbb megoldás, az akkumulátoros tárolóegységek beszerzése, mely képes lenne eltárolni a napelemek által termelt energia nagy részét, de a beruházás méreteit tekintve, az akkumulátorok ára hatalmas árnövekedést jelentene, mindemellett pedig végső soron a tárolással csak energiát veszítünk.

A másik magától értetődő megoldás a keletkező depóniagáz tartályokban történő eltárolása, ahol sűrítve, hosszú ideig képesek vagyunk raktározni.

Egy másik megoldás, hogy a napelemek által megtermelt energia egy részét a depóniagáz megtisztítására fordítjuk, melybe beletartozik a különböző szennyező anyagok, illetve a CO₂ leválasztása a biogázzal. Alapos tisztítást feltételezve, képesek lennénk a depóniagázból biometánt (közel 100%-os CH₄ tartalmú biogáz) előállítani, melynek több felhasználási lehetősége is van.

Az itt legkézenfekvőbb megoldás a gázhálózatba való feltáplálás, amiért a gázszolgáltató fizet. Ebben az esetben viszont több előírásnak is meg kell felelnie a gáz előállítójának...

Egy másik megoldás, hogy a meglévő biometánt kompresszáljuk, ezzel BioCNG-t előállítva, melynek felhasználása igen diverz, képesek vagyunk vele CNG-üzemű járműveket meghajtani, de ugyan úgy feltáplálhatjuk a hálózatba, vagy motorokat hajthatunk meg vele.

Emellett van lehetőség zöld hidrogén (megújuló energiaforrásból előállított hidrogén) előállítására is, melynek szintén több felhasználási formája ismert, a közlekedéstől kezdve a vegyiparon át sok területen.

Természetesen az egyes energiatároló megoldások közösen is alkalmazhatóak, emellett pedig rengeteg egyéb lehetőséget is rejtenek magukban, mint például a CNG meghajtású hulladékszállító járművek, melyek a helyszínen képesek lennének üzemanyagot tankolni...

10. ÖSSZEGZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

10.1 Összegzés

Összegezve, hazán értékes termőterületeit, tájait nem szabad fotovoltaiikus energetikai beruházásokkal veszélyeztetni. Ezeket a beruházásokat meg lehet valósítani ugyan úgy barnamezőskén is, mely nem csak környezetkímélőbb, de sok esetben gazdaságilag, és társadalmilag is kifizetődőbb. Tanulmányomban erre igyekeztem rávilágítani, miközben próbáltam egy friss képet adni a hazánkban jelenleg zajló energetikai átmenetről. Mindezt a Pusztazámori Hulladéklerakó I. ütemét többszempon্তু vizsgálatán keresztül vezettem le, melyben egyaránt figyelembe vettem a lerakó lehetőségeit, és esetleges hibáit, mindemellet pedig bemutattam a napelemek és a biogáz integrált hasznosításának lehetőségeit általánosságban, és a Pusztazámori Hulladéklerakóra is. Több példát is hoztam már megvalósult napelemes rendszerekről hulladéklerakókon, csakúgy külföldön, mint belföldön, emellett bemutattam az egyes technológiai lehetőségeket is. Számítást végeztem a hulladéklerakó beépíthető napelemes kapacitását illetően, emellett általánosságban is tárgyaltam ezt a témakört, egész Magyarországra vetítve. Emellett az általam készített SWOT analízissel feltártam az I. ütemre telepíthető napelemes rendszer meghatározó tulajdonságait, ezt követően pedig az összes negatív tulajdonságra megoldást próbáltam nyújtani, közel 100%-os sikerrel.

10.2 Következtetések

Tanulmányom fókuszában a Pusztazámori Hulladéklerakó I. ütemére telepíthető napelemes rendszer, illetve a hibrid üzem lehetősége állt. Így elsősorban ezekről lehet következtetéseket levonni.

A hulladéklerakó többszempon্তু ismertetésének, illetve a SWOT analízisben kapott eredményeknek köszönhetően kijelenthetjük, hogy a Pusztazámori Hulladéklerakó I. ütemének napelemes rendszerrel történő energetikai hasznosítása sok szempontból életképes és megvalósítható. Számításaim igazolják, hogy az I. ütem tető területén elhelyezhető napelemek energiamaximalizálás szempontjából optimális tájolása K-Ny-i, emellett pedig, hogy a beruházás egy igen nagy, több mint 10 MW-os kapacitást tesz lehetővé. Azáltal, hogy a területen depóniagáz hasznosítás is folyik, új lehetőségeket nyit meg a rendszerek integrált

használatával, hibrid üzemével, így tovább növeli a beruházás értékét, emellett csökkenti a gazdasági megtérüléshez szükséges időt is. Mindemellett a rengeteg energia, melyet a hibrid üzem képes szolgáltatni, új távlatokat nyit meg a Pusztazámori Hulladéklerakó számára, ahol több technológiával is képesek lennének tovább növelni az energiatermelés hatékonyságát. Tanulmányom azt is jól mutatja, hogy a Pusztazámori Hulladéklerakó egy igen komplex, soktényezős vizsgálatot követel, melyet a dolgozat természetesen nem tud teljes értékűen vizsgálni. Mindazonáltal, az általam mért és számolt adatoknak, illetve a többszemponútú vizsgálatomnak köszönhetően látszik, hogy a Pusztazámori Hulladéklerakó I. ütemének fotovoltaikus rendszerekkel történő energetikai hasznosítás komoly potenciált rejt magában, melyet érdemes lehet további vizsgálatokkal alátámasztani, és kivitelezését megfontolni.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ángyán, J., Podmaniczky, L., Fésűs, I., & Tar, F. (1999). *Nemzeti Agrár-környezetvédelmi Program a környezetkímélő, a természet védelmét és a táj megőrzését szolgáló mezőgazdasági termelési módszerek támogatására. I. kötet.* 15. https://www.akg-info.hu/portal/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=11:nemzeti-agrar-koerneyezetvedelmi-program-1-resz-&id=30:tanulmany&Itemid=31
- Az Európai Unió Tanácsának 1999/31/EK irányelve, (1999). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=EN>
- Bai, A. (2011). *BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSÁNAK TECHNOLÓGIÁJA.* https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12161/2011-0085_biogaz_elallitasanak_technologiaja.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- BKM FKF. (2022). *Pusztazámori Regionális Hulladékkezelő Központ adatai.*
- Buragohain, S., Mohanty, K., & Mahanta, P. (2021). Hybridization of solar photovoltaic and biogas system: Experimental, economic and environmental analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101050. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101050>
- Ciriminna, R., Albanese, L., Pecoraino, M., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2018). Solar Landfills: Economic, Environmental, and Social Benefits. *Energy Technology*, 6(4), 597–604. <https://doi.org/10.1002/ENTE.201700620>
- Csőke, B. (n.d.). *Hulladékgazdálkodás műszaki alapjai.* Retrieved November 28, 2022, from <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/8002>
- Európai Bizottság. (2022). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* (5.2).
- Európai Unió. (2019). *Az európai zöld megállapodás.* https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
- FKF NONPROFIT ZRT. (2018). *A PUSZTAZÁMORI REGIONÁLIS HULLADÉKKEZELŐ KÖZPONT.* <https://www.fkf.hu/storage/app/media/Kiadvanyok/2018-pusztazamor-magyar.pdf>
- González-González, A., Collares-Pereira, M., Cuadros, F., & Fartaria, T. (2014). Energy self-sufficiency through hybridization of biogas and photovoltaic solar energy: an application for an Iberian pig slaughterhouse. *Journal of Cleaner Production*, 65, 318–323. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.08.021>
- Hartner, M., Ortner, A., Hiesl, A., & Haas, R. (2015). East to west – The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective. *Applied*

- Energy*, 160, 94–107. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2015.08.097>
- Hirado.hu. (2020). *Hozzájárul a klímavédelmi célokhoz a Csurgón épült napelempark.*
<https://hirado.hu/belfold/gazdasag/cikk/2020/10/02/hozzajarul-a-klimavedelmi-celokhoz-a-csurgon-epult-napelempark#>
- Innovációs és Technológiaügyi Minisztérium (ITM). (2020a). *Nemzeti Energia és Klímaterv.*
https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf
- Innovációs és Technológiaügyi Minisztérium (ITM). (2020b). *Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig.* <https://zoldbusz.hu/files/NE2030.pdf>
- 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről, (2006).
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600020.kvv>
- Központi Statisztikai Hivatal (KSH). (2018). *STADAT 8.1.1.3. Coverage by CORINE Land Cover categories [km²].* https://www.ksh.hu/stadat_files/fol/en/fol0003.html
- Központi Statisztikai Hivatal (KSH). (2019). *STADAT 19.1.1.8. Magyarország földterülete művelési ágak szerint [ezer hektár].*
https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH). (2022a). *Hivatalos statisztika, Éves adatok.* <http://mekh.hu/eves-adatok>
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH). (2022b). *Hivatalos statisztika, Havi adatok.* <http://mekh.hu/havi-adatok>
- Magyar Nemzet. (2020). *Napelempark épült Csurgón.*
<https://magyarnemzet.hu/belfold/2020/10/napelempark-epult-csurgon>
- Magyar Villamos-és Rendszer Irányító (MAVIR). (2022a). *Közlemény: A 2022. május 2-i szabad kapacitások publikálásához kapcsolódóan.* <https://mavir.hu/web/mavir/-/a-2022.-május-2-i-szabad-kapacitások-publikálásához-kapcsolódóan?returnPlid=237657540>
- Magyar Villamos-és Rendszer Irányító (MAVIR). (2022b). *VER Erőművi Beépített teljesítőképesség és PV Statisztikai adatok, Erőművi Beépített teljesítőképesség Adatok Változása Primer Források Szerint 2015-20221001.*
<https://www.mavir.hu/web/mavir/energia-mix-eromuvi-beepített-teljesitokepesseg-adatok>
- 433/2022. (XI. 2.) Korm. rendelet a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény veszélyhelyzet ideje alatt történő eltérő alkalmazásáról, Magyar Közlöny (2022).
<https://magyarkozlony.hu/?year=2022&month=&serial=178>
- A Kormány 413/2022. (X. 26.) Korm. rendelete a veszélyhelyzet idején a háztartási méretű

- kiserőművek közcélú hálózatba történő feltáplálásának kérdéseiről, Pub. L. No. 173, Magyar Közlöny 7113 (2022).
<https://magyarkozlony.hu/?year=2022&month=&serial=173>
- Miskolci Önkormányzat. (2019). *Miskolc Bogáncs utcai naperőmű telep létesítése*.
<https://www.miskolc.hu/varoshaza/onkormanyzat/palyazatok/onkormanyzat-altal-elnyert-palyazatok/energetika-es-kornyezetvedelem/megujulo-energiaforrasok/miskolc>
- Molnár, T. G. (2012). Depóniagáz kapcsolt energiatermelésben történő felhasználása adott hulladéklerakó telep esetében. *LVIII. Georgikon Napok*, 242–249.
- Munkácsy, B., Balogh, Z., Baranyák, Z., Bánfalvi, A., Kádár, P., Magyar, L., Nagy, B., Kovács, Z., Sáfián, F., Soha, T., Pásti, L., & Zsolt, M. (2020). *Energiaklub: SZÉLENERGIA A 21. SZÁZADBAN-ÉS MAGYARORSZÁGON*. 12–12.
www.energiaklub.hu
- Munkácsy, B., Campos, J., Csontos, C., Fehér, K., Harmat, Á., Komoróczy, E., Mátyás, A., Méhes, M., Pataki, K., Suhajda, E., Turai Martin, & Vajdovich, N. A. (2021). *Csak nappal! Csak nappal? avagy a napelemes áramtermelés jövője Magyarországon a területhasználat nézőpontjából*. [https://energiaklub.hu/files/study/Csak nappal - csak nappal.pdf](https://energiaklub.hu/files/study/Csak_nappal_-_csak_nappal.pdf)
- Munkácsy, B., Sáfián, F., Ertsey, A., Ballabás, G., Kádár, J., Kohlheb, N., Fajzi, G., & Fodor, B. (2014). *Erre van előre - Vision 2040 Hungary 2.0 A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út* (B. Munkácsy (ed.); 1st ed.).
https://www.researchgate.net/publication/284190255_Erre_van_elore_-_Vision_2040_Hungary_20_A_fenntarthato_energiagazdalkodas_fele_vezeto_ut
- New Jersey Department of Environmental Protection Division of Solid and Hazardous Waste. (2020). *Guidance For The Permitting Of Solar Energy Systems On New Jersey Landfills*.
<https://www.nj.gov/dep/dshw/swp/solarguidance.pdf>
- Rodríguez, L. (2021). *Solar panel orientation: How using East-West structures improves the performance of your project*. <https://ratedpower.com/blog/solar-panel-orientation/>
- Sampson, G. (2009). *Solar Power Installations on Closed Landfills: Technical and Regulatory Considerations*.
https://www.researchgate.net/publication/237407185_Solar_Power_Installations_on_Closed_Landfills_Technical_and_Regulatory_Considerations
- Sangiorgio, S., & Falconi, M. (2015). Technical Feasibility of a Photovoltaic Power Plant on Landfills. A Case study. *Energy Procedia*, 82, 759–765.
<https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2015.11.807>

- Scharff, H. (2019). EU Landfill Gas Control Guidance document. *Consortium for a Coherent European Landfill Management Strategy (COCOON)*. https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1560843910.pdf
- Somogy TV. (2020). *Napelemparkot adtak át Csurgón*. https://www.youtube.com/watch?v=CrQ_0w0JF1Y&t=252s
- Sonline Somogy Megyei Hírportál. (2020). *Szolárbirkák legelnek már a csurgói napelemek tövében*. <https://www.sonline.hu/helyi-kozelet/2020/10/szolarbirkak-legelnek-mar-a-csurgoi-napelemek-toveben>
- Szabó, I., & Szabó, A. (2012). 9. A lerakó gázmentesítése. In *HULLADÉKLERAKÓK REKULTIVÁCIÓJA, UTÓGONDOZÁSA* (pp. 217–236). Miskolci Egyetem. https://www.hidrotanszek.hu/files/964/Hulladéklerakók_gázmentesítése.pdf
- Szabó, I., Szabó, A., & Németh, C. (n.d.). *Hulladéklerakók lezárása és rekultivációja*. Retrieved November 19, 2022, from <https://adoc.pub/download/2-a-teleplesi-szilardhulladek-lerakok-helyzete-magyarorszago.html>
- Szabó, S., Bódis, K., Kougiás, I., Moner-Girona, M., Jäger-Waldau, A., Barton, G., & Szabó, L. (2017). A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1291–1300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.117>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2021). *LFG Energy Project Development Handbook*. https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/pdh_full.pdf
- US Environmental Protection Agency (EPA), & National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2022). *Best Practices for Siting Solar Photovoltaics on Municipal Solid Waste Landfills*. https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-05/best-practices-siting-solar-photovoltaics-municipal-solid-waste-landfills_051722-pub.pdf
- Véghegy, T. (2012). *Napenergia hasznosító berendezések (rendszerek)*. https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/11906/2010-0017_09_napenergia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Woperáné Serédi, Á., & Tanka, S. (2011). Hulladéklerakókban keletkező biogáz hasznosítása, The utilization of landfill gas. *Anyagmérnöki Tudományok*, 36(1), 79–90. <https://adoc.pub/hulladeklerakoban-keletkez-biogaz-hasznositasa-the-utilizati.html>