



**Miskolci Egyetem**  
**Műszaki Földtudományi Kar**  
**Nyersanyagelőkészítési és Környezeti**  
**Eljárástechnikai Intézet**



## **A gyáli hulladéklerakóba épített üzemi méretű hőcserélő és hőhasznosító technológia beüzemelése és kísérleti vizsgálata**

Installation and experimental investigation of the industrial scale heat  
exchanging and utilizing technology at the Gyál MSW landfill

**TDK dolgozat**

Írta:

**Péter Márton**

III. éves Környezetmérnök hallgató

Konzulensek:

Dr. Faitli József *intézetigazgató, egyetemi docens*

Magyar Tamás *doktorandusz*

**Miskolc**

**2014**

## Eredetiségi nyilatkozat

*"Alulírott Péter Márton, 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, 2014.

.....  
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, 2014.

.....  
a konzulens aláírása

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1. Hulladékkezelés.....	4
2.2. A depóniatestben lezajló bomlási folyamatok.....	6
2.3. A hőcserélő rendszer beépítésének lehetőségei.....	10
2.4. A csővezeték rendszer beépítésének optimális helye.....	14
2.5. A csővezeték rendszer kialakításának módjai.....	15
3. Gyáli regionális hulladéklerakó bemutatása.....	18
4. A hőcserélő és hőhasznosító technológia bemutatása.....	18
4.1. Független kutak.....	19
4.2. Vízszintes csőrendszer.....	21
4.3. Csurgalékvízgyűjtő medence.....	22
4.4. Üvegház.....	22
4.5. Hőközpont konténer.....	23
4.6. A kiépített technológiai rendszerek felmérése, a fő műszaki jellemzők kiszámítása.....	24
4.7. A számítógépes mérésadatgyűjtő rendszer bemutatása.....	26
4.8. A megépített hőcserélő és hőhasznosító technológia beüzemelése.....	28
5. Üzemi bomlási hő kinyerési és hasznosítási kísérletek.....	28
Konklúzió.....	36
Felhasznált szakirodalom.....	37
Mellékletek.....	39

## **1. Bevezetés**

Az .A.S.A. Magyarország Kft. vezetésével egy konzorcium, - amelynek a tagjai a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Magyar Tudományos Akadémia és a Miskolci Egyetem egyes intézetei - 2013-ban kezdte el a „Depóniahő hasznosítási technológia kidolgozása (KMR 12-1-2012-0128)” című projekt megvalósítását. A projekt célja a kommunális hulladéklerakók anyagtömegében keletkező bomlási hőenergia kinyerése és hasznosítása. A projekt az idei évben már az ipari méretű technológia megvalósításának fázisába ért. A projekt eddigi munkája során kiépítésre került egy monitoring rendszer, a kommunális hulladék fizikai és termikus tulajdonságainak a mérésére eszközt és mérési metodikát fejlesztettek, szimulációt végeztek a hőelvonás hatásának a modellezésére és mindezek alapján 2014 nyarára elkészült a hőkinyerési és hőhasznosítási technológia.

A TDK dolgozat elkészítése során a megépített hőcserélő és hőhasznosító technológia beüzemelési munkáiban vettem részt. Elvégeztem a rendszer felmérését és kiszámítottam a fő műszaki jellemzőket, továbbá részt vettem a 2014. augusztus – szeptemberi első ipari mérések elvégzésében és kiértékeltem az első adatsorokat.

## **2. Szakirodalmi áttekintés**

### **2.1. Hulladékkezelés**

A hulladék lerakással történő ártalmatlanítása hazánkban sokáig a legolcsóbb és legelterjedtebb hulladékkezelési megoldásnak számított, különösen a települési hulladék kezelésében igen magas, 2012-ben a szilárd települési hulladék 65,4%-a lerakókba került. (Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020) A települési hulladék mintegy 55%-a a lakosságtól származik, 45% pedig az intézményekben, a szolgáltatói ágazatban, a kereskedelemben és az ipari területeken képződik, amely a háztartási hulladékhoz hasonló, ezért azzal együtt kezelik, hasznosítják. A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék összetételének alakulását a 2006-2013 években az *1. táblázat* szemlélteti.

<b>Hulladék</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Papír	12,7	18,9	18,4	18,8	14,8	14,7	13,3	14,0
Textil	3,4	3,9	3,9	3,7	3,5	3,5	3,6	3,4
Műanyag	11,8	18,3	18,3	19,1	15,6	15,5	16,3	16,5
Üveg	3,7	4,0	4,1	4,0	4,4	4,1	4,4	4,2
Fém	2,8	2,6	2,9	2,9	3,1	3,3	3,2	3,0
Bio	22,0	20,2	21,3	20,7	19,2	19,0	20,3	20,9
Lomtalanítási	3,1	3,6	3,6	3,5	3,1	2,9	2,7	2,4
Egyéb	40,6	28,6	27,5	27,1	35,8	36,5	35,8	35,1
Veszélyes hulladék	-	-	-	0,2	0,4	0,6	0,4	0,6

*1. táblázat:* A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék összetételének alakulása (%)

(KSH szakstatistikák, hulladékgazdálkodás)

A lerakóba kerülésük előtt ezek a hulladékfajták nagyfokú keveredésen mennek keresztül. A hulladéktestben a depóniába való lerakás után a biológiailag és kémiailag bontható anyagok elkeveredve vannak jelen az inert anyagokkal.

A lerakásra került hulladék mennyisége az utóbbi években csökkent, viszont ezt a folyamatot nem kísérte akkora mértékben a hasznosított hulladék mennyiségének növekedése. A hulladék lerakással történő ártalmatlanítása még évekig meghatározó marad Magyarországon (*2. táblázat*).

<b>Megnevezés</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Újrafeldolgozással hasznosított hulladék	273 259	280 503	259 545	267 191	287 763	284 051	348 544
Energiahasznosítással történő égetéssel hasznosított hulladék	371 761	396 060	388 350	378 107	383 774	326 350	313 955
Energiahasznosítás nélküli égetéssel ártalmatlanított hulladék	10 827	7 187	2 435	3 476	10 775	5 252	1 887
Lerakott települési hulladék	3 317 227	3 142 314	2 932 049	2 661 260	2 515 319	2 274 470	2 116 319

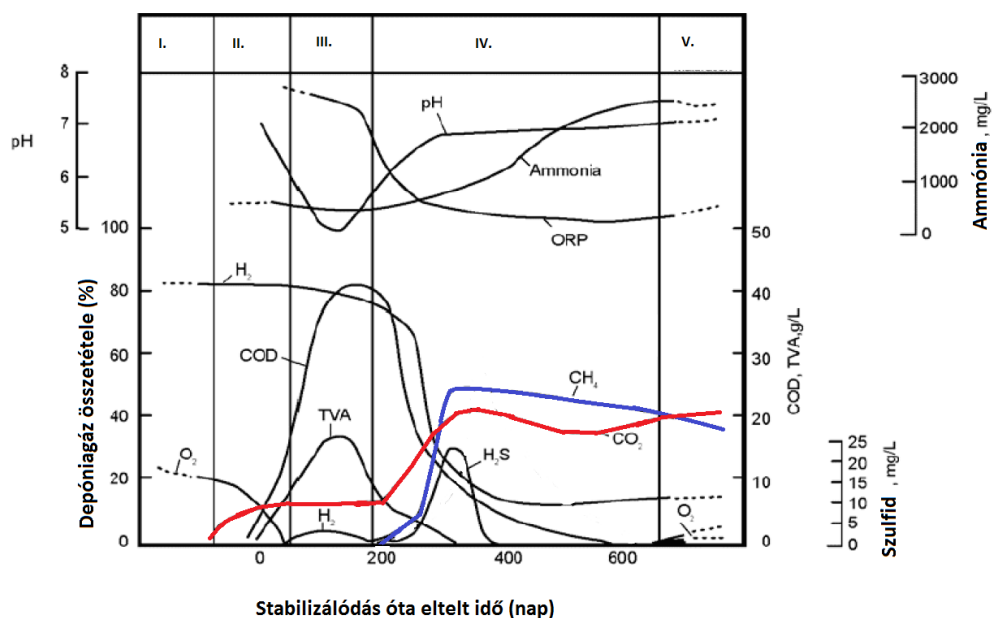
*2. táblázat:* A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék a kezelés módja szerint (tonna)

(KSH szakstatistikák, hulladékgazdálkodás)

A hulladéklerakókba kerülő anyagok meglehetősen heterogének mind fizikai (szemcseméret, nedvességtartalom, alak, térfogatsűrűség) mind kémiai (anyagi összetétel, reakcióképesség) tulajdonságuk alapján. Lerakást követően számos fizikai, kémiai, mechanikai és fizikai-kémiai folyamat játszódik le. Fizikai folyamat a tömörödés és a térfogatsökkenés. A térfogatsökkenést a bomlási folyamatok okozzák. Kémiai, biokémiai folyamat a bomlás.

## 2.2. A depóniatestben lezajló bomlási folyamatok

A depóniatestben lezajló bomlási folyamatokat a szakirodalom 5 fázisra osztja, az egyes fázisokat és a fázisokhoz tartozó kémiai jellemzőket, illetve összetételt az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: Szilárd települési hulladéklerakóban végbemenő bomlási folyamatok.

(Bokányi L. és szerzőtársai alapján)

*I. kezdeti fázis:* Egy rövid ideig tartó aerob szakasz, amikor is az aerob mikroorganizmusok lebontják a települési hulladékban lévő szerves összetevőket. A lebontás hőmérsékletnövekedéssel jár, a végtermékei elsősorban a szén-dioxid, az ammónia és a víz. A kezdeti fázis exoterm folyamat, néhány napig vagy hétig a hőmérséklet elérheti vagy meg is haladhatja a 60-70 °C-ot. Lejátszódó kémiai folyamatok: zsírok, fehérjék és szénhidrátok hidrolízise: exoterm reakció, akár néhány nap alatt lezajlik, kezdetben a frissen elhelyezett hulladék aerob körülmények között van.

*II. átmeneti szakasz:* Mivel az előző szakaszban az aerob mikroorganizmusok elfogyasztják a rendelkezésre álló oxigént, így ebben a fázisban anaerob körülmények is megjelennek. A nitrát és szulfát nitrogén gázzá és hidrogén-szulfiddá alakul át a biokémiai reakciók során. Ebben a szakaszban lejátszódó folyamatok: cukrok zsírsavak és aminosavak acidogeneze. Körülbelül 10 és 150 nap közé tehető a folyamat időtartama, a folyamat átmenetet képez az aerob és az anaerob körülmények között, mivel a hulladékban levő oxigénforrások kimerülnek a folyamat során.

*III. savas szakasz:* Melyben két fő reakció játszódik le. Az egyik a hidrolízis, ahol a nagyobb molekulatömegű komponensek (pl. fehérjék, poliszacharidok, zsírok és nukleinsavak) alakulnak át olyan komponenssé, mely a mikroorganizmusok számára energiaforrásként szolgál. A második fő reakció az acidogenezis, ahol pedig az előző folyamat termékei alakulnak át kisebb molekulatömegű komponensekké (pl. ecetsav). Jellemző kémiai folyamatok: szénsavak, alkoholok, hidrogén, széndioxid és ammónia acetogeneze. Ez az időszak a víztartalomtól függően három hónap és néhány év közé tehető, az időszak jellemzője az anaerob környezet és az acetogén baktériumok megjelenése.

*IV. metán fermentációs szakasz:* Ebben a szakaszban az ecetsavból és hidrogén gázból metán és széndioxid képződik. Hidrogén, ecetsav és széndioxid metanogeneze: Évtizedeken keresztül zajlik anaerob körülmények között. A metanogén baktériumok átalakítják a köztes termékeket. A fázis alatt metán, szén-dioxid, és hidrogén-szulfid keletkezik. A metanogenezis optimális hőmérséklete mezofil baktériumok számára 35 és 40 °C között van, míg a termofil baktériumoknak az 50 és 60 °C közötti a legkedvezőbb hőmérséklet-tartomány.

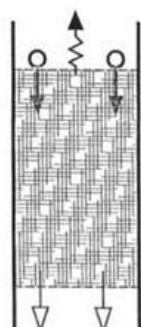
*V. metanogenezis (érési) szakasz:* Miután a bontható szerves összetevők átalakultak metánná és széndioxiddá. A depóniagáz termelődés fokozatosan csökken, mivel a legtöbb tápanyag távozott a csurgalékvízzel a metanogén fázis alatt, a maradék szubsztrát pedig már lassan bontható. Bár a metántermelődés csökken, a biológiailag lassan bomló összetevőkből (pl.: cellulóz alapú szerves hulladékok, mint fa, papír) évtizedeken át termelődik metán

. (Bokányi L. és szerzőtársai 2012),(Szabó I. 2012)

Jól ismert, hogy a szilárd hulladék lerakását követően, stabilizációja folyamán a hulladéklerakókban hő képződik és raktározódik. (2. ábra) Egészen a közelmúltig nem történtek erőfeszítések, hogy kinyerjék a hőt és felhasználják a hulladéklerakókat, mint hőforrásokat. Depónia-hő keletkezik a hulladék kémiai és biológiai lebomlási folyamatai következtében. A hulladéklerakóban a hulladék hőmérséklete a körülményektől függően 25 és 90 °C közé tehető. A geotermikus fűtési rendszerek alapelvei alkalmazhatóak a hulladéklerakók területén található épületek fűtésére és egyéb célokra. A hulladéklerakóba épített geotermikus fűtési rendszerek még hatékonyabbak is lehetnek, mint a földbe építettek. A hulladék hőmérséklete akár 10-45 °C-al is magasabb lehet, mint a földkéreg felső részének hőmérséklete. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a hulladéklerakóba épített hőkinyerő rendszernek magas az energia és költséghatékonysági szintje a hagyományos fűtési rendszerekhez képest is. A megtérülési idő 4 és 7 év közé tehető. (Robert J. Grillo 2014)

A metanogén bomlás endoterm folyamat, a hulladéklerakó magasabb hőmérsékletét a metanogén bomlás nem biztosíthatja, de gyakorlati kutatások bizonyítják, hogy a lerakó belső hőmérséklete igen nagy. A legmagasabb hőmérséklet a hulladéklerakó központi tömegében található. A lerakó felszínéhez közel és a lerakó szélein alacsonyabb a hőmérséklet. A hulladéklerakó hőt veszít egyfelől a felszínen keresztül, másfelől a rézsúknél és az alján a hűvösebb talaj felé az aljzatszigetelésen keresztül.

(Robert J. Grillo 2014).



	Aerob bomlás	Anaerob bomlás	Átmosódás
Követelmények	oxigén jelenléte, nedvesség	oxigén hiánya, magas víztartalom	csapadékvíz, vízáteresztő fedőréteg
Reakciók	oxidáció, nitrifikáció	redukció, denitrifikáció	kioldódás, ioncsere
Hőmérséklet	50–70 °C	35–50 °C	—
Következmények	ásványosodás, szivacsos szerkezet	konzolidáció, szilárdabb szerkezet	kioldódás, kimosódás, áteresztőképesség nő
Termékek	oxidációs termékek, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	szerves savak, CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, csurgalékvíz	csurgalékvíz

Ez az ábra „Kiss Gábor: Települési hulladékok lerakódombjainak csurgalékvizei ...” című cikke alapján készült. Megjelent: Hidrológiai Közlöny, Budapest 1996/2. szám

2. ábra: A hulladéktestben végbemenő bomlási fázisok jellemzői

(Barótfi I.)



A jelenleg aktív hulladéklerakók tipikusan évtizedeken keresztül üzemelnek, mivel a létesítmények infrastruktúrájának kialakítása nagy beruházással jár. A lebomlási szakaszok közül a metanogén szakasz időben a leghosszabb, illetve a legnagyobb jelentőségű a folyamatok hasznosítási lehetőségének szempontjából.

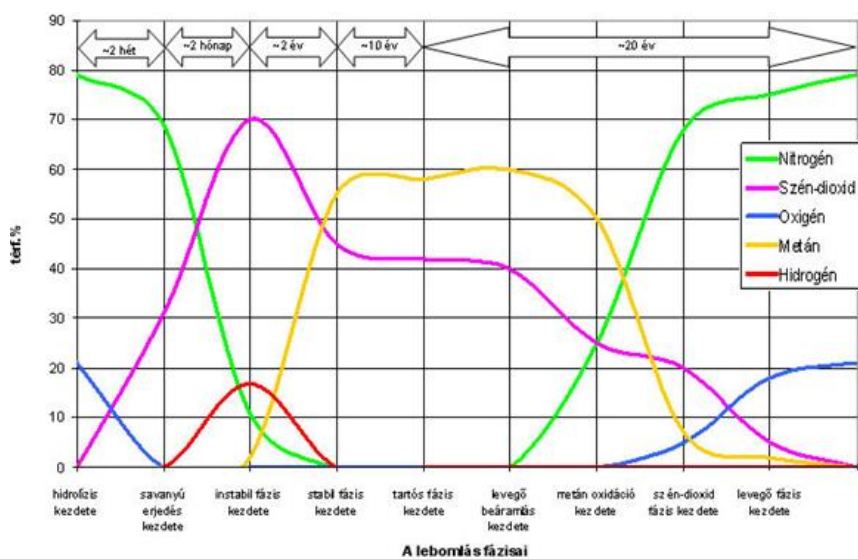
A hulladéklerakók üzemelése során csurgalékvíz keletkezik. A csurgalékvíz a depóniatest alján összegyűlő, változó megjelenési formájú folyadék. Általában szennyezett (magas KOI, nehézfém-tartalom, TOC), vízbázisú oldat, kiülepedő és felúszó anyagokkal. Színe, szaga, szennyezettsége erősen függ a lerakott hulladéktól. Jelenleg legtöbb esetben a szilárd települési hulladéklerakókon keletkező csurgalékvizet medencében tárolják, majd visszaforgatják a lerakóra, illetve a természetes párolgást kihasználva érik el a tározó tartalmának állandó szinten tartását. Csapadékosabb években kisebb mennyiséget szennyvíz-tisztítómuibe szállítanak. A csurgalékvíz visszaforgatása azonban nem jelent hosszú távú megoldást, mivel évek hosszú sora után a víz szennyező anyag tartalma akkumulálódik, és olyan szintet ér el, amely a lerakó konszolidációját, stabilitását veszélyezteti, továbbá kritikus esetekben, pl. nagy esőzések során, egy esetleges túlcsordulás nagy kockázatot jelenthet a környezetre.

A biogáz szerves anyagok levegőtől elzárt körülmények közötti anaerob bomlásakor keletkezik. A települési szilárd hulladék lerakóhely lényegében egy természetes nagytérfogatú bioreaktornak fogható fel, ahol az anaerob körülmények dominálnak. A kommunális lerakóhelyeken keletkező biogáz minősége a hulladékok összetett anyagi tulajdonságai miatt némileg eltér az egyéb hulladékok anaerob erjesztése során keletkező biogázétól ezért célszerűen megnevezésére a depóniagáz elnevezés alkalmazása pontosabb. A depónia gáz minősége függ a depónia korától és a lerakott anyagok változó összetételétől.

Általánosságban a depóniagáz összetétele a következő:

- 40–60% metán,
- 40–60% széndioxid,
- 0,1–2%% szénmonoxid, nitrogén,
- kénhidrogén, illékony zsírsavak, merkaptánok, indol, szkatol ppm nagyságrendben,
- ugyanakkor megjelenik kísérőként a víz (gőz) is.

A depóniagáz keletkezése egy sajátos lebomlási görbét ad, melynek vége gyakran a lerakóhely lezárása utáni 25–30 évig is eltart. (Barótfi I.)( 3. ábra)

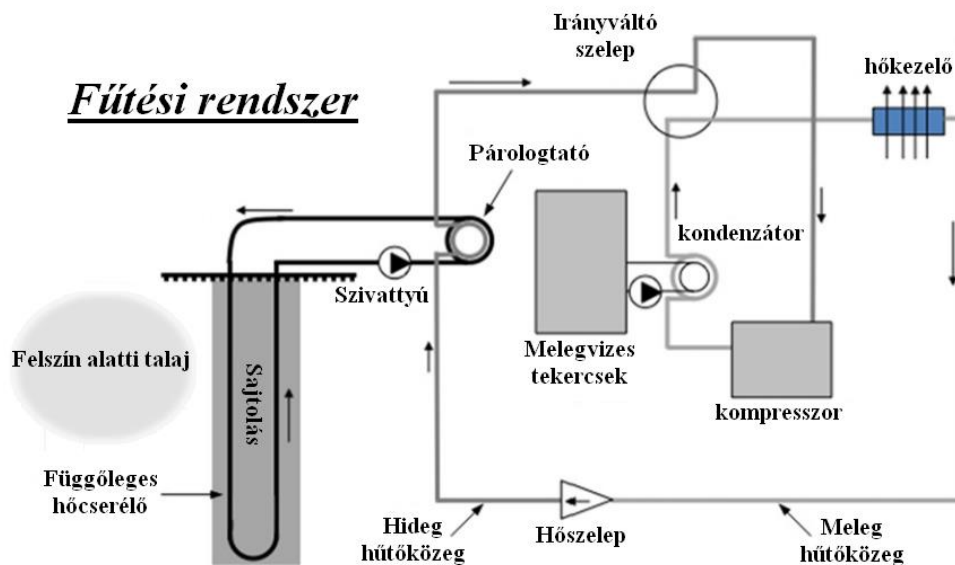


3. ábra: A lebomlás fázisai a képződő depóniagáz összetételével  
(Marcsó Z.)

### 2.3. A hőcserélő rendszer beépítésének lehetőségei

A szakirodalom kutatás során megállapítottam, hogy az ötlet (a lerakó töltésének a fázisában még egyszerű hőcserélő csővezetékot lefektetni, amelyben munkaközeget keringtetve a bomlási hő kinyerhető) egymástól függetlenül kb. egy időben keletkezett az USA-ban és Magyarországon. Az alapötletet 2014-ben mindkét helyen szabadalmaztatták.

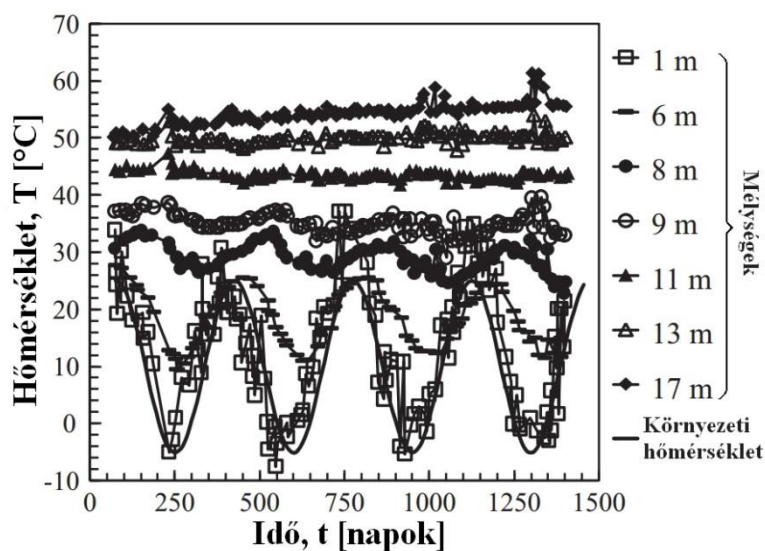
A következőkben összefoglalom a nemzetközi szakirodalom vonatkozó részét. Az első hőszivattyús rendszert (GSHP – ground source heat pump) Peter von Rittinger osztrák mérnök fejlesztette ki 1855-ben. Ez a technológia napjainkban már igen elterjedt, amikor függőleges vagy vízszintes hőcserélő csővezetékrendszert telepítenek a földfelszín alá. A csővezeték anyaga HDPE (nagy sűrűségű polietilén) vagy HDPB (nagy sűrűségű polibutilén). A technológia három fő részből áll, ezek a zárt csőrendszerű hőcserélő kör, amely hőt von el a talajból, vagy hőt ad le a talajba, a hőszivattyú, amelyben alacsony forráspontú munkaközeg van, illetve a hőelosztó hálózat, amely az épületeket hűti, vagy fűti (4. ábra). A talajba telepített hőcserélő körben fagyásálló munkaközegre van szükség.



4. ábra: Hőszivattyús rendszer felépítése.

(Coccia és szerzőtársai 2013)

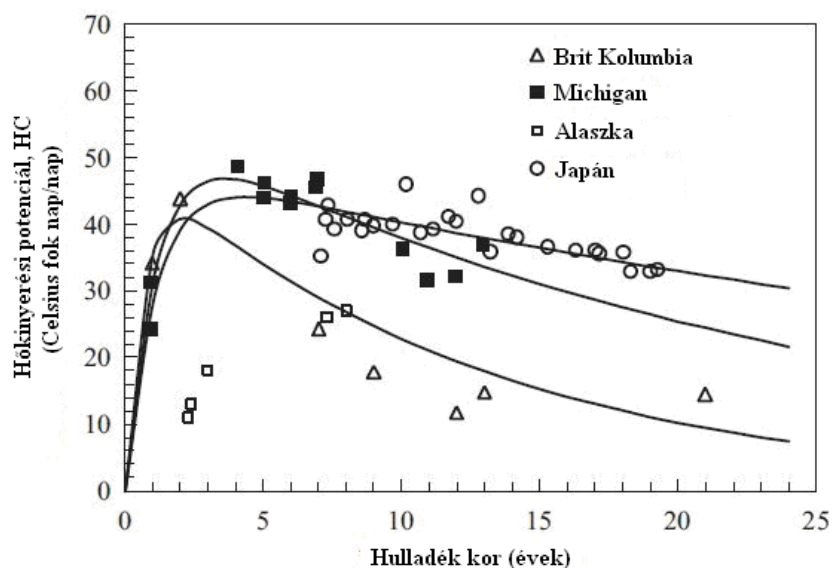
Kutatók több éves méréseket végeztek, mely szerint különféle észak-amerikai hulladéklerakókban mértek hőmérséklet-eloszlást és végeztek szisztematikus gáz mintavételezést (5. ábra). Megállapították, hogy csak a felső 1-6 m-es rétegben érvényesül az évszaknak megfelelő hőmérséklet hatása, mélyebben a hőmérséklet állandósul, és akár 40-60 °C-ot elérheti.



5. ábra: Hőmérséklet-eloszlás a mélység függvényében.

(Coccia és szerzőtársai 2013)

(Coccia és társai 2013), valamint (Yesiller és Hanson, 2003) által bevezett hőkinyerési potenciál (HC) paramétert is alkalmazták a vizsgált depóniák termikus jellemzésére. A HC paraméter idő szerinti változása jól jellemzi az adott hulladéklerakóból kinyerhető hő nagyságrendjét (6. ábra). A HC paraméter gyakorlatilag a kinyerhető energia arányos mennyiségét jelenti.



6. ábra: A HC paraméter változása az idő függvényében.

(Coccia és szerzőtársai 2013)

A hőkinyerési potenciál akár az 50 °C-ot is elérheti a vizsgált lerakókban. A lerakást követően meredeken emelkedik, majd kb. 3-5 év múlva éri el a csúcst, amelyet követően enyhén csökkenni kezd, viszont még 20-25 év múltán is számottevő.

Vizsgálták a hulladék lerakási jellemzőinek a hőkinyerési potenciálra, azaz a rendelkezésre álló hőkinyerési kapacitásra gyakorolt hatását. Megállapították, hogy a lerakás ideje, hogy melyik évszakban történt a lerakás- befolyásolja-e a HC paraméter értékét. Amennyiben melegebb évszakban történik a lerakás, az időarányos HC maximum értékei nagyobbak, mint hidegebb időszakban történő lerakás esetén. Megállapították továbbá azt is, hogy a nagyobb tömegáramban történő lerakás esetén nagyobb átfogó hőmérsékletek alakulnak ki, a lassabb ütemű lerakással szemben.

Vizsgálták az időjárási körülmények, kiemelten a csapadékkéntenzitás hatását a hőkinyerési potenciál értékére. Bizonyították, hogy a csapadék mennyiségével először

növekszik a HC értéke, majd kb. 2,3 mm/nap értéknél éri el a maximumot, ami után már csökken a hó termelődés.

Összességében elmondható, hogy a kommunális hulladékok hőtani paramétereiről még nagyon kevés információt tartalmaz a szakirodalom, azonban a 3. táblázat nagyságrendi becslést ad a települési szilárd hulladék hőtani paraméterek értékeire. A hővezetési tényező a növekvő nedvességtartalom és a növekvő halmazsűrűséggel is arányosan növekszik.

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

3. táblázat: A TSZH jellemző hőtani paramétereit.

(Hanson és szerzőtársai 2008)

Az összes kinyerhető hőenergia vonatkozásában kiszámították, hogy az egy éves időtartamra vetített értéke kb. 71-279 MJ/m<sup>3</sup>, amelyből a veszteségeket levonva 23-77 MJ/m<sup>3</sup> marad. A kapott értékek lényegesen nagyobbak, mint az exoterm biológiai lebomlás alapján becsült-, viszont lényegesen kisebbek, mint a hulladék elégetéséből származó értékek.

Szerzők a cikkekben felhívják a figyelmet arra, hogy a kommunális hulladéklerakóba telepített hőszivattyús rendszer a teljes lerakó működését befolyásolja, ezt egyrészt ismerni célszerű, másrészt nemcsak a hő kinyerése lehet a cél. Más vizsgálatok során kutatók megállapították, hogy a metán képződés szempontjából a kb. 41 °C-os hőmérséklet az optimális. Olyan lerakók esetén, ahol a hőmérséklet ennél kisebb-célszerű lehet a depóniatestbe geotermikus hőt vezetni és a metánképződésre optimalni a lerakót.

Amennyiben az adott hulladéklerakóban geotermikus hő cserélés történik a megváltozó viszonyok befolyásolhatják a lerakó mechanikai- és hidraulikai jellemzőit. A hőmérséklet nagyban befolyásolja a lejátszódó biológiai folyamatokat, amelyek következtében a mechanikai szerkezet és a szivárgási jellemzők is megváltoznak.

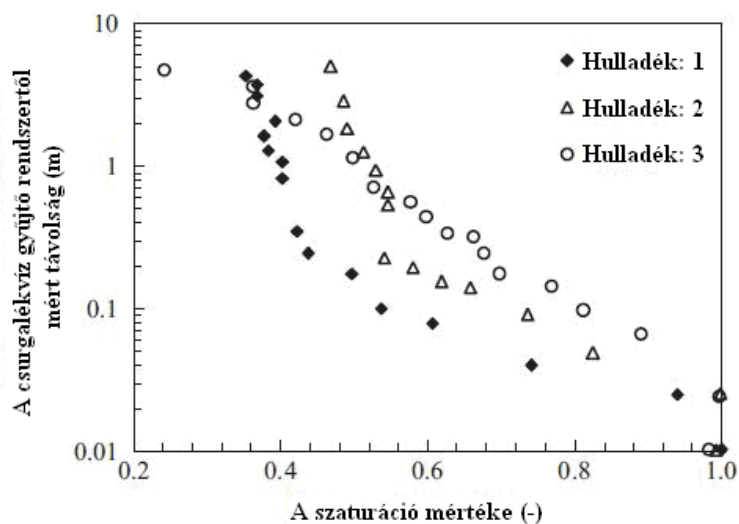
Egy beépített geotermikus hőcserélő rendszer nagymértékben befolyásolhatja a lerakó aljzat szigetelésének az élettartamát. A lerakó alján kialakuló nagy hőmérséklet

erősen igénybe veszi a polimer aljzatszigetelő elemeket (pl. HDPE fólia) illetve a szemcsés geomembrán anyagrétegek kiszáradását okozhatja.

Ezeket a hatásokat csökkenteni lehet, ha hőt vonunk el a depóniaestből (Viebke és társai 1994) szerint, 20 °C-on a HDPE aljzatszigetelő fólia tipikus élettartama 600 év, de ez lecsökken 160 évre, ha a hőmérséklet elérheti a 35 °C-ot. Az 50-60 °C-os hőmérsékletnek kitett fólia élettartama az 50 évet sem érheti el.

#### 2.4. A csővezeték rendszer beépítésének optimális helye

Kérdés a depóniatestbe a hőcserélő csővezeték optimális beépítési helye. A hőmérséklet-eloszlás mérése erre útmutatást nyújt, a nagyobb hőmérsékletű részek kijelölhetők. Figyelembe kell venni a víztelítettség (szaturáció) értékét is (Coccia és szerzőtársai 2013) vizsgálatai alapján a depótest aljára beépített csurgalékvíz gyűjtő rendszer hatékony működése esetén sem veszi el a póruszvizét a deponált hulladék, bár a szaturáció a magassággal csökken, így a magasabban fekvő rétegekbe is lehet csővezeték telepíteni (7. ábra).

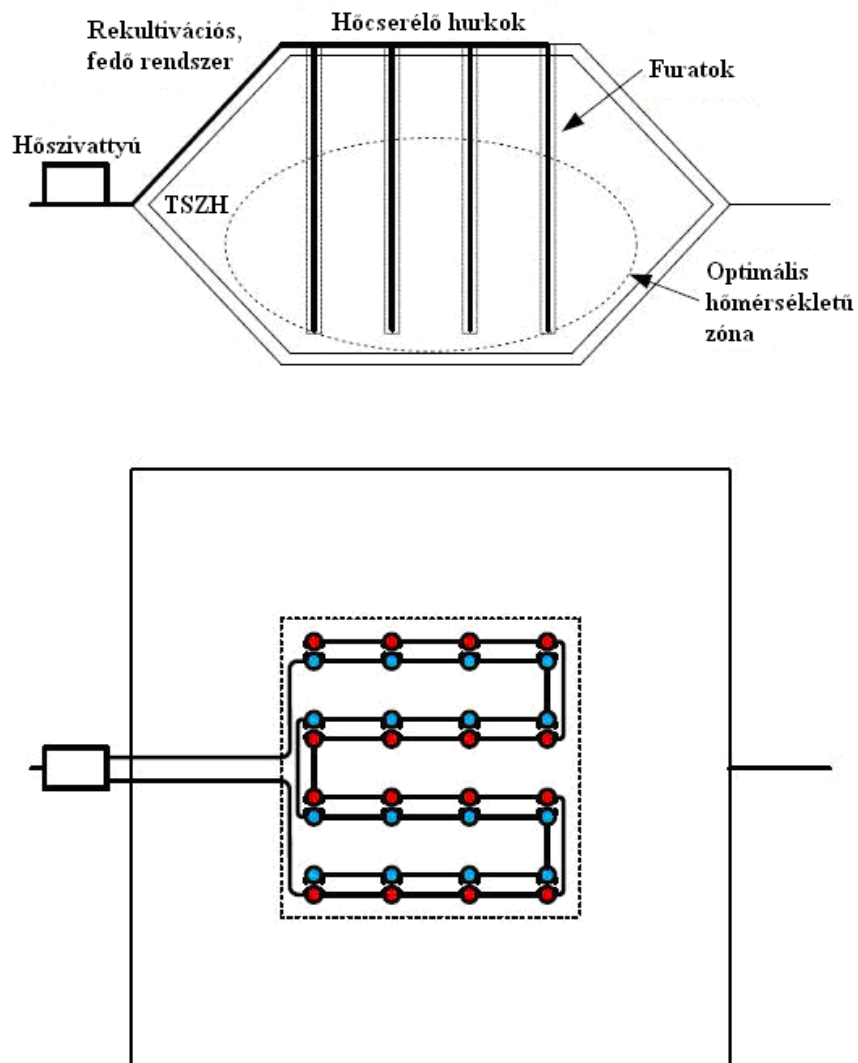


7. ábra: Szaturáció a depótestben a mélység függvényében.

A túl nagy hőmérsékletnek van egy másik káros hatása is, amely a csurgalékvíz elvezetést gátolja. A nagyobb hőmérséklet miatt nagyobb a biológiai aktivitás, amely következtében a hulladék pórusai a baktériumok növekedésének következtében eltömődhetnek. Ezeket a folyamatokat is befolyásolhatja a geotermikus hőcsere.

## 2.5. A csővezeték rendszer kialakításának módjai

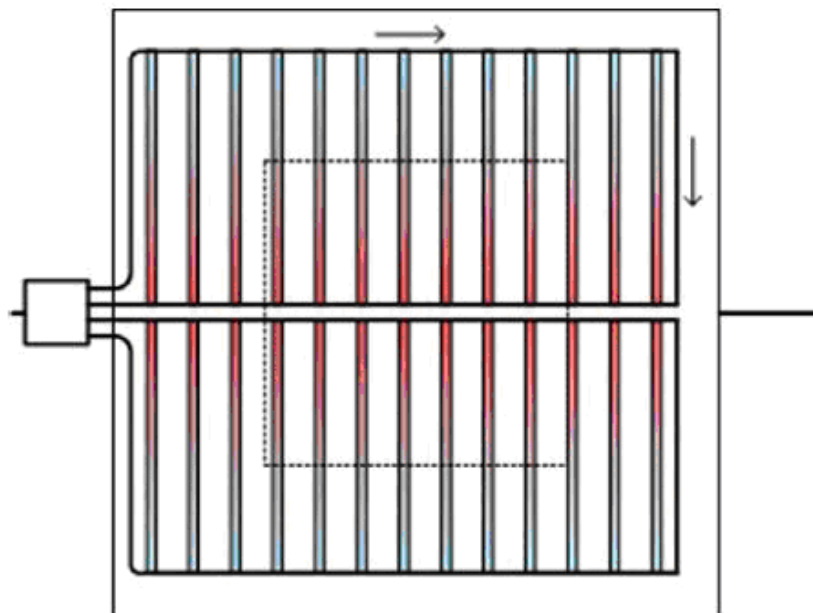
Coccia és szerzőtársai a hőcserélő csővezeték kialakításával kapcsolatban is számos tanáccsal szolgálnak. Elsőként közlik a szóba jöhető csővezeték anyagokat, ezek a HDPE, HDBE és a réz, azonban a rézet, mint csőanyagot, az ára és a kisebb csurgalékvíz ellenálló képessége miatt elvetik. Egy lezárt és már rekultivált lerakó esetén függőleges, fúrólukás csővezeték rendszer kiépítése lehetséges (8. ábra).



8. ábra: Függőleges csővezetékrendszer lezárt lerakóban.  
(Coccia és szerzőtársai 2013)

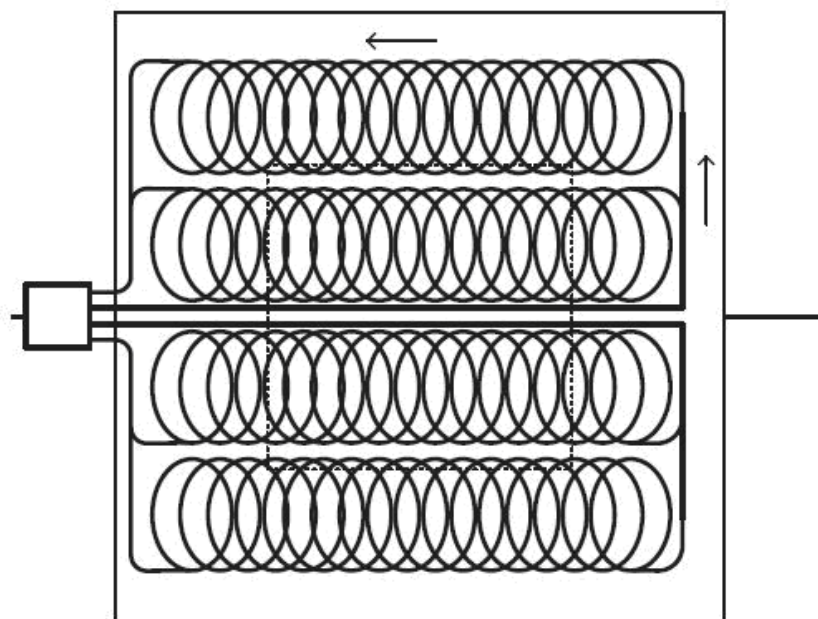
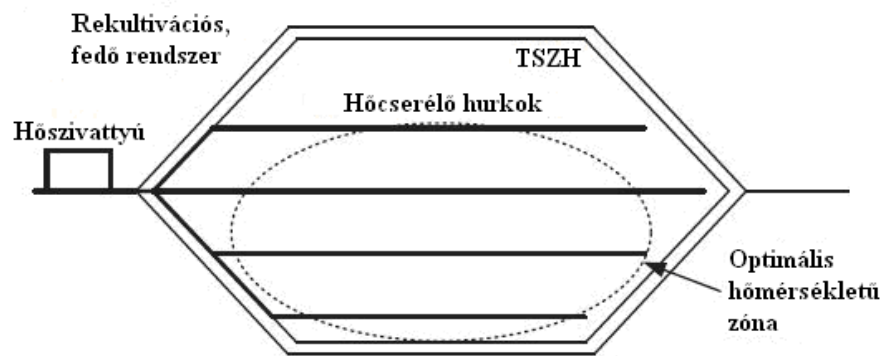
A lezárt lerakó esetén a felső takaró geomembránt át kell fúrni, az így keletkező rést tömíteni kell. Nagy magasságú és kis alapterületű hulladéklerakók esetén a művelés közben történő beépítés során is célszerű lehet a függőleges csővezetékrendszer beépítése. A beépítést, -fúrásos technológiával- kb. 75 %-os töltöttségi állapotban célszerű elvégezni. Ilyenkor még nem okoz gondot a később megvalósítandó felső szigetelő és rekultivációs réteg.

A hulladéklerakók művelése (töltése) közben alapvetően kétféle vízszintes elrendezésű csővezetékrendszer beépítése lehetséges, a hagyományos és az úgynevezett „slinky” (9. és 10. ábra).



9. ábra: Hagományos vízszintes hőcserélő csővezeték rendszer.  
(Coccia és szerzőtársai, 2013)





10. ábra: Az úgynevezett „slinky” vízszintes hőcserélő csővezeték rendszer.

(Coccia és szerzőtársai, 2013)

A „slinky” csővezeték rendszer kb. 20-30 %-al nagyobb hatásfokkal rendelkezik, azonban a cső szükséglete közel kétszer akkora, mint a hagyományos csőrendszer esetén. A vízszintes kiépítés nagy hátránya, hogy a lerakó művelése során a már telepített ágak megsérülhetnek. Ezt homok rétegbe való ágyazással csökkenteni lehet, azonban ez költséges.

### 3. Gyáli regionális hulladéklerakó bemutatása

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. A telephely magában foglal egy B3 kategóriájú (kevert, nem veszélyes hulladékok) lerakót, amely támasztótöltéses technológiával épülő depónia. Jelenleg 5 lerakási ütem található a lerakón, 2013-ban a lerakó szabad kapacitása 3.440 000 tonna volt (Országos Hulladékgazdálkodási Terv, 2014)

Depónia ütem	Befoglaló geometriai méretek [m <sup>3</sup> ]	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

4. táblázat: Gyáli lerakó ütemeinek adatai

A lerakóban a keletkező depóniagáz összegyűjtése és hasznosítása megoldott. A tömörítés, takarás légmentes zárást biztosít, megakadályozza a keletkező gázok szabad távozását. A gázkinyerő kutak és a gyűjtőrendszer összegyűjtik a keletkező gázokat. A depóniagáz hasznosításra kerül villamosenergia-termelésre, gázmotorok segítségével. A telephelyen levő gázmotorok összteljesítménye kb. 3 megawatt.

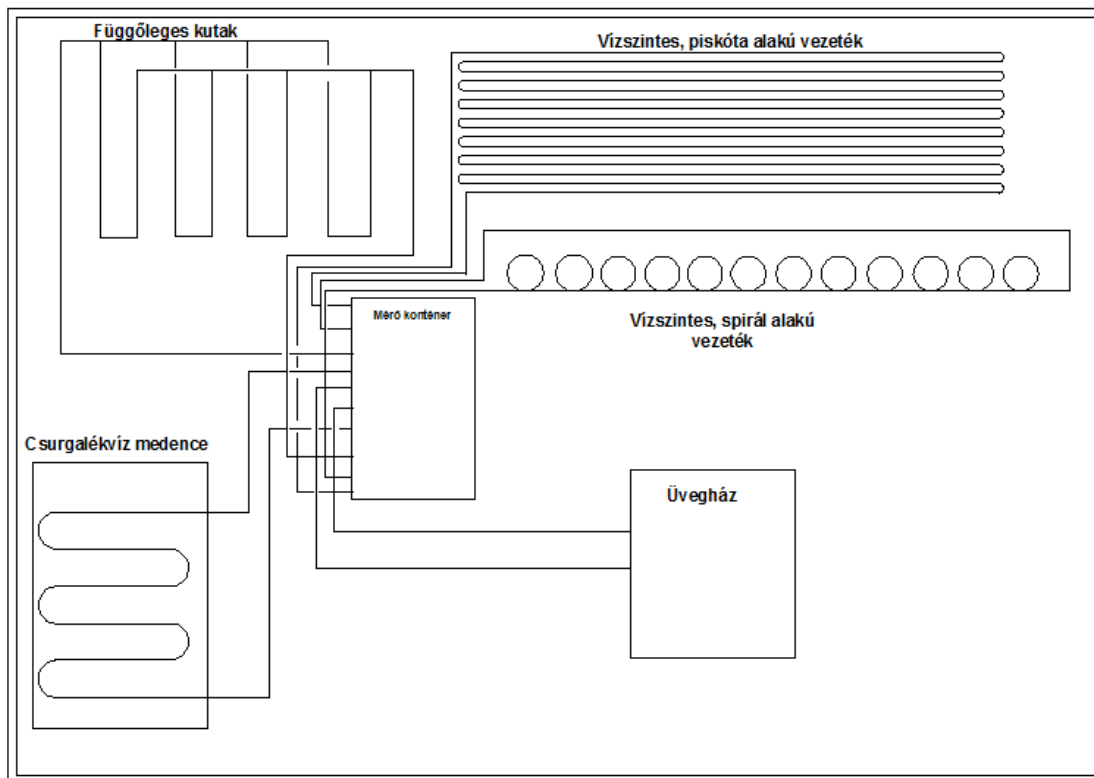
A hulladéklerakóban keletkező csurgalékvíz összegyűjtése 2 medencében történik. A csurgalékvíz helyszíni ártalmatlanítása, tisztítása nem megoldott. A csurgalékvizet visszapermetezik a lerakó felületére, zárt rendszerben, ill. időnként elszállítják kezelésre.

### 4. A hőcserélő és hőhasznosító technológia bemutatása

A projekt keretében a következő technológiai rendszerek kerültek kiépítésre (11. ábra):

- I. Hőcserélő rendszer, művelés alatt álló depóba (vízszintes hőcserélő) a hő kinyerésére.
  - a. „slinky” típusú hőcserélő (4 x 40 m) alapterületen
  - b. „piskóta” típusú hőcserélő (16 x 40 m) alapterületen

- II. Hőcserélő rendszer, lezárt vagy feltöltött depóba (függőleges hőcserélő) a hő kinyerésére (4 db hőkinyerő kút + 1 gázmonitoring kút)
- Összekötő, hőszigetelt csővezetékrendszer szerelvényekkel
- Gépészeti berendezések (gerincvezetékek, szivattyúk, szerelvények, stb.) fém konténer házban.
- I. Hőcserélő a hő hasznosítására (üvegház – téli üzem)
- II. Hőcserélő a hő hasznosítására (csurgalékvíz medence – nyári üzem)
- Számítógépes és manuális mérésadatgyűjtő rendszer



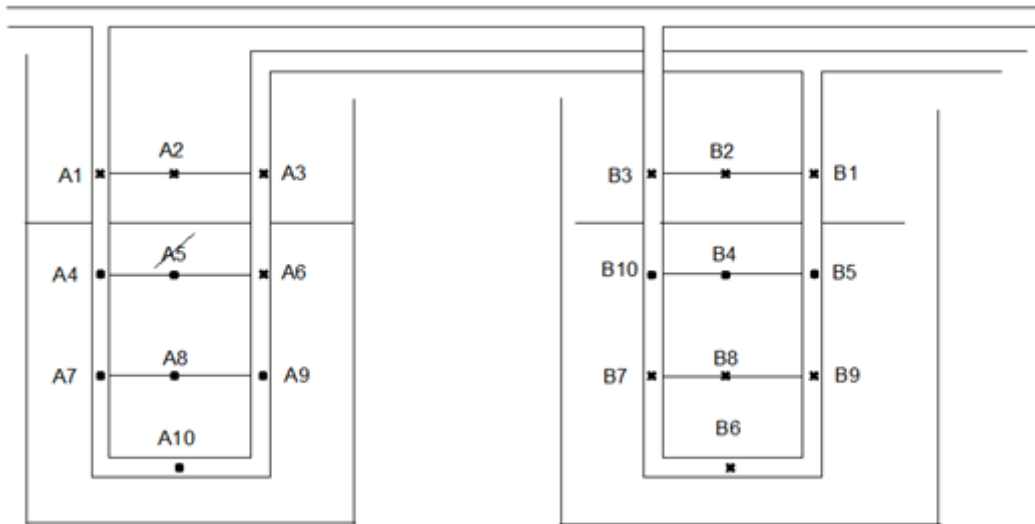
11. ábra: A hőcserélő és hőhasznosító rendszer elvi vázlata.

Fűtőközegként a depónia körül kialakított tűzcsaphálózatból nyert vizet alkalmazták a hálózat feltöltésére. A csőrendszert 63 mm-es külső átmérőjű HDPE műanyag csövekből alakították ki.

#### 4.1. Függőleges kutak

A függőleges kutak a III. ütemben kerültek telepítésre (12. és 13. ábra). A 4 db kút egymással és a hőközponttal úgynevezett Tichelmann-rendszer szerint lett összekapcsolva, amely biztosítja, hogy a párhuzamosan kapcsolt csővezetékek mindegyikének azonos

legyen a csőhossza, így azonos hőcserélő közeg térfogatáram fog rajtuk kialakulni. A függőleges kutak közül az első 2 kút csővezetékein, és a csöveket rögzítő vashálón hőmérséklet-mérő szenzorokat telepítettek, a mért hőmérséklet adatokat egy számítógép rögzíti, ami a konténer-hőközpontban található. A függőleges kutak a csővezetékek telepítése után fel lettek töltve. A kutak alsó szakaszai betonnal, a felsők pedig fa-aprítékkal kerültek feltöltésre.



12. ábra: A függőleges kutakon beépített hőmérséklet-mérő szenzorok helye.

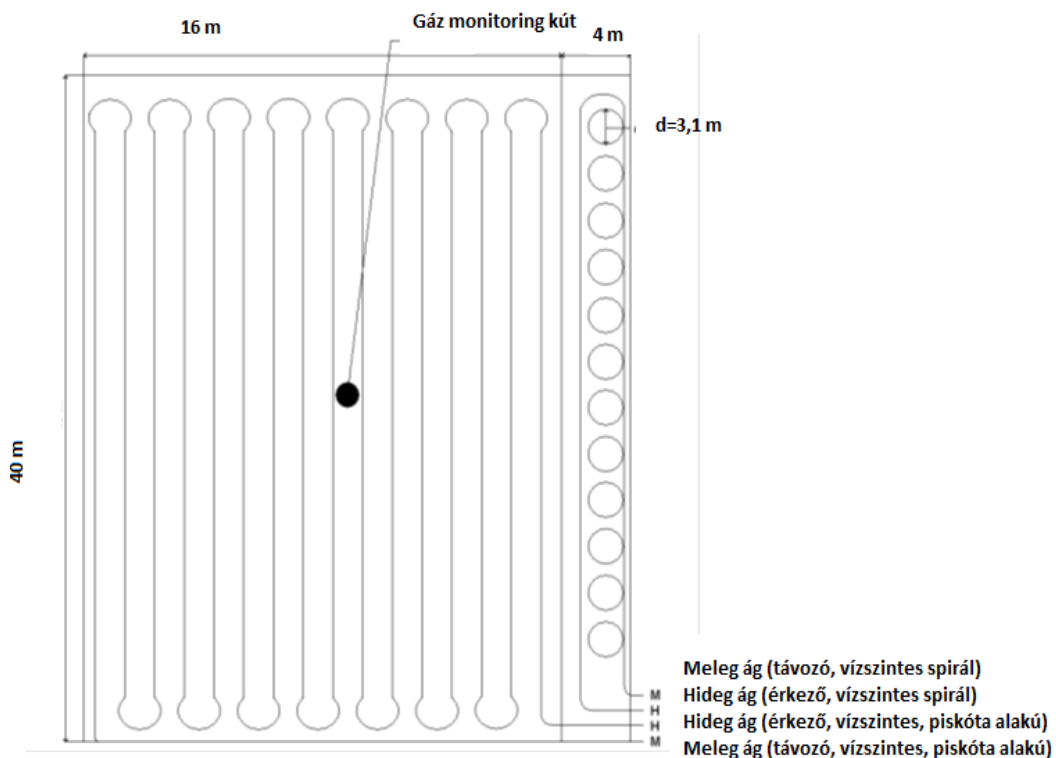


13. ábra: A függőleges kutak kialakítása.

(Erdélyi Attila 2014)

## 4.2. Vízsíntes csőrendszer

A vízszíntes hőcserélő mező 2 fűtőkört tartalmaz, melyeknek a kialakítása eltérő. Az egyik a vezetékől hurkokat képezve lett lefektetve („slinky”), míg a másikban párhuzamosan fut oda-vissza a vezeték („piskóta”) (14. és 15. ábra). A mező alapterülete  $800 \text{ m}^2$ . A mező a még feltöltetlen V. ütem területén található. Mindkét fűtőkör külön vezetéseken halad a hőközpont konténerhez. A tervek alapján a „slinky” rendszer aktív hőcserélő részéhez 240 m, míg a „piskóta” hőcserélőhöz 720 m csővezeték lett felhasználva.



14. ábra: Vízszíntes csőrendszer kialakítása.



15. ábra: A „slinky” és a „piskóta” típusú vízszintes hőcserélők takarás előtt.  
(Erdélyi Attila 2014)

#### 4.3. Csurgalékvízgyűjtő medence

A hőhasznosító rendszer egyik eleme, hőfogyasztója a lerakó egyik csurgalékvízgyűjtő medencéje, amiben a vízfelszín alatt 80 cm mélységben fut a csővezeték 245 méter hosszúságban, piskóta alakban.

#### 4.4. Üvegház

A hőhasznosító rendszer másik eleme az üvegház (16. ábra). A konténer hőközpontba érkező meleg fűtőközeget az üvegházba is lehet vezetni. Az üvegház alapterülete  $3,8 \text{ m} \times 8,3 \text{ m} = 31,5 \text{ m}^2$ . A lábazati fal 15 cm széles, melyre kívülről 10 cm XPS lábazati hőszigetelés került. Szerkezete fa, melyre 16 mm-es polikarbonát borítás került. Tetőgerinc magassága 3,54 m. Az üvegház hőcserélő felületének nagysága:  $A=50,68 \text{ m}^2$ .

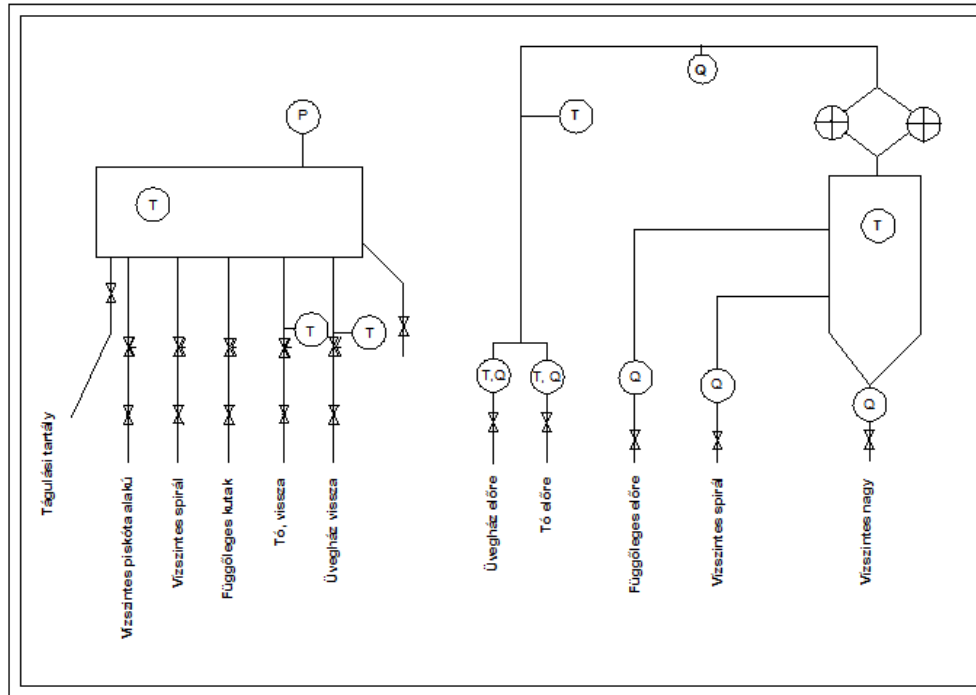


16. ábra: Az elkészült üvegház és a gépészeti konténer.

(Erdélyi Attila 2014)

#### 4.5. Hőközpont konténer

A hőcserélő rendszerekből a felmelegedett hőcserélő közeg a hőközpontba jut. A hőelosztás az üvegház és a csurgalékvíz medence közvetlen közelébe telepített konténer hőközpontban történik (17. ábra). A hőközpontban mérésre kerül az egyes szondákról érkező és az egyes felhasználási helyekre kiadott fűtőközeg mennyisége és hőmérséklete, az adatokat egy központi adatgyűjtő segítségével regisztrálják. A rendszer zárt fűtési rendszer, tágulási tartállyal rendelkezik. Minden fűtési kör mennyiség szabályozó szeleppel ellátott, a mérési adatok alapján a keringetett összes vízmennyiség és az egyes ágak egymáshoz képesti vízmennyisége is szabályozható.



17. ábra: Hőközpont konténer elemei az előremenő és visszatérő ágak jelölésével.

#### 4.6. A kiépített technológiai rendszerek felmérése, a fő műszaki jellemzők kiszámítása

Az általánosan alkalmazott KPE cső jellemző méretei:

Külső átmérő:	$D = 63 \text{ mm}$
Cső falvastagsága:	$s = 3,8 \text{ mm}$
Cső belső átmérője:	$d = 63 - (2 \times 3,8) = 55,4 \text{ mm} = 0,0554 \text{ m}$
Cső keresztmetszetének belső felülete:	$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{0,0554^2 \pi}{4} = 0,002410512 \text{ m}^2$
1 méter hosszú csőszakasz térfogata:	$V = \frac{d^2 \pi}{4} \times \text{magasság (1 m)} = 0,002410512 \text{ m}^3$
1 méter csőhosszban található víz:	$0,002410512 \text{ m}^3 \times 1000 = 2,410512 \text{ liter}$

Függőleges kör csőhosszai és térfogata:

kút mélysége:	$h = 16 \text{ m}$
leszálló és felmenő csőág távolsága :	$z = 0,7 \text{ m}$
1 kút csőhossza:	$(2h + z) = 32,7 \text{ m}$
4 kút csőhossza:	$4 \times (2h + z) = 130,8 \text{ m}$



kutak közötti távolság:	7 m
kutakat összekötő vezetékek hosszai:	
hideg ág:	21 m
meleg ág:	21 m
kutakhoz felmenő csővezeték	
hossza a konténertől:	239 m
kutaktól távozó csővezeték	
hossza a konténerig:	218 m
függőleges kör teljes csőhossza:	$L_{FK} = 130,8+21+21+239+218=629,8$ m
függőleges kör teljes térfogata:	$V_{FK} = A \times L_{FK} = 0,002410512 \text{ m}^2 \times 629,8$ m $= 1,5181 \text{ m}^3$

Csurgalékvízgyűjtő medence- kör csőhosszai és térfogata:

konténertől a tóig:	
hideg ág:	30 m
meleg ág:	30 m
csurgalékvíz medencébe	
telepített csőrendszer :	245 m
kör teljes csőhossza:	$L_{CSM} = 30+30+245 = 305$ m
kör teljes térfogata:	$V_{CSM} = A \times L_{CSM} = 0,002410512 \text{ m}^2 \times 305$ m $= 0,7352 \text{ m}^3$

Vízszintes „slinky” – kör csőhosszai és térfogata:

telepített mező:	
egyenes ág:	40 m
hurkokat összekötő szakaszok	40 m
1 hurok átmérője:	$d_H = 3,1$ m
1 hurokra eső csőhossz:	$K_H = d_H \times \pi = 3,1 \times \pi =$ 9,739 m
12 db hurok összesen :	$12 \times K_H = 116,867$ m

konténertől a mezőig:

hideg ág: 147 m

meleg ág: 147 m

Vízszintes „slinky”:

- kör teljes csőhossza:  $L_{VS} = 40+40+117+147+147 = 491 \text{ m}$

-kör térfogata:  $V_{VS} = A \times L_{VS} = 0,002410512 \text{ m}^2 \times 491 \text{ m}$   
 $= 1,1836 \text{ m}^3$

Vízszintes „piskóta”-kör csőhossza és térfogata:

telepített mező:

egyenes kivezető szakasz: 16 m

belső egyenes szakaszok:

1 szakasz hossza: 40 m

16 szakasz hossza : 640 m

konténertől a mezőig:

hideg ág: 147 m

meleg ág: 147 m

Vízszintes „ piskóta”

-kör teljes csőhossza:  $L_{VP} = 16+640 +147 + 147 = 950 \text{ m}$

-kör térfogata:  $V_{VP} = A \times L_{VP} = 0,002410512 \text{ m}^2 \times 950 \text{ m}$   
 $= 2,2899 \text{ m}^3$

#### 4.7. A számítógépes mérésadatgyűjtő rendszer bemutatása

A konténerbe telepített számítógépes mérésadatgyűjtő rendszer a következő mérési adatokat tárolja el 5 perces időközönként. A nagyszámú paraméter azonosítására két- ill. hárombetűs jelölési rendszert dolgoztam ki. A mért mennyiségek betűjelzését az angol elnevezések alapján határoztam meg, mert későbbi angol nyelvű publikálás miatt célszerű az ábrákat így elkészíteni. Az angol elnevezéseket a mellékletben adtam meg.

1. A-jelű függőleges kút hőmérsékletei különböző mélységekben:  
A1 A2 A3 A4 A6 A7 A8 A9 A10 [°C] (az A5 mérőhely nem üzemel)
2. B jelű függőleges kút hőmérsékletei különböző mélységben  
B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 [°C]
3. A depónián elhelyezett műszerdoboz a mérési elektronika számára.  
EH – műszerdoboz fűtés [°C]  
EI - műszerdoboz ház hőmérséklete [°C]  
EO - műszerdoboznál mért külső hőmérséklet [°C]
4. Konténer:  
CI - belső léghőmérséklet [°C]  
CO - konténernél mért külső léghőmérséklet [°C]
5. Fűtőközeg hőmérsékletei  
MGB - visszatérő közeghőmérséklet (ház) [°C]  
MLB - visszatérő közeghőmérséklet (tó) [°C]  
MGF - előremenő közeghőmérséklet (ház) [°C]  
MLF - előremenő közeghőmérséklet (tó) [°C]  
MET – hőtágulási tartály hőmérséklet [°C]
6. Az üvegház hőmérsékleti adatai:  
GA - Üvegház léghőmérséklet (árnyékolt) [°C]  
GPW - Polikarbonát felületi hőmérséklete (nyugati oldal) [°C]  
GPS - Polikarbonát felületi hőmérséklete (déli oldal) [°C]  
GF - Üvegház, lábazat felületi hőmérséklete [°C]  
GS - Üvegház, talaj-hőmérséklete [°C]
7. Csurgalékvíz gyűjtő medence:  
LP - csurgalékvíz hőmérséklete: [°C]
8. Fűtőközeg keringési adatai:  
QM - Térfogatáram (Főág) [l/min]  
QG - Térfogatáram (Üvegház) [l/min]  
QMA - Átlagos térfogatáram (főág) [l/min]  
QGA - Átlagos térfogatáram (Üvegház) [l/min]  
QL - Térfogatáram (Csurgalékvíz gyűjtő medence) [l/min]  
QLA - Átlagos térfogatáram (Csurgalékvíz gyűjtő medence) [l/min]

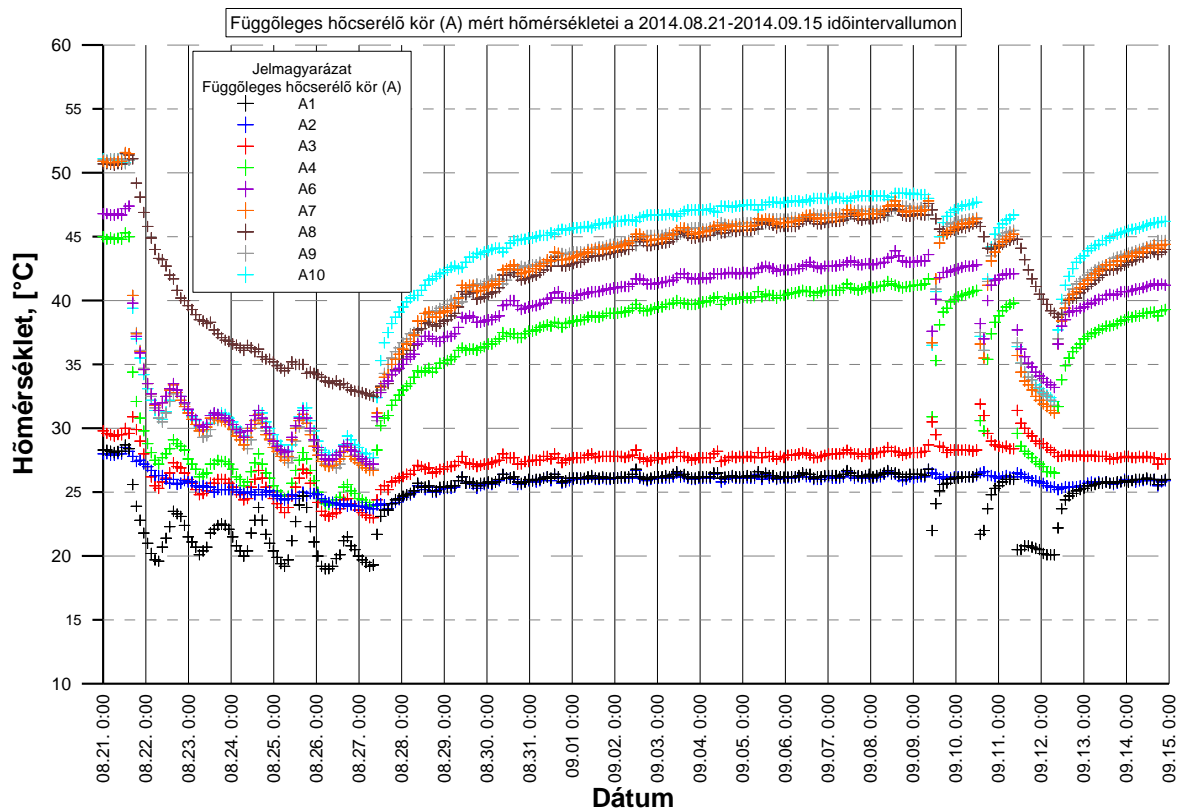
#### **4.8. A megépített hőcserélő és hőhasznosító technológia beüzemelése**

A DEPÓNIAHŐ projekt konzorciuma 2014. augusztus 1-jére fejezte be a technológia kivitelezésével kapcsolatos munkálatokat. A rendszer feltöltése 2014 augusztusában történt meg. A rendszer légtelenítése során problémát okozott az, hogy a lerakó talpszintjére telepített normál fűtésszivattyúk nem tudták a munkavizet a kb. 20 m magasságú legmagasabb ponton átnyomni, ezért a felső pontnál is meg kellett oldani a feltöltést. Végül a sikeres légtelenítés 2014. augusztus 21-én történt meg, mely után a próbaüzem megindult. A próbaüzem során a függőleges kutak és a csurgalékvíz medence között áramlott a fűtőközeg.

#### **5. Üzemi bomlási hő kinyerési és hasznosítási kísérletek**

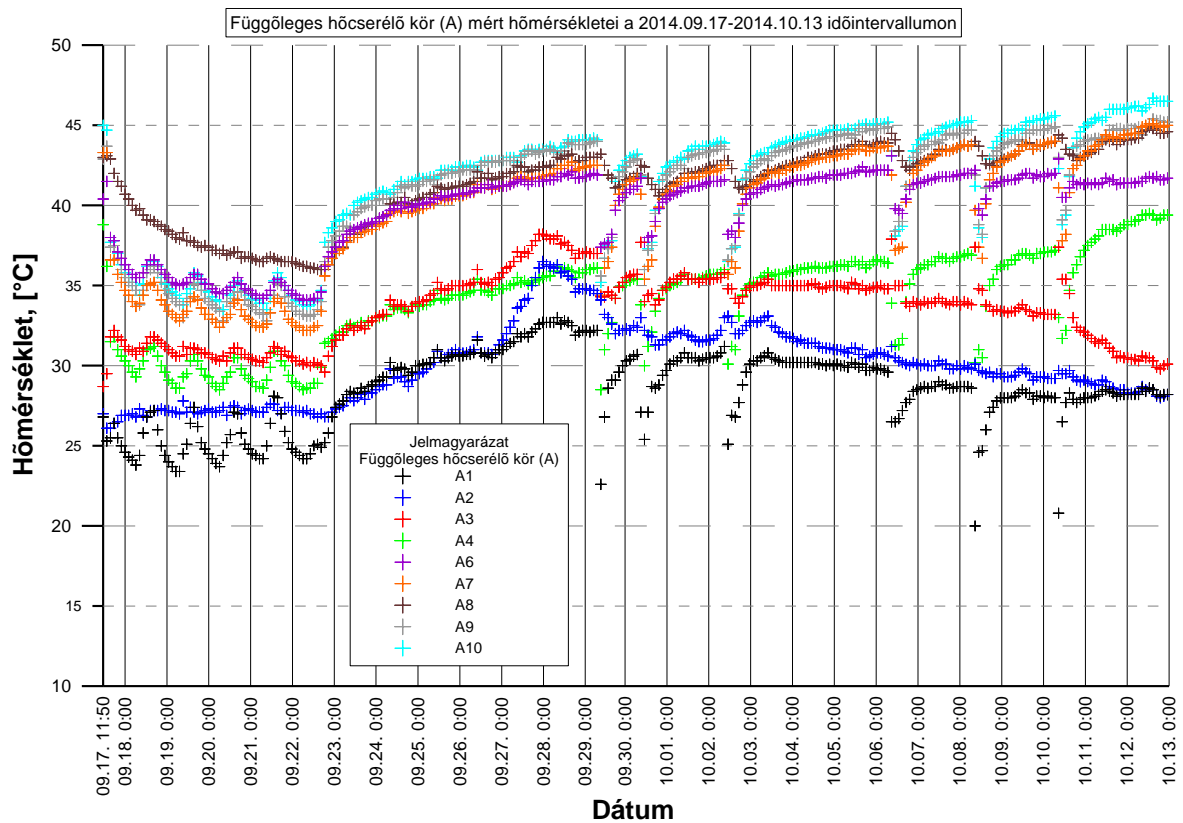
A következőkben összefoglalom a beüzemelt hőcserélő rendszerrel elvégzett vizsgálatok első eredményeit. A vizsgált időszak 2014. augusztus 21-től 2014. október 13-ig terjed. A TDK dolgozat vizsgált időtartama alatt mindvégig a függőleges hőcserélők üzemeltek, azonban az első hónap során a csurgalékvíz medence volt az ellenoldali hő kör, míg a második hónapban az üvegház. A mért eredményeket ennek megfelelően ábrázoltam.

A 18. és 19. ábra mutatja a függőleges hőcserélő körre (A) installált hőmérő szenzorok mért értékeit. A 20. és 21. ábra a másik függőleges hőcserélő körön (B) mért hőmérsékleti értékeket tartalmazza. A 22. és a 23. ábra a csurgalékvíz gyűjtő medencéhez és az üvegházhoz kapcsolódóan szemlélteti a mért hőmérsékleteket. A 24., illetve a 25. ábrán az üvegházhoz és a csurgalékvíz-gyűjtő medencéhez tartozó térfogatáramok láthatóak.



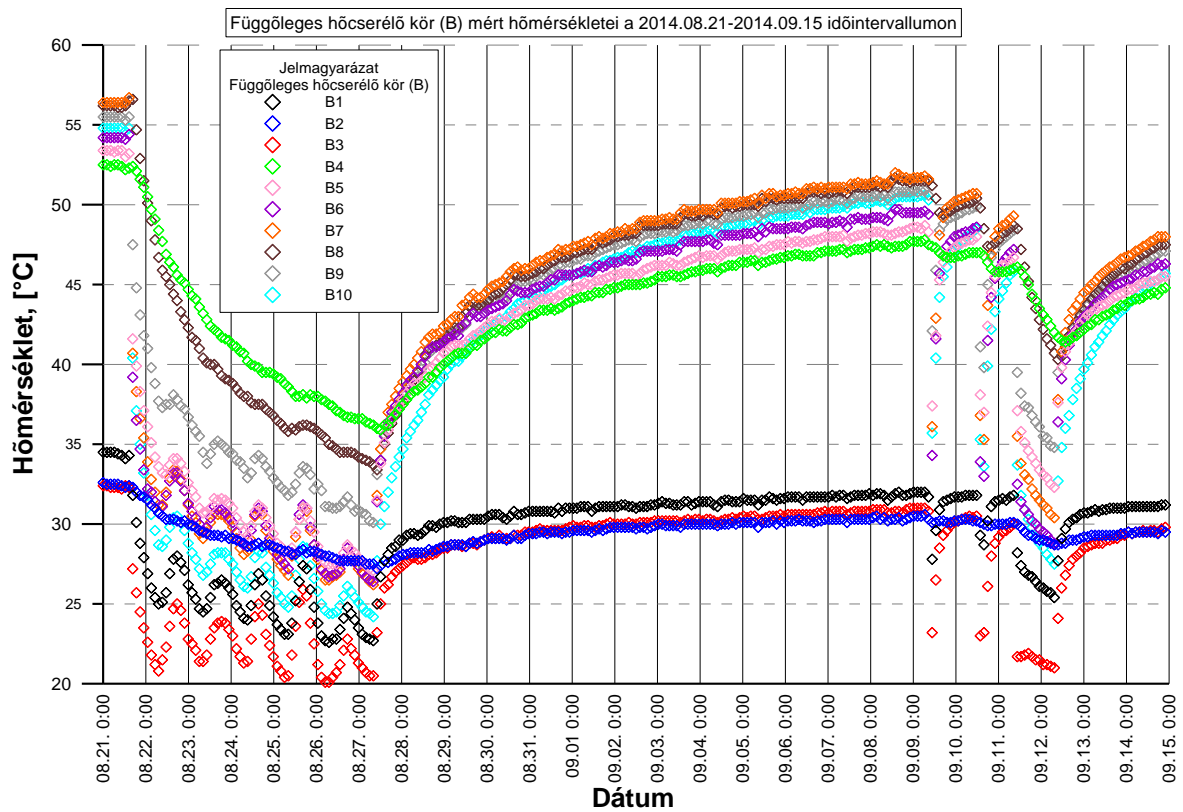
18. ábra: A függőleges hőcserélő kör (A) mért hőmérsékletei (2014.08.21-2014.09.15.)

A 18. ábrán jól látható, hogy a 08.27-ig a mért hőmérsékletek csökkennek, majd 08.27-én a hőcserélő rendszert leállították, mivel a hőelvonás hatására a függőleges hőcserélő kör közelében a hőmérséklet  $41\text{ °C}$  alá csökkent, amely már nem megfelelő a metánképződés számára. Ebben az időszakban a függőleges hőcserélő körök a csurgalékvíz-gyűjtő medencével voltak összekapcsolva.

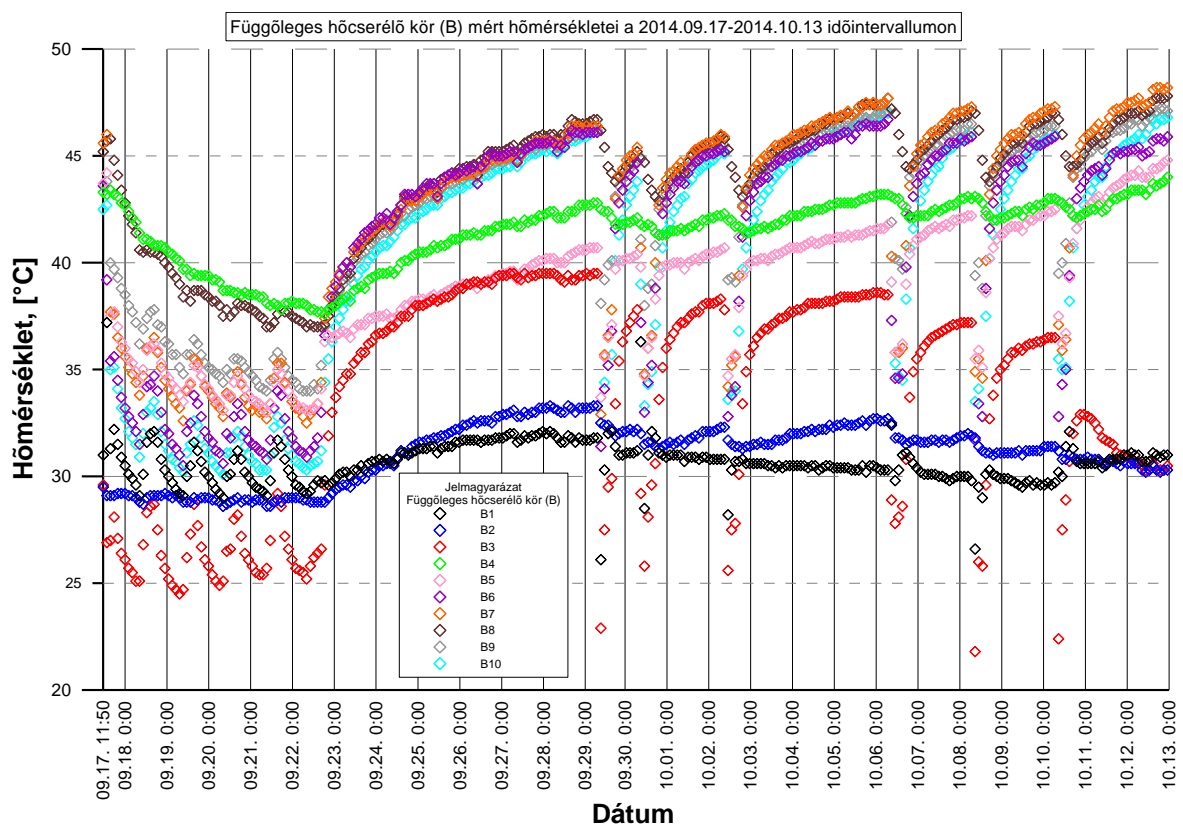


19. ábra: A függőleges hőcserélő kör (A) mért hőmérsékletei (2014.09.17-2014.10.13.)

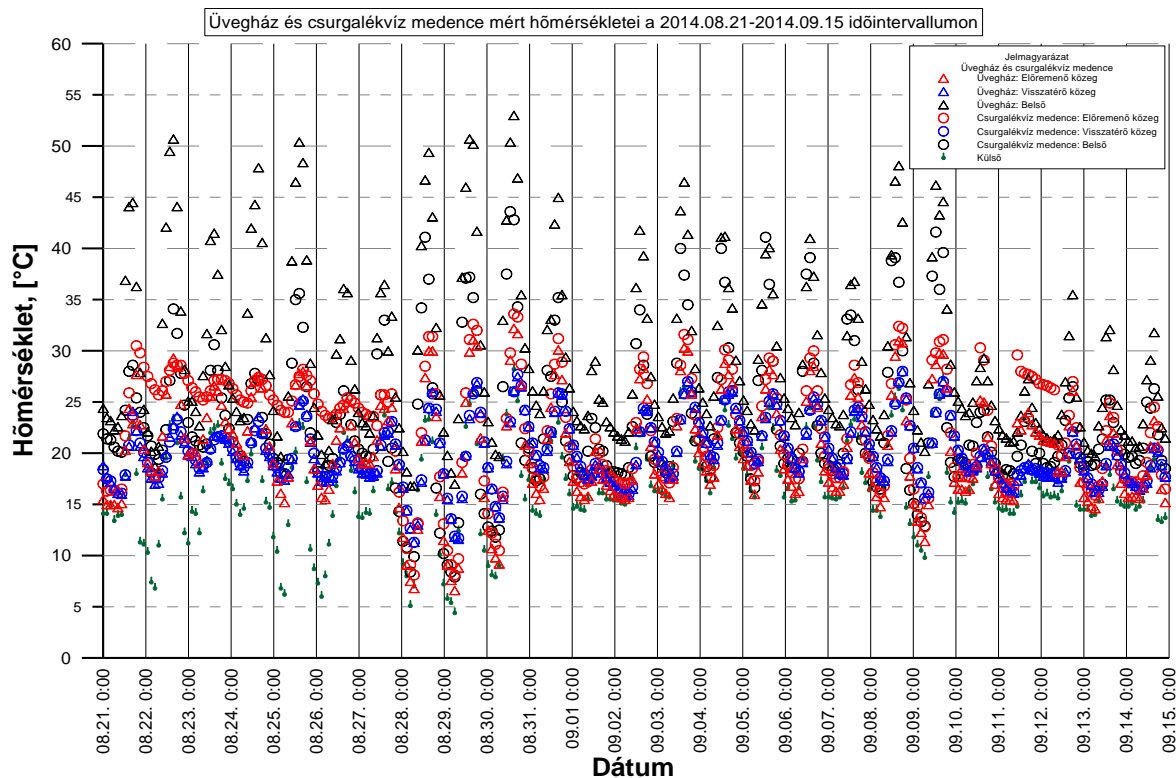
A 19. ábrán látható, hogy a rendszert 09.17-én 11:50-kor indították el (függőleges hőcserélő körök az üvegházra kapcsolva). A cél a lecsökkentett 4,6 l/min áramlási sebesség beállításával stacioner állapot előidézése és fenntartása volt 10 órán keresztül.



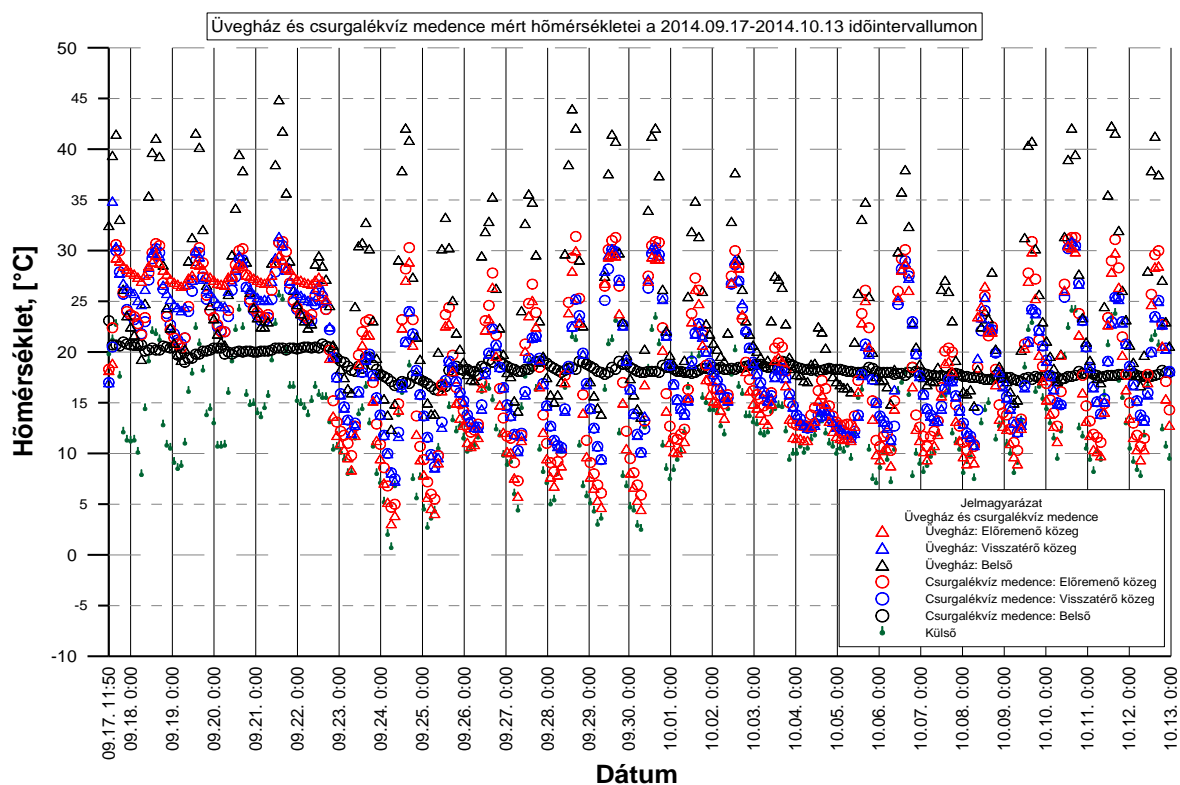
20. ábra: A függőleges hőcserélő kör (B) mért hőmérsékletei (2014.08.21-2014.09.15.)



21. ábra: A függőleges hőcserélő kör (B) mért hőmérsékletei (2014.09.17-2014.10.13.)

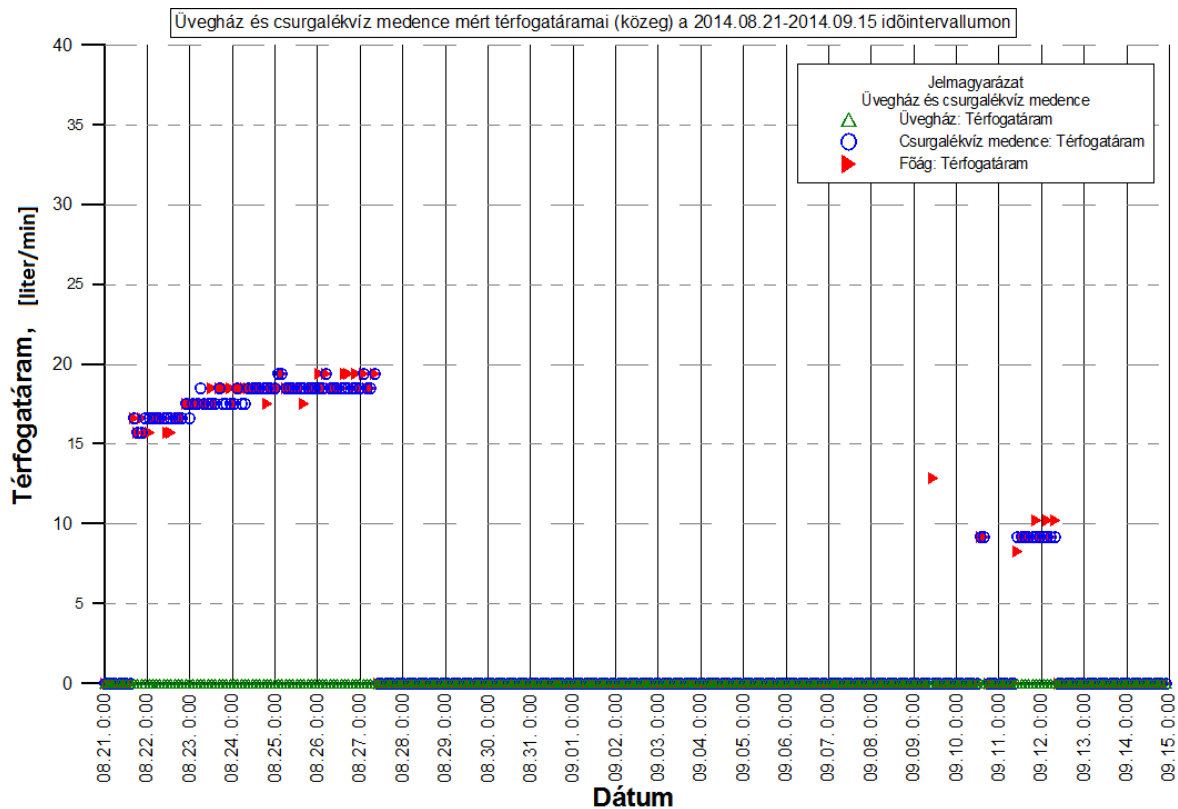


22. ábra: Az üvegház és a csurgalékvíz medence mért hőmérsékletei  
(2014.08.21-2014.09.15.)



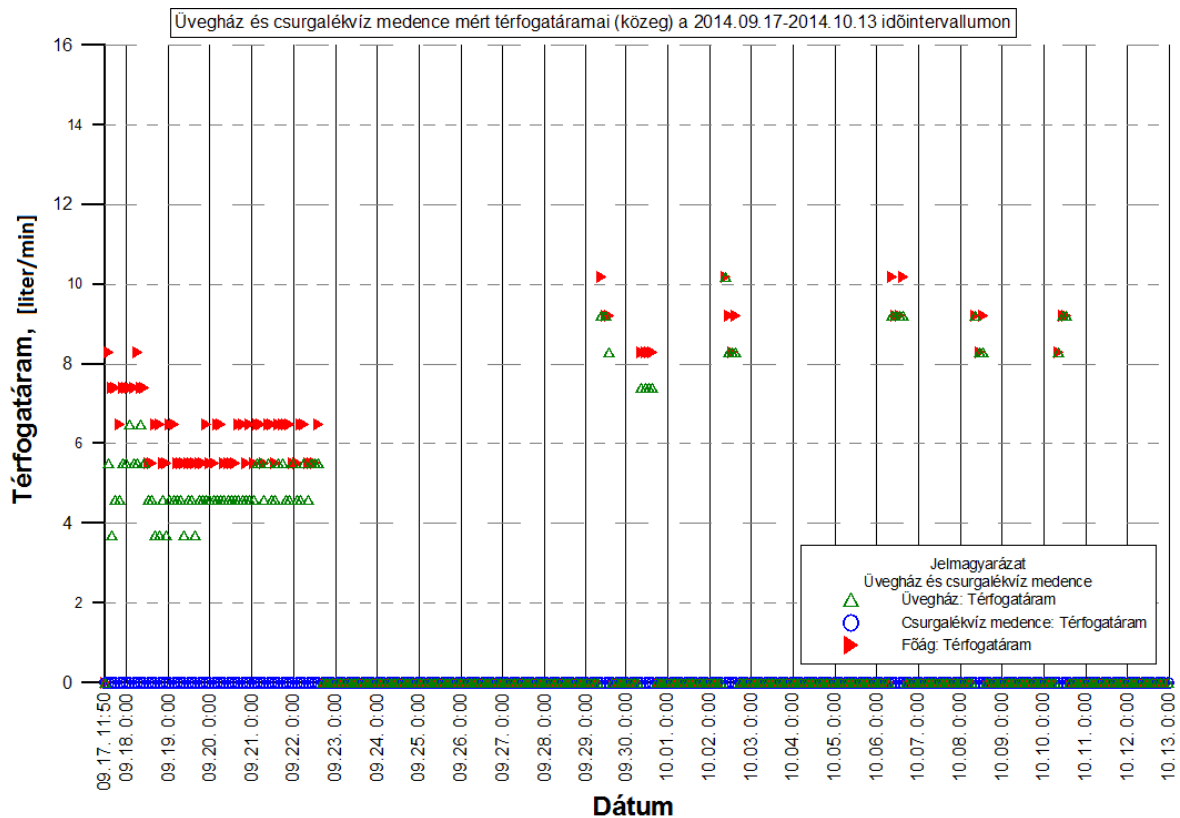
23. ábra: Az üvegház és a csurgalékvíz medence mért hőmérsékletei  
(2014.09.17-2014.10.13.)





24. ábra: Az üvegház és a csurgalékvíz medence mért térfogatáramai (közeg)  
 (2014.08.21-2014.09.15.)

A 24. ábra szemlélteti az üvegházhoz és a csurgalékvíz-gyűjtő medencéhez tartozó térfogatáramokat. A grafikon alapján elmondható, hogy a 08.21-08.27 közötti időszakban a függőleges hőcserélő körök a csurgalékvíz-gyűjtő medencére voltak kapcsolva, majd egy üzemzavar miatt hosszabb leállás következett. A rendszert a hiba kijavítása után (09.17.) átkapcsoltuk az üvegházra (25. ábra).



25. ábra: Az üvegház és a csurgalékvíz medence mért térfogatáramai (közeg)  
(2014.09.17-2014.10.13.)

Fő műszaki jellemzők:

2014. augusztus 21-én délután 16 órakor lett a rendszer elindítva, a függőleges kutak és a csurgalékvíz gyűjtőmedence között áramoltatva a fűtőközeget. A rendszer folyamatosan üzemelt 2014. augusztus 27, reggel 9 óráig. Ez idő alatt a rendszerben mért adatok alapján:

Üzemelési idő:  $t=8270 \text{ min}=496200 \text{ s}$

Teljes időtartamra

vetített átlagos térfogatáram:  $Q= 17,8587682038836 \text{ l/min}$   
 $=0,297646136 \text{ dm}^3/\text{s}$

Előremenő közeg átlagos

hőmérséklete az időszakban:  $T_E=26,047 \text{ }^\circ\text{C}$

Visszatérő közeg átlagos

hőmérséklete az időszakban:  $T_V=20,025 \text{ }^\circ\text{C}$

Víz fajhője:

$c = 4,182 \text{ kJ/ kg} \cdot \text{K}$

Hőmérséklet különbség a 2 ág között:	$T_E - T_V = 6,02239078 \text{ }^\circ\text{C}$
A keringetés során nyert energia:	$E = (T_E - T_V) \times c = 25,18563824 \text{ kJ/kg}$
Víz sűrűsége:	$\rho = 1 \text{ kg / dm}^3$

Rendszer teljesítménye:

$$P = Q \times E = 0,297646136 \text{ dm}^3/\text{s} \times 25,18563824 \text{ kJ/kg} \\ = 7,30383509 \text{ kJ/s}$$

$$7,30383509 \text{ kJ/s} = 7,30383509 \text{ kW}$$

Lerakóból kinyert hőenergia:	$P \times t = 7,30383509 \text{ kW} \times 496200 \text{ s} \\ = 3624 \text{ MJ}$
------------------------------	---

Víz párolgáshője (100 °C):	$L_p = 2257 \text{ kJ/kg}$
----------------------------	----------------------------

Kinyert hőenergiával

elpárologtatható víz mennyisége:	$\frac{3624,162972 \text{ MJ}}{2257 \text{ kJ/kg}} \\ = 1605,74 \text{ kg víz} = 1,605 \text{ m}^3$
----------------------------------	---

Tehát a függőleges kutak kezdeti teszt üzemeltetése során átlagosan 7,3 kW teljesítmény értéket ért el a rendszer. A rendszert le kellett állítani és át kellett térni a szakaszos üzemeltetésre, mivel a függőleges kutak környezetében a depónia lehült.

## Konklúzió

A TDK dolgozat elkészítése során a megépített hőcserélő és hőhasznosító technológia beüzemelési munkáiban vettem részt. Elvégeztem a rendszer felmérését és kiszámítottam a fő műszaki jellemzőket, továbbá részt vettem a 2014. augusztus - szeptemberi első ipari mérések elvégzésében és kiértékeltem az első adatsorokat. 2014 augusztus 21 és 27 között a rendszer működése közben a függőleges kutak és a csurgalékvíz medence között áramló közegben a visszatérő és az előremenő közeg hőmérséklet-különbsége elérte a 6 °C-ot 17,5 l/min térfogatáram mellett. Az intenzív üzemeltetés során a kutak környezetének hőmérséklete a B jelű kút esetében 55°C-ról 37°C-ra esett vissza, így a munkaközeg térfogatáramát csökkenteni kellett. Az egyensúlyi térfogatáram és hőkinyerési idő meghatározása a következő kísérletek feladata lesz. Az első kísérlet során, az 5 és fél napos üzemben a kinyert hő – a számításaim szerint – 1,6 m<sup>3</sup> többlet csurgalékvíz elpárologtatását okozta.

## Felhasznált szakirodalom

KSH szakstatisztikák, (hulladékgazdálkodás) 5.5.3. A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék összetétele (2006-)

[http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_ur007.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ur007.html)

KSH szakstatisztikák, (hulladékgazdálkodás) 6.5.4. A közszolgáltatás keretében elszállított települési hulladék a kezelés módja szerint (2006-)

[https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_ur010.html](https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ur010.html)

Dr. Bokányi Ljudmilla, Dr. Szabó Attila, Varga Terézi,:(2012): Települési szilárd hulladéklerakó bomlási folyamatainak fizikai modellezése,

HulladékOnline elektronikus folyóirat 3. évfolyam 2. szám (2012) ISSN:2062-9133

Szabó Imre, Szabó Attila (2012): Hulladéklerakók rekultivációja, utógondozása Miskolci Egyetem (2012) ISBN 9768-963-661-627-4

Barótfi István (2000): Környezettechnika Mezőgazda kiadó ISBN 963 9239 50 X

Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020. (2013):

A dokumentumot a Kormány megtárgyalta és a 2014–2020 közötti időszakra szóló

Országos Hulladékgazdálkodási Tervről szóló 2055/2013. (XII. 31.) Korm. határozattal elfogadta.

<http://videkstrategia.kormany.hu/nemzeti>

Robert J. Grillo (2014) Energy recycling – landfill waste heat generation and recovery

Springer International Publishing (2014)

Current Sustainable/Renewable Energy Reports, Volume 1, Issue 4 , pp 150-156

ISSN:2196-3010

Marcsó Zoltán:A depóniagáz energetikai hasznosítása  
BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék,Oktatási segédlet

Charles J.R.Coccia, Ranjiv Gupta, JeremyMorris, JohnS.McCartney: (2013):  
Municipal solid wastelandfills as geothermal heat sources  
(2013) Renewable and Sustainable Energy Reviews  
Volume 19, March 2013, Pages 463–474

Nazli Yesiller; James L. Hanson,Wei-Lien Liu (2005):Heat Generation in Municipal Solid  
Waste Landfills.  
(2005) Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Volume 131, Issue 11  
(1330–1344) ISSN 1943-5606

Magyar Tamás, Faitli József, Romenda Roland Róbert, Erdélyi Attila (2013): Investigation  
of Temperature Distribution Arising from Decomposition Processes and Heat Extraction  
Potential of the Gyál Municipal Solid Waste Landfill  
(2014. április 10. Miskolc) Sustainable National Resources Management Symposium

Erdélyi Attila (2014): Saját fényképek

## Mellékletek

### 1. számú melléklet: Sensor notation

1. The installed temperature sensors in heat well A:

A1 A2 A3 A4 A6 A7 A8 A9 A10 [°C] (A5 sensor does not work)

2. The installed temperature sensors in heat well B:

B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 [°C]

3. Cabinet for the temperature sensing electronics on the landfill.

EH – temperature of electronics cabinet heating [°C]

EI – temperature in the electronics cabinet [°C]

EO – outside temperature around the electronics cabinet [°C]

4. Main container:

CI – inside air temperature, [°C]

CO – outside air temperature around the container [°C]

5. Temperatures of the heating media:

MGB – backward media (green house) [°C]

MLB - backward media (leachate pond) [°C]

MGF – forward media (green house) [°C]

MLF - forward media (leachate pond) [°C]

MET - thermal expansion tank [°C]

6. Temperatures around the greenhouse:

GA – air temperature in the greenhouse (shaded) [°C]

GPW – surface temperature of polycarbonate (west side) [°C]

GPS - surface temperature of polycarbonate (south side) [°C]

GF – greenhouse footing, surface temperature [°C]

GS – greenhouse soil temperature [°C]

7. Temperature in the leachate pond:

LP - leachate: [°C]

8. Flow rates of heating media:

QM – flow rate of the main pipe [l/min]

QG – flow rate into the greenhouse [l/min]

QMA – average flow rate of the main pipe [l/min]

QGA – average flow rate into the greenhouse [l/min]

QL - flow rate into the leachate pond [l/min]

QLA - average flow rate into the leachate pond [l/min]

## **2. számú melléklet: Üzemeltetési napló**

**2014.08.21. 16:22 - 2014. 08. 27. 08:57**

Működtetett körök : - függőleges kutak és csurgalékvíz medence.

**2014. 08. 27. 8:57 -2014. 09.09. 09:02**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.09. 09:02 -12:02**

Működtetett körök : - függőleges kutak és csurgalékvíz medence.

**2014.09.09. 12:02 -2014.09.10. 11:46**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.10. 11:46 -16:30**

Működtetett körök : - függőleges kutak és csurgalékvíz medence.

**2014.09.10. 16:30 -2014.09.11. 08:50**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.11. 08:50 - 2014.09.12. 08:03**

Működtetett körök : - függőleges kutak és csurgalékvíz medence.

**2014.09.12. 08:03 - 2014.09.15. 08:30**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.15. 08:30 - 16:40**

Működtetett körök : - függőleges kutak és csurgalékvíz medence.

**2014.09.15. 16:40 - 2014.09.16. 08:15**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.



**2014.09.16. 08:15 -14:15**

Működtetett körök : - függőleges kutak és csurgalékvíz medence.

**2014.09.16. 14:15 -2014.09.17 13:50**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.17 13:50 – 2014.09.22-16:30**

Működtetett körök: - függőleges kutak és üvegház.

**2014.09.22 16:30 - 2014.09.29. 08:30**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.29. 08:30 -16:15**

Működtetett körök: - függőleges kutak és üvegház.

**2014.09.29. 16:15 -2014.09.30. 08:55**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.09.30. 08:55 -16:40**

Működtetett körök: - függőleges kutak és üvegház.

**2014.09.30. 16:40 -2014.10.02. 09:00**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.10.02. 09:00 -16:33**

Működtetett körök: - függőleges kutak és üvegház.

**2014.10.02. 16:33 -2014.10.06. 09:33**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.10.06. 09:33 -16:09**

Működtetett körök : - függőleges kutak és üvegház

**2014.10.06. 16:09 -2014.10.08. 08:02**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.10.08. 08:02 -14:00**

Működtetett körök : - függőleges kutak és üvegház.

**2014.10.08. 14:00 -2014.10.10. 08:07**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.

**2014.10.10. 08:07 -14:10**

Működtetett körök : - függőleges kutak és üvegház.

**2014.10.10. 14:10 -2014.10.13.**

Keringető rendszer leállítva, felmelegedési szakasz.