

**A kommunális hulladékok hőtani jellemzőinek
vizsgálata a bomlási hő kinyerése érdekében.**

SZAKDOLGOZAT

ÍRTA:

Kardos Béla

szigorló környezetmérnök (MSc) hallgató

Konzulens:

Dr. Fajtli József, egyetemi docens, ME-NyKE Int.

MISKOLC, 2013.

SZAKDOLGOZAT-FELADAT

Kardos Béla

szigorló környezetmérnök (MSc) hallgató részére

Feladat: A kommunális hulladékok hőtani jellemzőinek vizsgálata a bomlási hő kinyerése érdekében.

Az A.S.A. Magyarország Kft. végzi a gyáli kommunális hulladéklerakó működtetését. A DepóniaHő Projekt célja a lerakóban elhelyezett anyagban a bomlási folyamatok során keletkező és az anyagtömeg által tárolt hő egy részének hőcserélővel való kinyerési lehetőségeinek a vizsgálata. A projekt munka része a kommunális hulladékok fizikai, elsősorban hőtani (hővezetés, fajhő, hődiffuzivitás) jellemzőinek elméleti és kísérleti vizsgálata.

Fentiekkel összefüggésben a munka során az alábbi feladatokat kell megoldani:

- Szakirodalmi áttekintés elkészítése - a többfázisú diszperz rendszerek fizikai (hőtani) jellemzőivel kapcsolatban - ill. ezek hatása a lerakóban lejátszódó folyamatokra témakörökben
- Közreműködés a hővezetésmérő berendezés fejlesztésében
- Szisztematikus kísérletek elvégzése a gyáli lerakón
- Az eredmények kiértékelése, konklúzió levonása

A diplomaterv beadás határideje: 2014. május 9.

Konzulensek: Dr. Faitli József, egyetemi docens, ME-NyKE Int.

Miskolc, 2013. május. 14.

(Dr. Faitli József)
intézetigazgató egyetemi docens

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	4
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. Talajok hőtani jellemzői	6
2.1.1. <i>Hőkapacitás</i>	7
2.1.2. <i>Hővezető-képesség</i>	8
2.1.3. <i>Hődiffuzivitás</i>	9
2.2. Hőterjedés a talajokban	11
2.2.1. <i>Hősugárzás</i>	11
2.2.2. <i>Hővezetés</i>	11
2.2.3. <i>Hőáramlás</i>	12
2.3. Hőterjedés a porózus közegben	12
2.4. Hőtermelődés a települési szilárd hulladék lerakókban	15
2.5. Hulladékok fizikai-mechanikai paramétereinek meghatározása	16
2.6. A települési szilárd hulladék összetétele	18
2.7. A gyáli hulladéklerakó bemutatása	19
3. MÉRŐBERENDEZÉS FEJLESZTÉSE	21
4. MÉRÉSEK	26
5. KIÉRTÉKELÉS	27
5.1. Szilárd fázis fő jellemzőinek becslése	29
5.2. Kiértékelési módszer kidolgozása	31
5.3. Konklúzió	37
6. ÖSSZEFOGLALÁS	41
7. IRODALOMJEGYZÉK	43
8. MELLÉKLETEK	45
8.1. Hulladék átlagos összetétele	45
8.2. A hulladék szilárd komponenseinek eredő fajhője illetve hővezetési tényezője	48
8.3. A vizsgált hulladék hőtani tulajdonságainak mérési eredményei	50
8.4. Meteorológiai adatok a vizsgálatok időtartama alatt	72

ABSTRACT

Nowadays, the energy efficiency as well as the consistent usage of the environment are emphasised during the designing and usage of diverse technologies. The constant development of already existing technologies is indispensable so as to have environmental sustainability. The project using the deposit heat was also inspired by this approach. As it is known, a huge amount of waste material is deposited in Hungary although landfilling is the final step of waste management. The waste materials' conversion from the premier steps until the conclusion is an astounding transformation procedure. The municipal solid waste material consists of organic substituents producing appreciable amount of decomposition heat as well as biogas and leachate during its dissolution. Certainly the spawned heat affects the entire landfill but its most significant impact is on biochemical processes producing biogas. What is more, effects on hydraulic and mechanical properties, on the isolation system and on the surrounding areas are also considerable.

The measurements of the project called as "Development of technology using deposit heat" was done in the municipal waste landfill park situated in Gyál owned by the .A.S.A Hungary Kft. The entire project was evolved by the University of Miskolc with the assistance of the Budapest University of Economics and Technology and the Hungarian Academy of Science by its Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry. The aim of the communal landfill primarily is the retrieval of the landfill gas, utilization of the heat residing in the material bulk mass plays a subsidiary role. Nevertheless there is a tremendous intention to extend the lifetime of the underlay isolation system during the operation of the landfill itself.

For the utilisation of communal waste landfill the technology already exists but yet none of the scientific researches dealt with the precise phrasing and utilisation of the decomposition heat stored by the bulk mass. The material mass' temperature can rise up even to 70 degrees that indicates the sizeable quantity of energy that can be retrieved. It is a must to be aware of the decomposition processes inside of the landfill concerning the heat extraction potential as the total thermal quantity can not be extracted due to the fact that under particular temperature the thermal and biogas producing biochemical reactions halt. For the designing of the appropriate technology providing the heat extraction the knowledge of thermal and mechanical parameters of debris is necessary.

The Institute of Raw Material Preparation and Environmental Processing at the University of Miskolc developed an experimental equipment for the measurement of the proper parameters. A systematic test series had been carried out during the summer of 2013 including 22 measurements that examined wastes from various depths of sampling and age. This process enabled us to determine the communal waste materials' thermal properties. Due to its results, a pipe-work and a heat-exchanger system can be designed that may contribute to the optimal refrigeration of the deposit. With the required diligent attention, cooling under the biochemical reactions' can be avoided so as to retrieve the released heat energy.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban az energia hatékonyság, valamint a környezetünk kíméletes használata egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a különböző technológiák megtervezése, valamint használata során. A meglévő technológiák fejlesztése elengedhetetlen annak érdekében, hogy a környezetünket fenntartható módon használjuk. A Depónia hő hasznosítási projektet is ez a szemléletmód keretei között került kivitelezésre. Annak ellenére, hogy a hulladékok kezelésének és ártalmatlanításának hierarchiájában az utolsó a hulladékok lerakásra, tetemes mennyiség kerül deponálásra hazánkban. A települési szilárd hulladék a hulladéklerakóban történő elhelyezéstől a végső lezárásig jelentős átalakuláson megy keresztül. A TSH-ban jelentős mennyiségben található szerves anyag, amely bomlása során nagy mennyiségű hőt termel. Emellett, depónia gáz valamint csurgalékvíz keletkezik. A keletkezett hő természetesen befolyással van az egész hulladéklerakóra, azonban legnagyobb hatása a depónia gázt termelő biokémiai folyamatokra van. Továbbá jelentős hatást fejt ki a depónia hidraulikai és mechanikai sajátosságaira, valamint a szigetelőrendszerre és a környező területekre egyaránt.

Méréseink a *"Depónia hő hasznosítási technológia kidolgozása"* című projekt keretein belül végeztük az .A.S.A. Magyarország Kft. gyáli telephelyén. A teljes projekt kivitelezésében a Miskolci Egyetem mellett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, és a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézete vesznek részt. A gyáli hulladéklerakó működtetése során az .A.S.A. Magyarország Kft. elsődleges célja a depónia gáz kinyerése, az anyag tömegében rejlő hő hasznosítása másodlagos szerepet kap. Mindemellett törekednek a hulladéklerakó üzemeltetése során arra, hogy az aljzatszigetelő rendszer élettartama minél nagyobb legyen.

A depónia gáz kinyerésére és hasznosítására számos technológia létezik, azonban a depónia tömegében felszabaduló hő pontos meghatározásával, és annak kinyerésével mindezidáig egyetlen tudományos projekt sem foglalkozott. A lerakott hulladék hőmérséklete akár a 70°C-ot is elérheti, ami jelzi, hogy nagy mennyiségű energiát lehet belőle kinyerni. A lejátszódó bomlási folyamatok ismeretében ügyelni kell arra, hogy nem lehet a teljes hőmennyiséget kinyerni, mivel adott hőmérséklet alatt leállnak a hőt, valamint a depónia gázt termelő biokémiai reakciók. A hő kinyerésére szolgáló megfelelő technológia megtervezéséhez szükséges a hulladéknak különböző hőtani, valamint mechanikai paramétereit megismerni.

A Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete egy mérőberendezést fejlesztett ki a szükséges paraméterek meghatározásához. 2013 nyarán egy 22 mérésből álló méréssorozatot hajtottunk végre, amely során különböző mélységből származó, valamint különböző korú hulladékokat vizsgáltunk. A méréssorozatnak két elkülönülő szériája volt, az első mérési sorozatot én végeztem el, melyben 440 W-os fűtőteljesítménnyel üzemelt a mérőberendezés, a mérések második szériáját Romenda Roland Róbert végezte el, 1760 W-os fűtőteljesítmény mellett. Szakirodalmi adatok alapján a szabványos összetétel függvényében becslést adtunk a hőtani paraméterek elméleti értékére, amelyeket összevetettünk a saját méréseinkkel. A folyamat eredményeként meghatározhattuk a települési szilárd hulladékok fajhőjét, a hővezetési tényezőjét, valamint a hődiffuzivitását. A megismert paraméterek alapján megtervezhető egy olyan csőhálózat, valamint a hozzá tartozó hőcserélő rendszer, amely segítségével optimális mértékben lehet hűteni a depóniát. Ügyelve arra, hogy ne csökkenjen a hőmérséklet a lejátszódó biokémiai folyamatok tűréshatára alá, kinyerhető a felszabaduló hőenergia.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalomban körültekintve megállapítható, hogy a környezettudatos életmód megjelenése óta foglalkozik a tudomány a hulladéklerakók környezettudatos használatával. Amennyiben nem megfelelően üzemeltetik a hulladéklerakókat nagymértékű terhelésnek tehetik ki a közvetlen környezetet. Környezetterhelésnek tekinthetjük a szél által elhordott hulladékot, ennek megakadályozására különböző műtárgyakat, növényi védősávokat alakítanak ki. Környezetterhelésnek tekinthetjük továbbá a csurgalékvíz talajba való bejutását, valamint a hulladéklerakóban keletkező depóniagáz légtérbe, illetve talajba való kijutását is. Számos tanulmány foglalkozik a keletkező csurgalékvíz összetételével, valamint annak kezelésével. Hasonló a helyzet a keletkező depóniagázok elemzésével, kinyerésével valamint hasznosításával. Az a szemléletmód miszerint a környezet kíméletes használata elsődleges fontosságú megalapozta ezen kérdéskörök átfogó vizsgálatát. Az elmúlt években ez kiegészült az energiahatékonyságra való törekvéssel. A hulladék lebomlása során keletkező nagy mennyiségű hőenergia vizsgálatával, annak térbeli, valamint időbeli eloszlásával kapcsolatban korlátozott mennyiségű szakirodalmi adat található. A hosszú távú termikus viszonyok alakulásáról, valamint az éghajlat és az időjárás befolyásoló hatásáról szintén hiányos ismeretanyaggal találkozhatunk. A talajok vizsgálata, azon belül is a talajok hőtani vizsgálata nagy múltra visszatekintő tudományterület, és párhuzamot lehet vonni a talajokban megfigyelt hőtani jellemzők, valamint a hulladéklerakók hőtani jellemzői között.

2.1. Talajok hőtani jellemzői

A talaj a földkéreg legfelső szilárd burka, egy négyfázisú polidiszperz rendszer. A talaj alapvető tulajdonsága a termékenység, ezáltal termőhelyként szolgál a növényvilág számára, továbbá élőhelyként az élővilág számára. Hőtani szempontból megközelítve a talajokat három mérőszámmal jellemezhetőek. Ez a három paraméter a fajlagos hőkapacitás - más néven a fajhő -, a hővezető-képesség, valamint a hőmérséklet-vezető képesség vagyis a hődiffuzivitás. Ezek ismeretében a talajok hőtani mivolta, valamint a talajok hővel szemben tanúsított viselkedése tökéletesen leírható (STEFANOVITS ÉS SZERZŐTÁRSAI, 1999).

2.1.1. Hőkapacitás

A hőkapacitás (jele: C) – korábbi nevén fajhő – az egységnyi térfogatú és egységnyi tömegű talaj hőmérsékletének 1 °C-al történő megváltoztatásához szükséges hőmennyiség. Attól függően, hogy mire szeretnénk vonatkoztatni, – térfogategységre vagy egységnyi tömegre – megkülönböztetünk térfogati (C_v) és fajlagos (C_m) hőkapacitást, amelyeknek dimenziói rendre $J\ m^{-3}\ ^\circ C^{-1}$, illetve $J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$. A talaj sűrűségének ismeretében egyik a másikba átváltható a $C_v = C_m \times \rho$ összefüggéssel. A talajt alkotó legfontosabb elemek fajlagos hőkapacitását az 1.táblázat mutatja be (MARSCHALL ÉS HOLMES, 1979).

	Fajlagos hőkapacitás	Fajlagos hőkapacitás	Sűrűség	Hővezető-képesség
	C_m	C_v	ρ_{sz}	λ
	$kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$	$MJ\ m^{-3}\ K^{-1}$	$Mg\ m^{-3}$	$J\ s^{-1}\ m^{-1}\ K^{-1}, W\ m^{-1}\ K^{-1}$
Levegő (20 °C)	1	0,0012	0,0012	0,025
Víz	4,2	4,2	1	0,6
Jég (0 °C)	2,1	1,9	0,9	2,2
Kvarc	0,76	2	2,65	8,8
Agyagásványok	0,76	2	2,65	2,9
Szerves anyagok	2,5	2,7	1,1	0,25

1. táblázat: A talaj alkotórészeinek hőtani jellemzői (MARSCHALL ÉS HOLMES, 1979)

A táblázatból kitűnik, hogy a szilárd fázist alkotó anyagok hőkapacitásában nincs nagyságrendi különbség. Továbbá megfigyelhetjük, hogy a folyékony halmazállapotban lévő víz fajhője a legnagyobb. Éppen ezért a szerkezetes talajok hőkapacitását elsősorban a víztartalom, illetve a víz/levegő arány befolyásolja, mivel a szilárd alkotófázisokhoz viszonyítva a víznek nagyobb a hőkapacitása, míg a levegő fajhője nagyságrendekkel kisebb. Megállapítható, hogy minél tömörebb és minél nedvesebb a talaj, annál nagyobb a hőkapacitása. A nagy hőkapacitású talaj lassabban melegszik fel, illetve hűl le ezáltal kisebb a hőingadozása, mint az alacsony hőkapacitású talajoké. A talajt felépítő anyagok különböző arányokban lehetnek jelen. A levegő, a víz, a szerves és az ásványi anyag tartalom különböző arányai miatt nagyon

sokféle talajjal találkozhatunk. Tehát fajlagos hőkapacitás tekintetében is a talajok széles tartományával találkozhatunk (MARSCHALL ÉS HOLMES, 1979).

2.1.2. Hővezető-képesség

A hővezető-képesség (jele: λ) mértéke az a hőmennyiség, ami egységnyi hőmérsékleti gradiens (centiméterenkénti 1 °C hőmérséklet különbség) esetén, a talaj egységnyi keresztmetszetű (például 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. táblázatban jól látható, hogy a talaj alkotórészeinek hővezető-képessége, az ásványi részecskék, víz, levegő sorrendben egy-egy nagyságrenddel csökken. A humusz hővezető-képessége szintén egy nagyságrenddel kisebb, mint az ásványi alkotórészeké. A talajlevegő 116-szor rosszabb hővezető, mint az agyagásványok. Megállapítható tehát, hogy a térfogattömeg és a nedvességtartalom növekedésével nő a talaj hővezető-képessége, míg a talajlevegő-tartalom növekedésével csökken a talaj hővezető-képessége. (MARSCHALL ÉS HOLMES, 1979).

A földkéregnek ezen legfelső laza rétege, gyenge hővezető-képességének köszönhetően az alatta lévő rétegeket megóvjaa a felszín szélsőséges hőingadozásaitól, ezáltal egyenletesen alacsony hőmérsékletet biztosít. Nagyon alacsony hővezető-képességű talajok a magas humusztartalommal rendelkező lecsapolt láptalajok, valamint minden olyan talaj amelynek magas a porozitása és a szerves anyag tartalma, továbbá kicsi a nedvességtartalma (MARSCHALL ÉS HOLMES, 1979).

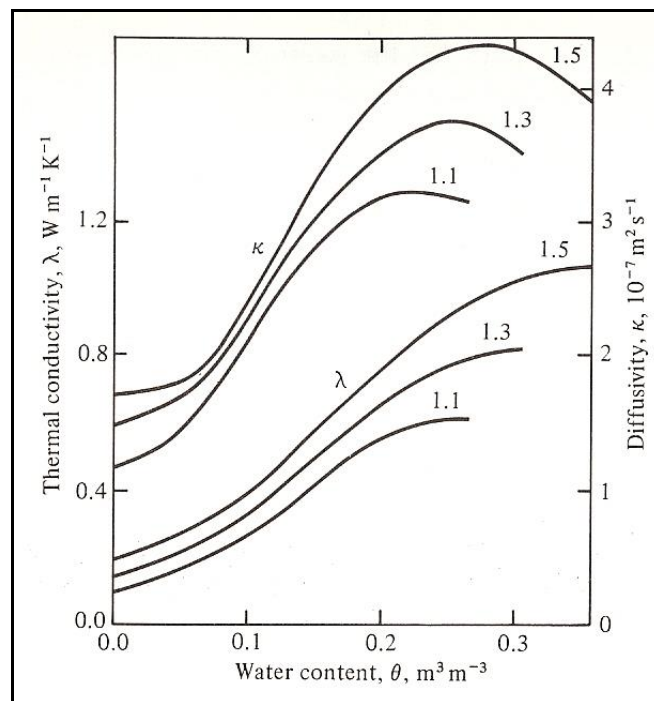
Az előzőekben leírtakból levonható a következtetés, hogy a talajok hővezető-képességét erőteljesen befolyásolja azok összetétele, a különböző alkotórészek aránya. Különösen a talajlevegő van rossz hatással a hővezető-képességre, mivel csökkenti a szilárd- és folyadékfázis hatékonyságát. A három fázis közül a szilárd talajalkotóknak van a legnagyobb hővezető-képessége, ezáltal ha a talaj térfogattömege magasabb, kedvezőbb lesz a hővezető-képessége, amit az 1. ábra mutat be egy vályogtalaj esetében. A térfogattömeg növekedése csökkenti a talajban lévő levegő mennyiségét, ezáltal szorosabb kapcsolat alakul ki a szilárd szemcsék között. A talaj víztartalma

azáltal javítja a hővezető-képességet, hogy a pórusokban lévő talajlevegőt kiszorítja, ezáltal hidat képez a szilárd alkotórészek között.

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

$$Q = -\lambda * \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

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



1. ábra: A nedvességtartalom, valamint a térfogattömeg hatása a hővezető-képességre (λ) és a hődiffuzivitásra (κ) vályogtalajban. A görbéken feltüntetett érték a talaj sűrűsége $g cm^{-3}$ dimenzióban kifejezve (MARSCHALL ÉS HOLMES, 1979).

2.1.3. Hődiffuzivitás

A hőmérséklet-vezető képesség más néven hődiffuzivitás (jele: κ) megadja, hogy egységnyi hőmérsékleti gradiens (1 cm távolságra lévő pontok közötti $1 ^\circ C$

hőmérséklet-különbség) hatására időegység alatt hány °C-al változik meg a talaj hőmérséklete. Mértékegysége: $m^2 s^{-1}$. A hődiffuzivitás kifejezhető, mint a hővezető-képesség (λ) és a fajlagos hőkapacitás (C_m) hányadosa:

$$\kappa = \frac{\lambda}{C_m * \rho}.$$

A víztartalom és a térfogattömeg hatását a hődiffuzivitásra szintén az 1. ábra mutatja be. A hődiffuzivitás – a fajlagos hőkapacitással való fordított arányossága miatt – nem nő folyamatosan a víztartalom függvényében úgy, mint a hővezető-képesség, 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 a hődiffuzivitás görbéje, majd a maximum elérése után ismét csökken a κ értéke (1. ábra). A legnagyobb hődiffuzivitása tehát a közepesen nedves talajnak van. A felmelegedés és az átfagyás az ilyen talajokban terjed a legmélyebbre.

Mivel a hővezető-képesség (λ) mérése körülményes, gyakran a hőmérséklet-vezető képességet (κ) határozzák meg. Meghatározásakor a talaj felmelegedését mérik, a benne elhelyezett hőforrástól bizonyos távolságban. Az észlelt hőmérsékletváltozásokkal nyomon lehet követni, és a hőmérsékletvezető képességet a következő összefüggés jellemzi:

$$\kappa = \frac{x^2}{2 * t_m},$$

ahol: x = a hőforrás távolsága a hőmérsékletmérés helyétől, cm-ben kifejezve; t_m = a hőforrás behelyezésétől a maximális hőmérséklet eléréséig eltelt idő, sec-ban kifejezve. A hővezető-képességet ezután az alábbi összefüggést felhasználva határozhatjuk meg (KOLYASEV ÉS GUPALO, 1958):

$$\lambda = \kappa * C_m * \rho.$$

2.2. Hőterjedés a talajokban

A hőközlés folyamatát hőterjedésnek nevezzük, amelynek három formája létezik: hősugárzás, hővezetés és hőáramlás más néven konvekció. A hő terjedésében alapvetően mindhárom folyamat részt vesz, de a három közül általában az egyiknek domináns szerep jut. A talajokban történő hőterjedési folyamatokban a hőáramlásé a domináns szerep.

2.2.1. Hősugárzás

A hősugárzás a hő terjedésének az a formája amikor az energia a közegen, például a levegőn keresztül rendkívül nagy sebességgel terjed anélkül, hogy magát a közegét jelentősen felmelegítené. A hősugarak melegítő hatása akkor érvényesül, amikor olyan testnek ütköznek, amely elnyelni képes azokat. A véges hőmérsékletű testek által kibocsátott elektromágneses sugárzás intenzitása - vagyis a kibocsátott elektromos energia - arányos a test hőmérsékletének negyedik hatványával. Ez a sugárzás jelentős szerepet kap a talajfelszín hőforgalmának lebonyolításában. A felszínre érkező sugárzással alapvetően két dolog történhet: elnyeli - abszorbeálja - a talaj; vagy visszaveri a sugárzást, ez az albedó. Az elnyelt sugárzás mértékét az abszorpciós hányados (jele: α) adja meg:

$$\alpha = \text{elnyelt sugárzás} / \text{összes sugárzás.}$$

Talajok esetében ez az érték 0,5 és 0,8 között változik. Értéke függ a talaj színétől - a fekete szín több sugárzást képes elnyelni -, a felszín érdességétől - érdesebb felszín szintén több sugárzást képes elnyelni -, valamint a növényborítottságtól (STEFANOVITS ÉS SZERZŐTÁRSAI, 1999).

2.2.2. Hővezetés

A hővezetés a hőterjedés olyan formája amikor a részecskék makroszkópicusan nem mozdulnak el egyensúlyi helyzetükből. Hőenergia hatására a részecskék rezgőmozgása felgyorsul, majd továbbadódik a rezgés, ezáltal terjed a hőenergia. Hajtóereje minden esetben a hőmérsékleti különbség kialakulása, majd a magasabb

hőmérsékletű hely felől az energiaáramlás megindulása az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé. A talajban a jó hővezető komponensek a szilárd ásványos fázis, valamint a víz. Mivel a részecskék közvetlenül át tudják adni rezgőmozgásukat a szomszédos részecskének. A talaj alkotórészei közül legrosszabb hővezető a gázfázis, mivel a részecskéknél nincs közvetlen kapcsolata egymással, csak ütközéssel tudják átadni egymásnak a rezgőmozgást. Tehát a hővezetés mértéke annál nagyobb minél nagyobb részben alkotják a talajt jó hővezető komponensek, a szilárd ásványos fázis, valamint víz. Azonban ha a talaj nedvességtartalma meghalad egy bizonyos határt akkor gátolja a talaj felmelegedését a magas fajhője miatt (STEFANOVITS ÉS SZERZŐTÁRSAI, 1999).

2.2.3. Hőáramlás

A hőterjedés az energia azon terjedési formája amikor a részecskék a térben rendezetten elmozdulnak, áramlani kezdenek. Tehát a hőáramlás vagy más néven a konvekció során az anyag elmozdul, a melegebb tartomány felől a hidegebb felé. A konvekció csak folyadékokban illetve gázokban alakulhat ki. A talajokban általában a víz révén valósul meg a hőáramlás, azonban száraz talajokban a talajlevegő is áramlásnak indulhat a hőmérsékletkülönbségek hatására. A talaj víz fázisának halmazállapot változásai is jelentős hőáramlást okoznak. Talajokban a folyékony állapotban lévő víz fázis jelentős hőszállító, lévén magas a fajlagos hőkapacitása. A kisebb fajhővel rendelkező vízgőz pedig a kondenzációs valamint a párolgási hője révén játszik jelentős szerepet a talaj hő-háztartásában (STEFANOVITS ÉS SZERZŐTÁRSAI, 1999).

A szilárd részecskék és a folyékony illetve gáz fázis határán történő hőterjedés hőátadásnak nevezzük. Ez a folyamat nem a hőterjedés egy külön formája, hanem a hőáramlás, a hővezetés és a hőszugárzás együttes megvalósulása mellett jelentkező hőterjedés. Folyadék illetve gáz fázisban, magában az áramló közegben a hővezetés elhanyagolható mértékű a hőáramláshoz képest. Azonban ha szilárd fázisú közeggel érintkezik, a határfelületen egy vékony rétegben domináns szerephez jut a hővezetés. (GRÓF, 1999)

2.3. Hőterjedés porózus közegben

A hő terjedése a különböző porózus közegekben több tudományterületen is nagy jelentőséggel bír (KAVIANY, 1995). Porózus közegek például a tömörített ágyak,

amelyek használata széles körben elterjedt a különböző ipari eszközökben, például hőcserélőkben, szárítókban, abszorberekben, kémiai reaktorokban, kalcinálókban, és kemencékben, éppen ezért vizsgálatukkal több tanulmány is foglalkozik. A különböző porózus közegek mint például szemcsés anyagok, kompozitok, vagy a tömörített ágyak effektív hővezetési tényezőjének meghatározása fontos az ipari berendezések megtervezésénél (KANDULA, 2011).

A porózus közegek felépítésüket tekintve nagyon összetettek, a pórusoknak más és más lehet a mérete, és a geometriai felépítése. A hőterjedés előrejelzéséhez ismerni kell a heterogén porózus közeg különböző paramétereit: a részecskék méreteit, alakjukat, eloszlásukat, és a részecskék közötti kölcsönhatásokat. A véletlenszerűen tömörödött rendszereknél - amilyen a hulladék is - ezeknek az adatoknak a meghatározása nagyon bonyolult (KANDULA, 2011).

A porózus közeg effektív hővezetési tényezőjének meghatározására többféle egyszerűsített elméleti modell létezik, amelyek egyszerű geometriával és egyszerű struktúrával dolgoznak. Általánosságban elmondható, hogy két olyan megközelítés létezik, amely egyszerűsítő következtetéseket vesz figyelembe. Az egyik megközelítés a Fourier törvény modell, amelyben az egyszerűsített geometriát a Laplace egyenlet megoldása alapján használja. A másik megközelítés az Ohm törvényét felhasználó modellek, melyek az egydimenziós hőterjedés feltevésén alapulnak. A porózus közeg hővezetését empirikus korrelációk segítségével KAVIANY (1995) vizsgálta (KANDULA, 2011).

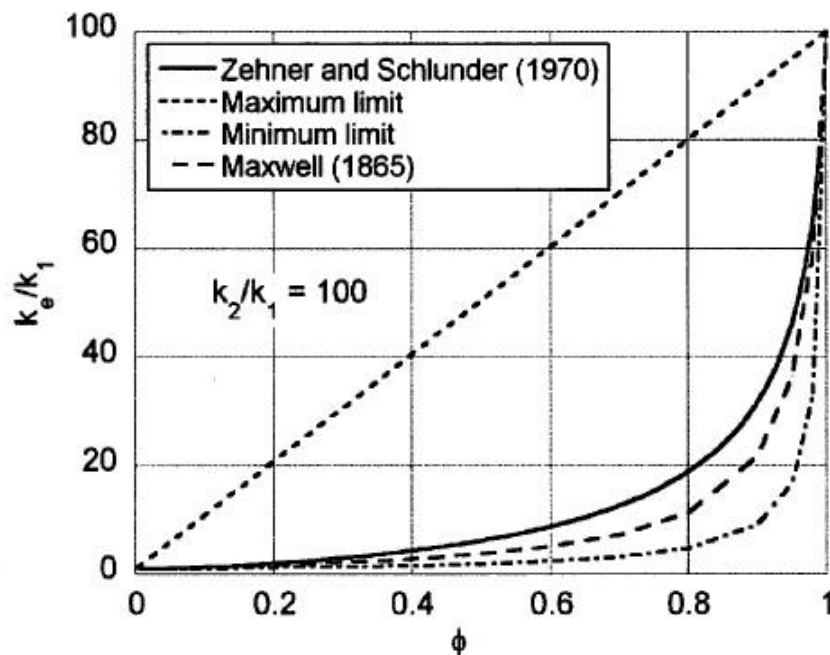
Számos tanulmány foglalkozik olyan rendszerek hővezetési tényezőjének vizsgálatával, amelyben a rendszer egy mátrix anyagba ágyazódott másik anyagot foglal magában. Ezen vizsgálatok klasszikus modellje Maxwell munkájában található. A Maxwell modellt Lord Rayleigh kiterjesztette nagyon híg szuszpenziókra, míg más kutatók alkalmazhatóvá tették különböző szemcsealakokra. Ezen modellek korlátozottak voltak a szilárd frakció mennyiségét illetően, maximum 0,5236 % lehetett gömb alakú szemcsék esetén. A Zehner és Schlunder modell alkalmazható szabálytalan alakú szemcsékre, a szilárd frakció mennyiségének teljes skáláján. A porózus közegben történő hőterjedés pontos megismeréséhez még egy modell ismerete elengedhetetlen, ez a korlátozó feltételeket alkalmazó modell, mely szerint a hő terjedése alapvetően két lehetséges úton történik. Az egyik lehetséges út amikor a hő sorosan kapcsolt fázisokon keresztül halad, ilyen esetben a hővezetési tényezőnek minimum értéke van, tehát ez a minimum limit. A második lehetséges út a fázisok párhuzamos kapcsolása, ilyenkor a

hő terjedésének irányával párhuzamosan találhatóak a fázisok, vagyis egyszerre halad a különböző fázisokban, ebben az esetben a hővezetési tényező maximum értéket vesz fel, ez a maximum limit. A rendszert vizsgálva az effektív hővezetési tényező a két korlátozó feltétel között található, mivel sorosan illetve párhuzamosan kapcsolt fázisok egyaránt találhatóak benne (KANDULA, 2011).

A Maxwell valamint a Zehner és Schlunder modell összehasonlítására 2. ábrán látható, az ábrán szerepel a korlátozó feltételeket alkalmazó modell két szélső határa is. Megállapítható, hogy a Zehner és Schlunder modell mindig magasabb becslést ad az effektív hővezetési tényezőről, mint a Maxwell modell. KANDULA (2011) mérésekkel igazolta, hogy a Zehner és Schlunder modell víz és szilárd anyag, $k_2/k_1 = 100$ esetében pontosabb a többi modellel szemben (KANDULA, 2011).

A 2. ábra értelmezéséhez szükséges nomenklatúra:

- k : hővezetési tényező, mértékegység: $[W\ m^{-1}\ K^{-1}]$
- k_2/k_1 : szilárd - folyadék hővezetési tényezőjének aránya
- k_e : a porózus közeg effektív hővezetési tényezője
- ϕ : szilárd frakció



2. ábra: A Maxwell valamint a Zehner és Schlunder modell összehasonlítása $k_2/k_1 = 100$ érték esetén (KANDULA, 2011).

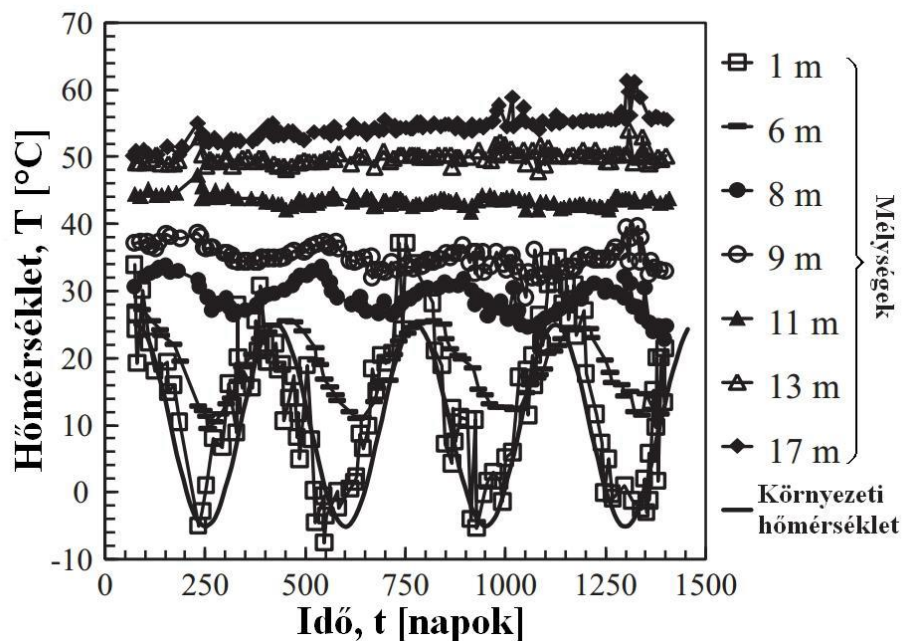
2.4. Hőtermelődés a települési szilárd hulladék lerakókban

A települési szilárd hulladék lerakók üzemeltetése során alapvetően három elsődleges melléktermék keletkezik, a csurgalékvíz, a depóniagáz valamint a hő. A hő termelődése különböző biológiai valamint kémiai folyamatoknak köszönhető, amelyek során a hulladékban található szerves anyagok lebomlanak. A keletkezett hő befolyással van magukra a biokémiai folyamatokra, a depónia mechanikai és hidraulikai tulajdonságaira, a lerakó szigetelésére és a közvetlen környezetére is (YESILLER ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2013).

Jelen dolgozat témájához szorosan nem kapcsolódnak a különböző lebomlási folyamatok, ezért csak érintőlegesen térnek ki rájuk. A lerakott hulladékban lejátszódó bomlási folyamatokat alapvetően két csoportra lehet bontani. Az első aerob fázisban a szerves anyagok oxigén jelenlétében bomlanak le, amely részben csapdázódott magában a hulladékban, részben pedig az atmoszférából kerül a hulladéktest felső rétegébe. A folyamat különböző mikroorganizmusok segítségével megy végbe, mely során a hulladék tömege felmelegedik, lévén exoterm a folyamat. A bomlási folyamatok másik nagy csoportja az anaerob lebomlás, a folyamat legfontosabb mellékterméke maga a depógáz. Mivel a projekt szempontjából legfontosabb paraméter a hőmérséklet, illetve a kinyerhető hőmennyiség, lényegesnek tekinthető az a tény, hogy az egyes lebontó szervezetek amennyiben 32°C-os hőmérsékleti tartományba kerülnek működésük leáll. Éppen ezért fontos, hogy a hőkitermelés során ez alá az érték alá ne kerüljön a depónia hőmérséklete (SZABÓ, 1999).

Laboratóriumi vizsgálatok segítségével megállapították, hogy a hulladék lebomlásában részt vevő baktériumok szaporodásához két optimális hőmérsékleti tartománya van. A mezofil baktériumoknak 35 - 40 °C az optimális hőmérséklet, míg a termofil baktériumok számára ez az érték 50 - 60 °C (CECCHI ÉS SZERZŐTÁRSASAI, 1993). Az .A.S.A. Magyarország Kft. elsődleges célja a depóniagáz kitermelés maximalizálása, ezért ismerni kell a gáztermelés optimális hőmérsékleti feltételeit. A szakirodalomban különböző hőmérsékleti tartományokkal találkozhatunk a maximális mennyiségű és megfelelő minőségű depóniagáz keletkezési körülményeit illetően. Általánosságban elmondható, hogy a tapasztalati adatok alapján 40 - 45 °C az optimális hőmérsékleti tartomány, amennyiben célunk a depóniagáz maximális kitermelése a hulladéklerakó üzemeltetése során (YESILLER ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2013; HANSON ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2013).

A hulladéklerakók pontos hőmérsékleti feltérképezésével, a termelődött hő mennyiségével, annak eloszlásával, esetlegesen annak kinyerési lehetőségével kevés átfogó tanulmány foglalkozik. A hulladéklerakón kisebb mélységig a talajokhoz hasonlóan megfigyelhető egy napszakos, valamint egy évszakos hőingadozás. A maximális hőmérsékleti értékek a depónia közepső harmadában figyelhetőek meg, a lerakó ilyen mélységében átlagosan 40 - 65 °C körüli a hőmérséklet (YESILLER ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2013). COCCIA ÉS SZERZŐTÁRSAI (2013) különböző észak-amerikai hulladéklerakókon végeztek hőmérséklet eloszlási méréseket. Megállapították, hogy az évszakosan változó környezeti hőmérséklet legfeljebb a 6 - 12 méteres mélységig tudja kifejteni a hatását, ezen mélység alatti tartományokban a hőmérséklet állandósul és az általuk vizsgált hulladéklerakók esetében elérheti a 40 - 60 °C (3. ábra) (COCCIA ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2013).



3. ábra: A Michigan-i hulladéklerakónál mért hőmérsékleti adatok (COCCIA ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2013)

2.5. Hulladékok fizikai-mechanikai paramétereinek meghatározása

A hulladéklerakókban lejátszódó gáz, valamint folyadéktranszportok összefüggésbe hozhatóak magának a hulladéknak a porózus szerkezetével (DURMUSOGLU ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2006). A hulladékok fizikai, mechanikai paramétereinek az ismerete elengedhetetlen a hulladék, valamint a hulladéklerakó

hidraulikai ezáltal a hőtani sajátosságainak a jellemzéséhez. A lerakott hulladék egészét vizsgálva egy nagyon komplex porózus rendszert láthatunk, amelyben három különböző fázis, más - más arányokban van jelen:

- Szilárd fázis (S)
- Folyadék fázis (L)
- Légnemű fázis (G)

Amennyiben a rendszert vizsgálni szeretnénk, a különböző fázisokat a hozzájuk tartozó tömeggel (M) valamint térfogattal (V) lehet a legegyszerűbben jellemezni (4. ábra). Ezen három fázis fizikai jellemzéséhez nélkülözhetetlen a porózus közeg jellemzőinek definiálása (STOLTZ ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2010).

- Száraz sűrűség (jele: ρ_{SG} , Mértékegysége: $[\text{kg m}^{-3}]$): az egységnyi térfogathoz tartozó szilárd anyag tömege, beleértve a légnemű fázist is. Számítása:

$$\rho_{SG} = \frac{M_{SG}}{V_{SG}},$$

ahol M_{SG} a szilárd és gáz fázis tömege, V_{SG} pedig a szilárd és gáz fázis térfogata.

- Porozitás (jele: ϕ Mértékegysége: $[\text{m}^3 \text{ m}^{-3}]$): az egységnyi térfogat hézaggal kitöltött térfogatának részaránya. Számítása:

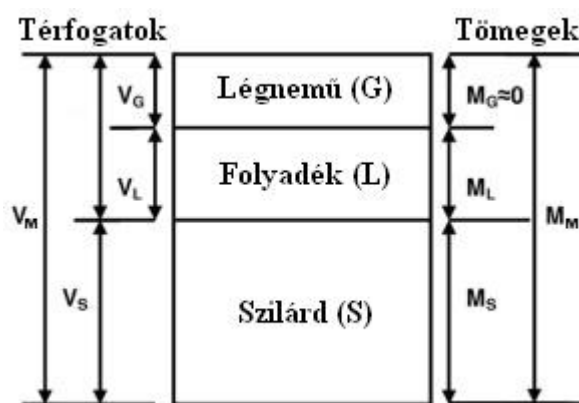
$$\phi = \frac{V_{LG}}{V_M},$$

ahol V_{LG} a hézaggal kitöltött térfogat részaránya (folyadék és gáz fázis), V_M pedig a minta összes térfogata.

- Tömeghányadra vonatkoztatott nedvességtartalom (jele: n_t , Mértékegysége: $[\text{kg kg}^{-1}]$) (száraz tömegrre vonatkoztatva). Számítása:

$$n_t = \frac{M_L}{M_M} = \frac{M_M - M_{SG}}{M_M},$$

ahol M_L a folyadék fázis tömege, M_{SG} a szilárd és gáz fázis tömege, M_M pedig a minta összes tömege.



4. ábra: A különböző fázisok térfogatáról és tömegéről készült szemléltető diagram (STOLTZ ÉS SZERZŐTÁRSAI, 2010)

2.6. A települési szilárd hulladék összetétele

A települési szilárd hulladék hőtani sajátosságainak vizsgálatához elengedhetetlen a hulladék pontos összetételének ismerete. A szakirodalomban körültekintve nagy mennyiségű adatot lehet találni a hulladék összetételéről, valamint a különböző komponensek mennyiségi arányáról. Elmondható, hogy a települési szilárd hulladék mennyisége és összetétele nagymértékben függ az életszínvontól, és a fogyasztási szokásoktól. Jelentős eltérések mutatkoznak a keletkezés helyét illetően is. A városi életvitel megjelenésével a települési szilárd hulladékok mennyisége jelentősen megnőtt, és napjainkban is emelkedik a keletkező hulladék mennyisége (SZABÓ, 1999).

Az hőtani méréseink mellett nem végeztünk saját hulladék összetétel vizsgálatot, azonban rendelkezünk az .A.S.A. Magyarország Kft. 2012-ben évszakonként elvégzett válogatási adatsoraival (8.1 melléklet), amiből elérhető a szabványos összetétel. A vizsgált anyag hat különböző településről származott: Gyál, Maglód, Tököl, Dunaharaszti, Budapest (Kőbánya), Nagytarcsa. Az átlagos hulladék összetétel meghatározáshoz negyedévente végeztek mintavételt, és 13 hulladék kategóriát különítettek el. A 2. táblázatban láthatóak a hulladék általános összetételére vonatkozó adatok, továbbá az egyes frakciókra vonatkozó sűrűségadatok.

Hulladék kategória	Súlyozott tömeghányad [m/m %]
Biológiai	21,62
Papír	12,67
Karton	4,69
Kompakt	2,13
Textil	3,58
Higiéniái	4,38
Műanyag	19,92
Éghető	2,94
Üveg	3,6
Fém	3,64
Éghetetlen	4,45
Veszélyes	0,7
Finom frakció	15,67
Összeg	99,99

2. táblázat: A települési szilárd hulladék átlagos összetétele az .A.S.A. Magyarország Kft. 2012-es válogatási adatsorai alapján.

2.7. A gyáli hulladéklerakó bemutatása

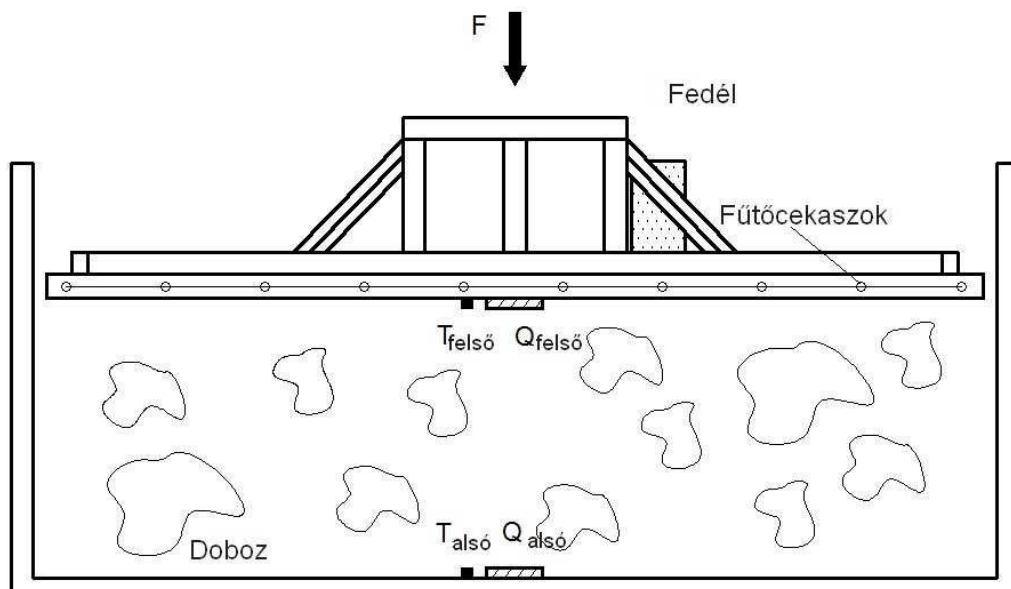
A mérésekhez szükséges hulladékot a Budapest határában fekvő gyáli hulladéklerakó szolgáltatta. Elhelyezkedését tekintve a telephely Budapesttől mintegy 4 kilométerre fekszik, Gyál és Felsőpakony települések között található. A hulladéklerakó üzemeltetője az .A.S.A. Magyarország Kft. A vállalat az .A.S.A. csoport tagja, amely Közép-Európában végez hulladékgazdálkodási munkálatokat. Jelen vannak négy szomszédos országban is, beleértve Ausztriát, Szlovákiát, Romániát, valamint Szerbiát. A gyáli telephelyen évente mintegy 100.000-150.000 tonna kevert kommunális hulladékot raknak le. A lerakót öt művelési szakaszra lehet osztani (az ötödiket művelik jelenleg). Jelen dolgozatban az első négy fázis hulladékait vizsgáltuk, a lerakó művelési fázisainak a méreteit a 3. táblázat tartalmazza.

Művelési fázis azonosítója	Geometriai méret [m³]	Deponálás időtartama
<i>I.</i>	377.596	1999-2003
<i>II.</i>	426.322	2003-2006
<i>III.</i>	593.059	2006-2009
<i>IV.</i>	400.000	2009-2012
<i>V.</i>	423.900	2012-2015

3. táblázat: A gyáli hulladéklerakó geometriai méretei, valamint a deponálás időtartama.

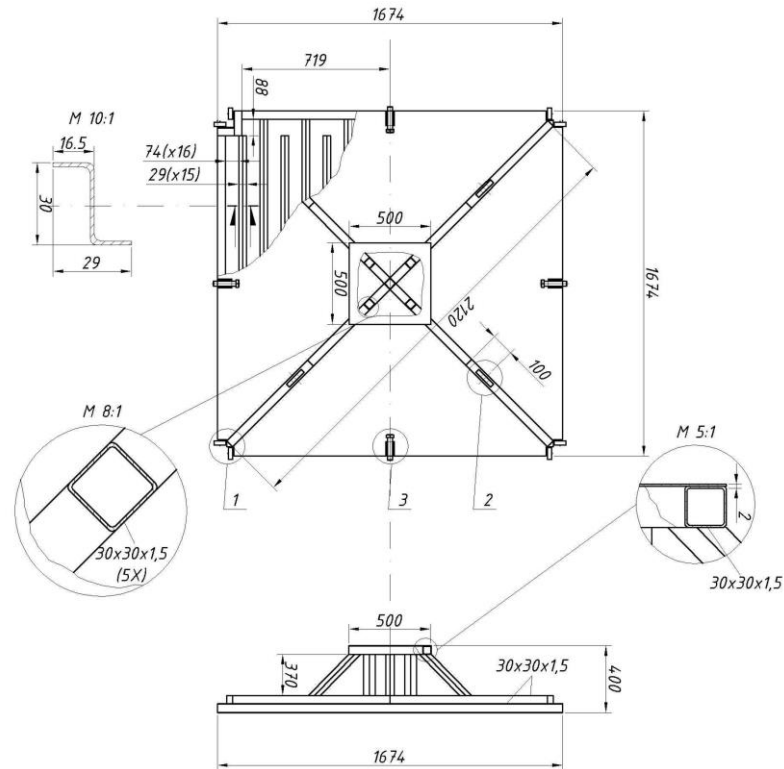
3. MÉRŐBERENDEZÉS FEJLESZTÉSE

A kommunális hulladéklerakók bomlási folyamataiban keletkező hőenergia kinyerésének a technológiai megvalósítása előtt szükség van a lerakott anyag hőtani (hővezetési tényező, fajhő, hődiffuzivitás) és főbb fizikai (halmaz-, illetve szemcsesűrűség, nedvességtartalom és porozitás) jellemzőinek az ismeretére. A szükséges paraméterek meghatározásához használt 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 lehetőség, a tökéleteshez közelálló 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 segítségével. 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 vázlatát a 6. ábrán látható.

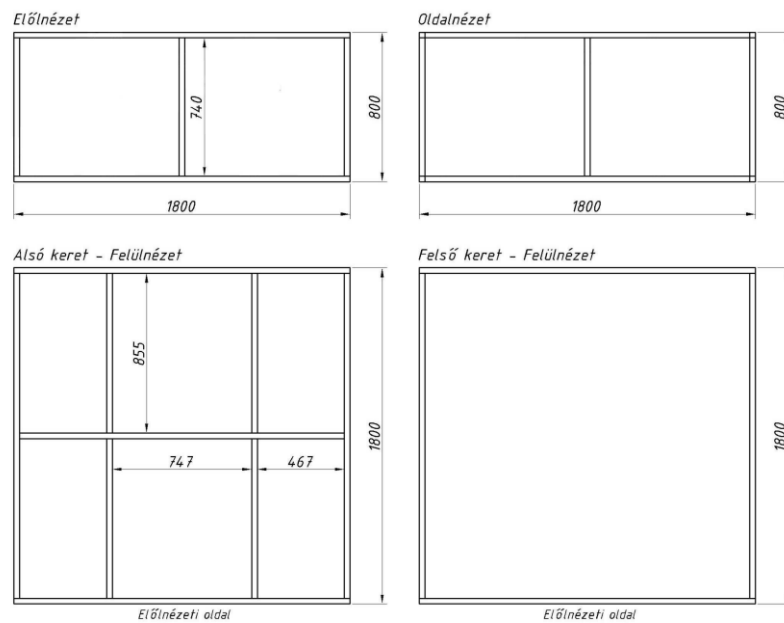


6. ábra: A hővezetés-mérő berendezés vázlatát

A hővezetés-mérő berendezésnek két nagyobb elkülönülő része van, a fűtőegységgel ellátott fedél (7. ábra), valamint maga az acéldoboz (8. ábra) amibe belekerül a hulladékminta.

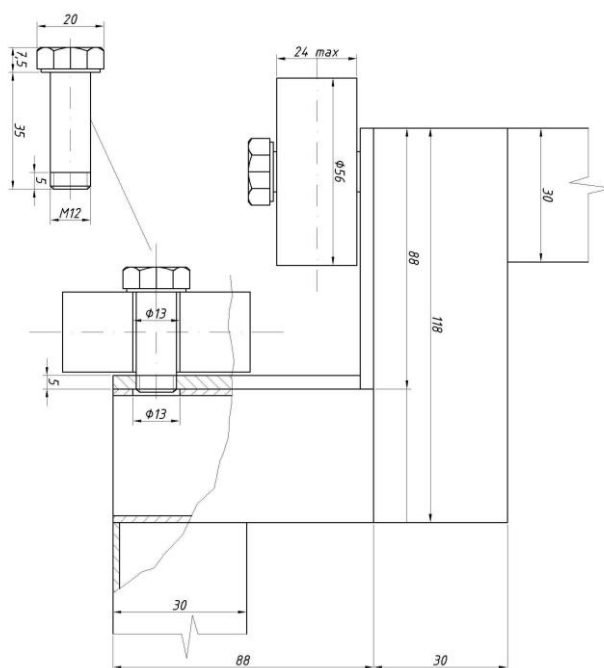


7. ábra: A hővezetés-mérő berendezés fedelének vázlata



8. ábra: A hővezetés-mérő berendezés acéldobozának vázlata

A hővezetés-mérő berendezés dobozába a lerakóból frissen vett mintát kell betölteni (kb. 400 – 1450 kg). A lerakón lévő hulladék a munkagépek hatására konszolidálódik, tömörödik, a kitermelés után a halmazsűrűsége lényegesen lecsökken. Ezért a berendezés – fizikai kialakítását tekintve – egy hulladékprésnek tekinthető, amelynek doboz- és a fedélszerkezete is merevített. A préselést közvetlenül a mintavétel után, a betöltést végző munkagép kanálának a fedélre gyakorolt nyomásával lehet elvégezni. A préselés után a fedélen található csavarok segítségével a tömörített hulladék összenyomott állapotban rögzíthető, illetve súly helyezhető rá a mérés közben. A fedél - préselés közbeni - keresztirányú beszorulása ellen a fedél sarkaiba görgők kerültek beépítésre (9. ábra).



9. ábra: A beépített görgők vázlata

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 megmérhető, amelyből a minta összes térfogata egyszerűen számítható. A mérések során a vizsgált térfogat 0,9–1,7 m³ tartományban változott (10. ábra). A fizikai paraméterek meghatározásához szükség van a nedvességtartalom ismeretére, amelyet a

betöltött, de még nem préselt hulladékból vett minta, szabványos 105 °C-on való szárításával határoztunk meg.



10. ábra: A hulladék betöltése a mérőberendezésbe

A fedélbe khantál ellenálláshuzalból és kerámia szigetelőgyűrűkből kialakított fűtőegységet építettünk. A beépített 4 fűtőszál egyenletesen lefedi a teljes 1,8 x 1,8 méteres felületet. A fűtőszálak kapcsolásától függően (soros és párhuzamos) két teljesítmény szinten (440 W és 1760 W) lehet fűteni a berendezést. A fűtőrendszert közvetlenül a 230 V effektív feszültségű – megfelelő érintésvédelemmel ellátott – hálózatra lehet kapcsolni, így a fűtőteliesség egy - egy mérés során közel állandónak tekinthető. A hőáram mérésére 2 db AHLBORN FQA018C, 10 x 10 cm felületű, 0,2 cm vastag hőáram-mérő lapot alkalmaztunk. A hőáram-mérő lap nagyszámú, sorosan kapcsolt hőelemet tartalmaz. A kimenő mV nagyságrendű feszültségjel közvetlenül a felületegységen áthaladó hőmennyiséggel arányos. A hőáram-mérő lapok gyárilag kalibráltak (körülbelül $9,4 \text{ W/m}^2 - 1 \text{ mV}$). Egy hőáram-mérő lap a fedél közepére és egy másik lap az acéldoboz aljának a közepére került beépítésre. Mindkét hőáram-mérő lap 2 mm-es acél lemezből készült védőburkolatot kapott az erős mechanikai behatások elleni védelem céljából, ez a mérésben csak 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 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 $+150 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleti 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-mérő és a két hőmérsékletmérő szenzor 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 (11. ábra).



11. ábra: A mérési adatok rögzítésére használt berendezés

4. MÉRÉSEK

Egy héten általában három alkalommal történt mintavételezés, melyek során szisztematikusan vizsgáltuk a gyáli hulladéklerakó különböző korú hulladékait. A depónia különböző ütemeiből vett hulladékmintákat közvetlenül a mérőberendezésbe töltöttük, ezzel párhuzamosan 105 °C-os szárítószekrénybe helyeztünk a hulladékminta kisebb részét, a nedvességtartalmának meghatározása céljából.

A mérések kezdő illetve végpontja hétfőn, szerdán, valamint pénteken volt. A két napos vizsgálati időtartamra azért volt szükség, hogy minél pontosabb eredményt kapjunk. A mintavételezési napokon először leállítottuk az adatrögzítő berendezést illetve a fűtést, majd a mérőberendezésről lekapcsoltuk a kábeleket. A hulladék kiürítését valamint az új minta betöltését magán a hulladéklerakón végeztük el, ahová egy homlokrakodó szállította a berendezést. A gépi mozgatás szükséges volt a „kaloda” közel 400 kilogrammos önsúlya miatt, amibe később 400 - 1450 kilogramm hulladék került betöltésre. A betöltést egy juhláb-hengeres kompaktor végezte, amely a négy ütem közül az éppen aktuálisan vizsgáltból hozott 0-2 méter mélyről mintát. A betöltött mintát kézi erővel egyenletes vastagságban elterítettük a berendezésben, ezzel párhuzamosan két kisebb mintát is vettünk a betöltött anyagból, amely a későbbiekben a szárítószekrénybe került. A fedél visszahelyezése után a homlokrakodó nyomás alá helyezte a betöltött hulladékot és nyomás alatt tartotta, amíg a fedélzáró csavarokkal adott pozícióban rögzítésre került a fedél. Ezt követően mérlegelésre került a berendezés, majd a homlokrakodó visszavitte az erre a célra kialakított félig nyitott csarnokba. A fűtőegységet áram alá helyeztük, ezáltal megkezdődött a minta felfűtése, valamint a hőáram-mérőt rákötöttük egy laptopra, majd egy erre a célra megírt program segítségével elindítottuk a kétnapos mérést. Ezt követően a két kisebb minta (1-2 kg) mérlegelése következett. Az adatok rögzítése után a 105 °C-os szárítószekrénybe kerültek a hulladékminták, ahol a tömegállandóságig történő szárítás után rögzítettük a minták tömegét. A méréseket két nap - pénteki kezdet esetén három nap - után állítottuk le, majd a folyamat kezdődött előről. A mérések során a hozzájuk tartozó adatokat digitális formában rögzítettük, a 4. és 5. táblázatban láthatóak a mérések során kapott adatok.

Azonosító	Mérés sorszáma	Mérés helye (művelési fázisok)	Minta tömege	Minta térfogata	Minta sűrűsége	Nedvesség tartalom
			M_m	V_m	ρ_m	n_t
			kg	m^3	$kg\ m^{-3}$	m/m %
<i>m0619</i>	1	IV	1420	1,72	825,58	-
<i>m0624</i>	2	IV	380	1,12	339,29	0,66
<i>m0628</i>	3	IV	570	1,05	542,86	0,1
<i>m0701</i>	4	III	470	0,97	484,54	0,41
<i>m0703</i>	5	III	580	1,31	442,75	0,44
<i>m0705</i>	6	III	660	1,67	395,21	0,32
<i>m0708</i>	7	II	790	1,09	724,77	0,14
<i>m0710</i>	8	II	390	0,89	438,2	-
<i>m0717</i>	9	Friss hull.	530	1,05	504,76	0,47
<i>m0719</i>	10	IV	690	1,36	507,35	0,3
<i>m0722</i>	11	meddő	1050	0,92	1141,3	0,08
<i>m0724</i>	12	IV	880	1,34	656,72	0,08
<i>m0726</i>	13	IV	550	1,18	466,1	0,47
<i>2m0729</i>	14	IV	550	1,34	410,45	0,54
<i>2m0731</i>	15	IV	610	1,31	465,65	0,46
<i>2m0802</i>	16	IV	530	1,44	368,06	0,52
<i>2m0805</i>	17	IV	670	1,31	511,45	0,17
<i>2m0807</i>	18	III	670	1,34	500	0,22
<i>2m0809</i>	19	III	750	1,28	585,94	0,2
<i>2m0814</i>	20	III	450	1,28	351,56	0,35
<i>2m0816</i>	21	II	1050	1,54	681,82	0,36
<i>2m0821</i>	22	I	930	1,44	645,83	-

4. táblázat: A mérések helye a depónián belül, és a mérésekhez tartozó tömeg, térfogat, sűrűség, és nedvességtartalom értékek.

Azonosító	Mérés sorszáma	Hőáram	Út	Fűtési teljesítmény	Felfűtési idő	Hőmérséklet különbség
		q	L	P	Δt	ΔT
		$W m^{-2}$	m	W	s	$^{\circ}C$
m0619	1	28	0,53	440	6288	27
m0624	2	19	0,35	440	-	-
m0628	3	100	0,33	440	25000	25
m0701	4	47	0,3	440	16842	16
m0703	5	80	0,41	440	50649	39
m0705	6	60	0,52	440	36470	31
m0708	7	76	0,34	440	30000	24
m0710	8	50	0,28	440	10912	26
m0717	9	60	0,33	440	28750	23
m0719	10	50	0,42	440	27906	24
m0722	11	68	0,29	440	5456	18
m0724	12	66	0,42	440	30952	26
m0726	13	62	0,37	440	34177	27
2m0729	14	70	0,42	1760	38666	116
2m0731	15	74	0,41	1760	36551	106
2m0802	16	64	0,45	1760	29142	102
2m0805	17	60	0,41	1760	22750	91
2m0807	18	81	0,42	1760	35142	123
2m0809	19	100	0,4	1760	47600	119
2m0814	20	60	0,4	1760	26923	105
2m0816	21	49	0,48	1760	52500	84
2m0821	22	24	0,45	1760	18566	93

5. táblázat: A mérésekhez tartozó hőáram értékek, hő által megtett út, fűtési teljesítmény, felfűtési idő, felfűtési hőmérséklet különbség értékek.

5. KIÉRTÉKELÉS

5.1 Szilárd fázis fő jellemzőinek becslése

A hulladékot alkotó három fázis közül a légnemű fázis valamint a folyadék fázis azon paraméterei amelyeket mi is vizsgáltunk, már ismertek. A hulladék szilárd fázisa egy nagyon összetett anyagi rendszer, amelynek az általunk vizsgált paraméterei a szakirodalomban nem találhatóak meg. Méréseink kiértékelése előtt elméleti úton határoztuk meg a szilárd fázis szemcsesűrűségét, hővezetési tényezőjét, valamint a fajlagos hőkapacitását.

A hulladék nedvességtartalma méréseink alapján ismert, ezáltal ismert a száraz rész térfogata és tömege. A száraz részt alkotó levegő fázis és szilárd fázis térfogatának meghatározásához szükség van a vizsgált hulladék átlagos szemcsesűrűségének az ismeretére. Az .A.S.A. Magyarország Kft. válogatási adatsorainak segítségével, meghatároztuk az általunk vizsgált hulladék átlagos összetételét, és becslést adtunk a hulladék jellemző szemcsesűrűsége. Korábbi tapasztalatok alapján a különböző anyagfrakciókhoz hozzárendeltük a jellemző sűrűségértékét. Ezt követően az összetétel függvényében súlyozásos módszer segítségével megadtuk az átlagsűrűséget, vagyis a kommunális hulladék jellemző szemcsesűrűségét (4. táblázat).

Hulladék kategória	Súlyozott tömeghányad [m/m %]	Súlyozás aránya [-]	Jellemző sűrűség [kg dm ⁻³]
Biológiai	21,62	0,22	0,70
Papír	12,67	0,13	1,10
Karton	4,69	0,05	1,10
Kompakt	2,13	0,02	1,10
Textil	3,58	0,04	0,25
Higiéniái	4,38	0,04	1,00
Műanyag	19,92	0,20	1,15
Éghető	2,94	0,03	1,20
Üveg	3,60	0,04	2,70
Fém	3,64	0,04	4,00
Éghetetlen	4,45	0,04	2,50
Veszélyes	0,70	0,01	3,50
Finom frakció	15,67	0,16	1,50
Súlyozott átlagsűrűség: ρ_H, [kg dm⁻³]			1,297

4. táblázat: Hulladék összetételből származtatott átlagsűrűség (.A.S.A. Magyarország Kft. válogatási adatsora alapján).

A 4. és 5. táblázatban láthatóak a méréseinkből kapott adatok, kiértékelésükhöz ismernünk kell a hulladékot alkotó különböző fázisok eredő fajhőjét illetve hővezetési tényezőjét. A levegő fajhője a vizsgált hőmérsékleten jó közelítéssel $1 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, a hővezetési tényezője pedig $0,028 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. A víz esetében a fajhő $4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, míg a hővezetési tényezője $0,58 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Érdeemes megemlíteni, hogy a hulladéklerakóban a hőmérséklet elérheti a 70 °C , ezen a hőmérsékleti értéken a víz egy része elpárolog és a jelenlévő gázfázisban vízgőzként jelenik meg, ebben az esetben a vízgőz hővezetési tényezője $0,016 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, azonban a projekt jelenlegi állása mellett ezen hőtani jelenséggel még nem korrigáljuk a kapott adatokat.

A szilárd fázis esetében körülményesebb egy eredő fajhőt, illetve eredő hővezetési tényezőt megadni mivel átfogó vizsgálatokat még nem végeztek ebben a témakörben, ezáltal szakirodalmi adatok nem állnak rendelkezésünkre. Az átlagos szemcsesűrűséghez hasonlóan a fajhő, és hővezetési tényezőt is a hulladék átlagos összetétele segítségével becsültük meg. A különböző alkotórészekhez hozzárendeltük a

fajhő valamint a hővezetési tényező értékeit, majd súlyozásos módszer segítségével meghatároztuk a hulladék szilárd fázisának eredő fajhőjét, valamint hővezetési tényezőjét (8.2. melléklet). A szilárd fázis eredő fajhője $1,8 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, míg az eredő hővezetési tényezője $3,9 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ értéknek adódott. Az 5. táblázatban a hulladékot alkotó három fázis sűrűség értékei, fajhő értékei, valamint hővezetési tényezői láthatóak.

	Sűrűség [kg m ⁻³]	Fajhő [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	Hővezetési tényező [W m ⁻¹ K ⁻¹]
Víz	1000	4,180	0,580
Levegő	1,2	1,000	0,028
Szilárd anyag	1297	1,800	3,987

5. táblázat: A hulladékot alkotó komponensek sűrűsége, fajhője valamint hővezetési tényezője.

5.2. Kiértékelési módszer kidolgozása

A mérések kezdetekor megmértük a betöltött minta tömegét (jele: M_M ; mértékegysége: [kg]), valamint a minta térfogatát (jele: V_M ; mértékegysége: [m³]), ezáltal könnyen számítható a minta átlagos sűrűsége (jele: ρ_M ; mértékegysége: [kg m⁻³]):

$$\rho_M = \frac{M_M}{V_M}.$$

A szárítószekrénybe került mintákat 105°C-on tömegállandóságig szárítottunk, segítségével a tömeghányadra vonatkozó nedvességtartalmat meghatározhattuk. A szakirodalmi háttérrel figyelembe véve megadtuk a térfogatra vonatkozó nedvességtartalmat, amely az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$\varepsilon_L = \frac{M_M * n_t}{\rho_L * V_M},$$

ahol n_t a hulladék tömeghányadra vonatkoztatott nedvességtartalma (mértékegysége: [m/m %]), ρ_L pedig a víz sűrűsége (mértékegysége: [kg m⁻³]).

A továbbiakban két részre bonthatjuk az anyagot: száraz (levegő + szilárd) rész és víz tartalom. Az alábbi összefüggésekkel megkaphatjuk a száraz részre vonatkozó adatokat:

- száraz anyag tömege: $M_{SG} = M_M \cdot (1 - n_t)$,
- száraz anyag térfogata: $V_{SG} = V_M - \frac{M_M \cdot n_t}{\rho_L}$,
- száraz anyag sűrűsége: $\rho_{SG} = \frac{M_{SG}}{V_{SG}}$.

A sűrűség értékéből a szilárd anyag térfogati koncentrációja az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$c_s = \frac{\rho_{SG} - \rho_G}{\rho_H - \rho_G},$$

ahol ρ_G a levegő sűrűsége (mértékegysége: $[\text{kg m}^{-3}]$), ρ_H pedig a hulladék jellemző szemcsesűrűsége (mértékegysége: $[\text{kg m}^{-3}]$).

A három fázis közül a folyadékfázis tömegre illetve térfogatra vonatkozó mennyiségének meghatározása már ismert, a szilárd fázis térfogatra vonatkozó mennyiségét az alábbi összefüggés segítségével kaphatjuk meg:

$$\varepsilon_s = \frac{c_s \cdot V_s}{V_M},$$

a gáz fázis térfogatra vonatkozó mennyisége pedig az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$\varepsilon_G = (1 - c_s) \cdot \frac{V_s}{V_M}.$$

A három fázis térfogatra vonatkozó mennyiségének az összege egy:

$$\varepsilon_L + \varepsilon_s + \varepsilon_G = 1.$$

A minta átlag sűrűsége megadható a három fázis térfogatra vonatkozó mennyisége és a fázisok átlagsűrűségének segítségével:

$$\rho_M = \rho_L \cdot \varepsilon_L + \rho_G \cdot \varepsilon_s + \rho_G \cdot \varepsilon_G.$$

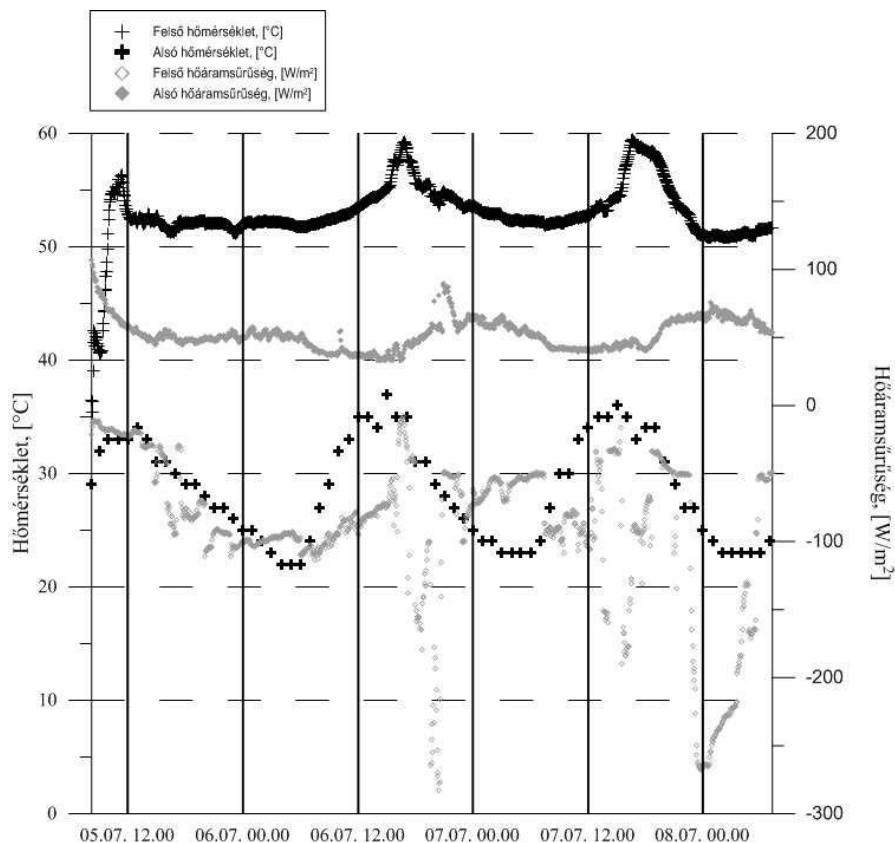
A kiértékelés következő fázisában azon méréseket amelyeknek sikertelen volt a nedvességtartalom meghatározása kivettük az adathalmazból, illetve figyelmen kívül

hagytuk azon méréseket amelyek pontossága megkérdőjelezhető volt. A szemléletesebb ábrázolás érdekében három különböző sűrűségkategóriába osztottuk be a méréseinket: 350 - 450 kg m⁻³, 450 - 550 kg m⁻³, valamint 550 - 750 kg m⁻³. A hőtani paraméterek meghatározásához szükséges egyéb fizikai értékeket az xk táblázatban láthatjuk.

Sűrűség kategória	Azonosító	Szárak tömeg	Szárak térfogat	Szárak sűrűség	Szilárd trf. konc.	Folyadék fázis	Szilárd fázis	Gáz fázis
		M _{SG}	V _{SG}	ρ _{SG}	c _S	ε _L	ε _S	ε _G
kg m ⁻³	-	kg	M3	kg m ⁻³	-	-	-	-
350 - 450	2m0814	292,5	1,12	260,58	0,200	0,123	0,176	0,701
	2m0802	254,4	1,16	218,48	0,168	0,191	0,136	0,673
	m0705	448,8	1,46	307,65	0,236	0,126	0,207	0,667
	2m0729	253,0	1,04	242,57	0,186	0,222	0,145	0,633
	m0703	324,8	1,05	307,93	0,237	0,195	0,191	0,615
450 - 550	2m0731	329,4	1,03	319,99	0,246	0,214	0,193	0,592
	m0726	291,5	0,92	316,33	0,243	0,219	0,190	0,591
	m0701	277,3	0,78	356,75	0,274	0,199	0,220	0,581
	2m0807	522,6	1,19	438,20	0,337	0,110	0,300	0,590
	m0717	280,9	0,80	350,73	0,270	0,237	0,206	0,557
	m0719	483,0	1,15	418,91	0,322	0,152	0,273	0,575
	2m0805	556,1	1,20	464,93	0,358	0,087	0,327	0,586
m0628	513,0	0,99	516,62	0,398	0,054	0,376	0,570	
550 - 750	2m0809	600,0	1,13	530,97	0,409	0,117	0,361	0,522
	m0724	809,6	1,27	637,68	0,491	0,053	0,465	0,482
	2m0816	672,0	1,16	578,31	0,445	0,245	0,336	0,418
	m0708	679,4	0,98	693,69	0,534	0,101	0,480	0,418

xk. táblázat: A hulladékmintákra vonatkozó számított fizikai paraméterek.

Minden mérési adatsor alapján készítettünk egy diagrammot amelyben a mért hőmérsékleti, valamint a hőáramsűrűség adatok kerültek ábrázolásra az eltelt idő függvényében, erre láthatunk egy példát a 12. ábrán. A mérési adatsorok alapján készített diagramok a 8.3. mellékletben láthatóak.



12. ábra: Egy mérési adatsor (hőmérséklet, hőáramsűrűség) alapján készített diagramm.

A diagramm elején jól lehatárolható a felfűtési szakasz. Feltételezésünk szerint a berendezésben az átlagos hőmérsékleti érték egy - egy adott időpillanatban a felső valamint az alsó hőmérséklet átlaga. Mivel ezen értékek adottak, a ΔT felfűtési hőmérsékletkülönbség is ismert. A fűtési teljesítmény (jele: P ; mértékegysége: [W]) állandó és ismert, a mérések első szériájában 440 W, míg a második szériában 1760 W. A hulladékra állandó nyomáson érvényes fajhő az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$C_m = \frac{P * \Delta t}{M_M * \Delta T},$$

ahol Δt az eltelt idő, másodpercben kifejezve. A fűtőteliességnek jelentős része nem hulladékot melegítette, hanem a környezetet, mivel a mérőberendezés felső része, ahol a fűtőegység található nem volt szigetelve. Az előző fejezetben becslést adtunk a hulladékot alkotó három fázis fajhőjére, ami alapján az alábbi összefüggés segítségével megadható a hulladék elméleti fajhője:

$$C_{mELM} = \frac{\varepsilon_L * \rho_L * C_{mL} + \varepsilon_S * \rho_S * C_{mS} + \varepsilon_G * \rho_G * C_{mG}}{\rho_M},$$

ahol C_{mL} a folyadékfázis fajhője, C_{mS} a szilárdfázis fajhője, C_{mG} pedig a gázfázis fajhője, mértékegységük: $[\text{kg kJ}^{-1} \text{K}^{-1}]$. Az elméleti fajhő valamint a méréseink alapján számított fajhő függvényében megadható egy konstans ($G = 2,949$) amely a mérőberendezésre jellemző, és korrigálni szükséges vele a mért adatokat. A hulladék korrigált fajhője az alábbi összefüggés segítségével adható meg:

$$C_{mKORR} = C_m * G,$$

az xy. táblázatban láthatóak a hulladék fajhőjére vonatkozó értékek, illetve a kiszámításához szükséges adatok.

Sűrűség kategória	Azonosító	Fajhő	Elméleti fajhő	Korrigált fajhő
		C_m	C_{mELM}	C_{mKORR}
kg m^{-3}	-	$\text{kg kJ}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg kJ}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg kJ}^{-1} \text{K}^{-1}$
350 - 450	2m0814	1,00	2,63	2,96
	2m0802	2,63	3,04	2,80
	m0705	3,04	2,56	2,31
	2m0729	2,56	3,08	3,15
	m0703	3,08	2,85	2,91
450 - 550	2m0731	2,85	2,89	2,93
	m0726	2,89	2,92	2,99
	m0701	2,92	2,78	2,91
	2m0807	2,78	2,32	2,21
	m0717	2,32	2,92	3,06
	m0719	2,92	2,51	2,19
	2m0805	2,51	2,20	1,94
	m0628	2,20	2,04	2,28
550 - 750	2m0809	2,04	2,28	2,77
	m0724	2,28	1,99	1,76
	2m0816	1,99	2,66	3,09
	m0708	2,66	2,13	2,05

xy. táblázat: A méréseinkből kapott hulladék fajhőjére vonatkozó értékek, illetve a kiszámításához szükséges adatok

A diagrammon ki lehet jelölni egy pontot amikor az alsó mérési ponton átáramló hőmennyiség jól egyezik a bemenő hőmennyiséggel. Mértük a felső,

valamint az alsó pont hőmérsékletét, továbbá a hulladékminta magasságát (jele: L ; mértékegysége: [m]), vagyis a hő (jele: Q ; mértékegysége: [W m^{-2}]) által megtett út hosszát. Sajnos az alsó ponton lévő hőmérő egy nagy víztartalmú hulladékminta betöltése után elromlott, értékeit korrigált meteorológiai adatokkal helyettesítettük amelyek a 8.4. mellékletben láthatóak. Ezen adatokból a hővezetési tényező az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$\lambda = \frac{Q * L}{\Delta T}.$$

A fajhő, valamint a hővezetési tényező ismeretében pedig a hődiffuzivitás is megadható:

$$\kappa = \frac{\lambda}{\rho_M * C_{mKORR}}.$$

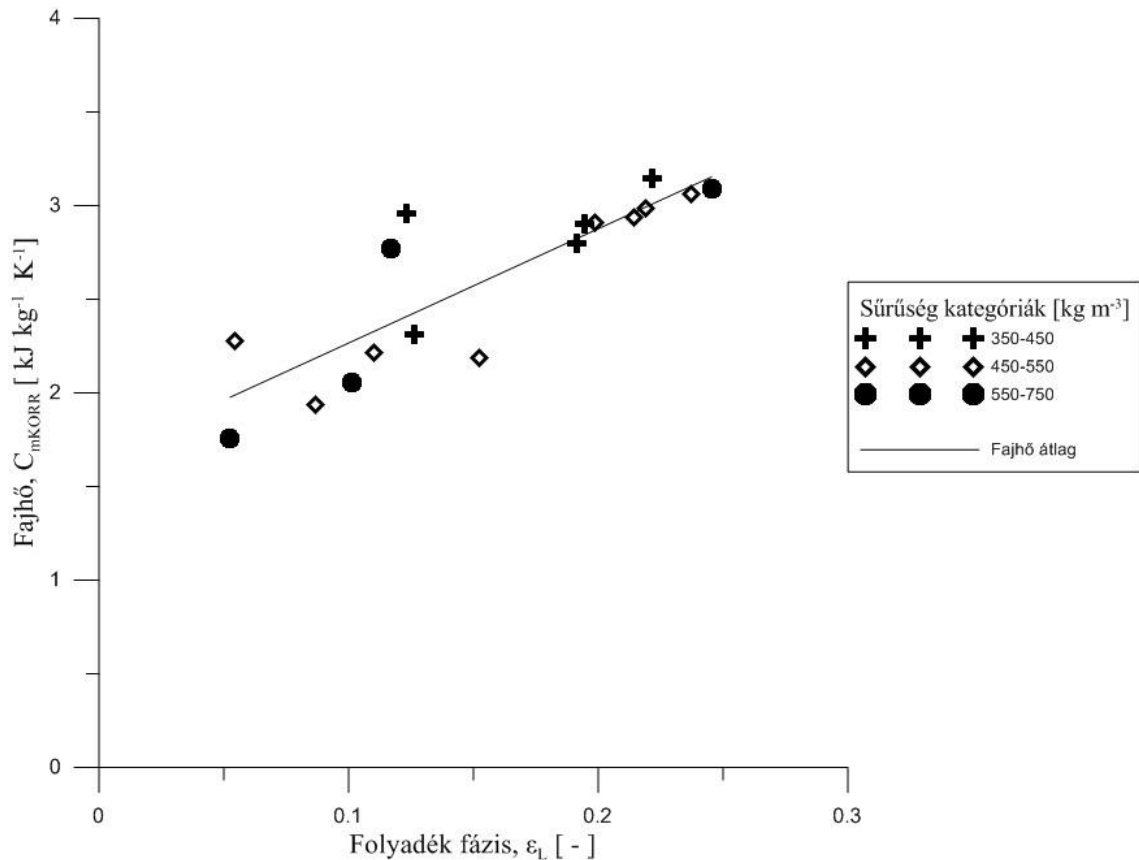
A xz. táblázat tartalmazza a méréseink alapján számított hővezetési tényezőket valamint hődiffuzivitás értékeket.

Sűrűség kategória	Azonosító	Hővezetési tényező	Hődiffuzivitás
		λ	κ
kg m^{-3}	-	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$
350 - 450	2m0814	0,236597	2,557
	2m0802	0,302346	2,705
	m0705	0,811201	8,017
	2m0729	0,270586	2,137
	m0703	0,899203	7,135
450 - 550	2m0731	0,306026	2,271
	m0726	0,906716	6,667
	m0701	0,953478	7,091
	2m0807	0,295288	2,543
	m0717	0,916588	6,223
	m0719	0,94811	7,435
	2m0805	0,317933	2,821
	m0628	1,06813	9,659
550 - 750	2m0809	0,359935	2,7
	m0724	1,138247	8,711
	2m0816	0,374225	2,066
	m0708	1,155022	7,472

xz. táblázat: A méréseink alapján számított hővezetési tényező, és hődiffuzivitás értékek.

5.3. Konklúzió

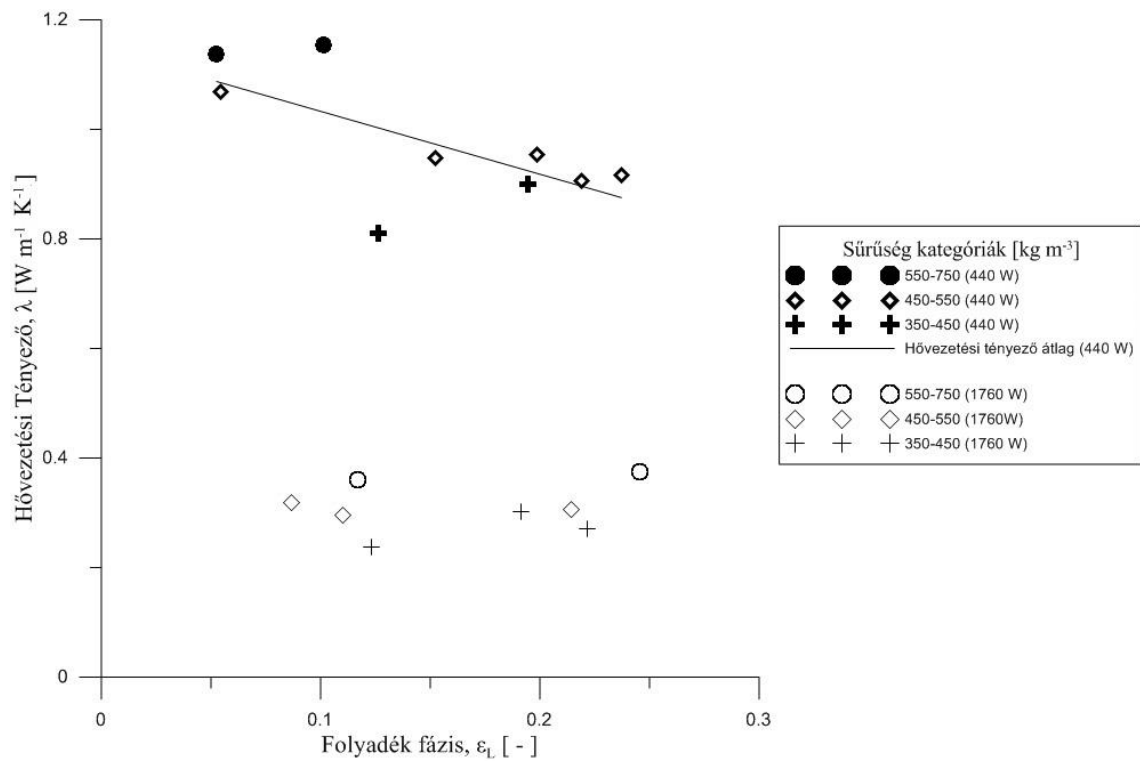
A három hőtani paramétert sűrűségkategóriák, valamint a fűtési teljesítmény szerint bontva ábrázoltuk a folyadék fázis függvényében. A diagramok segítségével értelmezhetőek a mért adatok, illetve levonhatóak a megfelelő következtetések.



13. ábra: A méréseink alapján kapott korrigált fajhő értékek, a folyadékfázis mennyiségének függvényében.

A 13. ábrán látható diagramot vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a hulladék fajhője emelkedik a nedvességtartalom növekedésével. A víztartalom növekedésével csökken a relatíve kis fajhővel rendelkező levegő részaránya a pórusokban. A szilárd fázis elméleti fajhője $1,8 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$, a légnemű fázis fajhője $1 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$, a víz fajhője pedig $4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ a vizsgált hőmérsékleti tartományban. Ezen értékeket figyelembe véve reális az általunk kapott eredmény, mivel a folyadék fázis fajhője a legnagyobb, tehát a részarányának növekedésével arányosan nő a hulladék fajhője. Ebből következik, hogy minél magasabb a hulladékunk víztartalma, annál magasabb

lesz a fajhője is. A diagramon látható értékek a három sűrűség kategória szerinti bontásban szerepelnek. A fajhő tekintetében méréseink alapján nem figyelhető meg a talajokkal vonható párhuzam, miszerint a fajhő a sűrűség növekedésével arányosan emelkedik.

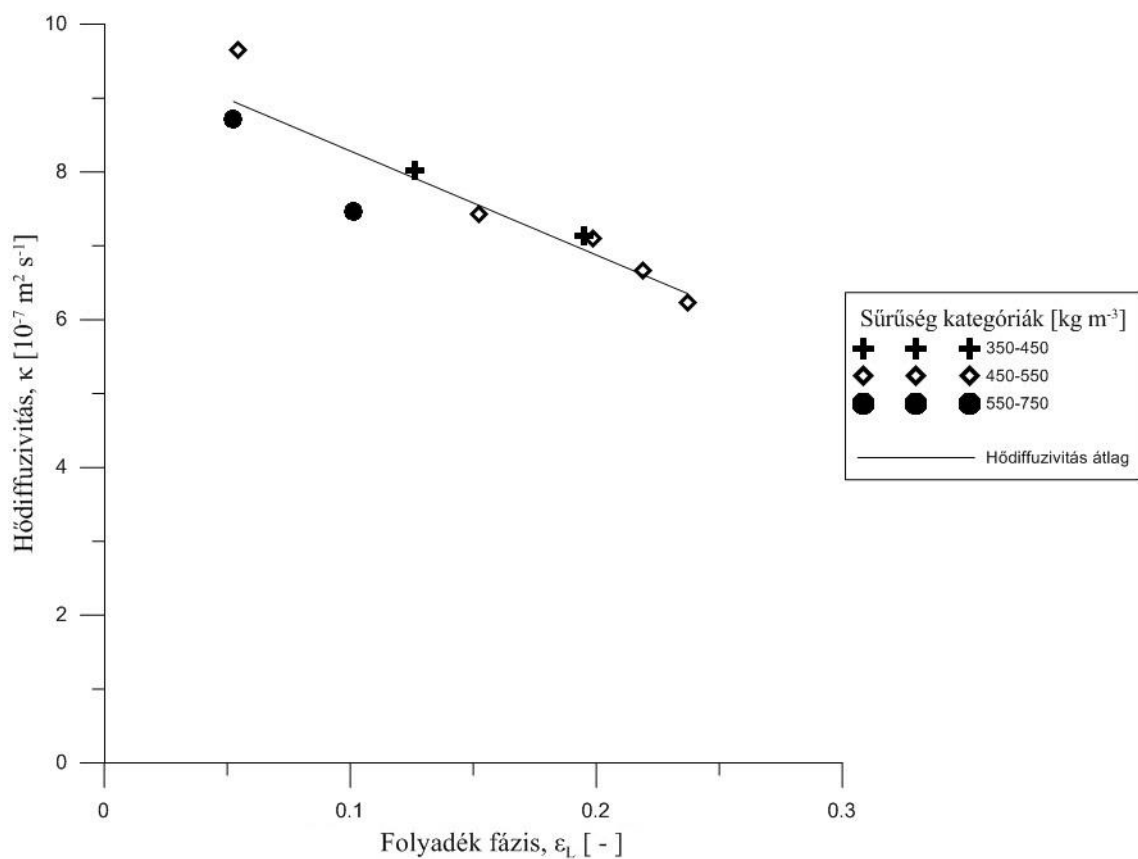


14. ábra: A méréseink alapján kapott hővezetési tényező értékek, a folyadékfázis mennyiségének függvényében. A sűrűségkategóriák mellett a fűtőteljesítmény (P) szerepel.

A 14. ábrán a települési szilárd hulladék hővezetési tényezőjének alakulása látható a folyadékfázis mennyiségének függvényében. Megállapítható, hogy a 440 W-os fűtés esetében a mért adatok reálisnak tekinthetők, azonban 1760 W-os fűtés esetében a hővezetési tényező értékei nagyon alacsonyak. Ennek az lehet a magyarázata, hogy ebben az esetben a vizsgált hulladék hőmérséklete elérte a 130 - 140 °C-ot, amelynek következtében a hó nagy része a víz forralására fordítódott. A 440 W-os fűtőteljesítmény melletti eredményeket vizsgálva megállapítható, hogy a nedvességtartalom növekedésével a hulladék hővezetési tényezője csökken. Az 5. táblázatban látható a hulladékot alkotó három fázis hővezetési tényezője, mivel a levegőnek illetve a víznek is rosszabb a hővezetési tényezője mint a szilárd fázisnak

megállapítható, hogy a folyadék illetve a légnemű fázis növekedésével arányosan csökkenni fog a deponált hulladék hővezetési tényezője.

A sűrűség kategóriák szempontjából vizsgálva a diagramot, megállapítható, hogy a hulladék hővezetési tényezője a halmazsűrűséggel párhuzamosan emelkedik. A halmazsűrűség növekedésével csökken a levegővel és vízzel kitöltött térrészek mérete, így a sokkal jobb hővezetési tényezővel rendelkező szilárd részek közvetlen kapcsolatba kerülnek egymással, ezáltal magának a hulladéktömegnek is nő a hővezetési tényezője.



15. ábra: A méréseink alapján kapott hődiffúzió értékek, a folyadékfázis mennyiségének függvényében.

A 15. ábrán a vizsgált hulladék hődiffúzió értékei láthatóak a folyadékfázis mennyiségének függvényében. Mivel az 1760 W-os fűtés esetében a hő nagy része a víz forralására fordítódott, a hulladék hődiffúziójára is a 440 W-os mérési adatok alapján kaphatunk megfelelő eredményeket. A diagramon a 440 W-os mérési szériához tartozó hődiffúzió értékek láthatóak. Megállapítható, hogy a folyadékfázis

mennyiségének növekedésével a hődiffuzivitás értéke csökken. A sűrűség kategóriák szempontjából vizsgálva a kapott hődiffuzivitás értékeket, nem figyelhető meg sem csökkenő, sem növekvő tendencia a halmazsűrűség értékek változásával.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A *"Depónia hő hasznosítási technológia kidolgozása"* című projekt keretein belül elvégzett méréssorozat szolgált alapjául a diplomadolgozatomhoz. A dolgozat célja a települési szilárd hulladékok fizika, elsősorban hőtani (hővezetési tényező, fajhő, hődiffuzivitás) jellemzőinek, elméleti és kísérleti úton történő vizsgálata.

A szakirodalmi háttér áttekintésével párhuzamot vontunk a talajok hőtani paramétereivel, amelyek kiindulópontként szolgáltak a mért adatok kiértékeléséhez, és a lejátszódó folyamatok megértéséhez. A szakirodalomban kismennyiségű adat található a hulladékok hőtani paramétereivel kapcsolatban, így a témához részben kapcsolódó tanulmányok segítségével összegyűjtöttük a felhasználható adatokat. A folyamatok megértése érdekében kitértünk a porózus közegekben történő hőterjedési jelenségekre, a hulladékban lejátszódó hőtermelődési folyamatokra, a kommunális hulladékok összetételére és fizikai jellemzőinek meghatározására.

A projekt keretein belül, a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete megtervezte, és megépítette a szükséges kísérleti berendezést, amely segítségével 2013 nyarán 22 mérésből álló méréssorozatot hajtottunk végre. A vizsgálat során szisztematikus méréseket hajtottunk végre a hulladéklerakó különböző részein, amiből átfogó képet kaptunk a depónia állapotáról. A mintavételezés során mértük a szükséges fizikai paramétereket, majd a mérések segítségével megadtuk a hőtani paraméterek meghatározásához szükséges adatokat. Kidolgoztunk egy kiértékelési eljárást, amely segítségével először elméleti úton, majd ezt követően a mért adatok alapján határoztuk meg a települési szilárd hulladékok hőtani paramétereit.

A kiértékelési folyamat eredményeként megkaptuk a kommunális hulladékok jellemző hőtani paramétereit. A három különböző hőtani paramétert a folyadékfázis valamint a halmazsűrűség függvényében ábráztuk. Megállapítottuk, hogy a fajhő a folyadékfázis mennyiségének növekedésével arányosan emelkedik. A hővezetési tényező a folyadékfázis mennyiségének növekedésével csökken, valamint a halmazsűrűség értékek növekedésével arányosan emelkedik. Egy érdekes hőtani jelenséggel talákoztunk, miszerint a hővezetési tényező értékei az 1760 W-os mérési szériában nagyon kis értéket vettek fel. A jelenség pontos magyarázatára nem tértünk ki,

azonban valószínűsíthető, hogy a víz forrása, és párolgása miatt tapasztaltuk a jelenséget. Megállapítottuk továbbá, hogy a hulladékok hődiffuzivitása csökken a nedvességtartalom növekedésével.

Összességében a projekt, illetve a dolgozat elején feltett kérdésekre sikerült választ adni. A meghatározott hőtani paraméterek segítségével, pontosan megtervezhető a hulladéklerakóban elhelyezendő csőhálózat, valamint a hozzá tartozó hőcserélő rendszer, amely segítségével megfelelően kinyerhető a hulladék tömegében tárolt hőenergia. A kidolgozott mérési és kiértékelési módszer adaptálható más hulladéklerakók vizsgálatához, ezáltal kiaknázzhatóvá válik a hulladéklerakók szerves anyagának bomlásából származó hőenergia.

7. IRODALOMJEGYZÉK

CECCHI, F., PAVAN, P., MUSACCO, A., MATA-ALVAREZ, J., VALLINI, G. (1993): Digesting the organic fraction of municipal solid waste: Moving from mesophilic (37°C) to thermophilic (55°C) conditions. *Waste Management and Research*, Volume 11, pp. 403-414.

CHESWORTH, W. (2008): *Encyclopedia of Soil Science*, Springer, pp. 305-307.

COCCIA, C. J.R., GUPTA, R., MORRIS, J., MCCARTNEY, J. S. (2013): Municipal solid waste landfills as geothermal heat sources, *Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, pp. 463-474.

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.

GRÓF GY. (1999): *Hőközlés - ideiglenes jegyzet*, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, pp. 5-7.

HANSON, J. L., YESILLER, N., ONNEN, M. T., LIU, W. L., OETTLE, N. K., MARINOS, J. A. (2013): Development of numerical model for predicting heat generation and temperatures in MSW landfills, *Elsevier, Waste Management* 33, pp. 1993-2000.

MARSCHALL, T. J., HOLMES, J. W. (1979): *Soil physics*, Cambridge University Press. Cambridge.

ORFK Légi felvétele: H.SZABÓ, 2013

KANDULA, M. (2011): On the Effective Thermal Conductivity of Porous Packed Beds with Uniform Spherical Particles, *Journal of Porous Media*, Volume 14.

KAVIANY, M. (1995): Principles of Heat Transfer in Porous Media, New York, Springer-Verlag, New York, pp. 143-148.

KOLYASEV, F. E., GUPALO, A. I. (1958): On the correlation of heat and moisture properties of soils. Publication No. 629. (Special Report No. 40), Highway Res. Bd. Nat. Acad. Sci., Washington, pp. 106-112.

STEFANOVITS P., FILEP GY., FÜLEKY GY. (1999): Talajtan, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 185-188.

STOLTZ, G., GOURC, J. P., OXARANGO, L. (2010): Characterisation of the physicommechanical parameters of MSW, Elsevier, Waste Management 30, pp. 1439-1449.

SZABÓ I. (1999): Hulladékelhelyezés, Miskolci Egyetem.

YESILLER, N., HANSON, J. L., LIU, W. L. (2005): Heat Generation in Municipal Solid Waste Landfills, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Volume 131, pp. 1330-1344.

8. MELLÉKLETEK

8.1. A hulladék átlagos összetétele

Hulladék kategória	2012/I/1 minta (Gyál)		2012/I/2 minta (Nagytarcsa)		2012/I minták (átlagolt)
	Tömeg-hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeg-hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	19,00	96,62	20,80	105,77	19,89
Papír	13,90	70,68	10,20	51,87	12,06
Karton	5,50	27,97	6,80	34,58	6,15
Kompakt	1,70	8,65	2,00	10,17	1,85
Textil	2,60	13,22	4,00	20,34	3,29
Higiéniái	8,10	41,19	3,60	18,31	5,87
Műanyag	20,20	102,72	28,30	143,91	24,22
Éghető	1,20	6,10	3,60	18,31	2,39
Üveg	3,20	16,27	3,00	15,26	3,10
Fém	4,70	23,90	2,10	10,68	3,41
Éghetetlen	2,00	10,17	3,20	16,27	2,60
Veszélyes	0,40	2,03	0,40	2,03	0,40
Finom frakció	17,30	87,97	12,00	61,02	14,67
<i>Minta összes Tömege [kg]</i>	508,50		501,25		1009,75
<i>Súlyozás aránya [-]</i>	0,50359		0,49641		0,24993

	2012/II/1 minta (Budapest-Kőbánya)		2012/II/2 minta (Dunaharaszti)		2012/II minták (átlagolt)
Hulladék kategória	Tömeg- hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeg- hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	22,60	114,92	25,90	131,70	24,24
Papír	15,00	76,28	10,80	54,92	12,92
Karton	5,30	26,95	3,40	17,29	4,36
Kompakt	2,00	10,17	1,90	9,66	1,95
Textil	3,10	15,76	3,30	16,78	3,20
Higiéniai	5,30	26,95	3,70	18,82	4,51
Műanyag	20,00	101,70	17,60	89,50	18,81
Éghető	1,30	6,61	4,30	21,87	2,79
Üveg	3,70	18,82	3,50	17,80	3,60
Fém	5,00	25,43	2,30	11,70	3,66
Éghetetlen	2,50	12,71	6,10	31,02	4,29
Veszélyes	0,80	4,07	1,10	5,59	0,95
Finom frakció	13,40	68,14	16,20	82,38	14,79
<i>Minta összes tömege [kg]</i>	<i>521,60</i>		<i>502,09</i>		<i>1023,69</i>
<i>Súlyozás aránya [-]</i>	<i>0,50953</i>		<i>0,49047</i>		<i>0,25338</i>

	2012/III/1 minta (Tököl)		2012/III/2 minta (Dunaharaszti)		2012/III minták (átlagolt)
Hulladék kategória	Tömeg- hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeg- hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	20,00	101,70	25,50	129,67	22,73
Papír	14,10	71,70	9,00	45,77	11,57
Karton	2,90	14,75	4,20	21,36	3,55
Kompakt	2,00	10,17	2,40	12,20	2,20
Textil	4,00	20,34	4,50	22,88	4,25
Higiéniai	4,10	20,85	3,70	18,82	3,90
Műanyag	15,60	79,33	14,30	72,72	14,95
Éghető	2,50	12,71	2,90	14,75	2,70
Üveg	5,90	30,00	2,50	12,71	4,21
Fém	4,30	21,87	3,60	18,31	3,95
Éghetetlen	6,10	31,02	5,50	27,97	5,80
Veszélyes	1,20	6,10	0,60	3,05	0,90
Finom frakció	17,30	87,97	21,60	109,84	19,43
<i>Minta összes tömege [kg]</i>	<i>500,60</i>		<i>504,85</i>		<i>1005,45</i>
<i>Súlyozás aránya [-]</i>	<i>0,49789</i>		<i>0,50211</i>		<i>0,24887</i>

Hulladék kategória	2012/IV/1 minta (Gyál)		2012/IV/2 minta (Maglód)		2012/IV minták (átlagolt)
	Tömeg-hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Tömeg-hányad [m/m%]	Tömeg [kg]	Súlyozott tömeghányad [m/m%]
Biológiai	21,00	106,79	18,10	92,04	19,56
Papír	11,30	57,46	17,00	86,45	14,13
Karton	2,00	10,17	7,50	38,14	4,73
Kompakt	2,20	11,19	2,90	14,75	2,55
Textil	3,20	16,27	4,00	20,34	3,60
Higiéniai	3,40	17,29	3,10	15,76	3,25
Műanyag	21,70	110,35	21,70	110,35	21,70
Éghető	3,80	19,32	4,00	20,34	3,90
Üveg	3,90	19,83	3,10	15,76	3,50
Fém	4,70	23,90	2,40	12,20	3,56
Éghetetlen	8,00	40,68	2,20	11,19	5,12
Veszélyes	0,60	3,05	0,50	2,54	0,55
Finom frakció	14,20	72,21	13,40	68,14	13,80
<i>Minta összes. tömege [kg]</i>	<i>500,20</i>		<i>501,05</i>		<i>1001,25</i>
<i>Súlyozás aránya [-]</i>	<i>0,49958</i>		<i>0,50042</i>		<i>0,24783</i>

8.2. A hulladék szilárd komponenseinek eredő fajhője illetve hővezetési tényezője

Hulladék kategória	Súlyozott tömeghányad [m/m%]	Súlyozás aránya [-]	Jellemző fajhő [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	Megjegyzés [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
<i>Biológiai</i>	21,61778	0,21618	2,72	100 % fa=2,72
<i>Papír</i>	12,66800	0,12668	1,34	100 % papír=1,34
<i>Karton</i>	4,69442	0,04694	1,34	100 % papír=1,34
<i>Kompakt</i>	2,13476	0,02135	2,19	50 % műanyag=1,67 50 % biológiai=2,72
<i>Textil</i>	3,58284	0,03583	1,29	50 % selyem=1,25 50 % lenvászon=1,34
<i>Higiéniái</i>	4,38442	0,04384	1,48	50 % textil=1,29 50 % műanyag=1,67
<i>Műanyag</i>	19,91876	0,19919	1,67	100 % műanyag=1,67
<i>Éghető</i>	2,94233	0,02942	2,19	50 % biológiai=2,72 50 % műanyag=1,67
<i>Üveg</i>	3,60368	0,03604	0,84	100 % üveg=0,84
<i>Fém</i>	3,64486	0,03645	0,48	93 % vas=0,45 7 % alumínium=0,89
<i>Éghetetlen</i>	4,44802	0,04448	0,86	50 % beton=0,88 10 % gránit=0,75 30 % tégl=0,84 10 % aszfalt=0,92
<i>Veszélyes</i>	0,70132	0,00701	1,10	50 % műanyag=1,67 40 % vas=0,45 10 % alumínium=0,89
<i>Finom frakció</i>	15,67099	0,15671	2,11	50 % biológiai=2,72 25 % papír=1,34 25 % műanyag=1,67
Súlyozott átlagos fajhő [kJ kg⁻¹ K⁻¹]			1,80043	

Hulladék kategória	Súlyozott tömeghányad [m/m%]	Súlyozás aránya [-]	Jellemző hővezetési tényező [$W m^{-1} K^{-1}$]	Megjegyzés [$W m^{-1} K^{-1}$]
<i>Biológiai</i>	21,61778	0,21618	0,15	100 % fa=0,15
<i>Papír</i>	12,66800	0,12668	0,05	100 % papír=0,12
<i>Karton</i>	4,69442	0,04694	0,21	100 % karton=0,21
<i>Kompakt</i>	2,13476	0,02135	0,20	50 % műanyag=0,25 50 % biológiai=0,15
<i>Textil</i>	3,58284	0,03583	0,06	50 % selyem=0,04 50 % lenvászon=0,08
<i>Higiéniai</i>	4,38442	0,04384	0,16	50 % textil=0,06 50 % műanyag=0,25
<i>Műanyag</i>	19,91876	0,19919	0,25	50 % polietilén=0,35 50 % PVC=0,15
<i>Éghető</i>	2,94233	0,02942	0,20	50 % biológiai=0,15 50 % műanyag=0,25
<i>Üveg</i>	3,60368	0,03604	0,87	100 % üveg=0,87
<i>Fém</i>	3,64486	0,03645	91,92	93 % vas=81 7 % alumínium=237
<i>Éghetetlen</i>	4,44802	0,04448	1,59	50 % beton=2,1 10 % gránit=2,8 30 % tégl=0,63 10 % aszfalt=0,7
<i>Veszélyes</i>	0,70132	0,00701	56,22	50 % műanyag=0,23 40 % vas=81 10 % alumínium=237
<i>Finom frakció</i>	15,67099	0,15671	0,15	50 % biológiai=0,15 25 % papír=0,05 25 % műanyag=0,23
Súlyozott átlagos hővezetési tényező [$W m^{-1} K^{-1}$]			3,98773	

8.3. A vizsgált hulladék hőtani tulajdonságainak mérési eredményei

Mérés adatai:

Sorszám: 1
Kezdet: 2013.06.19
Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

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

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
Mélység: 0,5 m

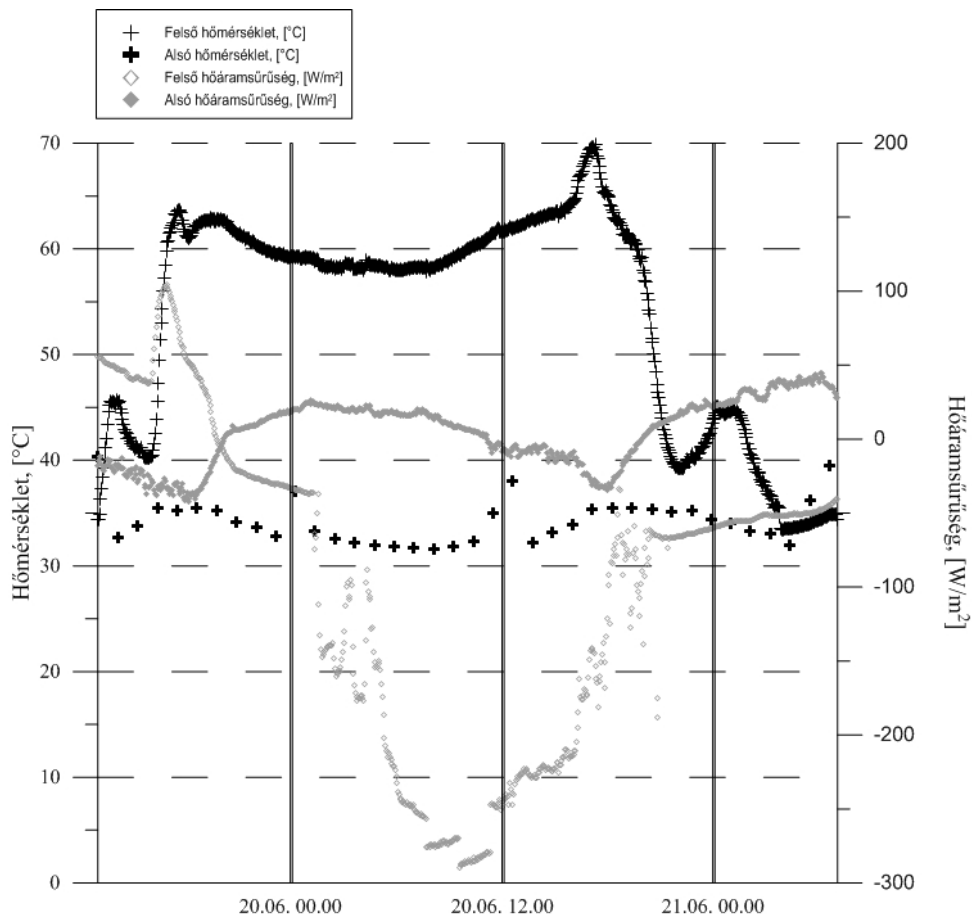
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 11,75 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 6288 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 1420 kg
Térfogat: 1720 l
Sűrűség: 826,93 kg/m³
Nedv.tart.: -
Porozitás: -

Megjegyzés: a fűtés egy idő után kikapcsolt



Mérés adatai:

Sorszama: 2
 Kezdet: 2013.06.24
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 19 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 6 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

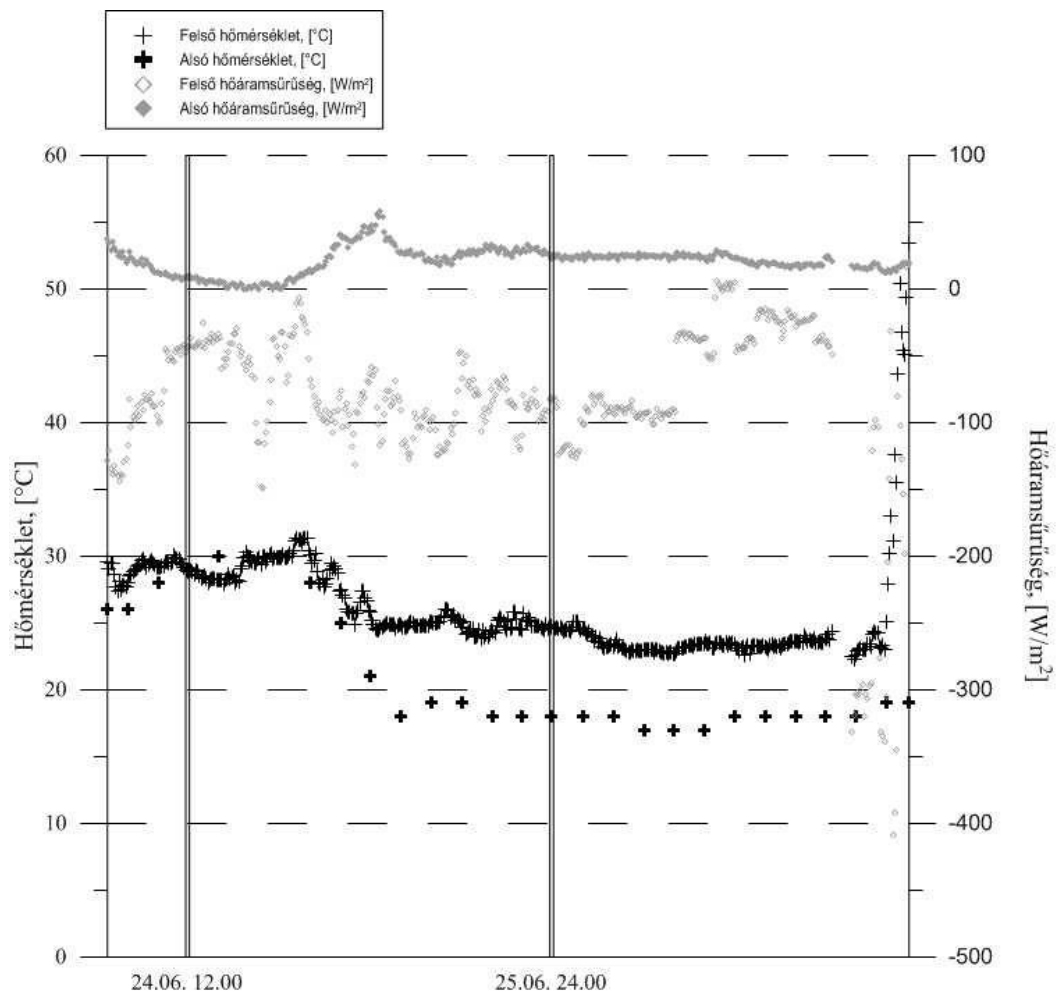
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

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

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 380 kg
 Térfogat: 1120 l
 Sűrűség: 339,95 kg/m³
 Nedv.tart.: 65,2 m/m %
 Porozitás: 0,89

Megjegyzés: elromlott a fűtés



Mérés adatai:

Sorszám: 3
 Kezdet: 2013.06.28
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 100 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 23 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

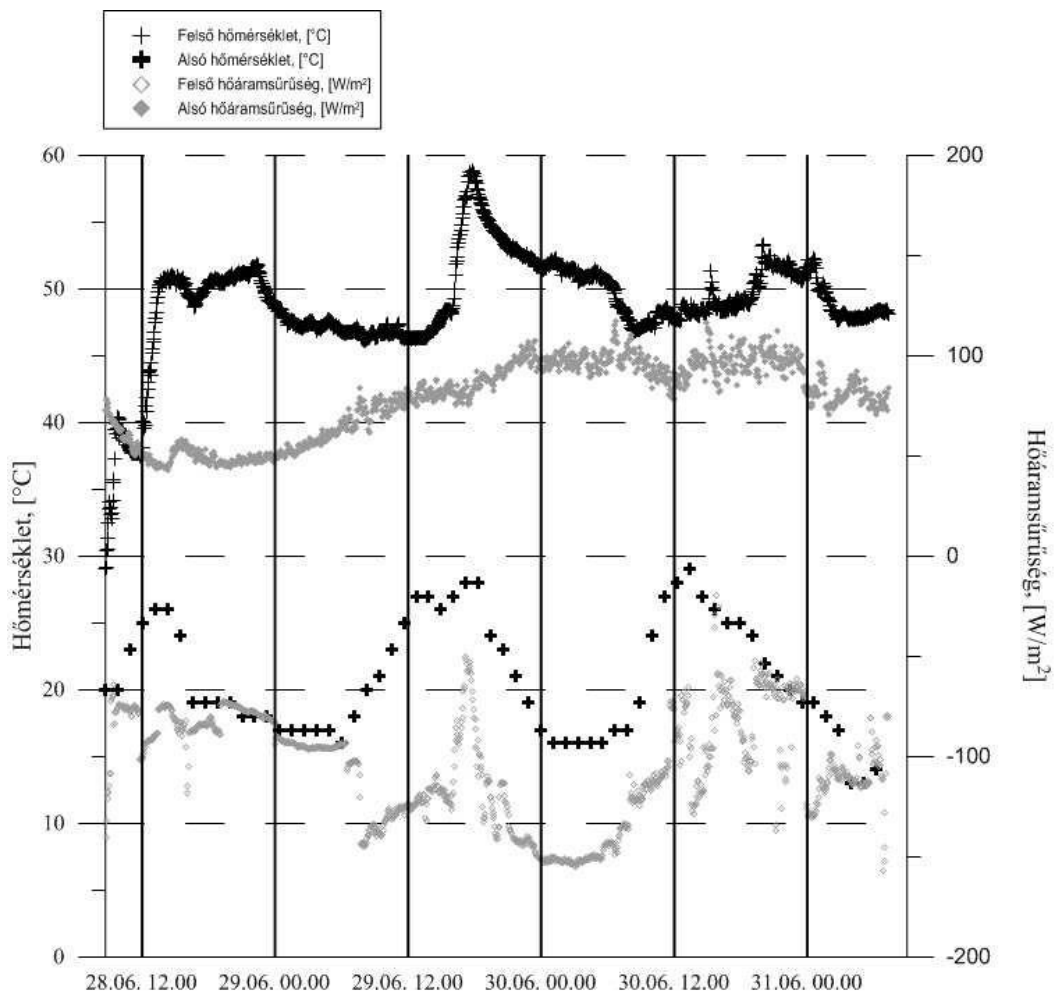
$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 37,54 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 23,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 30,27 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 50,78 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 24,00 °C
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 37,39 °C

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 570 kg
 Térfogat: 1050 l
 Sűrűség: 541,3 kg/m³
 Nedv.tart.: 9,8 m/m %
 Porozitás: 0,60

ΔT_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 7,12 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 13922 s

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszama: 4
 Kezdet: 2013.07.01
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 47 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 26 °C

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 0,5 m

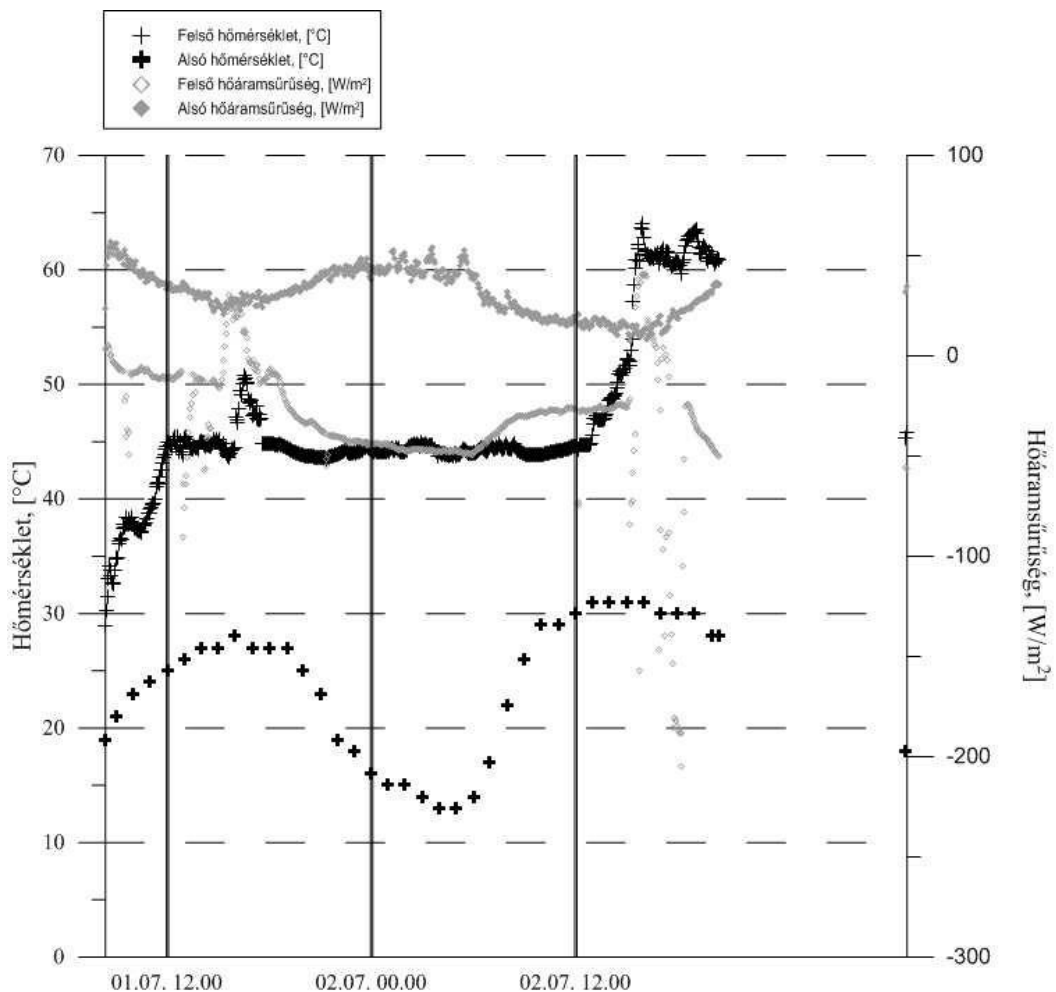
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 9,68 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 12719 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 470 kg
 Térfogat: 970 l
 Sűrűség: 483,54 kg/m³
 Nedv.tart.: 41,5 m/m %
 Porozitás: 0,73

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 5
 Kezdet: 2013.07.03
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 80 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 38 °C

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 0,5 m

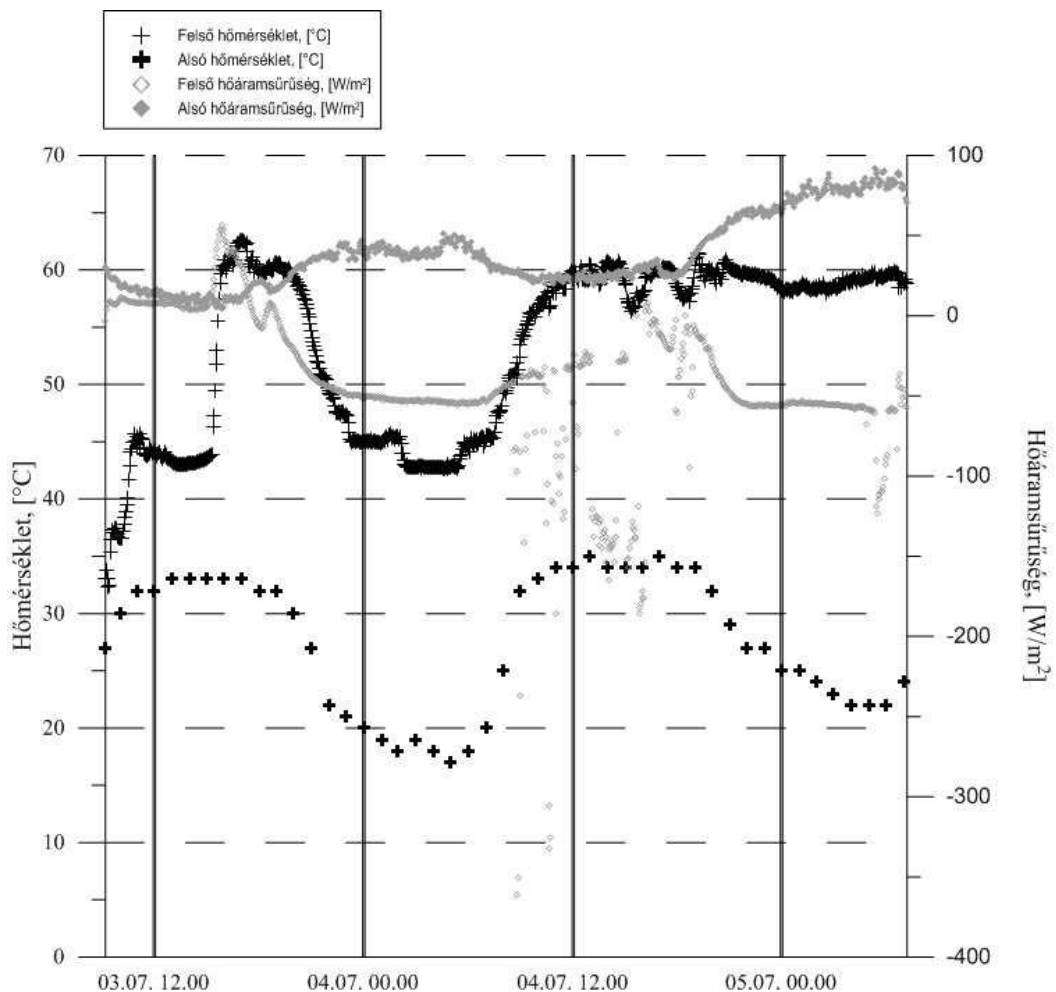
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 17,74 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 28113 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 580 kg
 Térfogat: 1310 l
 Sűrűség: 442,01 kg/m³
 Nedv.tart.: 44,4 m/m %
 Porozitás: 0,76

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszama: 6
 Kezdet: 2013.07.05
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 29 °C

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 0,5 m

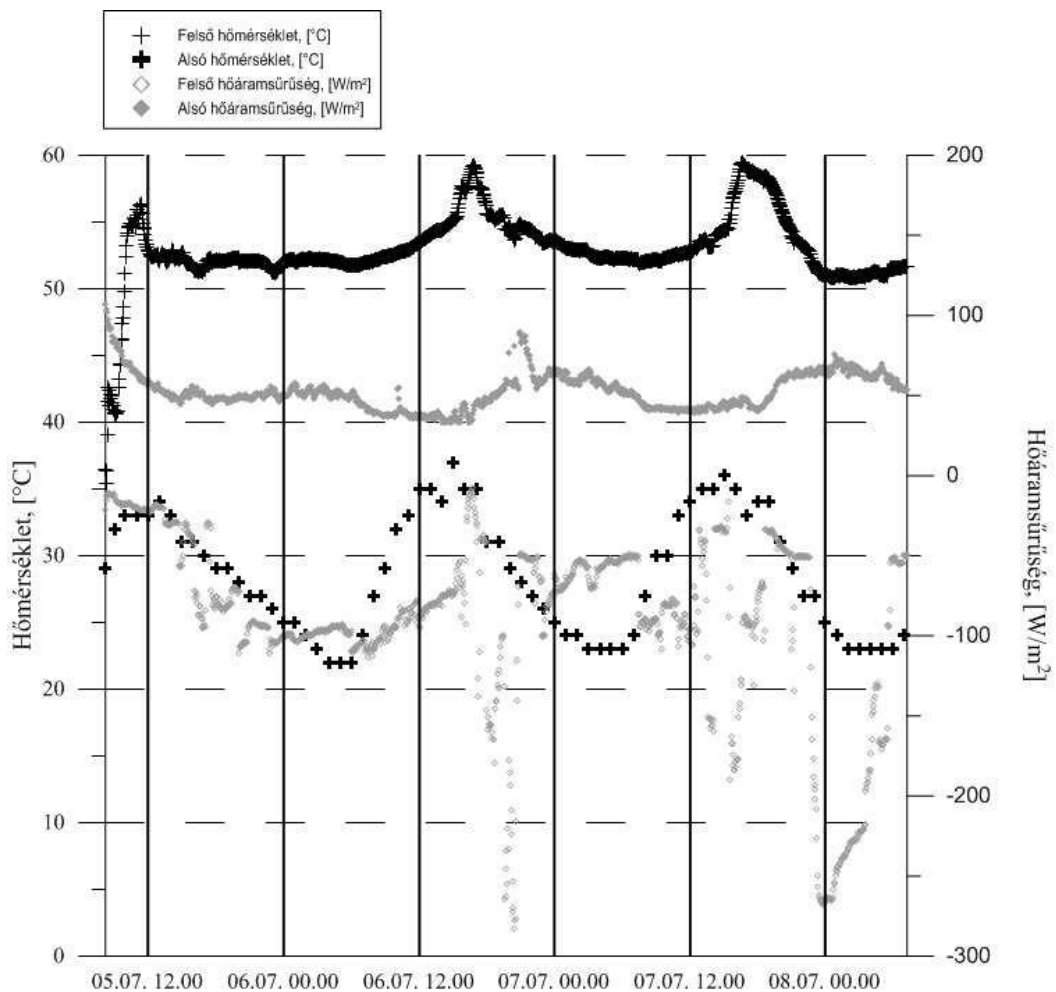
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 11,74 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 9894 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 660 kg
 Térfogat: 1670 l
 Sűrűség: 395,54 kg/m³
 Nedv.tart.: 31,7 m/m %
 Porozitás: 0,76

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 7
 Kezdet: 2013.07.08
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 76 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 24 °C

Minta információk:

Ütem: II. ütem
 Mélység: 0,5 m

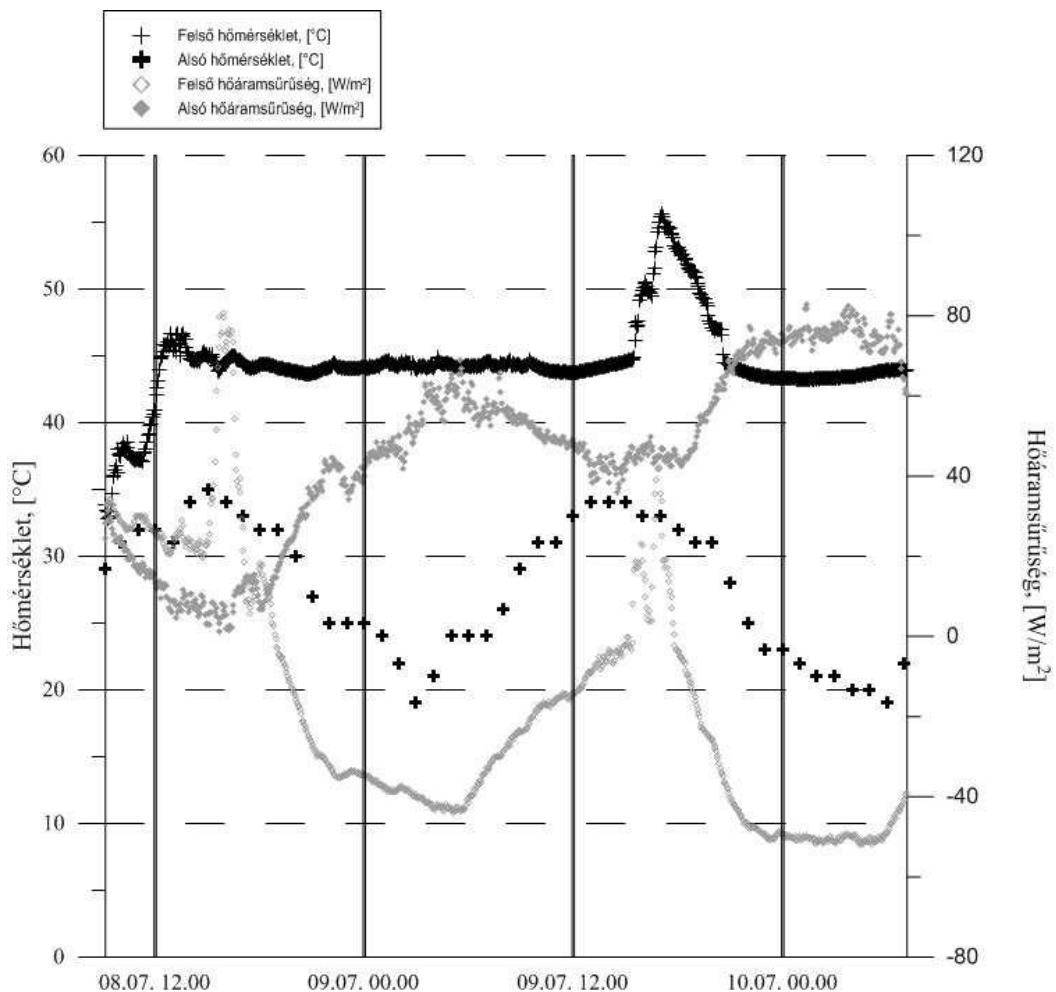
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 8,19 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 11921 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 790 kg
 Térfogat: 1090 l
 Sűrűség: 727,84 kg/m³
 Nedv.tart.: 13,9 m/m %
 Porozitás: 0,47

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 8
 Kezdet: 2013.07.10
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 50 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 26 °C

Minta információk:

Ütem: II. ütem
 Mélység: 0,5 m

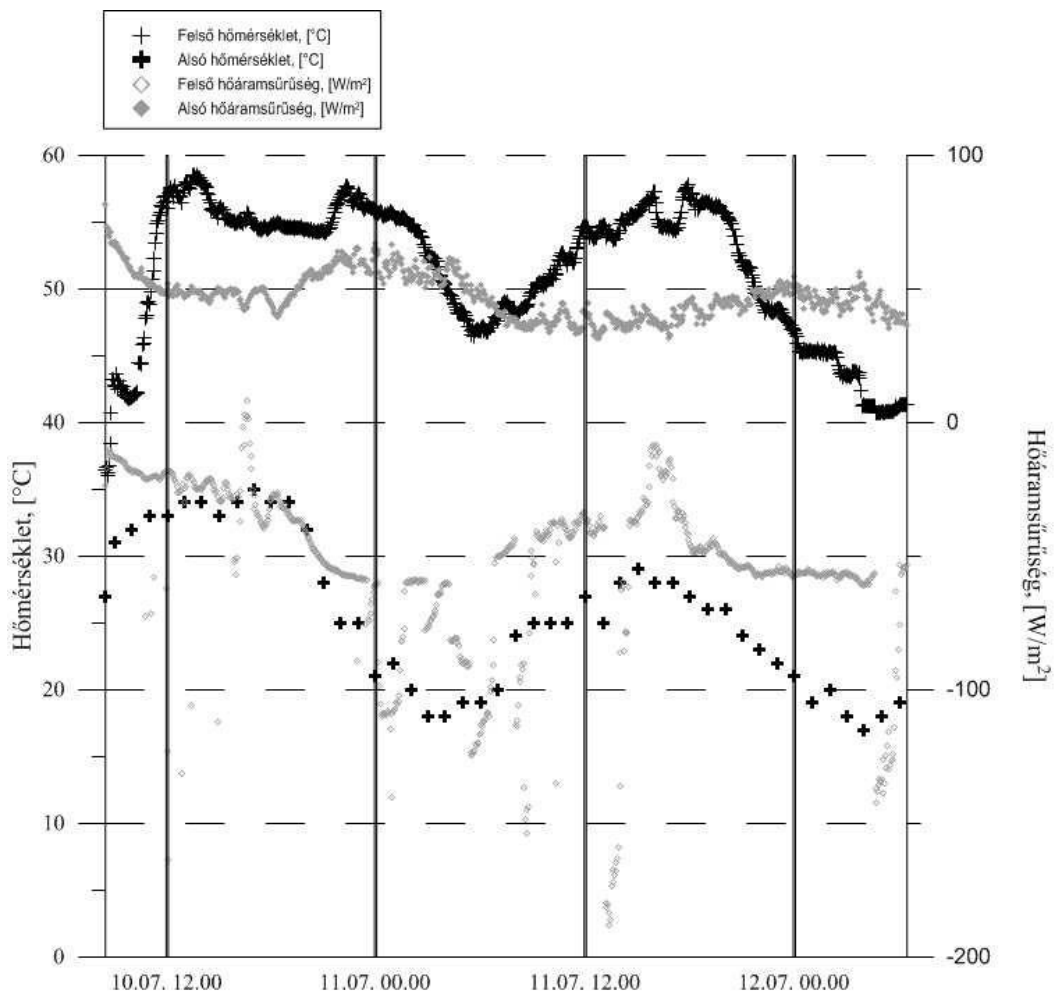
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 13,10 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 10912 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 390 kg
 Térfogat: 890 l
 Sűrűség: 437,71 kg/m³
 Nedv.tart.: -
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 9
 Kezdet: 2013.07.17
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 34 °C

Minta információk:

Ütem: friss hulladék
 Mélység: -

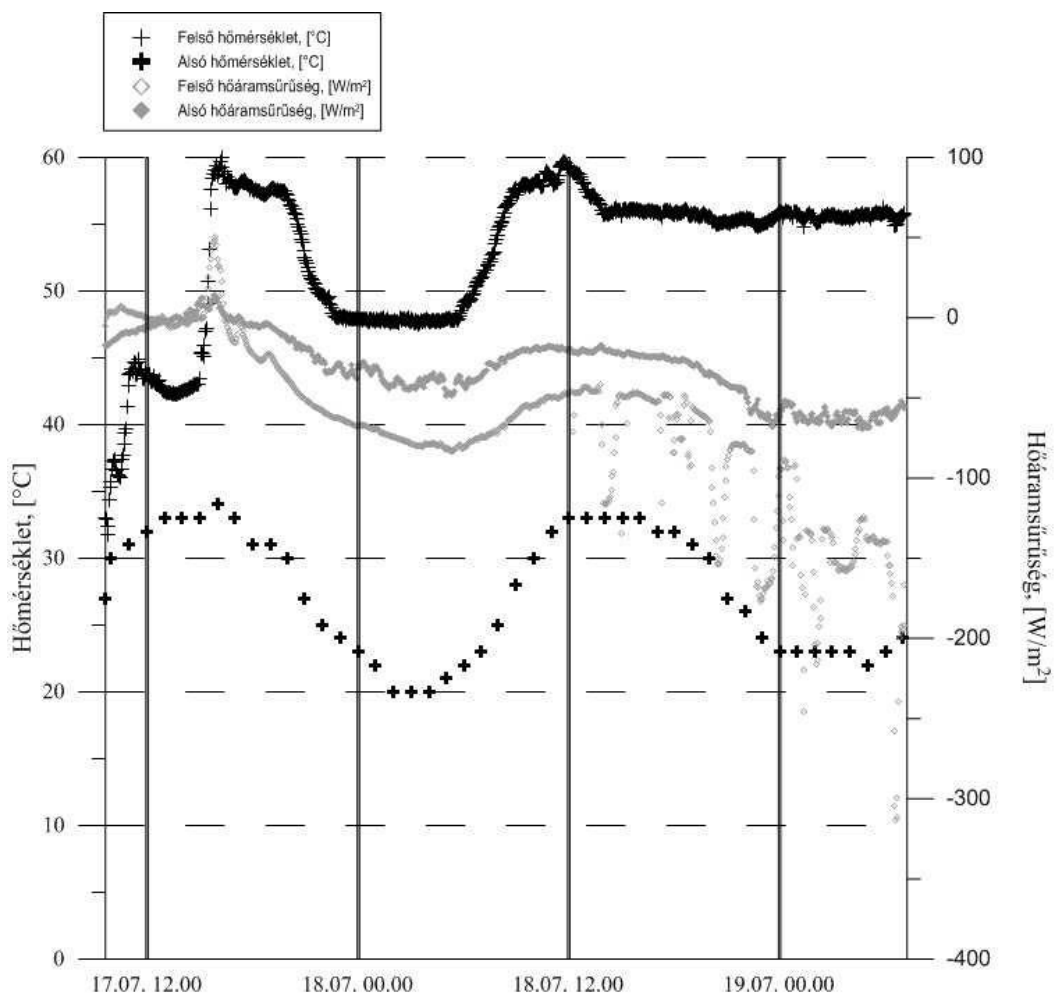
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

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

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 530 kg
 Térfogat: 1050 l
 Sűrűség: 503,32 kg/m³
 Nedv.tart.: 46,8 m/m %
 Porozitás: 0,73

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 10
 Kezdet: 2013.07.19
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 50 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 24 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

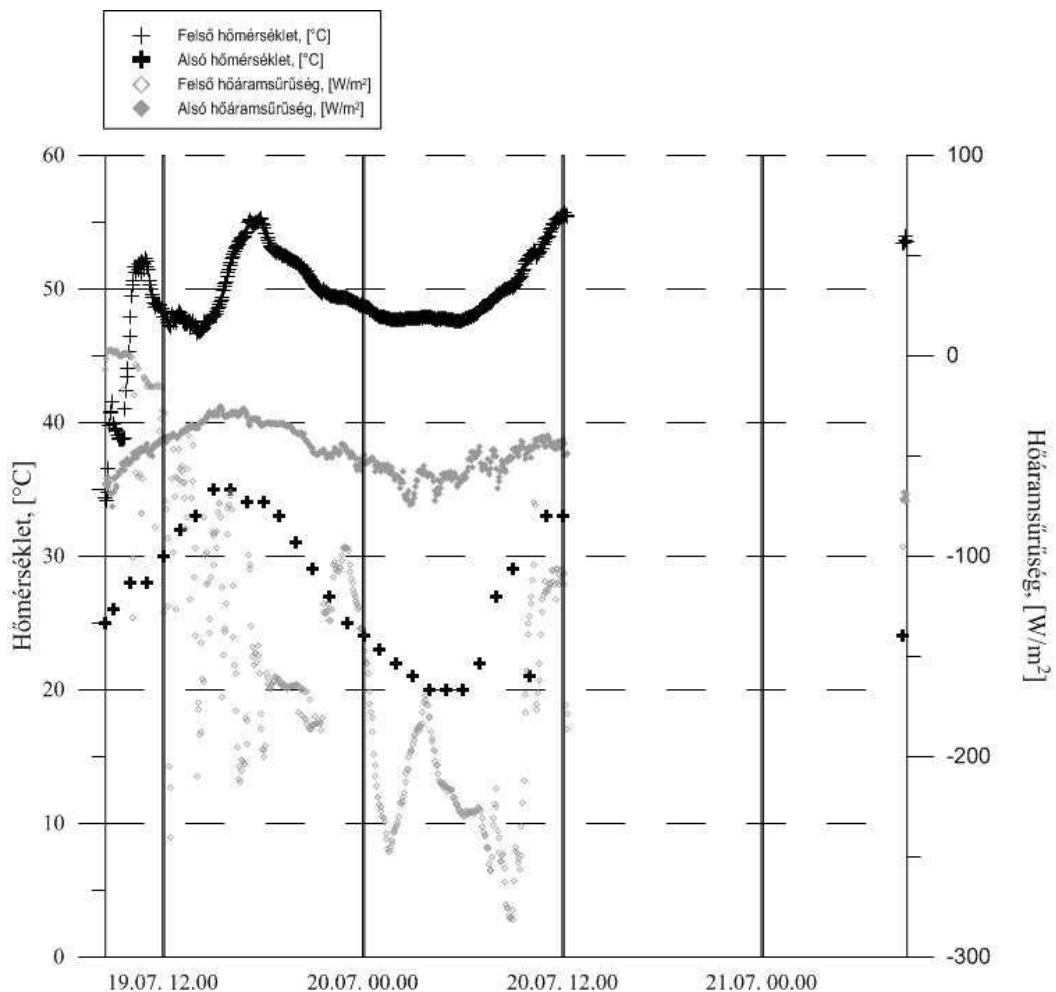
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 10,25 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 6066 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 690 kg
 Térfogat: 1360 l
 Sűrűség: 507,05 kg/m³
 Nedv.tart.: 30,3 m/m %
 Porozitás: 0,68

Megjegyzés: a mérés nagyjából 1 nap után megszakadt



Mérés adatai:

Sorszám: 11

Kezdet: 2013.07.22

Fűtés típusa: 440 W

Minta információk:

Ütem: terítési meddő

Mélység: -

Minta fizikai jellemzői:

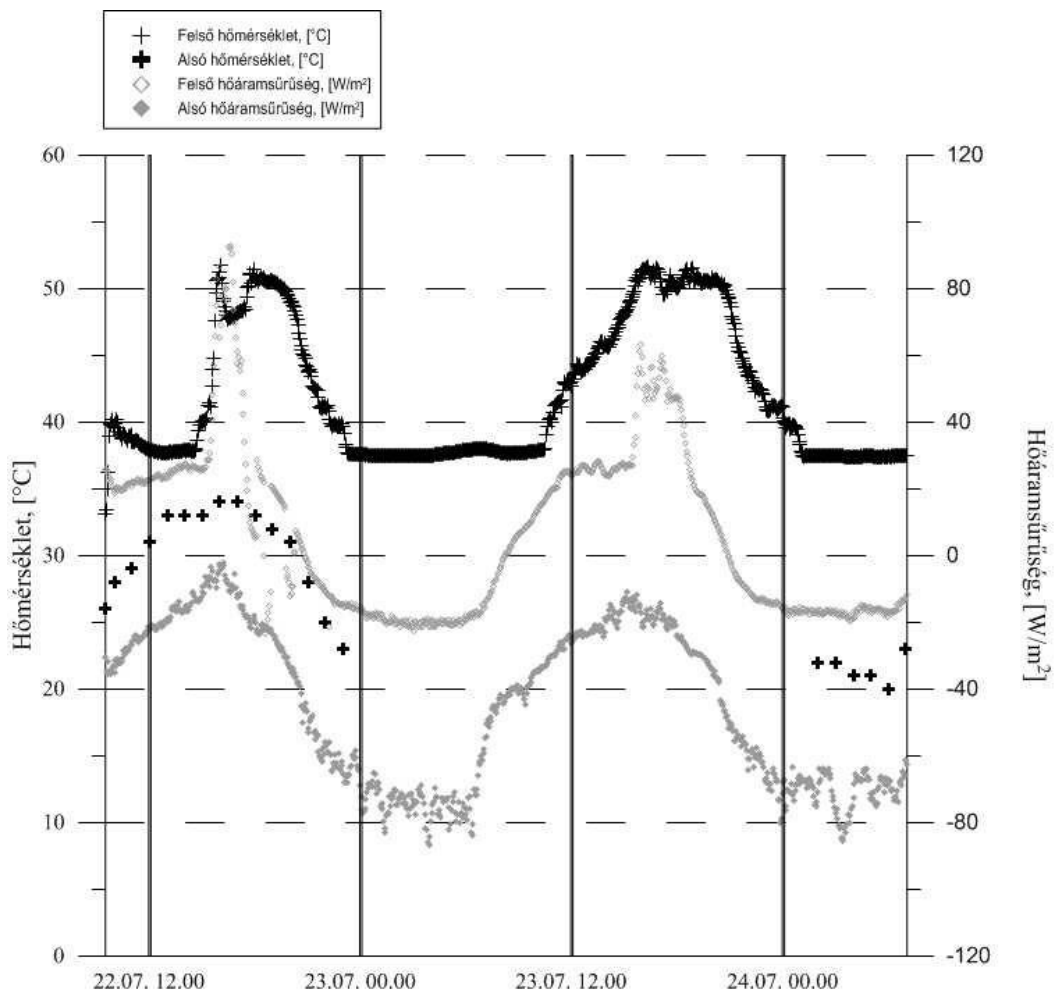
Tömeg: 1050 kg

Térfogat: 920 l

Sűrűség: 1137,1 kg/m³

Nedv.tart.: 8,04 m/m %

Porozitás: 0,11

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:** Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 68 W/m² ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 18 °C**Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:** $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 37,82 °C $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 33,00 °C $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 35,41 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 51,80 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 34,00 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 42,90 °C ΔT_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 7,49 °C Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 5456 s**Megjegyzés:** nincs

Mérés adatai:

Sorszám: 12
 Kezdet: 2013.07.24
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 66 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 36 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

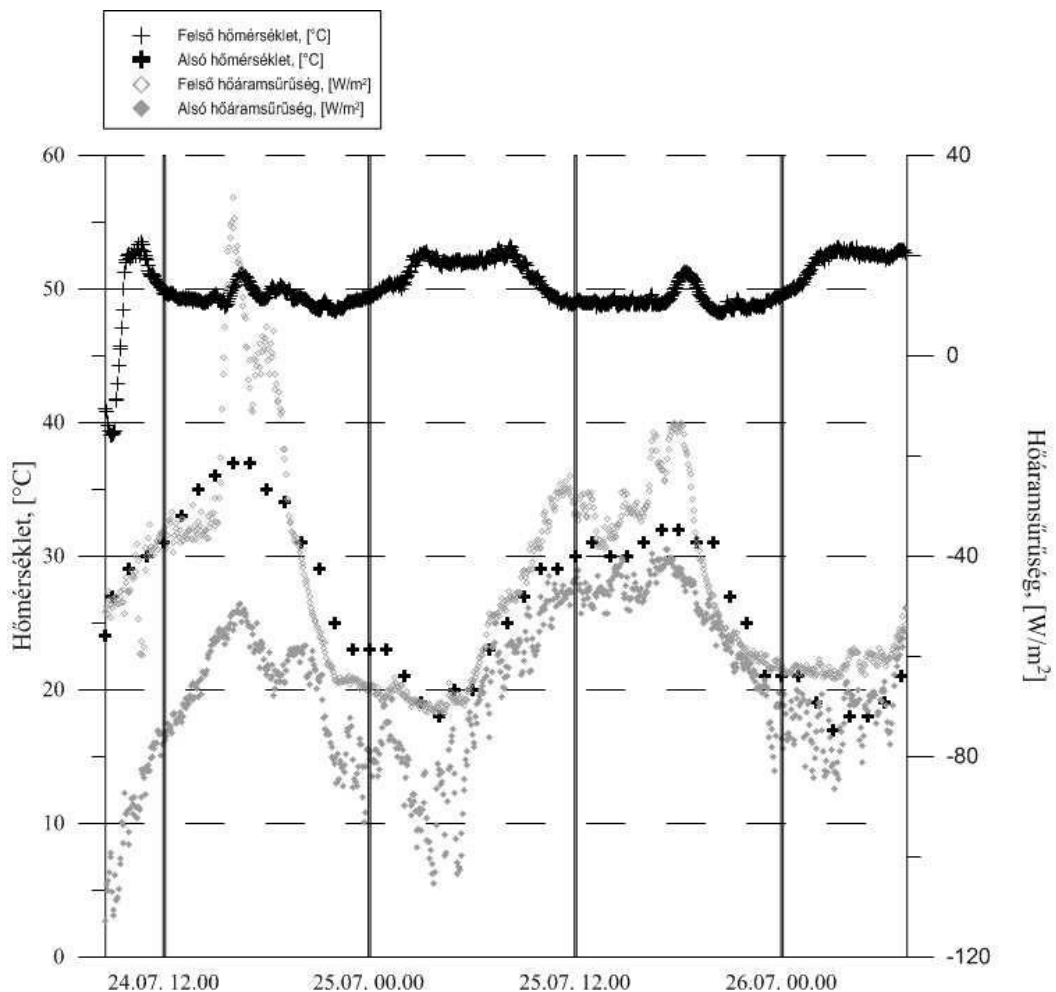
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 9,24 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 6458 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 880 kg
 Térfogat: 1340 l
 Sűrűség: 654,47 kg/m³
 Nedv.tart.: 8,11 m/m %
 Porozitás: 0,51

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 13
 Kezdet: 2013.07.26
 Fűtés típusa: 440 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 62 W/m^2
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): $27 \text{ }^\circ\text{C}$

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 0,5 m

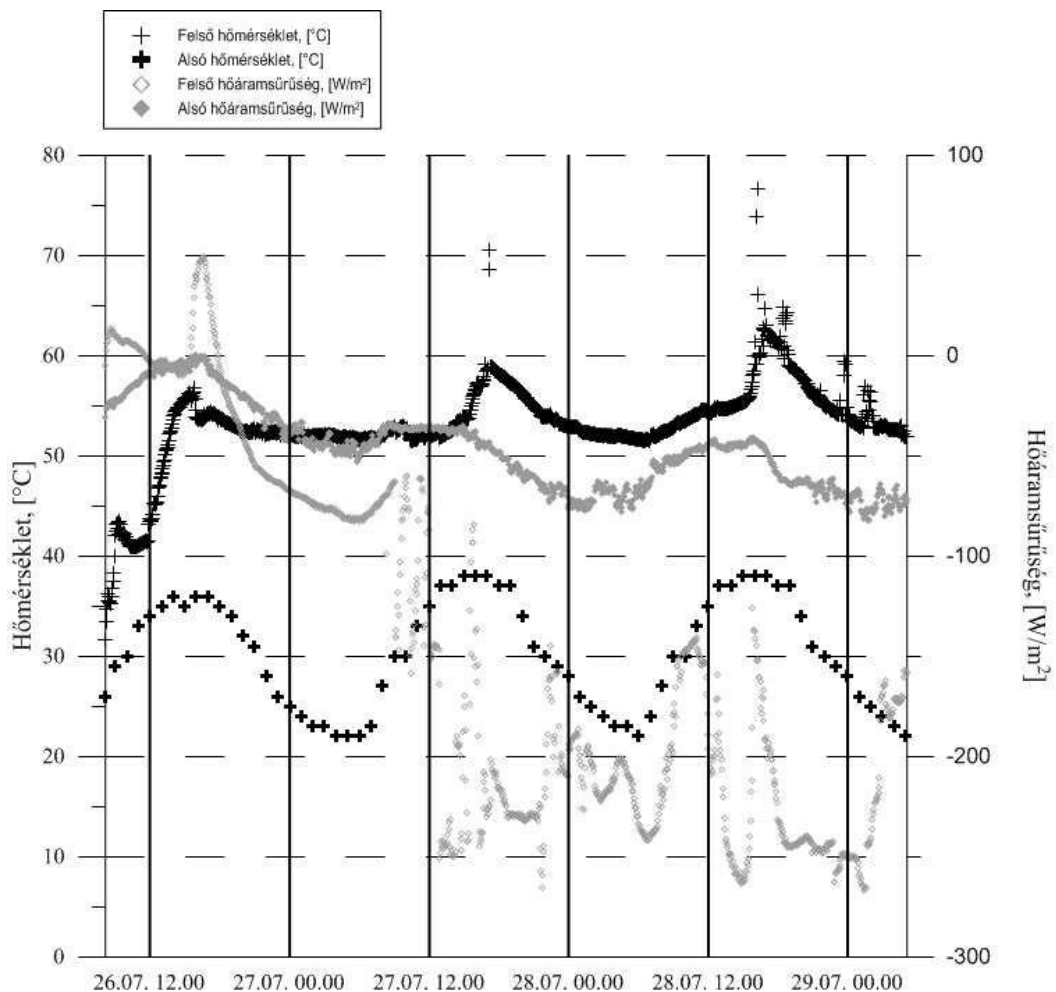
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ $31,70 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ $26,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ $28,85 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ $56,30 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ $35,00 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ $45,65 \text{ }^\circ\text{C}$
 ΔT_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): $16,80 \text{ }^\circ\text{C}$
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 27504 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 550 kg
 Térfogat: 1180 l
 Sűrűség: $465,08 \text{ kg/m}^3$
 Nedv.tart.: 47,3 m/m %
 Porozitás: 0,76

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszama: 14

Kezdet: 2013.07.29

Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem

Mélység: felszíni minta

Minta fizikai jellemzői:

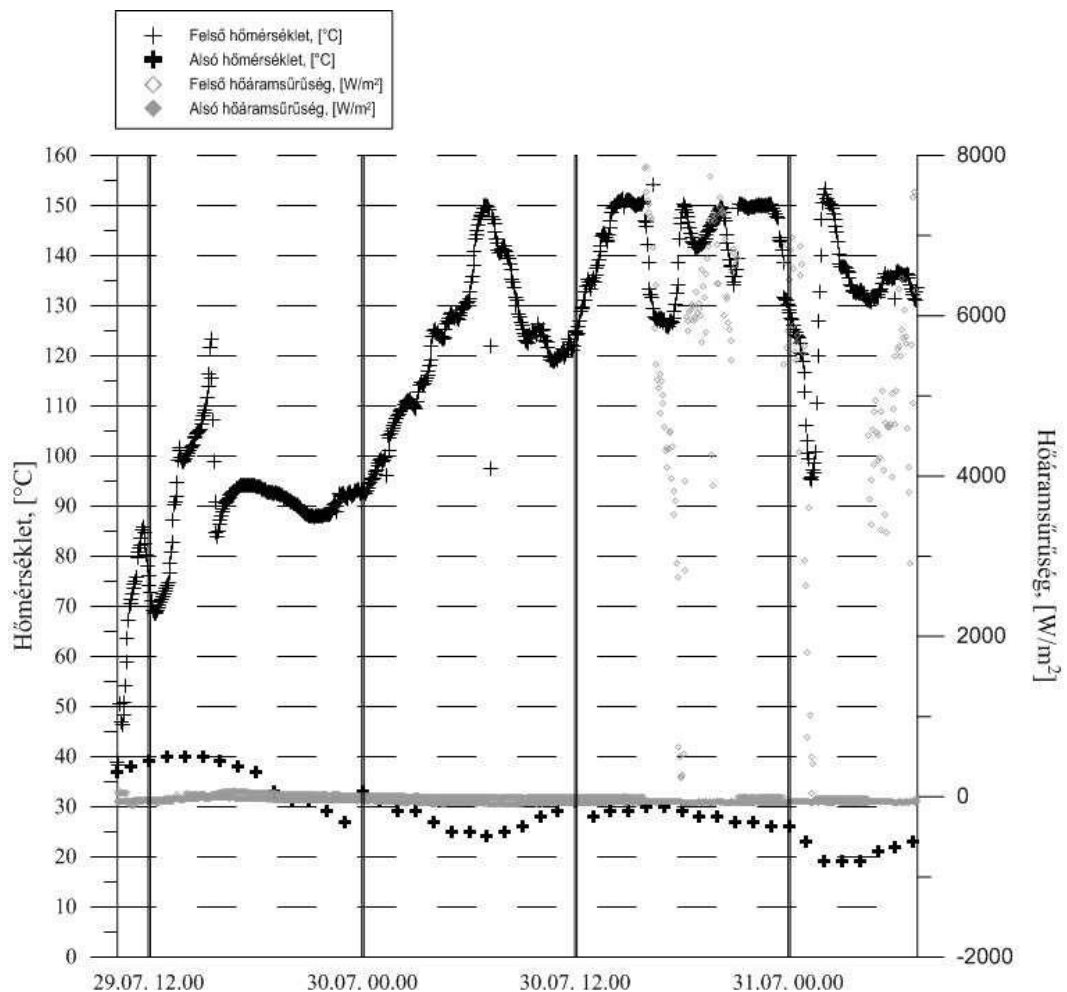
Tömeg: 550 kg

Térfogat: 1340 l

Sűrűség: 409,04 kg/m³

Nedv.tart.: 54,4 m/m %

Porozitás: 0,81

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:** Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 70 W/m² ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 116 °C**Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:** $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 38,32 °C $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 37,00 °C $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 37,66 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 123,3 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 40,00 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 81,65 °C ΔT_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 43,99 °C Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 18811 s**Megjegyzés:** nincs

Mérés adatai:

Sorszám: 15
 Kezdet: 2013.07.31
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 77 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 106 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: felszíni minta

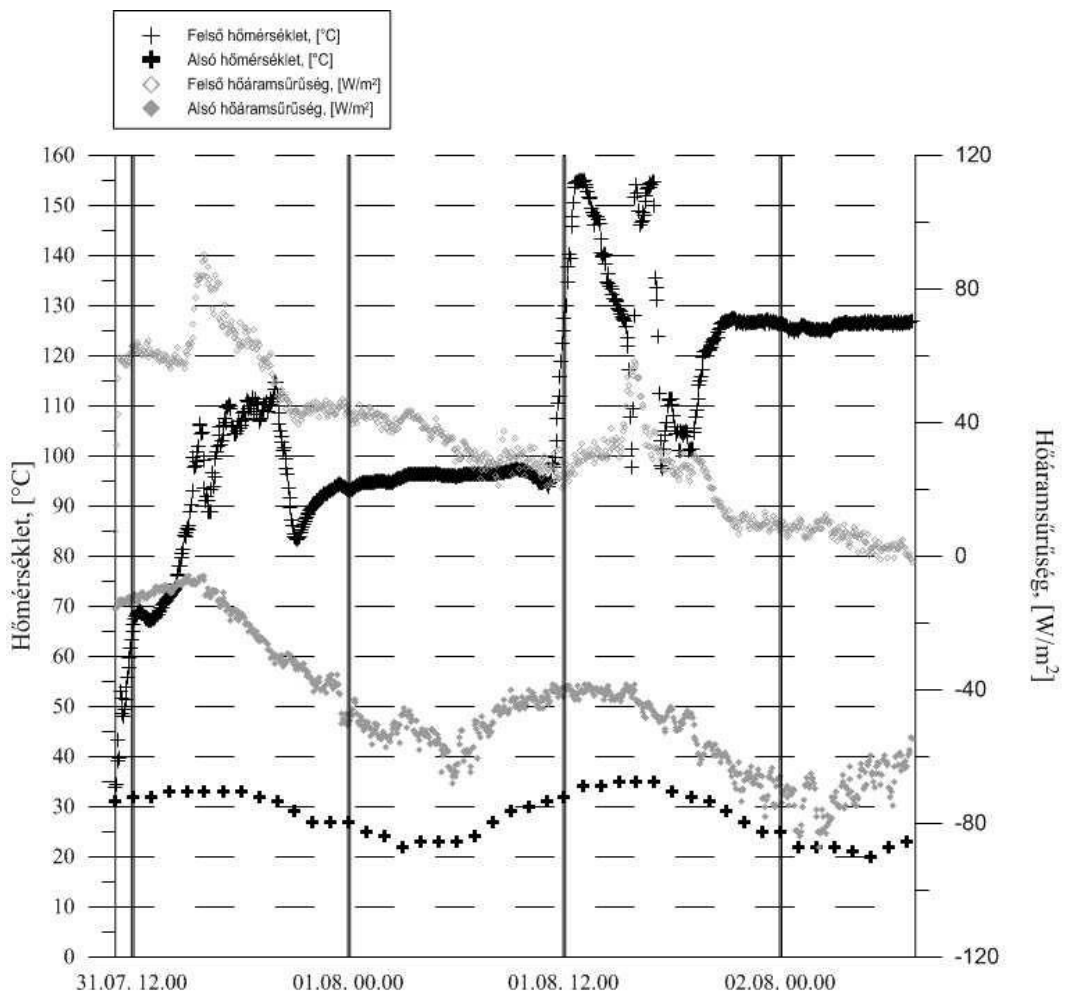
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 39,48 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 26727 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 610 kg
 Térfogat: 1310 l
 Sűrűség: 464,87 kg/m³
 Nedv.tart.: 46,4 m/m %
 Porozitás: 0,75

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszama: 16

Kezdet: 2013.08.02

Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: IV. ütem

Mélység: felszíni minta

Minta fizikai jellemzői:

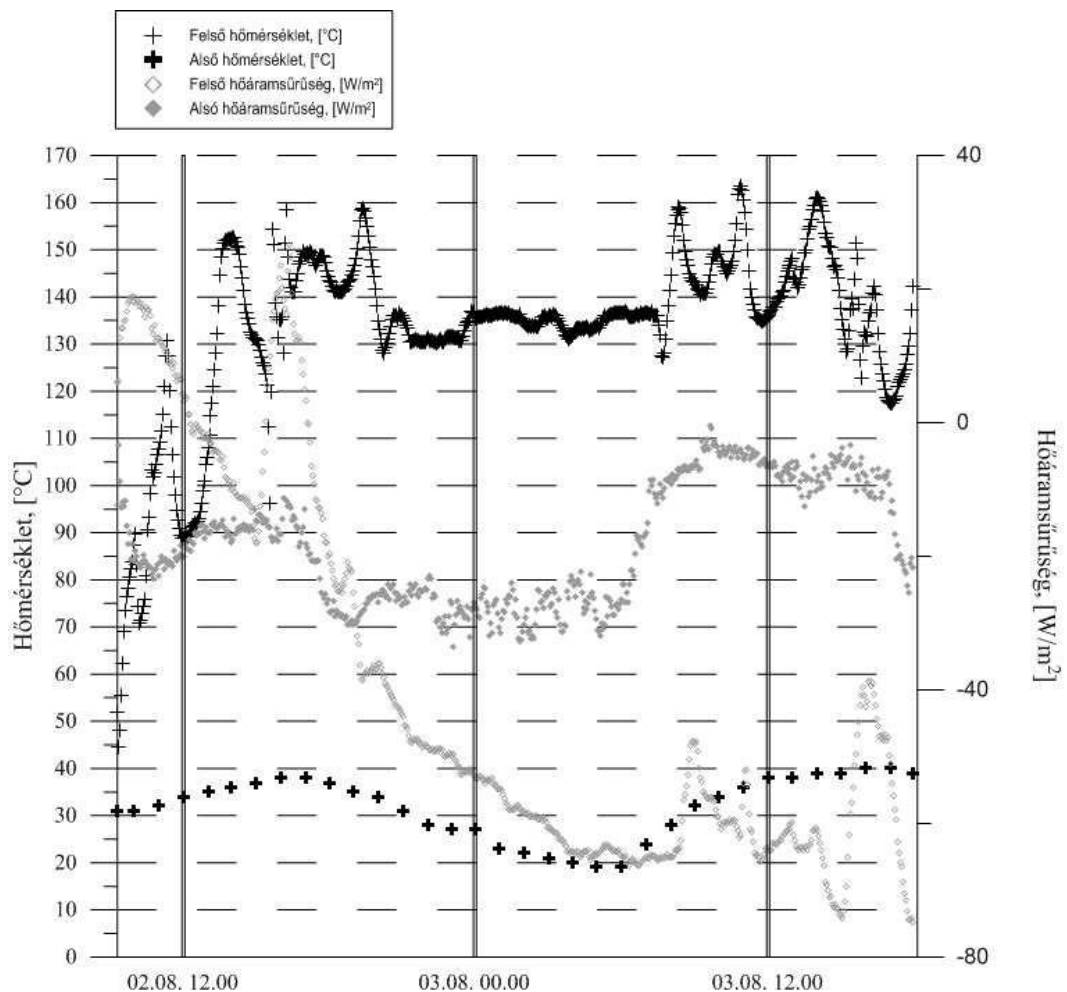
Tömeg: 530 kg

Térfogat: 1440 l

Sűrűség: 367,6 kg/m³

Nedv.tart.: 52,1 m/m %

Porozitás: 0,83

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:** Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 64 W/m² ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 102 °C**Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:** $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 44,54 °C $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (alsó):}$ 31,00 °C $T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (átlag):}$ 37,77 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (felső):}$ 130,6 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (alsó):}$ 32,00 °C $T_{\text{felfűtési szakasz vége (átlag):}$ 81,30 °C ΔT_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 43,53 °C Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 7090 s**Megjegyzés:** nincs

Mérés adatai:

Sorszám: 17
 Kezdet: 2013.08.05
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 104 °C

Minta információk:

Ütem: IV. ütem
 Mélység: 2,5 m

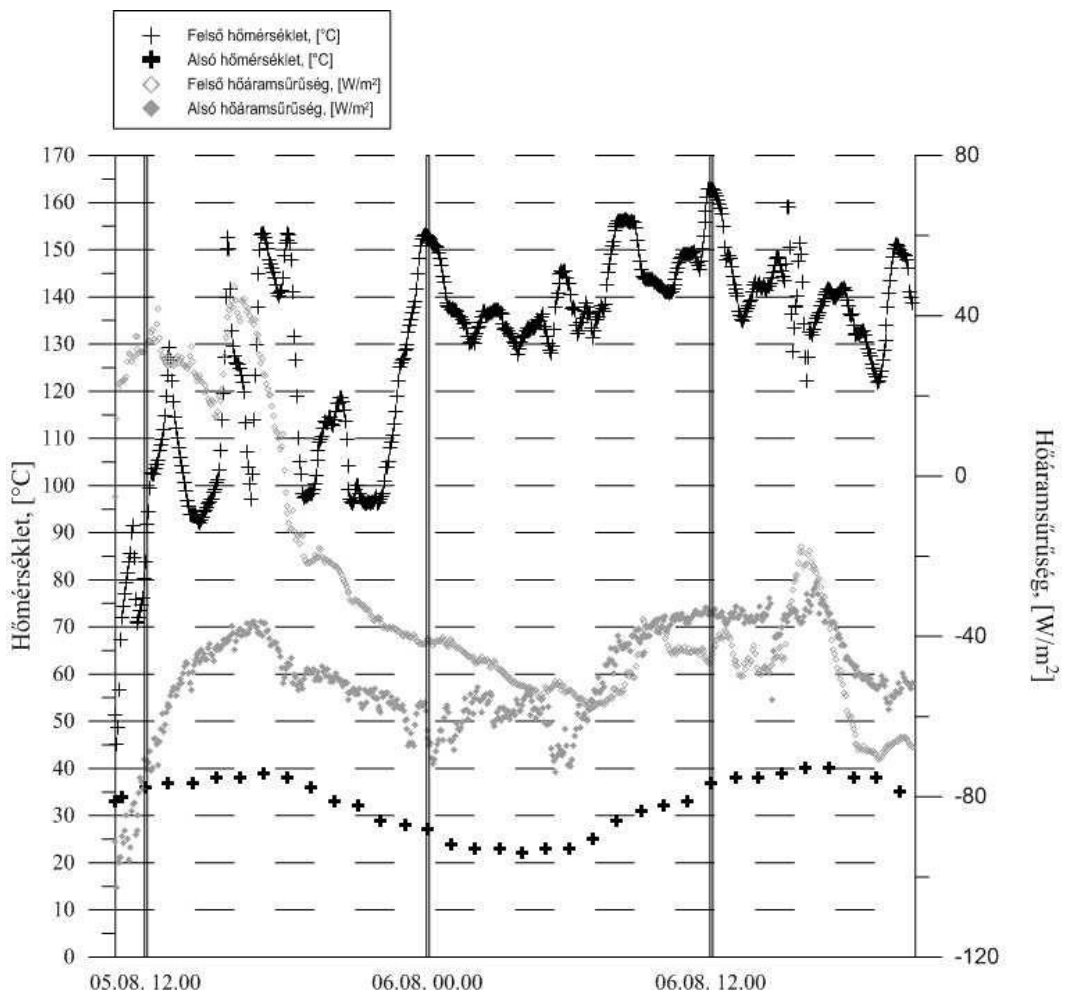
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 44,03 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 8096 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 670 kg
 Térfogat: 1310 l
 Sűrűség: 510,59 kg/m³
 Nedv.tart.: 17,42 m/m %
 Porozitás: 0,64

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 18
 Kezdet: 2013.08.07
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 81 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 123 °C

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 2,5 m

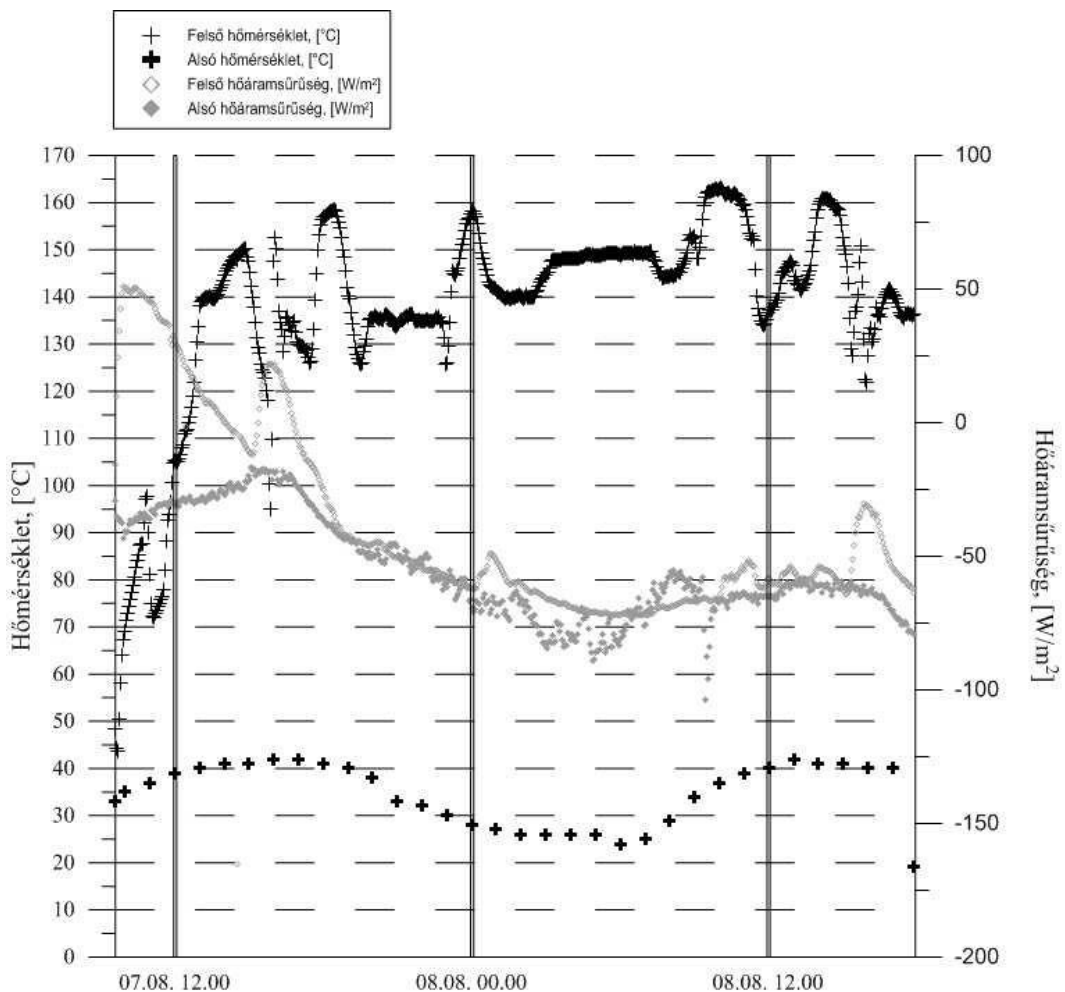
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 56,54 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 17189 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 670 kg
 Térfogat: 1340 l
 Sűrűség: 498,39 kg/m³
 Nedv.tart.: 22,22 m/m %
 Porozitás: 0,66

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 19
 Kezdet: 2013.08.09
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 100 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 119 °C

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 2,5 m

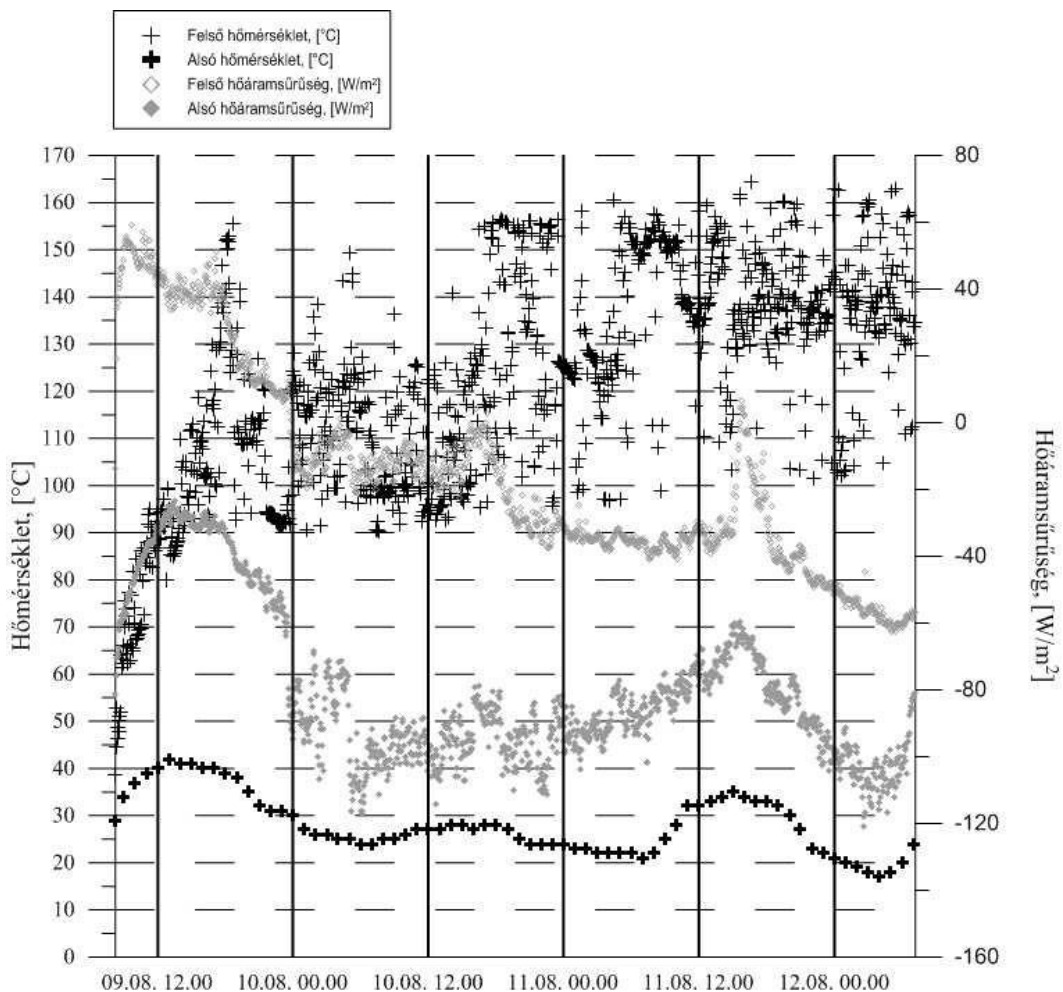
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 60,88 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 35608 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 750 kg
 Térfogat: 1280 l
 Sűrűség: 586,03 kg/m³
 Nedv.tart.: 20,2 m/m %
 Porozitás: 0,59

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 20
 Kezdet: 2013.08.14
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:

Egyensúlyi adatok:
 Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 60 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 130 °C

Minta információk:

Ütem: III. ütem
 Mélység: 2,5 m

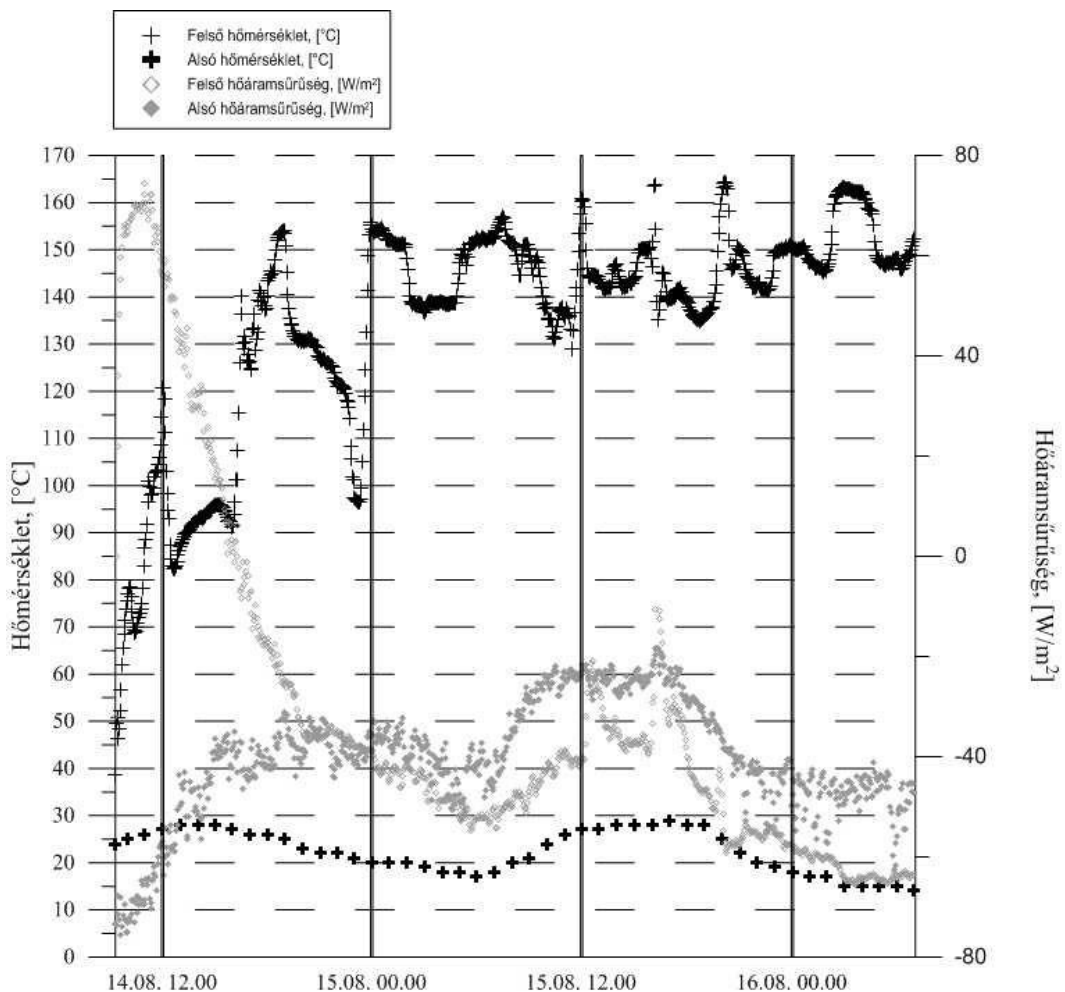
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 42,55 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 9682 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 450 kg
 Térfogat: 1280 l
 Sűrűség: 351,62 kg/m³
 Nedv.tart.: 35,3 m/m %
 Porozitás: 0,80

Megjegyzés: nincs



Mérés adatai:

Sorszám: 21

Kezdet: 2013.08.16

Fűtés típusa: 1760 W

Minta információk:

Ütem: II. ütem

Mélység: 2,5 m

Minta fizikai jellemzői:

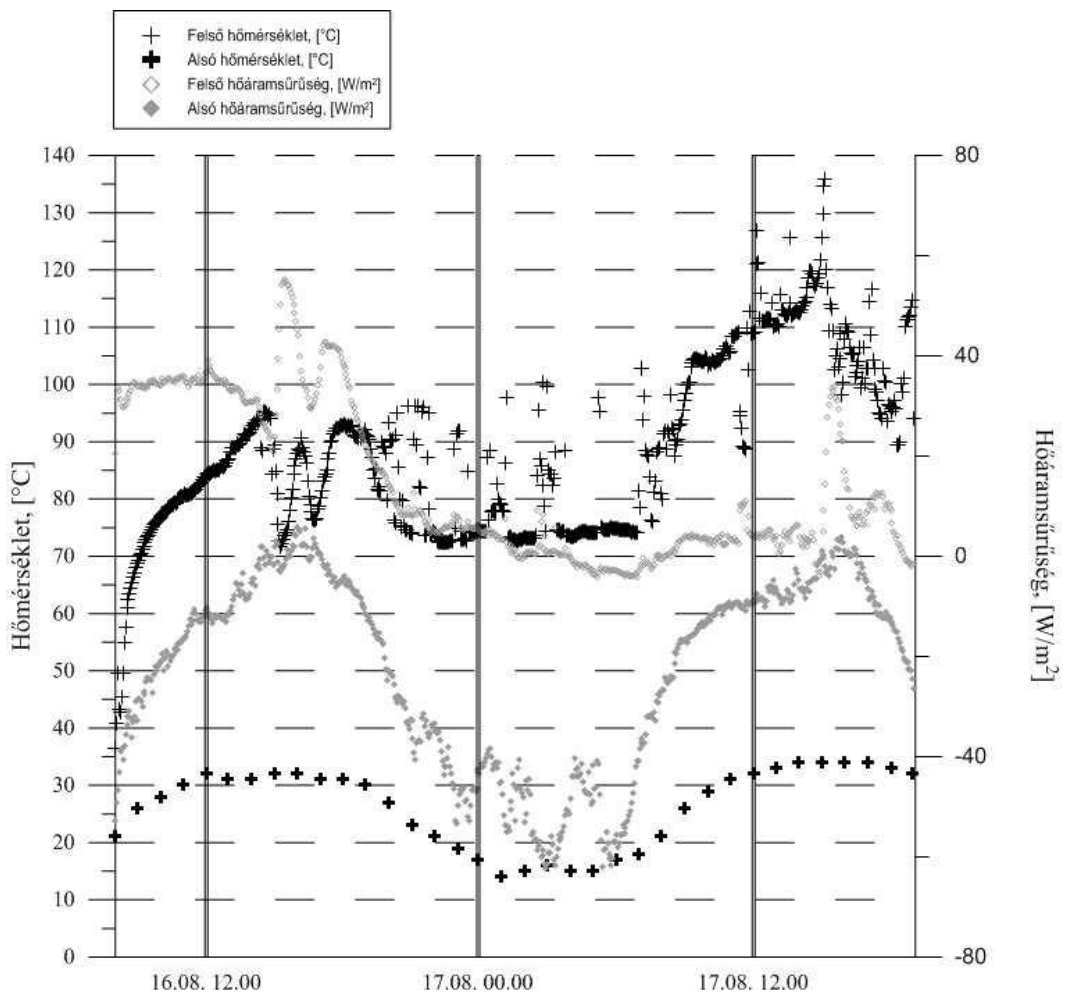
Tömeg: 1050 kg

Térfogat: 1540 l

Sűrűség: 682,26 kg/m³

Nedv.tart.: 36,3 m/m %

Porozitás: 0,55

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:** Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 49 W/m² ΔT_e (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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 33,89 °C Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 22801 s**Megjegyzés:** nincs

Mérés adatai:

Sorszám: 22
 Kezdet: 2013.08.21
 Fűtés típusa: 1760 W

Kiértékelésből kapott adatok:**Egyensúlyi adatok:**

Δq (egyensúlyi hőáramsűrűség különbség): 24 W/m²
 ΔT_e (egyensúlyi hőmérséklet különbség): 93 °C

Minta információk:

Ütem: I. ütem
 Mélység: 2,5 m

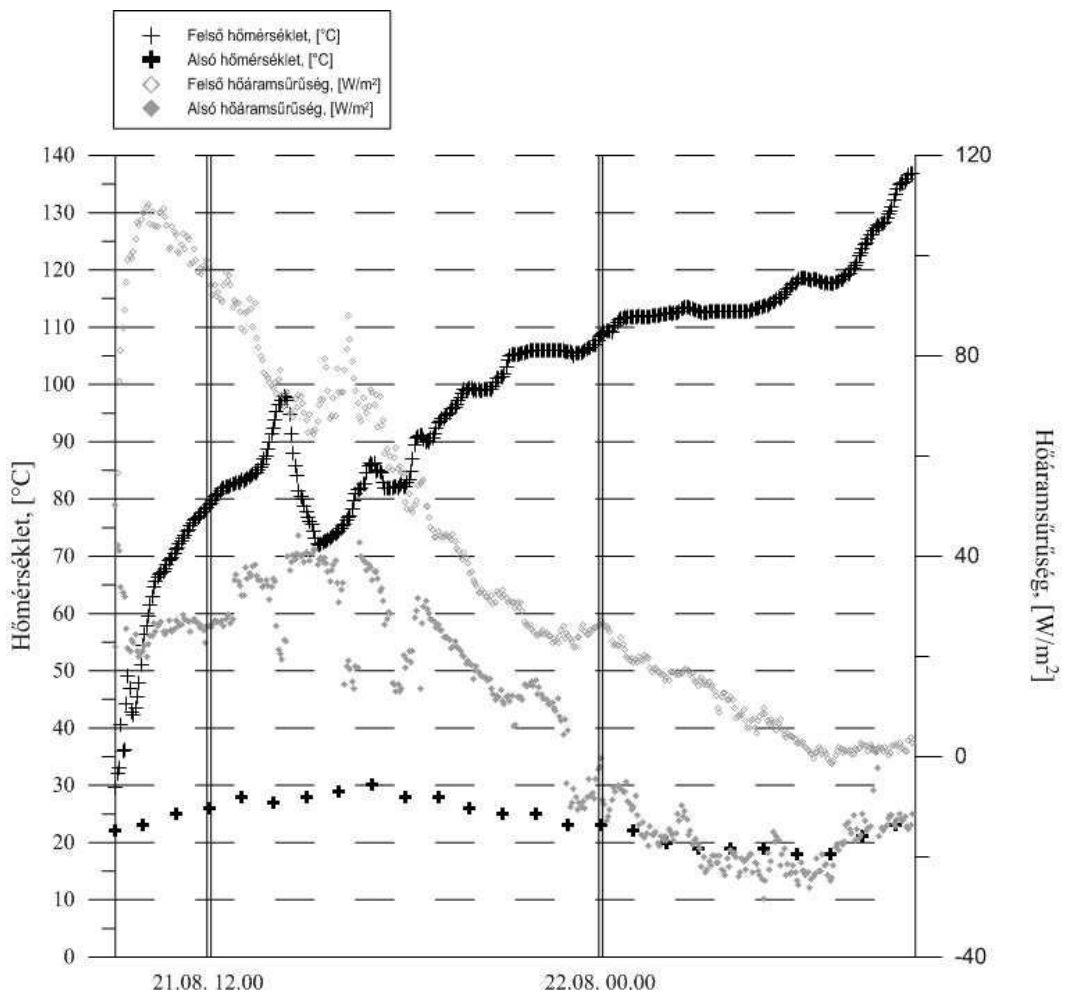
Felfűtési szakaszra vonatkozó adatok:

$T_{\text{felfűtési szakasz kezdete (felső):}$ 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_f (felfűtési szakasz hőm. különbsége): 36,65 °C
 Δt (felfűtésre vonatkozó időtartam): 18566 s

Minta fizikai jellemzői:

Tömeg: 930 kg
 Térfogat: 1440 l
 Sűrűség: 645,03 kg/m³
 Nedv.tart.: -
 Porozitás: -

Megjegyzés: nincs



8.4. Meteorológiai adatok a vizsgálatok időtartama alatt

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

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

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

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

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