

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Környezeti hatások a depóniagáz mennyiségi, illetve
minőségi jellemzőire

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Molnár Tamás Géza

Gödöllő
2012

**A doktori iskola
megnevezése:** Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki tudomány

vezetője: Prof Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE Gépészmérnöki Kar

témavezető: Prof. Dr. Barótfi István CSc
egyetemi tanár, CSc
SZIE Gépészmérnöki Kar
Környezetipari Rendszerek Intézet

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK.....	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	5
2.1. A depóniagáz termelés technológiája a hulladéklerakó telepen	5
2.2. A vizsgálat megtervezése	6
2.2.1. Mérési rendszerek elhelyezkedése a hulladéklerakó telepen	6
2.2.2. Az adatfeldolgozás menete az alkalmazott statisztikai módszerek és mérőműszerek	7
2.2.3. A vizsgálatok és az adatfeldolgozás során alkalmazott kiindulási alapadatok	8
2.3. A hulladéklerakó telepen elvégzett vizsgálatok ismertetése.....	9
2.3.1. A hulladéklerakó telepre beszállított hulladékok összetételének vizsgálata	9
2.3.2. Az elszívás mértéke és a depóniagáz minőségi paramétereinek változása	10
2.3.3. Környezeti hatások a depóniagáz mennyiségi illetve minőségi jellemzőire	10
3. EREDMÉNYEK	11
3.1. A beszállított hulladékok szerves anyag tartalmának vizsgálati eredményei	11
3.2. Depóniagáz minőségi paramétereinek változása az alkalmazott depresszió függvényében. 13	13
4.2.1 A gázkutankénti vizsgálatok eredményei.....	15
3.3. Depóniagáz minőségének és mennyiségének változása a környezeti viszonyoktól	17
3.3.1. Depóniagáz minőségének, mennyiségének változása az átlaghőmérséklet függvényében 17	17
3.3.2. Depóniagáz metántartalmának változása a relatív nedvességtartalom függvényében	23
3.3.3. Depóniagáz metántartalmának változása a légköri nyomás függvényében	26
3.3.4. Depóniagáz metántartalmának változása a különböző szélesség intervallumokban ...	29
3.3.5. Depóniagáz minőségének és mennyiségének változása a csapadék mennyiségétől	32
3.4. Az eredmények értékelése	34
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	36
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	38
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	39
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK	40

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Magyarországon az elmúlt években egyre nagyobb feladatot jelent a települési szilárd hulladék mennyiségének folyamatos növekedése, ami a lakossági fogyasztás következtében alakult ki. Magyarországon jelenleg mintegy 23 millió m³ települési szilárd hulladék keletkezik évente. Ennek 62%-a lakossági eredetű, a többi intézményeknél, szolgáltató egységeknél keletkező háztartási hulladékokkal együtt kezelhető hulladék. A hulladékgazdálkodásnak kulcs szerepe van a környezet minőségének, a természeti erőforrás védelmében, a környezeti biztonságérzet kialakításában egyaránt. A hulladékok rendezett lerakása két alapvető környezetkárosító hatással járhat. Az egyik a csurgalékvíz, ami a hulladékon keresztül átszivároghatva szennyezi a talajvizet, a másik a szerves anyag bomlásából származó depóniagáz. A hulladéklerakó telepeknél ezért rendelkezniük kell depóniagáz elvezető rendszerekkel ahhoz, hogy a környezetvédelmi előírásoknak megfeleljenek, amennyiben a feltételek adottak, akkor a depóniagáz hasznosítását is meg kell oldani. A települési hulladékok bomlásából keletkező depóniagáz problémakörével azóta foglalkoznak behatóan, mióta kimutatható, hogy Földünkön a természetes és antropogén metán, szén-dioxid kibocsátás hozzájárul, az ún. üvegházhatás jelenség kialakulásához. A fosszilis energiahordozók véges volta és környezetszennyező hatása egyaránt ráirányította a figyelmet más alternatív energiaforrások, például depóniagáz feltárására és gyakorlati alkalmazására. A téma aktualitásának és jelentőségének szempontja a következő, hogy a képződött hulladék korszerű és az Európai Unió előírásainak megfelelő technológia rendszerek alkalmazásával energetikailag hasznosítható és a fosszilis energiát kiváltó alternatív energiaforrást tudunk használni villamos és hőenergia termelés céljára, ami gazdasági és környezetvédelmi előnyökkel jár.

A keletkező depóniagázok mennyisége és minősége feltételezhetően a hulladéklerakó telepre jellemző időjárási paraméterektől, a depóniagáz kinyerő rendszer műszaki paramétereitől és az adott hódmezővásárhelyi térségre jellemző szerves anyag potenciáltól függ. Ezért célul tűztem ki, hogy meghatározzam egy adott hulladéklerakó-telepen keletkező depóniagáz mennyiségi és minőségi jellemzőinek változását az időjárási paraméterek, üzemeltetési tényezők, és az adott régióra jellemző szerves anyag potenciál figyelembevételével. A feltételezésnek megfelelően a környezeti hatások közvetett, illetve közvetlen úton is befolyásolhatja a keletkezett depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétereit. A környezeti viszonyok és a gáztermelés közti összefüggések vizsgálata mellett célszerű vizsgálni a lerakott hulladék szerves anyag tartalmát, mivel törvényi előírások is szabályozzák a biológiai lebomló részarányt. Munkám célkitűzései pontokba szedve és részletezve az alábbiak:

1. Depóniagáz minőségi paramétereinek változása az alkalmazott depresszió függvényében. Vizsgálatom célja, hogy bemutassam az alkalmazott elszívási rendszer hatékonyságát és a statisztikai módszerek segítségével kapott eredményeket a gyakorlati élet számára hasznosíthatóvá tegyem. A mérések alapján összefüggéseket állítok fel a hulladéklerakóból kinyert depóniagáz minőségi paramétereinek változásáról az alkalmazott depresszió függvényében, ami megmutatja, hogy milyen mértékben befolyásolja az alkalmazott elszívás mértéke a depóniagáz metántartalmát.

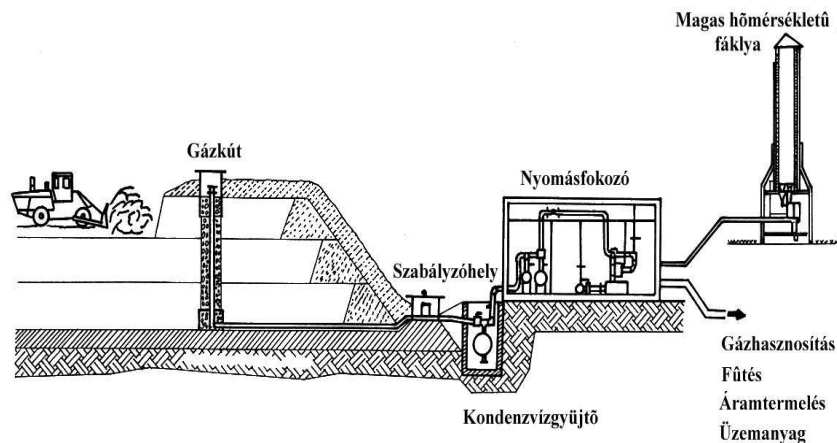
2. Depóniagáz minőségi és mennyiségi paramétereinek változása az átlaghőmérsékleti intervallum, levegő relatív nedvességtartalom, a szélesség intervallum, csapadék mennyiség és az elhelyezett hulladék szerves anyag tartalmának változása függvényében. A hulladéklerakó telep és környezetére jellemző külső fizikai jellemzők voltak az irányadóak, ilyenek az időjárási adatok, melyek között kapcsolatokat keresek matematika statisztikai módszerek segítségével. A hulladéklerakó egy természetes bioreaktornak fogható fel ahol nem csak a biológiai folyamatok, hanem a külső körülmények is befolyással bírnak. Ezért volt szükséges, hogy minden egyes környezeti elemet vizsgáljak meg és hasonlítsam össze az általam mért gázösszetételekkel. Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményeit fel tudják használni a már meglévő és tervezett hulladéklerakó-telepek megépítésekor és üzemeltetésekor egyaránt.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az A.S.A. Hódmezővásárhely Köztisztasági Kft. kommunális szilárd hulladéklerakója Hódmezővásárhely külterületén a 01957/1 hrsz-ú területen üzemel. A hulladéklerakó Hódmezővásárhelytől délre 4414 sz. közúttól nyugatra, a városközponttól kb. 5-6 km-re helyezkedik el. A hulladéklerakó telepére közszolgáltatás keretében Hódmezővásárhely mellett további hat településről (Csanytelek, Mindszent, Mártély, Földeák, Békéssámsón, Makó, Nagyér) szállítanak hulladékot, ellátási körzete 200.000 fő. Tevékenységünket a Hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvényhez kapcsolódó jogszabályok, valamint a településekkel kötött közszolgáltatási szerződések alapján végzik. A hulladéklerakó-telep és kiszolgáló létesítményei a 1994-ben készített hatástanulmány adatait alapul véve mintegy 20ha területen kerülnek kialakításra, a depóniák végső magassága 30 m, kapacitása 3,9 millió m³ tömör hulladék, amely közel 50 évig biztosítja a térség kommunális hulladékának ártalmatlanítását. A hulladéklerakó telep osztrák normák alapján kivitelezett műszaki védelemmel, csurgalékvíz-gyűjtődrén és depóniagáz elvezető rendszerrel van ellátva, művelése dombépítéses technológiával történik. A telepre beszállítható hulladékok az ATIKÖFE engedélye alapján a következők: háztartási hulladékok, nem veszélyes ipari hulladékok, szennyvíziszap, építési törmelék, föld.

2.1. A depóniagáz termelés technológiája a hulladéklerakó telepen

A depónia gázkinyerő rendszer elemei a következők: gázkutak, gázgyűjtő vezetékek, gázszabályozó, nyomásfokozó, fáklya, gázmotoros konténer, meteorológiai állomás (1. ábra). A depóniagáz összegyűjtése gázkutak segítségével történik. A hulladéklerakó telepen a kezdeti időszakban alsó elszívású gázkutak voltak telepítve, azonban a süllyedésből és deformációból származó hibák nagymértékben akadályozták a gázkitermelés határfokát. Áttértek a felső elvezetésű gázkút kialakításra, melyek a lerakó feltöltése, vagy bizonyos magasság elérése után épülnek, az üzemeltetést nem hátráltatja, jó minőségű depóniagáz és hozam érhető el.



1. ábra Depóniagáz termelés technológiai rendszere

A keletkező depóniagáz elvezetésére a teljes hulladékvertikumot és az üzemeltetési időt tekintve, a tervezett 60 db gázkút segítségével kerülne összegyűjtésre a depóniagáz, a maximális tervezett termelés 2950 m³/nap. Jelenleg a hulladéklerakó telepen 15 db gázkút van bekötve a termelésbe, a többit a folyamatos feltöltéssel helyezik majd üzembe. A gázszabályzó állomásban minden egyes gázkút gyűjtővezetéke egyenként szabályozható. A szabályzó állomásban lehetőség van a depóniagázt két különböző minőségre osztani, mint hasznosítható vagy fáklyázható. Ennek megfelelően az állomást két párhuzamos főgyűjtő hagyja el. A főgyűjtőbe csatlakozás előtt minden gyűjtővezetéken pillangó szelep és mintavevő található, ami lángzárral van ellátva. A mintavevő nyíláson lehetséges a nyomás, hőmérséklet és áramlási sebesség mérése. A főgyűjtő vezetékek eséssel vannak kialakítva a kondenzvíz-leválasztó aknák felé.

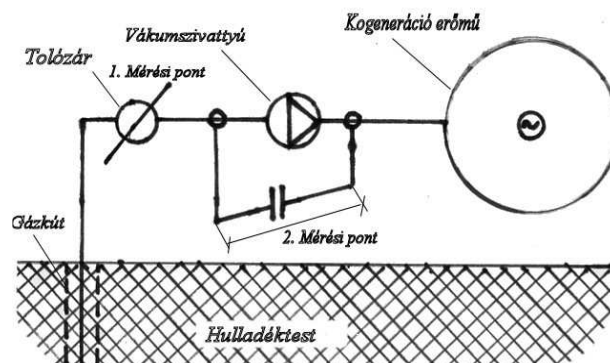
A kondenzvíz egy PE-HD beton-védőlemezzel szigetelt medencében gyűlik szűkítőn keresztül. Az akna mélysége és a leválasztó hosszúsága a szívóhatás függvényében lesz kialakítva, úgy hogy a főgyűjtő ne kapjon vizet, és a vízállás rendszeresen ellenőrizhető legyen. A vákuum-szivattyú a konténerben van elhelyezve, paramétereit a depóniagáz-prognózis alapján határozták meg. A hulladéklerakó-telepen az első telepítésre kerülő vákuumszivattyú 0–500 m³/h szállítási kapacitású. A keletkező depóniagázok elfaklyázásához egy magas hőmérsékletű fáklyára van szükség, az üzemeltetése a gázmotoros egység karbantartása és ellenőrzése során történik. A vezérlő és szűrő berendezések a vákuumszivattyú konténerében találhatóak, a mintavétel mérővezetékeken történik. Biztonságtechnikai előírások és szabályok betartatása rendkívül fontos, mivel, egy metán-levegő keverék, melyben a metán 5–15 tf% és a levegő 11,6tf% van jelen, az robbanásképes. Ezért a gázkoncentráció ellenőrzése elengedhetetlen, a biztonságos üzemeltetés érdekében a rendszer 25tf% CH₄ és 6tf% O₂ mellett a kompresszort kikapcsolja. Ez a koncentráció csak a elszívás első fázisában állható elő, mikor még viszonylag vékony a hulladékréteg vastagsága. Az első magasításig az elszívást nem indítjuk, mert a gázkút még nem funkcióképes, amennyiben a hulladék vastagsága elérte a 4m-t, akkor indítható a depóniagáz elszívása. A hódmezővásárhelyi hulladéklerakó telepen keletkező depóniagáz mennyisége és minősége lehetőséget ad energetikai hasznosításra. Az energetikai hasznosítása a depóniagáznak a telephelyen megtalálható szociális épület fűtési rendszerében, illetve gázmotorokban történő felhasználásában rejlik.

2.2. A vizsgálat megtervezése

A vizsgálatok megtervezésénél alapvető feladatomból volt a hipotézisem felállítása. A hipotéziseim szerint a hulladéklerakó-telepen keletkező depóniagázok mennyiségi és minőségi paramétereinek változását az adott területre jellemző környezeti hatások, üzemeltetési jellemzők és a lerakott hulladékok szerves-anyag tartalmának változása befolyásolhatja. Az időjárási paraméterek között az átlaghőmérsékleti intervallum [°C], csapadék mennyiség [mm/nap], szélesebbesség intervallum [m/s], légköri nyomás [hpa], levegő relatív nedvességtartalom [%] értékeinek változása okozhat eltéréseket a depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétereinek között. A gázkinyerő-rendszer üzemeltetési jellemzői, az alkalmazott elszívás értéke [mbar] és az adott régióra jellemző hulladék szerves-anyag koncentráció [%] befolyásolhatja a depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétereit.

2.2.1. Mérési rendszerek elhelyezkedése a hulladéklerakó telepen

A hulladéklerakó telepen a vizsgálatokhoz rendelkezésemre állt a depóniagáz mennyiségének és minőségének vizsgálatára egy számítógépes adatgyűjtő rendszer és egy konténeres mérőberendezés, ahol a mérési rendszerek elemei találhatóak (2. ábra). A hulladéktestből érkező depóniagáz elszívó csővezetékek a kondenzvíz gyűjtő aknában lévő közösítő csőben egyesülnek, majd a mérési rendszeren keresztül csatlakoznak a gázmotoros erőműhöz, ahol az energetikai hasznosítás történik. A vizsgálataim során a következő paramétereket mértem: szívóoldali vákuum [mbar], üzemi nyomás [mbar], CH₄, O₂ [%], külső hőmérséklet [°C], depóniagáz hőmérséklet [°C], pillanatnyi gáztermelés [m³/h], összes gázmennyiség [m³/nap], gázvesztély visszajelző [%], kompresszor [üő].



2. ábra Mérési rendszereknek az elhelyezkedése a hulladéklerakó telepen

A mérési rendszer felépítésekor három mérési pontot alakítottam ki: az 1. mérési pont a gázkutaknál található két mérőcsonc, az egyiket tudom mérni az alkalmazott depressziót [mbar], a másik csoncban pedig a depóniagáz minőségi paramétereit (metán [%], szén-dioxid [%], oxigén [%]) és a tolózárok nyitási szögét [°]. A 2. mérési pont a vákuumszivattyúnál található, a vákuumszivattyú előtt és mögött, a két mérőcsoncra egy mérőműszert csatlakoztatok és le tudom olvasni a nyomáskülönbséget. A nyomáskülönbségből ki tudom számítani a kinyert depóniagáz áramlási sebességét csőszűrlődés nélkül, majd a cső keresztmetszettel a kitermelt depóniagáz mennyiségét. A 3. mérési pont a hulladéklerakó telepen található meteorológia állomás, ahol a következő időjárási paramétereket tudtam mérni: t_k : külső hőmérséklet [°C], φ : levegő relatív nedvességtartalom [%], v_{sz} : szélsébség [m/s], h : csapadék mennyiség [mm/nap].

2.2.2. Az adatfeldolgozás menete az alkalmazott statisztikai módszerek és mérőműszerek

A hulladéklerakóban lezajló degradációs folyamat diagnosztizálására, illetve gázkitermelés és energetikai hasznosítás optimalizálása érdekében GA2000 típusú NDIR (Non Dispersive Infra Red) közepes infravörös tartományban működő gázelemző készüléket használtam.

Az elemzéshez SPSS for Windows 11.0 programot használtam. Az adatokat varianciaanalízis módszerével dolgoztam fel. A homogenitást a Levene-tesztel állapítottam meg, a csoportpárok összehasonlításakor Tamhane-tesztet (heterogenitás esetén), és LSD tesztet (homogenitás esetén) alkalmaztam. A változók közötti összefüggéseket lineáris regresszió analízissel végeztem el.

Vizsgálataimban [Sváb, 1981] szerint meghatározott módszerrel kiszámítottam a mintában szükséges adatok számát. Ahhoz, hogy a mintában szükséges adatok számát meghatározhassuk, ismernünk kell az adatok szórását (s), meg kell adnunk a megengedhető becslési hibát (h), meg kell adnunk a $P\%$ szignifikancia szintet, azaz a megengedett tévedési valószínűséget. Ha a szórást az alapadatok mértékegységében ismerjük és a megengedhető becslési hibát is az alapadatok mértékegységében adjuk meg, akkor a szükséges adatok száma meghatározható:

$$n = \frac{t_{P\%}^2 \cdot s^2}{h^2}$$

ahol: n : elemszám (db), $t_{P\%}$: t próba kritikus eleme, s : szórás, h : becslési hiba

Amennyiben a szórást százalékban (variációs koefficiens formájában) ismerjük és a megengedhető becslési hibát is százalékosan adjuk meg akkor a szükséges adatok számát a következő összefüggés segítségével határozhatjuk meg:

$$n = \frac{t_{P\%}^2 \cdot s\%^2}{h\%^2}$$

ahol: n : elemszám (db), $t_{P\%}$: t próba kritikus eleme, $s\%$: szórás százalék (variációs koefficiens), $h\%$: becslési hiba százalék

A számítást $P=3\%$ és $P=5\%$ -os valószínűségi szinten végeztem. Az eredményeim alapján $h\%=3\%$ -os becslési hiba esetében a statisztikai feldolgozás elvégzéséhez és a következtetések levonásához szükséges minták száma $n=363$ db, $h\%=5\%$ -os becslési hiba esetében a szükséges minták száma $n=131$ db minta szükségességét igazolták. Ezek alapján arra a megállapításra jutottam, hogy az általam felvett adatmennyiség ($n=517$ db), elegendő számú a megfelelő statisztikai vizsgálatok és elemzések elvégzésére. Annak ellenére, hogy elvégeztem a Levene-tesztet, melynek segítségével megállapítottam a csoportpárok összehasonlításakor melyik tesztet (Tamhane v. LSD) kell alkalmaznom, szükségesnek találtam a $CV\%$ (variációs koefficiens) kiszámítását is. A variációs koefficiens elemzésével kívánom az egyes csoportokon belül bemutatni a szórás mértékét, melyet a következő összefüggéssel határoztam meg:

$$s\% = CV = \frac{s}{X} \cdot 100$$

ahol: CV : variációs koefficiens [%], s : szórás, X : adatsor átlaga

2.2.3. A vizsgálatok és az adatfeldolgozás során alkalmazott kiindulási alapadatok

Hódmezővásárhely térségében keletkező hulladék potenciál

A kommunális hulladékban lévő, biológiailag lebomló szerves anyag mennyiség meghatározása céljából elvégzett MSZ 21976 szabvány szerinti hulladékanalízis eredményeként megállapítható, hogy a kistérségbe begyűjtött összes 19322,24 tonna szilárd kommunális hulladék (EWC 200301), melynek a 2007 adatok figyelembe vételével 53%-a azaz 10240,78tonna biológiailag lebonthatónak minősül tehát biomassza-potenciálnak tekinthető (1. táblázat). Hódmezővásárhely és térségében képződő kommunális hulladékokból hasznosítható biomassza potenciált, és az elméleti depóniagáz hozamot mutatja a 2. táblázat 2007. évre vonatkozóan. A kommunális hulladékból keletkező elméleti depóniagáz mennyisége $2.244.424\text{m}^3$. A számításaim során a legkedvezőbb depóniagáz hozamot vettem figyelembe, melyek a következők: települési hulladék $256\text{m}^3/\text{t}$, szennyvíziszap $310\text{m}^3/\text{t}$, olajos hulladék $190\text{m}^3/\text{t}$, zöldhulladékok $190\text{m}^3/\text{t}$. A keletkezett depóniagáz mennyisége a hulladék összetétel függvényében szakirodalom szerint $40\text{--}300\text{m}^3/\text{t}$ (hulladék szerves anyag tartalomra vonatkoztatva), a gyakorlati tapasztalati értékek alapján a ténylegesen kinyerhető gázmennyisége $2\text{--}3\text{m}^3/\text{t}$ között változik éves szinten. Figyelembe kell venni, hogy a gázvezető rendszertől, az üzemvitelétől függően, csak kb. $30\text{--}50\%$ -a hasznosítható a teljes depóniagáz mennyiségnek. Az elméleti és gyakorlati értékek közötti nagy eltérések a környezeti paraméterek változása, hulladék szerves anyag tartalma, a lerakott hulladék jellege és összetétele, anyagi tulajdonságai, és a bomlási körülmények, hulladék tömörsége miatt figyelhető meg.

A hódmezővásárhelyi hulladéklerakó telepen keletkező depóniagáz mennyisége: V_t [$\text{m}^3/\text{t}_{\text{hulladék}}$] Tabasaran/Rettenberger összefüggés szerint a következő:

$$V_t = 1.868 \cdot C_o \cdot (0,014 \cdot T + 0,28) \cdot (1 - 10^{-kt}) \quad [\text{Tabasaran/ Rettenberger, 1987}]$$

ahol: C_o : a hulladék szerves szén hányada [$\text{kg}/\text{t}_{\text{hulladék}}$], 1,868: a szerves anyagra vonatkoztatott gázképződés [m^3/kg], T: hulladéktest hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], k [-]: lebomlási állandó, t : idő [év]

1. táblázat Az A.S.A. mérlegelési adatai szerint a begyűjtött TSZH tömege

Év	Háztartási hulladék (t)	Ipari hulladék(t)	Törmelék (t)	Iszap (t)	Olajos hulladék(t)	Összesen (t)
2005	31 071,33	13 516,56	11 414,32	3 209,93	11 970,97	71 183,11
2006	28 203,54	14 517,83	19 355,94	4 691,90	10 796,56	77 565,77
2007	19 322,24	21 201,81	36 599,36	3 396,94	10 481,13	91 001,48
2008	19 253,24	20 930,55	14 192,47	2 565,82	10 334,30	67 276,38
2009	20 974,66	17 403,90	12 479,42	2 984,42	6 888,89	60 731,29
2010	36 646,02	21 364,48	12 982,00	2 452,29	11 423,96	84 868,75

2. táblázat Keletkező kommunális hulladék területi eloszlása és energetikai hasznosítása

Települések	Biomassza potenciál [t]	Depóniagáz hozam [m^3/t]	Termelődött depóniagáz [m^3]	Depónia fűtőértéke [MJ/m^3]
Hmvhely	7574,94t	256	1.939.184	21
Mindszent	826,36t	256	211.456	21
Mártély	151,04t	256	38.666	21
Székkutas	188,34t	256	48.215	21
Zöldhulladékok	1500t	190	285.000	21
Szennyvíziszap	713,16t	310	221.079	21
Olajos hulladék	524t	190	99.560	21
Összesen	11477,94t		2.843.160	21

Hódmezővásárhely térségére jellemző környezeti viszonyok vizsgálata

A depóniagáz termelődés és összetétel alakulásának egyik legfontosabb eleme a hulladéklerakó telepre jellemző klimatikus tényezők változása. Az időjárási paraméterek közül elengedhetetlen a külső hőmérséklet és levegő relatív nedvességtartalom, légköri nyomás, csapadékviszonyok és az uralkodó szélviszonyok ismerete (3. táblázat).

3. táblázat Hódmezővásárhely térségének környezeti viszonyai

Megnevezés	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Évi
Hőmérséklet középérték [°C]	1,6	0,1	5,7	11,1	16,5	19,7	22,1	21,3	17,3	11,1	5,2	0,5	10,8
Csapadék középérték [mm/hó]	34	34	34	46	62	71	52	48	47	41	50	46	565
Párolgás középérték [mm]	5	10	22	48	81	88	85	65	49	27	11	6	500
Szélirányok gyakorisága [%]	É	ÉK	K	DK	D	DNY	NY	ÉNY	Szélcsend				
	15,2	12,9	4,4	6,9	15,5	16	9,4	12,8	6,9				

2.3. A hulladéklerakó telepen elvégzett vizsgálatok ismertetése

A vizsgálataimat 2007.01.01. – 2007.12.31. között végeztem 11db gázkút esetében 47. alkalommal. A statisztikai vizsgálatok elvégzéséhez és a szignifikáns különbségek megállapításához szükséges elemszámot meghatároztam, az általam elvégzett mérések száma n=517db. Ami kielégíti a statisztikai vizsgálatok szakszerű elvégzéséhez szükséges minimum elemszámot. A méréseket napi, illetve heti rendszerességgel végeztem, a mért eredményeket rögzítettem. A vizsgálataimban az adott gázkútra jellemző hulladék összetételt nem vettem figyelembe, mivel ilyen jellegű adatok nem álltak rendelkezésemre. Az adatmennyiségek kezelhetősége érdekében csoportokat képeztem, majd statisztikai vizsgálatokkal a csoportpárok közötti szignifikáns különbségeket állapítottam meg az összes gázkút esetében, illetve gázkutanként. A csoportpárok kialakításánál alapvető szempont volt az alkalmazott elszívás mértéke, átlaghőmérsékleti intervallumok, levegő relatív nedvességtartalom, légköri nyomás, csapadék mennyiség, szélesség intervallumok összefüggéseinek felállítása a hulladéklerakó telepen keletkezett depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétereire.

2.3.1. A hulladéklerakó telepre beszállított hulladékok összetételének vizsgálata

Az ASA Hódmezővásárhely Köztisztasági Kft. kommunális hulladéklerakójának jelenlegi művelés alatt álló, második és harmadik ütemén történt a vizsgálat, ahol a beszállított hulladékok analízisét végeztem el. A települési szilárd hulladék összetétel vizsgálatába bevont területek kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a hulladék hol keletkezik. A hulladékanalízisbe bevont területek: Hódmezővásárhely-közterület, Hódmezővásárhely-belváros, Hódmezővásárhely családi házas övezet. Ez a módszer reprezentálja a teljes depóniára lerakott hulladékvertikumot. A vizsgálatok során, a területeken az aznapi először érkező szállítmányokat vizsgáltam. A depóniára kerülő összes hulladék összetételére a teljes napi beszállítás alapján lehet következtetni, ennek megfelelően a napi beszállított hulladékok EWC kódok alapján kerülnek összesítésre. Az A.S.A. Hódmezővásárhelyi Köztisztasági Kft. az egységes környezethasználati engedélyekben előírt téli, tavaszi, nyári, őszi hulladék-összetétel monitoringozását a Környezetvédelmi felügyelőség értesítése mellett végezte el (4. táblázat). A hulladék összetétel vizsgálatot a MSZ 21420-28 és az MSZ 21420-29 szabványok szerint készítettem el, ahol a hulladékok 13 frakcióra és azok alfrakcióra bontását végeztem el, és ezekből határoztam meg a hulladéklerakó felületére lerakott biológiailag lebomló részarányokat.

4. táblázat A hulladék-összetétel vizsgálatba bevont hulladékok mennyisége 2007-ben

		2007.12.18 tél 3. terület	2007.04.06 tavasz 2. terület	2007.07.10 nyár 3. terület	2007.09.05 ősz 1. terület
A	Gyűjtő jármű bruttó tömege	11540 kg	28220 kg	11540 kg	28220 kg
B	Nyers nettó tömege	1040 kg	11740 kg	1040 kg	11740 kg
C	Átlagminta tömege	504,7kg	499,57kg	501,5kg	503,5kg

2.3.2. Az elszívás mértéke és a depóniagáz minőségi paramétereinek változása

Vizsgálataimat az atmoszférikus nyomáshoz mérten, illetve a vizsgálati időpontokban a hulladéklerakó-telepre jellemző helyi légköri nyomásviszonyok figyelembevételével végeztem. A gázkutaknál tolózárak segítségével tudjuk szabályozhatóvá tenni a depóniagáz elvezető rendszert. A tolózárak nyitási szögének változtatásával a hulladéktestet ért depresszió mértéke csökken, illetve emelkedik, ezzel összefüggésben a depóniagáz minőségi és mennyiségi paramétere is változnak. Azoknál a hulladéklerakó telepeknél ahol depóniagáz kinyerő és hasznosító rendszer működik, a legfontosabb üzemeltetési paramétereknek tekinthető az alkalmazott elszívás mértékének ismerete. Az üzemeltetés során törekedni kell arra, hogy a hulladéklerakó telepen található gázkutaknak össztermelése mindig biztosítsa a gázmotorok működéséhez szükséges 45-50%-os metántartalmat. A nyomás csoportokat és a hozzájuk tartozó gázkút metántartalmi értékeket rendszereztem. A statisztikai feldolgozás során megvizsgáltam az összes gázkút esetében, illetve gázkutanként, hogy milyen összefüggések tárhatóak fel az alkalmazott elszívás mértéke és a depóniagáz metántartalma között. Az adatokat varianciaanalízissel SPSS for Windows 11.0 program segítségével dolgoztam fel, és az egyes gázkutak esetében lineáris regresszió vizsgálatokat végeztem.

2.3.3. Környezeti hatások a depóniagáz mennyiségi illetve minőségi jellemzőire

A hulladéklerakó-telepen megtalálható meteorológiai állomás által szolgáltatott átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], relatív nedvességtartalom [%], légköri nyomás [hpa], szélsősebesség [m/s], csapadék mennyiség [mm/nap] adatokat és az általam mért depóniagáz minőségi és mennyiségi paramétereit rendeztem össze a vizsgálati időpontokban.

A vizsgálatok során mérési csoportokat alakítottam ki, a csoportképzés definiálása az 5. táblázatban található. Az adatokat az adott részterületek esetében varianciaanalízis módszerével dolgoztam fel, SPSS for Windows 11.0 program segítségével. A statisztikai feldolgozás során megvizsgáltam az adott részterületek esetében, hogy milyen összefüggések tárhatóak fel az összes, illetve az egyes gázkutakat esetében az átlaghőmérsékleti intervallum, levegő relatív nedvességtartalom, légköri nyomás, szélsősebesség intervallum, csapadék mennyiség változása és a depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétere között. Csoportpárok közötti szignifikáns különbségeket határoztam meg az egyes csoportokhoz tartozó metánértékek alapján. Az egyes gázkutaknál mért változók közötti összefüggés vizsgálatokat lineáris regresszió analízissel végeztem. A vizsgálatok során kapott eredményeket táblázatok, grafikonok, diagramok formájában szemléltettem.

5. táblázat Csoportképzés definiálása és a hozzájuk tartozó üzemeltetési paraméterek

	Nyomás csoportok	Hőmérséklet csoportok	Szélsősebesség csoportok	Nedvesség tartalom csoportok	Csapadék csoportok	Légköri nyomás csoportok
	Alkalmazott elszívás [mbar]	Átlag hőmérséklet intervallum [$^{\circ}\text{C}$]	Szélsősebesség intervallum [m/s]	Relatív nedvesség tartalom [%]	Csapadék mennyiség [mm/nap]	Légköri nyomás [hpa]
1. csoport	$\leq (-3)$	≤ 5	$v_{sz} \leq 0,6$	50-60	0	1000 - 1010
2. csoport	$(-2,9) - (-2)$	5-10	$0,6 > v_{sz} \leq 1$	61-70	0,1 - 1	1010 - 1020
3. csoport	$(-1,9) - (-1)$	10-15	$1 > v_{sz} \leq 1,3$	71-80	1 - 3	>1020
4. csoport	$(-0,9) - 0$	15-20	$1,3 > v_{sz} \leq 1,8$	81-90	3-5	
5. csoport	0,1 - 1	20-25	$1,8 > v_{sz} \leq 2,4$	>90	>5	
6. csoport	1,1 - 1,9	25-30	$v_{sz} > 2,4$			
7. csoport	≥ 2					

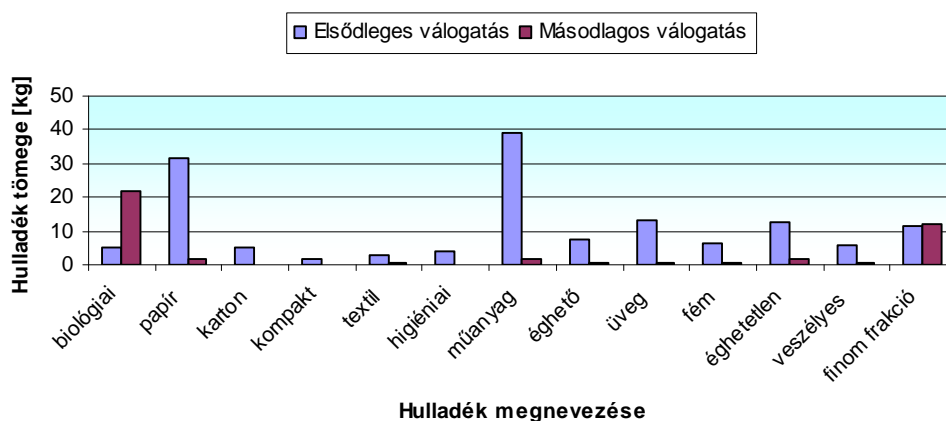
3. EREDMÉNYEK

3.1. A beszállított hulladékok szerves anyag tartalmának vizsgálati eredményei

2007 téli időszakban elhelyezett hulladék összetételének eredményei

Az elsődleges válogatásnál feladott hulladék tömege 504,7 kg volt, a felső szitán fennmaradt ($D>100$) fennmaradt hulladék tömege 146,2 kg, a biológiailag lebomló hulladék tömege 5,4 kg (3,7%), a papírhulladék 31,5 kg (21,5%) értéket képvisel (1. diagram).

A másodlagos válogatás során, feladott hulladék tömege 358,5 kg, a másodlagos válogatásnál a középső szitán ($20<D<100$) fennmaradt hulladék tömege 42,55 kg, a mintakisebbitési arány 8,425. A másodlagos válogatás során, a középső szitán fennmaradt biológiailag lebomló hulladék tömege 22,1 kg, (51,9%), a papír hulladék 1,5 kg (3,5%) értéket jelent.

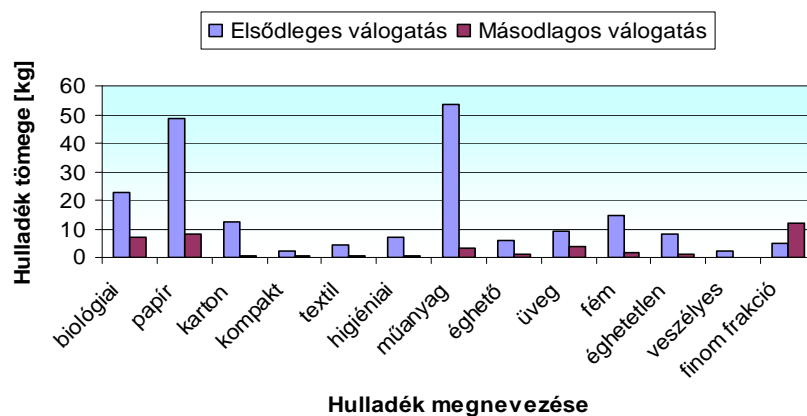


1. diagram Felső szitán és a középső szitán fennmaradt hulladék összetétel vizsgálat eredményei

2007 tavaszi időszakban elhelyezett hulladék összetételének eredményei

Az elsődleges válogatásnál feladott hulladék tömege 499,5 kg, a felső szitán fennmaradt ($D>100$) fennmaradt hulladék tömege 196,35 kg, a biológiailag lebomló hulladék tömege 22,6 kg, (11,5%), a papírhulladék 48,5 kg (24,7%) értéket képvisel (2. diagram).

A másodlagos válogatás során feladott hulladék tömege 303,5 kg, a másodlagos válogatásnál a középső szitán ($20<D<100$) fennmaradt hulladék tömege 40,1 kg, a mintakisebbitési arány 7,56. A másodlagos válogatás során, a középső szitán fennmaradt biológiailag lebomló hulladék tömege 6,9 kg (17,2%), a papír hulladék 8,2 kg (20,6%) értéket jelent.

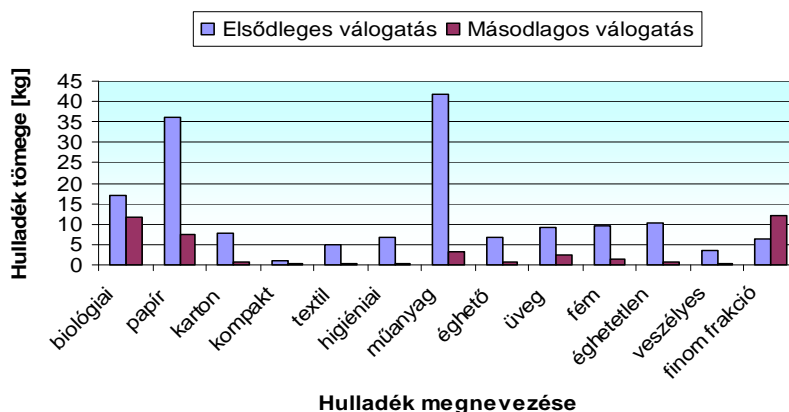


2. diagram Felső szitán és a középső szitán fennmaradt hulladék összetétel vizsgálat eredményei

2007 nyári időszakban elhelyezett hulladék összetétele

Az elsődleges válogatásnál feladott hulladék tömege 501,5 kg, a felső szitán fennmaradt ($D>100$) fennmaradt hulladék tömege 160,5 kg, ebből a biológiailag lebomló hulladék tömege 16,8 kg (10,5%), a papírhulladék 36,1 kg (22,5%) értéket képvisel (3. diagram).

A másodlagos válogatás során, feladott hulladék tömege 341kg, a másodlagos válogatásnál a középső szitán ($20<D<100$) fennmaradt hulladék tömege 41,5 kg volt, a mintakisebbitési arány 8,21. A másodlagos válogatás során, a középső szitán fennmaradt biológiailag lebomló hulladék tömege 11,62 kg (28,1%), a papírhulladék 7,4 kg (18%) értéket jelent.

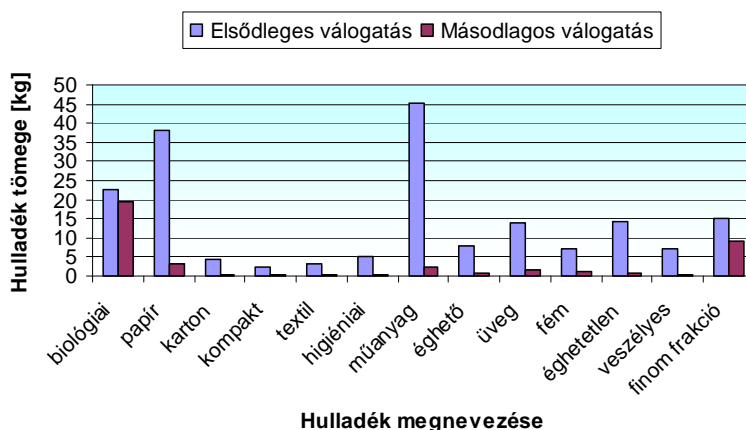


3. diagram Felső szitán és a középső szitán fennmaradt hulladék összetétel vizsgálat eredményei

2007 őszi időszakban elhelyezett hulladék összetételének eredményei

Az elsődleges válogatásnál feladott hulladék tömege 503,5 kg, a felső szitán fennmaradt ($D>100$) fennmaradt hulladék tömege 186,5 kg, ebből a biológiailag lebomló hulladék tömege 22,5 kg (12,1%), a papírhulladék 38,24 kg (20,5%) értéket képvisel (4. diagram).

A másodlagos válogatás során, feladott hulladék tömege 317 kg, a másodlagos válogatásnál a középső szitán ($20<D<100$) fennmaradt hulladék tömege 40,6 kg, a mintakisebbitési arány 7,80. A másodlagos válogatás során, a középső szitán fennmaradt biológiailag lebomló hulladék tömege 19,4 kg (48%), a papírhulladék 3,37 kg (8,3%) értéket jelent.



4. diagram Felső szitán és a középső szitán fennmaradt hulladék összetétel vizsgálat eredményei

A biológiailag lebomló szerves anyag koncentráció meghatározója a lakosságnál jelentkező hulladék, illetve a beszállított zöldhulladék. A kommunális szennyvíztisztító iszapja 30% lebomló szerves anyagot tartalmaz, a kommunális hulladék 3-4%-ot, ezért nem változtatja meg jelentősen a szerves anyag koncentrációt. Az olajtartalmú hulladékok sem változtatják meg a depónia szerves anyag koncentrációját, mivel a környezethasználati engedélyben megengedett olajkoncentráció mellett is csak megközelítőleg 1,5%-os koncentrációnövekedést okoz.

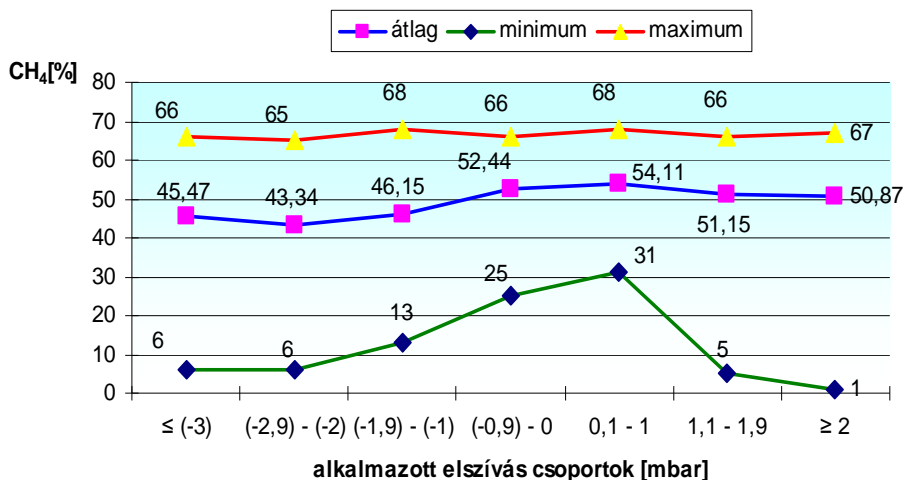
3.2. Depóniagáz minőségi paraméterei változása az alkalmazott depresszió függvényében

Vizsgálataim első részében összefüggéseket kerestem az alkalmazott depresszió és a hulladéklerakóból kinyert depóniagáz metántartalma között. Az eredményeimet a 6. táblázat szemlélteti. A vizsgálataimat az atmoszférikus nyomáshoz mérten végeztem el, GA2000 depóniagáz-elemző készülékkel a környezeti nyomásviszonyok figyelembevételével. A minimum és a maximum adatok a 1-68% CH₄ tartalom között változtak. A legnagyobb elemszámnál 4. csoport ((-0,9)-0) esetében tapasztaltam 52,44%-os metántartalmat. A legkedvezőtlenebb értéket 43,34%-os metántartalmat 2. csoportnál ((-2,9)- (-2)) tapasztaltam, a 1. csoportnál (\leq (-3)) 45db mérés esetében 45,47%-os átlagos metántartalmat mutatott. Az eredményekből látszik, hogy 4,5,6 csoportnál az alkalmazott depresszió miatt az átlagos metántartalom értéke 51,15-54,11% között változik. Ebben az esetben az alkalmazott depresszió mértéke (-0,9)-1,9 mbar között található.

6. táblázat Az elszívás mértéke és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Nyomás csoport	Alkalmazott elszívás [mbar]	n [db]	CH ₄ átlag [%]	Variációs koefficiens CV% [%]	szórás [%]	95% Konfidancia intervallum		Minimum [%]	Maximum [%]
						Alsó érték	Felső érték		
1. csoport	\leq (-3)	45	45,47	32,82	14,924	40,99	49,95	6	66
2. csoport	(-2,9) - (-2)	58	43,34	33,94	19,042	38,33	48,34	6	65
3. csoport	(-1,9) - (-1)	95	46,15	31,73	14,644	43,16	49,13	13	68
4. csoport	(-0,9) - 0	180	52,44	21,58	11,317	50,78	54,11	25	66
5. csoport	0,1 - 1	72	54,11	15,97	8,644	52,07	56,14	31	68
6. csoport	1,1 - 1,9	41	51,15	34,47	17,635	45,59	56,72	5	66
7. csoport	\geq 2	18	50,87	39,76	20,226	40,81	60,93	1	67
	Összesen	517	49,67	28,82	14,319	48,44	50,94	1	68

Tehát azoknál a gázkutaknál ahol az elszívás mértéke meghaladja a -0,9 mbar-nál nagyobb depressziót, ott a metántartalom csökken, ezáltal az üzemeltetőnek mindig folyamatos kontroll alatt kell tartania az elszívó rendszer elemeit (5. diagram). A szórás értéke a teljes vizsgálati tartományban $s=14,319\%$ volt, a variációs koefficiens értéke $CV\%=28,82\%$ változékonny értéket mutat. A 4. csoport legnagyobb elemszámú ((-0,9)-0mbar) mérési tartományában a $CV\%=21,58\%$, közepesen változékonny értéket mutatott 52,44% átlag metántartalom mellett. Az 5. csoport esetében 0,1-1 mbar tartományban a $CV\%=15,97\%$, mivel a szórás értéke $s=8,64\%$ és a minimum és maximum értékek változása 31-68% metántartalmi értéket mutat.



5. diagram Az elszívás csoportok és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

3. Eredmények

A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. A homogenitás vizsgálat alapján, a minták heterogenitást mutattak ezért a Tamhane tesztet használtam. Elvégeztem az egyes csoportok közötti elemzést is, melynek az eredményei a 7. táblázatban láthatóak. A legnagyobb különbséget az 5. csoport (0,1 – 1) és a 2. csoport ((-2,9) - (-2)) között mértem, az eltérés 10,77% metántartalom volt. Ugyancsak jelentős eltérést mutat a 4. csoport ((-0,9) – 0) és a 2. csoport (-2,9) - (-2) között, ekkor 9,11%-os metántartalom különbség látszik.

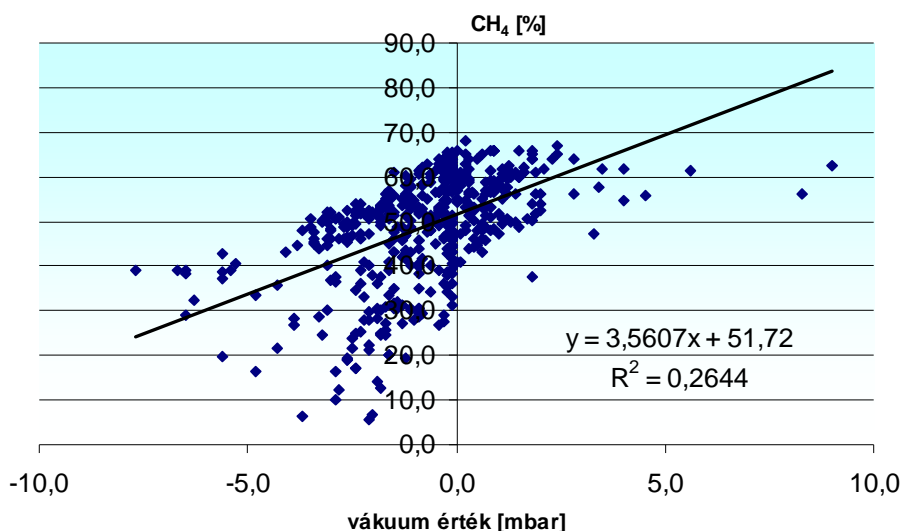
A táblázat adataiból látszik, hogy a legkisebb eltérés 0,29% metántartalom a 6. csoport (1,1- 1,9) és a 7. csoport (≥ 2) elemei között találhatóak. Szignifikáns különbségek 4. és a 2. csoport között $P < 5\%$ értéket mutat, a 4. és 3. csoport között pedig $P < 1\%$ szignifikáns eltérések láthatóak. Az 5. és 1. csoport között $P < 5\%$ eltérést, az 5. és 2. 3. csoport között pedig $P < 1\%$ eltérések látszanak. Az adatok feldolgozásából nyert összefüggések alapján elmondható, hogy a -0,9 mbar alatti nyomás értékeknél nincs jelentős eltérés, ami alapján összegezhető, hogy ennél nagyobb elszívás esetében a metántartalmi értékek romlanak.

7. táblázat A vizsgált csoportok metántartalmának különbsége és a csoportpárok eredményei

Nyomás csoport	Alkalmazott elszívás [mbar]	1. csoport $\leq (-3)$	2. csoport (-2,9) - (-2)	3. csoport (-1,9) - (-1)	4. csoport (-0,9) - 0	5. csoport 0,1 - 1	6. csoport 1,1 - 1,9	7. csoport ≥ 2
1. csoport	$\leq (-3)$	-	ns	ns	ns	*	ns	ns
2. csoport	(-2,9) - (-2)	2,13	-	ns	*	**	ns	ns
3. csoport	(-1,9) - (-1)	0,68	2,81	-	**	**	ns	ns
4. csoport	(-0,9) - 0	6,97	9,11	6,3	-	ns	ns	ns
5. csoport	0,1 - 1	8,63	10,77	7,96	1,66	-	ns	ns
6. csoport	1,1 - 1,9	5,68	7,82	5,01	1,29	2,95	-	ns
7. csoport	≥ 2	5,4	7,53	4,72	1,58	3,24	0,29	-

ns = nem szignifikáns, * = $P < 5\%$, ** = $P > 1\%$

Az összes gázkút esetében a metántartalmi és az alkalmazott elszívás adatait összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem, melynek eredményei az 6. diagramban találhatóak. A metántartalom változása az alkalmazott depresszió függvényében a következő egyenlettel írható le: $y = 3,5607x + 51,72$ az $R^2 = 0,2644$. A korrelációs együttható értéke $r = 0,52$, az összefüggések szorossága közepes korrelációt mutat.



6. diagram Az összes gázkútban a metántartalmi értékek változása az elszívás függvényében

4.2.1 A gázkutankénti vizsgálatok eredményei

Vizsgálataim további részében összefüggéseket kerestem az egyes gázkutakra jellemző depressziós értékek hogyan befolyásolják a metántartalmat. Ezért mind a 11 db gázkút metántartalmi értékét és a hozzá tartozó elszívás értékeit összerendeltem és 1-7. csoportokat képeztem, melynek eredményeit a 8. táblázatban láthatóak.

Az adatok feldolgozása során azt állapítottam meg, hogy az átlag metántartalom értéke 32,53-61,12% között változott. A legkedvezőtlenebb értéket a 2. gázkút esetében találtam, ahol a 7. csoport (≥ 2 mbar] nyomástartományában mindösszesen 10,10% átlag metántartalmat állapítottam meg, ennek oka a depóniatestet ért nagymértékű elszívás következtében kialakult metántartalom csökkenés, illetve a gázkút környezetére jellemző biológiai háttér. A legkedvezőbb átlag metántartalmi értéket a 6. gázkút esetében találtam, ahol a csoportokon belüli metántartalom ingadozása a 49,60-63,73% átlag metántartalom között változott. A 3.,4.,5.,7. gázkutak esetében a méréseket nem tudtam elvégezni 6., 7. csoport nyomástartományában. A hulladéktestet ért elszívás mértékének változása befolyásolja a kitermelhető depóniagáz metántartalmát, amire ezek alapján nagy gondot kell fordítani és a tolózárok szabályzásával a legoptimálisabb gázhozam és metántartalom érhető el. A gázkutak esetében a szabályzás nem helyi gázkutak metántartalmára koncentrálódik, hanem arra kell törekedni, hogy az összes gázkút termelése biztosítsa a gázmotorok üzemeltetéshez szükséges depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétereket ($45\text{m}^3/\text{h}$, 45%).

8. táblázat Az egyes gázkutak átlag metántartalmi értékei az alkalmazott elszívás függvényében

Nyomás csoport	1. gázkút CH ₄ [%]	2. gázkút CH ₄ [%]	3. gázkút CH ₄ [%]	4. gázkút CH ₄ [%]	5. gázkút CH ₄ [%]	6. gázkút CH ₄ [%]	7. gázkút CH ₄ [%]	8. gázkút CH ₄ [%]	9. gázkút CH ₄ [%]	10. gázkút CH ₄ [%]	11. gázkút CH ₄ [%]
1. csoport	36,21	49,33	48,80	43,50	43,63	49,60	43,85	54,50	41,12	19,80	38,97
2. csoport	39,07	30,82	36,50	34,50	55,60	60,69	47,60	56,80	40,78	42,75	30,50
3. csoport	32,23	34,65	37,55	49,12	44,70	55,80	41,30	58,52	43,93	56,84	29,58
4. csoport	43,02	38,75	38,27	54,35	52,38	61,03	54,56	61,04	42,90	52,89	55,07
5. csoport	56,55	55,00	48,24	60,25	65,23	63,90	60,60	54,60	50,20	55,78	49,43
6. csoport	60,95	22,14	-	39,60	50,63	62,93	-	64,00	59,48	59,10	59,91
7. csoport	57,12	10,10	56,20	-	-	63,73	-	65,00	59,03	56,00	55,70
Összesen	47,1	32,53	42,47	53,03	51,67	61,12	52,50	58,99	46,63	54,15	45,16

A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. A homogenitás vizsgálat alapján, a minták heterogenitását vagy homogenitását a Levene- teszt segítségével állapítottam meg, melynek eredményei alapján a Tamhane, illetve LSD tesztet használok a statisztikai feldolgozás során (9. táblázat). Homogenitás vizsgálat eredményei a következők. 1.gázkút (sig=0,027), 2.gázkút (sig=0,051), 3.gázkút (sig=0,195), 4.gázkút (sig=0,096), 5.gázkút (sig=0,398), 6.gázkút (sig=0,145), 7.gázkút (sig=0,001), 8.gázkút (sig=0,006), 9.gázkút (sig=0,000), 10.gázkút (sig=0,071), 11.gázkút (sig=0,008). Az adatok feldolgozása során a 3, 4, 8, 10. gázkút nyomásértékek alapján képzett csoportoknál, a statisztikai program az alacsony elemszám miatt nem tudott statisztikai összefüggést feltárni ezeknél a gázkutaknál.

Az 1 gázkút esetében a csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. Szignifikáns különbségek a 3.-5. csoport között $P < 1\%$ értéket mutat, a 3.-7. csoport között $P < 5\%$ szignifikáns eltérések találtak. A 2. gázkút esetében a 7.-5., 6.-1., 7.-1 csoportpárok közötti $P < 1\%$ szignifikáns eltérések adódtak. $P < 5\%$ szignifikáns eltérések a 7.- 3., 6. -5., 7. -4. csoport között tapasztaltam.

9. táblázat Az egyes gázkutak statisztikai feldolgozásának eredményei

	Homogenitás vizsgálat eredményei	Szignifikáns eltérések csoportpárok között *P<5% szinten		Szignifikáns eltérések csoportpárok között **P<1% szinten		Metántartalmi különbségek CH ₄ [%]			
						*P<5%		**P<1%	
1. gázkút	heterogén (Tamhane)	7.-3.		5.-3.		24,86%		24,31%	
2. gázkút	homogén (LSD)	6.-5. 7.-3.	7.-4. -	6.-1. 7.-1.	7.-5 -	32,86% 24,55%	28,65% -	27,18% 39,22%	44,90% -
3. gázkút	heterogén (Tamhane)	eh.		eh.		-		-	
4. gázkút	heterogén (Tamhane)	eh.		eh.		-		-	
5. gázkút	homogén (LSD)	5.-4.		5.-1.	5.-3.	12,85%		19,60%	20,53%
6. gázkút	homogén (LSD)	ns.		ns.		-		-	
7. gázkút	heterogén (Tamhane)	ns.		ns.		-		-	
8. gázkút	homogén (LSD)	eh.		eh.		-		-	
9. gázkút	homogén (LSD)	6.-2.		ns.		18,70%		-	
10. gázkút	homogén (LSD)	eh.		eh.		-		-	
11. gázkút	heterogén (Tamhane)	6.-3.	6.-5.	-		30,33%	10,47%	-	

ns = nem szignifikáns, * = P<5%, ** = P< 1%, eh = elemszám hiány

Az 5. gázkútban a csoportpárok közötti a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt az 5.-3., 5.-1 csoportok esetében P<1%, illetve az 5.-4. csoport esetében P<5% szignifikáns különbségeket határoztam meg. A 6., 7. gázkútban a csoportpárok között elvégzett statisztikai feldolgozás (SPSS for Windows 11.0) jelentős szignifikáns eltéréseket nem talált. A 9. gázkút csoportpárok között a varianciaanalízis a 6.- 2. csoport között P<5% szignifikáns különbséget igazolt. A 11. gázkút esetében csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, a 6.-3., 6.-5. csoport esetében P<5% szignifikáns szinten.

A 11db gázkút esetében az általam mért depóniagáz metántartalmi értékeket, illetve az alkalmazott elszívás értékeit összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem, melynek eredményei a 10. táblázatban láthatóak. A korrelációs együtthatók értékeiből egyértelműen látható, hogy a depóniagáz metántartalmi értékeit az alkalmazott elszívás mértékének változása befolyásolja, az összefüggések szorosságára laza, és közepes korreláció a jellemző ($r=0,37-0,69$). A legkedvezőbb korrelációs kapcsolat a 7. gázkút esetében tapasztaltam, ahol a $r=0,69$ értéket mutatott. Pozitív korreláció tárható fel az összes gázkút esetében, ami azt jelenti, hogy az atmoszférikus nyomáshoz képest a gázkutaknál a depresszió emelkedésével a mérhető metántartalom jelentősen lecsökken, illetve az oxigén tartalom emelkedik, a változás egyirányú a korreláció egyenes. Ami fontos szabályzást kíván meg az üzemeltetővel szemben, a legoptimálisabb depóniagáz hozam, illetve a tűz- és robbanás veszély elkerülése érdekében.

10. táblázat Korrelációs együtthatók gázkutankénti változása a metántartalom és az alkalmazott elszívás függvényében

	Lineáris egyenlet	R ²	r
1. gázkút	$y = 2,5852x + 48,628$	0,1984	0,4454
2. gázkút	$y = 3,0598x + 29,557$	0,1403	0,3745
3. gázkút	$y = 3,0127x + 43,064$	0,1473	0,3837
4. gázkút	$y = 3,1633x + 54,149$	0,1502	0,3875
5. gázkút	$y = 3,724x + 53,784$	0,3762	0,6113
6. gázkút	$y = 1,5363x + 61,158$	0,3153	0,5615
7. gázkút	$y = 7,2115x + 56,226$	0,4879	0,6984
8. gázkút	$y = 2,6813x + 61,082$	0,2951	0,5432
9. gázkút	$y = 5,4264x + 48,139$	0,4478	0,6691
10. gázkút	$y = 3,0602x + 55,441$	0,2174	0,4662
11. gázkút	$y = 4,7509x + 47,804$	0,3626	0,6021

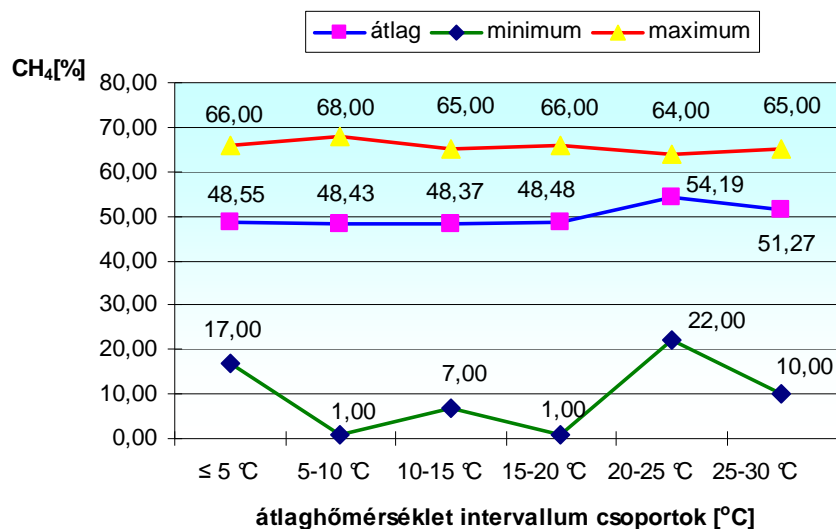
3.3. Depóniaágaz minőségének és mennyiségének változása a környezeti viszonyoktól

3.3.1. Depóniaágaz minőségének, mennyiségének változása az átlaghőmérséklet függvényében

Vizsgálataim első részében az összes gázkút esetében kerestem összefüggéseket az átlaghőmérsékleti intervallumok változása és a hulladéklerakóból kinyert depóniaágaz metántartalma között (11. táblázat, 7. diagram). Mivel a hulladéklerakó egy nagyméretű bioreaktornak fogható fel ezért, nem közvetlenül befolyásolja az átlaghőmérséklet változása a depóniaágaz metántartalmát. Azonban a mikrobiológiai feltételek közül az egyik legfontosabb paraméter. A minimum és a maximum adatok a 1-68% CH₄ tartalom között változtak. A legnagyobb elemszámnál a 2. csoport (5-10°C) intervallumban mértem átlag 48,43%-os metántartalmat. A legkedvezőtlenebb értéket 48,37%-os metántartalmat 3. csoportnál (10-15°C) átlaghőmérsékleti intervallumban tapasztaltam. A legkedvezőbb értéket 99db elemszám esetében az 5. csoportnál (20-25°C) 54,19%-os metántartalmi értéket mértem. A eredményekből látszik, hogy az 1,2,3,4. csoport esetében ≤5°C és 25°C átlaghőmérsékleti intervallum között jelentős metántartalmi eltérések nem tapasztalhatóak. Az átlagos metántartalom megfelelő szabályzás esetében 49,67%-os értéket mutatott, ez az érték az energetikai hasznosítás minimum feltételeit teljesíti. A szórás értéke a teljes vizsgálati tartományban s=14,319% volt, a variációs koefficiens értéke CV%=28,82% változékonny értéket mutat. Mivel a 2. és 4. csoport esetében 1% -os metántartalmi értéket is mértem a vizsgálati időszakban. A jelenséget üzemeltetési és a hulladéktestben lezajló mikrobiológia folyamatok okozhatják, ami viszont ezáltal, jellemzi egy adott hulladéklerakó telep biológiai folyamatait. Összességében elmondható, hogy a hulladéklerakó-telepen a rétegekben elhelyezett hulladéknak a szigetelő hatása miatt, közvetlenül a külső hőmérsékleti viszonyok nem befolyásolják a depóniaágaz metántartalmi értékeit.

11. táblázat Az átlaghőmérséklet intervallum és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Hőmérséklet csoport	Átlag hőmérséklet intervallum [°C]	n [db]	CH ₄ átlag [%]	Variációs koefficiens CV% [%]	szórás [%]	95% Konfidancia intervallum		Minimum [%]	Maximum [%]
						Alsó érték	Felső érték		
1. csoport	≤5 °C	77	48,55	32,44	15,752	44,98	52,13	17	66
2. csoport	5-10 °C	143	48,43	32,45	15,719	45,83	51,03	1	68
3. csoport	10-15 °C	88	48,37	28,89	13,978	45,40	51,33	7	65
4. csoport	15-20 °C	88	48,48	29,78	14,439	45,42	51,54	1	66
5. csoport	20-25 °C	99	54,19	19,11	10,361	52,12	56,25	22	64
6. csoport	25-30 °C	22	51,27	25,28	12,965	45,52	57,02	10	65
	Összesen	517	49,67	28,82	14,319	48,43	50,90	1	68



7. diagram Az átlaghőmérséklet és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Azonban bizonyos csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. A homogenitás vizsgálat alapján, a minta heterogén a Tamhane tesztet használok. Elvégeztem az egyes csoportok közötti elemzést is, melynek az eredményei a 12. táblázatban láthatóak.

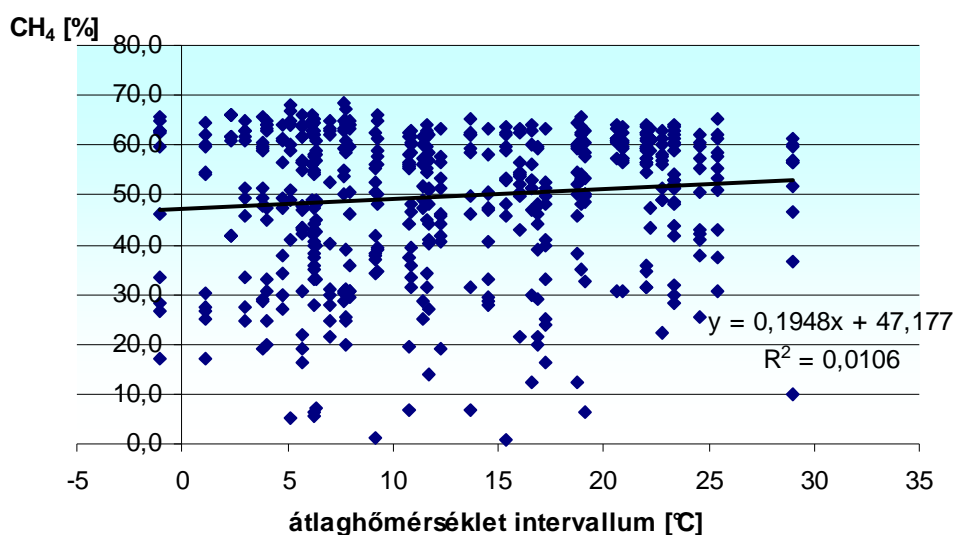
12. táblázat A vizsgált csoportok metántartalmának különbsége és a csoportpárok eredményei

Hőmérséklet csoport	Átlag hőmérséklet intervallum [°C]	1. csoport ≤ 5 °C	2. csoport 5-10 °C	3. csoport 10-15 °C	4. csoport 15-20 °C	5. csoport 20-25 °C	6. csoport 25-30 °C
1. csoport	≤ 5 °C	-	ns	ns	ns	ns	ns
2. csoport	5-10 °C	0,124	-	ns	ns	*	ns
3. csoport	10-15 °C	0,185	0,061	-	ns	*	ns
4. csoport	15-20 °C	0,074	0,051	0,111	-	*	ns
5. csoport	20-25 °C	5,635	5,759	5,820	5,709	-	ns
6. csoport	25-30 °C	2,717	2,842	2,902	2,791	2,918	-

ns = nem szignifikáns, * = $P < 5\%$, ** = $P < 1\%$

A legnagyobb különbséget az 5. csoport (20-25°C) és a 3. csoport (10-15°C) közötti intervallumban mértem, az eltérés ekkor 5,820% metántartalom volt. Ugyanígy jelentős eltérést tapasztaltam, az 5. csoport (20-25°C) és a 2. csoport (5-10°C), illetve a 4. csoport (15-20°C) elemei között, 5,759% és 5,709% metántartalom különbség adódott. A táblázatban feldolgozott adatokból látszik, hogy a legkisebb eltérés 0,051% metántartalom a 4. csoport és a 2. csoport elemei között találhatóak. Szignifikáns különbségek a 5. csoport (20-25°C) és a 3. csoport (10-15°C) elemei között ($\text{sig}=0,024$) $P < 5\%$ szignifikáns értéket mutat. Az 5. csoport (20-25°C) és az 2. csoport (5-10°C) elemei között ($\text{sig}=0,010$) $P < 5\%$ szignifikáns eltérések láthatóak. A továbbiakban az 5. csoport (20-25°C) és a 4. csoport (15-20°C) ($\text{sig}=0,037$) $P < 5\%$ szignifikáns eltérések tapasztalhatóak.

Az összes gázkút esetében a jellemző metántartalmi értékeket és az átlaghőmérsékleti értékeket összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem (8. diagram). Ahol a következő egyenlettel írható le a gázkútra jellemző metántartalom és az átlaghőmérsékleti intervallumok közti kapcsolat: $y = 0,1948x + 47,177$ az $R^2 = 0,0106$. A korrelációs együttható értéke $r = 0,1029$, az adatok feldolgozásából nyert összefüggések alapján elmondható, hogy a külső hőmérséklet ingadozása csak a depónia felső néhány méterében érezheti hatását, ezáltal nem befolyásolja a depónia belső hőmérsékletének alakulását, így a depóniagáz metántartalmának változását sem. Azonban a hőmérséklet a mikroorganizmusok élettevékenységéhez szükséges abiotikus környezeti tényező, a depóniagáz előállítás szempontjából is egy fontos rendezőfaktor.



8. diagram Az összes gázkút metántartalom változása az átlaghőmérséklet függvényében

Az átlaghőmérsékleti intervallumok hatása a gázkutankénti a metántartalomra

Vizsgálataim további részében összefüggéseket kerestem az egyes gázkutakra jellemző metántartalmi értékek és az átlaghőmérsékleti intervallumok között. Ezért mind a 11db gázkút metántartalmi értékét és a hozzá tartozó átlaghőmérsékleti intervallum csoportokat összerendeltem, melynek eredményei a 13. táblázatban találhatóak.

Az adatok feldolgozása alapján kijelenthető, hogy az egyes gázkutakra jellemző metántartalmi értékeket az átlaghőmérsékleti intervallumok változása nem befolyásolja. Az 1.-4. csoportok között jelentős metántartalmi eltérések nem látszanak, az 5.-6. csoport elemei között már tendenciák látszanak, de a teljes éves depóniagáz produktumot jelentősen nem tudja megváltoztatni. Azonban az egyes gázkutakra jellemző biológiai háttér és a gázkutak elhelyezkedése a hulladéklerakó telepen befolyással bírhatnak a depóniagáz metántartalmi értékei és az átlaghőmérsékleti intervallumok között. A legkedvezőtlenebb metántartalmi értéket az 1. gázkút 1. csoportjában tapasztaltam, ahol 28,83%-os metántartalmat mértem. A legkedvezőbb metántartalmi értéket a 6. gázkút 1. csoportjában tapasztaltam, ami alapján látszik, hogy kedvezőtlen átlaghőmérsékleti értéken is egy megfelelő biológiai háttérrel és elhelyezkedéssel rendelkező gázkútban kedvező metántartalmat tudtam mérni.

13. táblázat Az egyes gázkutak átlag metántartalmi értékei az hőmérsékleti csoportok függvényében

Hőmérséklet csoport	1. gázkút CH ₄ [%]	2. gázkút CH ₄ [%]	3. gázkút CH ₄ [%]	4. gázkút CH ₄ [%]	5. gázkút CH ₄ [%]	6. gázkút CH ₄ [%]	7. gázkút CH ₄ [%]	8. gázkút CH ₄ [%]	9. gázkút CH ₄ [%]	10. gázkút CH ₄ [%]	11. gázkút CH ₄ [%]
1. csoport	28,83	31,96	30,80	51,40	47,41	63,43	52,83	59,03	60,10	60,01	48,26
2. csoport	46,35	25,75	40,15	49,06	50,95	62,35	52,85	58,27	52,22	56,67	38,06
3. csoport	46,01	29,44	44,10	50,41	49,51	59,53	48,03	60,86	52,51	53,06	38,56
4. csoport	53,94	34,46	48,11	51,08	53,79	58,10	53,39	59,56	31,69	47,13	42,01
5. csoport	54,27	38,56	53,00	62,40	56,16	61,51	53,90	60,17	41,98	55,27	58,84
6. csoport	60,80	56,15	44,85	60,85	51,20	61,70	57,20	48,50	20,30	44,75	57,75
Összesen	47,10	32,53	43,45	53,03	51,67	61,12	52,50	58,99	46,63	54,15	45,16

A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. A homogenitás vizsgálat során, a minták heterogenitását, vagy homogenitását a Levenne teszt segítségével állapítottam meg, melynek eredményei alapján a Tamhane, vagy LSD tesztet használom. Az eredményei a 14. táblázatban találhatóak melyek a következők: 1.gázkút (sig=0,002), 2.gázkút (sig=0,196), 3.gázkút (sig=0,195), 4.gázkút (sig=0,000), 5.gázkút (sig=0,006), 6.gázkút (sig=0,103), 7.gázkút (sig=0,218), 8.gázkút (sig=0,004), 9.gázkút (sig=0,015), 10.gázkút (sig=0,015), 11.gázkút (sig=0,000).

Az 1. gázkút esetében a csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. Szignifikáns különbségek az 5.-1., illetve a 4.-1. csoportpárok között $P < 1\%$, a 2.-1. csoport között $P < 5\%$ szignifikáns eltéréseket tapasztaltam. A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt a 2. gázkútnál, a 6.- 2. csoportnál $P < 1\%$ szignifikáns eltérés mellett. A 3. gázkútnál a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. Melyek a következők: 5.-1., 5.-2., 4.-1., 3.-1. csoportok között $P < 1\%$, a 5.-3, 6.-1., 4.-2., 2.-1 csoportpárok között $P < 5\%$ szignifikáns eltéréseket állapítottam meg. A 4.,5.,6.,7.,8. gázkút esetében is elvégeztem az egyes csoportok közötti elemzést, mely során megállapítottam, hogy a csoportpárok között nem voltak szignifikáns eltérések.

A 9. gázkút esetében csoportpárok közötti a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, melyek a következők: a 6.-1.,2.,3. csoportpároknál, illetve a 4.-1.,2.,3. csoportpárok esetében $P < 1\%$, az 5.-1 csoportpárok között $P < 5\%$ szignifikáns eltérések adódtak.

A 10. gázkútnál a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, következők: a 6.-1., 4.-1., 4.-2. csoportpárok esetében, ahol $P < 5\%$ szignifikáns különbségek tapasztalhatóak. A 11. gázkút esetében az SPSS for Windows 11.0 program segítségével szignifikáns különbségeket állapítottam meg az 5.-2., 6.-2. csoportpárok esetében, $P < 5\%$ szignifikáns eltérések mellett.

14. táblázat Az egyes gázkutak statisztikai feldolgozásának eredményei

	Homogenitás vizsgálat eredményei	Szignifikáns eltérések csoportpárok között * $P < 5\%$ szinten		Szignifikáns eltérések csoportpárok között ** $P < 1\%$ szinten		Metántartalmi különbségek CH_4 [%]		
						* $P < 5\%$	** $P < 1\%$	
1. gázkút	heterogén (Tamhane)	2.-1.		5.-1.	4.-1.	17,51%		25,43% 25,10%
2. gázkút	homogén (LSD)	-		6.-2.		-		30,39%
3. gázkút	homogén (LSD)	5.-3. 6.-1.	4.-2. 2.-1.	5.-1. 5.-2.	4.-1. 3.-1.	8,90% 14,50%	7,95% 9,35%	22,20% 17,31% 12,84% 13,30%
4. gázkút	heterogén (Tamhane)	ns		ns		-		-
5. gázkút	heterogén (Tamhane)	ns		ns		-		-
6. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-		-
7. gázkút	homogén (LSD))	ns		ns		-		-
8. gázkút	heterogén (Tamhane)	eh		eh		-		-
9. gázkút	homogén (LSD)	5.-1. - -		6.-1. 6.-2. 6.-3.	4.-1. 4.-2. 4.-3.	18,12% - -	39,80% 31,92% 32,21%	28,41% 20,53% 20,82%
10. gázkút	homogén (LSD)	4.-1. 4.-2.	6.-1. -	- -		12,88% 9,54%	15,26% -	- -
11. gázkút	heterogén (Tamhane)	6.-2.	6.-2.	-		20,78% 19,68%	-	

ns = nem szignifikáns, * = $P < 5\%$, ** = $P < 1\%$

A 11db gázkútnál a mért depóniagáz metántartalmi értékeket és az átlaghőmérsékleti értékeket összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem, melynek eredményei a 15. táblázatban láthatóak. A korrelációs együtthatók értékeiből egyértelműen kitűnik, hogy a depóniagáz metántartalmi értékei és az átlaghőmérsékleti intervallumok változása közötti összefüggések 1.-6., illetve a 11. gázkút esetében pozitív korrelációt mutat. Az értékei a következőképpen alakultak $r = 0,18-0,57$, vagyis az összefüggések szorossága laza és közepes korrelációt mutat. Azonban a 7,8,9,10. gázkút esetében megállapítható volt, hogy az átlaghőmérséklet növekedés a depóniagáz metántartalmi értékeit rontja, tehát negatív korreláció állapítható meg, melynek értéke $r = 0,04-0,52$ között változott. Ezek alapján kijelenthető, hogy az egyes gázkutak esetében tapasztalható összefüggések mértéke a teljes depóniagáz produktum metántartalmát nem befolyásolja.

15. táblázat Korrelációs együtthatók gázkutankénti változása a metántartalom és átlaghőmérsékleti intervallumok függvényében

	Lineáris egyenlet	R^2	r
1. gázkút	$y = 0,8902x + 35,725$	0,2408	0,4907
2. gázkút	$y = 0,7714x + 22,672$	0,1043	0,3229
3. gázkút	$y = 0,7512x + 33,844$	0,3319	0,5761
4. gázkút	$y = 0,489x + 46,783$	0,1006	0,3174
5. gázkút	$y = 0,3479x + 47,223$	0,0745	0,2729
6. gázkút	$y = 0,1243x + 62,706$	0,0339	0,1841
7. gázkút	$y = -0,0856x + 51,411$	0,0055	0,0741
8. gázkút	$y = -0,0329x + 59,412$	0,0018	0,0424
9. gázkút	$y = -1,29x + 63,12$	0,3319	0,5761
10. gázkút	$y = -0,404x + 59,318$	0,098	0,3130
11. gázkút	$y = 0,6585x + 36,738$	0,0949	0,3080

Depóniagázok mennyiségének változása az átlaghőmérsékleti intervallumok függvényében

Vizsgálataim során a hulladéklerakóban keletkezett depóniagáz mennyiségének és minőségének változását figyeltem meg az átlaghőmérsékleti intervallumok változása során. A vizsgálati időszak minden hónapjában képződött depóniagáz metántartalmának átlagát és a kitermelt depóniagáz mennyiségi értékeinek havi, illetve óránkénti eloszlását mutatom be a havi átlaghőmérsékleti paraméterek függvényében a 16. táblázatban. A táblázat adataiból kitűnik, hogy az eltérések jelentős különbséget mutatnak. A vizsgálati időszakban 2007 évre vonatkozóan a depóniagáz átlag metántartalma 49,67%, ami a gázmotor üzemeltetéshez szükséges minimum feltételeket teljesíti, a kitermelt depóniagáz teljes mennyisége 269.991m³. Az irodalmi adatokkal ellentétesen a várt 20-300m³/t depóniagáz termelődéshez képest mindösszesen a lerakott hulladékból - összetételétől függően - 2-3m³/t depóniagáz kitermeléssel lehet számolni, ennek oka a hulladéklerakó telepre jellemző környezeti viszonyok alakulása, és az adott régióra jellemző szerves anyag potenciál. A gázkinyerő rendszer hatékonyságát megvizsgáltam havi, illetve teljes vizsgálati időszakra vonatkozóan. Az eredményei a következők: az összes csúcskihasználási óraszám 3913,83h, amit ha a termelődött depóniagázzal összefüggésbe hozunk, akkor 69,32 m³/h depóniagáz termelődést kapunk. A depóniagáz mennyiségének és metántartalmának változását az adott vizsgálati időszakban a 9. diagramban mutatom be.

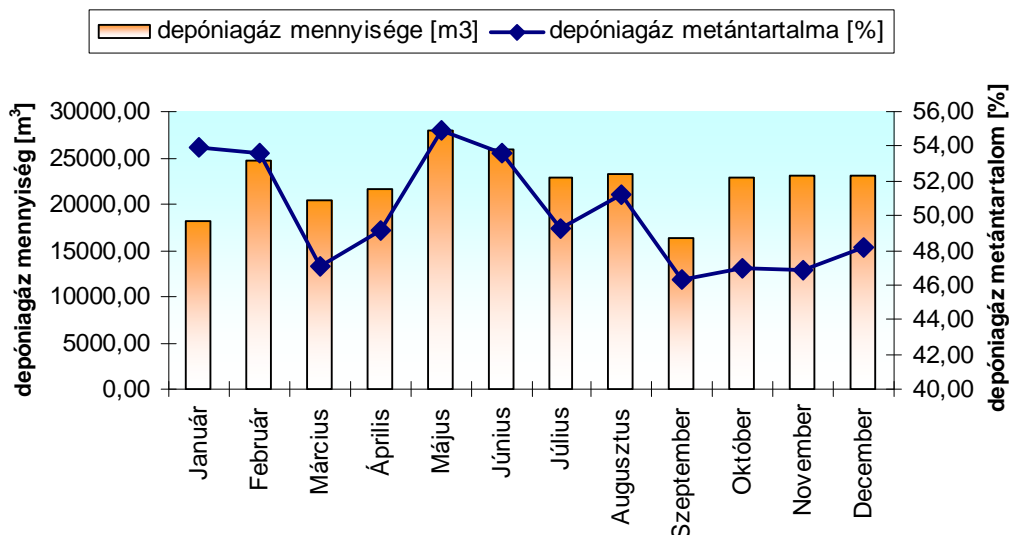
Januárban az alacsony átlaghőmérsékleti értékek miatt (11. diagram) a kitermelt depóniagázok mennyisége 18.150,41 m³/hó, mivel a depóniatestben lezajló biológiai folyamatok lelassulnak, az átlag metántartalom értéke 53,91%. A februári átlaghőmérséklet értéke 5,83°C, a kedvező csapadék mennyiségi paraméterek hatására a depóniagáz termelődés 24.764,41 m³/hó kitermelést mutat, 53,60%-os metántartalmi értékek mellett. Március és április hónapokban közel azonos szintű termelődésről beszélhetünk (20.416-21.562 m³/hó), ami a kedvező környezeti viszonyok alakulásában látszik megnyilvánulni. Az átlaghőmérsékleti értékek 9,46-13,41°C között változnak, ezzel megegyezően a depóniagázok metántartalma 47,05-49,12% között mozogtak. A depóniagáz kinyerő rendszer csúcskihasználási tényezője 325,25-332,25h, az időegységre vetített gáztermelődés ezek alapján 62,67-66,91 m³/h.

Május és június hónap a legkedvezőbb üzemeltetési időszak, mivel az átlaghőmérsékleti értékek 18,35-22,17°C-ra növekednek, így elősegítik a depóniagáz termelődését, ami 25.998-27.859 m³/hó depóniagáz kitermelést jelent. A csúcskihasználási tényezők és a kedvező környezeti feltételek miatt a kitermelt depóniagáz mennyisége eléri a 76,63-77,76 m³/h-t.

16. táblázat Hulladéklerakó telepen kinyert depóniagáz mennyisége és minősége 2007-ben

Hónap	Depóniagáz CH ₄ [%]	Depóniagáz mennyisége [m ³ /hó]	Csúcs óraszám [h]	Csapadék mennyiség [mm/hó]	Átlag hőm. [°C]	Depóniagáz [m ³ /h]
Január	53,91	18150,41	292,50	26,5	5,65	62,05
Február	53,60	24764,41	335,25	35,20	5,83	73,75
Március	47,05	20416,65	325,75	48,80	9,46	62,67
Április	49,12	21562,23	332,25	10,30	13,41	66,91
Május	54,92	27859,25	358,25	98,30	18,35	77,76
Június	53,65	25998,36	339,25	111,00	22,17	76,63
Július	49,24	22771,35	396,81	32,80	23,58	57,38
Augusztus	51,19	23175,18	290,54	52,50	23,09	79,76
Szeptember	46,30	16407,71	233,84	68,80	15,14	70,16
Október	46,98	22846,56	326,82	51,60	11,38	69,90
November	46,89	22998,25	353,62	66,90	5,11	65,04
December	48,14	22966,35	328,95	23,50	0,82	69,81
Összesen	49,67	269916,71	3913,8	52,2		69,32

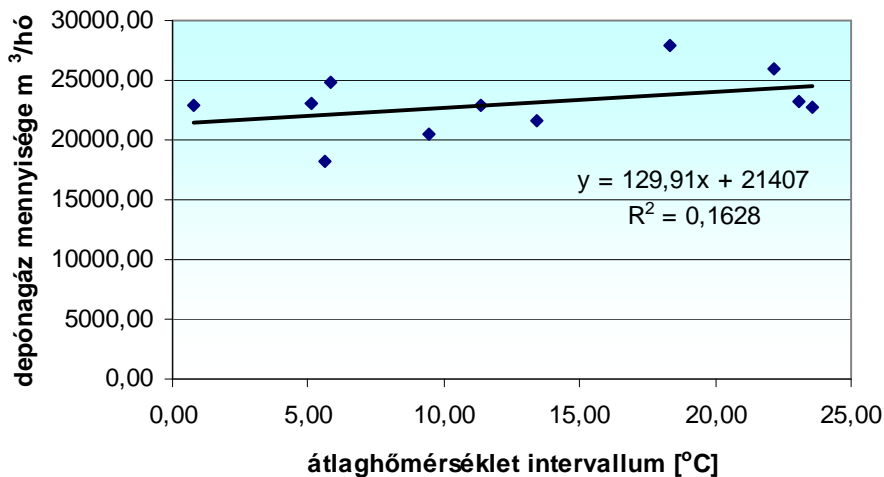
Depóniagáz fűtőértéke 17 MJ/Nm³=4,675 kWh/Nm³=13,06 MJ/kg



9. diagram Depóniagáz mennyiségének és metántartalmának változása a vizsgált időszakban

Július és augusztus hónapokban a magas átlaghőmérsékleti (22,17-23,58 °C) értékek, illetve csapadékszegény időjárási paraméterek miatt a depóniagáz termelődése lecsökkent 22.771-23.175 m³/hó-ra. A metántartalom 49,24-51,19% közötti értéket mutat, jellemzően a nyári időszakban kedvezőbb, mivel a beérkezett hulladékok szerves anyag tartalma magasabb a többi hónaphoz képest. A legkedvezőbb depóniagáz termelődéssel az augusztusi hónapban találkoztam 79,76 m³/h mellett 51,19% átlagos metántartalmat mértem. Szeptemberben mértem a legkedvezőtlenebb átlag metántartalmi értéket 46,30%-t, a kitermelt depóniagáz mennyisége 16.407 m³/hó volt. Az átlaghőmérsékleti érték 15,14°C környékén változott, ez még viszonylag kedvező értéknek mondható, de a gáz kinyerő rendszer meghibásodása miatt a legkisebb csúcskihasználási tényező adódott 233,84h, ami 70,16 m³/h depóniagáz kitermelést eredményez. Október, november, december hónapokban az átlaghőmérséklet csökkent 11,38-5,11-0,82 °C- ra. A gázkinyerő rendszer folyamatos üzeme mellett viszonylag stabil metántartalmat 46,89-48,14%-t, illetve a gázmotorok folyamatos működéséhez szükséges depóniagáz mennyiséget 22.846-22.998 m³/hó-t tudtam mérni.

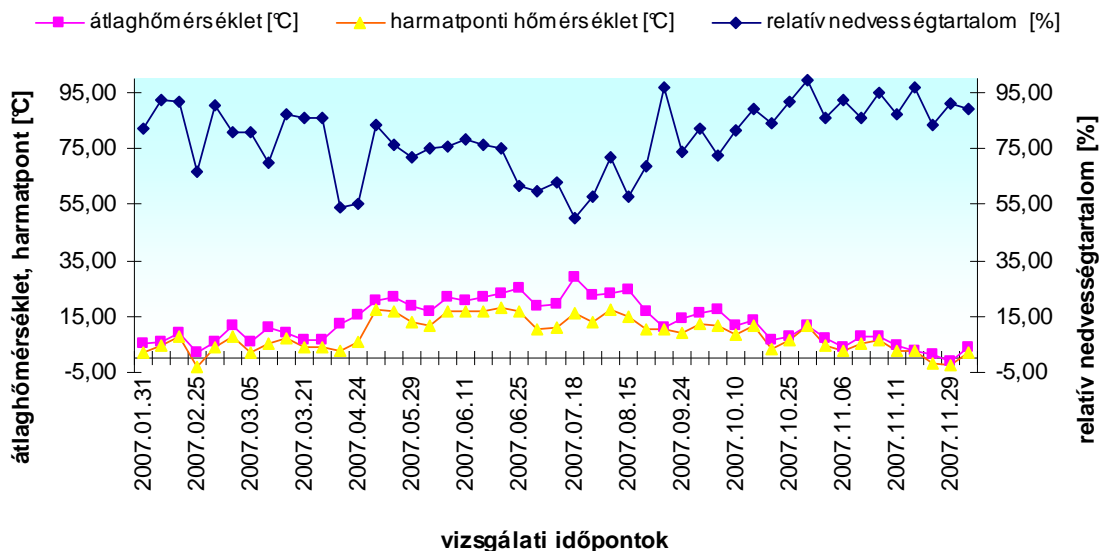
A depóniagáz mennyiségét és az átlaghőmérsékleti intervallumok változását összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem, melynek eredményei a 10. diagramban láthatóak. Melyben a következő egyenlettel írható le a depóniagáz mennyiségének változása az átlaghőmérsékleti intervallumok függvényében: $y = 129,91x + 21407$ az $R^2 = 0,1628$. A korrelációs együttható értéke $r = 0,42$, az összefüggések szorossága közepes értéket mutat.



10. diagram Depóniagáz mennyisége és az átlaghőmérséklet változása közötti összefüggések

3.3.2. Depóniagáz metántartalmának változása a relatív nedvességtartalom függvényében

Vizsgálataim során az összes gázkút esetében kerestem összefüggéseket a meteorológiai állomás által szolgáltatott levegő relatív nedvességtartalmi adatok és a hulladéklerakóból kinyert depóniagáz metántartalma között. Az eredmények feldolgozása során fontos szempont elemezni a vizsgálati időszakban hogyan alakultak a hőmérsékleti, harmatponti és levegő relatív nedvességtartalmi értékek, ezeknek a grafikus ábrázolását végeztem el a 11. diagramban.



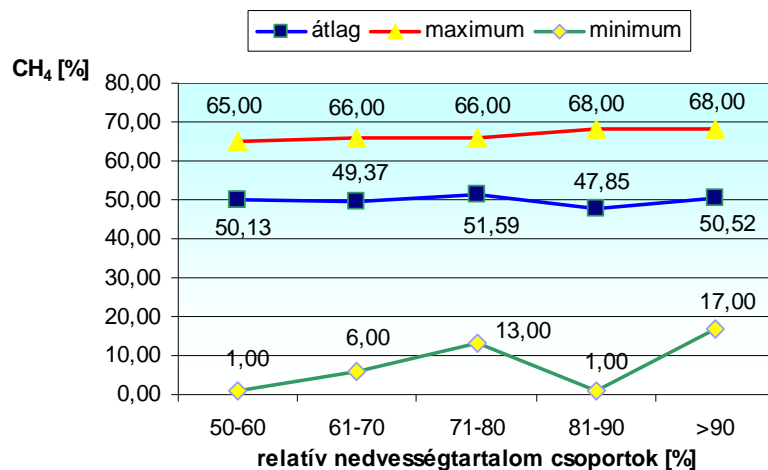
11. diagram Vizsgálati időpontokban átlaghőmérséklet, levegő relatív nedvesség értékek alakulása

A levegő relatív nedvességtartalom változása és a depóniagáz metántartalma közötti vizsgálat eredményeimet a 17. táblázat szemlélteti, melyben a minimum és a maximum értékek 1-68% CH₄ tartalom között változtak. A legkedvezőtlenebb értéket 2. csoportnál (49,37%), a legkedvezőbb értéket a 3. csoportnál (51,59%) tapasztaltam. Az összes gázkútban az átlagos metántartalom értéke megfelelő szabályzás mellett 49,67%-os értéket mutatott, kielégíti az energetikai hasznosítás feltételeit. A 12. diagramban az eredményekből látszik, hogy az összes vizsgált csoport esetében a levegő relatív nedvességtartalmának változása nem befolyásolja a depóniagáz metántartalmát.

A variációs koefficiens értéke a 3. csoport esetében CV%=23,59%-t mutatott mivel szórás értéke s=12,172% és a minimum és maximum értékek 13-66% metántartalmi érték között ingadoztak. A 3. csoportnál legkedvezőbb metántartalmi értékek okozhatják ezt a jelenséget, mivel az 5. csoport esetében is a minimum és maximum értékek változása kedvező, azonban a szórás értékének emelkedése és az átlag metántartalmi érték csökkenése a variációs koefficiens értékét CV%=28,64%-ra módosítja. Az 1. és 4. csoport esetében 1% -os metántartalmi értéket is mértem a vizsgálati időszakban, ami miatt a teljes vizsgálati tartományban a variációs koefficiens értéke CV%=28,82% változékonny értéket mutat s=14,319% szórás mellett.

17. táblázat A relatív nedvességtartalom és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Nedvesség tartalom csoport	Relatív nedvességtartalom [%]	n [db]	CH ₄ átlag [%]	Variációs koefficiens CV% [%]	szórás [%]	95% Konfidancia intervallum		Minimum [%]	Maximum [%]
						Alsó érték	Felső érték		
1. csoport	50-60%	66	50,13	26,92	13,512	46,82	53,45	1	65
2. csoport	61-70%	55	49,37	29,72	14,677	45,4	53,33	6	66
3. csoport	71-80%	110	51,59	23,59	12,172	49,29	53,89	13	66
4. csoport	81-90%	176	47,85	32,47	15,541	45,54	50,16	1	68
5. csoport	>90%	110	50,52	28,64	14,469	47,79	53,26	17	68
	Összesen	517	49,67	28,82	14,319	48,43	50,9	1	68



12. diagram A levegő relatív nedvességtartalom és a metántartalom közötti összefüggések

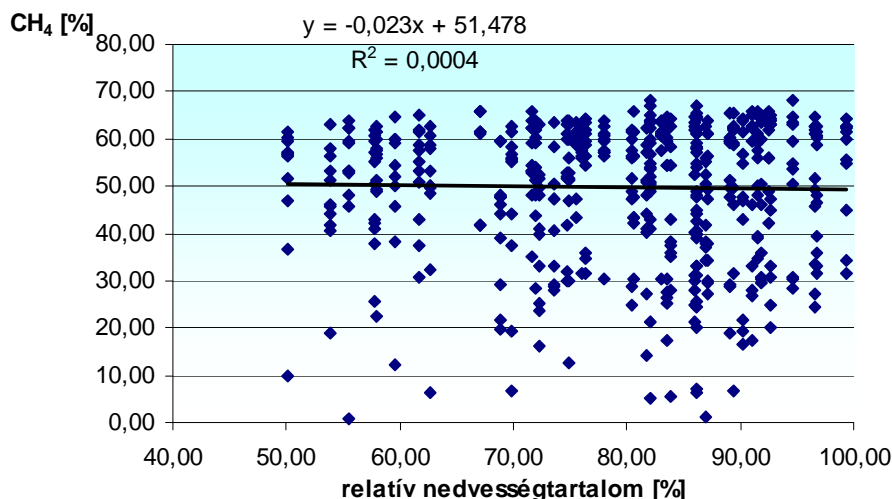
Elvégeztem a csoportpárok között a varianciaanalízist, ami szignifikáns eredményeket igazolt. A szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. A homogenitás vizsgálat alapján a minta homogén és az LSD tesztet használtam. Elvégeztem az egyes csoportok közötti elemzést is, melynek eredményei a 18. táblázatban látható. Az eredmények statisztikai feldolgozása során a 4.-3. csoport között 3,735% metántartalmi különbség adódott, illetve $P < 5\%$ szignifikáns különbség.

18. táblázat A vizsgált csoportok metántartalmának különbsége és a csoportpárok eredményei

Nedvesség tartalom csoport	Relatív nedvesség tartalom [%]	1. csoport 50-60%	2. csoport 61-70%	3. csoport 71-80%	4. csoport 81-90%	5. csoport >90%
1. csoport	50-60%	-	ns	ns	ns	ns
2. csoport	61-70%	0,768	-	ns	ns	ns
3. csoport	71-80%	1,452	2,219	-	*	ns
4. csoport	81-90%	2,284	1,516	3,735	-	ns
5. csoport	>90%	0,388	1,155	1,064	2,671	-

ns = nem szignifikáns, * = $P < 5\%$, ** = $P < 1\%$

Az összes gázkút metántartalmi értékeinek változását és a levegő relatív nedvességtartalmi értékeit összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem. Melynek eredményei a 13. diagramban láthatóak, ahol a következő egyenlettel írható le a metántartalom és a relatív nedvességtartalom alakulása: $y = -0,023x + 51,478$ az $R^2 = 0,0004$. A korrelációs együttható $r = 0,002$, így kijelenthető, hogy levegő relatív nedvességtartalmának változása nem befolyásolja a depóniagáz metántartalmát.



13. diagram Metántartalom változása a levegő relatív nedvességtartalma függvényében

A levegő relatív nedvességtartalmának hatása a gázkutankénti metántartalomra

Összefüggéseket kerestem az egyes gázkutakra jellemző metántartalmi értékek és a levegő relatív nedvességtartalmi értékei között. Ezért mind a 11 db gázkút metántartalmi értékét és a hozzá tartozó relatív nedvességtartalmi csoportokat összerendeltem, melynek eredményei a 19. táblázatban találhatóak. A 11 db gázkút esetében az átlag metántartalmi értékek 32,53%-61,12% között változtak. A 2. gázkút esetében tapasztaltam 32,53%-ot, ami legkedvezőtlenebb érték volt. A többi gázkút esetében az átlag metántartalom értékei a energetikai hasznosítás feltételit kielégítik.

19. táblázat Gázkutak metántartalmi értékei a relatív nedvességtartalmi csoportok függvényében.

Nedvesség tartalom csoport	n [db]	1. gázkút CH ₄ [%]	2. gázkút CH ₄ [%]	3. gázkút CH ₄ [%]	4. gázkút CH ₄ [%]	5. gázkút CH ₄ [%]	6. gázkút CH ₄ [%]	7. gázkút CH ₄ [%]	8. gázkút CH ₄ [%]	9. gázkút CH ₄ [%]	10. gázkút CH ₄ [%]	11. gázkút CH ₄ [%]
1. csoport	6	49,52	36,83	44,32	57,97	54,07	60,77	53,15	58,13	27,08	52,48	57,17
2. csoport	5	54,66	39,16	49,56	49,84	51,62	60,16	56,58	55,1	35,98	46,62	43,76
3. csoport	10	52,89	33,25	50,78	58,22	55,07	60,89	51,32	60,59	40,06	52,52	51,86
4. csoport	16	43,34	22,01	41,54	47,6	48,17	60,23	51,97	58,96	55,62	55,47	41,46
5. csoport	10	42,12	42,75	35,58	55,19	52,46	63,45	52,12	59,9	55,87	58,45	37,86
Összesen	47	47,1	32,53	43,45	53,03	51,67	61,12	52,5	58,99	46,63	54,15	45,16

A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, a szignifikancia szint $P < 5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. Homogenitás vizsgálatot végeztem a Levenne teszt segítségével, melynek az eredményei a 20. táblázatban találhatóak.

Az 1. gázkútnál a csoportpárok közötti varianciaanalízis nem igazolt szignifikáns különbséget. A 2. gázkút esetében már egy esetben mutatott szignifikáns különbséget az 5.-4. csoport között, $P < 1\%$ -os szignifikáns eltérés mellett. A 3. gázkút esetében is elvégeztem csoportok közötti statisztikai feldolgozást, melynek eredményei következők: a csoportpárok között varianciaanalízis három esetben mutatott szignifikáns különbséget az 5.-3. csoportok között $P < 1\%$, a 5.-2., illetve a 4.-3. csoportpárok között $P < 5\%$. A 4. gázkútnál a 4.-3. csoport között $P < 5\%$ szignifikáns eltérést találtam. Az 5,6,7,8. gázkutak esetében a csoportpárok közötti varianciaanalízis egy esetben sem mutatott ki szignifikáns különbséget. A 9. gázkút a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, ilyenek: 5.-2., illetve az 5.-3. csoportpárok között $P < 5\%$, az 5.-1., 4.-1,2,3. csoportpárok esetében $P < 1\%$ szignifikáns eltérések állapíthatók meg. A 10., illetve a 11. gázkút esetében a csoportpárok között varianciaanalízis az 5.-2. csoport között $P < 5\%$ szignifikáns eltérést talált.

20. táblázat Az egyes gázkutak statisztikai feldolgozásának eredményei

	Homogenitás vizsgálat eredményei	Szignifikáns eltérések csoportpárok között * $P < 5\%$ szinten	Szignifikáns eltérések csoportpárok között ** $P < 1\%$ szinten		Metántartalmi különbségek CH ₄ [%]	
					* $P < 5\%$	** $P < 1\%$
1. gázkút	heterogén (Tamhane)	ns	ns		-	-
2. gázkút	homogén (LSD)	-	5.-4.		-	20,73%
3. gázkút	homogén (LSD)	-	5.-2.	5.-3.	13,98%	15,20%
4. gázkút	heterogén (Tamhane)	4.-3.	-		10,62%	-
5. gázkút	homogén (LSD)	ns	ns		-	-
6. gázkút	homogén (LSD)	ns	ns		-	-
7. gázkút	homogén (LSD)	ns	ns		-	-
8. gázkút	homogén (LSD)	ns	ns		-	-
9. gázkút	homogén (LSD)	5.-2. 5.-3.	5.-1	4.-2. 4.-3.	19,89% 15,81%	28,78% 28,53% 19,63% 15,59%
10. gázkút	homogén (LSD)	5.-2.	-		11,83%	-
11. gázkút	heterogén (Tamhane)	5.-2.	-		10,25%	-

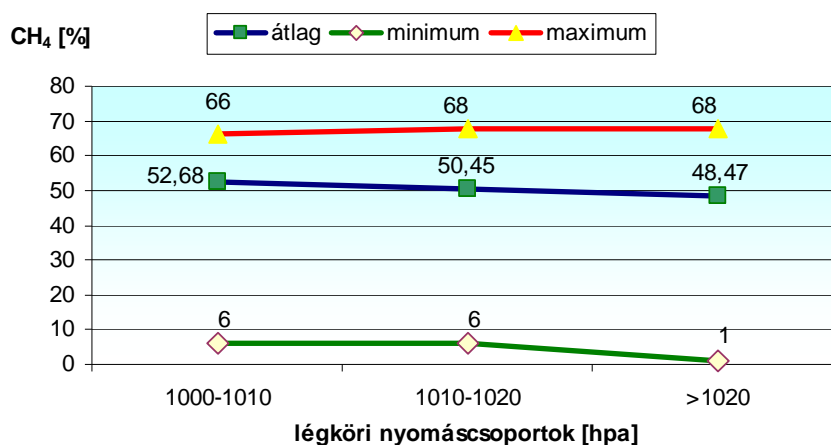
ns = nem szignifikáns, * = $P < 5\%$, ** = $P < 1\%$

3.3.3. Depóniagáz metántartalmának változása a légköri nyomás függvényében

Vizsgálataim során az összes gázkút esetében kerestem összefüggéseket a meteorológiai állomás által szolgáltatott napi átlag légköri nyomás értékek és a hulladéklerakóból kinyert depóniagáz metántartalmi adatai között, melynek eredményeit a 21. táblázatban szemléltetem. A minimum és a maximum értékek 1-68% CH₄ tartalom között változtak. A legkedvezőbb metántartalmi értéket a 1. csoport 1000-1010hpa közötti tartományában tapasztaltam (52,68%), a 2. csoport esetében 1010-1020hpa között 50,45%-os metántartalmat állapítottam meg. A legkedvezőtlenebb értéket 48,47%-os metántartalmat 3. csoportnál 1020hpa feletti tartományban mértem. A variációs koefficiens értéke a 1. csoport esetében CV%=23,74%-t mutatott mivel szórás értéke s=12,509% és a minimum és maximum értékek 6-66% metántartalmi érték között ingadoztak. A 3. csoport esetében 1% -os metántartalmi értéket is mértem a vizsgálati időszakban, ami miatt a variációs koefficiens értéke CV%=31,72% változékonny értéket mutat. Az eredmények grafikus ábrázolása (14. diagram) során kijelenthető, hogy közvetlenül nem befolyásolja a légköri nyomás változása a hulladéklerakóban keletkező depóniagáz metántartalmát, mivel a hulladéklerakó külső felületét borító földréteg szigetelő hatása miatt a környezeti hatások bizonyos késleltetéssel jelennek meg.

21. táblázat A légköri nyomás és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Légköri nyomás csoport	Légköri nyomás [hpa]	n [db]	CH ₄ átlag [%]	Variációs koefficiens CV% [%]	szórás [%]	95% Konfidancia intervallum		Minimum [%]	Maximum [%]
						Alsó érték	Felső érték		
1. csoport	1000-1010	33	52,68	23,74	12,509	48,24	57,11	6	66
2. csoport	1010-1020	242	50,45	26,47	13,359	48,76	52,14	6	68
3. csoport	>1020	242	48,47	31,72	15,378	46,53	50,42	1	68
	Összesen	517	49,67	28,82	14,319	48,43	50,90	1	68



14. diagram A légköri nyomás és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

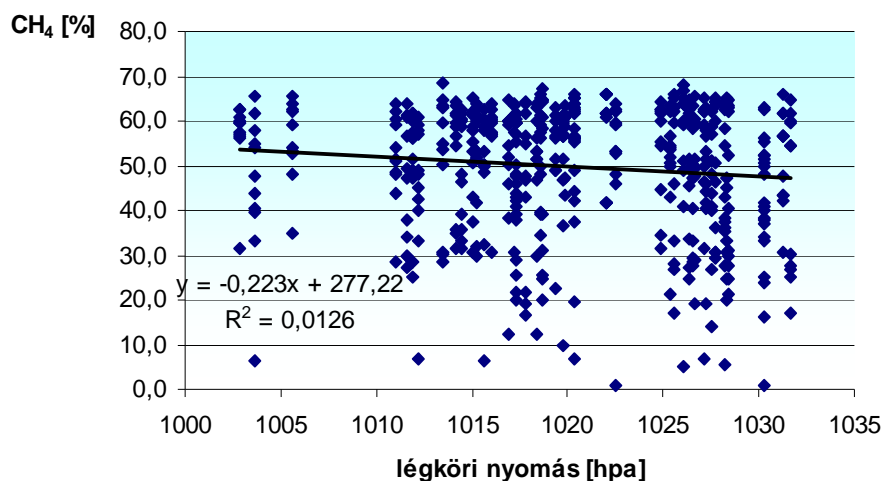
A csoportpárok homogenitás vizsgálata során a minták heterogén eredményeket mutattak ezért, a statisztikai feldolgozás során a Tamhane tesztet használtam. A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket nem igazolt (22. táblázat). Nem találtam szignifikáns eltéréseket a légköri nyomás csoportjainak a módosítása során képzett csoportok esetében sem.

22. táblázat A vizsgált csoportok metántartalmának különbsége és a csoportpárok eredményei

Légköri nyomás csoport	Légköri nyomás [hpa]	1. csoport 1000-1010	2. csoport 1010-1020	3. csoport >1020
1. csoport	1000-1010	-	ns	ns
2. csoport	1010-1020	2,227	-	ns
3. csoport	>1020	4,201	1,974	-

ns = nem szignifikáns, * = P<5%, ** = P< 1%

Az összes gázkútra jellemző metántartalmi értékeket és az átlag légköri nyomás értékeket összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem, melynek eredményei a 15. diagramban láthatóak. Ahol a következő egyenlettel írható le a gázkútra jellemző metántartalom változása és a légköri nyomás alakulása: $y = -0,223x + 277,22$ az $R^2 = 0,0126$. A korrelációs együttható $r = 0,11$ értéket mutat, ami alapján elmondható, hogy közvetlenül a légköri nyomás változása adott vizsgálati körülmények mellett keletkezett depóniagáz minőségi paramétereinek változását nem befolyásolja. Azonban a grafikus ábrázolásból tendencia látható, ahol a légköri nyomás emelkedése a depóniagáz metántartalmát csökkentheti. Mivel a légnyomás emelkedésével a hulladéktestbe bediffundáló levegő hatására, a depóniagáz oxigén tartalma nő és ezáltal a metántartalom csökken.



15. diagram A depóniagáz metántartalmának változása a légköri nyomás függvényében

Az átlag légköri nyomás változás hatása a gázkutankénti metántartalomra

Vizsgálataim további részében összefüggéseket kerestem az egyes gázkutakra jellemző metántartalmi értékek és a vizsgálati időszakban az átlag légköri nyomás értékek között. Ezért mind a 11 db gázkút metántartalmi értékét és a hozzá tartozó légköri nyomás csoportokat összerendeltem, melynek eredményei a 23. táblázatban láthatóak. Az 1. csoport legkedvezőtlenebb értékét a 2. gázkútnál tapasztaltam, 24,27% metántartalom volt, a legkedvezőbb metántartalmi értéket pedig az 5. gázkút esetében állapítottam meg 63,03% metántartalom mellett. A 2. csoporthoz tartozó légköri nyomásértékek mintaszáma 22db volt, ez már megfelelő a következtetések levonásához. Ebben a csoportban a metántartalom ingadozása 38,34-60,66% között mozgott. A legkedvezőtlenebb a 9. gázkút, a legkedvezőbb érték a 6. gázkút esetében adódott. A 3. csoportban a minták száma 22db, a legkedvezőbb metántartalmi értéket a 61,41%-ot a 6. gázkútnál mértem, a legkedvezőtlenebb érték a 2. gázkútnál adódott 25,73% metántartalom mellett.

23. táblázat Az egyes gázkutak metántartalmi értékei a légköri nyomás csoportok függvényében.

Légköri nyomás csoportok	n [db]	1. gázkút CH ₄ [%]	2. gázkút CH ₄ [%]	3. gázkút CH ₄ [%]	4. gázkút CH ₄ [%]	5. gázkút CH ₄ [%]	6. gázkút CH ₄ [%]	7. gázkút CH ₄ [%]	8. gázkút CH ₄ [%]	9. gázkút CH ₄ [%]	10. gázkút CH ₄ [%]	11. gázkút CH ₄ [%]
1. csoport	3	56,40	24,27	54,73	54,77	63,03	62,30	56,73	53,83	53,37	52,03	47,97
2. csoport	22	51,57	40,46	46,47	53,01	53,28	60,66	52,60	58,29	38,34	52,34	47,91
3. csoport	22	41,37	25,73	38,89	52,82	48,51	61,41	51,83	60,40	54,00	56,25	42,02
Összesen	47	47,10	32,53	43,45	53,03	51,67	61,12	52,50	58,99	46,63	54,15	45,16

Homogenitás vizsgálatot Levenne teszt segítségével végeztem, megállapítottam a gázkutak homogének vagy heterogének (24. táblázat). Az összes gázkút esetében a LSD tesztet használtam, a 9. gázkút esetében viszont a minta heterogén állapota miatt Tamhane tesztet végeztem el.

24. táblázat Az egyes gázkutak statisztikai feldolgozásának eredményei

	Homogenitás vizsgálat eredményei	Szignifikáns eltérések csoportpárok között *P<5% szinten		Szignifikáns eltérések csoportpárok között **P<1% szinten		Metántartalmi különbségek CH ₄ [%]	
						*P<5%	**P<1%
1. gázkút	homogén (LSD)	3.-2.		-		10,19%	-
2. gázkút	homogén (LSD)	3.-2		-		14,73%	-
3. gázkút	homogén (LSD)	3.-2.		3.-1.		7,58%	15,84%
4. gázkút	homogén (LSD))	ns		ns		-	-
5. gázkút	homogén (LSD)	3.-1.		-		14,52%	-
6. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	-
7. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	-
8. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	-
9. gázkút	heterogén (Tamhane)	3.-1	2.-1.	-		15,65%	15,02%
10. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	-
11. gázkút	homogén (LSD))	ns		s		-	-

A statisztikai vizsgálat során az egyes gázkutakra jellemző légköri nyomáscsoportok közötti összefüggéseket állapítottam meg, ezek eredményei a 24. táblázatban láthatóak: 3.-2. csoportpárok között 1., 2., 3. gázkút esetében találtam P<5% szignifikáns különbséget. A 3.-1. csoport között 5., 9. gázkút esetében P<5%, illetve a 3.-1. csoportpárok között a 3. gázkút esetében P<1% szignifikáns különbséget állapítottam meg. A 4,6,7,8,10,11 gázkutaknál a csoportpárok közötti varianciaanalízis egy esetben sem mutatott ki szignifikáns különbséget. Ez alapján elmondható, hogy ezeknél a gázkutaknál a légköri nyomás változása és a depóniagáz metántartalma között nincs összefüggés.

A metántartalom változását és az átlag légköri nyomás értékeket összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem 11db gázkút esetében, melynek eredményei a 25. táblázatban találhatóak. Ahol a következő egyenletekkel írható le a gázkútra jellemző metántartalom változás és a légköri nyomás közti kapcsolatok.

Az adatok feldolgozásából látszik, hogy a légköri nyomás változása a metántartalomra csak a 1,3,5. gázkút esetében mutat közepes összefüggést, melynek értékei a következőképpen alakultak: 1. gázkút $r=0,4$, 3. gázkút $r=0,49$, 5. gázkút $r=0,44$. A gázkutaknál a lineáris regresszió vizsgálat eredményei negatív korrelációt mutatnak. A légkör nyomás emelkedése a metántartalmi értékek csökkenését eredményezik. A 11db gázkútból a 2,4,8,9,10,11 gázkút eredményei alapján elmondható, hogy az összefüggések szorossága laza korrelációs kapcsolatot mutat a légköri nyomás változás és a metántartalom között, de ez a depóniagáz produktum metántartalmát nem befolyásolja.

25. táblázat Korrelációs együtthatók gázkutankénti változása a metántartalom és a légköri nyomás függvényében

	Lineáris egyenlet	R ²	r
1. gázkút	$y = -0,7708x + 833,47$	0,1637	0,4045
2. gázkút	$y = -0,5037x + 546,44$	0,0403	0,2007
3. gázkút	$y = -0,6815x + 738,75$	0,2477	0,4976
4. gázkút	$y = -0,1881x + 244,93$	0,0135	0,1161
5. gázkút	$y = -0,5939x + 657,59$	0,197	0,4438
6. gázkút	$y = -0,003x + 64,164$	2E-05	0,0001
7. gázkút	$y = -0,0848x + 139,02$	0,0049	0,0701
8. gázkút	$y = 0,2166x - 161,96$	0,0688	0,2622
9. gázkút	$y = 0,3701x - 330,93$	0,0249	0,1577
10. gázkút	$y = 0,1483x - 97,161$	0,012	0,1095
11. gázkút	$y = -0,3626x + 415,09$	0,0261	0,1615

3.3.4. Depóniagáz metántartalmának változása a különböző szélesség intervallumokban

A vizsgálatok során az összes gázkút esetében kerestem összefüggéseket a különböző szélesség intervallumok és a hulladéklerakóból kinyert depóniagáz metántartalma között. A hulladéklerakó építése során a prizmák magassága elérheti a 15-30 métert is. Ebben a magasságban feltételezhető, hogy az uralkodó szélviszonyok és szélességek hatására a hulladéklerakó telep felső szintjeiben az elszívás ellenére a metán a szabadba távozhat. Ez a jelenség a hulladéklerakó betöltése folyamán akkor jelentkezik nagyobb mértékben, amikor a prizmák külső oldalán épített 3m széles és 2 m magas földhányok magassága nagyobb lesz, mint a hulladéklerakóban a hulladék magassága. Ezáltal a gázkutakból kitermelt depóniagáz metántartalma jelentősen lecsökkenhet és oxigénben dúsulhat.

Az eredményeimet a 26. táblázatban szemléltetem, ahol a metántartalmi értékek 1-68% között változtak. A legkedvezőbb értéket 51,87%-os metántartalmat a 2. csoportnál, $0,6\text{m/s} > v_{sz} \leq 1\text{m/s}$ intervallumban mértem, $n=99$ db elemszám mellett. A legkedvezőtlenebb értékeket - a feltételezéseimmel ellentétesen - az 1. csoportnál (47,30%) tapasztaltam, ahol a szélesség $v_{sz} \leq 0,6$ közötti intervallumban található, illetve a 6. csoportnál (49,53%) $v_{sz} > 2,4\text{m/s}$ szélesség intervallumban. Az eredményekből látszik, hogy az 3,4,5,6. csoport esetében a szélesség változása kismértékű metántartalmi eltéréseket mutat. Ezért elengedhetetlen feladat az elszívás mértékének és az uralkodó szélesség közti kapcsolatok összefüggéseit vizsgálni. A variációs koefficiens értéke $CV\%=22,81\%$ a 2. csoport ($0,6 > v_{sz} \leq 1$) szélesség intervallumában. Ebben az esetben mértem a legkedvezőbb metántartalmi értéket, illetve a minimum és maximum értékek is 14-66% metántartalom között változtak.

26. táblázat A szélesség intervallumok és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Szélesség csoportok	Szélesség intervallum [m/s]	n [db]	CH ₄ átlag [%]	Variációs koefficiens CV% [%]	szórás [%]	95% Konfidancia intervallum		Minimum [%]	Maximum [%]
						Alsó érték	Felső érték		
1. csoport	$v_{sz} \leq 0,6$	88	47,30	31,22	14,771	44,17	50,43	7	66
2. csoport	$0,6 > v_{sz} \leq 1$	99	51,87	22,81	11,832	49,51	54,23	14	66
3. csoport	$1 > v_{sz} \leq 1,3$	99	49,81	30,45	15,169	46,79	52,84	1	66
4. csoport	$1,3 > v_{sz} \leq 1,8$	99	48,65	30,58	14,880	45,68	51,62	1	66
5. csoport	$1,8 > v_{sz} \leq 2,4$	66	50,95	29,26	14,908	47,29	54,62	5	68
6. csoport	$v_{sz} > 2,4$	66	49,53	28,79	14,260	46,03	53,04	6	66
	Összesen	517	49,67	28,82	14,319	48,43	50,90	1	68

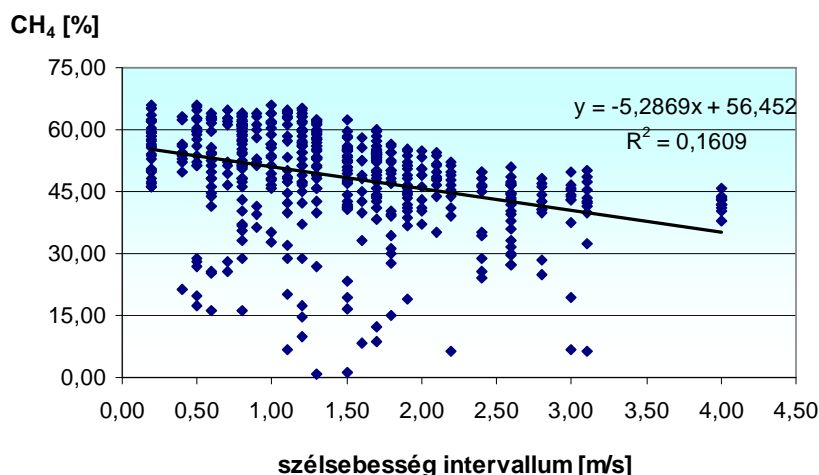
A csoportpárok homogenitás vizsgálata alapján a minták homogén eredményt mutattak, ezért a statisztikai feldolgozás során az LSD tesztet használtam, a csoportok közötti elemzés eredményei a 27. táblázatban láthatóak. A legnagyobb különbséget az 2.-1. csoportpárok között állapítottam meg, 4,57% metántartalom mellett. A csoportpárok között varianciaanalízis egy esetben mutatott a 2.-1. csoport között $P < 5\%$ -os szignifikáns különbséget.

27. táblázat A szélesség intervallum csoportpárok eredményei és metántartalmi különbségek

Szélesség csoportok	Szélesség intervallum [m/s]	1. csoport $v_{sz} \leq 0,6$	2. csoport $0,6 > v_{sz} \leq 1$	3. csoport $1 > v_{sz} \leq 1,3$	4. csoport $1,3 > v_{sz} \leq 1,8$	5. csoport $1,8 > v_{sz} \leq 2,4$	6. csoport $v_{sz} > 2,4$
1. csoport	$v_{sz} \leq 0,6$	-	*	ns	ns	ns	ns
2. csoport	$0,6 > v_{sz} \leq 1$	4,571	-	ns	ns	ns	ns
3. csoport	$1 > v_{sz} \leq 1,3$	2,512	2,059	-	ns	ns	ns
4. csoport	$1,3 > v_{sz} \leq 1,8$	1,351	3,219	1,161	-	ns	ns
5. csoport	$1,8 > v_{sz} \leq 2,4$	3,650	0,920	1,138	2,299	-	ns
6. csoport	$v_{sz} > 2,4$	2,232	2,338	0,279	0,881	1,418	-

ns = nem szignifikáns, * = $P < 5\%$, ** = $P < 1\%$

Az összes gázkút metántartalmi értékének változását és a szélesség intervallum adatait összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem, melynek eredménye a 16. diagramban látható. Ahol a következő egyenlettel írható le a gázkútra jellemző metántartalom változás és a szélesség intervallumok közti kapcsolat: $y = -5,2869x + 56,452$ az $R^2 = 0,1699$. A korrelációs együttható értéke $r = 0,48$, vagyis az összefüggések szorossága közepes korrelációt mutat, az összes gázkútban képződött depóniagáz metántartalma és a hulladéklerakó telepre jellemző szélesség intervallumok változása között. A lineáris regresszió vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a szélesség intervallum változása a depóniagáz metántartalmát csökkentheti.



16. diagram A depóniagáz metántartalmának változása különböző szélesség intervallumokban

A szélesség intervallumokhoz tartozó metántartalmi értékek változása gázkutanként

Vizsgálataim további részében összefüggéseket kerestem az egyes gázkutakra jellemző metántartalmi értékek változása és a hulladéklerakóra jellemző szélesség intervallumok között. Ezért a 11 db gázkút metántartalmi értékét és a hozzá tartozó szélesség intervallum értékeket összerendeltem, eredményei a 28. táblázatban láthatóak. Az eredmények feldolgozásából látszik, hogy a 2. gázkút esetében az 1.-6. szélesség intervallumokhoz tartozó csoportokban tapasztaltam a legkedvezőtlenebb metántartalmi értékeket (23,63-37,57%), az átlag metántartalom értéke 32,53% volt. A legkedvezőbb metántartalmi értékeket a 6. gázkútnál tapasztaltam az 1.-6. szélesség intervallumhoz tartozó szélességi értékek mellett (58,06-63,85%), az átlag metántartalom 61,1%.

28. táblázat Az egyes gázkutak átlag metántartalmi értékei a szélesség csoportok függvényében

Szélesség intervallum csoportok	n [db]	1. gázkút CH ₄ [%]	2. gázkút CH ₄ [%]	3. gázkút CH ₄ [%]	4. gázkút CH ₄ [%]	5. gázkút CH ₄ [%]	6. gázkút CH ₄ [%]	7. gázkút CH ₄ [%]	8. gázkút CH ₄ [%]	9. gázkút CH ₄ [%]	10. gázkút CH ₄ [%]	11. gázkút CH ₄ [%]
1. csoport	8	39,28	34,06	37,68	55,11	49,59	58,06	49,99	60,34	46,08	48,81	41,33
2. csoport	9	49,00	37,57	48,04	57,63	53,06	59,32	55,01	60,61	44,79	54,59	50,97
3. csoport	9	48,74	33,39	41,90	54,07	48,07	63,10	52,52	57,62	42,01	55,92	50,60
4. csoport	9	52,94	23,63	45,71	48,18	54,54	61,37	54,31	55,24	44,10	53,78	41,37
5. csoport	6	38,95	33,87	41,27	57,82	53,13	63,85	52,20	61,38	56,38	59,00	42,62
6. csoport	6	51,63	33,67	45,35	44,32	52,00	61,80	49,67	60,05	51,10	53,68	41,60
Összesen	47	47,10	32,53	43,45	53,03	51,67	61,12	52,50	58,99	46,63	54,15	45,16

A statisztikai vizsgálat során az egyes gázkutakra jellemző metántartalmi értékek és a jellemző szélesség intervallum csoportok között összefüggéseket állapítottam meg (29. táblázat). Homogenitás vizsgálatot Levene-tesztel végeztem, az összes gázkút esetében a LSD tesztet használtam mivel a minták homogének voltak.

P<5%-os szignifikáns különbségeket állapítottam meg az 1. gázkút 3.-1., 3. gázkút 2.-1, 4. gázkút 6.-2., illetve 6.-5., 6. gázkút 3.-1. illetve 5.-1. csoportpárok között. A 2,5,7,8,9,10,11 gázkutaknál a varianciaanalízis nem mutatott ki szignifikáns különbségeket.

29. táblázat Az egyes gázkutak statisztika feldolgozásának eredményei

	Homogenitás vizsgálat eredményei	Szignifikáns eltérések csoportpárok között *P<5% szinten		Szignifikáns eltérések csoportpárok között **P<1% szinten		Metántartalmi különbségek CH ₄ [%]	
						*P<5%	**P<1%
1. gázkút	homogén (LSD)	3.-1.		-		13,66%	
2. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	
3. gázkút	homogén (LSD)	2.-1.		-		10,36%	
4. gázkút	homogén (LSD))	6.-2.	6.-5.	-		13,31%	13,49%
5. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	
6. gázkút	homogén (LSD)	3.-1.	5.-1.	-		5,03%	5,78%
7. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	
8. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	
9. gázkút	homogén (LSD))	ns		ns		-	
10. gázkút	homogén (LSD)	ns		ns		-	
11. gázkút	homogén (LSD))	ns		ns		-	

A 11db gázkút esetében a metántartalmi értékeket és a szélesebbesség intervallumokhoz tartozó szélesebbesség értékeket összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem (30. táblázat). Ahol a következő egyenletekkel írható le a gázkútra jellemző metántartalom változás és a szélesebbesség intervallumok közti kapcsolat. Az adatok feldolgozásából látszik, hogy a szélesebbesség intervallumok változása a metántartalomra csak a 4,5,7,10. gázkút esetében a korrelációs együttható értéke $r=0,57-0,66$ között változott, az összefüggések szorossága közepes korrelációt mutat. Az 1,2,3,9,11. gázkutak esetében laza korrelációs összefüggések tárhatóak fel, ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,12-0,33$ között változik. A 6,8. gázkutak esetében viszont az összefüggések között szoros korrelációt állapítottam meg, ahol a korrelációs együtthatók értéke $r=0,74, 0,76$. Összességében elmondható, hogy egy adott hulladéklerakó telepre jellemző szélesebbesség intervallumok változása hatással van a képződött depóniagáz metántartalmára, mivel egyszerűen a hulladékdomb oldalán felfelé áramló levegő a hulladéktest tetején vákuumot eredményez és kihúzza az értékes depóniagázt a hulladéktestből, így a depóniagáz metántartalma lecsökkenhet.

30. táblázat Korrelációs együtthatók gázkutankénti változása a metántartalom és a szélesebbesség intervallumok függvényében

	Lineáris egyenlet	R ²	r
1. gázkút	$y = -1,5841x + 48,555$	0,0152	0,1232
2. gázkút	$y = -5,3454x + 43,672$	0,0643	0,2535
3. gázkút	$y = -3,3061x + 50,314$	0,1117	0,3342
4. gázkút	$y = -7,9509x + 63,502$	0,4232	0,6505
5. gázkút	$y = -4,642x + 57,368$	0,3338	0,5777
6. gázkút	$y = -6,1143x + 64,857$	0,5621	0,7497
7. gázkút	$y = -5,7277x + 60,316$	0,4445	0,6667
8. gázkút	$y = -6,8312x + 64,912$	0,5902	0,7682
9. gázkút	$y = -5,3243x + 53,627$	0,0956	0,3091
10. gázkút	$y = -5,6265x + 60,562$	0,3346	0,5784
11. gázkút	$y = -5,7035x + 53,283$	0,0995	0,3154

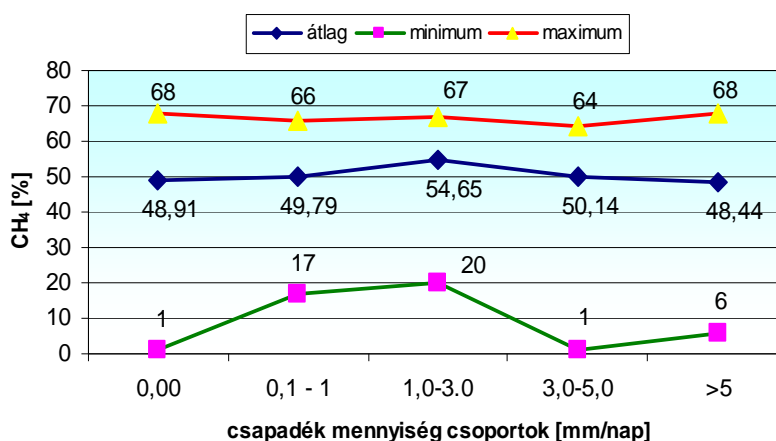
3.3.5. Depóniagáz minőségének és mennyiségének változása a csapadék mennyiségétől

Ebben a vizsgálati szakaszban az összes gázkút esetében kerestem összefüggéseket a meteorológiai állomás által szolgáltatott napi csapadék mennyiségi adatok és a hulladéklerakóból kinyert depóniagáz metántartalma között (31. táblázat). Mivel jelentős eltérések lehetnek a száraz és nedves depóniatest gáztermelődése és metántartalmi értékei között, ezért ennek a területnek a vizsgálata rendkívül fontos. A minimum és a maximum értékek 1-68% metántartalom között változtak. A legkedvezőbb értéket a 3.,4. csoportoknál tapasztaltam 1-5 mm/nap csapadék mennyiség mellett 54,65-50,14%-os metántartalmat. A legnagyobb elemszámnál tapasztaltam a 1. csoport esetében 0 mm/nap csapadék mennyiség mellett 48,91% metántartalmat, a legkedvezőtlenebb értéket 48,44%-os metántartalmat 5. csoportnál 5 mm/nap csapadék intenzitás feletti tartományban mértem. A variációs koefficiens értéke $CV\%=22,33\%$, szórás mértéke $s=12,207$, minták száma $n=55$ db a 3. csoport (3-5mm/nap) csapadék mennyiség tartományában. Itt mértem a legkedvezőbb metántartalmi értéket ($CH_4=54,65\%$), illetve a minimum és maximum értékek 17-66% között változtak.

31. táblázat A csapadék mennyisége és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

Csapadék mennyiség csoport	Csapadék mennyiség [mm/nap]	n [db]	CH ₄ átlag [%]	Variációs koefficiens CV% [%]	szórás [%]	95% Konfidancia intervallum		Minimum [%]	Maximum [%]
						Alsó érték	Felső érték		
1. csoport	0	286	48,91	29,91	14,633	47,21	50,61	1	68
2. csoport	0,1 - 1	77	49,78	27,43	13,657	46,68	52,88	17	66
3. csoport	1 - 3	55	54,65	22,33	12,207	51,35	57,95	20	67
4. csoport	3-5	33	50,14	30,21	15,152	44,77	55,51	1	64
5. csoport	>5	66	48,44	29,83	14,450	44,89	51,99	6	68
Összesen		517	49,67	28,79	14,319	48,43	50,90	1	68

A 3., 4. csapadék mennyiség csoportok esetében mutatható ki kapcsolat a depóniagáz metántartalma és a csapadék mennyisége között, ennek eredményei 17. diagramban láthatóak. Az 1. 2. csoportok esetében (0-1mm/nap) csapadék mennyiség tartományban az átlag metántartalmi értékek jelentősen romlottak (48,91-49,78%), mivel az aneorob lebomláshoz szükséges nedvességtartalom értéke csökkent. Azonban megfigyelhető volt az 5. csoport esetében amennyiben csapadék mennyisége elérte, illetve meghaladta az 5 mm/nap értéket, akkor a biológiai feltételek romlottak, a gázkutak környéke elvizesedett, ezáltal a termelékenység és az átlag metántartalma is jelentősen lecsökkent.

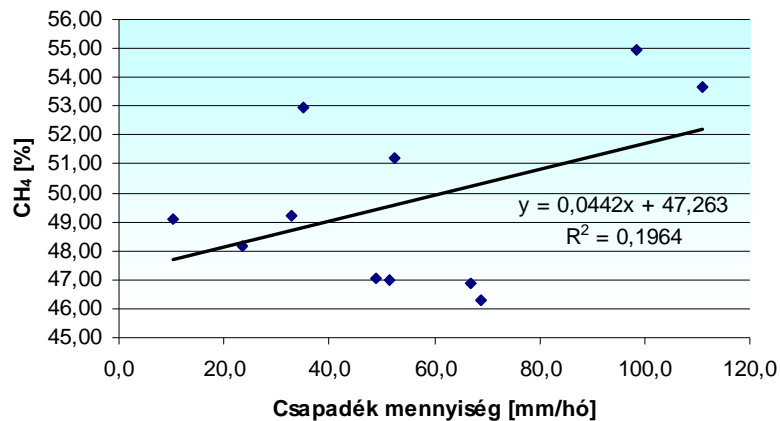


17. diagram A csapadék mennyisége és a metántartalom közötti összefüggések eredményei

A csoportpárok között a varianciaanalízis szignifikáns eredményeket igazolt, mivel a szignifikancia szint $P<5\%$ a vizsgált paraméterek alakulásában. A homogenitás vizsgálat alapján a minta homogén, ezért az LSD tesztet használom.

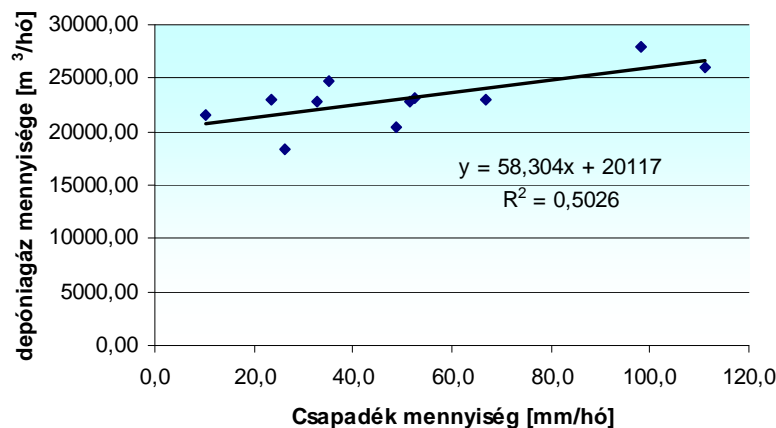
A statisztikai feldolgozás során az eredmények a következőképpen alakultak: a 3.-1. csoport, illetve a 5.-3. csoportpárok között 5,736% és 6,208% metántartalmi különbséget állapítottam meg. Szignifikáns eltérések is ezekben a csoportokban volt megfigyelhető. A 3.-1. csoportpárok között (sig=0,007) $P < 5\%$, illetve az 5.-3. csoport között (sig=0,018) $P < 5\%$ szignifikáns eltérést tapasztaltam, többi csoport esetében szignifikáns különbségek nem adódtak.

A meteorológiai állomás által szolgáltatott havi csapadék mennyiségeket és az összes gázkútra vonatkozó havi átlag depóniagáz metántartalmi értékeket, illetve mennyiségeket összerendeltem (16. táblázat). Az adatok feldolgozása során, arra a megállapításra jutottam, hogy a május- június hónapok a depóniagáz mennyiségi és metántartalmi értékek szempontjából a legkedvezőbb időszak. Mivel az átlaghőmérsékleti, csapadék mennyiségi értékek kedvezően hatnak a hulladéktestben lezajló biológiai folyamatokra.. Ezért az összes gázkút havi átlag metántartalmi értékeinek változását és a csapadék mennyiségi adatait összerendelve lineáris regresszió vizsgálatot végeztem (18. diagram), ahol a következő egyenlettel írható le a metántartalmi értékek változása és a csapadék mennyisége közti kapcsolat: $y = 0,0442x + 47,263$ az $R^2 = 0,1964$. Az összefüggések szorossága közepes korrelációt mutat, mivel a korrelációs együttható értéke $r = 0,44$. Pozitív korreláció esetében a csapadék mennyiségének emelkedése a depóniagáz metántartalmát befolyásolja.



18. diagram Csapadék mennyiségének változása a depóniagáz metántartalmára

A további lineáris regresszió vizsgálatot végeztem a depóniagáz havi mennyiségének [$m^3/hó$] változása és a lehullott csapadék mennyisége [$mm/hó$] közti kapcsolatot keresve. Eredményeimet a 19. diagramban mutatom be. A depóniagáz mennyiségének változása és a hulladéklerakó telepre lehullott csapadék mennyiségének kapcsolata a következő egyenlettel írható le $y = 58,304x + 20117$ az $R^2 = 0,5026$. A korrelációs együttható értéke $r = 0,71$, a csapadék mennyiségének emelkedése a depóniagáz mennyiségének növekedését eredményezi.



19. diagram Csapadék mennyiségének változása a depóniagáz mennyiségére

3.4. Az eredmények értékelése

Vizsgálataim megkezdése előtt meghatároztam a statisztikai feldolgozás elvégzéséhez szükséges minták számát. Meghatároztam az adott részterületekhez tartozó szórás és átlag metántartalmi értékeket, illetve meg kellett adnom a becslési hiba mértékét és a valószínűségi szintet, amelyen a vizsgálatokat végzem. A vizsgálatokat $P=3\%$ és $P=5\%$ valószínűségi szinten végeztem el. Az eredményeim alapján $h=3\%$ -os becslési hiba esetén a szükséges minták száma $n=363$ db, illetve $h=5\%$ becslési hiba esetében $n=131$ db minta szükséges mintát igazoltak az összes gázkút és részterületekhez tartozó vizsgálatok esetében. Ezek alapján az általam felvett $n=517$ db minta száma az összes gázkútra vonatkozó vizsgálatokhoz elegendő számú egy szakszerű statisztikai feldolgozáshoz és a következtetések levonásához. A csoportpárok kialakításának módszerét a 5. táblázatban szemléltetem.

A statisztikai feldolgozás varianciaanalízis módszerével végeztem SPSS for Windows 11.0 program segítségével, ahol az általam felvett csoportpárok közötti összefüggések szignifikáns különbségeket igazoltak. A homogenitás vizsgálatot Levenne teszttel végeztem, a csoportpárok összehasonlítására Tamhane és LSD tesztet alkalmaztam. Azonban szükségesnek találtam a variációs koefficiens értékének meghatározását is az összes gázkút vizsgálatai során. A variációs koefficiens elemzésével kívántam az egyes csoportokon belül bemutatni a szórás értékeket. Ez a mutató lehetőséget nyújt a homogenitás vizsgálat csoportok közötti összehasonlítására.

4.4.1 Depóniagáz minőségi paramétereinek változása az alkalmazott depresszió függvényében.

Megállapítottam, hogy a hulladéklerakó telepen alkalmazott gázkinyerő rendszer üzemeltetési paramétereinek hatással vannak a keletkezett depóniagáz metántartalmának változására. Az alkalmazott elszívási értékeket az atmoszférikus nyomáshoz képest határoztam meg, a vizsgálati időszakban a környezeti nyomásviszonyok figyelembevételével. Amennyiben az alkalmazott depresszió értéke gázkutanként meghaladja a -0.9 mbar-nál nagyobb értéket, akkor a depóniagáz metántartalmi értékei jelentősen lecsökkennek. Az alkalmazott depressziós értékek és a depóniagáz metántartalma közötti összefüggés $r=0,52$ korrelációs együtthatót mutat, ami kapcsolatok közötti közepes szorosságnak felel meg. Megvizsgáltam és statisztikailag elemeztem az egyes gázkutaknál tapasztalható eltéréseket is. Megállapítható volt, hogy a gázkutak között is jelentős eltérések adódnak, mivel a gázkutakra jellemző szerves biológiai részarány, illetve a gázkutak tájolás között jelentős különbségek vannak. A gázkutankénti eredmények a 10. táblázatban láthatóak, ahol laza, közepes korrelációs kapcsolatokat állapítottam meg az elszívási és depóniagáz minőségi paramétereinek között.

4.4.2 Depóniagáz minőségi és mennyiségi paramétereinek változása adott hulladéklerakó-telepre jellemző átlaghőmérsékleti intervallumok függvényében.

Megállapítottam egy adott hulladéklerakó telepre jellemző időjárási paraméterek alapján, hogyan befolyásolja a vizsgálati napokra jellemző átlaghőmérsékleti intervallumok változása a kitermelt depóniagáz metántartalmát. Az adatok feldolgozásából adódik, hogy a depóniagáz metántartalmát a külső időjárási paraméterek közül az átlaghőmérséklet változása nem befolyásolja, mivel a korrelációs együttható értéke $r=0.1029$. Azonban tendenciák látszanak, hogy az átlaghőmérséklet emelkedése a depóniagáz metántartalmát növelheti. Mivel a hulladéklerakó egy nagyméretű bioreaktornak fogható fel, a külső hőmérséklet ingadozása csak a hulladéktest felső néhány méterén érezhető hatását, ezáltal nem befolyásolja a depóniatest belső hőmérsékletének alakulását. Statisztikai feldolgozás során az egyes gázkutak közti jelentős különbségek adódtak, melynek eredményeit a 15. táblázatban mutatom be. Mivel a gázkutak tájolása és a szerves anyag összetétele gázkutanként eltérő, ezért az átlaghőmérséklet változás egyes gázkutaknál mutat összefüggést. A továbbiakban megállapítottam, hogy a hulladéklerakó telepen egy adott vizsgálati tartományban a jellemző átlaghőmérsékleti intervallumok változása hatással van a képződött depóniagáz mennyiségére, ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,42$.

4.4.3 Depóniagáz metántartalmának változása a levegő relatív nedvességtartalom függvényében

A eredmények feldolgozása során megállapítottam, hogy az adott hulladéklerakó telepen a gázkutakból kinyert depóniagáz metántartalmának változása a környezetre jellemző levegő relatív nedvességtartalom nem befolyásolja, mivel a *korrelációs együttható értéke* $r=0,02$. A levegő relatív nedvességtartalom változása a gázkutankénti metántartalomra már mutat szignifikáns különbségeket, azonban ennek hatása a teljes depóniagáz hozam metántartalmára nem jelentős.

4.4.4 Depóniagáz metántartalmának változása a légköri nyomás függvényében

Az eredmények feldolgozása során arra a következtetésre jutottam, hogy a hulladéklerakó-telep környezetére jellemző légköri nyomásváltozások nem befolyásolják a hulladéktestben lezajló mikrobiológiai folyamatokat, így az energetikailag hasznosítható depóniagáz metántartalmát sem, mivel a *korrelációs együttható értéke* $r=0,11$. A gázkutak esetében már tapasztalható volt szignifikáns különbség a légköri nyomás csoportok és a hozzájuk tartozó metántartalmak között. A lineáris regresszió vizsgálatok eredményeiből (25. táblázat) arra lehet következtetni, hogy bizonyos gázkutaknál az elhelyezkedésből adódóan van kapcsolat a légköri nyomás változás és a keletkező depóniagáz metántartalma között.

4.4.5 Depóniagáz metántartalmának változása adott hulladéklerakó-telepre jellemző szélsősebesség intervallumok függvényében

Megállapítottam egy adott hulladéklerakó-telep esetében különböző szélsősebesség intervallumok hogyan befolyásolják a keletkezett depóniagáz metántartalmát, ahol a *korrelációs együttható értéke* $r=0,48$. A változók között negatív korreláció van, ami azt jelenti, hogy a szélsősebesség értékének emelkedésével a metántartalmi értékek csökkennek. Ez a jelenség tovább fokozódhat a hulladéklerakó-telep feltöltése során, amikor a prizmák külső oldalán épített 3m széles és 2m magas földsáncok magassága nagyobb lesz, mint a hulladéklerakóban a hulladék magassága. Ezáltal a gázkutakból kitermelt depóniagáz metántartalma jelentősen lecsökkenhet és oxigénben dúsulhat. A gázkutankénti lineáris regresszió vizsgálat (30. táblázat) alapján a 4,5,6,7,8. gázkútnál közepes negatív korrelációt állapítottam meg. A többi gázkút esetében laza negatív korrelációs együtthatók találhatóak. Összességében elmondható, hogy a hulladéklerakó-telepre jellemző szélsősebesség intervallumok hatással vannak a depóniagáz metántartalmára.

4.4.6 Depóniagáz minőségi, mennyiségi paramétereinek változása a hulladéklerakó-telep felületére lehullott csapadék mennyiségének függvényében

Megállapítottam, hogy a hulladéklerakó-telepen keletkezett depóniagáz mennyiségét és minőségi paramétereit befolyásolja a területre lehullott csapadék mennyisége. A csapadék mennyiségének emelkedésével a depóniagáz metántartalma emelkedik, ahol a *korrelációs együttható értéke* $r=0,4429$. A kapcsolatok közti szorosság közepes értékű, a korreláció pozitív, vagyis a csapadék mennyiségének emelkedése a depóniagáz metántartalmának emelkedését idézi elő.

Továbbiakban megállapítottam, hogy a csapadék mennyiségének emelkedése a hulladéklerakóban termelődött, illetve kinyert depóniagáz mennyiségét befolyásolja, ahol a *korrelációs együttható értéke* $r=0,71$. Ami azzal magyarázható, hogy a nedvességtartalom az anaerob fermentációs folyamatokhoz elengedhetetlenül szükséges. Az összefüggések közti kapcsolat szoros, a korreláció pozitív a csapadék mennyiségének emelkedése depóniagáz mennyiségének emelkedését okozzák.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A doktori kutatási témában az új tudományos eredmények az alábbiakban foglalhatóak össze

1. Üzemi körülmények között egy adott hulladéklerakó telepen működő gázkinyerő rendszer esetében meghatároztam, hogy az alkalmazott üzemi nyomás értékei összefüggésben vannak a kitermelt depóniagáz metántartalmával. Megállapítottam, hogy az üzemi körülmények között működő gázkinyerő rendszer esetében alkalmazott elszívás értékei befolyásolják a kitermelt depóniagáz metántartalmát és ezáltal a kitermelhető mennyiségeket is, ami a következő egyenlettel írható le $y=3,5607x+51,72$ az $R^2=0,2644$, ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,52$. Az alkalmazott elszívás mértékének növelésével a kitermelt depóniagáz metántartalma jelentősen csökken.
2. Statisztikai módszerek segítségével megállapítottam egy adott régióra jellemző időjárási paramétereken belül az átlaghőmérsékleti intervallumok változása nem befolyásolja a hulladéklerakóban képződött depóniagáz metántartalmát. Az átlaghőmérséklet intervallumok és a depóniagáz metántartalmának alakulása a következő egyenlettel írható le $y=0,1948x+47,177$ az $R^2=0,0106$, ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,1029$. Viszont tendenciák látszottak az átlaghőmérséklet emelkedése a depóniagáz metántartalma között, ebben az esetben a gázkutak tájolása jelentős szereppel bírt. A továbbiakban adott üzemi körülmények között végzett vizsgálatok alapján, megállapítottam, hogy az átlaghőmérséklet intervallumok változása befolyásolja a termelődött depóniagáz mennyiségét. Az átlaghőmérsékleti intervallumok változása a depóniagáz mennyiségére a következő egyenlettel írható le függvényében $y=129,91x+21407$ az $R^2=0,1628$ ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,42$. Pozitív korreláció van ebben az esetben, ami megmutatja, hogy éves szinten az átlaghőmérséklet emelkedésével a depóniagáz mennyisége emelkedik.
3. A kísérletek eredményeinek feldolgozása során megállapítottam, hogy az adott hulladéklerakó telep környezetében uralkodó levegő relatív nedvességtartalom változása nem befolyásolja a depóniatestben lezajló mikrobiológiai folyamatokat, így a termelődött depóniagáz metántartalmát sem. A levegő relatív nedvességtartalom változása és a depóniagáz metántartalmának változása a következő egyenlettel írható le: $y=-0,023x+51,478$ az $R^2=0,0004$, ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,02$. Az eredmények feldolgozása során arra a megállapításra jutottam, hogy egy adott hulladéklerakó telepre jellemző - környezeti paraméterek közül- légköri nyomás változásának hatása a képződött depóniagáz metántartalmát nem befolyásolja. A légköri nyomás változása és a termelődött depóniagáz metántartalmának változása a következő egyenlettel írható le $y=-0,223x+277,22$ az $R^2=0,0126$, ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,11$. Azonban tendenciák látszanak egyes gázkutak esetében az uralkodó légköri nyomás emelkedése és a depóniagáz metántartalma között, ezek a változások az éves depóniagáz minőségében nem mutatnak kiemelkedő különbségeket.
4. Az általam elvégzett szélesség intervallum vizsgálatok statisztikai feldolgozása alapján megállapítottam, hogy a hulladéklerakó-telepre jellemző szélesség intervallumok változása a kitermelhető depóniagáz metántartalmát befolyásolja. A szélesség intervallumok változása a depóniagáz metántartalmára a következő egyenlet segítségével írható le: $y=-5,2869x+56,452$ az $R^2=0,1699$ ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,48$. A változók között negatív korreláció van, a szélesség emelkedésével a metánártalmi értékek csökkennek. A szélesség változás és a depóniagáz metántartalma közötti kapcsolatok szorossága közepes.

5. A hulladéklerakóban lezajló folyamatokat, így a termelődött depóniagáz mennyiségét és minőségét befolyásolja az adott területre lehullott csapadék mennyiségének mértéke. A statisztikai adatok feldolgozásából arra a megállapításra jutottam, hogy a csapadék mennyiségének változása a képződött depóniagáz mennyiségét jelentősen befolyásolja, a változók között szoros összefüggések tárhatóak fel. A csapadék mennyiségének emelkedése és a depóniagáz mennyisége közti kapcsolat a következő egyenlettel írható le: $y=58,304x+20117$ az $R^2=0,5026$ ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,71$. Az összefüggések között a korreláció pozitív, a csapadék intenzitás emelkedésével depóniagázok mennyisége is emelkedik. A továbbiakban megállapítottam, hogy a csapadék mennyiségének emelkedése a depóniagáz metántartalmát befolyásolja, változók között statisztikailag közepes összefüggést állapítottam meg. A csapadék intenzitás emelkedésével a depóniagáz metántartalma emelkedik, ami a következő egyenlettel írható le: $y=0,0442x+47,263$ az $R^2=0,1964$ ahol a korrelációs együttható értéke $r=0,4429$.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Kutatásom célja, hogy adott régióra jellemző szerves anyag potenciálból, időjárás paramétereiből és az alkalmazott kinyerési technológiából származó depóniagáz mennyiségét és a metántartalmát vizsgáljam, így az üzemelő és tervezett hulladéklerakó telepek számára hasznosítható összefüggéseket állapítsak meg. Az eredményeket üzemi méretekben határoztam meg, ahol a depóniagáz mennyiségét és minőségét az elszívási rendszerek hatásfoka, környezeti viszonyok, hulladék összetétele, és a lerakás technológiája határozza meg

Doktori kutatásom részterülete rávilágította arra a figyelmet, hogy a hulladéklerakó telepen az alkalmazott elszívás mértéke a kitermelt depóniagáz metántartalmát befolyásolja. Javaslom a gázkutak esetében a tolózárak időközönkénti szabályozása helyett, egy folyamatos kontrollal rendelkező telemetriás rendszerre való áttérést. Ami azt jelenti, hogy a gázkutaknál kialakított gázmérési pontok által szolgáltatott depóniagáz minőségét jellemző paraméterek egy központi számítógépbe kerülnek. A bejövő információk alapján egy tervezett program segítségével meghatározandó, hogy milyen tolózár nyitásszöveget kell alkalmazni. A tolózárak működtetését villanymotorral oldjuk meg, így a számítógép által meghatározott nyitási értéket mechanikai beavatkozás nélkül akár az üzemeltető központi irodájából is tudja működtetni. A telemetriás rendszer figyelne a meteorológiai állomás által küldött információkat is, és ezek alapján határozná meg a gázkutaknál alkalmazott elszívás mértékét. Használatával a leoptimalisabb depóniagáz mennyiségi és minőségi paraméterek biztosíthatóak.

A depóniagáz metántartalmának és mennyiségének változása az átlaghőmérsékleti intervallumok függvényében doktori kutatási részterület során levont következtetések alapján a javaslataim a következők. A kedvezőtlen időjárás paraméterek, alacsony átlaghőmérséklet esetében célszerű a hulladéklerakó telepen képződött csurgalékvizet visszajuttatni a hulladéktestbe a kedvező mikrobiológia feltételek megteremtése céljából. Az alkalmazott elszívás mértékét a kedvezőtlen átlaghőmérsékleti tartományokban csökkenteni kell, így a külső átlaghőmérséklet miatti alacsony termelésű és metántartalmú gázkutak egy optimális elszívási érték mellett tudnak termelni.

A levegő relatív nedvességtartalma és a légköri nyomás viszonyok változása nem befolyásolja a hulladéktestben lezajló folyamatokat, mivel azok bizonyos késleltetéssel jelennek meg. Azonban megfigyelhető volt a légköri nyomás változása és a metántartalom közötti tendencia, ami alapján javaslataim a következők: az időjárás paraméterek feldolgozásával, prognosztizálásával és az alkalmazott elszívás értékeivel a leoptimalisabb gázkitermelést és metántartalmat lehet biztosítani.

A depóniagáz metántartalmát befolyásolja a hulladéklerakó környezetére jellemző szélsébség intervallumok, illetve a szélirányok változása. Javaslataim a következők: a gázkutak környékén a nedvességtartalom fenntartása mellett vissza kell juttatni a képződött csurgalékvizet, illetve a gázkutak hatósugarában földtakarást és zárást kell biztosítani, hogy ne kerüljön ki a légkörbe depóniagáz. A szélsébség növekedésével az elszívási rendszer elemeit össze kell hangolni úgy, hogy az alkalmazott depresszió mértékét addig kell növelni, amíg hulladéktest tetején kialakult vákuum jelenséggel ki nem egyenlítődik. Az adott területre lehullott csapadék mennyiségének változása hatással van a képződött depóniagáz metántartalmi és mennyiségi értékeire. Javaslataim a következők: a csapadékban szegény időszakban a csurgalékvíz tározókból öntöző rendszerek segítségével jutassák ki a hulladéktest tetejére a csurgalékvizet, a nedvességtartalom fenntartható, a szállópor koncentráció csökkenthető. Csapadékban gazdag időszakban a csurgalékvizet a gázmotorok hulladék hőjével párologtassák el, így a gázkutak hatósugarának elvizesedését, elsavanyodását és a gáztermelősi, metántartalmi értékek csökkenéseket el tudják kerülni.

Az üzemeltető számára az alkalmazott elszívás értékét és a telepre jellemző időjárás paramétereket - átlaghőmérséklet, relatív nedvességtartalom, légköri nyomás, csapadék mennyiség, szélsébség-figyelembe kell venni ahhoz, hogy egy adott évre a legkedvezőbb depóniagáz termelődéssel és metántartalommal tudjon tervezni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

KÖRNYEZETI HATÁSOK A DEPÓNIAGÁZ MENNYISÉGI, ILLETVE MINŐSÉGI
JELLEMZŐIRE

Hazánkban, illetve világviszonylatban is a gazdaság fejlődésével a hulladékok mennyisége rohamosan nő, igaz, hogy a szelektív hulladékgyűjtés által gyűjtött és másodnyersanyagként hasznosított anyagok mennyisége is emelkedik - ezáltal visszakerülhet a gyártási folyamatokba - de a hulladékok korszerű és környezetbarát elhelyezése mindenki számára igen fontos feladat. A téma elméleti és gyakorlati jelenségét alátámasztja, hogy a képződött hulladék korszerű és az Európai Unió előírásainak megfelelő technológia rendszerek alkalmazásával energetikailag hasznosítható és a fosszilis energiát kiváltó alternatív energiaforrást tudunk használni villamos energia és hőenergia termelés céljára. A másik szempont, hogy a környezetünk védelme érdekében olyan intézkedéseket, és technológiákat kell alkalmazni, ami szem előtt tartja a hulladék elhelyezés és ártalmatlanítás során képződött környezeti problémák minimalizálásának lehetőségeit. A települési hulladékok anaerob bomlásából származó depóniagázzal attól kezdve foglalkoznak, mióta kimutatható, hogy a természetes és antropogén metán, szén-dioxid kibocsátás hozzájárul az üvegházhatás jelenség kialakulásához. Kutatómunkám célja, hogy egy adott régióra jellemző hulladéklerakó telep esetében megvizsgáljam és felmérjem a depóniagázok termelődését befolyásoló tényezők alakulását. A depóniagáz kinyerését üzemi körülmények között vizsgáltam meg és megállapítottam, hogy milyen paraméterek változása okozza az energetikailag hasznosítható depóniagáz mennyiségi és minőségi jellemzőinek változását.

Az eredmények fejezetben bemutattam az egyes területekre jellemző új tudományos eredményeket, melyek a következők voltak. Megállapítottam, hogy az üzemi körülmények között működő gázkinyerő rendszer esetében alkalmazott elszívás értékei befolyásolják a kitermelt depóniagáz metántartalmát (*korrelációs együttható $r=0,52$*) és így a kitermelhető mennyiségeket is. Meghatároztam, hogy egy adott régióra jellemző időjárás paramétereken belül az átlaghőmérsékleti intervallumok változása nem befolyásolja a hulladéklerakóban képződött depóniagáz metántartalmát (*korrelációs együttható $r=0,10$*). Összefüggéseket állapítottam meg az átlaghőmérséklet változása és a termelődött depóniagáz mennyisége között (*korrelációs együttható $r=0,42$*). A kísérletek eredményeinek feldolgozása során megállapítottam, hogy a levegő relatív nedvességtartalmának változása nem befolyásolja a depóniatestben lezajló mikrobiológiai folyamatokat, így a termelődött depóniagáz energetikailag hasznosítható metántartalmát sem (*korrelációs együttható $r=0,02$*). Megállapítottam, hogy a légköri nyomás változása a depóniagáz metántartalmát nem befolyásolja (*korrelációs együttható értéke $r=0,11$*). A hulladéklerakó telepre jellemző szélsőérték változása a kitermelhető depóniagáz metántartalmát befolyásolja (*korrelációs együttható értéke $r=0,48$*). Megállapítottam, hogy a hulladéklerakóban lezajló folyamatokat, így a termelődött depóniagáz mennyiségét és metántartalmát befolyásolja az adott területre lehullott csapadék mennyisége. A metántartalom és csapadék mennyisége közti kapcsolat az $y=0,0442x+47,263$ egyenlettel írható le az $R^2=0,1964$ és a *korrelációs együttható értéke $r=0,44$* . A csapadék mennyisége és a depóniagáz mennyisége közti kapcsolat az $y=58,304x+20117$ egyenlettel írható le az $R^2=0,5026$ és a *korrelációs együttható értéke $r=0,71$* .

Összességében elmondható, hogy egy adott hulladéklerakó telep esetében az időjárás paraméterek mindig változnak, a szerves anyag bevitel az adott régióra jellemző paraméterekkel bír, ezért csak az elszívás mértékének szabályzásával tudom a kinyerés hatékonyságát változtatni. Ezért van nagy jelentősége ennek a kutatási területnek, ami megmutatja, hogy adott időjárás paraméterek és szerves anyag bevitel mellett milyen depóniagáz paraméterek keletkeznek. A doktori kutatásom során megállapított összefüggéseket a már meglévő és a tervezett hulladéklerakó telepek egyaránt fel tudják használni a legkedvezőbb depóniagáz kitermelésre és metántartalomra.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven

1. Molnár T. (2007): Quantitative and qualitative analysis of the biogas production from the municipal solid waste, Hungarian Agricultural Engineering N^o 20/2007, pp. 20-22, HU ISSN 0864-7410.
2. Molnár T. (2009) The impact of the weather conditions for the parameter of the production of landfill gas, Hungarian Agricultural Engineering N^o 22/2009, pp. 91-94, HU ISSN 0864-7410.
3. Sallai L., **Molnár T.** (2005). Use of Biogas in Energetics in the Case of Renewable Energy Project, Lucrari Științifice Seria I., Vol. VII. (2), pp. 97-104, ISSN 1221-5279.
4. **Molnár T.**, Sallai L. (2006). Exonomic examination of biogas gained from municipal waste, Lucrari Științifice Facultatea Agricultura XXXVIII., pp. 139-144, ISSN 1221-5279.
5. Sallai L., **Molnár T.** (2006). Estimated potential of energy production from biogas produced in the base on agricultural and food-industrial biomass in the pilot farm of SZTE-MFK, Lucrari Științifice Facultatea Agricultura XXXVIII, pp. 145-150, ISSN 1221-5279.
6. **Molnár T.**, Sallai L. (2007): The impact of biogas from deponia for economical properties of electrical production, Lucrari Științifice, Seria I. Vol. IX (2), pp. 323-330, ISSN 1453-1410.
7. Molnár T. (2012): Landfill gas quality and quantity parameter changes depending on precipitation intensity, Mechanical Engineering Letters, HU ISSN 2060 3789, (*megjelenés alatt*).

Lektorált cikk magyar nyelven

1. Molnár T. (2007): Kommunális hulladéklerakó telepen keletkező depóniagáz hasznosítása, Agrár és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE-MGK Tudományos folyóirat 2. évf., 195-199. o., ISSN 1788-5345.
2. Molnár T. (2009): Kommunális hulladéklerakó telepen keletkező depóniagáz minőségi paramétereinek változása, Agrár és Vidékfejlesztési Szemle, SZTE-MGK Tudományos folyóirat 2. évfolyam, 175-179. o., ISSN 1788-5345.
3. Molnár T. (2009): Az időjárási paraméterek és a depóniagáz keletkezése közti összefüggések vizsgálata a Hódmezővásárhelyi hulladéklerakó telepen, GÉP, LX. évf., 8. sz, 49-52. o, ISSN 0016-8572.
4. Molnár T. (2012): Adott hulladéklerakó telepen keletkezett depóniagáz minőségi paramétereinek változása a környezeti viszonyok függvényében, Mezőgazdasági Technika, HU ISSN 0026 1890, (*megjelenés alatt*).
5. Sallai L., **Molnár T.** (2006): Biogáz adott feltételek között történő energetikai célú termelése és felhasználása, Agrártudományi Közlemények, 2006/22, 41-46. o., HU-ISSN 1587-1282.
6. Sallai L., **Molnár T.** (2006) Mezőgazdasági és élelmiszeripari eredetű biomasszából, biogáz előállítás során nyerhető energia felmérése az SZTE-MGK Tanüzemében, Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle SZTE-MGK Tudományos folyóirat 1. évf., 63-67. o., ISSN 1788-5345.
7. Sallai L., **Molnár T.** (2007): Biogáz előállítása során keletkező energia felmérése az SZTE MFK tanüzemében különös tekintettel a mezőgazdasági és élelmiszeripari eredetű biomasszára, Agrártudományi Közlemények, 2007/26, 137-140. o., HU-ISSN 1587-1282.