



Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és
Környezeti Eljárástechnikai Intézet



**A gyáli hulladéklerakó bomlási hőjének vizsgálata,
energia-kinyerési potenciáljának becslése**

**Examination of the decomposition heat and energy-extraction
potential of the Gyál communal waste landfill**

TDK dolgozat

Készítette:

Romenda Roland Róbert

IV. éves környezettechnika szakirányos hallgató

Témavezetők:

Dr. Faitli József *intézetigazgató, egyetemi docens (ME)*

Dr. Kontra Jenő *tanszékvezető-helyettes, egyetemi tanár (BME)*

Miskolc
2013

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Romenda Roland Róbert, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2013. november 4.

.....
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott Dr. Faitli József, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének intézetigazgatója és egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2013. november 4.

.....
a konzulens aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	1
2. Szakirodalmi áttekintés	2
2.1. Hulladéklerakókban lejátszódó folyamatok	2
2.1.1. Konszolidáció	2
2.1.2. Biogáz képződés	2
2.1.3. Csurgalékvíz keletkezés	4
2.2. A gyáli hulladéklerakó bemutatása.....	5
2.3. Hőkinyerés deponált települési hulladékból.....	7
2.4. Hőmérsékletmérési módszerek.....	12
3. Műszerfejlesztés	15
3.1. Eszközök kiválasztása, mérőrendszer kifejlesztése.....	15
3.2. A végleges hőmérsékleteloszlás-mérő rendszer és annak telepítése	18
3.3. Mérés bemutatása	23
4. Mérési eredmények ismertetése.....	24
5. Energia-kinyerési potenciál becslése.....	31
6. Konklúzió	39
7. Összegzés	40
8. Köszönetnyilvánítás	42
9. Irodalomjegyzék	43

1. Bevezető

Élete során egy ember átlagosan akár 40–50 tonna hulladékot is termelhet. A keletkező, illetve a várható mennyiség csökkentésére és ártalmatlanítására számos megoldás létezik. A hulladékot újra fel lehet használni vagy feldolgozni, így módon a hulladék nem kerül ki az anyagok körforgásból. Lehetséges továbbá a benne rejlő energia visszanyerése, ami jelenthet akár komposztálást, vagy mint alternatív energiaforrást. Ha az előbb említett opciók közül egyik sem valósítható meg, akkor a leggyakoribb kezelési mód, azaz a depóniában történő lerakás marad csak. Magyarországon évente 3,5–4 millió tonna hulladékot deponálnak, ami megközelítőleg 70%-os lerakási rátát jelent. A lerakókban lejátszódó folyamatok során gáz- és hőfejlődés egyaránt végbemegy, amelyek közül a felszabaduló gáz (depóniagáz) hasznosítása már elterjedt technológia. A bomlási folyamatok során felszabaduló hő kinyerésével csak az utóbbi pár évben kezdtek el foglalkozni a szakemberek. Ezzel a témával kapcsolatban a Miskolci Egyetem közreműködésével részt vettem a *Depóniahő hasznosítási technológia kidolgozása* című projektben, amelynek keretében egy konzorcium végez kutatómunkát.

A technológia kifejlesztésénél legelsőként felmerülő kérdés, amelyre választ kell találni az, hogy mekkora hő rejlik a kérdéses lerakóban, és ez által mekkora energianyerési potenciállal lehet számolni. Ennek a kiderítéséhez járultam hozzá azzal, hogy részt vettem a lerakóban található agresszív közeg (deponált hulladék) hőmérsékleteloszlásának mérésére szolgáló mérőrendszer fejlesztésében, építésében, telepítésében, ill. a mérések végzésében. A dolgozatban leírt kiértékelés önálló munkám eredménye. A létesítéskor 10 db kutató fúrást végeztünk, a kifúrt hőmérő kutakba a kifejlesztett 10 mérőhelyes hőmérsékletmérő rendszer került behelyezésre. Ezen rendszerek mellé még 10 db, 3 mérőhelyes gáz mintavevő rendszer is beépítésre került. Ezeken túlmenően a hulladék hőtani jellemzőit is vizsgáltuk, amely mérések az általam végzett számítások alapjául szolgáltak. A dolgozat fő célkitűzése az, hogy a mért adatok és elméleti megfontolások alapján becslést adjak a lerakóból kinyerhető hőenergia fajlagos nagyságára úgy, hogy az elsődleges hasznosítási cél, a depóniagáz képződés sem csökken számottevő mértékben.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Hulladéklerakókban lejátszódó folyamatok

A hulladéklerakókba kerülő anyagok meglehetősen heterogének mind fizikai (szemcseméret, nedvességtartalom, alak, térfogatsűrűség), mind kémiai (anyagi összetétel, reakcióképesség) tulajdonságuk alapján. Lerakást követően az idő előrehaladtával és a környezetnek való kitettségnek köszönhetően számos fizikai, kémiai, mechanikai és fizikai-kémiai folyamat játszódik le.

2.1.1. Konszolidáció

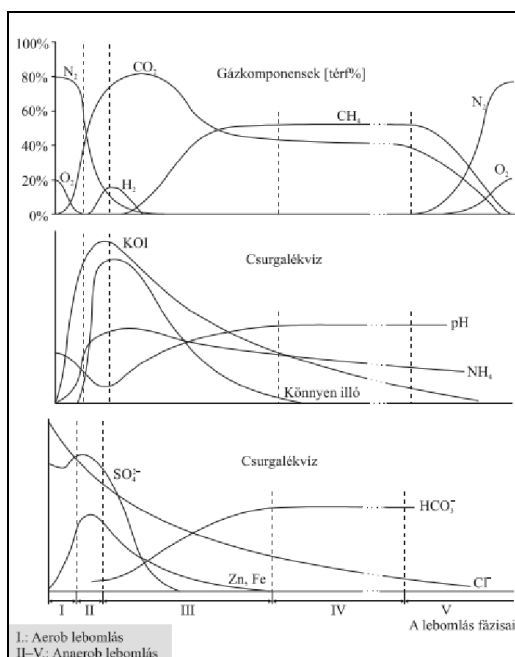
A lerakott hulladékra ható erők miatt a depóniatest mechanikai változásokon megy keresztül. Az idő múlásával ezek a változások lecsengenek, végbemegy a konszolidáció. A konszolidáció lefolyásának ismerete rendkívül fontos a hulladéklerakó egyes részeinek méretezéséhez, például a zárószigetelés megtervezéséhez, a csurgalékvíz gyűjtő rendszer kialakításához vagy a gázgyűjtő rendszer méretezéséhez. A hulladéktestben bekövetkező mechanikai változások már jól ismert folyamatok, talajmechanikai modellekkel jól közelíthetők. Figyelembe kell venni azonban azt a tényt is, hogy a hulladék sok mindenben eltér a talajoktól. Egyes paramétereinek meghatározása jóval nehezebb, főleg az inhomogenitásból adódóan. Ezen felül nem csak az önsúlyból eredő erőhatások hatnak a depóniatest konszolidációjára, hanem a benne lezajló kémiai-biológiai bomlási folyamatok is. Míg a kezdeti szakaszban főleg az önsúly hatására végbemenő tömörödés dominál, addig a lassuló és elnyúló folyamat második szakaszában már a bomlás során bekövetkezett változások veszik át a vezető szerepet (Szabó, 1999)

2.1.2. Biogáz képződés

A bomlási folyamatokat két nagy csoportra oszthatjuk, melyeknél csurgalékvíz, biogáz és hő keletkezik. Az első nagy szakasz az aerob, míg a másik az anaerob lebontási szakasz, amelyet további négy fázisra oszthatunk. Az első fázis alkalmával a hulladékban lévő mikroorganizmusokat még a levegő oxigéntartalma táplálja, amely a rétegekben csapdázott levegőből és a felszín közeli környezeti atmoszférából származik. Az aerob fermentáció eredménye a víz, az ammónia, a széndioxid, illetve az egyes alkotók oxidációs ter-

mékei. A folyamat során a mikroorganizmusok számára a 60%-os nedvességtartalom a legkedvezőbb, amely származhat a hulladék saját nedvességéből vagy a depóniába bejutó csapadékból. A folyamat exoterm, amely során 40-60°C a belső hőmérséklet, de egyes esetekben a 60-70°C-ot is elérheti, ami már öngyulladáshoz vezethet.

Az anaerob lebontást már a levegő-, oxigénmentes környezet jellemezi. Itt a második, kezdeti lebontási fázisban a hőmérséklet tovább növekedhet, 35-75°C között alakulhat. A keletkező illékony zsírsavak, széndioxid és hidrogén az erjedő acetogén baktériumoknak köszönhető, ami miatt a depóniagáz nitrogéntartalma csökken. A savas kémhatású csurgalékvízben a szulfát, nehézfém zsírsav, ammónia és kalcium koncentráció ugyancsak magas. A harmadik, közbülső anaerob lebontási fázist az egyre növekvő mennyiségű metanogén baktériumok jelzik. A metánkoncentráció növekedésével egy időben a széndioxid koncentráció csökkenésnek indul, míg a hidrogén teljes mértékben eltűnik a gázból. A szulfátredukció révén a szulfátkoncentráció tovább csökken, ami a fémek oldhatóságát is rontja, később pedig szulfidos alakban csapódhatnak ki. A negyedik fázis már az állandósuló metánképződés 50-60%-os részarányát mutatja a biogázban. Végül az ötödik szakaszra már csak ellenálló szerves szén marad a hulladékban, a bomlási folyamatok befejeződnek és a légköri diffúzió hatására újra nitrogén és oxigén jeleneik meg a depóniagázban (Szabó, 1999).



1. ábra: A lebomlási folyamat különböző fázisai (Szabó, 2010)

Az ellenőrzött, szabályozott biogáz képződéshez szükséges ismerni a mikroorganizmusok életét és fejlődését befolyásoló abiotikus tényezőket, ami a következő nyolc tényezőt jelenti:

- Oxigén
- Hidrogén
- Kémhatás, pH
- Szulfát
- Tápanyag
- Inhibitorok
- Hőmérséklet
- Nedvesség

A projekt szempontjából legfontosabb paraméter a hőmérséklet. Az egyes lebontó szervezetek amennyiben 32°C-os hőmérsékleti tartományba kerülnek, működésük leáll, lebontási tevékenységüket felfüggesztik. Éppen ezért fontos, hogy a hőkinyerés során ez alá az érték alá ne kerüljön a depónia hulladéka (Szabó, 1999).

2.1.3. Csurgalékvíz keletkezés

A bomlási folyamatok során víz is keletkezik, amelynek elvezetését a csurgalékvízgyűjtő rendszer oldja meg. A rendszer méretezéséhez és a keletkező csurgalékvíz mennyiségének meghatározásához elengedhetetlen a depónia vízháztartásának ismerete. Utóbbit a módosított vízháztartási egyenlettel tudjuk leírni (Szabó, 1999).

$$C_s - P - R \pm K - V_{CS} - L_f + V_b + V_k = 0$$

C_s: csapadék,

P: párolgás,

R: tározás (kötött vízként),

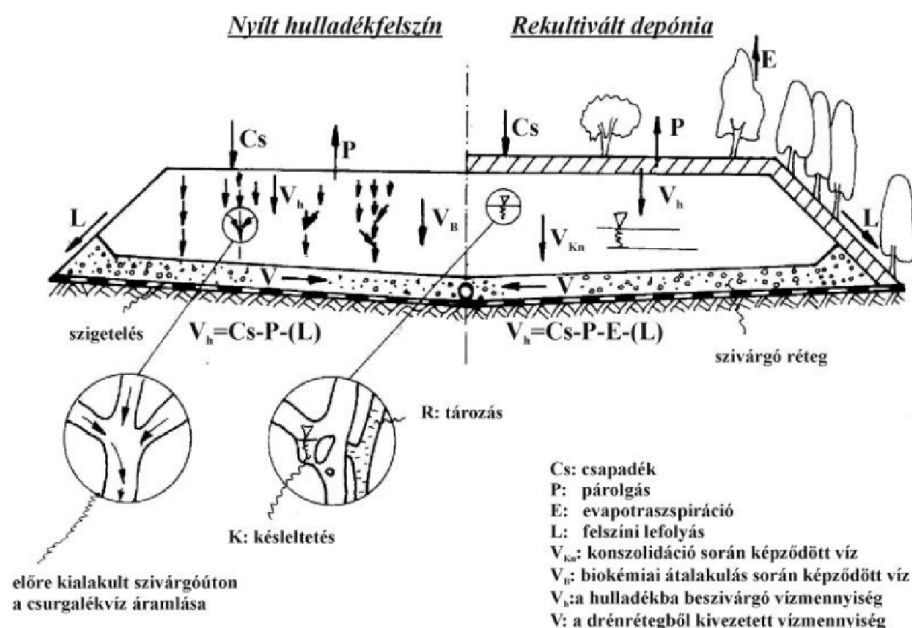
K: késleltetés (rövidebb ideig a kapillárisokban raktározott víz),

L_f: felszíni lefolyás,

V_{CS}: csurgalékvíz-lefolyás az altalaj felé,

V_k: konszolidáció hatására keletkezett víz

V_b: biokémiai folyamatok során képződött víz



2. ábra: Hulladéklerakók vízháztartása (Szabó, 2010)

2.2. A gyáli hulladéklerakó bemutatása

A mérések helyszínéül az A.S.A Magyarország Kft. gyáli telephelye szolgált. A lerakót működtető cég a spanyol FCC környezetvédelmi cég A.S.A. csoportjának tagja, amely többek között jelen van Lengyelországban, Csehországban, Szlovákiában, Romániában is. A telep 4 km-re fekszik Budapest határától, Gyál és Felsőpakony között, közvetlenül az M0-ás autópálya mellett. Erre a telephelyre éves szinten megközelítőleg 100-130 ezer tonna vegyesen gyűjtött települési hulladék kerül lerakásra, ami a környező településekről (pl: Gyál, Délegyháza, Ecser, Ócsa, Pécel) származik.



3. ábra: A gyáli hulladéklerakó madártávlati képe
(ORFK légi felvétele, H. Szabó Sándor)

A telephely maga – a 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről alapján – egy B3 kategóriájú (kevert, nem veszélyes hulladékok) lerakó, amely egy hányószerűen kialakított depóniadomb. Gyálon 5 lerakási ütem található, ezek közül az első négy ütembe került beépítésre a hőmérséklet-eloszlást mérő rendszer. Az egyes depóniaütemekre jellemző hulladékmennyiség és az installálás időtartamát az alábbi táblázat mutatja.

Depóniaütem	Befoglaló geometriai méretek [m ³]	A lerakás időtartama
I.	377.596	1999
II.	426.322	2003
III.	593.059	2006
IV.	400.000	2009
V.	423.900	2012-2015

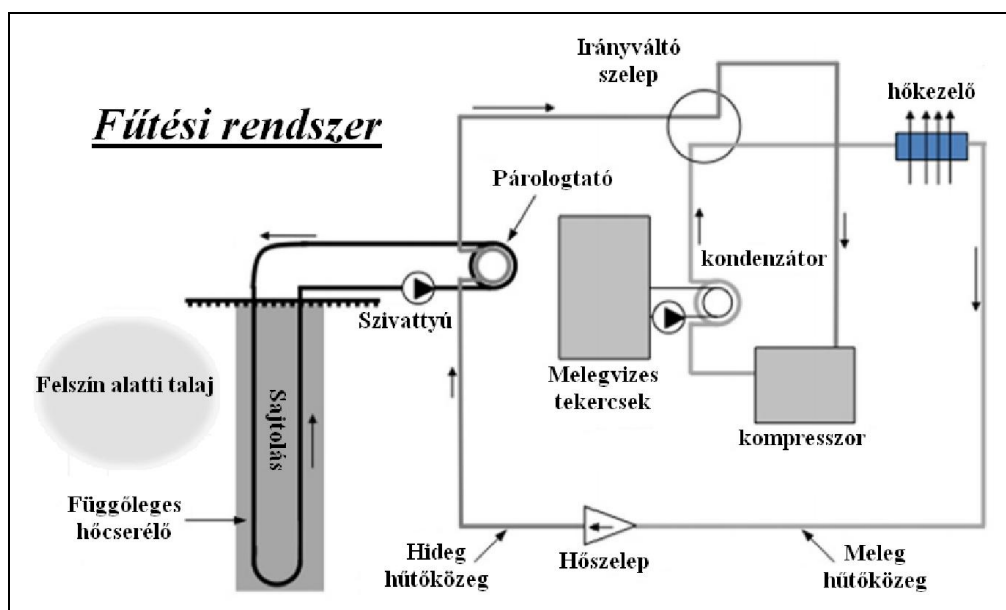
1. táblázat: A gyáli hulladéklerakó ütemeire vonatkozó adatok
(Profikomp Környezettechnika Zrt., 2013)

2.3. Hőkinyerés deponált települési hulladékból

Elfogadott tény, hogy a hulladéklerakókban lejátszódó bomlási folyamatok során a biogáz mellett nagy mennyiségű hő is keletkezik, de kinyerésével csak az utóbbi időkben kezdtek el érdemben foglalkozni. Ebben a témában két amerikai cikk jelent meg, bizonyítva, hogy a tengerentúlon a probléma megoldásában előrébb járnak. A Coccia és szerzőtársai, ill. Yesillier és szerzőtársai tollából származó cikkek jelentős szerepet töltöttek be a Depóniahő hasznosítási technológia kidolgozása projekt kezdeti szakaszában.

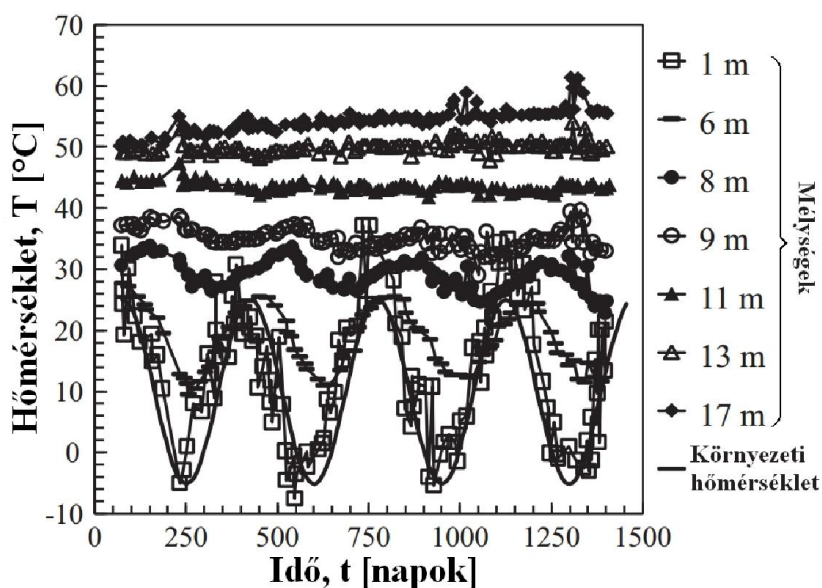
Egy osztrák feltaláló, Peter von Rittinger bánya- és kohómérnök fejlesztette ki az első hőszivattyús rendszert (GSHP – ground source heat pump) 1855-ben. Másfél évszázad alatt a technológia igen elterjedté és kedvelté vált a felszín alatti hőforrások, más néven a geotermikus energia kiaknázására.

A hő kinyerésére csővezetékrendszert telepítenek a földfelszín alá függőleges (fúrólyuk) vagy vízszintes (árokrendszer) kivitelben, amelynek anyaga vagy nagy sűrűségű polietilén (HDPE – High-density polyethylene) vagy nagy sűrűségű polibutilén (HDPB - high-density polybutylene). A rendszer három fő részre osztható. A zárt hőcserélő körön keresztül érintkezik a rendszer a felszín alatti közeggel, ahonnan hőt von el, vagy hőt ad le. Ezt követi a hőszivattyú, amelyben alacsony forráspontú munkaközeg kering. A rendszer utolsó eleme a hőelosztó hálózat, amely az épületeket hűti, vagy fűti. Amennyiben a hőcserélőt a talajba telepítik, akkor a hőcserélő körben mindenképpen fagyásálló munkaközeget – általában vizet, alkoholt, olajat vagy esetenként propilén-glikolt – kell keringetni. A hőszivattyú rendszer sematikus ábráját a **4. ábra** mutatja be, annak fő részeivel és a benne lévő áramlási irányokkal együtt (Coccia és szerzőtársai, 2013).



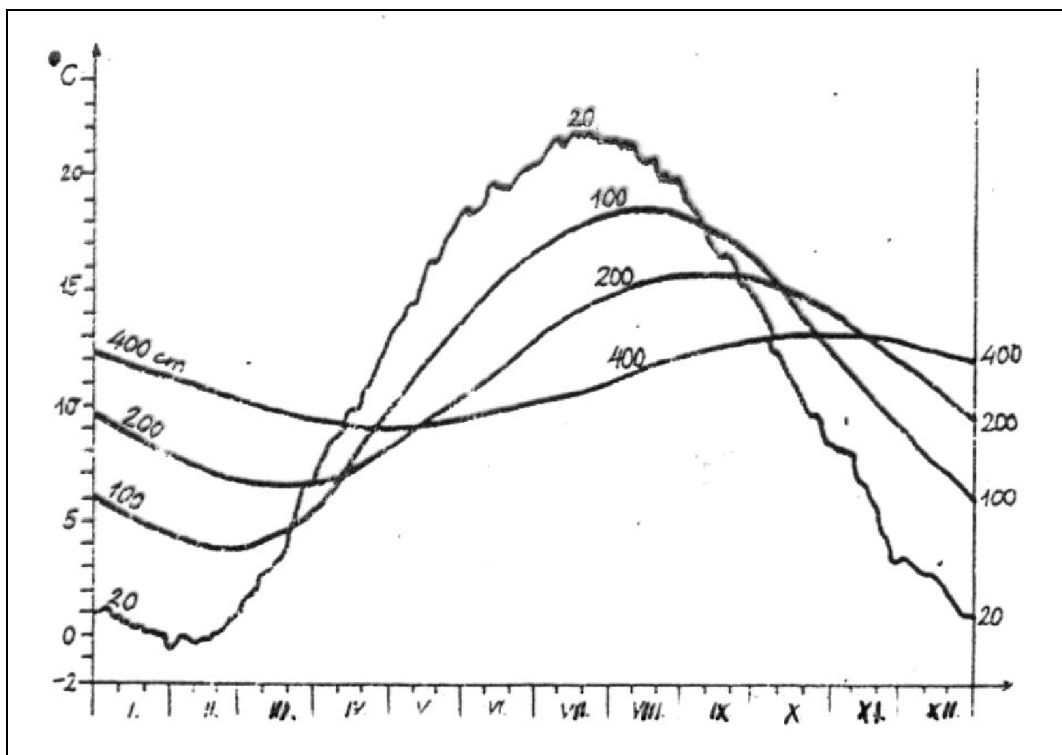
4. ábra: Hőszivattyús rendszer (Coccia és szerzőtársai, 2013)

A cikk írói különböző észak-amerikai hulladéklerakókban több éven át tartó hőmérséklet-eloszlás mérést végeztek. A kapott eredményekből Coccia szerzőtársaival együtt megállapította, hogy az évszakosan változó környezeti hőmérséklet legfeljebb a 6-12 méteres mélységig tudja kifejteni a hatását, az ez alatti tartományokban a hőmérséklet állandósul, és az általuk vizsgált hulladéklerakók esetében elérheti a 40-60 °C-ot is (Coccia és szerzőtársai, 2013).



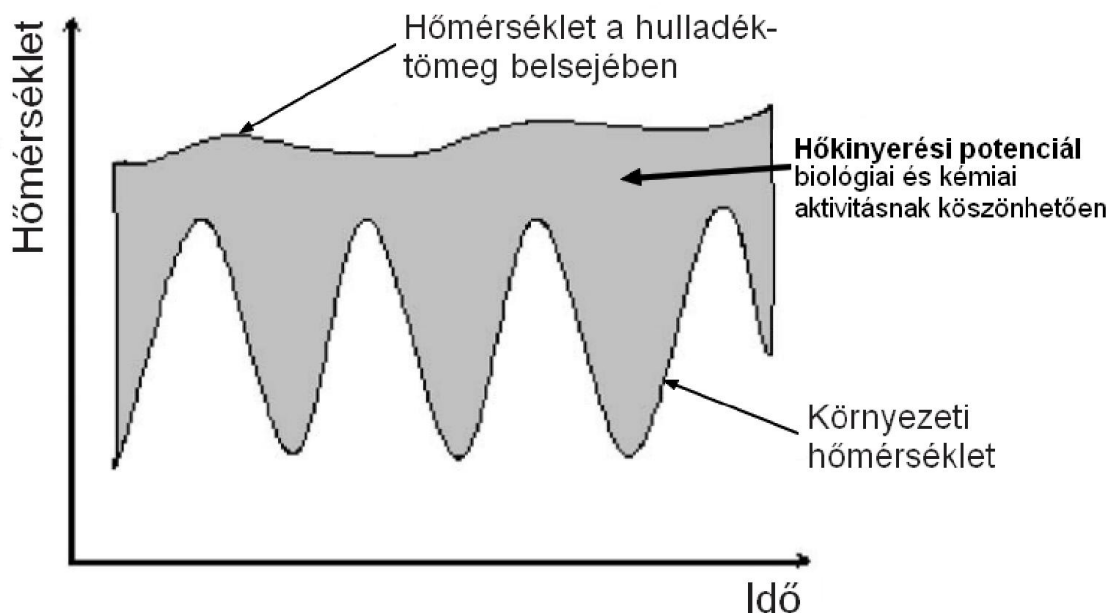
5. ábra: A Michigan-i hulladéklerakónál mért hőmérsékleti adatok (Coccia és szerzőtársai, 2013)

Ezt a megállapítást alátámasztja az a magyarországi mérés is, amelyet Budapesten végeztek, fővárosunk talajhőmérsékleti átlagértékének meghatározása céljából. Ezekből kiderül, hogy hazánkban megközelítőleg 11°C az átlagos talajhőmérséklet.



6. ábra: A talajhőmérséklet évi menete a különböző mélységekben Budapesten (Anda és Kocsis, 2006)

Az amerikaiak bevezettek egy új paramétert, az úgynevezett HC – Heat Content (Hőkinyerési potenciál, tükörfordításban Hőtartalom) értéket. A HC paraméter az a °C-ban kifejezett hőmérséklet különbség, amely a hulladéklerakóban az exoterm bomlási folyamatok révén kialakuló nagyobb hőmérséklet és az adott időszakban és helyen - a hulladéklerakó nélküli - jellemző talajhőmérséklet között kialakul. Jól jellemzi az adott hulladéklerakóból kinyerhető hő alakulását az évek során a HC idő szerinti változása, ami gyakorlatilag arányos a depóniatestből kinyerhető energia mennyiségével.



7. ábra: Hőtartalom mértékének meghatározása (Yesiller és szerzőtársai, 2013)

A fentebb bemutatott diagram két görbéjére (átlagos talajhőmérséklet és környezeti hőmérséklet), illetve az általuk közrefogott területre ráilleszthető az ORNL (Oak Ridge National Laboratory) 1981-ben analitikai úton megalkotott képlete (Yesiller és szerzőtársai, 2013):

$$T_{(x,t)} = T_m - A_s e^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{x}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right]$$

$T_{(x,t)}$: hőmérséklet a mélység és idő függvényében [$^{\circ}\text{C}$]

T_m : átlag talajhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]

A_s : a felszíni hőmérsékletváltozás amplitúdója [$^{\circ}\text{C}$]

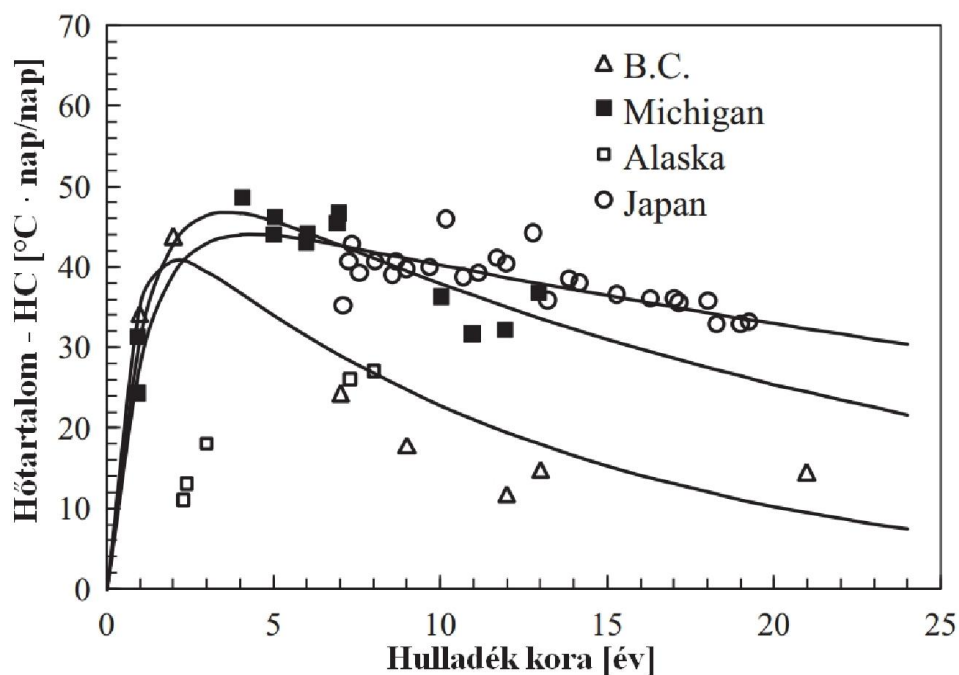
x : mélység a felszíntől számítva [m]

α : termikus diffuzivitás [$4,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{nap}$]

t : idő [nap, ahol 0 = December 31-e éjfé]

t_0 : fázisállandó [34,6 nap]

Mivel azonban minden hulladéklerakó más és más, ezért átlagosítani nem lehet a hőtartalmat. Mértéke függ a hulladék korától, összetételétől, mennyiségétől, a lerakás módjától és még számos más tényezőtől, de legfőképpen a hulladék szervesanyag tartalmától és a lebontó folyamatok mértékétől.



8. ábra: A HC az idő függvényében három különböző hulladéklerakónál (Yesiller, illetve Yoshida és Rowe mérései nyomán, 2013)

A **8. ábrát** megvizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy a lerakókban rejlő hőkinyerési potenciál nagysága elérheti akár az 50 °C-t is. Lerakást követően a hulladék HC értéke az aerob lebontási szakaszban meredeken emelkedik. Ez az emelkedés aztán – a grafikonok szerint – 2-4 évig is eltart, majd egyre lassuló csökkenés kezdődik el, de még 20-25 év elteltével, sőt bizonyos esetekben akár 50-60 év után is számottevő hőenergia marad a lerakóban.

Az amerikai tanulmányokban kitérnek arra is a szerzők, hogy a HC jelentősen függ a hulladék lerakási jellemzőitől. A lerakás ideje, vagyis hogy melyik évszakban történt a lerakás befolyásolja a kinyerhető hőenergia mértékét. Megállapították, hogy amennyiben melegebb évszakban rakják le a hulladékot, úgy az időarányos HC értékének maximuma is nagyobb lesz, szemben a hidegebb évszakban történő lerakásoknál. Összefüggést találtak a hőtartam és a lerakás tömegárama között is. A gyorsan, nagy mennyiségben lerakott hulladékok esetében nagyobb a hőtartam, megközelítőleg lineárisan növekszik ez az érték a tömegáram növekedésével. Az időjárási körülmények vizsgálata során azt fedezték fel, hogy a csapadékmennyiség növekedésével nő a HC is, majd 2,3 mm/nap-nál eléri maximumát, ami után csökken a hőtermelődés (Coccia és szerzőtársai, 2013).

Mivel a kommunális hulladékok hőtani paramétereiről kezdetben kevés információval rendelkeztek, számításait egy korábbi tanulmányra alapozták, amelyet Hanson végzett az Egyesült Államokban. Hanson viszonylag tág nagyságrendi becslést adott a legfőbb hőtani paraméterre, mint a hővezetési tényezőre, fajhőre, hődiffúzitási tényezőre és hőtermelési kapacitásra, amelyek a **2. táblázatban** láthatók.

Paraméter neve	Jellemző értéke
egység térfogat súlya	5,2 – 9,8 kN/m ³
hővezetési tényező	0,3 – 1,5 W/m·K
állandó térfogaton vett fajhő	1000 – 2200 kJ/m ³ ·K
hő diffúziós tényező	$3 \cdot 10^{-7}$ - $7 \cdot 10^{-7}$ m ² /s
hőtermelési kapacitás	2 MJ/m ³ ·K

2. Táblázat: Kommunális hulladék hőtani paraméterei (Hanson, 2008)

2.4. Hőmérsékletmérési módszerek

Számos, eltérő fizikai elven működő hőmérési módszer létezik, mind laboratóriumi, mind ipari alkalmazásokhoz. A hőmérséklet-eloszlásának a pontos meghatározásához ezek közül kell kiválasztani a célnak legmegfelelőbbet. A háztartásokban is használt folyadék hőmérők a köbös hőtágulás elvén működnek, de léteznek olyan modern, elektromos eszközök is, amelyeknek elektromos kimenő jelük van. Két kategóriába lehet sorolni a különböző hőmérési módszereket:

- **Közvetlen hőmérés – kontakthőmérők:**
A kontakt hőmérők a saját anyagukban bekövetkező hőmérsékletváltozást vagy az ez által kiváltott egyéb fizikai paraméter megváltozását mérik. Jellemző rájuk az, hogy minél nagyobb a hőkapacitásuk – vagyis hogy mekkora hőt kell közölni ahhoz, hogy 1 K-t emelkedjen a hőmérsékletük – annál pontosabb. Ilyenek például a folyadék- vagy gázhőmérők, ellenálláshőmérők, termoelemek.
- **Közvetett hőmérés – távhőmérők:**
Ezek a hőmérők a mérendő anyag felületéről érkező elektromágneses sugárzást detektálják. Az előbbi csoportnál általában pontosabb, de ugyanakkor drágább is. Ebbe a csoportba tartoznak az infrakamerák.

2.4.1. Folyadékhőmérők

A folyadékhőmérőknek három része van, egy zárt tartályból vagy edényzetből, ami egy szűk, általában üvegcsőhöz csatlakozik és az üvegcső mögött vagy mellett található skálabeosztásból állnak. A folyadék térfogati hőtágulásából adódóan a hőmérsékletváltozás hatására a térfogata megnő vagy lecsökken. Amennyiben hőközlés történik, úgy a tartályban és az üvegcsőben található folyadék térfogata megnő, a tágulás hatására pedig a vékony üvegcsőben a folyadékszint feljebb kúszik. A leolvasás vizuálisan történik a leolvasást végző személy által, aki a valamilyen hőfokrendszerben (Celsius, Fahrenheit, stb.) megadott skáláról olvassa le a hőmérsékletváltozást. Leggyakrabban a folyadék megfestett alkohol, amivel -30°C és $+100^{\circ}\text{C}$ között lehet mérni. A régebben használatos higanyos hőmérők méréstartománya -30°C és $+300^{\circ}\text{C}$ között mozgott, de ezeket már az Európai Unió országokból kitiltották, így hazánkban is (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

2.4.2. Gázhőmérők

A gázhőmérők a hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező nyomásváltozás elvén működnek. A gáztörvény szabályai szerint az állandó térfogaton vett gáz nyomása a hőmérséklet emelésével egyenes arányban növekszik. Előnye hogy rendkívül alacsony hőmérsékleteken is működik, így legfőképpen laboratóriumokban használják őket (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

2.4.3. Ellenállás hőmérők

A fémekre jellemző az a tulajdonság, hogy eltérő hőmérsékleten eltérő vezetőképességgel rendelkeznek. Ezt a tulajdonságot az adott fémre jellemző hőmérséklet együttható, koeficienssel (α) lehet jellemezni, és az alábbi képlet segítségével meghatározható az ellenállás-változás mértéke is:

$$R_T = R_{T_0} (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

R_{T_0} : kiindulási hőmérsékleten mért ellenállás [Ω]

ΔT : hőmérsékletváltozás [$^{\circ}\text{C}$, K]

α : hőmérséklet koeficiens [$1/^{\circ}\text{C}$, $1/\text{K}$]

Az ilyen ellenállás hőmérőket rendszerint olyan anyagokból (például nikkel vagy platina) készítik, amelyeknek a kívánt méréstartományon belül lineáris az elektromos ellenállás változásuk. Az előállítás során az eredő ellenállást mindig 0°C-ra adják meg (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

2.4.4. Termoelemek

A termoelemek két különböző fémhuzalból állnak, melyeknek egy-egy végét villamosan összekapcsolják. A huzalok másik végét forrasztással vagy hegesztéssel összekapcsolva kapjuk meg a termoelem melegpontját. A kapcsolódási pontok hőmérsékletváltozásának hatására a fémhuzalok között elektromos feszültség keletkezik. Ezt a jelenséget a felfedezőjéről Seebeck effektusnak nevezik, amelyet Thomas Johann Seebeck német fizikus 1821-ben írt le elsőként. Fontos feltétel, hogy a műszer csatlakozóinak azonos hőmérsékletűnek kell lennie, mert ellenkező esetben parazita hőelemek alakulnak ki a csatlakozásnál. Előnyük, hogy a megfelelően megválasztott fémek párosításával meglehetősen széles tartományban lehet hőmérsékletet mérni, illetve gyorsan reagál, átveszi a melegpont a környezetének hőmérsékletét, továbbá kis méretben elkészíthető (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

2.4.5. Termisztorok

Az ellenállás hőmérők egy alcsoportjának tekinthetők, amelyeket speciális fémoxidok sajtolása, szinterezése révén készítenek el. Előnyük, hogy nagy jelváltozás mellett reagálnak a hőmérsékletváltozásra, de mivel nem lineárisan változik az ellenállásuk a hőmérsékletváltozás hatására, ezért ritkábban használják őket. Főleg a szabályozás és a biztonságtechnikában alkalmazzák, mert például egy pozitív hőmérsékleti koefficienssel rendelkező termisztor határhőmérséklet túllépéskor képes áramkör megszakítására (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

2.4.6. Félvezetős hőmérsékletmérő szenzorok

A gyártók már képesek a komplett jelfeldolgozó elektronikát magába az érzékelőbe integrálni, aminek köszönhetően –adott megtáplálás mellett – már közvetlenül a hőmérséklettel arányos kimenő áram-, vagy feszültség jelük van. (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

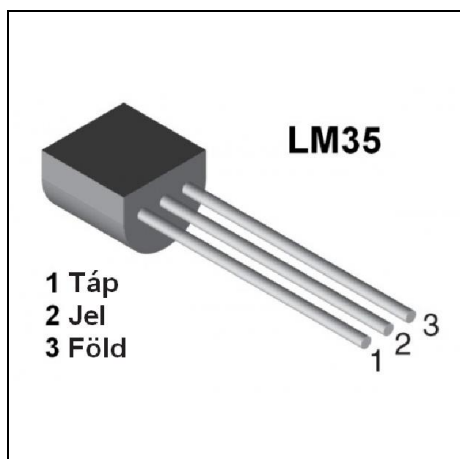
2.4.7. Infra hőmérők

Minden anyag a hőmérsékletétől függően valamilyen mennyiségben elektromágneses sugárzást bocsát ki magából az infravörös hullámhossz tartományban. A kibocsátott infravörös sugárzást egy irány érzékeny szonda segítségével lehet érzékelni, a sugárzás hullámhosszából és intenzitásából megállapítható a test hőmérséklete. A hőmérő az irányzást rendszerint lézer segítségével oldja meg, ezáltal nagy távolságban lévő tárgyakról is viszonylag nagy pontossággal ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) megállapítható, hogy mekkora a hőmérsékletük. Az utóbbi időkben egyre gyakrabban használják őket, áruk pedig folyamatosan csökken, de még mindig az egyik legdrágább hőmérőtípus. (Faitli J. és szerzőtársai, 2013).

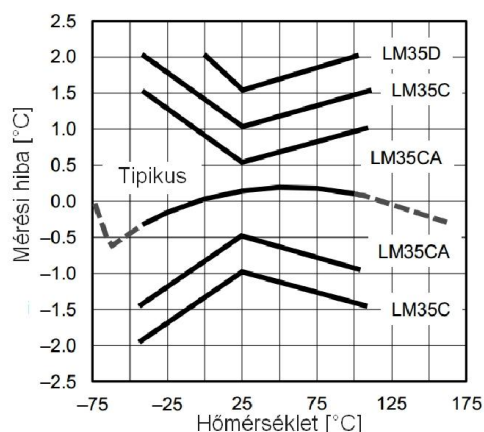
3. Műszerfejlesztés

3.1. Eszközök kiválasztása, mérőrendszer kifejlesztése

A megannyi hőmérési lehetőség közül a kontaktelven működőkre, azon belül is az elektromos hőmérsékletmérésre esett a választás. A távhőmérők alkalmazásához kontakt felületre van szükség, amely a depónia belsejében nem áll rendelkezésre, így nem használhatók. A leszűkített lehetőségek – hőelem, integrált hőmérsékletmérő szenzor és az ellenállás hőmérők – közül az integrált hőmérő szenzorra esett a választás. Előnye, hogy kis tömegű, könnyen beállítható és telepíthető, a feladat szempontjából rendelkezik a kellő mérési pontossággal és az elektromos impedanciája olyan, hogy a 6 – 16 m mélységbe telepített érzékelők esetén a hozzávezető kábel ($< 25\text{ m}$) nem befolyásolja a mérést. Ez a tulajdonság volt az, amely egyértelművé tette a választást. Mindezek alapján a National Semiconductor gyár LM35CN típusú hőmérsékletmérő szenzora lett alkalmazva a projektben. A szenzor úgy van kalibrálva, hogy 10mV feszültségváltozás 1°C -nak feleljen meg $0,1\Omega$ kimenő elektromos impedancia ($I_{ki} < 1\text{mA}$) mellett. Speciális leolvasóra nincs szükség, elegendő egy digitális multiméter, amellyel a kapott értéket már nem kell bonyolult képletekkel átváltani. A 3–40 V-os szükséges tápfeszültség miatt, egy normál 9 V-os elem alkalmas a tápellátásra. A mérési tartománya -40°C és $+110^{\circ}\text{C}$ között van, amelynek pontosságát a gyártó $\pm 1-1,5^{\circ}\text{C}$ -ban garantálja az általunk használt tartományban, de a hiba ettől jellemzően kisebb, jóval $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ alatt marad. Árárt tekintve könnyen beszerezhető 100–150 Ft-os darabáron.

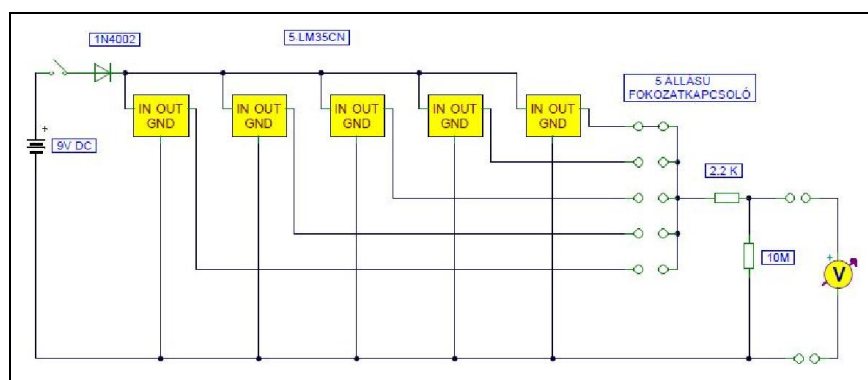


9. ábra: A műanyag tokozású hőmérő szenzor rajza



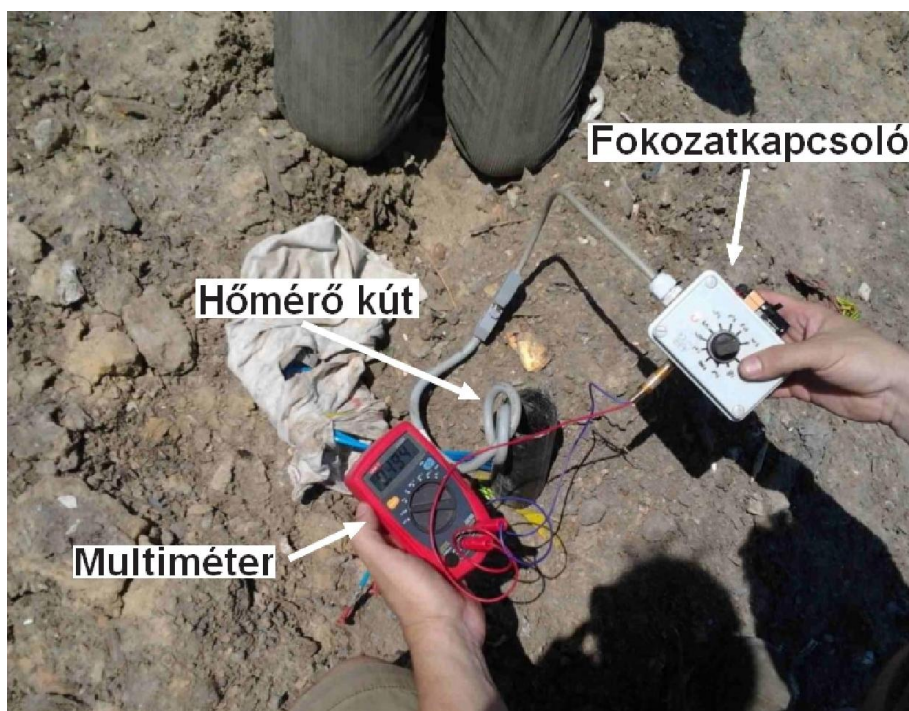
10. ábra: A hőmérő szenzor mérési pontosságát ábrázoló diagram

A hőmérőszensor kiválasztása után - a végleges megoldás előtt - egy próbamérőrendszer lett építve, hogy a rendszert tesztelni lehessen. Erre a célra egy $7 \times 0,75 \text{ mm}^2$ -es hajlékony és többeres vezetékre 5 darab mérőszensor lett felforrasztva egymástól 4,5 méteres távolságra. A vezeték két érén keresztül a diódák áramellátása volt biztosítva, míg másik 5 ér a diódák által leadott jelet továbbította a leolvasó berendezéshez. Az egyes diódák jeleit egy fokozatkapcsoló révén lehetett leolvasni. Ahogy az már korábban meg lett említve a tápfeszültséget a multiméterhez kötött 9V-os alkáli szárazelem szolgáltatta. A kimenet egy $2.2 \text{ K}\Omega$ -s ellenállás segítségével zárlatvédezté lett téve, a bemenetnél alkalmazott 1N4002-es dióda pedig az esetlegesen fordítottan kapcsolt elem károsító hatásától védi a szenzorokat. Végezetül egy nagy értékű, $10 \text{ M}\Omega$ -os ellenállás lett a műszerrel párhuzamosan kapcsolva a műszer mérésváltó automatikája végett. A szenzorok a mechanikai és egyéb behatások ellen szilikongumival és zsugorcsővel lettek burkolva.



11. ábra: A megépített próba hőmérsékletmérő rendszer kapcsolási rajza

A multiméteren a kijelzett feszültségértékek a diódák által közölt hőmérsékleti adatok. 10mV feszültség 1°C-nak felel meg, ám a multiméter érzékenységének köszönhetően mV tartományban csak 400 egységig tud mérni, e fölött automatikusan átvált V-ra. Ez azt jelenti, hogy a 40°C alatti tartományokban a multiméter kijelzőjén mutatott értékeknél egy nagyságrenddel kisebb értékek lesznek a diódáknál mért hőmérsékletek. Például, ha a display 276,3 mV-ot mutat, akkor a fokozatkapcsolón keresztül kapcsolt szenzornál 27,63 °C hőmérséklet mérhető. Ha viszont a szenzor 40°C-nál magasabb hőmérsékletet mér, például 63,23°C-ot, akkor a multiméteren 0,632V lesz kijelezve.



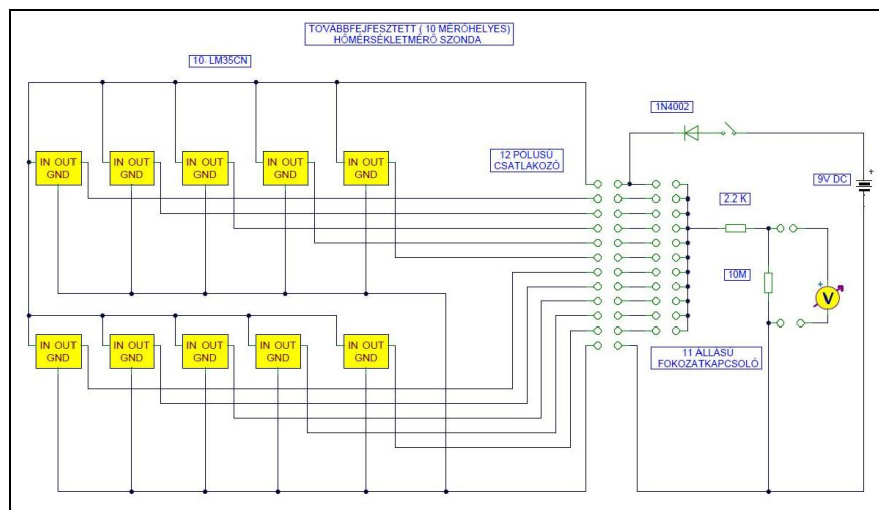
12. ábra: Hőmérséklet leolvasás egy hőmérő kútnál

A hőmérsékletérzékelő szenzorok elhelyezése a depótestet alkotó agresszív közegben nagy kihívást jelentett. Számos tényező mérlegelése után úgy döntöttünk, hogy KPE csőből védőburkolatot kell a depótestbe fűrt lyukba helyezni, amelybe a hőmérő rendszer leengedhető. Ennél a rendszernél viszont számolni kell az érzékelő kútban kialakuló anyagáramok hatásával. A kút aljában felszabaduló hő miatt légáramlás alakulhat ki, mivel hőtani szempontból bármilyen közegben a hőmérsékleti anomáliák mindig próbálnak kiegyenlítődni. A létrejövő hőtranszport azonban károsan befolyásolja a mérést, egyes mélységekben magasabb hőmérsékletet tapasztalunk majd, mint ami a valóságnak megfelel. A 3. számú kút esetében olyan nagymértékű hőáramlás volt tapasztalható, hogy a terepszin-

ten 39°C hőmérsékletet is mértünk. A hőkonvekció hatását azzal csökkentettük, hogy tömszelencével ellátott műanyag házba szereltük az integrált hőérzékelőket, amelyek külső átmérője jól illeszkedett a KPE cső belsejéhez, így gátoltuk a légmozgást. A KPE cső teljes feltöltését egyéb okokból elvetettük, mivel így is kielégítő pontosságú méréseket tudtunk végezni. Egy másik okból is jól tömíteni kellett a szenzorokat, ez pedig a csurgalékvíz. A próbamérések során a kút talpszintjén csurgalékvíz volt jelen. A csurgalékvíz nem csak a szenzorok beázása miatt káros, hanem a savas pH értéke miatt is. Ezek ismeretében olyan szigetelési módot kellett találni – zárt fenekű, talpdugózott szondahelyek –, amely lehetővé teszi, hogy se biogáz se csurgalékvíz ne juthasson a szenzorokhoz.

3.2. A végleges hőmérsékleteloszlás-mérő rendszer és annak telepítése

Kezdetben az volt az elképzelés, hogy két helyen, egy lezárt és egy még művelés alatt álló depóniarészben lesznek a hőmérő kutak. Azonban később ezt lényegesen kibővítettük, a pontosabb és átfogóbb adatok kinyerése érdekében több mérési helyet alakítottunk ki (10 db), hogy a hulladéklerakó komplex hőtani vizsgálata és a későbbi modellezés hiteles legyen. Adott furat esetén a hőérzékelők számát is megnöveltük 10 db-ra, így a mélységbeli felbontást is megnöveltük. A megépített 10 mérőhelyes rendszer kapcsolási rajza látható a 13. ábrán.



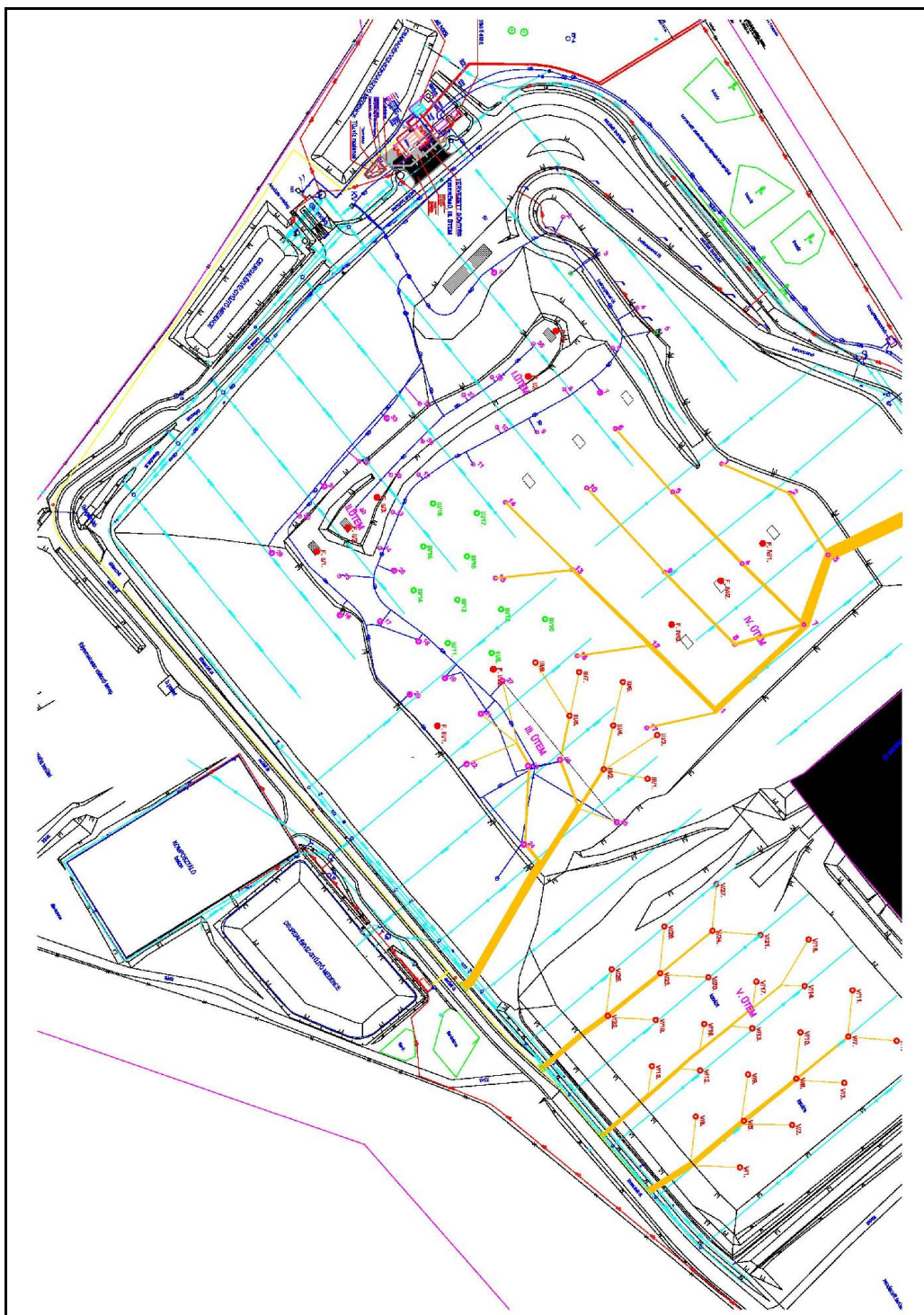
13. ábra: A végleges, 10 mérőhelyes hőmérséklet eloszlásmérő rendszer

Az időközben legyártott szondákba a 10 - 10 darab LM35CN hőmérő szenzor egymástól 1 méteres távolságra lett beépítve. Ebben az esetben a hordozó kábel már egy 18 eres Ysly kábel volt, amelynek 9 méterén lettek a szondák elhelyezve, illetve még plusz 6 méternyi ráhagyás volt, hogy a rendszer igazodni tudjon a furat mélységéhez. Hogy a szenzorok védve legyenek a csurgalékvíz és a biogáz káros hatásaitól egy esztergált, 40 mm átmérőjű PVC-ből lett számukra kialakítva egy védőház, amelyek végei egy-egy tömbszelencével lettek lezárva. E védőburkolat miatt, a szenzorok a csurgalékvíztől és a biogáztól el lettek különítve, viszont a szenzor hőtehetetlensége megnőtt. Ez ebben az esetben elhanyagolható, mivel a heti egy leolvasás miatt bőven van a rendszernek ideje az egyensúlyi állapotok kialakulására.



14. ábra: Az elkészült 10 mérőhelyes hőmérséklet-eloszlás mérő szondák.

A lerakó négy vizsgált ütemébe eltérő időpontokban rakták le a beszállított hulladékot, ezért a korábbiakban leírt folyamatok nyomon követhetők, ha mindegyik ütemet külön vizsgáljuk. Ezért a hulladéklerakó 4 ütemébe összesen 10 darab hőmérő kút lett fúrva (2013. június), az I.-es és III.- as ütembe két-két, míg a II.-es és IV.-es ütembe három-három kút lett mélyítve.



15. ábra: A depónia kiépített hőmérséklet és depógáz monitoring rendszere

Sárga vonalak:	Csurgalékvíz elvezető rendszer
Sötétkék vonalak:	Csurgalékvíz visszapermetezésére szolgáló porlasztók
Halványkék vonalak:	Gázfigyelő kutak
Piros körök (teli):	Új hő- és depógáz mérő kutak helyei

A fúrásokat a Castor Kft. munkatársai végezték - egy munkagépre szerelt, - saját készítésű, $D = 800$ mm átmérőjű fúróberendezéssel.



16. ábra: Fúrás

A következő képen egy elkészült furat szájnyílása látható. Jól látszik a képen, hogy nagyobb a hőmérséklet a furatban, mivel jelentősen gőzölög.



17. ábra: Az egyik furat szájnyílása.



18. ábra: A IV.1 fúrás során kitermelt anyagmennyiség.

A fúrások mélységét a munkagépre szerelt fűrőfej ismert fűrőszár hosszúsága alapján határoztuk meg.



19. ábra: A mérőszonda előkészítése a helyszínen.

A 19. ábrán látható egy előkészített 16 m hosszú 63 mm-es külső átmérőjű KPE csőből készített mérőszonda, amelyre kívülről 3 db perforált gázmintavevő feltét is rá van hegesztve. A gázmintavétellel ez a dolgozat nem foglalkozik.

3.3. Mérés bemutatása

A telepített rendszer által mért hőmérsékleteket heti rendszerszerűséggel, általában mindig szerdán a reggeli vagy délelőtti órákban olvastuk (olvassuk) le, mind a 10 hőmérő kút esetében. Egy hőmérő kút esetében ez a következőképpen zajlott. A kút azonosítása után csatlakoztattam a multimétert és a vele összekapcsolt fokozatkapcsolót a KPE csőből kijövő Ysly kábelhez. Miután az eszközöket bekapcsoltam a fokozatkapcsoló segítségével a rendszeren lévő mind a 10 szenzor által mért hőmérsékleti adatot feljegyeztem. A leolvasás közben gyakran előfordult, hogy a felsőbb és alsóbb rétegek között a multiméter automatikája mérési tartományt váltott, amire ügyelni kellett és a leolvasását a műszerfejlesztés című fejezetben leírtak szerint kellett megtenni. Miután egy hőmérőkút esetében mind a 10 hőmérsékleti érték feljegyzésre került, az Ysly kábel végét és a depóniatestből kivezető KPE cső csonkot betakartam, hogy az időszakos esőzéstől, illetve a csurgalékvíz visszapermetezésétől védve legyen. Végül mikor az összes kút leolvasása megtörtént, a külső, környezeti hőmérsékletet is lejegyeztem, hogy korrelációt tudjak megállapítani a környezeti hőmérséklet és a terepszint közeli rétegekben mért hőmérsékletek között.

4. Mérési eredmények ismertetése

A projekt hőmérséklet-eloszlás mérései 2013. június 19-én kezdődtek meg. A leolvasásban közreműködött még Kardos Béla, a Miskolci Egyetem Környezetmérnök MSc szakos hallgatója, illetve Erdélyi Attila, a gyáli hulladéklerakó alkalmazottja és a *Depónia hő hasznosítási technológia kidolgozása* című projekt projektmenedzsere. Az adatokat a következőkben táblázat formájában mutatom be, kiemelve szürkével azokat a részeket, amelyekről már a leolvasás helyszínén kiderültek, hogy pontatlan, hibával terhelt értékek, illetve sárgával azokat, amelyek csak az utómunkálatok során lettek kihagyva az egyes számításokból.

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	53,3	43,6	35,1	59,8	26,6	33,9	37,0	35,5	45,5	45,0
-7	54,1	44,8	35,3	63,1	27,2	36,4	41,3	35,2	48,4	47,6
-8	54,4	48,6	35,9	64,0	27,2	36,8	44,1	34,9	49,2	49,3
-9	54,7	51,0	37,1	65,9	27,8	38,9	46,6	33,0	51,4	51,0
-10	55,5	50,5	37,9	64,5	28,4	40,0	50,6	34,9	51,5	51,9
-11	56,3	55,1	37,7	63,1	28,7	42,4	51,3	36,8	52,0	52,7
-12	58,5	56,9	37,9	64,3	30,0	42,5	52,8	38,2	52,1	51,7
-13	66,9	56,9	38,3	64,1	29,9	42,5	55,1	39,2	52,2	52,3
-14	67,1	60,9	42,9	63,7	30,3	44,2	55,1	36,8	53,0	50,2
-15	65,8	62,4	44,4	63,5	29,4	44,1	56,3	37,9	53,5	49,4

3. Táblázat: A 2013. június 19-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	53,1	44,3	36,0	42,8	27,9	35,6	42,0	36,4	45,9	45,9
-7	53,7	46,0	36,2	50,2	27,8	37,2	44,5	35,7	48,7	48,4
-8	54,1	50,4	36,9	50,2	27,8	37,6	46,8	34,5	49,5	50,0
-9	54,4	50,2	37,6	51,8	28,5	39,8	50,0	32,5	51,7	51,4
-10	55,1	51,5	38,1	52,5	28,9	41,8	51,9	33,8	51,7	52,2
-11	55,7	55,1	38,5	53,4	28,9	42,3	53,1	36,5	52,1	52,8
-12	60,5	56,8	38,8	57,5	30,4	43,5	54,9	37,5	52,2	51,8
-13	67,1	56,8	39,1	57,0	30,2	44,0	56,2	34,6	52,1	52,1
-14	67,4	60,4	40,4	56,7	30,7	45,4	56,2	34,2	53,0	49,8
-15	66,0	62,0	45,5	58,6	29,6	45,5	57,4	35,5	53,5	48,9

4. Táblázat: A 2013. június 26-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	53,2	44,9	36,8	55,0	26,5	35,8	42,2	35,9	46,1	46,0
-7	53,2	46,5	36,9	56,8	27,2	37,3	44,1	35,2	48,8	48,6
-8	54,0	49,9	37,7	57,5	27,6	37,9	46,9	34,6	49,7	50,0
-9	54,3	52,6	38,4	61,1	28,3	40,0	50,3	33,1	51,8	51,4
-10	55,2	53,9	38,9	61,4	29,0	42,2	52,1	34,9	51,7	52,2
-11	55,7	56,3	39,2	61,1	29,1	43,0	53,2	38,2	52,1	52,9
-12	61,4	57,5	39,2	63,5	30,9	44,1	55,0	39,5	52,3	51,7
-13	67,2	58,7	39,7	63,3	30,7	44,6	56,4	38,2	52,1	51,9
-14	67,5	60,5	44,4	63,0	31,7	46,0	56,4	37,7	53,0	49,4
-15	66,2	61,9	45,5	64,4	30,5	46,2	57,7	37,8	53,5	48,4

5. Táblázat: A 2013. július 3-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	53,0	45,9	37,4	57,9	29,5	35,9	42,5	35,9	43,4	46,0
-7	52,8	45,7	37,4	59,4	27,8	37,7	44,9	35,1	46,1	48,6
-8	53,0	47,1	38,1	60,3	28,4	38,6	47,1	34,5	48,0	50,0
-9	53,7	47,4	38,6	61,5	29,3	40,9	50,4	32,6	50,6	51,7
-10	53,6	49,7	38,8	60,9	29,6	43,0	52,4	33,8	50,7	52,2
-11	54,0	52,6	39,1	59,8	29,6	43,9	53,4	36,7	51,3	52,8
-12	55,3	54,8	38,9	61,0	30,1	45,1	55,1	38,3	51,7	51,6
-13	56,0	54,7	39,4	60,6	30,7	45,7	56,5	35,4	51,6	51,7
-14	57,4	57,6	43,5	60,1	31,0	47,1	56,4	35,0	52,7	49,2
-15	65,6	59,8	44,5	60,4	30,0	47,4	57,7	35,6	53,1	48,0

6. Táblázat: A 2013. július 10-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	53,3	46,4	37,8	49,5	28,5	36,1	42,5	36,3	43,6	43,1
-7	53,1	46,1	37,8	54,8	28,0	37,9	44,9	35,2	46,1	48,5
-8	53,3	47,1	38,4	59,7	28,9	38,8	47,2	34,6	47,9	50,0
-9	53,9	47,4	38,7	62,4	29,9	41,1	53,0	32,8	50,5	51,4
-10	54,0	50,2	38,9	62,6	30,4	43,4	52,9	34,1	50,6	52,1
-11	54,3	52,1	39,0	61,0	30,5	44,3	53,4	36,8	51,2	52,7
-12	55,7	53,9	38,8	61,8	31,9	45,7	55,0	38,5	51,6	51,4
-13	56,3	55,5	39,2	61,4	31,7	46,2	56,4	36,2	51,6	51,6
-14	57,7	56,6	42,9	60,9	32,0	47,8	56,3	35,7	52,7	48,9
-15	56,9	59,2	43,9	61,0	31,1	48,0	57,6	36,2	53,1	47,6

7. Táblázat: A 2013. július 17-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	53,7	47,2	38,5	49,4	29,1	36,1	41,9	36,2	44,2	43,2
-7	53,5	46,8	38,6	54,6	28,4	37,9	44,5	35,3	46,8	48,9
-8	53,7	47,4	39,2	59,9	29,2	38,9	47,5	34,1	48,2	49,4
-9	54,2	47,5	39,6	61,9	29,9	41,2	52,8	32,7	50,9	51,4
-10	53,9	49,1	39,5	62,3	30,8	43,4	53,1	33,9	51,0	52,5
-11	54,4	51,4	39,6	60,9	30,8	44,1	53,4	36,9	51,8	52,5
-12	56,0	53,3	39,2	61,5	31,9	45,9	54,9	38,5	52,1	52,9
-13	56,4	54,6	39,6	61,4	32,2	46,7	56,7	36,2	52,1	51,8
-14	58,4	55,3	43,6	61,1	31,9	47,9	56,3	35,9	53,2	50,2
-15	65,8	57,9	44,6	60,8	31,2	48,5	57,1	36,0	54,1	48,1

8. Táblázat: A 2013. július 24-i hőmérsékleti adatok

2013. július 31.

Ezen a napon a hőmérő kutak közül három toldáson esett át, aminek oka az volt, hogy a IV. és III ütembe folyamatos hulladékfeltöltés volt. Néhányat már annyira körülölelt a lerakott hulladék, hogy muszáj volt kiemelni (3 méter), amely a HDPE cső és a hőmérő szenzorok 18 eres kábelének a toldását eredményezte. A hőmérő szenzorokhoz kapcsolódó kábelek összekötése és igazítása során feltehetőleg megsérült a legalsó hőmérő-szenzor szelencéje és vélhetőleg közvetlen érintkezésbe került a kút aljában felgyülemlett csurgalékvízzel. Ennek következtében a teljes áramkör és mérőrendszer a kútban hibás értéket kezdett mutatni, a hibát izolálni nem lehetett. Ezek után a kút leolvasása ugyan továbbfolyt, hátha a hiba elmúlik, de a probléma további fennállása a IV ütem I. jelzésű kútjának figyelmen kívül hagyásához vezetett.

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	12,5	48,0	39,4	60,7	28,2	36,6	47,8	36,3	44,0	46,1
-7	13,0	47,6	39,5	61,4	28,8	37,3	45,5	35,2	46,5	48,4
-8	14,0	48,1	40,1	62,4	29,0	38,7	48,1	34,6	48,1	49,9
-9	14,7	48,2	40,6	63,2	29,8	40,7	50,4	33,1	50,6	51,3
-10	14,0	51,4	40,6	63,0	30,1	43,0	52,3	34,0	50,8	51,9
-11	10,5	53,4	40,8	61,8	30,1	43,9	53,6	36,9	51,3	52,4
-12	11,3	54,6	40,3	62,6	31,4	45,3	55,1	38,1	51,6	51,2
-13	11,2	55,7	40,6	62,2	31,2	45,7	56,5	35,6	51,6	51,4
-14	12,1	56,4	43,0	61,7	31,4	47,2	56,4	35,3	52,6	48,8
-15	11,0	58,8	44,0	61,7	30,8	48,1	57,5	35,6	53,1	47,2

9. Táblázat: A 2013. július 31-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	25,4	48,2	40,2	61,0	31,3	36,5	42,9	36,5	43,7	46,0
-7	26,2	48,2	40,4	61,6	31,5	37,8	45,5	35,2	46,2	48,4
-8	27,1	49,2	40,9	61,7	32,3	38,4	48,2	34,6	47,8	49,8
-9	28,2	49,8	41,0	62,9	33,2	40,4	50,3	32,9	50,4	51,2
-10	28,2	53,3	41,8	63,1	33,6	42,6	52,3	33,5	50,6	51,8
-11	24,1	54,5	41,5	62,2	33,6	43,5	53,6	35,4	51,2	52,3
-12	26,2	57,0	41,2	63,1	34,7	44,7	55,0	33,9	51,5	51,0
-13	26,5	57,6	41,4	62,6	34,4	45,3	56,4	34,8	51,5	51,0
-14	28,4	58,6	43,8	62,2	33,7	46,8	56,3	34,5	52,5	48,3
-15	27,8	60,5	44,7	62,2	33,3	47,7	57,3	34,6	52,9	46,9

10. Táblázat: A 2013. augusztus 7-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	21,6	49,6	41,0	61,8	32,1	36,5	42,9	36,8	43,7	45,9
-7	22,3	49,3	41,2	62,0	32,2	38,0	45,4	35,5	46,2	48,3
-8	23,0	50,2	41,7	61,2	33,3	38,7	48,2	34,9	47,8	49,6
-9	23,4	50,9	41,9	61,7	34,4	40,8	50,2	33,8	50,4	51,1
-10	22,5	54,8	42,7	62,7	35,1	43,1	52,3	35,4	50,5	51,7
-11	19,6	56,1	42,3	62,1	35,1	43,9	53,5	38,3	51,1	52,2
-12	20,0	57,5	42,0	63,1	36,3	45,1	55,0	38,2	51,5	50,8
-13	21,0	57,5	42,3	62,7	36,0	45,5	56,3	38,2	51,5	50,8
-14	22,4	60,0	44,5	62,3	35,7	47,3	56,2	37,4	52,5	48,0
-15	21,8	61,8	45,4	62,3	35,3	47,9	57,3	37,2	53,0	46,8

11. Táblázat: A 2013. augusztus 14-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	24,1	49,7	42,0	69,8	33,2	36,7	43,0	38,1	43,7	46,0
-7	24,7	49,4	42,1	66,9	34,3	37,7	45,4	35,9	46,1	48,2
-8	25,3	50,4	42,7	66,2	36,6	38,3	48,4	35,0	47,8	49,6
-9	26,1	51,0	42,7	67,0	38,3	40,2	50,3	33,5	50,4	51,0
-10	26,4	54,1	43,6	66,5	39,4	42,4	52,2	34,2	50,6	51,6
-11	23,3	56,3	43,1	66,6	39,9	43,3	53,6	36,9	51,1	52,0
-12	23,6	57,3	42,8	67,8	40,6	44,7	54,9	35,1	51,4	50,8
-13	24,9	57,3	43,2	67,1	40,3	44,9	56,3	35,6	51,5	50,6
-14	26,5	59,7	45,3	67,2	39,4	46,3	56,1	35,0	52,5	48,0
-15	25,9	61,6	46,2	67,3	38,9	46,8	57,2	35,0	52,9	46,8

12. Táblázat: A 2013. augusztus 21-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	24,4	51,3	44,1	72,1	36,8	36,7	43,1	38,1	45,9	43,4
-7	24,2	50,9	44,3	74,3	37,4	37,7	45,3	36,1	48,0	45,8
-8	24,9	51,9	44,7	73,5	37,3	38,1	48,3	35,2	49,4	47,4
-9	25,4	52,2	44,6	73,3	38,1	39,8	50,1	33,9	50,8	50,1
-10	29,2	54,4	45,6	73,2	38,8	41,6	52,1	34,4	51,4	50,3
-11	25,2	0,00	45,9	72,6	38,5	42,8	53,4	36,0	51,7	50,8
-12	25,3	56,7	45,6	73,1	40,6	44,1	54,8	34,5	50,4	51,2
-13	28,2	56,8	46,1	72,6	40,3	44,3	55,9	35,5	50,6	51,3
-14	29,8	59,0	48,7	71,9	41,2	45,5	56,0	35,1	48,4	52,3
-15	30	60,9	49,3	71,0	40,8	45,9	57,0	35,1	46,6	52,7

13. Táblázat: A 2013. szeptember 6-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	26,2	51,9	45,1	76,7	36,5	36,7	43,1	38,5	45,9	43,3
-7	26,5	51,4	45,2	78,3	36,8	37,7	45,2	36,1	47,9	45,4
-8	27,1	52,4	45,8	76,9	38,9	38,2	48,2	35,3	49,3	47,1
-9	28,1	53,0	45,7	76,5	40,0	40,1	50,0	33,8	50,7	50,0
-10	31,7	55,7	46,8	76,7	41,1	42,0	52,1	34,5	51,2	50,2
-11	28,3	0,00	47,2	76,3	41,3	42,9	53,3	36,0	51,6	50,7
-12	28,3	58,8	47,2	77,3	42,3	44,1	54,7	35,9	50,3	51,1
-13	30,8	58,8	47,8	76,4	42,1	44,3	56,1	35,1	50,4	51,2
-14	32,9	60,9	50,1	75,8	41,6	46,0	55,9	35,1	48,1	52,1
-15	32,7	62,6	50,8	76,1	41,3	46,3	57,0	35,2	46,3	52,6

14. Táblázat: A 2013. szeptember 12-i hőmérsékleti adatok

Feltételezhető, hogy a július 31-i „kútkiesés”-hez hasonló esemény történt ebben az esetben is a III. ütem I-es jelzésű kútjánál. A probléma forrása ugyanarra az okra vezethető vissza, mint korábban. A kút leolvasásával az előzővel megegyező eljárást alkalmazva továbbra is le lettek olvasva a multiméter által mutatott értékek, de a későbbi számításokból kivettük a III/1-es kút ezen eseményt követő adatait.

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	27,0	52,6	45,5	97,0	36,6	36,9	43,2	38,9	45,8	43,0
-7	27,2	52,1	45,5	98,0	37,4	37,8	45,3	36,3	47,8	44,7
-8	29,0	52,9	46,0	36,0	40,8	38,5	48,4	35,4	49,0	46,2
-9	29,9	53,9	45,9	60,0	41,9	40,4	50,0	33,9	50,4	49,7
-10	33,3	57,1	47,3	74,0	43,1	42,5	52,1	34,7	51,0	50,0
-11	29,4	0,00	48,3	63,0	43,4	43,5	53,3	36,2	51,4	50,4
-12	25,8	59,5	48,8	66,0	44,2	44,7	54,6	34,1	47,9	50,8
-13	32,3	59,5	49,2	48,0	44,0	44,9	56,0	33,9	49,3	50,9
-14	34,9	61,7	51,4	30,0	43,2	46,8	55,8	34,8	47,7	52,0
-15	35,5	63,2	51,9	43,0	42,7	47,0	56,8	35,0	46,1	52,4

15. Táblázat: A 2013. szeptember 19-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	28,2	53,1	46,1	99,0	37,2	37,0	43,4	38,9	43,2	45,9
-7	28,8	52,5	46,1	96,0	38,4	38,0	45,4	36,5	45,4	47,8
-8	29,4	53,4	46,5	81,0	42,3	38,5	48,4	35,6	47,1	48,6
-9	30,0	54,7	46,6	71,6	43,8	40,2	50,0	34,1	49,9	50,5
-10	36,1	57,9	48,0	72,0	45,1	42,1	52,1	35,0	50,1	51,0
-11	32,2	59,7	49,4	60,0	44,8	43,1	53,2	37,1	50,7	51,4
-12	32,0	60,0	50,0	67,0	45,5	44,4	54,6	35,2	51,0	42,9
-13	35,1	59,9	50,5	69,0	45,3	44,5	55,9	36,2	51,1	46,6
-14	37,0	62,1	52,1	69,9	44,4	46,2	55,7	37,2	52,1	47,9
-15	36,6	63,5	52,7	91,0	43,9	46,5	56,7	36,9	52,4	46,0

16. Táblázat: A 2013. szeptember 26-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	26,0	54,4	46,7	95,1	37,6	37,2	43,4	91,5	43,4	47,0
-7	26,8	53,8	46,6	91,6	39,2	38,1	45,3	67,7	45,6	48,8
-8	27,1	54,7	47,1	90,7	41,7	38,8	48,2	56,4	47,2	47,2
-9	28,0	56,3	47,2	81,0	45,0	40,6	49,9	42,1	49,9	51,1
-10	35,3	59,2	48,6	92,6	46,1	42,6	51,9	47,2	50,1	72,0
-11	31,3	60,9	50,4	85,9	45,6	43,8	53,1	36,7	50,7	51,9
-12	31,2	61,3	51,0	84,3	46,5	45,1	54,6	41,2	51,0	50,6
-13	35,0	61,5	51,5	85,3	46,2	45,2	55,9	51,4	51,1	50,2
-14	37,0	63,6	52,9	85,0	45,2	47,4	55,6	49,5	52,1	47,8
-15	38,0	64,7	53,5	67,2	44,8	47,6	56,7	50,4	52,4	46,4

17. Táblázat: A 2013. október 3-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	36,4	55,1	47,2	74,2	37,5	37,1	43,5	39,1	43,6	45,8
-7	35,2	54,4	46,8	73,7	38,0	37,6	45,4	36,6	45,7	47,6
-8	34,4	55,3	47,4	72,6	40,8	37,9	48,3	35,7	47,1	48,9
-9	35,3	56,2	47,5	72,3	42,7	39,2	49,9	34,1	50,0	50,2
-10	49,4	59,5	48,8	72,6	45,0	40,6	51,9	34,8	50,1	50,7
-11	52,6	122	51,0	71,4	45,5	42,0	52,6	35,4	50,4	51,0
-12	45,2	61,8	51,5	58,4	46,7	43,2	54,5	34,2	51,0	49,7
-13	46,9	61,8	52,1	72,1	46,5	43,4	55,7	35,1	51,1	49,8
-14	47,8	63,9	53,4	72,0	46,0	44,4	55,6	35,0	52,0	47,8
-15	48,0	65,2	53,9	0,00	45,6	44,9	56,6	34,9	52,2	45,6

18. Táblázat: A 2013. október 10-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	32,3	54,7	47,8	64,3	37,6	37,2	43,7	39,5	43,3	43,3
-7	32,6	54,1	47,8	64,3	38,5	37,9	45,5	36,9	45,4	47,5
-8	33,4	55,0	48,2	63,2	42,0	38,2	48,3	36,1	46,9	48,8
-9	33,8	56,3	48,4	38,1	43,1	39,8	49,9	34,7	49,7	50,1
-10	43,5	59,1	49,7	39,1	45,3	41,4	51,9	35,2	49,9	50,5
-11	39,1	60,8	51,8	62,4	45,6	42,2	53,1	37,4	50,6	51,0
-12	39,2	61,4	52,6	34,1	46,6	43,3	54,5	35,5	50,8	30,3
-13	42,8	61,5	53,0	47,8	46,5	43,5	55,7	36,7	50,9	49,6
-14	45,5	63,1	54,3	48,0	46,9	45,0	55,5	36,0	51,9	47,2
-15	45,1	64,5	54,6	51,0	45,9	45,4	56,5	35,9	52,2	45,5

19. Táblázat: A 2013. október 17-i hőmérsékleti adatok

Mélység [m]	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	41,7	57,8	48,5	0,00	38,1	37,4	43,7	40,6	43,3	45,1
-7	43,5	57,1	48,4	0,00	39,0	38,3	45,5	37,3	45,4	45,6
-8	56,4	58,1	48,8	0,00	42,6	38,8	48,2	36,3	46,9	47,4
-9	44,3	59,4	48,9	36,0	44,0	40,6	49,8	35,0	49,6	48,7
-10	53,3	62,0	50,4	56,0	46,1	42,3	51,8	35,7	49,9	50,0
-11	48,6	63,7	52,1	0,00	45,8	43,3	53,0	37,9	50,4	50,5
-12	58,7	64,2	53,3	70,0	47,0	44,5	54,4	36,4	50,8	50,8
-13	51,4	64,3	53,7	0,00	46,8	44,6	55,6	37,8	51,4	49,4
-14	53,5	66,0	55,2	75,0	49,1	46,6	55,4	37,2	51,9	49,3
-15	52,8	67,0	55,7	98,0	46,6	46,9	56,5	37,0	52,1	46,7

20. Táblázat: A 2013. október 24-i hőmérsékleti adatok

A legutolsó, még a dolgozatba bekerülő adatsor október 24-én került leolvasásra, A projekt ettől függetlenül tovább halad és a továbbiakban is heti rendszerességgel kerülnek leolvasásra az adatok.

5. Energia-kinyerési potenciál becslése

Az adatok rendszerezése és szelektálása után a kiértékelés szakasza vette kezdetét. Elsődleges feladat volt, hogy a kapott hőmérsékleti eloszlásokból megbecsüljem az energia-kinyerési potenciált, amely a későbbiekben mind a „*Depóniahő*” projekt céljainak megvalósításához, mind a szakdolgozatom megírásához szükségesek.

Az energia-kinyerési potenciál meghatározásához a HC hőtartamot kell meghatározni. Azonban, a Yesiller és szerzőtársai által bevezetett paraméter nem felel meg teljes mértékben a szükséges igényeknek, mert a HC hőtartam csak a lerakóban lévő hőmérséklet és az eredeti talajhőmérséklet átlagértékeit veszi számításba, mintha a cél a teljes anyagtömegben tárolt energia kinyerése lenne. Ezzel szemben számunkra a lerakó hasznosítása során elsődleges szempont a depóniagáz hasznosítása és csak másodlagos az anyagtömegben lévő hő kinyerése. Ha a lerakóban, a lebontást végző mikroorganizmusok a nekik kedvezőtlen hőmérsékleti tartományba kerülnek, akkor a lebontási folyamat mindenképpen lelassul, rosszabb esetben meg is állhat, amíg a hőmérséklet újra nem kerül a nekik kedvező minimális hőmérséklet fölé. Yesiller hivatkozva a korábbi kutatások eredményeire – DeWalle (1978), Hartz et al. (1982), és Mata-Alvarez, Martinez-Viturtia (1986) – 35°C és 41°C közé tette az - ezen mikroorganizmusoknak kedvező - hőmérsékleti tartományt. Ezek alapján a HC hőtartamon felül egy új, általam bevezet paraméterrel, az Effektív Hőtartammal – EHC (Effective Heat Content) fogok számolni és méretezni. Ennek az értéke nem lesz más, mint a – biztonság javára megválasztott – mikroorganizmusok által minimálisan elvárt hőmérséklet felső határa, a 41°C-os hőmérsékleti érték és a lerakó mért hőmérsékletének a különbsége. A HC és az EHC értékek között ettől fogva az alábbi összefüggés áll fent:

$$HC = T_{\text{depóhő}} - T_{\text{talajhő.}}$$

$$EHC = T_{\text{depóhő}} - T_{\text{mikroorg.}}$$

$$EHC = HC - T_{\text{mikroorg.}}$$

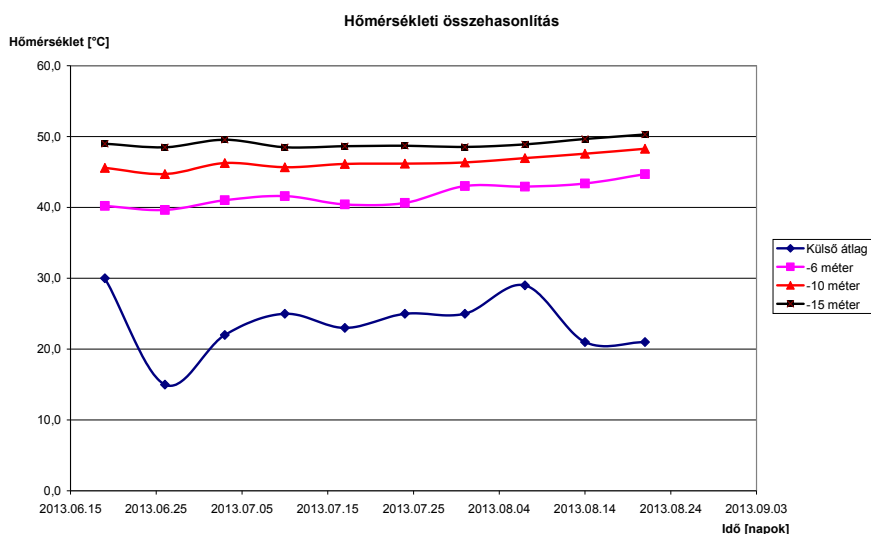
Az EHC értékek meghatározásához a gyáli hulladéklerakónál mért hőmérsékleteket kell transzformálni úgy, hogy minden egyes értékből 41°C-t le kell vonni, ezután megmarad a tisztán a lerakóban rejlő és kinyerhető hőmérséklet nagysága. Mind ezen felül meg kell vizsgálni azt a problémát is, hogy a külső légköri hőmérséklet mekkora hatással van a lerakóra. Amennyiben a lerakóban kialakuló hő nagymértékű korrelációt mutat a környezeti hőmérséklettel, úgy a probléma tovább bonyolódik. Ennek kiderítése céljából a lerakó-

ban a 6, 10 és 15 méter mélyen mért hőmérsékleteket heti lebontásban átlagoltam mind a 10 hőmérő kútra.

Mélység [m]	06.19	06.26	07.03	07.10	07.17	07.24	07.31	08.07	08.14	08.21
Külső átlag	30,0	15,0	22,0	25,0	23,0	25,0	25,0	29,0	21,0	21,0
-6 méter	40,2	39,6	41,0	41,6	40,4	40,6	43,0	42,9	43,4	44,7
-10 méter	45,6	44,7	46,3	45,7	46,1	46,2	46,3	47,0	47,6	48,3
-15 méter	49,0	48,5	49,5	48,5	48,6	48,7	48,5	48,9	49,7	50,3

21. Táblázat: Környezeti és kúthőmérsékleti adatok összehasonlítása

A külső átlag hőmérsékleti adatok egy automata meteorológiai állomás méréseiből származnak. Az automatát üzemeltető engedélyével történt az adatok felhasználása, de kilétét nem kívánta felfedni. Az automata helyzetéről annyit árult el, hogy a Gyál Vasútállomás 500 méteres körzetében található, tehát legfeljebb 1 kilométerre a vizsgált lerakótól, így az adatok az összehasonlításhoz megfelelőek.



20. ábra: Összehasonlító diagram a hulladéklerakó egyes mélységei és a külső átlagos légköri hőmérséklet között

A **20. ábra** kiválóan reprezentálja, hogy bár a külső környezeti hőmérséklet hatással van a lerakó hőmérsékletére, de a mélység növekedésével ez egyre kisebb mértékű. A 6 méter mélyen mért hőmérsékletek megközelítőleg 1-2°C-os változást szenvednek el, amely inkább az évszakra jellemző átlaghőmérsékletet követi. Éppen ezért a későbbiekben a nyári és az őszi időszakban mért hőmérsékletekből külön-külön számolok a depóniatest 4 üte-

mére átlagos EHC értéket. Azokban a mélységekben, ahol a 41 °C-t nem éri el a hőmérséklet, ott a táblázatban negatív érték szerepel, ezeket szürke színnel kiemeltem. A kiemelt cellák nem képezik részét az átlagszámításnak, mert ezekben a kutakban, illetve ütemekben csak az erre alkalmas mélységben történik majd energiakinyerés, így a negatív értékek csak az átlagot rontanák, és alábecsülnék a kinyerhető energia értékét.

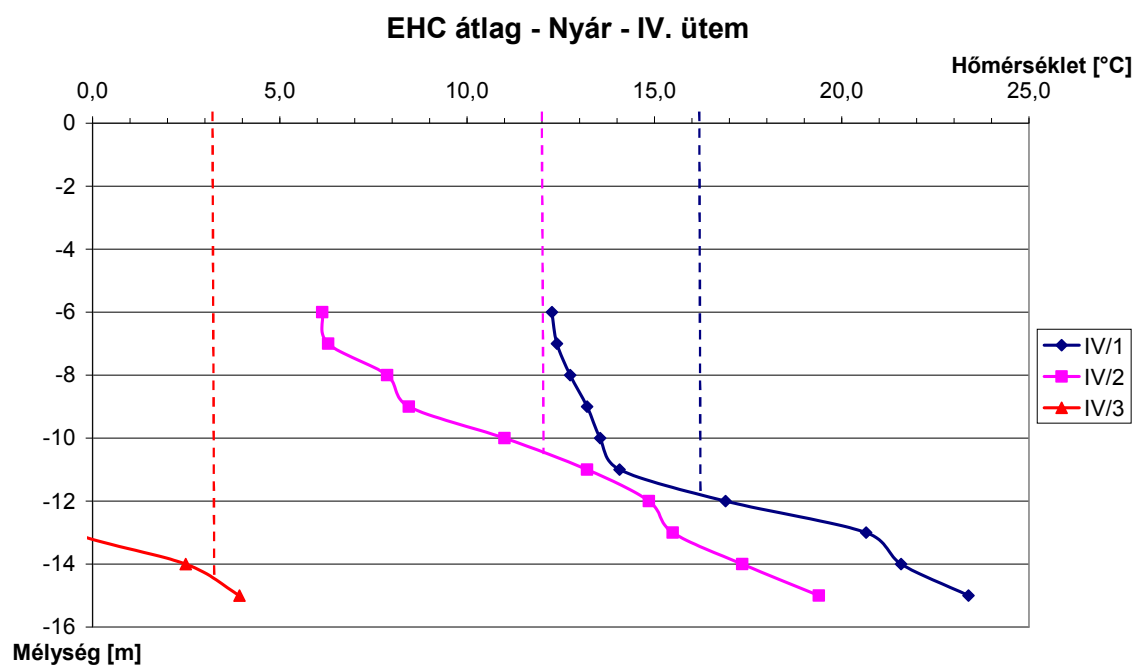
Mélység [m]	Átlagos Effektív Hőtartam - Nyári időszak									
	IV. ütem			III. ütem		II. ütem			I. ütem	
	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	12,3	6,1	-2,2	6,0	-18,1	-8,4	-3,3	-15,5	3,4	0,0
-7	12,4	6,3	-2,1	7,4	-18,1	-7,1	-1,0	-16,2	6,0	2,5
-8	12,8	7,9	-1,5	8,5	-17,5	-6,4	1,4	-16,8	7,4	3,8
-9	13,2	8,4	-1,1	9,7	-16,8	-4,5	4,4	-18,0	9,9	5,2
-10	13,6	11,0	-0,7	9,6	-16,3	-2,5	6,0	-17,1	10,0	5,8
-11	14,1	13,2	-0,7	8,8	-16,2	-1,8	6,9	-15,1	10,5	6,3
-12	16,9	14,9	-0,9	9,5	-15,3	-0,6	8,3	-14,5	10,8	5,2
-13	20,7	15,5	-0,5	9,2	-15,3	-0,1	9,6	-15,8	10,8	5,3
-14	21,6	17,3	2,5	8,9	-15,2	1,2	9,5	-16,1	11,8	3,1
-15	23,4	19,4	3,9	8,9	-15,9	1,6	10,6	-15,8	12,3	2,0
Kút- átlag	16,1	12,0	3,2	8,6	0,0	1,4	7,1	0,0	9,3	3,9

22. Táblázat: Az átlagos EHC értékek a Nyári időszakban ütemenként, és a belőlük számolt kútátlag

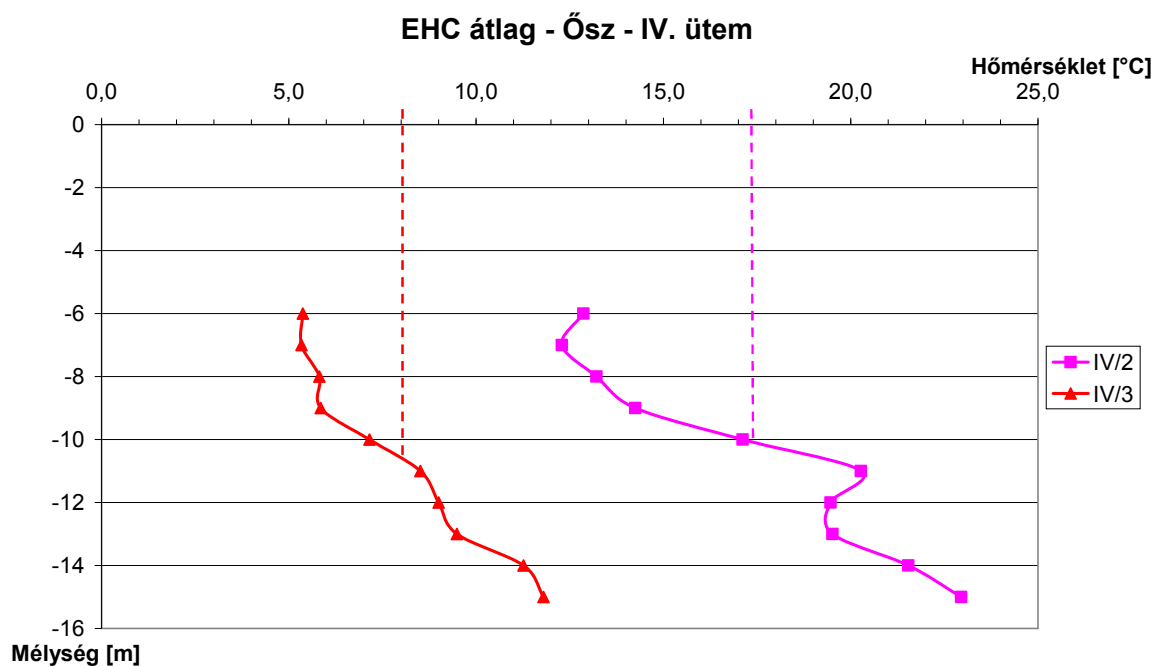
Mélység [m]	Átlagos Effektív Hőtartam - Ősz időszak									
	IV. ütem			III. ütem		II. ütem			I. ütem	
	IV/1	IV/2	IV/3	III/1	III/2	II/1	II/2	II/3	I/1	I/2
-6	n.a.	12,9	5,4	33,4	-3,8	-4,0	2,4	-1,9	3,3	3,6
-7	n.a.	12,3	5,3	35,3	-2,9	-3,1	4,4	-4,5	5,4	5,7
-8	n.a.	13,2	5,8	34,2	-0,2	-2,6	7,3	-2,8	6,9	6,7
-9	n.a.	14,3	5,9	33,9	1,3	-0,9	9,0	-5,8	9,1	9,1
-10	n.a.	17,1	7,2	34,0	2,8	0,9	11,0	-4,6	9,5	9,4
-11	n.a.	20,3	8,5	33,5	2,8	2,0	12,1	-4,4	9,9	10,0
-12	n.a.	19,5	9,0	34,2	3,9	3,2	13,6	-5,1	9,7	9,7
-13	n.a.	19,5	9,5	33,5	3,7	3,3	14,9	-3,3	9,7	9,4
-14	n.a.	21,5	11,3	32,9	3,7	5,0	14,7	-3,5	9,5	8,6
-15	n.a.	23,0	11,8	32,6	3,0	5,3	15,7	-3,5	9,0	7,5
Kút- átlag	n.a.	17,3	8,0	33,7	3,0	3,3	10,5	0,0	8,2	8,0

23. Táblázat: Az átlagos EHC értékek az Őszi időszakban ütemenként, és a belőlük számolt kútátlag

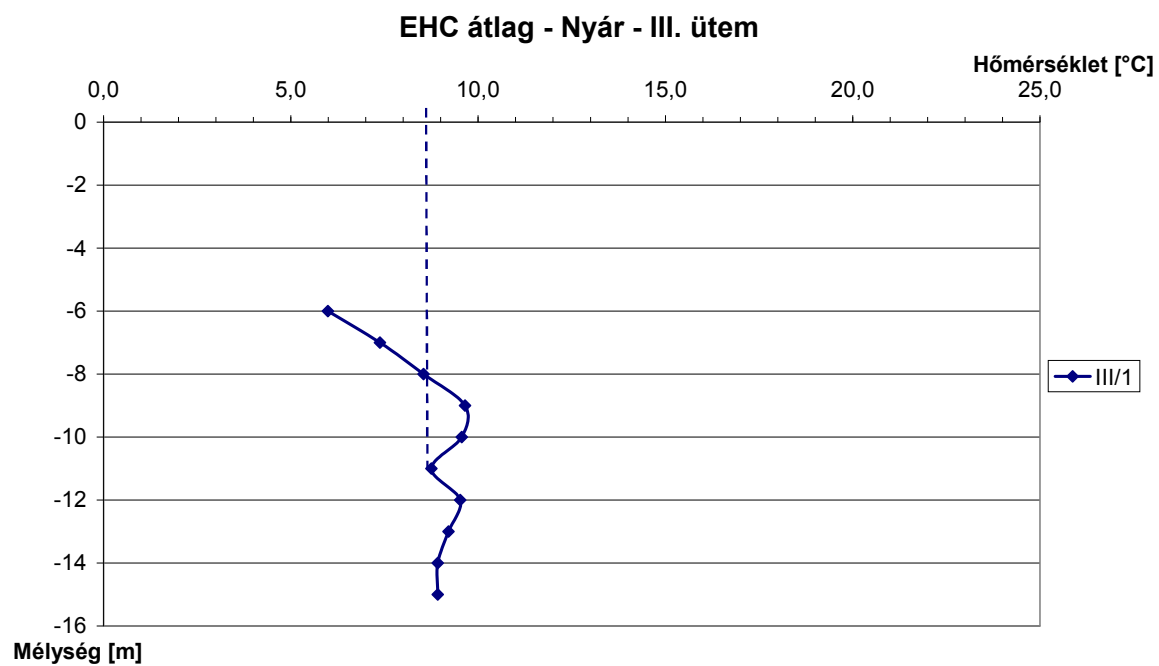
Az eredményeket a következő ábrákon szemléltetem.



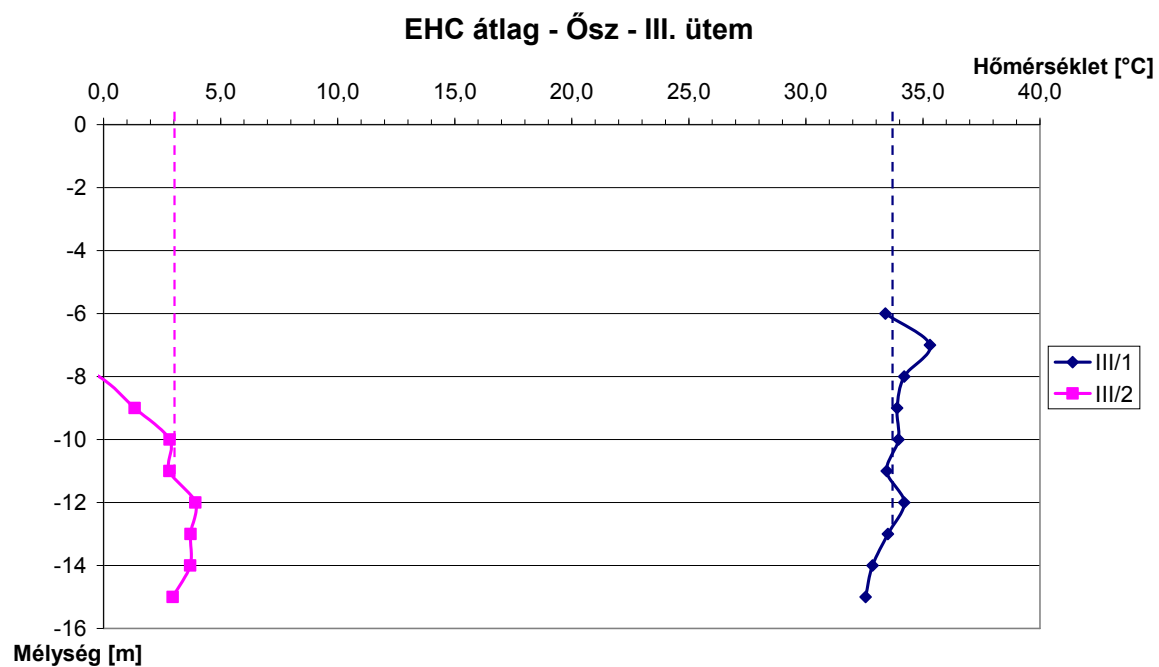
21. ábra: A IV. ütem Nyári időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



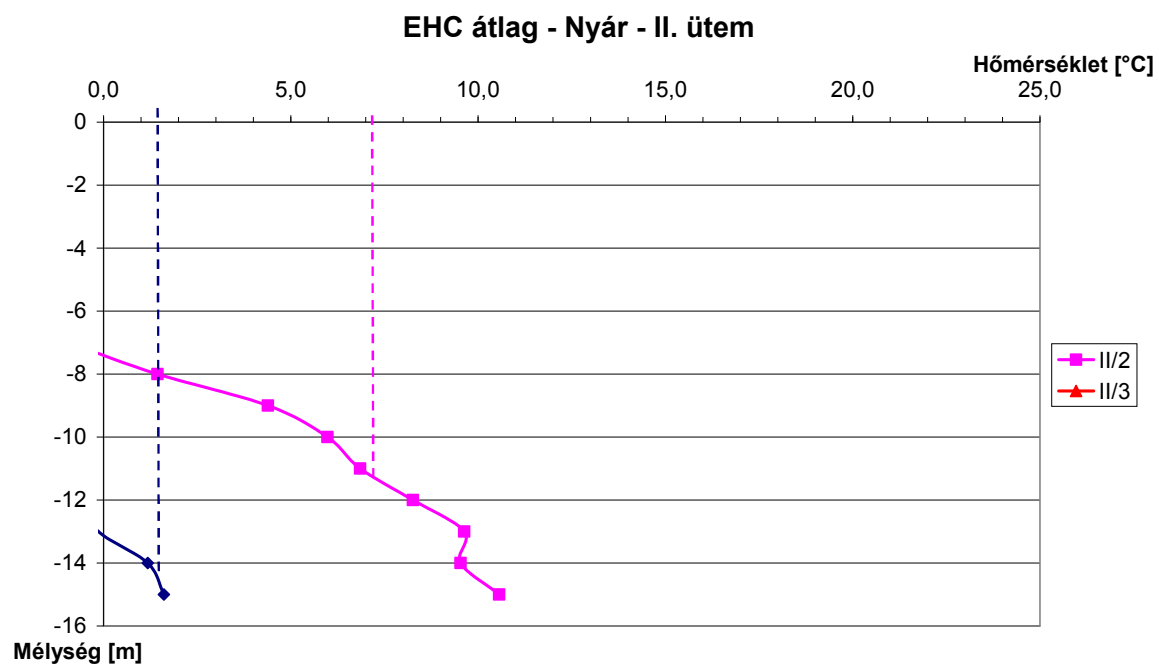
22. ábra: A IV. ütem Őszi időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



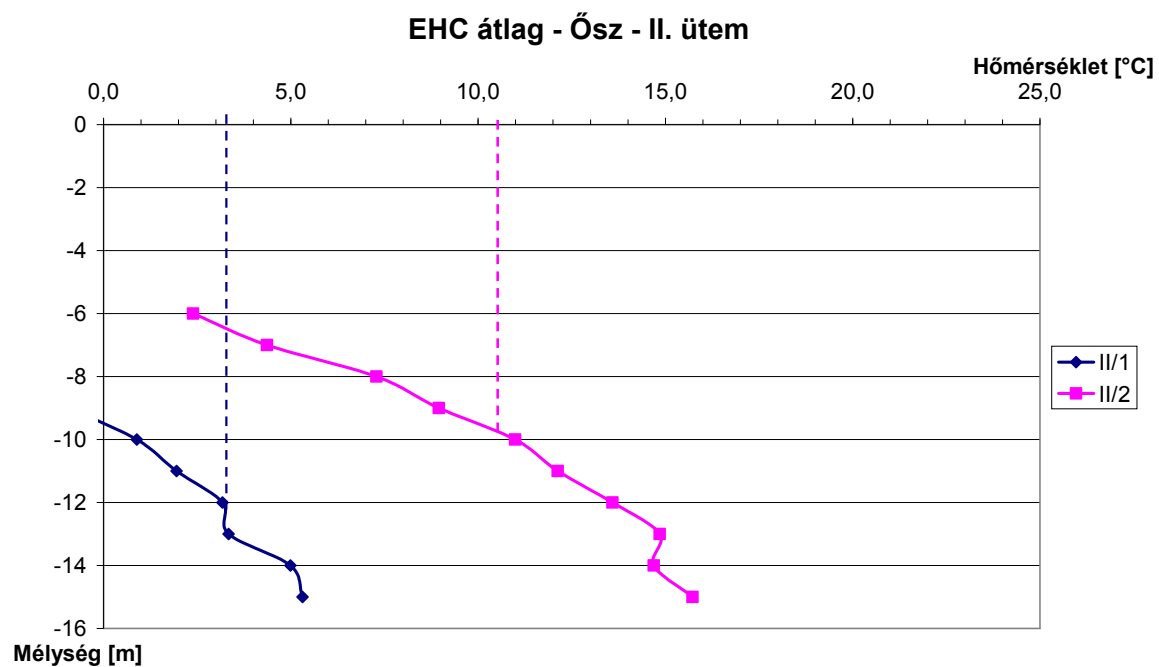
23. ábra: A III. ütem Nyári időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



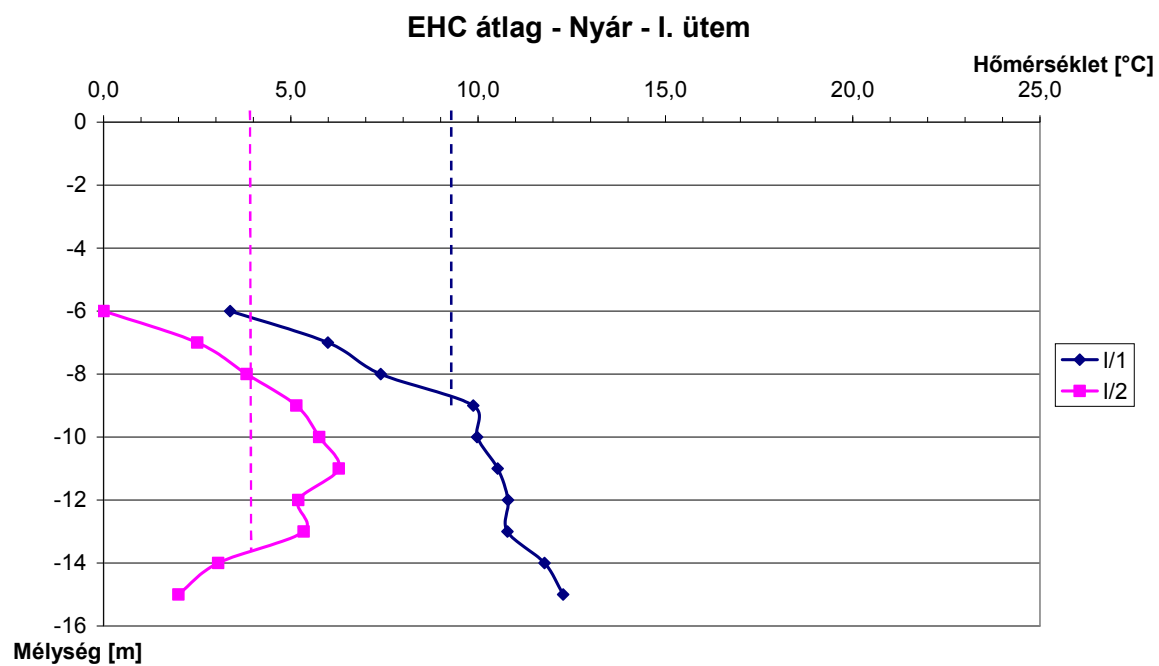
24. ábra: A III. ütem Őszi időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



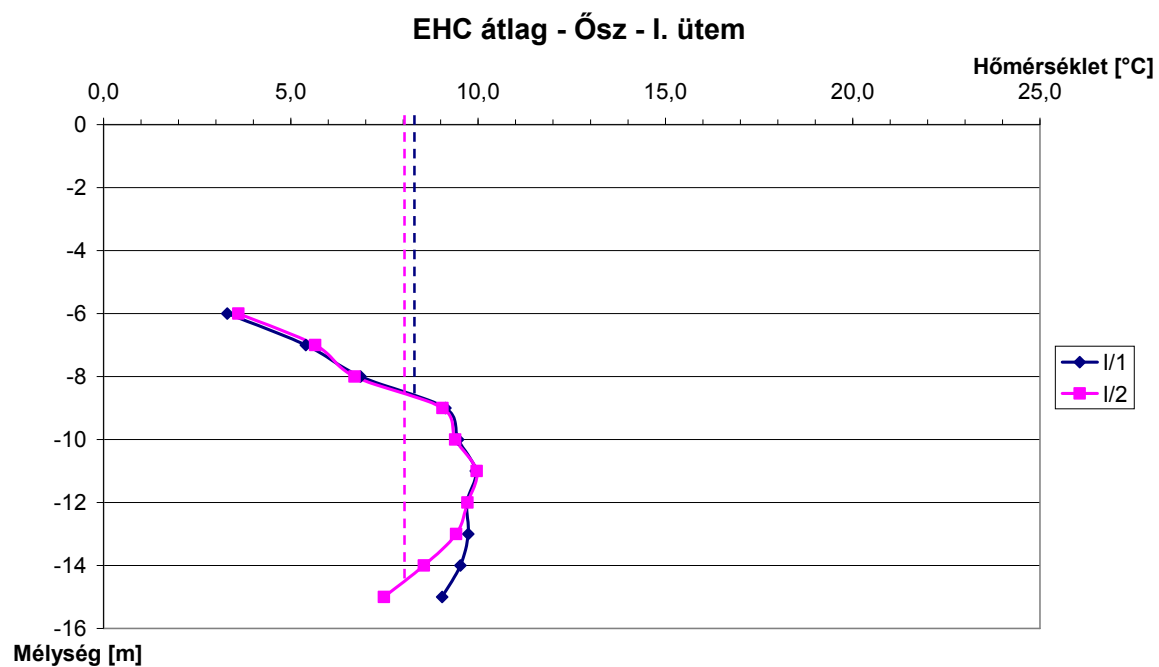
25. ábra: A II. ütem Nyári időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



26. ábra: A II. ütem Őszi időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



27. ábra: A I. ütem Nyári időszakának EHC átlaga és kút-átlaga



28. ábra: A I. ütem Őszi időszakának EHC átlaga és kút-átlaga

Az elvégzett nyári és őszi mérési eredmények a mélyek rétegekben nem különböznek számottevően, ezért adott lerakó ütemekre az összes jónak minősített mérést is átlagoltam, ezek láthatók a 24. táblázatban.

Lerakó ütem	A lerakott hulladék jellemző kora [év]	Átlagos effektív hőkinyerési potenciál EHC [°C]
I.	14	7,35
II.	10	6,96
III.	7	15,1
IV.	2	13,35

24. Táblázat. Hőkinyerési potenciál az egyes lerakó ütemekből.

6. Konklúzió

A DepóniaHő projekt és a saját koncepcióm szerint is a kommunális hulladéklerakók utólagos hasznosításának elsődleges célja a depóniagáz kinyerése, illetve a kapcsolt villamos áram és hőenergia termelés. A másodlagos cél a többlet bomlási hő kinyerése és hasznosítása. A kommunális hulladéklerakók bomlási hőjének a méréssel történő meghatározására – tudomásom szerint – Magyarországon még nem volt példa, ezért a dolgozatban számos nehézséggel kellett megbirkózni, amelyek az újszerűségből adódtak.

Amerikai szerzők bevezették a HC paramétert, amely az eredeti talajhőmérsékletet alkalmazza referencia hőmérsékletként. Ez nincs összhangban az általunk kitűzött cél megvalósításával, ezért bevezettem referenciaként a bomlási folyamatok felső határ hőmérsékletét, amely számos szerző szerint 41 °C. A dolgozat fő célja az így definiált EHC effektív hőkinyerési potenciáltörténő meghatározása volt.

Megállapítottam, hogy annak ellenére, hogy a külső környezeti hőmérséklet hatással van a lerakó hőmérsékletére, a mélység növekedésével ez egyre kisebb mértékű. 6 méter mélységben még kb. 1-2°C-os hatással van a külső környezeti hőmérséklet a depóhőmérsékletre a vizsgált nyári – őszi időszakban, mélyebben ez még tovább csökkent.

A **24. Táblázatban** látható adatok szerint az adott depóniaütemben lévő hulladék kora és az effektív hőkinyerési potenciál között egyértelmű kapcsolat van, amely összhangban van a depóniában lejátszódó folyamatok – a szakirodalmi összefoglalásban leírt – időbeli lefolyásával.

Jelen dolgozatban a hőkinyerési potenciál ($\text{J/m}^3\text{K}$) számszerű értékének a kiszámításához szükséges jellemző ΔT értéket (**24. Táblázat**) határoztam meg. A számítás másik fontos paraméterének, a fajhőnek a mérésével egy másik dolgozatban foglalkoztam.

7. Összegzés

A Depóniahő projekt, amely egyik partnere a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete a kommunális hulladéklerakók bomlási hőjének a kinyerési és hasznosítási technológiájának a kifejlesztését tűzte ki célul. Ennek a munkának az első része a hőkinyerési-potenciál mérésével és szimulációval történő becslése. A 2013-as év során, - különös tekintettel a nyári mérésekre – részt vettem a hőmérséklet- és depóniagáz vizsgálatára kiépített rendszerek fejlesztésében, építésében és telepítésében a mérések elvégzésében. Jelen dolgozat legfontosabb része a nyári és őszi mérési eredmények önálló bemutatása és értékelése. A dolgozatban a következő főbb konklúziókat fogalmaztam meg:

A Depóniahő projekt és a saját koncepcióm szerint is a kommunális hulladéklerakók utólagos hasznosításának elsődleges célja a depóniagáz kinyerése és kapcsolt villamos áram és hőenergia termelés. A másodlagos cél a többlet bomlási hő kinyerése és hasznosítása. A kommunális hulladéklerakók bomlási hőjének a mérésével történő meghatározására – tudomásom szerint - Magyarországon még nem volt példa, ezért a dolgozatban számos nehézséggel kellett megbirkózni, amelyek az újszerűségből adódtak.

Amerikai szerzők bevezették a HC paramétert, amely az eredeti talajhőmérsékletet alkalmazza referencia hőmérsékletként. Ez nincs összhangban az általunk kitűzött cél megvalósításával, ezért bevezettem referenciaként a bomlási folyamatok felső határ hőmérsékletét, amely számos szerző szerint 41 °C. A dolgozat fő célja az így definiált EHC effektív hőkinyerési potenciál mérésével történő meghatározása volt.

Megállapítottam, hogy annak ellenére, hogy a külső környezeti hőmérséklet hatással van a lerakó hőmérsékletére, a mélység növekedésével ez egyre kisebb mértékű. 6 méter mélységben még kb. 1-2°C-os hatással van a külső környezeti hőmérséklet a depóhőmérsékletre a vizsgált nyári – őszi időszakban, mélyebben ez még tovább csökkent.

A **24. Táblázatban** látható adatok szerint az adott depóniaütemben lévő hulladék kora és az effektív hőtartalom között egyértelmű kapcsolat van, amely összhangban van a

depóniában lejátszódó folyamatok – a szakirodalmi összefoglalásban leírt – időbeli lefolyásával.

Jelen dolgozatban a hőkinyerési potenciál ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$) számszerű értékének a kiszámításához szükséges jellemző ΔT értéket **(24. Táblázat)** határoztam meg. A számítás másik fontos paraméterének, a fajhőnek a mérésével egy másik dolgozatban foglalkoztam.

A megkezdett munkát természetesen tovább kell folytatni, a heti rendszerességű leolvasásokat még több évig folytatni kell, azonban a módszertan kidolgozása az ebben a dolgozatban leírtak szerint már megtörtént.

8. Köszönetnyilvánítás

Legelőször is szeretném megköszönni konzulenseimnek és tanáromnak Dr. Fajtli Józsefnek a lehetőséget, hogy részt vehettem a TDK és a majdani szakdolgozatom alapjául szolgáló projektben. Átala betekintést nyerhettem egy hulladéklerakó életének mindennapjaiba. Emellett köszönöm a leadás utolsó pillanatáig tartó folyamatos konzultációt, és az erre fordított rengeteg időt. Elsősorban türelmének, bátorításnak és ösztönzésének hála olyan tudásnak kerültem birtokába és olyan tudományos munkát adhatok ki a kezemből, amire büszke lehetek.

Köszönet illeti Dr. Kontra Jenő konzulensemét is, akivel a BME-n folytatott megbeszélésem során a hőtani kutatásokba és vizsgálatok mélyébe áshattam bele magamat, és akitől megannyi szakirodalmi anyagot kaptam.

Konzulenseim után köszönetet mondok a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet dolgozóinak, doktorandusz ismerőseimnek, barátaimnak és mindazoknak, akik bátorítottak, segítettek e dolgozat megírásában, átolvasták és véleményt mondtak a munkámról, amellyel tovább tökéletesíthettem azt. Végezetül köszönöm tankör-társaimnak, akikkel hamarosan befejezem BSc tanulmányaimat. Az elmúlt 3 év alatt olyan barátokra leltem bennük, akikre bátran számíthatok.

9. Irodalomjegyzék

- Anda Angéla és Kocsis Tímea (2006): Szemelvények meteorológiából és éghajlat-tanból alapszakos (BSc) hallgatók számára (Jegyzet, Pannon Egyetem - Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely, 2006)
- DeWalle, F. B., Chian, E. S. K., and Hammerberg, E. (1978): “Gas production from solid waste in landfills.” J. Environ. Eng. Div. (Am. Soc. Civ. Eng.), 104, (EE3), 415–432.
- Faitli J. – Mucsi G. – Gombkötő I. – Nagy S. – Antal G. (2013): Mechanikai Eljárástechnikai Praktikum (Miskolci Egyetemi jegyzet, Kézirat, 2013)
- Hanson JL, Liu WL, Yesiller N. (2008): Analytical and numerical methodology for modeling temperatures in landfills. Geotechnics of Waste Management and Remediation (177:24–31., 2008)
- Hartz, K. E., Klink, R. E., and Ham, R. K. (1982): “Temperature effects: methane generation from landfill samples.” J. Environ. Eng. Div. (Am. Soc. Civ. Eng.), 108(4), 629–638.
- 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakó-
val kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről (letöltés időpontja: 2013. no-
vember 1.)
- Mata-Alvarez, J., and Martinez-Viturtia, A. (1986): “Laboratory simulation of municipal solid waste fermentation with leachate recycle.” J. Chem. Technol. Biotechnol., 36(12), 547–556.
- Oak Ridge National Laboratory - ORNL. (1981): “Regional analysis of ground and above-ground climate.” Rep. No. ORNL/Sub-81/40451/1, U.S. Dept. of Energy, Office of Buildings Energy R&D, Oak Ridge, Tenn.
- Profikomp Környezettechnika Zrt. (2013): Az .A.S.A. Magyarország Kft. gyáli kommunális hulladéklerakójában a hőkinyerési potenciál intenzifikálási lehetősége-
inek a vizsgálata (projektjelentés, Gödöllő, 2013)
- Dr. Szabó Imre (1999): Hulladékelhelyezés (Miskolci Egyetem, 2003)
- Dr. Szabó Imre (2010): Hulladéklerakók tervezése, üzemeltetése I., Oktatási segéd-
let (Miskolci Egyetem, 2010)