



Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet



Kommunális hulladékok hőtani jellemzőinek vizsgálata

Examination of thermal properties of municipal wastes

TDK dolgozat

Készítette:

Kardos Béla

II. éves környezetmérnök (MSc) hallgató,

Romenda Roland Róbert

IV. éves környezettechnika szakirányos (BSc) hallgató

Témavezetők:

Dr. Faitli József *intézetigazgató, egyetemi docens*

Magyar Tamás *doktorandusz*

Miskolci Egyetem – Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Miskolc
2013

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Kardos Béla és Romenda Roland Róbert, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatói büntetőjogi és fegyelmi felelősségünk tudatában kijelentjük és aláírásunkkal igazoljuk, hogy ezt a dolgozatot saját magunk készítettük, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jeleztük – magunk végeztük el, és az ismertetett eredményeket magunk értük el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtuk fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettünk, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltük."

Miskolc, 2013. november 4.

.....
a hallgató aláírása

.....
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. Talajok hőtani jellemzői	2
2.1.1. Hőkapacitás	2
2.1.2. Hővezetőképesség	3
2.1.3. Hődiffuzivitás	4
2.2 Hőáramlás a talajokban	5
2.2.1 A hőszugárzás.	5
2.2.2 A hővezetés.	5
2.2.3. Konvekció.....	5
2.3. Hulladékok fizikai-mechanikai paramétereinek meghatározása	6
2.3.1 A vizsgált anyag és a mérések metodikája	11
2.3.2 A vizsgált paraméterek (CCPs: ρ_d , n , w) mérése	13
2.4. A gyáli hulladéklerakó.....	14
3. Mérőberendezés fejlesztése	15
4. Mérés bemutatása	19
5. Méréskiértékelési módszer kidolgozása	20
6. Összegzés	23
7. Köszönetnyilvánítás	24
8. Irodalomjegyzék	25
9. Mellékletek	28
9.1. A vizsgált hulladék mért hőtani adatai	28
9.2. A vizsgált hulladék hőtani tulajdonságainak mérési eredményei.....	30
9.3. Hulladékelemzésből vett átlagos összetételi és sűrűségi adatok	52
9.4. Hőmérsékleti adatok a vizsgálat időtartama alatt	54

1. Bevezető

Az energia hatékonyság és egyúttal a környezet kímélése, napjaink aktuális kihívása a környezetmérnökök számára. Ehhez kapcsolódik a Depóhő projekt keretében végzett kutatómunkánk, amely alapvető célja a kommunális hulladéklerakók anyagtömegében tárolt bomlási hő kinyerési és hasznosítási lehetőségeinek a vizsgálata. A hő, a gáz és a csurgalékvíz az elsődleges melléktermékei a települési szilárd hulladéklerakókban lezajló folyamatoknak. A keletkező hő tulajdonképpen a hulladéklerakókban végbemenő biokémiai folyamatokból és a szerves anyagok lebomlásából származtatható. A keletkező hő hatására a lerakók belsejében a hőmérsékleti viszonyok megváltoznak, amely jelentős hatást fejt ki a depótestben lezajló biokémiai folyamatokra, a depó mechanikai- és a hidraulikai tulajdonságaira, valamint az aljzatszigetelő rendszer- és a környező talaj sajátságaira is.

A fejlesztő munkánk elvégzéséhez szükségzerű volt az igen heterogén kommunális hulladék hőtani jellemzőinek, azaz a hővezetési tényezőnek, a hőkapacitásnak és a hődiffuzivitásnak az ismerete. Erre a célra a ME Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete mérőberendezést fejlesztett, amely munkában részt vettünk. Ezt követően 2013-ban egy méréssorozatot folytattunk le, amelyben 22 mérést sikerült elvégeznünk, miközben szisztematikusan változtattuk a fűtőteljesítményt, ill. a mintavétel mélységét és a mintázott hulladék korát. Egy mérés jellemzően két napig tartott. A mérések alapján a kommunális hulladék nedvességtartalmának és porozitásának függvényében meghatároztuk a főbb hőtani jellemzőket.

2. Szakirodalmi áttekintés

Számos tanulmányt találhatunk a csurgalékvíz- és a depógáz keletkezéséről-, eloszlásáról a depótesben, azonban a lerakókban végbemenő hő keletkezéséhez és a depótest hőmérséklet-eloszlásához tartozó elemzések viszonylag korlátozottan érhetőek el. Általában elmondható, hogy depóniákra vonatkozó részletes térbeli hő eloszlás- és az át-fogó, hosszútávú termikus viszonyok adatai sem érhetőek el, ahogyan az éghajlati viszonyok hatása sem a hőképződésre.

2.1. Talajok hőtani jellemzői

A talaj a földkéreg legkülső, laza, szilárd burka, négyfázisú polidiszperz rendszer, amely termőhelyül szolgál a növényzet számára, élettere az élővilágnak. Hőtanilag a talajokat három paraméterrel jellemezhetjük, vizsgálhatjuk. Ez a három mérőszám a fajlagos hőkapacitás – más néven fajhő –, a hővezetőképesség és a hőmérséklet-vezető képesség, azaz a hődiffuzivitás. Amennyiben ismerjük ezeket az értékeket, úgy a talajok hővel szembeni viselkedése is tökéletesen leírható (Stefanovits, 1999).

2.1.1. Hőkapacitás

A hőkapacitás (jele: C) – korábbi nevén fajhő – az egységnyi térfogatú és egységnyi tömegű talaj $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletváltozásához szükséges hőmennyiség. Attól függően, hogy mire szeretnénk vonatkoztatni, – térfogategységre vagy egységnyi tömegre – megkülönböztetünk térfogati (C_v) és fajlagos (C_m) hőkapacitást, amelyeknek dimenziói rendre $\text{J}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$, illetve $\text{J}/\text{kg }^{\circ}\text{C}$. A talaj térfogattömegének ismeretében egyik a másikba átváltható a $C_v = C_m \times \rho$ összefüggéssel (Marschall és Holmes, 1979).

A talaj legfontosabb alkotóelemeinek fajlagos hőkapacitását az **1. táblázat** mutatja. A táblázatból kitűnik, hogy a szilárd fázist alkotó anyagok hőkapacitásában nincs nagyságrendi különbség, ezért a szerkezetes talajok hőkapacitását elsősorban a víztartalom, illetve a víz/levegő arány befolyásolja (a víz nagy és a levegő rendkívül kis hőkapacitása miatt). Minél tömörebb és minél nedvesebb a talaj, annál nagyobb a hőkapacitása. A nagy hőkapacitású talaj lassabban melegszik fel, illetve hűl le és kisebb a hőingadozása, mint az alacsony hőkapacitású talajoké. A talajok heterogenitása, a levegő, a víz, a szerves és az ásványi anyag tartalom változatos arányai a fajlagos hőkapacitások széles tartományát hozzák létre (Marschall és Holmes, 1979).

2.1.2. Hővezetőképesség

A hővezetőképesség (λ) mértéke az a hőmennyiség, ami egységnyi hőmérsékleti gradiens (centiméterenkénti 1 °C hőmérséklet különbség) esetén, a talaj egységnyi keresztmetszetű (pl. 1 cm²) felületén 1 másodperc alatt átáramlik.

Mértékegysége: J cm⁻¹ s⁻¹ °C⁻¹, illetve J m⁻¹ s⁻¹ K⁻¹ vagy W m⁻¹ K⁻¹.

Az **1. táblázat** szerint a talaj alkotórészeinek hővezetőképessége, az ásványi részecskék; víz; levegő sorrendben egy-egy nagyságrenddel csökken. A humusz hővezetőképessége kisebb, mint az ásványi alkotórészeké. A talajlevegő 116-szor rosszabb hővezető, mint az agyagásványok. Ebből következik, hogy a térfogattömeg és a nedvességtartalom növekedésével nő a talaj hővezetőképessége (Marschall és Holmes, 1979).

	Fajlagos hőkapacitás, C _m , MJ Mg ⁻¹ K ⁻¹	Sűrűség, ρ _{sz} , Mg m ⁻³	Fajlagos hőkapacitás, C _v , MJ m ⁻³ K ⁻¹	Hővezetőképesség, λ J s ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹ W m ⁻¹ K ⁻¹
Levegő (20 °C)	1,0	0,0012	0,0012	0,025
Víz	4,2	1,0	4,2	0,6
Jég (0 °C)	2,1	0,9	1,9	2,2
Kvarc	0,76	2,65	2,0	8,8
Agyagásványok	0,76	2,65	2,0	2,9
Szerves anyagok	2,5	1,1	2,7	0,25

1. Táblázat: A talaj alkotórészeinek hőtani jellemzői (Marschall és Holmes, 1979)

A talaj gyenge hővezetőképessége a szigetelőréteggént funkcionáló laza talajfelszín szélsőséges hőingadozását és a felszín alatti réteg egyenletesen alacsony hőmérsékletét vonja maga után. Különösen kicsi a hővezetőképessége a nagy humusztartalmú lecsapolt láptalajoknak és minden más nagy porozitású és kis nedvességtartalmú száraz talajnak.

A talaj hővezetőképességét nagymértékben meghatározzák az alkotórészek. Különösen a levegő rossz hővezető és csökkenti a talajban a szilárd- és a folyadékfázis hatékonyságát. A három talajfázis közül a szilárd fázisnak van a legnagyobb hővezetőképessége. Emiatt a hővezetőképesség nagyobb lesz a térfogattömeg növekedésekor, amit az 1.1 ábra mutat be egy vályogtalaj esetében.

A térfogattömeg növekedése csökkenti a talajlevegő térfogatát és szorosabb kapcsolatot hoz létre a szilárd részecskék között. A víztartalomnak jelentős hatása van, mert

amikor víz helyettesíti a levegőt, akkor ez hidat képez a részecskék között, ami nagymértékben megnöveli a talaj hővezetőképességét.

A talajban szállított hő mennyisége (Q) a Fourier egyenlettel írható le:

$$Q = -\lambda * \Delta T / \Delta x,$$

ahol Q az egységnyi felületen keresztül a hőáramlás sebességét jelenti (mértékegysége $J m^{-2} s^{-1}$), $\Delta T/\Delta x$ a hőmérsékletgradiens (mértékegysége $K m^{-1}$). A negatív előjel azért szükséges, mert a hő a csökkenő hőmérséklet felé áramlik (Chesworth, 2008).

2.1.3. Hődiffuzivitás

A hőmérséklet-vezető képesség vagy hődiffuzivitás (κ) megadja, hogy egységnyi hőmérsékleti gradiens (1 cm távolságra lévő pontok közötti 1 °C hőmérséklet-különbség) hatására időegység alatt hány °C-kal változik meg a talaj hőmérséklete. Mértékegysége: $m^2 s^{-1}$. A hődiffuzivitás kifejezhető, mint a hővezetőképesség (λ) és a fajlagos hőkapacitás (C_v) hányadosa:

$$\kappa = \lambda / C_v,$$

A víztartalom és a térfogattömeg hatását a hődiffuzivitásra szintén az 1.1 ábra mutatja be. A hődiffuzivitás – a fajlagos hőkapacitással való fordított arányossága miatt – nem nő folyamatosan a víztartalom függvényében úgy, mint a hővezetőképesség, amit a maximum értékek is jeleznek (Kolyasev és Gupalo, 1958).

A κ értéke a talaj felmelegedésre való hajlamát mutatja és nagymértékben függ annak nedvességtartalmától. A talaj víztartalmának növekedésével egy ideig meredeken emelkedik, majd a maximum elérése után ismét csökken a κ értéke (1.2 ábra). A legnagyobb hődiffuzivitása tehát a közepesen nedves talajnak van. A felmelegedés és az átfagyás az ilyen talajokban terjed a legmélyebbre.

Mivel a hővezetőképesség (λ) mérése körülményes, gyakran a hőmérséklet-vezető képességet (κ) határozzák meg. Ekkor a talaj felmelegedését, a benne elhelyezett hőforrástól bizonyos távolságban észlelt hőmérsékletváltozásokkal lehet nyomon követni, s a hőmérsékletvezető képességet a következő összefüggés jellemzi:

$$\kappa = x^2 / (2 * t_m),$$

ahol: x = a hőforrás távolsága a hőmérsékletmérés helyétől, cm; t_m = a hőforrás behelyezésétől a maximális hőmérséklet eléréséig eltelt idő, sec. A hővezetőképesség ezután az 1.12 összefüggést felhasználva számítható ki (Kolyasev és Gupalo, 1958):

$$\lambda = \kappa * C_v.$$

2.2 Hőáramlás a talajokban

A talajban a hőáramlás: sugárzás, hővezetés és konvekció útján történik.

2.2.1 A hőszugárzás.

Minden véges hőmérsékletű test által kibocsátott elektromágneses sugárzás intenzitása (a kibocsátott energia mennyisége) a test hőmérsékletének 4. hatványával arányos. A sugárzás meghatározó szerepet játszik a talajfelszín hőforgalmában. A felszínre érkező sugárzás egy része visszaverődik (albedó), más részét pedig elnyeli (abszorbeálja) a talaj. Az abszorpció mértékét az abszorpciós hányados jellemzi:

$$\text{abszorpciós hányados} = \text{elnyelt sugárzás} / \text{összes sugárzás}$$

Az abszorpciós hányados a talajok esetében általában 0,5 - 0,8 között változik. Értéke függ a talaj színétől, a felület érdességétől és a növényborítottságtól. A sötétebb színű és az érdesebb talaj több hőt nyel el, mint a világosabb, illetve simább felszínű. A visszavert sugárzás intenzitása pedig elsősorban a talaj hőmérsékletétől függ (Koorevar és szerzőtársai, 1983).

2.2.2 A hővezetés.

A vezetőközeg részecskéinek közvetlen érintkezése által biztosított energiaátadás. Hajtóereje minden esetben a hőmérséklet különbség, a hőmérsékleti gradiens kialakulása. Mértéke annál nagyobb, minél nagyobb arányban alkotják a talajt jó hővezető komponensek (szilárd fázis és víz), amelyek a talajfelszín alatti rétegeinek felmelegedését is lehetővé teszik. A nedvességtartalom növekedése azonban bizonyos értéken túl a talaj felmelegedése ellen hat, a víz igen nagy fajlagos hőkapacitása (fajhője) miatt (Koorevar és szerzőtársai, 1983).

2.2.3. Konvekció

Konvekció esetén a hőt az áramló folyadék vagy gáz szállítja. A talajban a szállítóközeg a legtöbb esetben a víz. A víz halmazállapotának változása (párolgás, fagyás) szintén jelen-

tős hőáramlást okoz. A folyékony halmazállapotú víz (nagy hőkapacitása miatt) igen jelentős hőszállító, a vízgőz pedig a párolgási és a kondenzációs hő (kb. 2500 J/g) miatt játszik jelentős szerepet annak ellenére, hogy kicsi a hőkapacitása (Koorevar és szerzőtársai, 1983).

2.3. Hulladékok fizikai-mechanikai paramétereinek meghatározása

A hulladéklerakókban lévő folyadék és gáz transzport közvetlenül összefüggésbe hozható a hulladék anyag porózus közegének szerkezetével (Oweis és szerzőtársai, 1990; Beawen és Powrie, 1995; Bleiker és szerzőtársai, 1995; Durmusoglu és szerzőtársai, 2006; Jain és szerzőtársai, 2006; Münnich és szerzőtársai, 2005). A hulladékok fizikai paramétereinek ismerete nélkülözhetetlen a hidraulikai paraméterek tanulmányozásához (folyadék- és gáz permeabilitás). Számos tanulmány alapján ismert, hogy a hulladéokra jellemző nyomófeszültség erősen függ a hulladék sűrűségétől is (Powrie és Beaven, 1999; El-Fadel és szerzőtársai, 1999; Landva és szerzőtársai, 2000; Gourc és szerzőtársai, 2001). A hulladéklerakó anyaga tulajdonképpen egy komplex többfázisú porózus közeg, amelyben három különböző fázis egymás mellett van jelen:

- szilárd fázis (S)
- folyadék fázis (L)
- légnemű fázis (G)

Egy adott mintában a különböző fázisok a hozzájuk tartozó tömeggel (M) és térfogattal (V) jellemezhetők a legegyszerűbben (*1. ábra*). A biológiai lebomlás figyelmen kívül hagyásával feltételezhető, hogy a szilárd fázis tömege és térfogata konstans marad a nyomási kísérletek alatt. A folyadék fázis tömege és térfogata jelentősen változhat a folyadék lecsapolás (drénezés) hatására az összenyomási kísérletek során (Olivier és szerzőtársai, 2007). A gáz fázis tömege ebben az esetben elhanyagolható. A három fázis fizikai paramétereinek (CPPs: ρ_d , n , w) a jellemzéséhez elengedhetetlen a porózus közeg jellemzőinek definiálása.

- Száraz sűrűség (ρ_d [Mg/m^3]): az egységnyi térfogathoz tartozó szilárd anyag tömege. Számítása: $\rho_d = \frac{M_s}{V_T}$

- Porozitás (n [m^3/m^3]): az egységnyi térfogat hézaggal kitöltött térfogat részaránya. Számítása: $n = \frac{V_V}{V_T}$, ahol V_V a hézaggal kitöltött térfogat részaránya

($V_V = V_L + V_G$), V_T pedig a minta össztérfogata.

- Gravimetrikus folyadék tartalom (w [kg/kg]) (száraz tömegre vonatkoztatva): a porózus közeg nedvességtartalma.

$$\text{Számítása: } w = \frac{M_L}{M_S} = \frac{M_T - M_S}{M_S}$$

Feltéve, hogy a folyadék fázis sűrűsége konstans $\rho_L = 1 \text{ Mg}/\text{m}^3$ és a légnemű fázis sűrűsége elhanyagolható, a három különböző fázis fizikai paramétereinek a meghatározásából származtatható a porózus közegre vonatkozó összes többi geotechnikai paraméter is.

Érdemes megjegyezni, hogy a települési hulladékok szilárd anyag tartalmának sűrűsége általában rosszul meghatározott, mivel ide tartozik a hulladékot alkotó összes komponensnek a fajlagos szilárd anyagra vonatkozó sűrűsége is. Minden talaj összetevőre (kivéve a szerves anyagokat) igaz, hogy a fajlagos szilárd anyagra vonatkozó sűrűség $2.65 \text{ Mg}/\text{m}^3$ (Holtz és Kovacs, 1981). A települési szilárd hulladékok esetében viszont megállapítható, hogy a fajlagos szilárd anyagra vonatkozó sűrűség jelentősen változik a különböző komponensekre vetítve. Annak érdekében, hogy a porózus közegben lévő fázisok eloszlását jellemezni tudjuk 3 paraméter (ρ_d , n , w) mérése szükséges. A mért paraméterek kicserélhetőek (ρ , e , Θ_L) anélkül, hogy a fázis-eloszlásokról kapott információkat elvesztenénk.

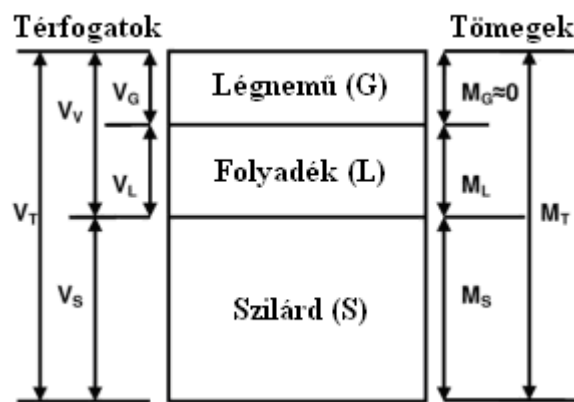
A szilárd települési hulladékokról ismert, hogy nagyon magas kompresszibilitással rendelkeznek (nagyon jól összenyomhatóak) (Olivier és szerzőtársai, 2003), ezért a három mechanikai-fizikai paraméter mérésének kivitelezésénél a nyomóterhelés igen fontos tényező. Stoltz és szerzőtársai (2010) a mérések elvégzéséhez a depóniából vett hulladék mintát egy hengeres ödométer cellába tette. A minta kezdeti magassága H_0 , majd ennek megfelelően a három fizikai paraméter jelölése ρ_{d0} , n_0 , w_0 volt. Az állandó, effektív vertikális nyomás (nyomóterhelés) (σ') hatására a minta eredeti magasságához mért süllyedést ΔH -val jelölték, ahol a ΔH -t pozitív tartományban értelmezték. A 3 fizikai paraméter számítása egyszerűen megoldható az alábbi képletekkel:

- $$\rho_d = \frac{\rho_{d0}}{1 - \frac{\Delta H}{H_0}}$$

- $n = n_0 - \Delta n = n_0 - \frac{(1 - n_0) \frac{\Delta H}{H_0}}{\left(1 - \frac{\Delta H}{H_0}\right)}$
- $w = w_0 - \frac{M_{Lout}}{M_s}$

ahol M_{Lout} a nyomásterhelés során a folyadék lecsapolás hatására kifolyt folyadék fázis tömege. Ez a jelenség természetesen csak azoknál a mintáknál fordul elő, amelyek viszonylag magas kezdeti nedvességtartalommal rendelkeznek. A nyomásterhelés hatására bekövetkező ΔH süllyedésváltozás jól modellezhető a rugalmassági modulus és a hozzá kapcsolódó nyomásterhelés ($E(\sigma')$) segítségével (Jessberger és Kockel, 1993; Dixon és Jones, 2005; Castelli és Maugeri, 2008):

$$\sigma' = E(\sigma') \frac{\Delta H}{H_0}.$$



1. ábra: A különböző fázisok térfogatáról és tömegéről készült szemléltető diagram

Az elsődleges süllyedés szintén modellezhető, amely logaritmikus kapcsolatban áll a nyomóterheléssel, csakúgy, mint a Terzaghi és Peck (1976) által a finomszemcsés talajokra értelmezett klasszikus törvényében. Meg kell jegyezni, hogy telítetlen hulladékok esetében az elsődleges süllyedés nem áll kapcsolatban a pórus folyadék nyomás csökkenésének időarányával. Tehát az összes nyomófeszültség egyenlő a hatékony feszültséggel ($\sigma = \sigma'$). A fent említett megközelítést ($\sigma = \sigma'$) javasolja több, a témával foglalkozó cikk

szerzője is (Sowers, 1973; Gabr és Valero, 1995; Wall és Zeiss, 1995; Landva és Clark, 1990; Machado és szerzőtársai, 2002; Olivier és szerzőtársai, 2003; Durmusoglu és szerzőtársai, 2006).

A települési hulladéklerakóról származó mintán elvégzett ödométeres nyomási kísérlet két szakaszra osztható fel. Az első szakaszban a mintaanyag elő-konzolidációja játszódik le amíg a nyomás alatt lévő cella feltöltődik σ'_c feszültséggel. A folyamat hasonló a hulladéklerakó felső rétegeiben lezajló folyamathoz, amely kompaktálás hatására jön létre. A második szakaszban a hulladék minta felső rétegeinek súlya miatt a minta tömörödése történik meg, amely magában foglalja a mintára ható nyomófeszültség (σ) értékét is. Az előkészített minta esetében a süllyedés, hasonló a túlkonzolidált állapothoz, amelyet célszerű elhanyagolni, ezért az anyag úgy tekinthető, mintha normál konszolidáción esett volna át (azaz a nyomásterhelésből adódó hatékony feszültség nagyobb, mint az elő-konzolidációból adódó feszültség: $\sigma' > \sigma'_c$). A süllyedés különbségből adódó ΔH a következő összefüggésben írható fel:

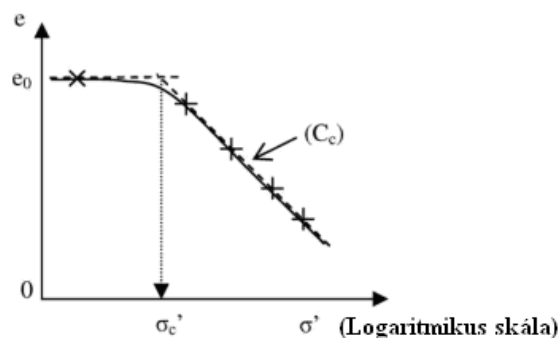
$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'}{\sigma'_c}$$

Az egyenlet kifejezhető a hézagtéyző-változásra, amely így a következőképpen alakul:

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma'}{\sigma'_c}$$

Az előkészített hulladékon végbemenő elsődleges süllyedés egyszerűen leírható egyetlen együttható (a tömörítési index (C_c)) segítségével (2. ábra). Amennyiben a kezdeti hézagtéyző (e_0) ismeretlen, a tömörítési aránnyal szükséges számolni:

$$C_r = \frac{C_c}{1 + e_0}$$



2. ábra: Az előkészített hulladék mintán végbemenő elsődleges süllyedés

A Stoltz és szerzőtársai (2010) által készített tanulmányában kidolgozott egy olyan kísérleti berendezést, amely segítségével a szilárd települési hulladék szerkezetére vonatkozó süllyedés (ΔH) hatását lehet vizsgálni a nyomásterhelés függvényében. A mechanikai süllyedés vizsgálatára javasolt metodikát rövid időtartamú kísérletekben végezték el. Megállapították, hogy a tömörítés hatása összefüggésbe hozható a hulladék biológiai lebomlásával, amelynek vizsgálata szintén megvalósítható ugyanazon kísérlet keretein belül.

Paraméter	Jelölés	Egység	A vizsgált fizikai paraméterekkel (ρ_d, n, w) való kapcsolat
Teljes (össz. vagy halmaz) sűrűség	ρ	Mg/m ³	$\rho = \frac{M_T}{V_T} = (1 + w)\rho_d$
Hézagtényező	e	m ³ /m ³	$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{n}{1 - n}$
Szilárd anyagra vonatkozó sűrűség	ρ_s	Mg/m ³	$\rho_s = \frac{M_S}{V_S} = \frac{\rho_d}{(1 - n)}$
Térfogati folyadék tartalom	θ_L	m ³ /m ³	$\theta_L = \frac{V_L}{V_T} = w \frac{\rho_d}{\rho_L}$
Térfogati gáz tartalom	θ_G	m ³ /m ³	$\theta_G = \frac{V_G}{V_T} = n - \theta_L$
Folyadék telítettség	S_L	m ³ /m ³	$S_L = \frac{V_L}{V_V} = \theta_L / n$
Gáz telítettség	S_G	m ³ /m ³	$S_G = \frac{V_G}{V_V} = \theta_G / n = 1 - S_L$

2. Táblázat: A porózus közeg fő fizikai jellemzői

2.3.1 A vizsgált anyag és a mérések metodikája

A vizsgált anyag jellemzése

A vizsgált anyag friss települési szilárd hulladék volt (3. ábra), amely egy Francia hulladéklerakóról származik.



3. ábra: A vizsgált szilárd települési hulladékról készült fénykép

A minta összetételét tekintve háztartási- és nem veszélyes ipari hulladék keveréke, amelyből a mintavétel lerakás előtt történt meg. A jellemző fizikai-mechanikai paraméterek meghatározásához egy 150 kg-os homogenizált kisebbített minta szolgált alapul. A minta összetételére vonatkozó információkat a 2. táblázat tartalmazza. A különböző komponensű frakciók nedves tömegét az összes nedves tömegre vonatkoztatva μ'_i jelöli a táblázatban, ahol:

$$\mu'_i = \frac{M_{Ti}}{M_T} \text{ (kg/kg)}$$

A gravimetrikus folyadék tartalom számítását minden egyes komponensre (i) a kemencében történő szárítás után a következőképpen kapták:

$$w_i = \frac{M_{Li}}{M_{Si}}$$

Az egyes száraz frakciók tömegét az alábbi képlet segítségével számították az összes száraz tömegre vonatkozóan:

$$\mu_i = \frac{M_{Si}}{M_S} = \mu'_i \frac{1 + w}{1 + w_i}$$

Hulladék frakciók (összetétel alapján)	μ'_i	w_i	μ_i
Papír/karton	0.261	0.479	0.240
Műanyag	0.140	0.303	0.146
Textil	0.055	0.879	0.040
Üveg	0.061	0.000	0.083
Fém	0.057	0.000	0.077
Szerves	0.327	0.483	0.300
Fa	0.035	0.262	0.027
Egyéb	0.065	0.125	0.078

3. Táblázat: A vizsgált szilárd települési hulladék összetételére vonatkozó adatok

A számított értékek segítségével meghatározható az átlagos gravimetrikus folyadék tartalom:

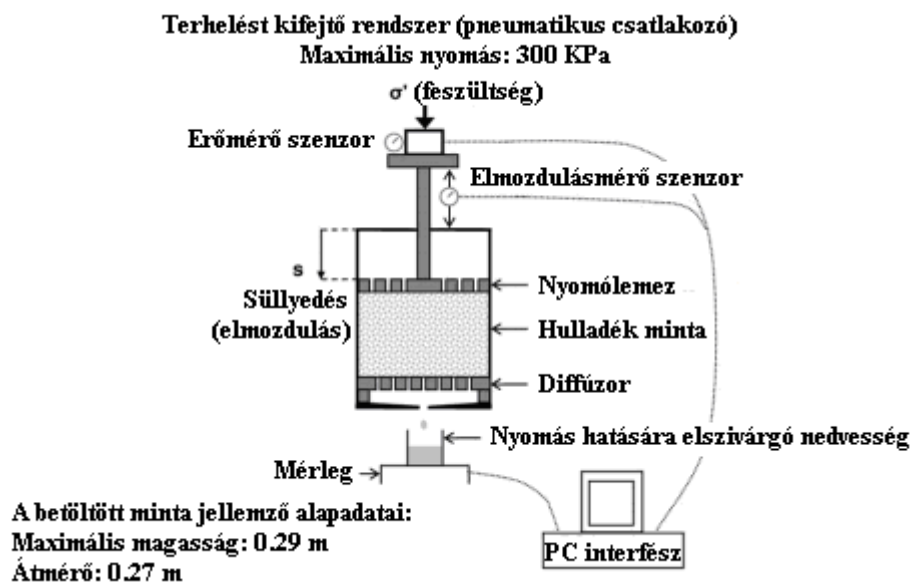
$$\bar{w} = \frac{\sum M_{Li}}{\sum M_{Si}} = \frac{\sum w_i \times M_{Si}}{M_S}$$

Ebben az esetben a $\bar{w}=0.358$. Annak érdekében, hogy az ödopermeabiméter cella jellemző méretéhez megfelelő szemcseméretű anyagok kapjanak, a vizsgált mintát 0.07 m alá aprították. A maximális szemcseméret (0.07 m) megfelel az ödopermeabiméter cellához tartozó átmérő 25 %-ának. Az aprítás után keletkező termék jellemző szemcseméret-tartománya 0.03-0.07 m volt. Meg kell jegyezni, hogy a különböző frakciókban jelen lévő rugalmas anyagok a jellemző térfogatot kis mértékben módosíthatják.

A vizsgált paraméterek meghatározása a kísérleti eszközzel (ödopermeabiméter)

Stoltz és szerzőtársai 2010 a kísérleti ödopermeabiméter cellát speciálisan a szilárd települési hulladék hidro-mechanikai viselkedésének vizsgálatára fejlesztette ki (4. ábra). A kísérleti berendezés lelke egy viszonylag nagy, rozsdamentes acélból készült ödométer cella. A cellához tartozó jellemző paraméterek: D (átmérő)=0.27 m, H_0 (a kezdeti minta magassága)=0.29 m. A cella tetején az állandó vertikális nyomást egy pneumatikus csatlakozó biztosítja 300 KPa terhelhetőségig. Az így keletkező nyomást egy erőmérő szenzor

méri (interfész szabvány: 1210, terhelhetőség: 25 KN). Az nyomásterhelés hatására a minta térfogata csökken, a csökkenést elmozdulás mérő szenzor (Solartron, S-széria, méréstartomány: 15 mm) segítségével mérik. A vizsgálni kívánt mintát 2 perforált lemez közé töltik be, ezzel lehetővé téve a minta nedvességtartalmának nyomás hatására történő elszivárgását. A lemezek perforációi (átmérő: 5mm) szabályosan vannak felosztva egy négyzetes háló szerint (két perforáció közötti távolság: 0.01 m). A felső lemez helyettesíthető egy kerámia lemezzel is, annak érdekében, hogy a nedvességtartalmat visszatartsa.



4. ábra: A kísérleti ödopermeabiméter cella felépítése

2.3.2 A vizsgált paraméterek (CCPs: ρ_d , n , w) mérése

A ρ_d és w mérése a kísérleti eszközzel viszonylag egyszerű, az összes porozitás meghatározása már nehezebb feladat. Az ödométeres kísérlet során a visszamaradt minta telítetlenné válik, ezért fontos, hogy biztosítani tudják a pontos folyadék egyensúly arányát a kísérlet teljes ideje alatt valamint, hogy minden nyomási lépésnél mérni tudják a porozitást. Ebben az esetben a klasszikus módszer -amely magában foglalja a minta vízzel történő telítettségét (Olivier és szerzőtársai, 2007)- nem használható, helyette egy gáz piknométeres módszert alkalmaztak, amely segítségével az egyes nyomási szakaszokhoz tartozó térfogati gáz tartalmat (Θ_G) mérték.

2.4. A gyáli hulladéklerakó

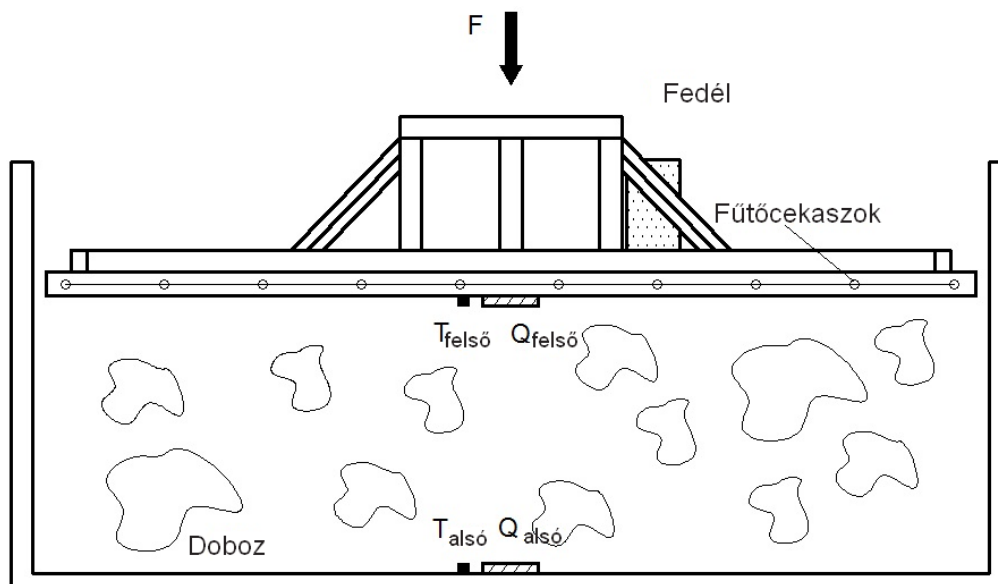
A dolgozat alapjául szolgáló mérések a Budapest határának közelében létesített gyáli hulladéklerakónál történtek. A lerakó megközelítőleg 4 kilométerre helyezkedik el Budapeستől, Gyál és Felsőpakony települések között található. Üzemeltetője az .A.S.A. Magyarország Kft. egy spanyol környezetvédelmi cég leányvállalatának, az .A.S.A. csoport tagja. A csoport jelen van több Magyarországgal határos országban, mint például Szlovákiában, Ausztriában, Szerbiában, Romániában.



5. ábra: A gyáli hulladéklerakó (.A.S.A. Magyarország Kft, 2008)

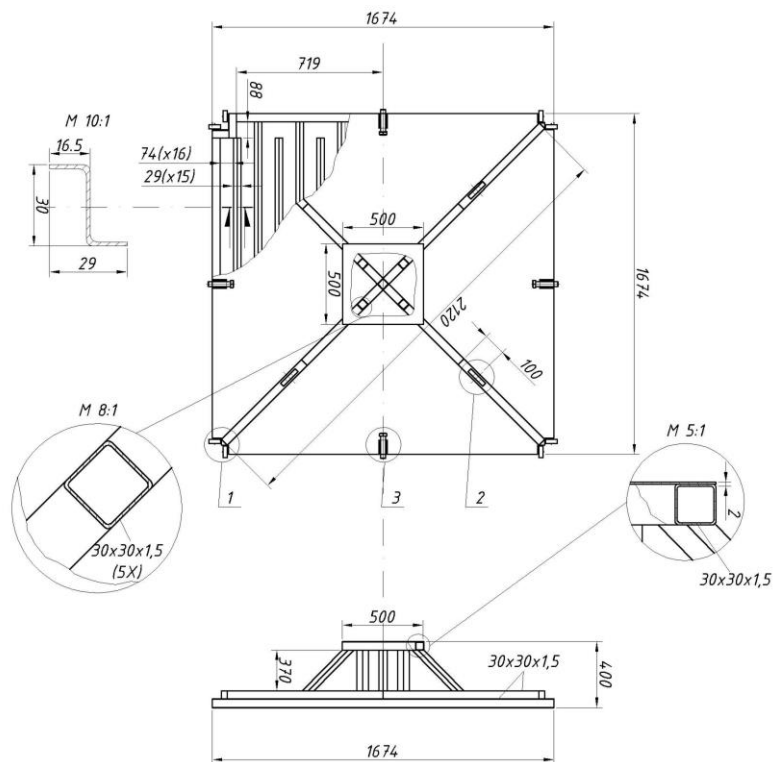
3. Mérőberendezés fejlesztése

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 berendezés megtervezésekor elsősorban a hővezetési tényező mérési módszerére koncentráltunk, a többi paraméter mérése párhuzamosan, vagy kiegészítő méréssel valósítható meg. A hővezetési tényező mérésére alapvetően három különféle alapelv szerint van lehetőség. Az első a tökéletest megközelítő teljes hőszigetelés, amikor hőszigetelés útján tudjuk a hőárammérő szenzoron keresztül haladó hőfluxust behatárolni. A második alapelv szerint az oldalirányú hőveszteséget kell pótolni egy szabályozott segéd fűtőrendszer által. A harmadik módszer szerint olyan geometriájú mérőberendezést kell építeni, 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 Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében megépített mérőberendezés a harmadik elven alapul, a berendezés vázlatja a **2. ábrán** látható.

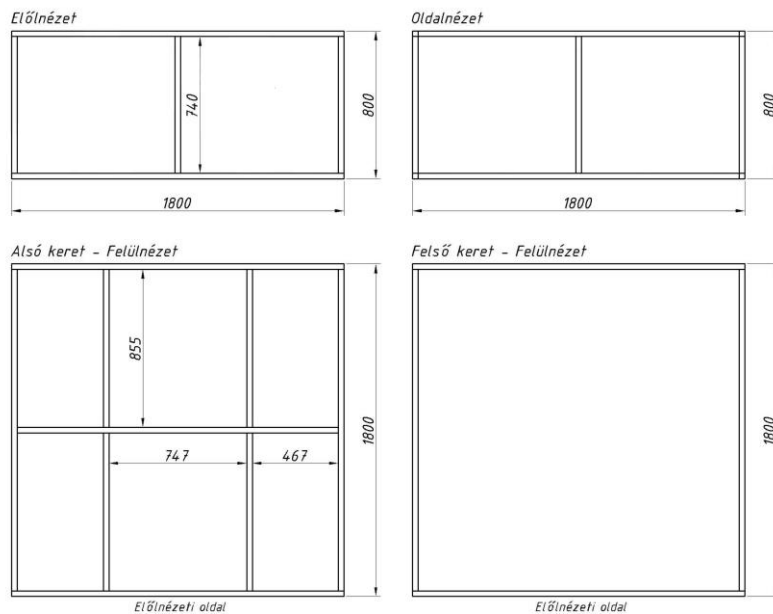


6. ábra: A hővezetés-mérő berendezés vázlatja

A hővezetés-mérő berendezés két fontos része a fűtéssel ellátott fedél (3. ábra) és az acél doboz (4. ábra).

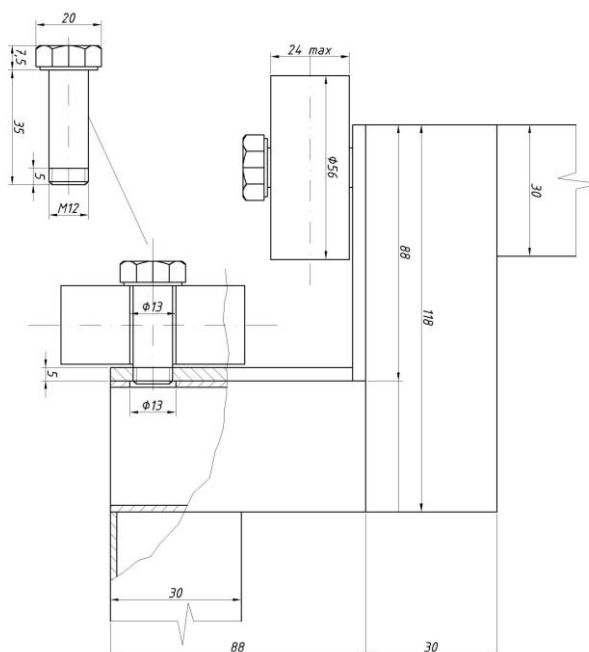


7. ábra: A hővezetés-mérő berendezés fedele



8. ábra: A hővezetés-mérő berendezés doboza

A hővezetés-mérő berendezés dobozába a lerakóból frissen vett mintát kell betölteni (kb. 400 – 1450 kg). A lerakóban - hosszú idő alatt - a munkagépek hatására a hulladék konszolidálódik, tömörödik, a kitermelés után a halmazsűrűsége lényegesen lecsökken, ezért a berendezés – fizikai kialakítását tekintve – egy hulladékprés, amelynek doboz- és a fedélszerkezete is merevítet. A préselést a munkagép kanálával a fedélre gyakorolt nyomással lehet elvégezni. A préselés után a fedél csavarok segítségével rögzíthető, ill. állandó súly helyezhető rá a mérés közben. A fedél - préselés közbeni - keresztirányú beszorulása ellen a sarkokban görgők kerültek beépítésre (**5. ábra**).



9. ábra: Görgők a fedél sarkaiban

A berendezésbe töltött hulladék összes tömege a berendezés megmért üres és töltött tömegéből számítható. Tömegmérésre a hulladéklerakó 10 kg érzékenységű hidmérlegét használtuk, amely a jellemző 1500 kg össztömeghez képest 0,67 % pontosságú mérést tesz lehetővé. A fedél mérés közbeni pozíciója mérőszalaggal mérhető, amelyből a minta összes térfogata egyszerűen számítható. A mérések során a vizsgált térfogat a 0,9–1,7 m³ tartományban változott. A fizikai paraméterek meghatározásához szükség van még a nedvességtartalom ismeretére, amelyet a betöltött, de még nem préselt hulladékból vett minta, szabványos 105 °C-on való szárításával mértünk meg.

A fedlapba khantál ellenálláshuzalból és kerámia szigetelőgyűrűkből kialakított fűtőegységet építettünk. A beépített 4 fűtőszál egyenletesen lefedi a teljes 1,8 x 1,8 m-es felületet. A fűtőszálak kapcsolásától függően két teljesítmény szinten (440 W és 1760 W) lehet fűteni. A fűtőrendszert közvetlenül a 230 V effektív feszültségű – megfelelő érintés- védelemmel ellátott – hálózatra kell kapcsolni, így a fűtőt teljesítmény egy-egy mérés során közel állandónak tekinthető. A hőáram mérésére 2 db AHLBORN FQA018C, 10 x 10 cm felületű, 0,2 cm vastag hőárammérő lapot alkalmaztunk. A hőárammérő lap nagyszámú sorbakapcsolt hőelemet tartalmaz, a kimenő mV nagyságrendű feszültség jel közvetlenül a felületegységen áthaladó hőmennyiséggel arányos. A hőárammérő lapok gyárilag kalibráltak (kb. $9,4 \text{ W/m}^2 - 1 \text{ mV}$). Egy hőárammérő lap a fedél közepére és egy másik lap az acél doboz aljának a közepére került beépítésre. Mindkét hőárammérő lapot 2 mm-es acél lemezről készült burkolattal kellett ellátni az erős mechanikai behatások elleni védekezés céljából, ami a mérésben kismértékű hibát okoz. A hőmérséklet mérésére 2 db National Semiconductor gyártmányú LM35 CN típusú integrált hőmérséklet érzékelőt alkalmaztunk. Az 5–30 V tartományban működőképes TO92 (plastic) tokozású szenzor 10 mV/C° fok kimenőjelet ad 0.1 Ohm kimenő impedancia mellett ($I_{ki} < 1 \text{ mA}$). Ezért a kapcsolódó jelvezeték ellenállása nem befolyásolja a mérést. A szenzor $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ -tól $+150 \text{ }^\circ\text{C}$ tartomány átfogására alkalmas. Kimenete lineáris és a hiba kisebb, mint $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ fok. Egy hőmérséklet szenzor a fedlap közepébe a hőárammérő mellé és egy az acél doboz aljába, a másikhoz hasonlóképpen került beépítésre.

A hővezetésmérő berendezéshez számítógépes mérésadatgyűjtő rendszert építettünk, a mérőprogramot LabWindows Ansi C nyelven írtuk meg. A mérés során a két hőáram és hőmérséklet értékeit kellett rögzíteni. Mivel egy mérés jellemzően 2 teljes napig tartott (az egyensúlyi állapot eléréséig) az adatok rögzítési gyakoriságát kb. 3 percre állítottuk be, azaz három percenként 8000 mért pont értékeit átlagoltuk és rögzítettük a számítógép segítségével.



10. ábra: A hővezetésmérő berendezés



11. ábra: Mintavétel és az acél doboz töltése

4. Mérés bemutatása

Hetente három alkalommal a tanszék által kifejlesztett és megépített berendezéssel a hulladéklerakó különböző ütemeiből vett mintákkal hőáramsűrűséget és nedvességtartalmat mértünk. A mérést hétfőn-szerdán-pénteken kezdtük el, hogy a mérés időtartam legalább 2 nap legyen. Erre azért volt szükség, mert a hulladék nagy tömege miatt, a minél pontosabb eredményt csak ilyen módon lehetett elérni. A berendezést reggelente egy homlokrakodó szállította el a lerakóhoz. A gépi mozgatás szükséges volt a „kaloda” közel 400 kg-os önsúlya miatt, amibe később 200-600 kg-nyi hulladék került betöltésre. A betöltést egy juhláb-hengeres kompaktor végezte, ami a négy ütem közül az éppen aktuálisan vizsgáltból hozott 0-2 méter mélyről mintát. A kivett mintát ezután a kalodába töltötte. A betöltött hulladék a kompaktor nagy mérete miatt egyenetlenül oszlott el a berendezésben, így azt lapáttal vagy kézzel minél inkább elegyenlítettük, hogy a berendezés fedele lehetőleg vízszintesen kerüljön rá, ezáltal a hulladéktömeg egyenletesen legyen felfűtve. A készre töltött berendezést ezután a homlokrakodó mérlegelésre vitte egy 20 kg pontosságú hídmérleghez, majd visszavitte az erre a célra kialakított félig nyitott hangárba. A berendezésbe került hulladék mellett két fémtálba kis mennyiségű, néhány kilogrammos mintát vettünk, hogy nedvességtartalmát megállapítsuk egy szárítószekrény segítségével. A két minta nedvességtartalmát tömegállandóságig, 105°C-on szárítva határoztuk meg. A hőárammérőt ezután rákötöttük egy laptopra, majd egy erre a célra megírt program segítségével elindítottuk a kétnapos mérést. A program a kaloda fedelében és aljában elhelyezett hőáramsűrűség mérők segítségével olvasta le a hőáramot, ami a fedélbe épített fűtőszá-

lak, cekaszok által leadott fűtés miatt alakult ki. A méréseket két, esetenként három nappal később állítottuk le. Ezután a folyamat előről kezdődött.

5. Méréskiértékelési módszer kidolgozása

A mérések során mértük a hővezetésmérő berendezésbe töltött és préselt minta összes tömegét (m_m) és térfogatát (V_m). A minta átlagos sűrűsége (víz – levegő – szilárd):

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m}$$

Mintát vettünk szárításra is, amelyet 105°C-on tömegállandóságig szárítottunk, ebből a tömeghányadra vonatkozó nedvességtartalmat meghatároztuk. Ebből két részre bontjuk az anyagot: száraz (levegő + szilárd) és víz.

A száraz anyag tömege: $m_{sz} = m_m \cdot (1 - n_m)$

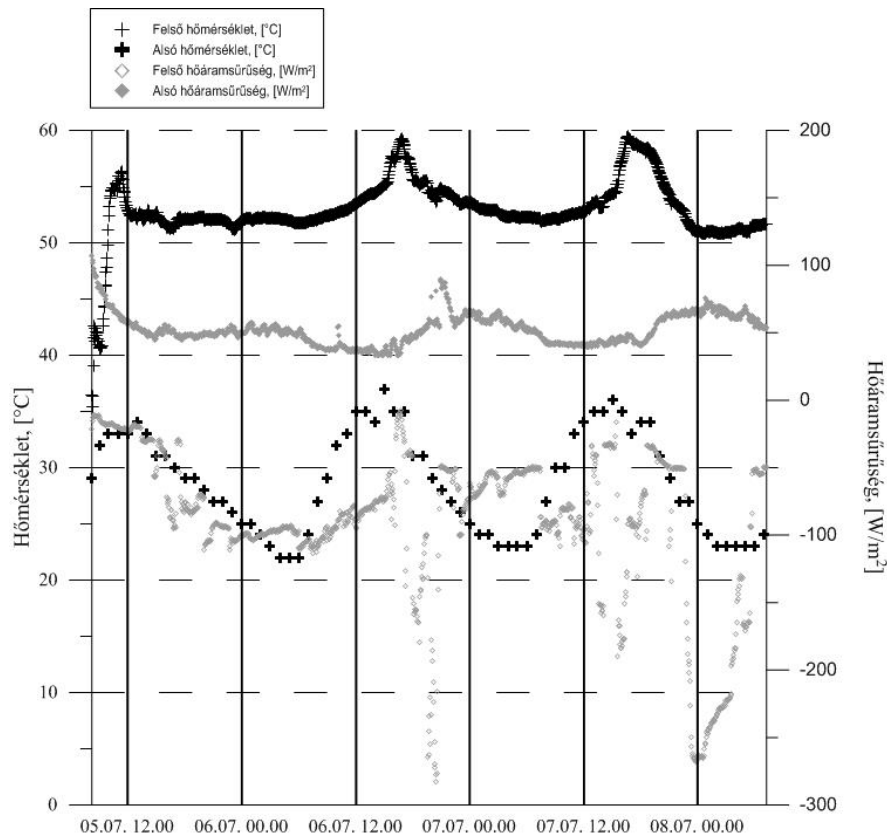
A száraz anyag térfogata: $V_{sz} = V_m - \frac{m_m \cdot n_m}{\rho_v}$

A száraz rész sűrűsége: $\rho_{sz} = \frac{m_{sz}}{V_{sz}}$

A száraz rész porozitásának a meghatározásához szükségünk van a kommunális hulladék átlagos szemcsesűrűségére. Erre mért adatunk nincs, viszont megvan az ASA 2012-es négy válogatási adatsora (**9.2. melléklet**), amiből van szabványos összetételünk. Korábbi tapasztalataink alapján minden egyes anyag kategóriához jellemző szemcse (anyag) sűrűséget rendeltünk, majd az összetétel alapján megkaptuk a súlyozott átlagot, azaz a kommunális hulladék jellemző szemcsesűrűségét. A sűrűségek közül a száraz rész szilárd anyag térfogati koncentrációt a következőképp számíthatjuk:

$$C_{\text{levegő}} = \frac{\rho_{sz} - \rho_{\text{levegő}}}{\rho_{\text{hulladék}} - \rho_{\text{levegő}}}$$

Ebből a porozitás (csak a száraz részre vonatkozóan): $\varepsilon = 1 - C_{\text{levegő}}$



12. ábra: Hőmérséklet- és hőáramsűrűség-mérésből kapott diagram

A diagramon ki lehet jelölni állandósult állapotot, amikor az alsó felületen átáramló hőmennyiség jól egyezik a bemenővel és mértük a felső- és alsó (ez az első mérések során meghibásodott, de meteorológiai adatokkal helyettesítettük) hőmérsékleteket, illetve a hulladék magasságát, azaz a hő úthosszát. Ebből a hővezetési tényező:

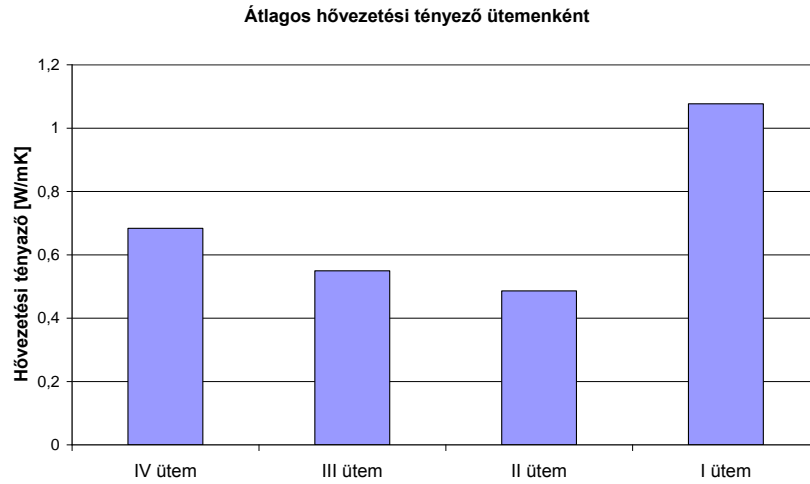
$$\lambda = \frac{Q \cdot L}{\Delta T}$$

A diagram elején jól látható a felfűtési szakasz, amelyet egyértelműen le lehet határolni. Azt feltételezzük, hogy a berendezésben lévő hulladéktömeg átlagos hőmérséklete a mért felső és alsó hőmérsékletek átlaga egy-egy adott időpillanatban. Ezeket mértük, így a ΔT felfűtési hőmérsékletkülönbség is megvan. A fűtési teljesítmény állandó és ismert. Az első szériában 440 W a másodikban 1760 W. Ezekből az adatokból az állandó nyomáson érvényes fajhő a következőképp számítható:

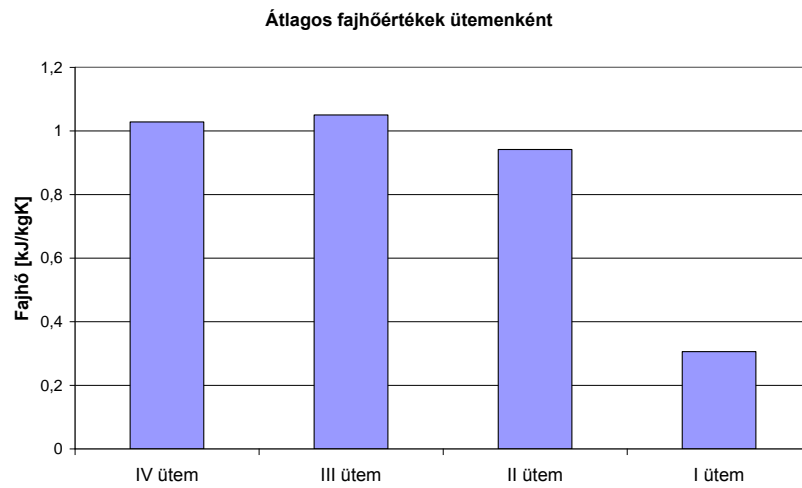
$$C_m = \frac{P \cdot \Delta t}{m_m \cdot \Delta T}$$

A hődiffuzivitás pedig:

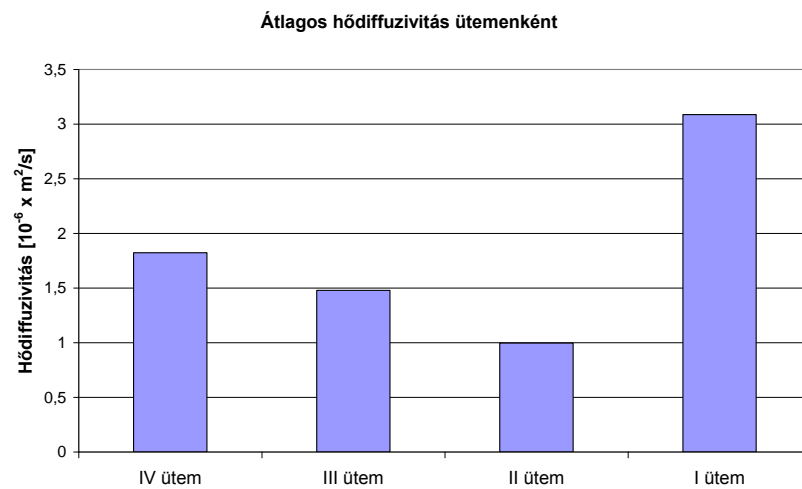
$$\kappa = \frac{\lambda}{\rho_m \cdot C_m}$$



13. ábra: Az átlagos hővezetési tényező alakulás az egyes ütemekben



14. ábra: Az átlagos fajhő értékek alakulás az egyes ütemekben



15. ábra: Az átlagos hődiffúziós értékek alakulás az egyes ütemekben

6. Összegzés

A Depóniahő projekt, amelynek 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. A munka első részének, a hőkinyerési-potenciál becsléséhez szükséges adatokat határoztuk meg. 2013 nyarán méréseket végeztünk a Miskolci Egyetem által kifejlesztett új kísérleti berendezéssel. A vizsgálat során szisztematikus méréseket hajtottunk végre a hulladéklerakó különböző részein, amiből átfogó képet kaptunk a depónia állapotáról. A mérésekhez kidolgoztuk a kiértékelés protokollját is, így később más hulladéklerakókra is adaptálható a vizsgálati rendszer. Az eredményekből a következő megállapításokat tudtuk levonni:

A talajok esetében korábban meghatározott hőtani paramétereket most már ismerjük a lerakott kommunális hulladékok esetében is. Ezen értékek segítségével kiszámolható a depóniákból kinyerhető hőenergia mennyisége. A kapott adatokból látható, hogy korreláció van a hulladék kora és a vizsgált, három hőtani paraméter – hővezetési tényező, fajhő, hődiffuzivitás – között.

Az I-es ütemben deponált hulladék kb. 17 éves, azaz a szerves anyagok lebomlása ebben az ütemben ment végbe a legnagyobb mértékben, amelyet jól jelez a kisebb mért fajhő érték.

7. Köszönetnyilvánítás

Legelőször is szeretnénk megköszönni konzulensünknek és tanárunknak, Dr. Faitli Józsefnek a lehetőséget, hogy részt vehettünk a TDK és a majdani szakdolgozatom alapjául szolgáló projektben. Köszönjük folyamatos útmutatást, 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 még Magyar Tamás doktorandusz hallgatót, akinek hála elnyerhette a dolgozat végleges formáját.

Végül köszönetet mondanánk a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet dolgozóinak, doktorandusz ismerőseinknek és mindazoknak, akik segítettek nekünk e dolgozat megírásában.

8. Irodalomjegyzék

- Beaven, R.P., Powrie, W. (1995): Hydrogeological and geotechnical properties of refuse using a large scale compression cell. In: Proceedings of the Sardinia 1995, Fifth International Waste Management and Landfill Symposium, Vol 2., Cagliari, Italy, pp. 745-760.
- Bleiker D.E., Farquahr, G., McBean, E. (1995): Landfill settlement and the impact on site capacity and refuse hydraulic conductivity. *Waste Management and Research* 13 (6), pp. 533-554.
- Castelli, F., Maugeri, M. (2008): Experimental analysis of waste compressibility. In: Proceedings of the Geocongress 2008, Geotechnics of Waste Management and Remediation. ACSE Special Publication, pp. 208-215.
- Chesworth, W. (Ed.) *Encyclopedia of Soil Science*. 2008. Springer.
- De Vries, D.A. Thermal properties of soils. In *Physics of plant environment*. Ed. van Wijk, W.R. 1963. North Holland. Amsterdam. pp. 210-235.
- Dixon, N., Jones, D.R.V. (2005): Engineering properties of municipal solid waste. *Geotextiles and Geomembranes* 23 (3), pp. 205-233.
- Durmusoglu, E., Sanchez, I.M., Corapcioglu, M.Y. (2006): Permeability and compression characteristics of municipal solid waste samples. *Environmental Geology* 50 (6), pp. 773-786.
- El-Fadel, M., Sadek, S., Khoury, R. (1999): Simulation of solid waste settlements in laboratory columns. In: Proceedings of the Sardinia 1999. Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Vol. 3., Caligari, Italy, pp. 521-528.
- Gabr, M.A., Valero, S.N. (1995): Geotechnical properties of municipal solid waste. *ASTM Geotechnical Testing Journal* 18, pp. 241-251.
- Gourc, J.P., Olivier, F., Thomas, S., Chatelet, L., Denecheau, P., Munoz, M.L. (2001): Monitoring of waste settlements on five landfills: comparison of the efficiency of different devices. In: Proceedings of the Sardinia 2001. Eighth International Waste Management and Landfill Symposium, Vol. 3., Caligari, Italy, pp. 515-524.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D. (1981): *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice Hall, p 733.

- Jain, P., Powell, J., Townsend, T.G., Reinhart, D.R. (2006): Estimating the hydraulic conductivity of landfilled municipal solid waste using the borehole permeameter test. *Journal of Environmental Engineering*, 132 (6), pp. 645-652.
- Jessberger, H.L., Kockel, R. (1993): Determination and assessment of the mechanical properties of waste materials. In: *Proceedings of the Sardinia 1993. Fourth International Waste Management and Landfill Symposium*, Vol. 2., Caligari, Italy, pp. 1383-1392.
- Kolyasev, F.E., Gupalo, A.I. On the correlation of heat and moisture properties of soils. Publication No. 629. (Special Report No. 40) 1958. Highway Res. Bd. Nat. Acad. Sci., Washington. pp. 106-112.
- Koorevar, P., Menelik, G., Dirksen, C. *Elements of soil physics*. 1983. Elsevier. Amsterdam.
- Landva, A.O., Clark, J.I. (1990): Geotechnics of waste fill. In: Landva, A.O., Knowles, G.D. (Eds.), *Geotechnical of waste fills*, ASTM STP 1070. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, pp. 86-103.
- Landva, A.O., Valsangkar, A.J., Pelkey, S.G. (2000): Lateral earth pressure at rest and compressibility of municipal solid waste. *Canadian Geotechnical Journal* 37 (6), pp. 1157-1165.
- Machado, S.L., Carvalho, M.F., Vilar, O.M. (2002): Constitutive model for municipal solid waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 128 (11), pp. 940-951.
- Marschall, T.J., Holmes, J.W. *Soil physics*. 1979. Cambridge University Press. Cambridge.
- Münnich, K., Bauer, J., Fricke, K. (2005): Investigation on relationship between vertical and horizontal permeabilities of MBT wastes. In: *Proceedings of the Sardinia 2005. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, Caligari, Italy. Full paper available on CD-ROM.
- Olivier, F., Gourc, J.P. (2007): Hydro-mechanical behavior of Municipal Solid Waste subject to leachate recirculation in a large-scale compression reactor cell. *Waste Management* 27 (1), pp. 44-58.
- Olivier, F., Gourc, J.P., Lopez, S., Benhamida, S., Van Wyck, D. (2003): Mechanical behaviour of solid waste in a fully instrumented prototype compression

- box. In: Proceedings of the Sardinia 2003. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Caligari, Italy. Full paper available on CD-ROM.
- Olivier, F., Marcoux, M.A., Gourc, J.P., Machado, M.L. (2007): Attempt for a comprehensive interdisciplinary analysis of a mechanical pretreated MSW confined two years in a large-scale laboratory reactor. In: Proceedings of the Sardinia 2007. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Caligari, Italy. Full paper available on CD-ROM.
 - Oweis, I.S., Smith, D.A., Ellwood, R.B., Greene, D.S. (1990): Hydraulic characteristics of municipal refuse. *Journal of Environmental Engineering*, 116 (4), pp. 539-553.
 - Powrie, W., Beaven, R.P. (1999): Hydraulic properties of household waste and implications for landfills. In: *Proceeding of the Institution of Civil Engineering. Geotechnical Engineering Journal* 137 (4), pp. 235-247.
 - Sowers, G.F. (1973): Settlement of waste disposal fills. Paper presented at the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, pp. 207-210.
 - Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. Talajtan. 1999. Mezőgazda Kiadó. Budapest
 - Stoltz, G., Gourc, J.P., Oxarango, L. (2010): Characterisation of the physico-mechanical parameters of MSW. *Waste Management* 30 (2010), pp. 1439-1449.
 - Terzaghi, K., Peck, R.B. (1976): *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Second Ed., John Wiley and Sons, New York, p. 729.
 - Wall, D.K., Zeiss, C. (1995): Municipal landfill biodegradation and settlement. *Journal of Environmental Engineering* 121 (3), pp. 214-224.

9. Mellékletek

9.1. A vizsgált hulladék mért hőtani adatai

Azonosító	Mérés sorszáma	Mérés helye	Minta tömege	Minta térfogata	Minta sűrűsége	Nedv. tart.	Száraz tömeg	Száraz térfogat	Száraz sűrűség
			m_m	V_m	ρ_m	nm	msz	Vsz	rsz
			kg	m^3	kg/m^3	[-]	kg	m^3	kg/m^3
m0619	1	IV közép	1420	1,72	825,58	-	-	-	-
m0624	2	IV közép	380	1,12	339,29	0,66	129,20	0,87	148,64
m0628	3	IV közép	570	1,05	542,86	0,10	513,00	0,99	516,62
m0701	4	III széle	470	0,97	484,54	0,41	277,30	0,78	356,75
m0703	5	III közép	580	1,31	442,75	0,44	324,80	1,05	307,93
m0705	6	III közép	660	1,67	395,21	0,32	448,80	1,46	307,65
m0708	7	II közép	790	1,09	724,77	0,14	679,40	0,98	693,69
m0710	8	II közép	390	0,89	438,20	-	-	-	-
m0717	9	Friss hull.	530	1,05	504,76	0,47	280,90	0,80	350,73
m0719	10	IV közép	690	1,36	507,35	0,30	483,00	1,15	418,91
m0722	11	meddő	1050	0,92	1141,30	0,08	966,00	0,84	1155,50
m0724	12	IV közép	880	1,34	656,72	0,08	809,60	1,27	637,68
m0726	13	IV közép	550	1,18	466,10	0,47	291,50	0,92	316,33
2m0729	14	IV közép	550	1,34	410,45	0,54	253,00	1,04	242,57
2m0731	15	IV közép	610	1,31	465,65	0,46	329,40	1,03	319,99
2m0802	16	IV közép	530	1,44	368,06	0,52	254,40	1,16	218,48
2m0805	17	IV közép	670	1,31	511,45	0,17	556,10	1,20	464,93
2m0807	18	III közép	670	1,34	500,00	0,22	522,60	1,19	438,20
2m0809	19	III közép	750	1,28	585,94	0,20	600,00	1,13	530,97
2m0814	20	III széle	450	1,28	351,56	0,35	292,50	1,12	260,58
2m0816	21	II közép	1050	1,54	681,82	0,36	672,00	1,16	578,31
2m0821	22	I közép	930	1,44	645,83	-	-	-	-

Azonosító	Mérés sorszáma	Levegő konc.	Porozitás	Hőáram	Út	Hőm. különbség	Hővezetés	Fűtő teljesítmény
		C	E	q	L	DT	L	P
		-	-	W/m ²	m	°C	W/mK	W
m0619	1	-	-	28	0,53	27	0,55	440
m0624	2	0,11	0,89	19	0,35	6	1,09	440
m0628	3	0,40	0,60	100	0,33	23	1,41	440
m0701	4	0,27	0,73	47	0,30	26	0,54	440
m0703	5	0,24	0,76	80	0,41	38	0,85	440
m0705	6	0,24	0,76	60	0,52	29	1,07	440
m0708	7	0,53	0,47	76	0,34	24	1,06	440
m0710	8	-	-	50	0,28	26	0,53	440
m0717	9	0,27	0,73	60	0,33	34	0,57	440
m0719	10	0,32	0,68	50	0,42	24	0,88	440
m0722	11	0,89	0,11	68	0,29	18	1,08	440
m0724	12	0,49	0,51	66	0,42	36	0,76	440
m0726	13	0,24	0,76	62	0,37	27	0,84	440
2m0729	14	0,19	0,81	70	0,42	116	0,25	1760
2m0731	15	0,25	0,75	74	0,41	106	0,28	1760
2m0802	16	0,17	0,83	64	0,45	102	0,28	1760
2m0805	17	0,36	0,64	60	0,41	104	0,23	1760
2m0807	18	0,34	0,66	81	0,42	123	0,27	1760
2m0809	19	0,41	0,59	100	0,40	119	0,33	1760
2m0814	20	0,20	0,80	60	0,40	130	0,23	1760
2m0816	21	0,45	0,55	49	0,48	84	0,12	1760
2m0821	22	-	-	24	0,45	93	-	1760

Azonosító	Mérés sorszáma	Felfűtési idő	Felfűtési hőmérséklet	Fajhő	Hődiffuzivitás
		Dt	DT	Cm	K
		s	°C	kJ/kgK	10 ⁻⁶ x m ² /s
m0619	1	6288	12,25	0,16	4,1857
m0624	2	-	-	-	-
m0628	3	13922	7,12	1,51	1,7245
m0701	4	12719	9,69	1,23	0,9104
m0703	5	28113	14,74	1,45	1,3305
m0705	6	9894	11,73	0,56	4,7946
m0708	7	11921	8,19	0,81	1,8055
m0710	8	10912	13,11	0,94	1,2847
m0717	9	23347	17,60	1,10	1,0317
m0719	10	6066	10,25	0,38	4,5700
m0722	11	5456	7,48	0,31	3,0863
m0724	12	6458	9,24	0,35	3,3152
m0726	13	27504	16,80	1,31	1,3730
2m0729	14	18811	43,74	1,38	0,4434
2m0731	15	26727	39,49	1,95	0,3109
2m0802	16	7090	43,56	0,54	1,4034
2m0805	17	8096	44,03	0,48	0,9457
2m0807	18	17189	56,54	0,80	0,6844
2m0809	19	35608	60,88	1,37	0,4127
2m0814	20	9682	42,57	0,89	0,7368
2m0816	21	22801,00	33,90	1,13	0,1595
2m0821	22	18566,00	36,65	-	-

9.2. A vizsgált hulladék hőtani tulajdonságainak mérési eredményei

Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 1
 Mérés kezdete: 2013.06.19
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 28 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 27 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

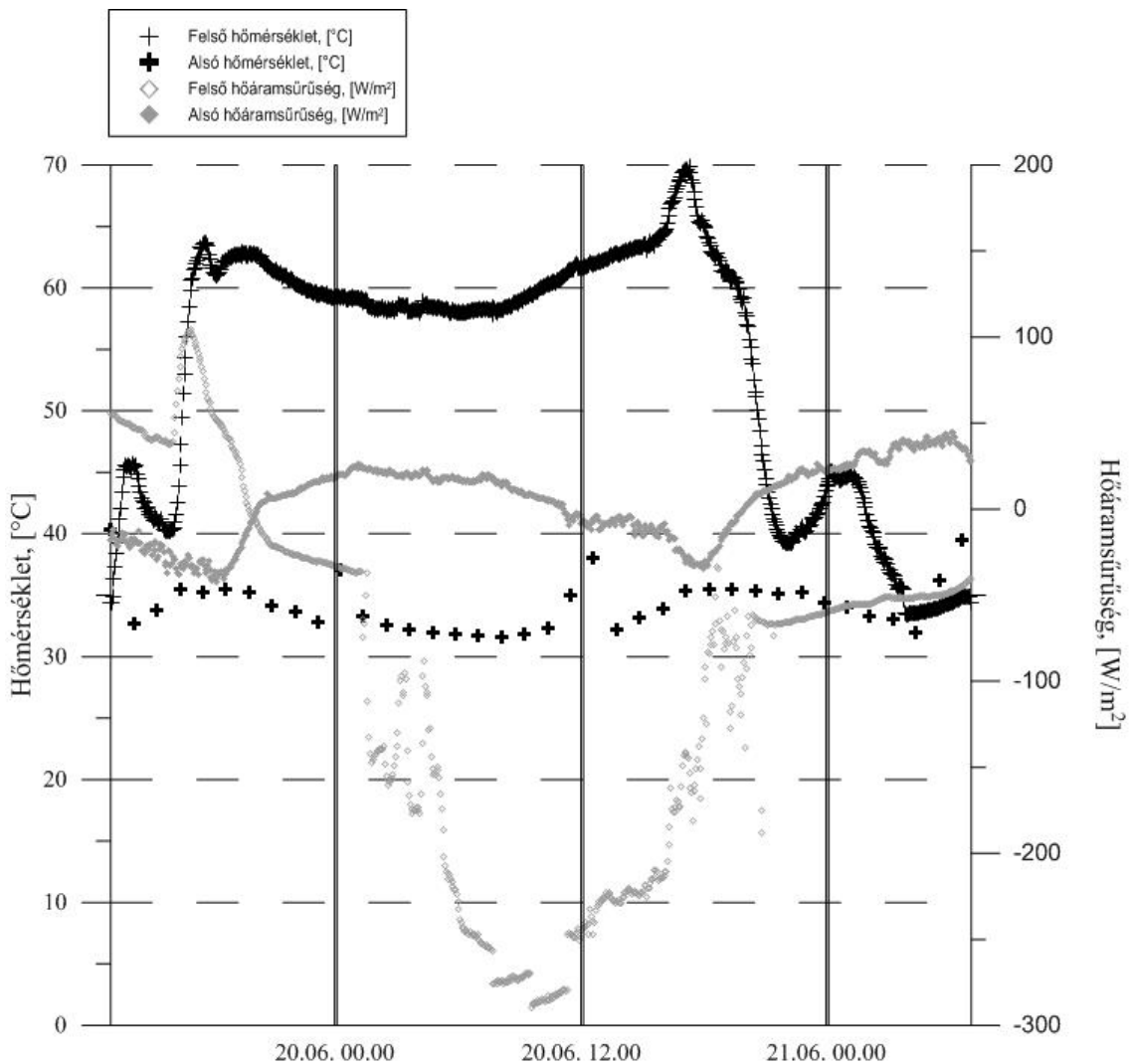
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 40,19 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 36,59 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 38,39 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 63,69 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 36,59 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 50,14 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 11,75 C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 6288 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 1420 kg
 Térfogat: 1720 l
 Térfogatsűrűség: 826,93 kg/m³
 Nedvességtartalom: -
 Porozitás: -

Megjegyzés: a fűtés egy idő után kikapcsolt



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 2
 Mérés kezdete: 2013.06.24
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 19 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 6 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

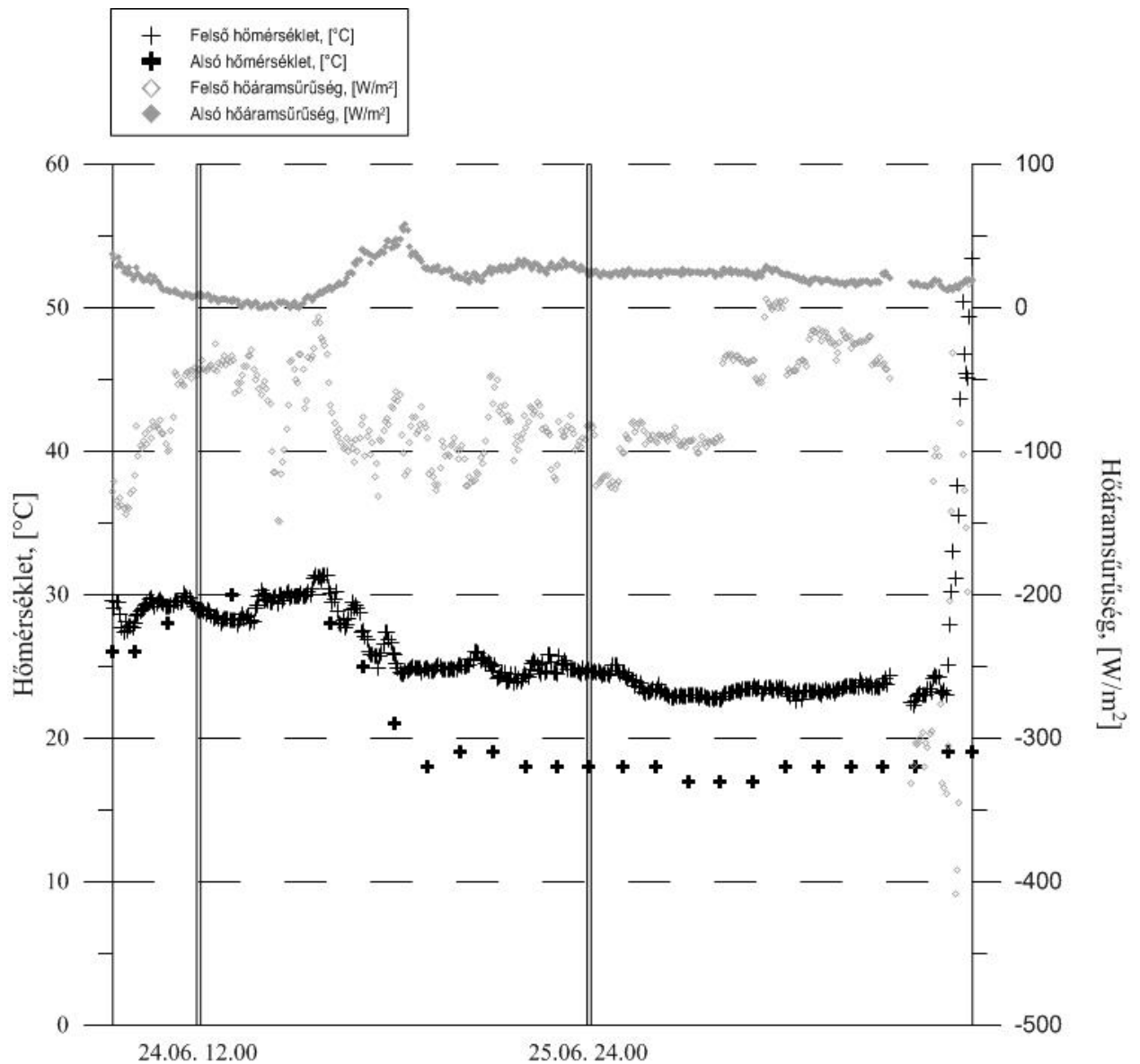
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ -
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ -
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ -
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ -
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ -
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ -
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): -
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): -

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 380 kg
 Térfogat: 1120 l
 Térfogatsűrűség: 339,95 kg/m³
 Nedvességtartalom: 65,2 m/m%
 Porozitás: -

Megjegyzés: nem volt fűtés



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 3
 Mérés kezdete: 2013.06.28
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 570 kg
 Térfogat: 1050 l
 Térfogatsűrűség: 541,3 kg/m³
 Nedvességtartalom: 9,8 m/m%
 Porozitás: -

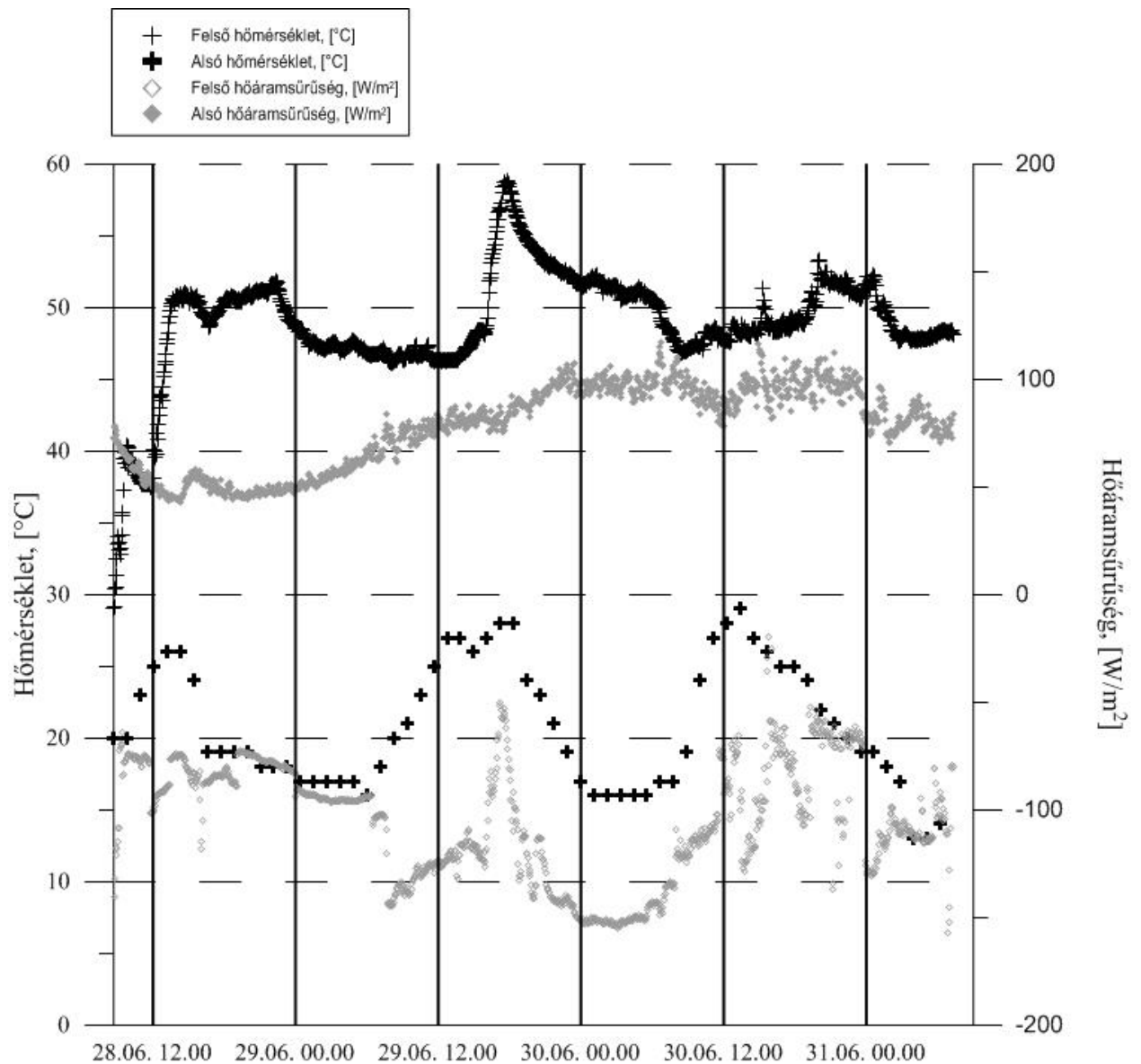
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 100 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 23 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 37,54 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 23,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 30,27 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 50,78 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 24,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 37,39 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőmérséklet különbsége): 7,12 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 13922 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 4
 Mérés kezdete: 2013.07.01
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 470 kg
 Térfogat: 970 l
 Térfogatsűrűség: 483,54 kg/m³
 Nedvességtartalom: 41,5 m/m%
 Porozitás: -

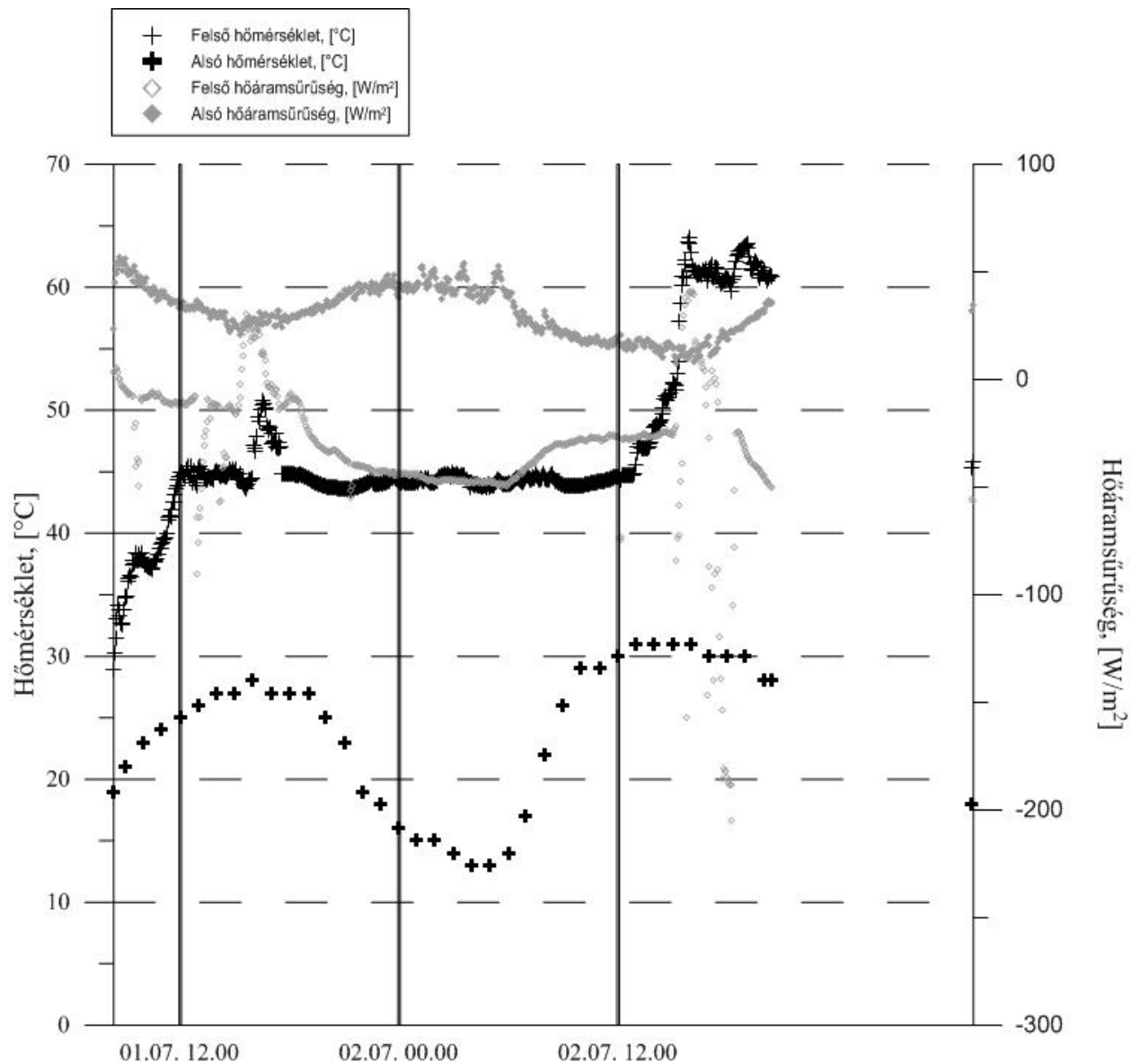
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 47 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 26 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 30,20 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 19,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 24,60 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 44,56 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 24,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 34,28 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 9,68 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 12719 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 5
 Mérés kezdete: 2013.07.03
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 580 kg
 Térfogat: 1310 l
 Térfogatsűrűség: 442,01 kg/m³
 Nedvességtartalom: 44,4 m/m%
 Porozitás: -

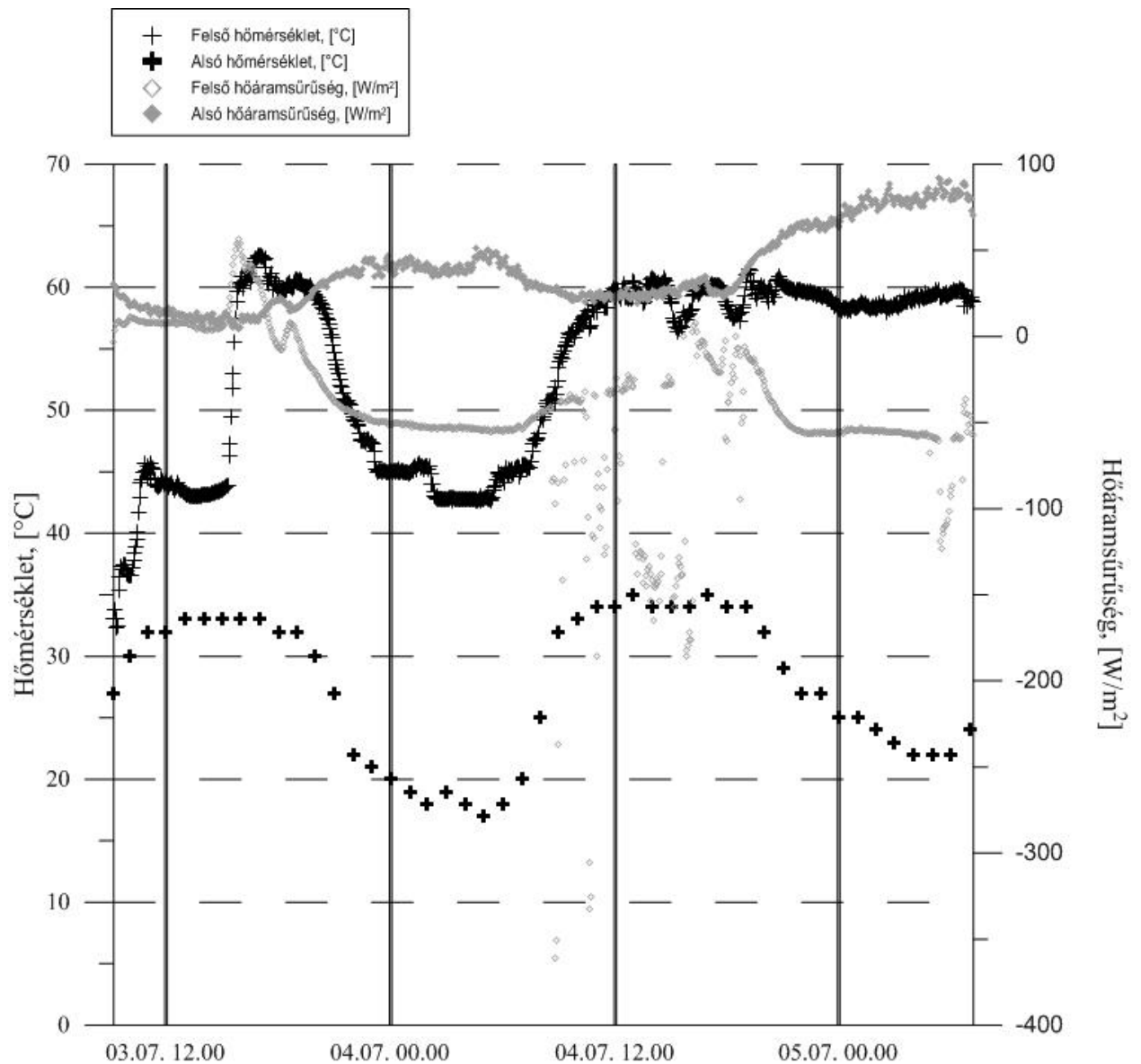
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 80 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 38 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 33,08 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 27,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 30,04 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 62,56 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 47,78 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 17,74 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 28113 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 6
 Mérés kezdete: 2013.07.05
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 660 kg
 Térfogat: 1670 l
 Térfogatsűrűség: 395,54 kg/m³
 Nedvességtartalom: 31,7 m/m%
 Porozitás: -

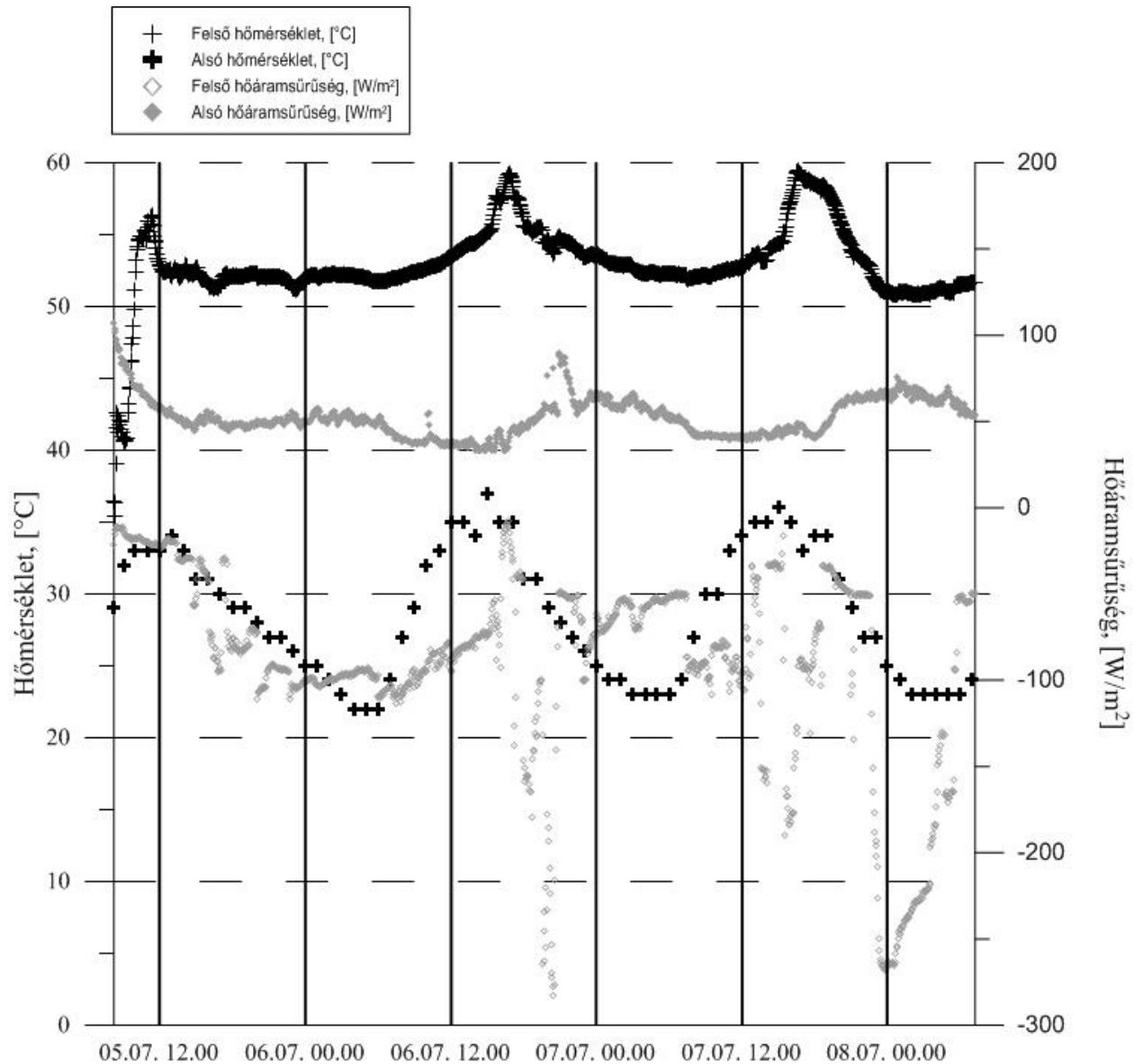
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 29 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 36,48 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 29,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 32,74 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 55,96 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 44,48 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 11,74 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 9894 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 7
 Mérés kezdete: 2013.07.08
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: II. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 790 kg
 Térfogat: 1090 l
 Térfogatsűrűség: 727,84 kg/m³
 Nedvességtartalom: 13,9 m/m%
 Porozitás: -

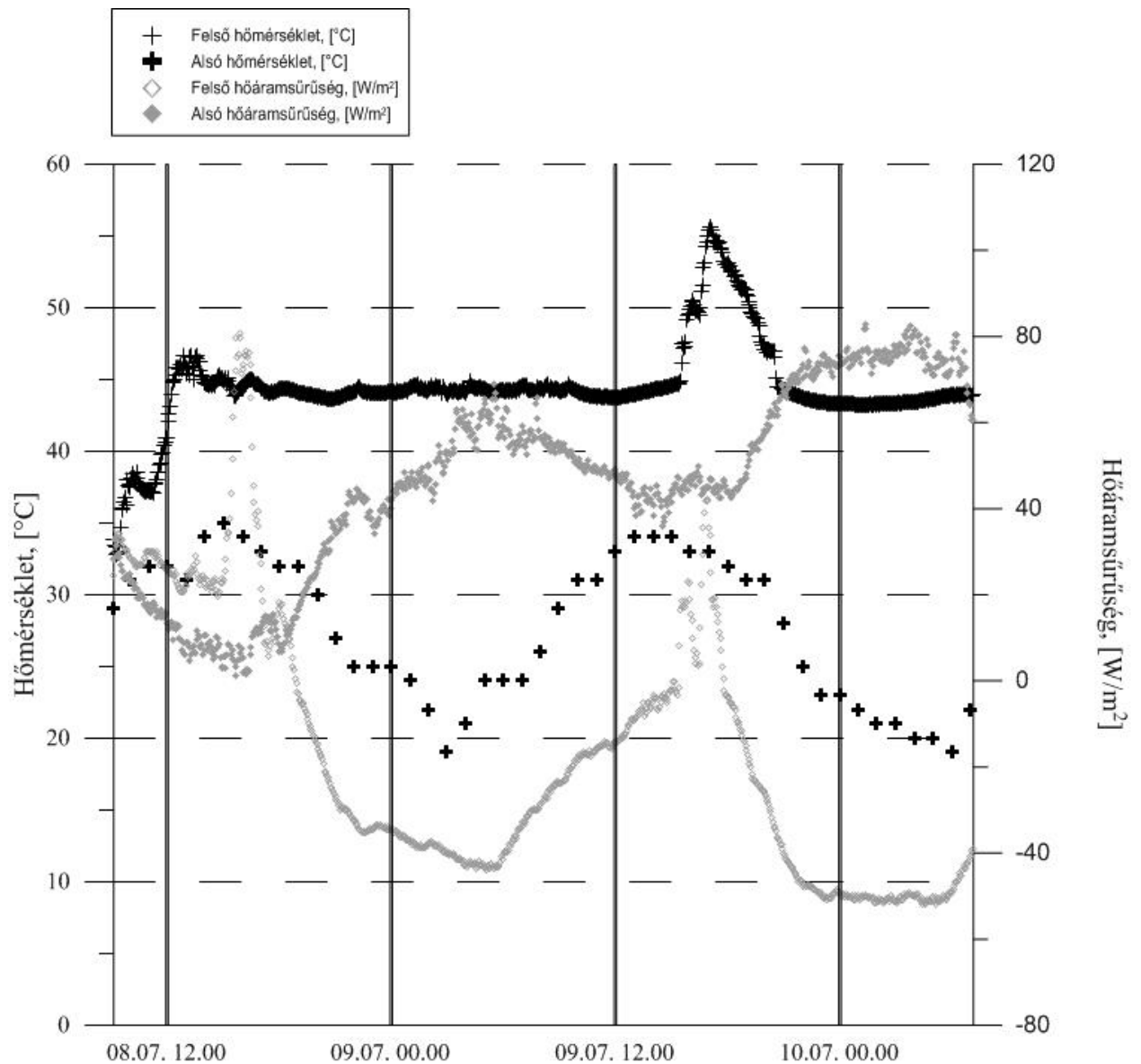
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 76 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 24 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 33,46 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 29,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 31,23 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 45,84 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 39,42 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 8,19 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 11921 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 8
 Mérés kezdete: 2013.07.10
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: II. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 390 kg
 Térfogat: 890 l
 Térfogatsűrűség: 437,71 kg/m³
 Nedvességtartalom: -
 Porozitás: -

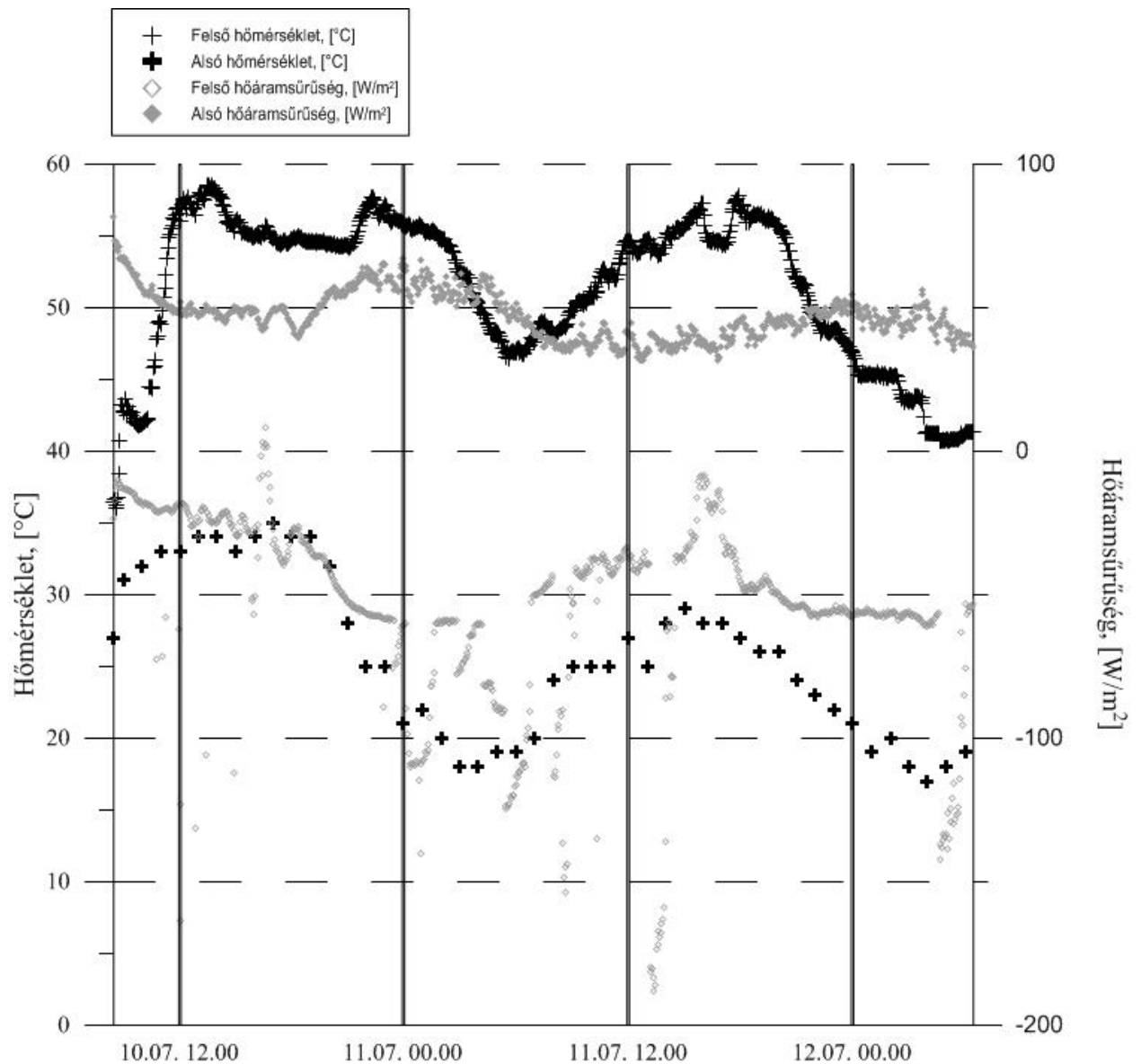
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 50 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 26 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 36,04 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 27,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 31,52 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 56,24 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 44,62 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 13,10 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 10912 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 9
 Mérés kezdete: 2013.07.17
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 60 W/m^2
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): $34 \text{ }^\circ\text{C}$

Minta információk:

Ütem: friss hulladék
 Mélység: -

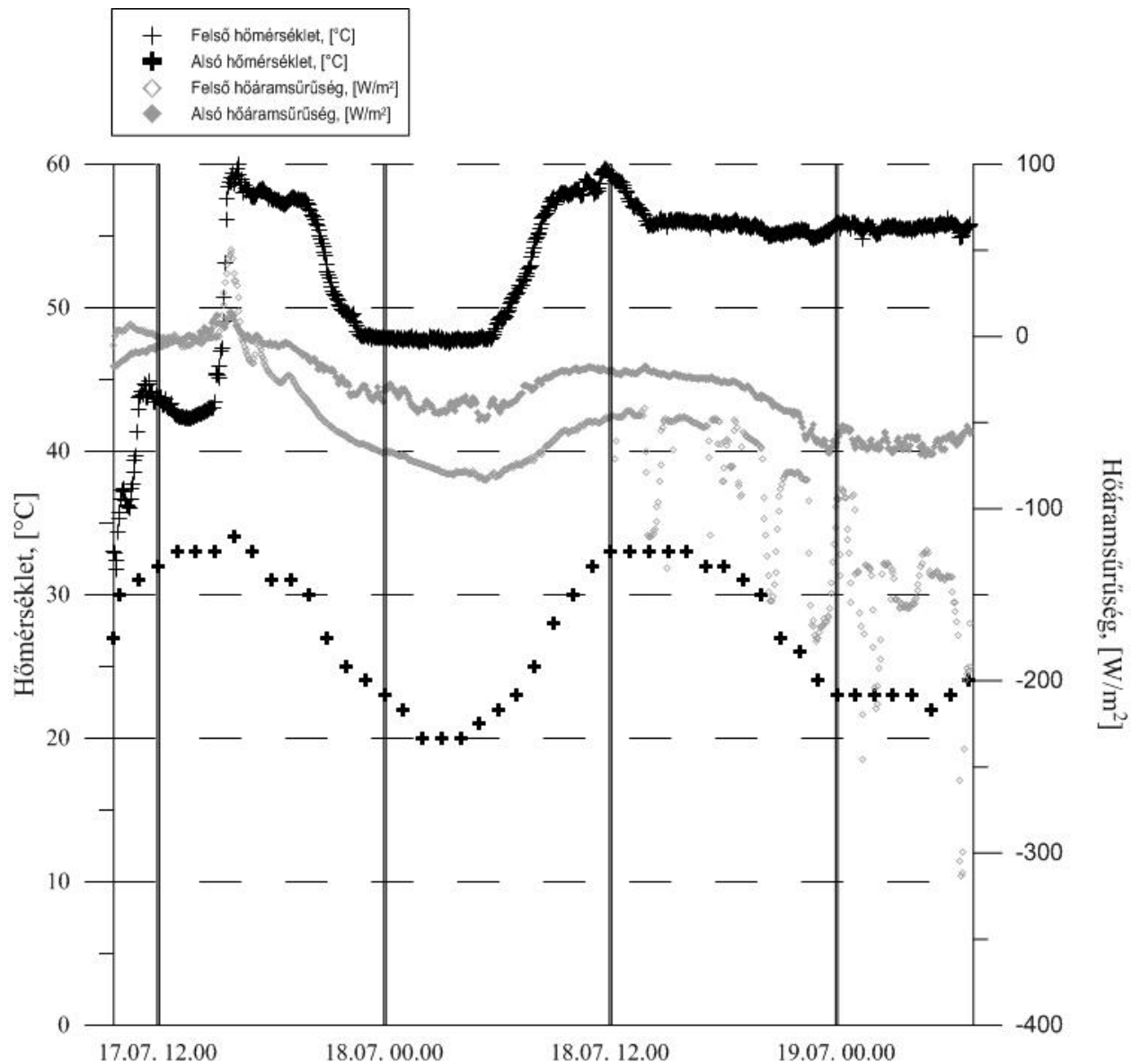
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ $31,74 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ $27,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ $29,37 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ $59,96 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ $34,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ $46,98 \text{ }^\circ\text{C}$
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): $17,61 \text{ }^\circ\text{C}$
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 23347 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 530 kg
 Térfogat: 1050 l
 Térfogatsűrűség: $503,32 \text{ kg/m}^3$
 Nedvességtartalom: 46,8 m/m%
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 10
 Mérés kezdete: 2013.07.19
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 690 kg
 Térfogat: 1360 l
 Térfogatsűrűség: 507,05 kg/m³
 Nedvességtartalom: 30,3 m/m%
 Porozitás: -

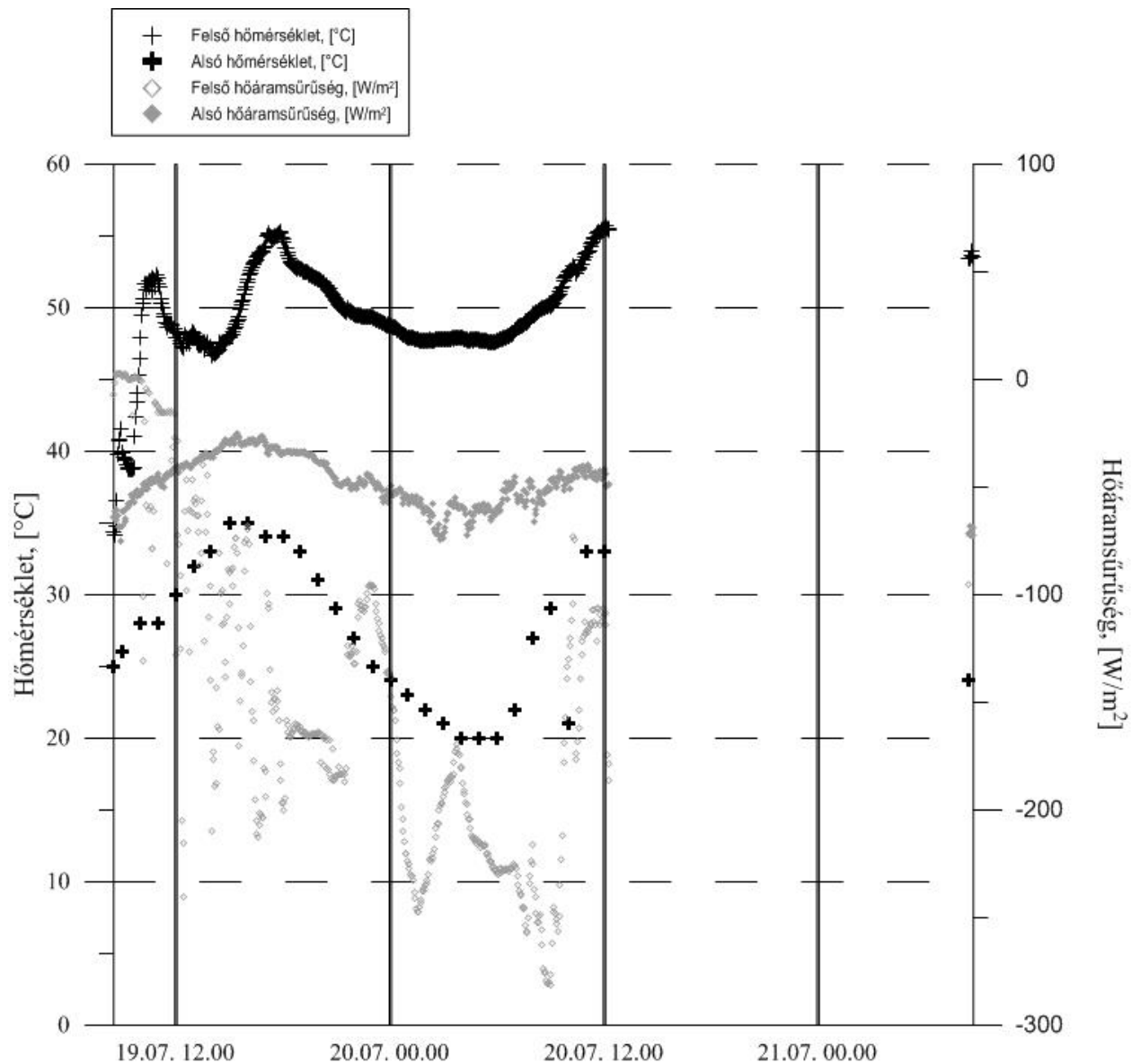
Megjegyzés: a mérés kb. 1 nap után megszakadt

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 50 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 24 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső)}}$: 34,18 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó)}}$: 25,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag)}}$: 29,59 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső)}}$: 51,68 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó)}}$: 28,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag)}}$: 39,84 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 10,25 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 6066 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 11
 Mérés kezdete: 2013.07.22
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 68 W/m^2
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): $18 \text{ }^\circ\text{C}$

Minta információk:

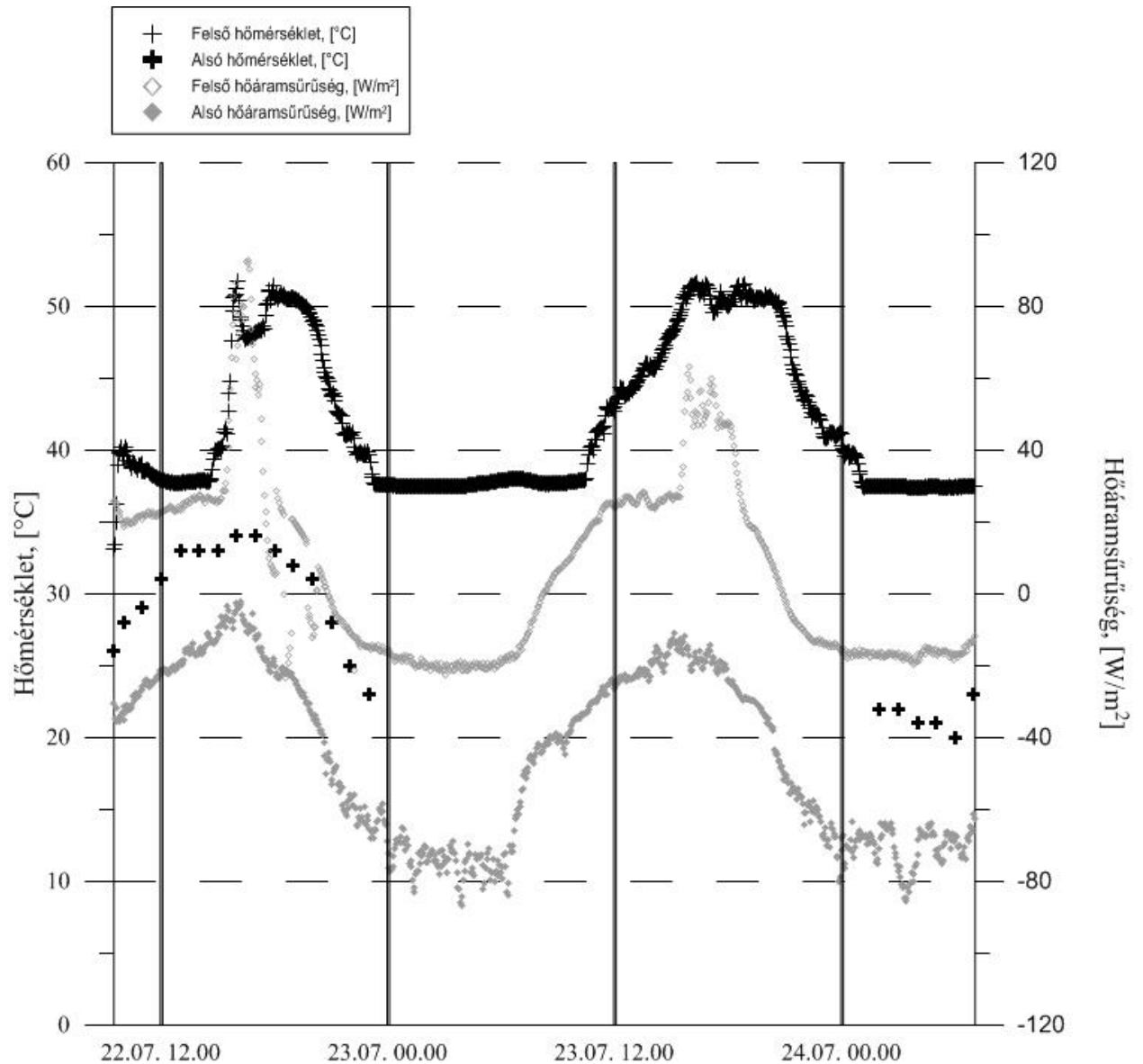
Ütem: terítési meddő
 Mélység: -

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ $37,82 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ $33,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ $35,41 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ $51,80 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ $34,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ $42,90 \text{ }^\circ\text{C}$
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): $7,49 \text{ }^\circ\text{C}$
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 5456 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 1050 kg
 Térfogat: 920 l
 Térfogatsűrűség: $1137,1 \text{ kg/m}^3$
 Nedvességtartalom: $8,04 \text{ m/m}\%$
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs

Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 12
 Mérés kezdete: 2013.07.24
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 880 kg
 Térfogat: 1340 l
 Térfogatsűrűség: 654,47 kg/m³
 Nedvességtartalom: 8,11 m/m%
 Porozitás: -

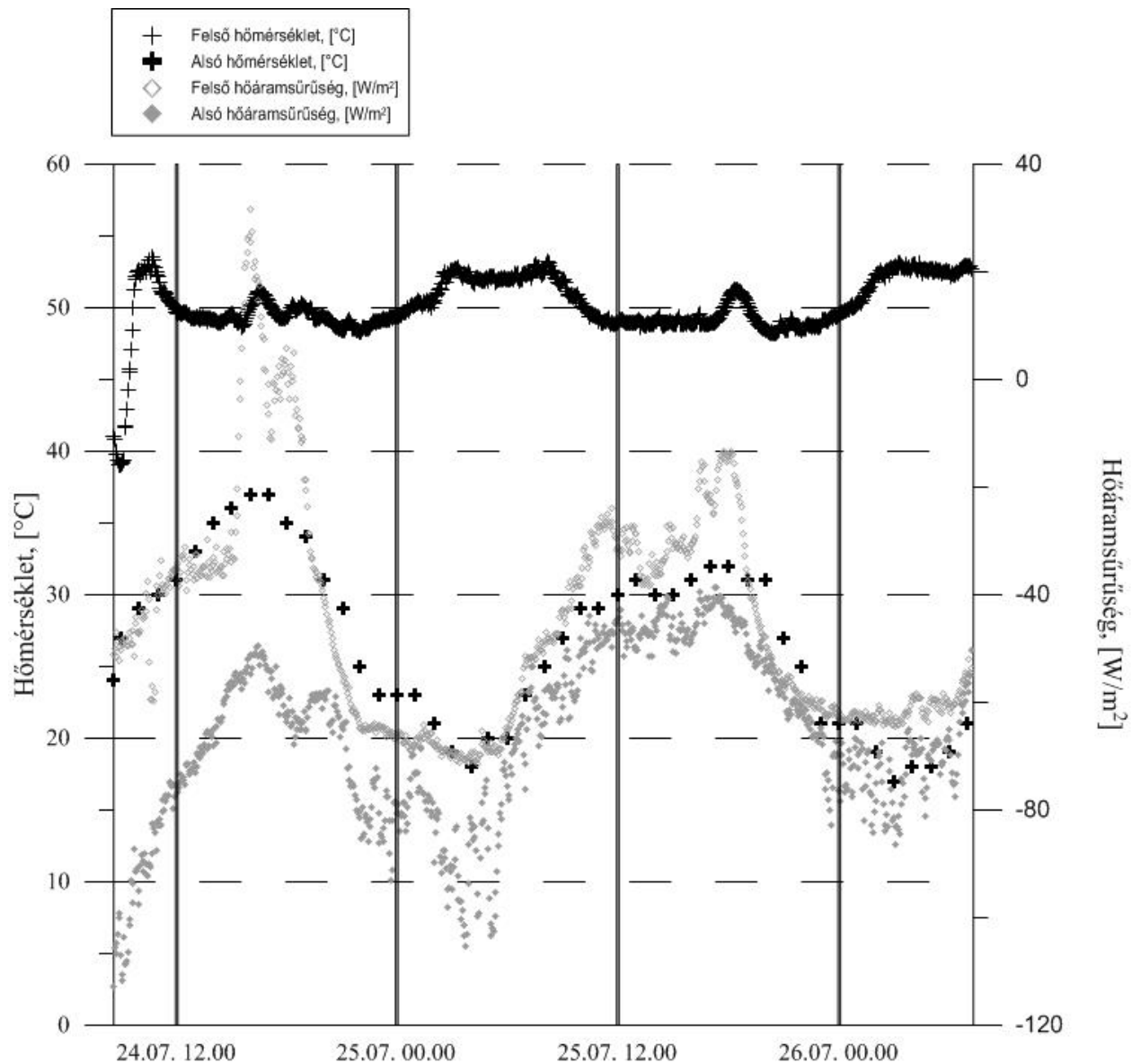
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 66 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 36 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 39,02 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 25,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 32,01 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 53,50 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 29,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 41,25 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 9,24 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 6458 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 13
 Mérés kezdete: 2013.07.26
 Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 550 kg
 Térfogat: 1180 l
 Térfogatsűrűség: 465,08 kg/m³
 Nedvességtartalom: 47,3 m/m%
 Porozitás: -

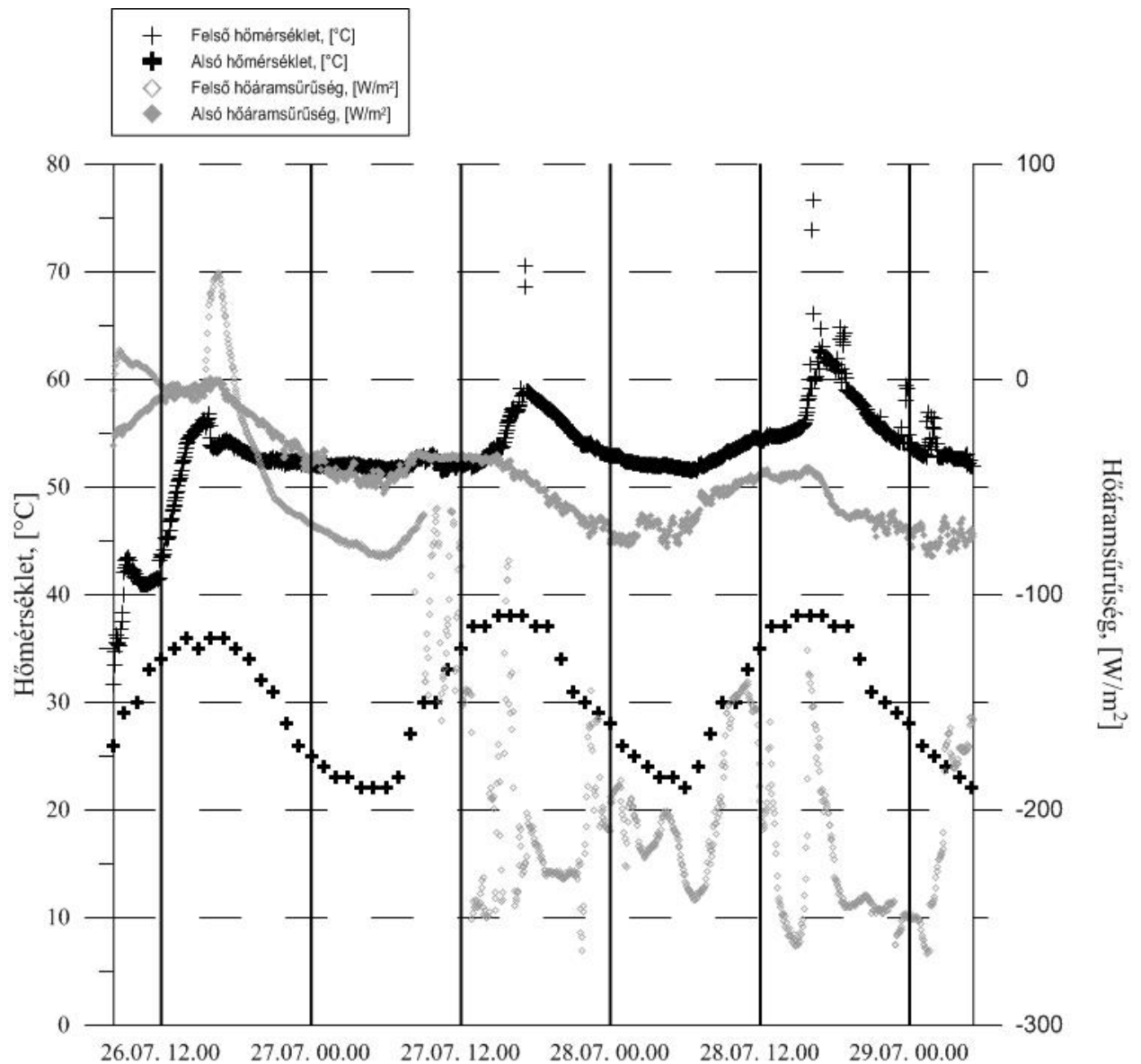
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 62 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 27 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 31,7 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 26,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 28,85 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 56,30 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 35,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 45,65 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 16,80 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 27504 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 14
 Mérés kezdete: 2013.07.29
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 70 W/m^2
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): $116 \text{ }^\circ\text{C}$

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: felszíni minta

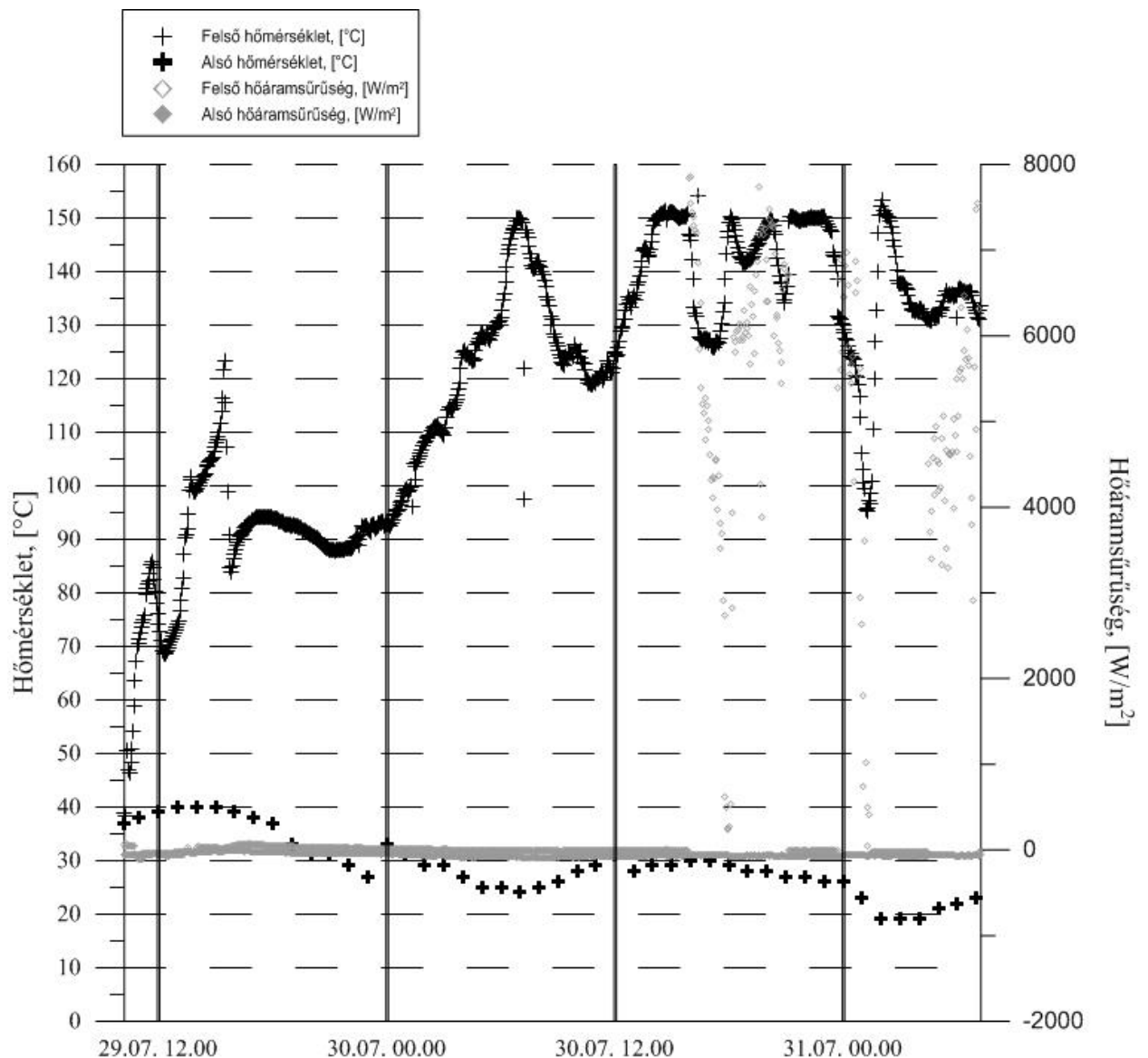
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ $38,32 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ $37,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ $37,66 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ $123,3 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ $40,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ $81,65 \text{ }^\circ\text{C}$
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): $43,99 \text{ }^\circ\text{C}$
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 18811 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 550 kg
 Térfogat: 1340 l
 Térfogatsűrűség: $409,04 \text{ kg/m}^3$
 Nedvességtartalom: $54,4 \text{ m/m}\%$
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 15
 Mérés kezdete: 2013.07.31
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 74 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 106 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: felszíni minta

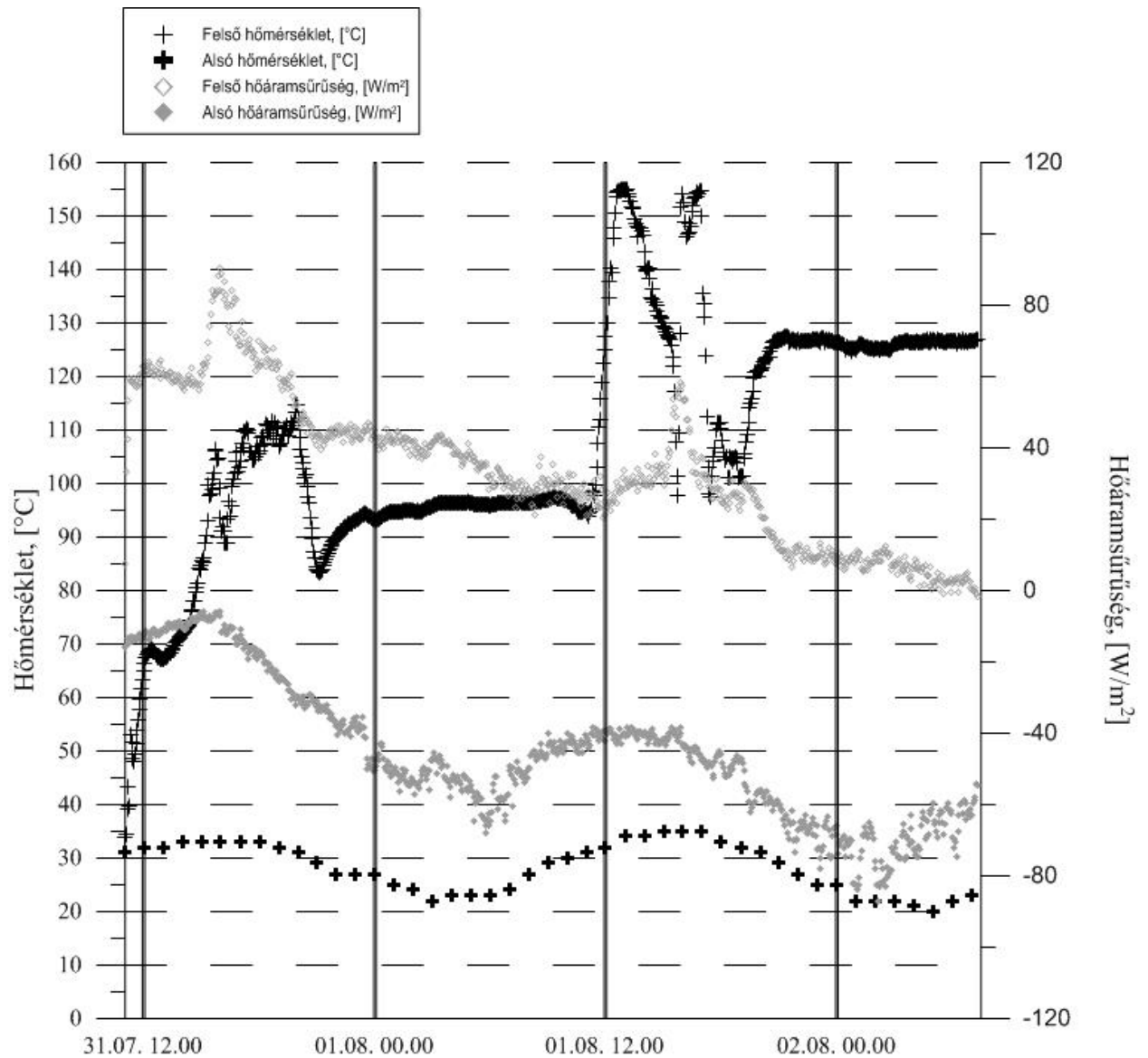
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}}$ 33,84 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}}$ 31,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}}$ 32,42 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}}$ 110,8 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}}$ 71,90 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 39,48 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 26727 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 610 kg
 Térfogat: 1310 l
 Térfogatsűrűség: 464,87 kg/m³
 Nedvességtartalom: 46,4 m/m%
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 16
 Mérés kezdete: 2013.08.02
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 64 W/m^2
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): $102 \text{ }^\circ\text{C}$

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: felszíni minta

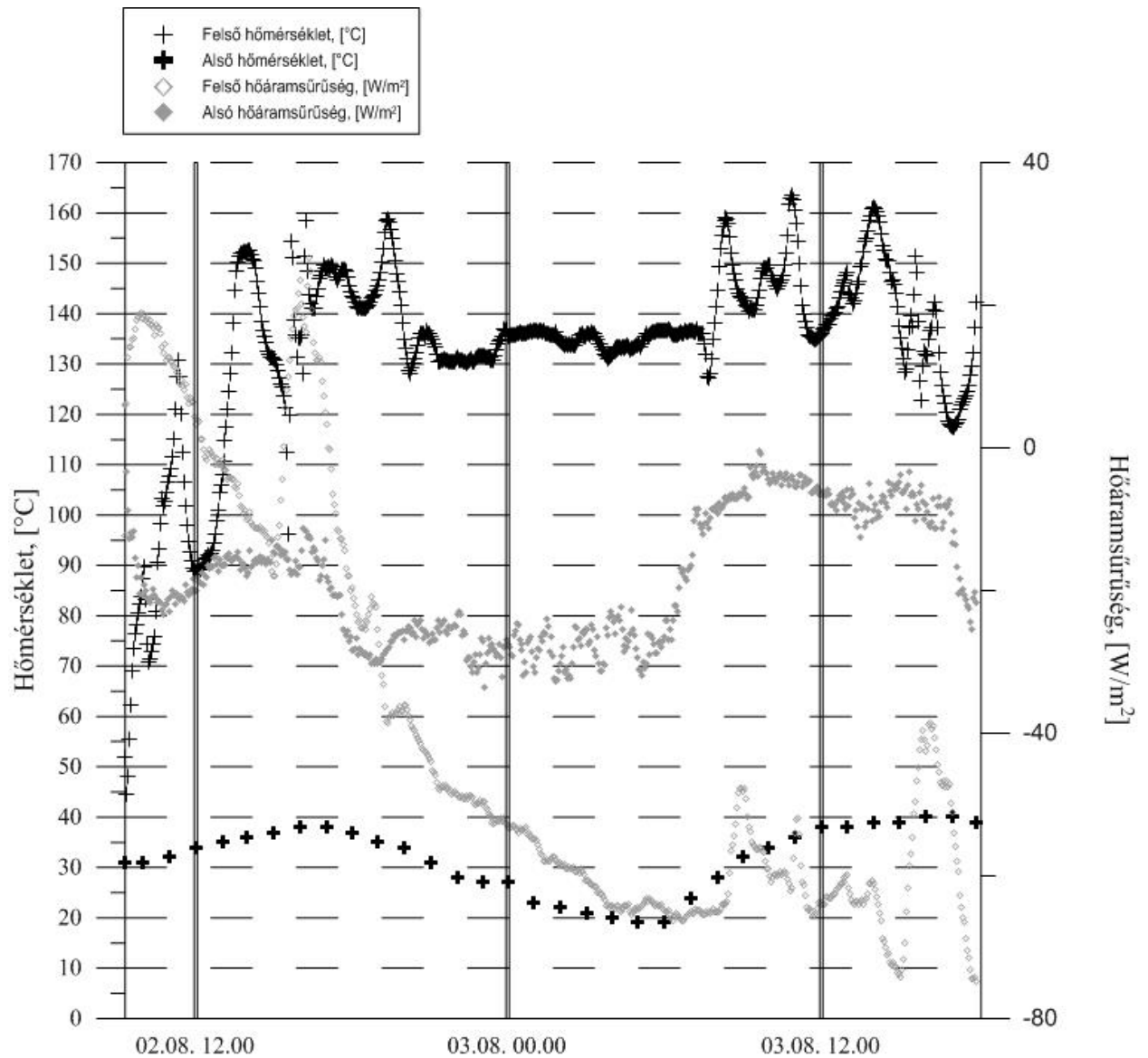
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}}$ $44,54 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}}$ $31,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}}$ $37,77 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}}$ $130,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}}$ $32,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}}$ $81,30 \text{ }^\circ\text{C}$
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): $43,53 \text{ }^\circ\text{C}$
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 7090 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 530 kg
 Térfogat: 1440 l
 Térfogatsűrűség: $367,6 \text{ kg/m}^3$
 Nedvességtartalom: $52,1 \text{ m/m}\%$
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 17
 Mérés kezdete: 2013.08.05
 Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 2-2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 670 kg
 Térfogat: 1310 l
 Térfogatsűrűség: 510,59 kg/m³
 Nedvességtartalom: 17,42 m/m%
 Porozitás: -

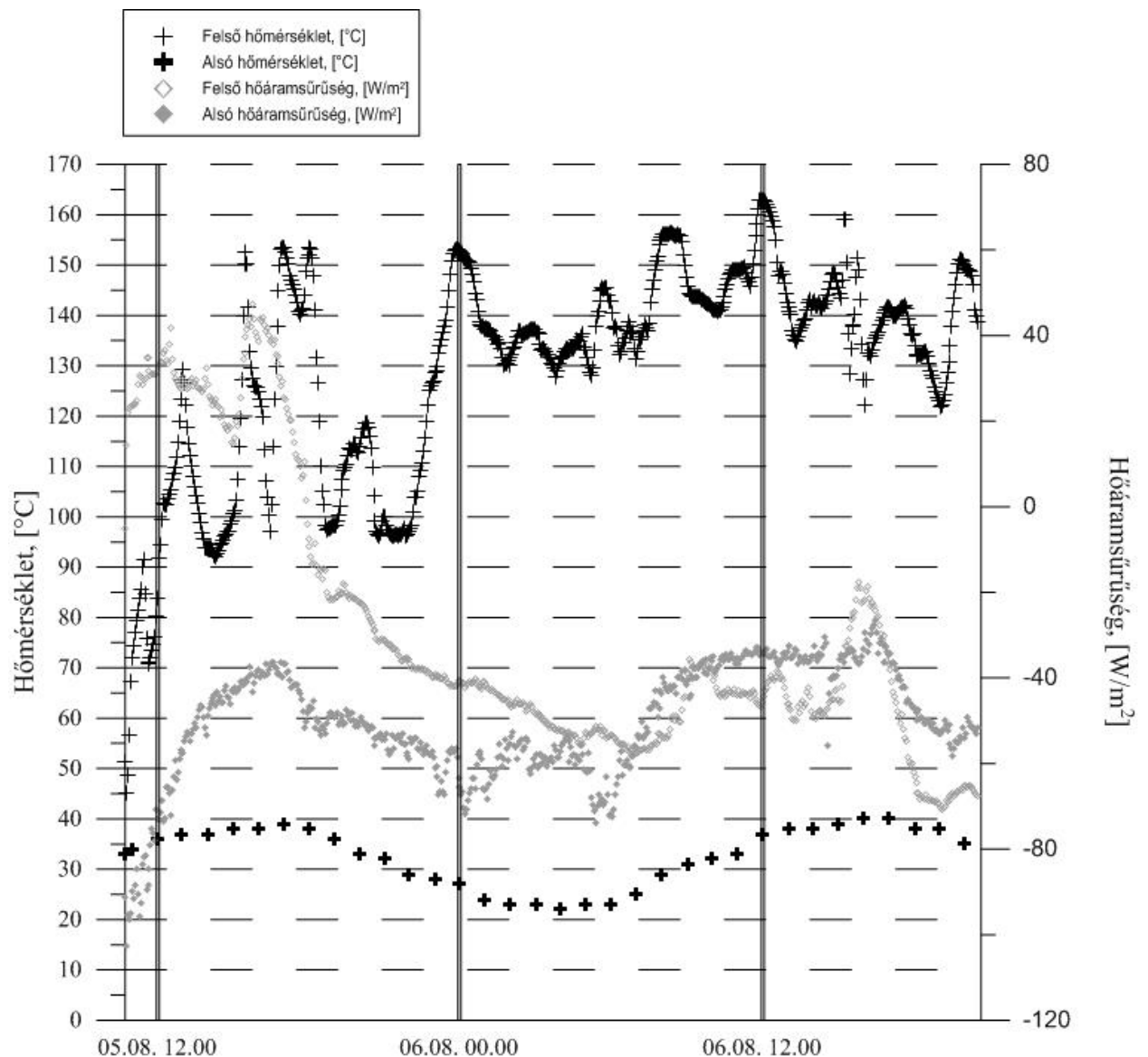
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 104 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 45,14 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 39,07 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 129,2 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 37,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 83,10 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 44,03 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 8096 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 18
 Mérés kezdete: 2013.08.07
 Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 2-2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 670 kg
 Térfogat: 1340 l
 Térfogatsűrűség: 498,39 kg/m³
 Nedvességtartalom: 22,22 m/m%
 Porozitás: -

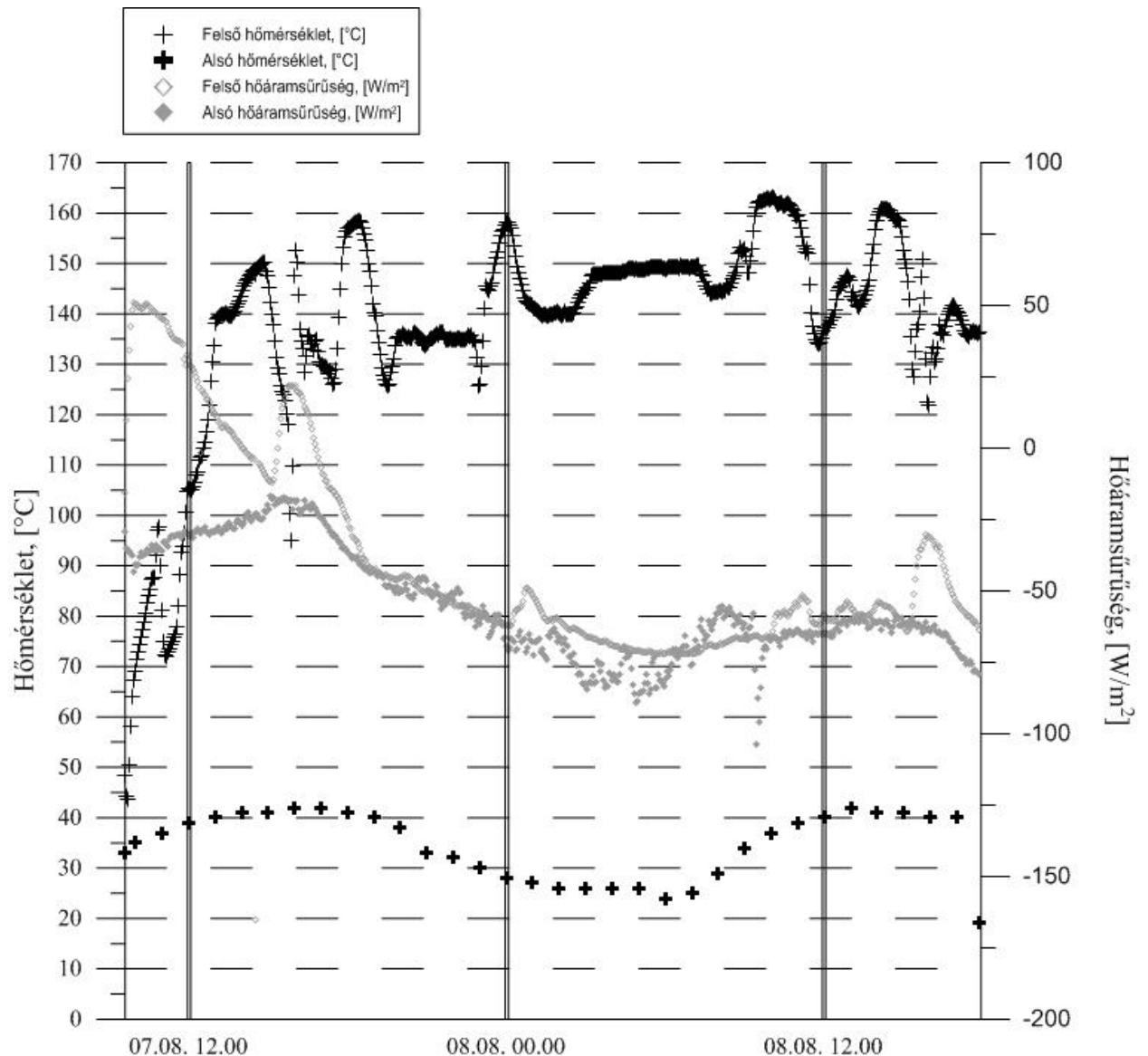
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 81 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 123 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 43,52 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 33,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 38,26 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 148,6 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 41,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 94,80 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 56,54 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 17189 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 19
 Mérés kezdete: 2013.08.09
 Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 2-2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 750 kg
 Térfogat: 1280 l
 Térfogatsűrűség: 586,03 kg/m³
 Nedvességtartalom: 20,2 m/m%
 Porozitás: -

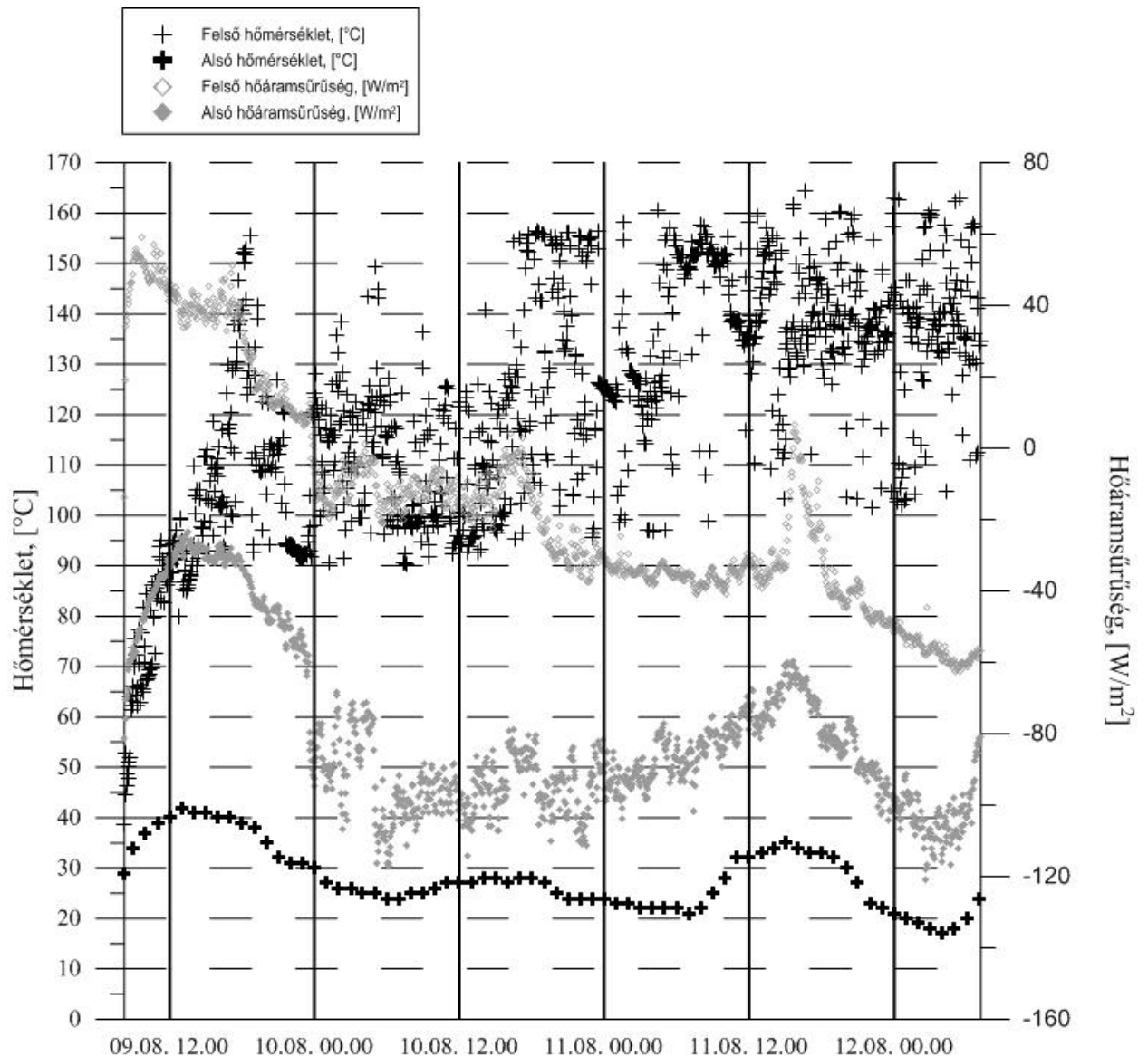
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 100 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 119 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső)}}$: 38,54 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó)}}$: 29,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag)}}$: 33,77 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső)}}$: 150,3 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó)}}$: 39,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag)}}$: 94,65 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 60,88 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 35608 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 20
 Mérés kezdete: 2013.08.14
 Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 2-2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 450 kg
 Térfogat: 1280 l
 Térfogatsűrűség: 351,62 kg/m³
 Nedvességtartalom: 35,3 m/m%
 Porozitás: -

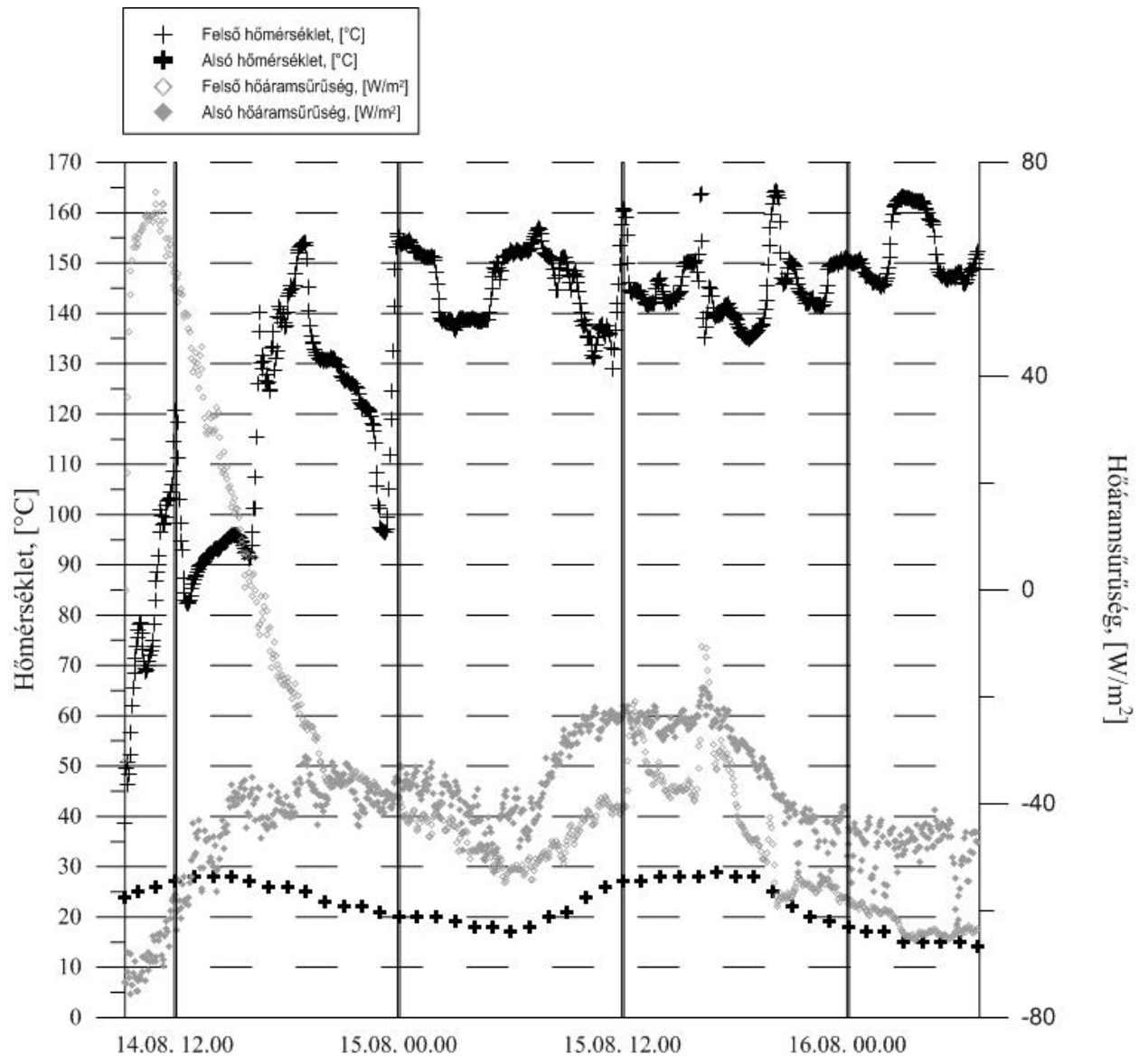
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 130 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 38,60 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 24,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 31,30 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 120,7 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 27,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 73,85 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 42,55 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 9682 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 21
 Mérés kezdete: 2013.08.16
 Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: II. ütem
 Mélység: 2-2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 1050 kg
 Térfogat: 1540 l
 Térfogatsűrűség: 682,26 kg/m³
 Nedvességtartalom: 36,3 m/m%
 Porozitás: -

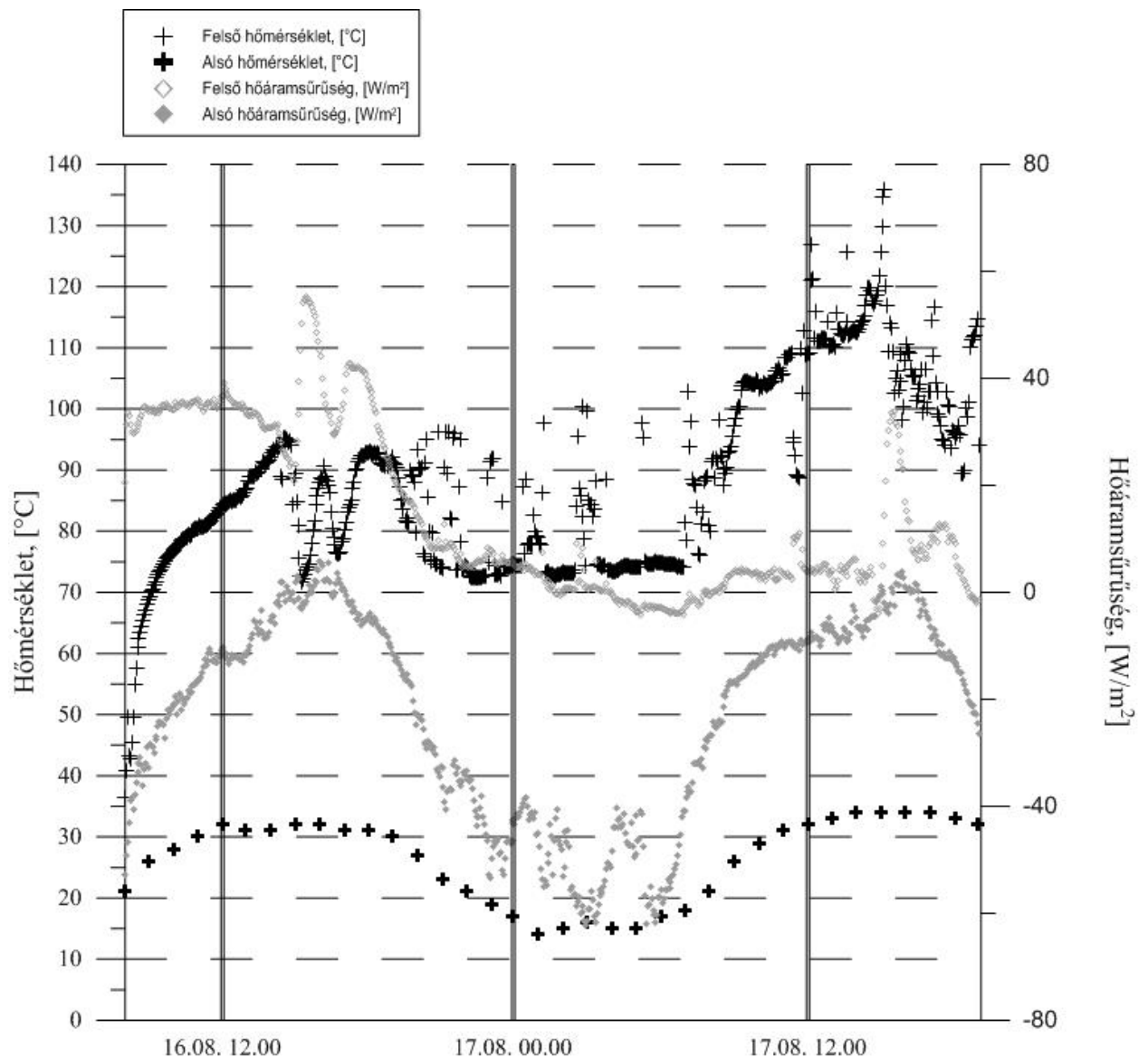
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 49 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 84 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 36,36 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 21,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 28,68 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 94,14 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 31,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 62,57 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 33,89 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 22801 s



Mérés adatai:

Mérés sorszáma: 22
 Mérés kezdete: 2013.08.21
 Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: I. ütem
 Mélység: 2-2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 930 kg
 Térfogat: 1440 l
 Térfogatsűrűség: 645,03 kg/m³
 Nedvességtartalom: 36,3 m/m%
 Porozitás: -

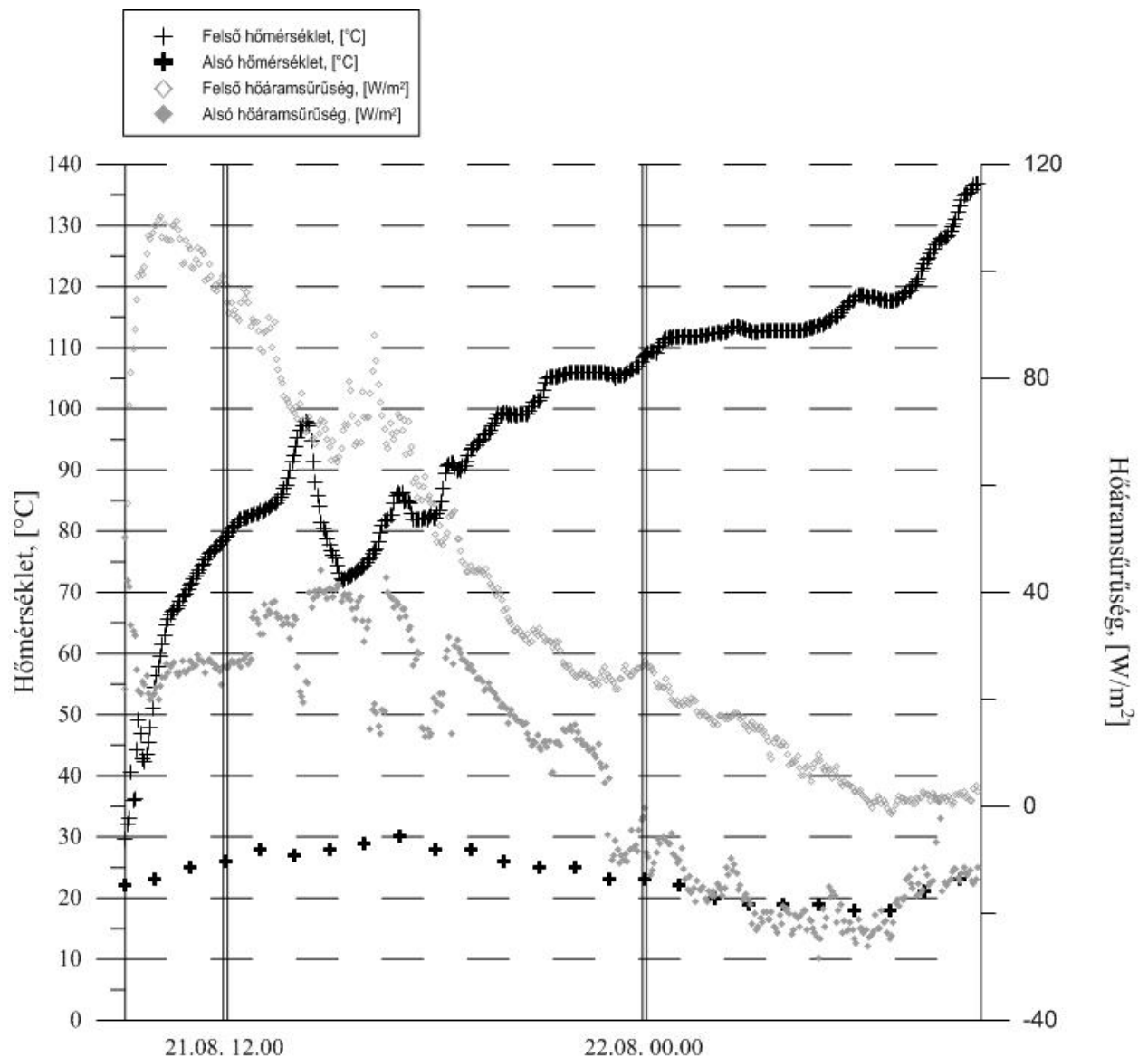
Megjegyzés: nincs

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáram sűrűség különbség): 24 W/m²
 ΔT (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 93 °C

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 29,60 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 22,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 25,80 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 97,90 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 27,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 62,45 °C
 ΔT (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 36,65 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 18566 s



9.3. Hulladékelemzésből vett átlagos összetételi és sűrűségi adatok

Hulladék kategória	2012/I/1 minta (Gyál)		2012/I/2 minta (Nagytarcsa)		2012/I minták (átlagolt)
	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	19,0	96,615	20,8	105,768	19,89354
Papír	13,9	70,682	10,2	51,867	12,06328
Karton	5,5	27,968	6,8	34,578	6,14533
Kompakt	1,7	8,645	2,0	10,170	1,84892
Textil	2,6	13,221	4,0	20,340	3,29497
Higiéniái	8,1	41,189	3,6	18,306	5,86615
Műanyag	20,2	102,717	28,3	143,906	24,22092
Éghető	1,2	6,102	3,6	18,306	2,39138
Üveg	3,2	16,272	3,0	15,255	3,10072
Fém	4,7	23,900	2,1	10,679	3,40933
Éghetetlen	2,0	10,170	3,2	16,272	2,59569
Veszélyes	0,4	2,034	0,4	2,034	0,40000
Finom frakció	17,3	87,971	12,0	61,020	14,66903
Minta össz. tömege [kg]	508,5		501,25		1009,75
Súlyozás aránya [-]	0,50359		0,49641		0,24993

Hulladék kategória	2012/II/1 minta (Budapest-Kőbánya)		2012/II/2 minta (Dunaharaszti)		2012/II minták (átlagolt)
	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	22,6	114,921	25,9	131,702	24,23815
Papír	15,0	76,275	10,8	54,918	12,91508
Karton	5,3	26,951	3,4	17,289	4,35682
Kompakt	2,0	10,170	1,9	9,662	1,95036
Textil	3,1	15,764	3,3	16,781	3,19928
Higiéniái	5,3	26,951	3,7	18,815	4,50574
Műanyag	20,0	101,700	17,6	89,496	18,80862
Éghető	1,3	6,611	4,3	21,866	2,78923
Üveg	3,7	18,815	3,5	17,798	3,60072
Fém	5,0	25,425	2,3	11,696	3,65969
Éghetetlen	2,5	12,713	6,1	31,019	4,28708
Veszélyes	0,8	4,068	1,1	5,594	0,94892
Finom frakció	13,4	68,139	16,2	82,377	14,78995
Minta össz. tömege [kg]	521,6		502,09		1023,69
Súlyozás aránya [-]	0,50953		0,49047		0,25338

	2012/III/1 minta (Tököl)		2012/III/2 minta (Dunaharaszti)		2012/III minták (átlagolt)
Hulladék kategória	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	20,0	101,700	25,5	129,668	22,73026
Papír	14,1	71,699	9,0	45,765	11,56831
Karton	2,9	14,747	4,2	21,357	3,54533
Kompakt	2,0	10,170	2,4	12,204	2,19856
Textil	4,0	20,340	4,5	22,883	4,24821
Higiéniái	4,1	20,849	3,7	18,815	3,90144
Műanyag	15,6	79,326	14,3	72,716	14,95467
Éghető	2,5	12,713	2,9	14,747	2,69856
Üveg	5,9	30,002	2,5	12,713	4,21221
Fém	4,3	21,866	3,6	18,306	3,95251
Éghetetlen	6,1	31,019	5,5	27,968	5,80215
Veszélyes	1,2	6,102	0,6	3,051	0,90215
Finom frakció	17,3	87,971	21,6	109,836	19,43456
Minta össz. tömege [kg]	500,6		504,85		1005,45
Súlyozás aránya [-]	0,49789		0,50211		0,24887

	2012/IV/1 minta (Gyál)		2012/IV/2 minta (Maglód)		2012/IV minták (átlagolt)
Hulladék kategória	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeghányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	21,0	106,785	18,1	92,039	19,56041
Papír	11,3	57,461	17,0	86,445	14,12954
Karton	2,0	10,170	7,5	38,138	4,73026
Kompakt	2,2	11,187	2,9	14,747	2,54749
Textil	3,2	16,272	4,0	20,340	3,59713
Higiéniái	3,4	17,289	3,1	15,764	3,25108
Műanyag	21,7	110,345	21,7	110,345	21,70000
Éghető	3,8	19,323	4,0	20,340	3,89928
Üveg	3,9	19,832	3,1	15,764	3,50287
Fém	4,7	23,900	2,4	12,204	3,55826
Éghetetlen	8,0	40,680	2,2	11,187	5,12082
Veszélyes	0,6	3,051	0,5	2,543	0,55036
Finom frakció	14,2	72,207	13,4	68,139	13,80287
Minta össz. tömege [kg]	500,2		501,05		1001,25
Súlyozás aránya [-]	0,49958		0,50042		0,24783

	2012 összes minta (átlagolt)		
Hulladék kategória	Súlyozott tömeghányad [m/m%]	Súlyozás aránya [-]	Jellemző sűrűség [kg/dm ³]
Biológiai	21,61778	0,21618	0,70
Papír	12,66800	0,12668	1,10
Karton	4,69442	0,04694	1,10
Kompakt	2,13476	0,02135	1,10
Textil	3,58284	0,03583	0,25
Higiéniai	4,38442	0,04384	1,00
Műanyag	19,91876	0,19919	1,15
Éghető	2,94233	0,02942	1,20
Üveg	3,60368	0,03604	2,70
Fém	3,64486	0,03645	4,00
Éghetetlen	4,44802	0,04448	2,50
Veszélyes	0,70132	0,00701	3,50
Finom frakció	15,67099	0,15671	1,50
Súlyozott átlagsűrűség [kg/dm ³]			1,29687

9.4. Hőmérsékleti adatok a vizsgálat időtartama alatt

	19.jún	20.jún	21.jún	22.jún	23.jún	24.jún	25.jún	26.jún	27.jún	28.jún	29.jún	30.jún
0:00	23	26	26	24	22	20	15	14	13	16	14	14
1:00	22	25	26	23	22	20	15	14	13	15	14	13
2:00	21	24	24	22	21	19	15	13	13	15	14	13
3:00	21	23	24	22	21	19	14	13	12	15	14	14
4:00	20	22	23	21	21	18	14	13	12	15	14	13
5:00	20	23	22	21	20	18	14	13	13	15	14	14
6:00	21	23	22	21	20	18	15	13	12	15	13	14
7:00	24	24	24	22	20	20	15	14	12	14	15	16
8:00	28	27	27	26	20	22	15	14	14	17	17	17
9:00	32	29	30	31	23	23	15	16	14	17	18	20
10:00	31	31	32	28	26	23	15	16	14	20	20	22
11:00	36	34	34	33	28	25	16	18	16	20	22	24
12:00	36	35	34	35	29	26	16	17	17	22	24	25
13:00	36	35	35	36	27	27	16	18	19	23	24	26
14:00	37	36	36	36	27	27	16	18	19	23	23	24
15:00	37	36	36	36	27	27	15	18	20	21	23	23
16:00	37	36	36	35	29	25	16	17	21	16	24	22
17:00	37	36	36	34	28	22	15	17	21	16	25	22
18:00	35	36	35	33	29	18	15	17	20	16	25	22
19:00	36	34	34	32	30	15	15	17	20	16	21	21
20:00	33	32	32	28	26	16	15	16	18	16	20	19
21:00	31	30	30	28	24	16	14	16	17	15	18	18
22:00	28	28	27	22	23	15	14	14	15	15	16	17
23:00	27	27	25	22	22	15	14	14	16	15	14	16

	01.júl	02.júl	03.júl	04.júl	05.júl	06.júl	07.júl	08.júl	09.júl	10.júl
0:00	16	13	15	17	24	22	22	22	22	20
1:00	15	12	15	16	22	22	21	21	21	19
2:00	14	12	14	15	21	21	21	20	20	18
3:00	11	11	13	16	20	20	20	20	19	18
4:00	10	10	13	15	19	19	20	20	16	17
5:00	10	10	12	14	18	19	20	20	17	17
6:00	11	11	12	15	18	19	20	20	18	16
7:00	14	14	15	17	21	21	21	21	21	19
8:00	16	19	20	22	24	24	24	23	23	24
9:00	18	23	24	28	26	28	27	26	26	28
10:00	20	26	27	30	29	29	27	28	28	29
11:00	21	26	29	31	30	30	30	29	28	30
12:00	22	27	29	31	30	32	31	29	30	30
13:00	23	27	30	32	30	32	32	28	31	31
14:00	24	28	30	31	31	31	32	31	31	31
15:00	24	28	30	31	30	34	33	32	31	30
16:00	25	28	30	31	28	32	32	31	30	31
17:00	24	28	30	32	28	32	30	30	30	32
18:00	24	27	28	31	27	28	31	29	29	31
19:00	24	27	29	31	26	28	31	29	28	31
20:00	22	25	27	29	26	26	28	27	28	29
21:00	20	22	24	26	25	25	26	24	25	25
22:00	16	19	19	22	24	24	24	22	22	22
23:00	15	17	18	24	24	23	24	22	20	22

	11.júl	12.júl	13.júl	14.júl	15.júl	16.júl	17.júl	18.júl	19.júl	20.júl
0:00	18	18	18	17	19	17	16	20	20	21
1:00	19	16	18	18	17	16	16	19	20	20
2:00	17	17	17	18	15	16	15	17	20	19
3:00	15	15	17	16	16	15	15	17	20	18
4:00	15	14	17	15	16	14	15	17	20	17
5:00	16	15	16	15	16	15	16	18	19	17
6:00	16	16	15	15	18	16	16	19	20	17
7:00	17	17	18	15	18	17	18	20	21	19
8:00	21	19	20	21	20	19	20	22	22	24
9:00	22	20	21	22	21	21	24	25	23	26
10:00	22	20	23	23	24	22	27	27	25	28
11:00	22	20	24	24	24	24	28	29	25	30
12:00	24	21	24	26	24	25	29	30	27	30
13:00	22	22	25	26	25	25	30	30	19	31
14:00	25	24	25	25	26	26	30	30	31	31
15:00	26	23	24	26	27	27	30	30	32	31
16:00	25	25	24	27	27	28	31	29	32	31
17:00	25	24	24	27	26	28	30	29	31	31
18:00	24	24	24	27	26	27	28	29	31	30
19:00	23	23	23	26	24	25	28	28	30	28
20:00	23	22	22	25	23	25	27	27	28	27
21:00	21	20	20	23	22	23	24	24	26	25
22:00	20	19	18	20	20	19	22	23	24	23
23:00	19	19	17	19	18	16	21	21	22	21

	21.júl	22.júl	23.júl	24.júl	25.júl	26.júl	27.júl	28.júl	29.júl	30.júl	31.júl
0:00	20	20	-	-	20	-	22	25	25	30	23
1:00	19	18	-	-	20	-	21	23	23	28	20
2:00	19	17	-	19	18	-	20	22	22	26	16
3:00	19	14	-	19	16	-	20	21	21	26	16
4:00	18	13	-	18	15	-	19	20	20	24	16
5:00	18	13	-	18	17	-	19	20	20	22	19
6:00	18	14	-	17	17	-	19	19	19	22	17
7:00	18	18	-	20	20	-	21	21	23	21	20
8:00	21	22	-	21	22	-	24	24	30	22	23
9:00	22	23	-	24	24	-	27	27	32	23	25
10:00	24	25	-	26	26	-	27	27	34	25	27
11:00	25	26	-	27	26	30	30	30	35	26	28
12:00	25	28	-	28	27	31	32	32	36	28	29
13:00	26	30	-	30	28	32	34	34	37	25	29
14:00	28	30	-	32	27	33	34	34	37	26	30
15:00	28	30	-	33	27	32	35	35	37	26	30
16:00	29	31	-	34	28	33	35	35	36	27	30
17:00	29	31	-	34	29	33	35	35	35	27	30
18:00	28	30	-	32	29	32	34	34	34	26	30
19:00	28	29	-	31	28	31	34	34	30	25	29
20:00	25	28	-	28	28	29	31	31	28	25	28
21:00	23	25	-	26	24	28	28	28	28	24	26
22:00	21	22	-	22	22	25	27	27	26	24	24
23:00	21	20	-	20	-	23	26	26	24	23	25

	01.aug	02.aug	03.aug	04.aug	05.aug	06.aug	07.aug	08.aug	09.aug	10.aug
0:00	24	22	24	24	23	24	25	25	25	27
1:00	22	19	20	26	23	21	24	25	24	24
2:00	21	19	19	27	25	20	24	23	23	24
3:00	19	19	18	25	25	20	23	20	23	23
4:00	20	18	17	25	24	19	22	20	22	22
5:00	19	17	16	24	23	20	21	21	21	22
6:00	20	19	16	24	22	20	21	21	21	21
7:00	21	20	21	24	24	22	23	23	22	21
8:00	24	24	25	26	26	26	26	27	26	22
9:00	26	28	29	27	28	28	28	30	31	22
10:00	27	28	31	28	30	29	31	32	34	23
11:00	28	29	33	31	31	30	33	34	36	24
12:00	29	31	35	32	33	34	34	36	37	24
13:00	31	32	35	33	34	35	35	37	39	24
14:00	31	33	36	34	34	35	36	38	38	25
15:00	32	34	36	35	35	36	37	38	38	25
16:00	32	35	37	35	35	37	37	39	37	24
17:00	32	35	37	35	36	37	37	39	37	25
18:00	30	34	36	34	35	36	36	38	36	25
19:00	29	32	35	33	33	35	35	37	35	24
20:00	28	31	32	31	30	32	-	35	32	22
21:00	26	28	29	28	29	29	30	30	29	21
22:00	24	25	27	26	26	28	28	29	28	21
23:00	22	24	25	24	25	26	26	26	28	21

	11.aug	12.aug	13.aug	14.aug	15.aug	16.aug	17.aug	18.aug	19.aug	20.aug
0:00	21	18	20	20	17	15	14	17	20	21
1:00	20	17	19	19	17	14	11	16	17	24
2:00	20	16	19	19	17	14	12	14	17	24
3:00	20	15	18	18	16	12	13	13	16	22
4:00	19	14	18	18	15	12	12	13	16	21
5:00	19	15	18	19	15	12	12	12	16	20
6:00	19	17	16	19	14	12	14	12	15	20
7:00	18	21	17	19	15	11	15	13	16	20
8:00	19	26	20	20	17	18	18	19	20	21
9:00	22	28	28	21	18	23	23	27	26	23
10:00	25	29	31	22	21	25	26	29	30	23
11:00	27	30	31	23	23	27	28	31	32	24
12:00	29	32	33	24	24	29	29	32	34	24
13:00	30	31	33	25	24	28	30	33	35	25
14:00	31	31	32	25	25	28	31	34	35	26
15:00	32	32	30	25	25	29	31	34	35	27
16:00	31	32	30	24	25	29	31	34	35	26
17:00	30	31	29	23	26	28	30	32	34	26
18:00	30	30	27	23	25	28	29	32	33	25
19:00	29	27	27	22	25	27	28	31	32	23
20:00	27	24	26	20	22	24	26	27	29	22
21:00	24	22	25	19	19	20	21	23	25	21
22:00	20	22	24	19	17	18	19	22	24	20
23:00	19	20	23	18	16	16	18	20	22	20

	21.aug	22.aug	23.aug	24.aug	25.aug
0:00	20	20	20	21	21
1:00	19	19	19	21	20
2:00	18	17	17	20	20
3:00	18	16	17	18	19
4:00	18	16	16	17	19
5:00	18	16	16	17	18
6:00	18	15	15	17	16
7:00	17	15	15	16	17
8:00	17	18	17	16	19
9:00	19	20	19	19	21
10:00	20	22	23	22	23
11:00	22	25	25	24	25
12:00	23	25	26	24	26
13:00	25	26	28	26	26
14:00	24	28	29	26	26
15:00	25	29	29	25	27
16:00	26	28	28	26	26
17:00	27	27	28	25	26
18:00	25	27	27	24	25
19:00	25	26	27	23	22
20:00	23	24	24	23	20
21:00	22	22	22	22	20
22:00	22	20	22	21	18
23:00	20	19	22	21	18