

A BOMLÁSI FOLYAMATOK KÖVETKEZTÉBEN KIALAKULÓ HŐMÉRSÉKLET-ELOSZLÁS ÉS A HŐKINYERÉSI POTENCIÁL VIZSGÁLATA A GYÁLI KOMMUNÁLIS HULLADÉKLERAKÓBAN

Magyar Tamás¹, Faitli József², Romenda Roland Róbert³, Erdélyi Attila⁴

PhD hallgató¹, intézetigazgató, egyetemi docens², BSc hallgató³, projekt menedzser⁴
^{1,2,3}Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
⁴.A.S.A. Magyarország Kft.

ABSTRACT

Energy efficiency and environmental protection are among the most important tasks of environmental engineers today. The energetical utilisation of communal waste landfill gases is a widespread technology but not the utilisation of the decomposition heat stored by the landfill itself. The first step to develop such a technology is the measurement of the thermal properties of the heterogeneous landfill materials. This paper reports about the development, installation and test results of a temperature distribution measuring system and a heat conductivity test instrument. Magnitude of theoretically possible specific heat extraction by heat exchanging was estimated based on the gained data.

I. BEVEZETÉS

Annak ellenére, hogy a hulladékgazdálkodás hierarchiája szerint a lerakással történő ártalmatlanítás a legkevésbé preferált megoldás, jelenleg évente közel 5 millió tonna települési szilárd hulladék keletkezik Magyarországon, amelynek mintegy 75 %-a kerül deponálásra [2]. A korszerű lerakókban a képződő depóniagáz energetikai hasznosítási technológiája megoldott. Ezen túlmenően, a nagy tömegben jelenlévő hulladékban a lebomlási folyamatok következtében jelentős hőmennyiség keletkezik, amelyet az anyagtömeg tárol. A vizsgálatok (Depóniahő Projekt) távlati célja, hogy alkalmas hőcserélő beépítésével ennek a hőnek egy része kinyerhető legyen. Előzetes mérések szerint a depóniatestben a hőmérséklet akár a 70 °C-ot is elérheti. A termikus jellemzők ismerete nélkülözhetetlen a hőkinyerési potenciál becsléséhez, a technológia megtervezéséhez, illetve, hogy kézben tartjuk a lerakó belsejében lezajló folyamatokat (ne legyen túlhűtés, metánképződés ne álljon le). Coccia et al. [1] szerint a hőkinyeréssel nemcsak a lerakó belsejében lezajló folyamatokat kontrollálhatjuk, hanem az aljzatszigetelés várható élettartalmát is befolyásolhatjuk. A lerakó alján kialakuló nagy hőmérséklet erősen igénybe veszi a polimer aljzatszigetelő elemeket (pl. HDPE fólia), illetve a szemcsés geomembrán agyagrétegek kiszáradását okozhatja. Ezeket a hatásokat csökkenteni lehet, ha hőt vonunk el a depótestből. Viebke et al. [3] szerint, 20 °C-on a HDPE aljzatszigetelő fólia tipikus élettartama 600 év, de ez lecsökken 160 évre, ha a hőmérséklet eléri a 35 °C-ot. Az 50-60 °C-os hőmérsékletnek kitett fólia élettartama az 50 évet sem éri el.

II. HELYSZÍN BEMUTATÁSA

A mérések helyszínéül az .A.S.A. Magyarország Kft. gyáli telephelye szolgált. A telep 4 km-re fekszik Budapest határától, Gyál és Felsőpakony között, közvetlenül az M0-ás autópálya mellett. A telephelyen éves szinten megközelítőleg 100-130 ezer tonna vegyesen gyűjtött települési hulladék kerül lerakásra, ami a környező településekről kerül beszállításra.



1. ábra.

.A.S.A. Magyarország Kft. gyáli hulladéklerakója.

A telephely magában foglal egy B3 kategóriájú (kevert, nem veszélyes hulladékok) lerakót, amely támasztótöltéssel technológiával épülő depónia. Jelenleg 5 lerakási ütem található a lerakón, amelyek közül az első 4 ütemben történtek a vizsgálatok. Az egyes depónia ütemekre jellemző befoglaló geometriai méreteket és a lerakás időtartamát az 1. táblázat tartalmazza.

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

1. táblázat.

A gyáli hulladéklerakó ütemeire vonatkozó befoglaló geometriai méretek és a lerakás időtartama.

III. ESZKÖZÖK KIVÁLASZTÁSA, MÉRŐRENDSZER KIFEJLESZTÉSE

III.1. HŐMÉRSÉKLETELOSZLÁS - MÉRŐ RENDSZER

A kutatási munka első célkitűzése egy olyan hőmérséklet-eloszlás mérő rendszer kifejlesztése volt, amellyel 10 pontban, legalább 16 m-es mélységig a hőmérséklet hosszútávon monitorozható. Az első lépés a hőmérsékletérzékelő kiválasztása. A feladat igen nehéz, mivel a bomlásban lévő kommunális hulladék és

a keletkező csurgalékvíz igen agresszív közeg, továbbá a nagy mélységben elhelyezett érzékelő jelét ki kell olvasni, ill. a lerakón nem áll rendelkezésre áramforrás. Mindezek alapján a National Semiconductor gyár LM35CN típusú hőmérsékletmérő szenzorára esett a választás. A szenzor úgy van kalibrálva, hogy 10 mV feszültségváltozás 1 °C-nak feleljen meg 0,1 Ω kimenő elektromos impedancia ($I_{ki} < 1$ mA) mellett. Ebben az esetben speciális leolvasóra nincs szükség, elegendő egy digitális multiméter, mert a mért feszültség megfelel a hőmérséklet számszerű értékének. A tápellátásra egy normál 9 V-os elem is alkalmas. A szenzor mérési tartománya -40 °C és +110 °C között van, amelynek pontosságát a gyártó $\pm 1-1,5$ °C-ban garantálja.

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 fúrt lyukba helyezni, amelybe a hőmérő szondák leengedhetők. A furatban létrejövő hőtranszport károsan befolyásolhatja a mérést ezért a hőérzékelőket egy tömszelencével ellátott műanyag házba szereltük, amelyek külső átmérője jól illeszkedett a KPE cső belsejéhez. A savas csurgalékvíz jelenléte miatt is szükséges volt az érzékelők megfelelő védelmére. A tömszelencével szerelt műanyag ház megfelelő védelmet biztosít, a hőtehetetlensége, pedig azért nem jelentett problémát, mert a lerakó belsejében a hőmérséklet lassan változik, bőven van idő arra, hogy az érzékelő átvegye a környezete hőmérsékletét. Minden egyes fúráshoz 10 mérőhelyes hőmérő rendszert építettünk. A lerakó I-es és a III-as ütemébe 2 - 2, míg a II-es és IV-es ütembe 3 - 3 vizsgáló kút lett mélyítve, amelyekbe a szondákat telepítettük (2.a. és 2.b. ábra).



2.a. és 2.b. ábra.

Hőmérséklet leolvasás egy vizsgáló kútnál (a) és a furatok kialakítása a depótestben (b).

III.2. HŐVEZETÉSMÉRŐ BERENDEZÉS

A kommunális hulladéklerakókban keletkező bomlási hő kinyerésének a technológiai megvalósítása előtt szükség van a lerakott anyag hőtani (hővezetési tényező, fajhő, hődiffuzivitás) és fő fizikai (halmaz-, illetve szemcsesűrűség, nedvességtartalom és porozitás) jellemzőinek az ismeretére. A kommunális

hulladék igen heterogén anyag, a hőtani és fizikai jellemzők még lerakóról – lerakóra és lerakón belül is jelentősen változnak. A szakirodalomban nagyon kevés adat található, ezért új mérőberendezést kellett fejleszteni. Jelen cikkben (hőkinyerési potenciál becslése) csak a fajhőre van szükség. A következőkben röviden bemutatjuk a megépített kísérleti berendezést, amellyel mértük a fajhő értékeit. A berendezés megtervezésekor elsősorban a hővezetési tényező mérési módszerére koncentráltunk, a többi paraméter mérése párhuzamosan, vagy kiegészítő méréssel valósítható meg. A hővezetési tényező méréséhez olyan geometriájú mérőberendezést építettünk, amiben a teljes hőáramnak csak egy belső, jól meghatározott keresztmetszetét mérjük. A belső mért keresztmetszet lényegesen kisebb, mint a teljes keresztmetszet, így a mért keresztmetszetben a hőáramvonalak párhuzamosak, az oldalirányú veszteségek pedig nem befolyásolják a mérést. A hővezetésmérő berendezés két fontos része a fűtéssel ellátott fedél és az acél doboz (3. ábra), amelyekbe hőmérséklet és hőárammérő szenzorok vannak beépítve.

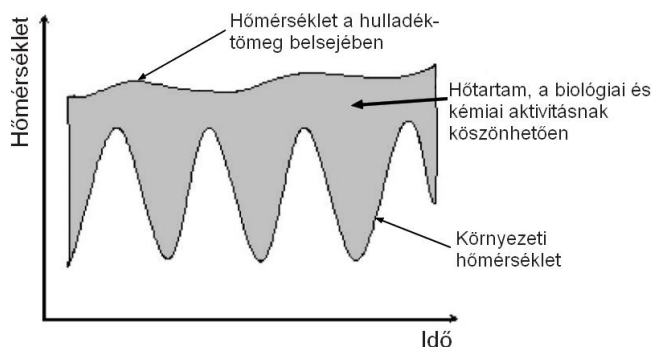


3. ábra.

A hővezetésmérő berendezés betöltése.

IV. AZ EFFEKTÍV HŐKINYERÉSI POTENCIÁL ELMÉLETI HÁTTERE

Yesiller et al. [4] tanulmányukban bevezettek egy új paramétert, az úgynevezett hőkinyerési potenciált (HC – Heat Content). Megtévesztő az angol elnevezés, amelynek a tükörfordítása a „hőtartam” a dimenziója pedig °C. A HC paraméter referencia hőmérséklete az adott időszakban és helyen - a hulladéklerakó nélküli - jellemző talajhőmérséklet. Az amerikai szerzők szerint a hőkinyerési potenciál az az a hőmérséklet különbség, amennyivel a lerakó anyagtömegének hőmérséklete ennél nagyobb. Jól jellemzi az adott hulladéklerakó hőmérsékleti viszonyainak alakulását az évek során a HC hőkinyerési potenciál idő szerinti változása, ami gyakorlatilag arányos a depóniatestből hőcserével kinyerhető energia mennyiségével (4. ábra).



4. ábra.

A hőkinyerési potenciál (HC) értékének változása [4].

A tanulmányukban kitérnek arra is a szerzők, hogy a hőkinyerési potenciál értéke 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 hőkinyerési potenciál értékének maximuma is nagyobb lesz, szemben a hidegebb évszakban történő lerakásoknál. Összefüggést találtak a hőkinyerési potenciál és a lerakás tömegárama között is. A gyorsan, nagy mennyiségben lerakott hulladékok esetében nagyobb a hőkinyerési potenciál, amely megközelítőleg lineárisan növekszik a tömegáram növekedésével.

A Yesiller et al. [4] által bevezetett HC paraméter egy elméleti jellemző, ekkora mértékű hőkinyerés biztosan nem tartható fenn hosszabb távon, mivel a talajhőmérsékletre való visszahűtés leállítaná a bomlási folyamatokat. Továbbá, a korszerű lerakókban már elterjedt a depóniagáz kinyerése és gázmotorokban való elégetése. Gazdasági szempontú megközelítés esetén a depóniagáz kinyerése és hasznosítása az elsődleges cél, a hőcserélővel történő hőkinyerésnek ezt kell kiegészítenie, ezért célszerű egy olyan új paramétert bevezetni, amelynél az alsó referencia hőmérséklet az optimális depóniagáz hasznosítási hőmérséklet. A túlzott hőkinyerés hatására a lerakóban, a lebontást végző mikroorganizmusok a nekik kedvezőtlen hőmérsékleti tartományba kerülhetnek, ekkor a lebontási folyamat lelassulhat, rosszabb esetben meg is állhat, amíg a hőmérséklet újra nem kerül a nekik kedvező minimális hőmérséklet fölé. Yesiller et al. [4] korábbi kutatások eredményeire hivatkozva a 35 °C és 41 °C tartományban határozta meg a depóniában, - a lebontásért felelős mikroorganizmusok számára kedvező - hőmérsékletet. Mindezek alapján bevezetjük az effektív hőkinyerési potenciál (EHC - Effective Heat Content) paramétert, amelynek értéke nem más, mint a mikroorganizmusok által minimálisan elvárt hőmérsékleti tartomány felső határa, a 41°C-os hőmérsékleti érték és a lerakó mért hőmérsékletének a különbsége. A HC és az EHC értékek között az alábbi összefüggéseket állapítjuk meg:

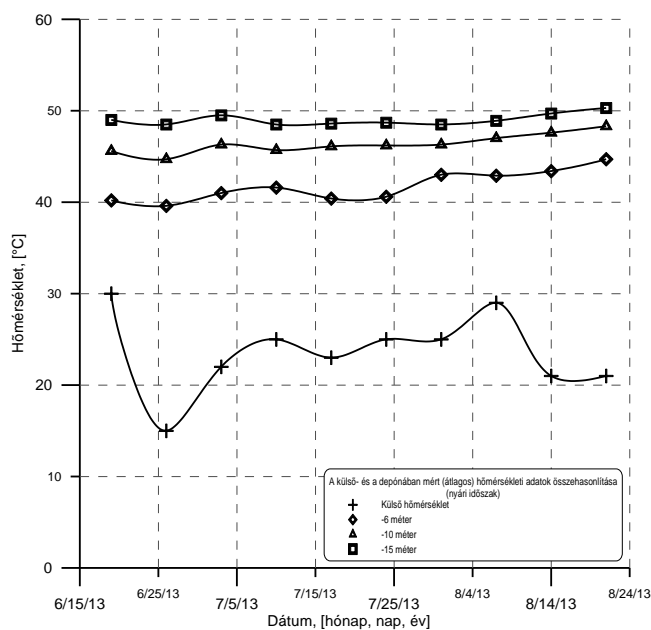
$$HC = T_{\text{depónia hőmérséklet}} - T_{\text{talaj hőmérséklet}} \quad (1)$$

$$EHC = T_{\text{depónia hőmérséklet}} - T_{\text{mikroorganizmusok számára szükséges minimális hőmérséklet}} \quad (2)$$

$$EHC = HC - T_{\text{mikroorganizmusok számára szükséges minimális hőmérséklet}} \quad (3)$$

V. MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A kiépített 10 figyelő kutas hőmérséklet-eloszlás - mérő rendszerrel a méréseket 2013 nyarán kezdtük el. Jelen cikkben a 2013 nyári és őszi eredményeket összegezzük. A mérések természetesen még évekig folytatódnak. Első lépésben azt vizsgáltuk, hogy a külső légköri hőmérséklet mekkora hatással van a lerakóra. A lerakóban a 6, 10 és 15 méter mélyen mért hőmérsékleteket heti lebontásban átlagoltuk, mind a 10 telepített hőmérő kútra. Az összesített eredményt a 4. ábra szemlélteti.

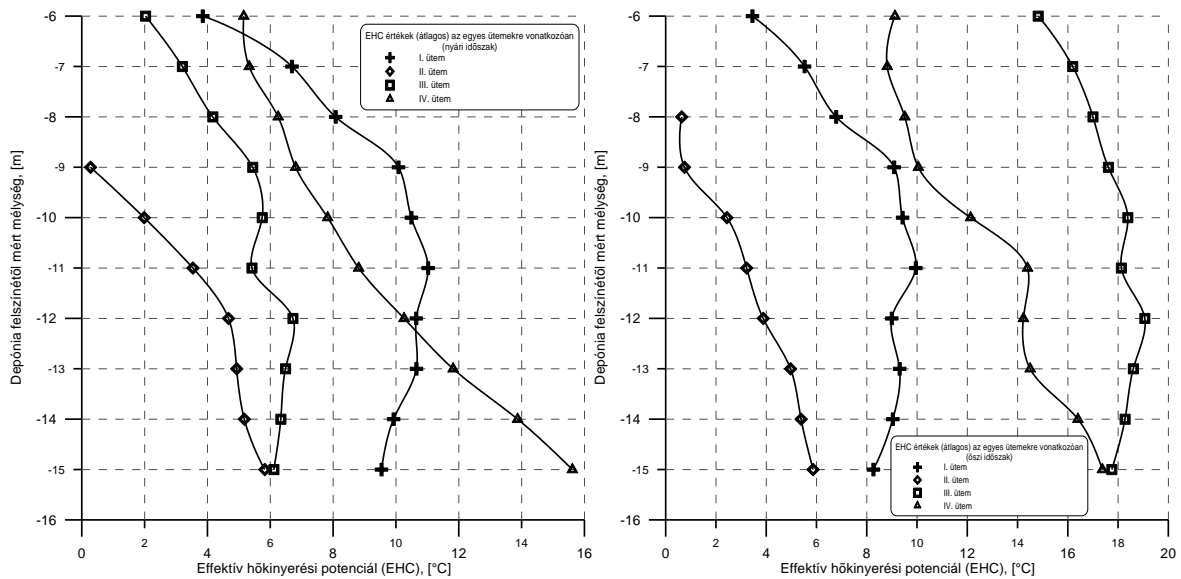


4. ábra.

A külső- és a depóniában mért hőmérsékleti adatok összehasonlítása (nyári időszak).

A 4. ábrán jól látható, hogy a külső környezeti hőmérséklet hatással van a lerakó hőmérsékletére, habár az a növekvő mélységgel egyre kisebb mértékű. A 6 méter mélyen mért hőmérsékletek megközelítőleg 3-4 °C-os hőmérséklet változást mutatnak, amely az évszakra jellemző átlaghőmérsékletet követi. Éppen ezért a nyári és az őszi időszakban mért hőmérsékletekből külön-külön számoltunk a depóniatest 4 vizsgált ütemére átlagos EHC értékeket (5.a. és 5.b. ábra).

Az effektív hőkinyerési potenciál (EHC) értékek meghatározásához a depóniában mért hőmérsékleteket úgy kell transzformálni, hogy minden egyes értékből le kell vonni a lebontó mikroorganizmusok számára szükséges, - minimálisan elvárt hőmérsékleti tartomány felső értékét (41 °C) -, amely arányos a lerakóban rejlő és kinyerhető hőenergia nagyságával.



5.a. és 5.b. ábra.

Az effektív hőkinyerési potenciál értékei az egyes ütemekre vonatkozóan a nyári (a) és őszi (b) időszakokban.

A hővezetésmérő berendezés segítségével elvégzett szisztematikus kísérletsorozat eredményei alapján megkapott hőtani paraméterek segítségével kiszámítható az egyes ütemekhez tartozó átlagos fajhő is. A számított átlagos fajhő és a fajlagos elméletileg kinyerhető hőenergia tömegre vonatkoztatott értékeit a 2. táblázat szemlélteti.

Ütem	Mért sűrűségek átlaga [kg/m ³]	Átlagos fajhő [kJ/kgK]	Fajlagos hőenergia tömegre vonatkoztatva [kJ/kg]
I	645,8	0,306	2,25
II	572,6	0,942	6,55
III	456,1	1,050	15,85
IV	491,0	1,028	13,73

2. táblázat.

A depónia egyes ütemeire vonatkozó átlagos fajhő és tömegegységre vonatkoztatott fajlagos hőenergia adatok.

Fontos megjegyezni, hogy a megállapított kinyerhető energia arra vonatkozik, hogy a depóniatestet egy alkalommal az EHC értékének megfelelően visszahűtjük a beépített hőcserélővel. Azt jelen pillanatban nem tudjuk megmondani, hogy egy ilyen beavatkozás után milyen folyamatok fognak lejátszódni a depóniában. A kísérleteket tovább folytatjuk, később várhatók eredmények ezzel kapcsolatban.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A Depónia-hő-hasznosítási technológia kidolgozása (KMR_12-1-2012-0128) megnevezésű projekt a Magyar Kormány támogatásával, a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség kezelésében, a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap finanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] COCCIA, C.J.R. et al. (2013): **Municipal solid waste landfills as geothermal heat sources.** Elsevier. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, 2013, p. 463-474.
- [2] NAGY, S. (2013): **Korszerű hulladékgazdálkodás a fenntarthatóság tükrében.** *Szellem és Tudomány* 2013/2, ISSN 2062-2046. pp. 41-57.
- [3] VIEBKE, J. et al. (1994): **Degradation of unstabilized medium-density polyethylene pipes in hot-water applications.** *Polymer Engineering Science* 34 (17), 1994, p. 1354-61.
- [4] YESILLER, N. et al.: **Heat Generation in Municipal Solid Waste Landfills.**