



SZENT ISTVÁN EGYETEM

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**A komposztálás folyamatának nyomonkövetése új  
vizsgálati módszer alkalmazásával**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

KOVÁCS DÉNES

Gödöllő

2019

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Környezettudomány

**vezetője:** Csákiné Dr. Michéli Erika

egyetemi tanár

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

**Témavezető:** Dr. Füleky György †

professzor emeritus

SZIE, Mezőgazdaság-, és Környezettudományi Kar,

Környezettudományi Intézet

---

Az iskolavezető jóváhagyása

---

A témavezető jóváhagyása

## A munka előzményei, a kitűzött célok

A hulladéklerakókban előírt szervesanyag tartalom csökkentés, a talajok tápanyaghiánya és szerkezetének romlása, az egyes tápanyagok beszerezhetőségének szűkössége és a biológiai eljárással kezelhető hulladékok körének bővülése komoly lehetőséget és potenciált ad a komposztáló telepek kialakításához, üzemeltetéséhez és az ott előállított komposzt felhasználásához. A jogszabályi háttér meghatározza a komposztálás folyamatát (http 1.) és a komposzt termésként történő felhasználását (http 2). Több ágazatnak (hulladékgazdálkodás, élelmiszeripar, állattenyésztés, stb.) fontos és jelentős a komposztálás, mint biohulladék kezelési eljárás és hasonlóan számos területen (kertészet, mezőgazdaság, stb.) van igény a komposzt felhasználására is (Jakusné Sári Sz. – Forró E. 2006).

A komposztálással, komposzt előállítással párhuzamosan szükséges az abban végbemenő folyamatok minél szélesebb körű megismerése. A felhasználás szempontjából fontos tulajdonságok közé tartozik az érettség (Brewer és Sullivan, 2001). és a stabilitás, (Butler et al., 2001., The Composting Association, 2001., Stentiford, 2002.) amelyek nagymértékben meghatározzák a kijuttatás feltételeit, korlátot vagy lehetőséget adva az alkalmazáshoz. Ezeknek meghatározására számos - fizikai, kémiai, biológiai - módszer (Kovács, Füleky, 2016) és paraméter kínálkozik és sok esetben már határértékeket is meghatároztak, ilyen például a C/N arány (Jiménez és Garcia, (1989); Bernal et al., (1998); vagy a Dewar teszt (LAGA, 1984).

A komposztált alapanyagok (hulladékok, melléktermékek) szervesanyag tartalma átalakul és belőle (többek között) mineralizálódott tápanyagok és humusz-szerű anyagok képződnek (Bannick és Ziechmann, 1991). Ezeknek a folyamatoknak a nyomonkövetése lehetőséget teremt a komposztálás alaposabb megismerésére, ami a hulladékhasznosítás és a talajvédelem szempontjából is hasznos.

A spektrális vizsgálatokat számos tudományterületen alkalmazták már sikerrel, de a komposztálás folyamatának tanulmányozására kevés módszert használnak ezen belül tudományos megalapozottsággal (E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub>) (Sellami et al., (2008), SUVA254., Said-Pullicino et al., (2007). A különböző hullámhosszokon, hullámhossz-tartományokban végzett vizsgálatokat, elemzéseket csak a közelmúltban kezdték el (Xi et al., 2012; Song et al., 2015).

Munkám során kettő alapanyag esetén követtem nyomon a tápanyagtartalom és egyéb kémiai paraméterek, valamint a forróvízes (HWP) kivonatból a monoszacharid és redukáló diszacharid tartalom változását, illetve fotométerrel határoztam meg a fényelnyelési tulajdonságokat több tényező függvényében lúgos és HWP kivonatból.

Munkám során a következő kérdésekre kerestem a választ:

- A komposztálás során végbemenő cukortartalom változásának vizsgálata a forróvízes kioldással (HWP) nyert oldatok könnyen oldható mono- és oligoszacharidok koncentrációjának meghatározása segítségével.
- A komposztálás során létrejövő humusz jellegű anyagok keletkezése, azok egymásba alakulásának nyomon követése, a komposztban végbemenő fény abszorpciók tulajdonságok vizsgálata spektrofotometriával.
- A humuszminőség paraméterek, pl. E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> értékek változásának vizsgálata a komposztmintákon, a kiindulási alapanyagok és a komposztálási idő, mint hatótényezők függvényében a komposzt minőség meghatározása érdekében.
- Tápelem-tartalom és egyes fizikai tulajdonságok változásának nyomon követése és elemzése a komposztálás során az alapanyagok és az idő függvényében.

- A komposztmintákon folyamatosan átengedett forróvízzel nyert kivonatok átfolyós küvettán történő optikai vizsgálata és a spektrumok matematikai elemzése. A mért spektrumok idő függésének elemzése a forróvízes kioldás feltételezett folyamatainak matematikai leírásával. A feltételezett függvény alkalmazása a mért adatokra történő nemlineáris illesztéssel, majd a kapott paraméterek elemzése, ami módot ad a komposztálás során végbemenő folyamatok értelmezésére.

## Anyag és módszer

Az **1. kísérletben** lakossági gyűjtésből származó kerti zöldhulladék komposztálását végeztem el, adiabatikus komposztáló reaktorban, szabályozott körülmények között, 9 hétig. A mintavételre hetente került sor. A komposzt forróvízes kivonatából a monoszacharidok és a redukáló diszacharidok mennyiségét határoztam meg Schoorl módszerrel hidrolzálás után és a nélkül.

A **2. kísérletben** lakossági gyűjtésből származó kerti zöldhulladék (ZH) és kifutóból származó, friss szarvasmarhatrágya (MT) komposztálását végeztem el külön-külön, üzemi körülmények között, takart, zárt, levegőztetett prizmakomposztálással. A mintavételre 2 naponta került sor a 12. napig, utána a 28., 42. majd az 56. napon. A mintákból a következő paramétereket határoztam meg: szervesanyag tartalmat izzitással, kémhatást vizes és KCl-os szuszpenzióból potenciometriásan, redoxpotenciált vizes szuszpenzióból, ammónium és nitrát N tartalmat KCl-os kivonattól, vízgőzdesztillációval, a könnyen felvehető foszfor és kálium mennyiségét AL kivonattól fotométeren, illetve lángfotométerrel, az elektromos vezetőképességet vizes szuszpenzióból konduktometriásan, az alkálifémek, potenciálisan toxikus és toxikus nehézfémek meghatározását salátomsavas kivonattól mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometriával. A humusz összetevőket meghatároztam NaOH-os kivonattól Ocean View 1.6.7 spektrofotométerben 400-900 nm között. A rögzített adatokat Origin 7.5 (Microcal) programmal ábrázoltam, értékeltem. Az  $E_4/E_6$  arányt 465, illetve 665 nm-nél leolvasott abszorbancia értékek hányadosával adtam meg. Egy másik eljárás szerint a 400 és 900 nm közötti hullámhosszakra mért spektrumra illesztett függvény 465 illetve 665 nm-nél leolvasott függvényértékekre illesztett  $y = y_0 + A1 \cdot e^{-\frac{x}{\tau_1}}$  függvényből számítottam ki  $e^{\frac{200}{\tau_1}}$  képlettel (Sebők et al. 2018).

A komposztok forróvízes kilúgzásához a Füleky György - Czinkota Imre - Tolner László - Horváth István: „Eljárás talajok tápelemtartamának meghatározására, valamint berendezés az eljárás foganatosítására” című, 205994 lajstromszámú szabadalom alapján szerkesztett készüléket használtam. A készülék 100 és 150 kPa közötti, 103 és 105 °C hőmérsékletű vizet nyom át a mintán.

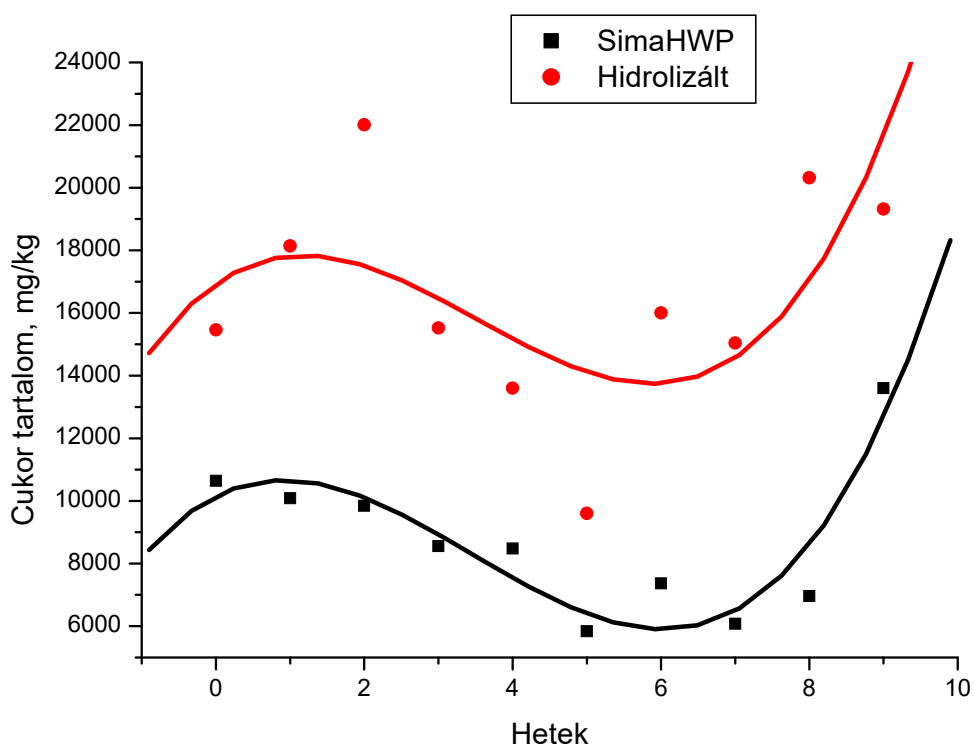
Az 1. kísérletben komposztmintánként kettő egymás után következő (100cm<sup>3</sup>) frakciót fogtam fel. A 2. kísérlet alkalmával a HWP berendezésből kijövő komposzt oldatot buborékmentes állapotban a mérőberendezés küvettájába vezettem, ahol egy 12 V-os 5W-os fényforrás fényét bocsátottam át, aminek az abszorpciós jeleit az Ocean View 1.6.7 spektrofotométerbe vezettem üvegszálon keresztül. A berendezésben az abszorpciós (fényelnyelési) funkciót használtam. A detektált adatokat a fotométer 400-900 nm között (VIS tartományban) rögzítette, az átfolyás 365 mp-én(sec) át, 5 mp (sec)-ként. A rögzített adatokat Origin 7.5 (Microcal), illetve a Surfer 12 (Golden) programmal ábrázoltam, értékeltem.

## Eredmények

### 1. kísérlet

#### Cukor tartalom

A mikrobiális bomlás beindulása után a heti mintavétel alapján folyamatosan csökken a ténylegesen rendelkezésre álló (hidrolizálás nélküli) HWP oldható monoszacharid és redukáló diszacharid tartalom, de szignifikáns differencia nincs az egyes mintavételek között. A minták hidrolizálása után kapott redukáló cukortartalom értékek szignifikánsan eltérnek több esetben egymáshoz képest is és legtöbb esetben a sima HWP kivonás eredményeitől is. A HWP oldható redukáló cukortartalom és a HWP oldható monoszacharid tartalom értékeit befolyásolja a nyersanyag (komposzt), ezáltal annak szénhidrát összetétele.

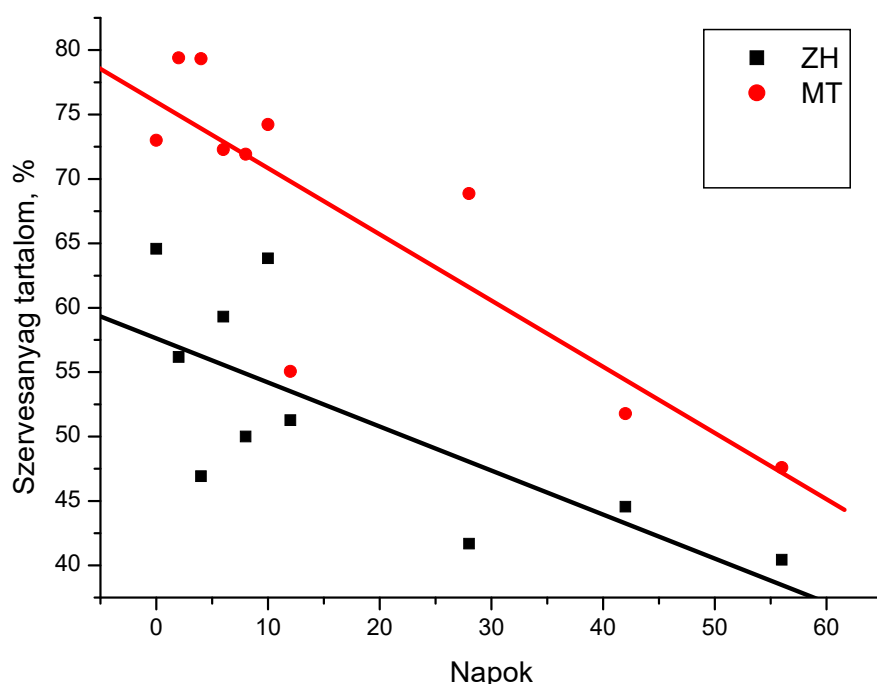


1. ábra A monoszacharid és a redukáló diszacharid változása a komposztálás előrehaladtával hidrolizált HWP és hidrolizálás nélküli HWP minták esetén

A vizsgált anyag (zöldhulladék) komposztálása során a monoszacharid és a redukáló diszacharid tartalom hasonló módon, de eltérő nagyságrendben változik a sima forróvizes (HWP) kivonás és a hidrolizálás után kapott minták vizsgálata esetén. Tendenciáját tekintve mindkettő diagram lefutása azonosnak mondható. Mindkét esetben leírható a folyamat polinomiális függvénnyel (1. ábra).

## Eredmények 2. kísérlet

### Szervesanyag tartalom



2. ábra A vizsgált komposztok szervesanyag tartalom változása a komposztálási idő függvényében

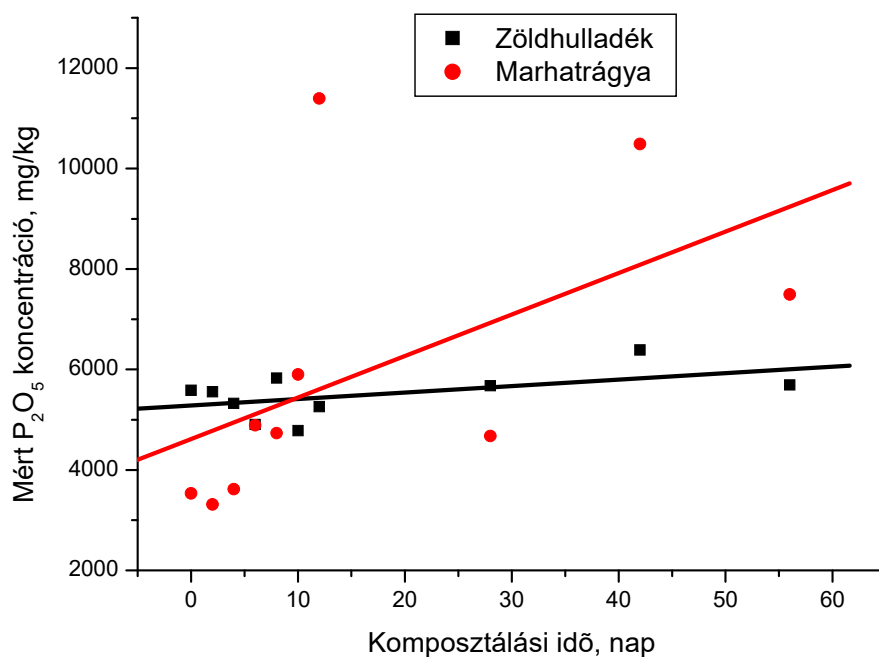
\*ZH-zöldhulladék, MT-marhatrágya

	Tengelymetszet	Hiba	Merekség	Hiba	Korreláció
Zöldhulladék	57,62	2,72	-0,341	0,110	-0,7365
Marhatrágya	75,97	2,85	-0,513	0,115	-0,8429

1. táblázat A vizsgált komposztok szervesanyag tartalmára illetet függvények elemzése

Jól látható az ábrázolt függvényeken (2. ábra) és az egyenesek paraméterein (1. táblázat), hogy a marhatrágya esetén a szervesanyag tartalom nagyobb értéket mutat a komposztálás kezdetekor és intenzívebb a csökkenése, mint a zöldhulladéké. Szoros korrelációval csökken az idő függvényében. Zöldhulladék esetén kisebb a kiindulási anyag szervesanyag tartalma és annak csökkenése sem olyan intenzív. Kevésbé szoros a korrelációja az idővel. Az eltérő értékeket az alapanyagok minősége eredményezte, hiszen a marhatrágya teljesen friss volt a komposztálás kezdetén, míg a zöldhulladékban már elindultak a lebomlási folyamatok.

## Foszfor tartalom



3. ábra A vizsgált komposztok Al oldható  $P_2O_5$  tartalmának változása a komposztálási idő függvényében

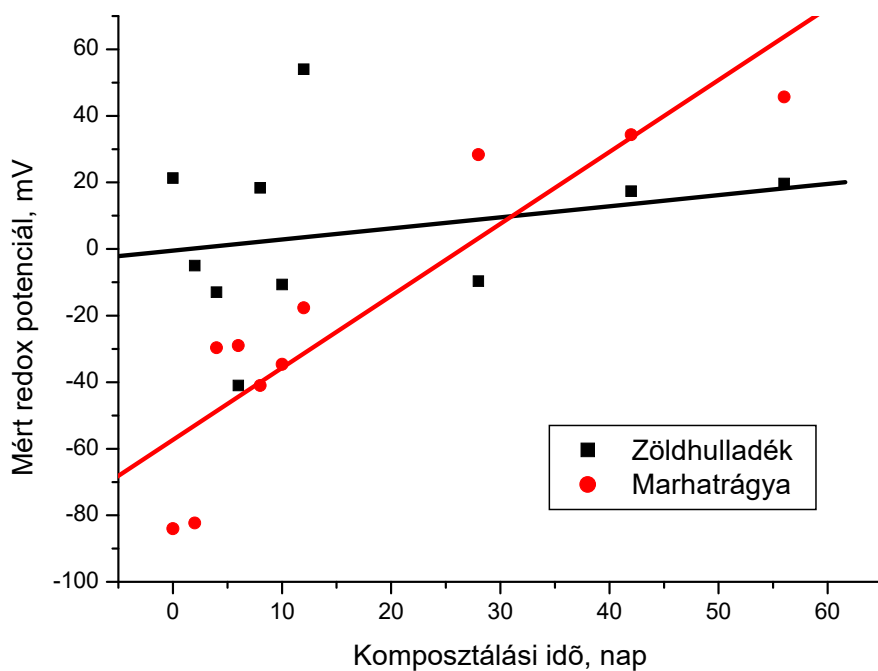
	Tengelymetszet	Hiba	Meredekség	Hiba	Korreláció
Zöldhulladék	5284,50208	180,89305	12,85583	7,35556	0,52567
Marhatrágya	4616,39167	1114,71858	82,58383	45,32725	0,54153

2. táblázat: A vizsgált komposztok foszfor tartalmára illesztett függvények elemzése

A zöldhulladék esetében szignifikánsan igazolható, hogy gyakorlatilag nem változik a foszfor koncentráció, a marhatrágya oldható foszfortartalma emelkedik (3. ábra), de nagyon nagy a mért adatok szórása (2. táblázat), mely a mineralizálódó szerves foszforvegyületek oldhatóságával függhet össze.

A marhatrágyában található tápelemek, így a foszfor is már egy biológiai és enzimatis átalakuláson is átesett, többségük a nukleinsavakban kötve található így a foszfor a zöldhulladékhoz képest könnyen felvehető formában található meg a kiindulási anyagban, így annak felvétele, oldódása sokkal intenzívebb, ezért is korrelál jobban az idővel (Nagy et al., 2008). Mindehhez társul egy intenzívebb szervesanyag csökkenés, ami a foszfor tartalom relatív feldúsulását fokozza.

## Redox potenciál



4. ábra A vizsgált komposztok redox potenciáljának változása a komposztálási idő függvényében

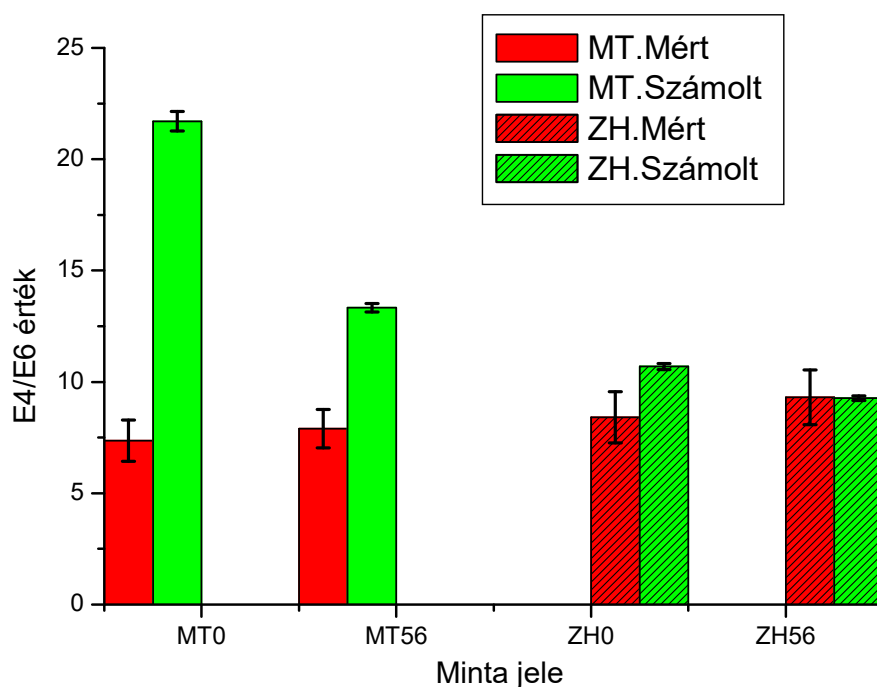
	Tengelymetszet	Hiba	Merekség	Hiba	Korreláció
Zöldhulladék	-0,47222	11,71342	0,33366	0,4763	0,24041
Marhatrágya	-57,33681	8,81836	2,16291	0,35858	0,9054

3. táblázat A vizsgált komposztok redoxpotenciáljára illesztett függvények elemzése

A redox potenciál növekedése a komposztálás során mindkét esetben kimutatható (4. ábra), marhatrágya komposzt esetében igen jó korrelációval jelentős növekedést mértem az oxidációs érlelés során, azonban a zöldhulladék esetében jelentősen kisebb merekséget találtam és a korreláció sem volt szoros (3. táblázat). A két anyagféleség (zöldhulladék, marhatrágya) közötti redoxipotenciál érték különbségét az alapanyagok minőségének eltérése okozhatta. Így lehetséges, hogy zöldhulladék esetén az első (0. napi) mintavétel is relatív magas redoxipotenciált mutat. A szarvasmarha trágya komposztálását gyakorlatilag a kifutóból frissen kitermelt anyaggal kezdtük, amiben a magas nedvességtartalom miatt anaerob részek is lehettek, ez okozhatta az alacsony redoxipotenciált a folyamat elején. A redoxipotenciál változás sokkal számottevőbb változást mutatott a vizsgálat ideje alatt.



**Lúgos kivonatok optikai vizsgálata**  
**A komposztok E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> arányának alakulása**

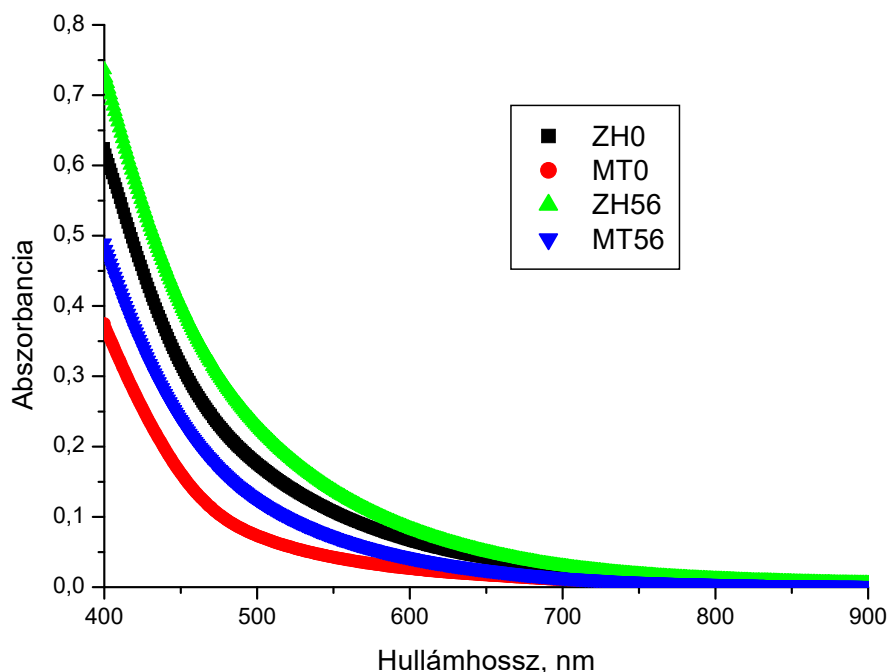


5. ábra Az egyes minták mért és számolt E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> értékei a komposztálás idejének függvényében

\*MT-Marhatrágya, ZH-zöldhulladék, Mért-465 és 665 nm-en mért abszorbanca átlagából meghatározott E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> arány, Számolt- $e^{\frac{200}{t}}$  képlettel számolt E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> arány

Scheffer, 1954; Welte, 1955; Chen et al., 1977 által mért E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> arányban kimutatható csekély mértékű csökkenés statisztikailag nem volt szignifikánsan igazolható. Jól látható, hogy a várakozásaink ellenére az 56 napig tartó komposztálás egyik alapanyag esetében sem befolyásolja jelentős mértékben a minták lúgos kivonatóból mért spektrumok alapján meghatározott E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> (465/665 nm) értékeket. Ebből esetemben az a következtetés vonható le, hogy (56 nap alatt) a mért E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> értékek meghatározásával nem követhető a komposztálás folyamatának előrehaladása, vagyis ez a paraméter nem használható a komposztérésének indikátoraként. Az  $e^{\frac{200}{t}}$  képlettel számolt E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> arány viszont egyértelmű csökkenést mutat marhatrágya esetén 21,7-13,3, de zöldhulladék esetén is csökkent 10,69-9,27 (5. ábra).

## Az alapanyagok és az 56. napi minták spektrumainak összehasonlítása

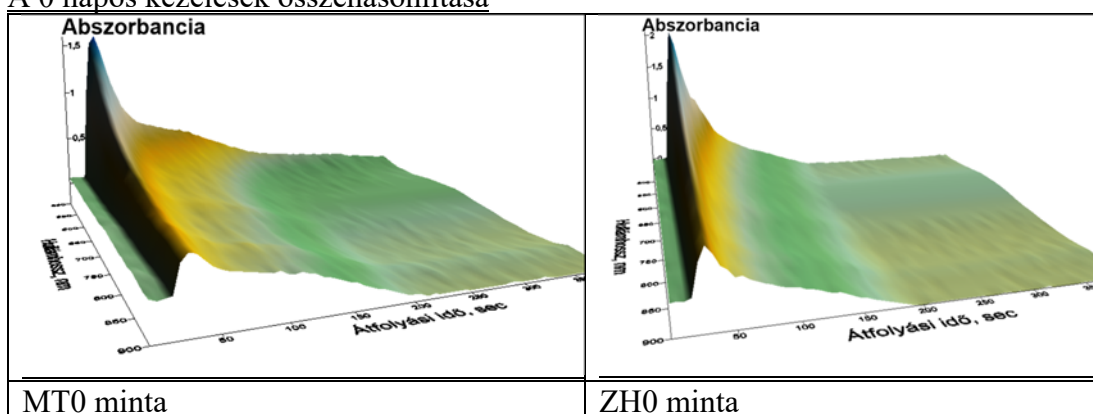


6. ábra Az alapanyagok és az 56 napos komposztok lúgos kivonatára mért látható abszorpciós spektrumok alapanyagok szerint

\*ZH-Zöldhulladék, MT-Marhatrágya, 0-0. napon vett minta, 56-56. napon vett minta

A 6. ábrán jól látható, hogy a spektrumok a humuszanyagokra jellemző exponenciális csökkenést mutatják a hullámhossz függvényében, a korrelációs koefficiens minden esetben nagyobb 0,99-nél. A komposztálás hatására a spektrumok (abszorbancia értékei) szignifikánsan felfelé mozdulnak (a paraméter), azaz a fényelnyelés a komposztálás alatt növekszik minden hullámhosszon. A t1 paramétereket összevetve megállapítható, hogy a komposztálás során az szignifikánsan növekedett minden alapanyag esetében, vagyis a hullámhosszal kevésbé csökkent a fényelnyelés. A humusz-jellegű anyagok építőelem-kondenzációjának elindulása eredményezhette a nagyobb hullámhosszon kimutatható magasabb abszorpciós értéket. Irodalmi adatok szerint 40 napig növekszik a fulvosavak mennyisége a komposztálás során utána stagnál vagy csökken és a huminsavak mennyisége kerül túlsúlyba (Inbar et al., 1989).

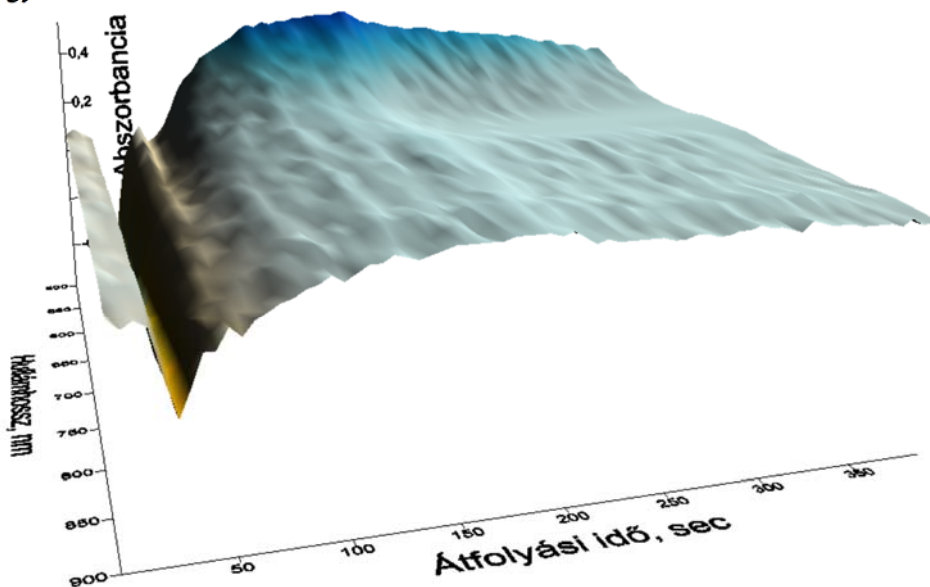
**A forróvizes kioldás optikai vizsgálata a teljes spektrum adatai alapján**  
**Az alapanyagok hatásának vizsgálata**  
**A 0 napos kezelések összehasonlítása**



7. ábra MT0 és ZH0 minta forróvizes kivonatának fényelnyelése a kifolyási idő és a hullámhossz függvényében

\*MT0-Marhatrágya 0. napi mintája, ZH0-Zöldhulladék 0. napi mintája

Az átfolyási és fényelnyelési ábrákat (7. ábra) összevetve látható, hogy a hullámhossz tengely mentén a vizsgált hullámhossz tartományban a fényelnyelés monoton módon és egyenletesen csökken. Ez a tendencia az összes vizsgált átfolyási görbére igaz, és egyezik a Sebők et al. (2018) által megállapított exponenciális csökkenéssel leírható összefüggéssel. Az idő tengely mentén szintén monoton csökkenést láthatunk, azonban nem egyenletes a csökkenés, a csökkenés mértéke 100-150 másodperc környékén szemmel láthatóan kisebb mértékű, mint a szabályos egyenletes változástól várnánk.



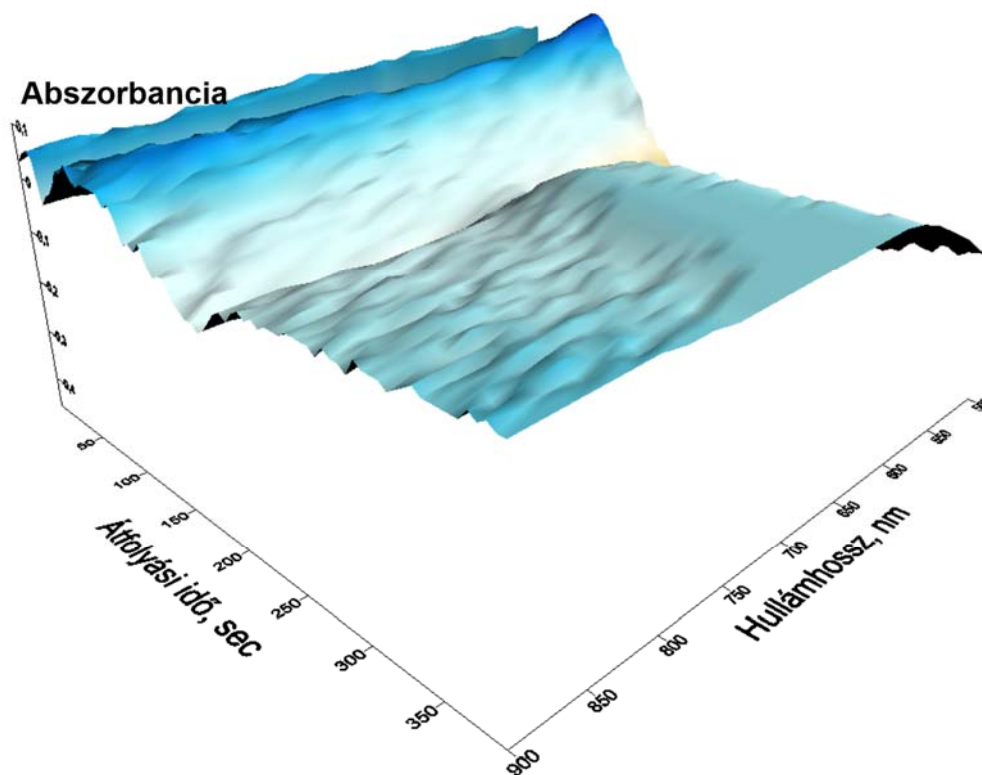
8. ábra MT0 és ZH0 minta forróvizes kivonatának fényelnyelésének különbsége az átfolyási idő és a hullámhossz függvényében

\*MT0-Marhatrágya 0. napi mintája, ZH0-Zöldhulladék 0. napi mintája

A két alapanyag közötti eltérés vizsgálatára alkalmas a 8. ábra mely úgy készült, hogy a marhatrágya komposzt spektrum-idő összefüggéséből kivontam a

zöldhulladék megfelelő pontjait, majd ezt a különbséget ábrázoltam a 3D ábrán. Jól látható, hogy a legnagyobb eltérés abban a tartományban található, ahol a legnagyobb mértékben tér el a spektrumok időbeli lefutása a hígulásnak megfelelő exponenciális csökkenéstől, de más tartományban is találtam eltérést, a marhatrágya minta fényelnyelése mindig felülmúlta a zöldhulladék mintáját, ez azt jelenti, hogy a marhatrágya alapanyag forróvíz oldható fényelnyelő, színes szerves anyag tartalma nagyobb, mint a zöldhulladéké. Kis hullámhosszú tartományban volt kimutatható a legnagyobb a különbség a marhatrágya és a zöldhulladék fényelnyelése között.

### A komposztálás hatásának vizsgálata marhatrágya minta esetén



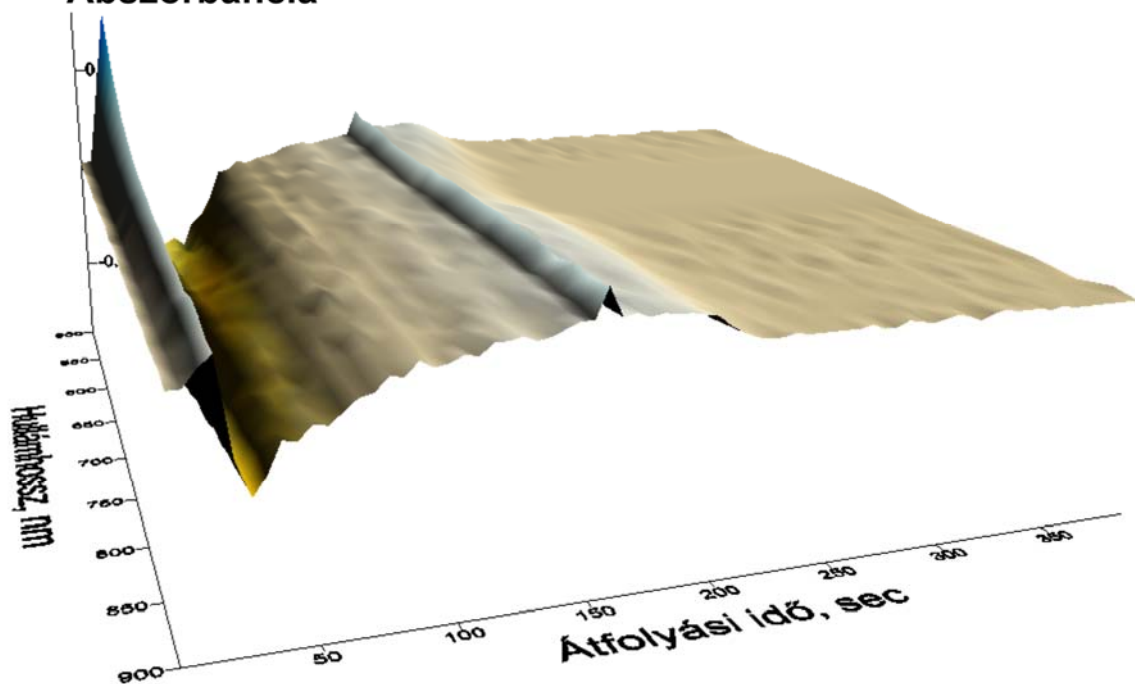
9. ábra Az MT56 és MT0 minta forróvízes kivonatának fényelnyelésének különbsége a kifolyási idő és a hullámhossz függvényében

\*MT56-Marhatrágya 56. napi minta, MT0-Marhatrágya 0. napi minta

A komposztálás során bekövetkező eltérés vizsgálatára alkalmas a 9. ábra, mely úgy készült, hogy a marhatrágya alapanyag spektrum-idő összefüggéséből kivontam a marhatrágya komposzt (56. nap) megfelelő pontjait, majd ezt a különbséget ábrázoltam a 3D ábrán. Jól látható, hogy a hullámhossz függvényében vizsgálva a spektrumot egy maximum található az 550 és 650 nm közötti tartományban. Ez a kifolyási idő 100-150 sec-tól indul és tart egészen a perkolációs idő végéig. A kifolyási idő függvényében vizsgálva a folyamatot, azt találjuk, hogy a kifolyás kezdeti szakaszában van egy periódikus jellegű eltérés a komposzt és az alapanyag között, később gyakorlatilag nem különbözik a két görbe. Ebből arra következtethetünk, hogy a fényelnyelésbeli különbséget a komposztálás hatására bekövetkező gyorsan kioldódó szervesanyagok változása okozza marhatrágya esetén.

## A komposztálás hatásának vizsgálata zöldhulladék esetén

### Abszorbancia



10. ábra A ZH56 és ZH0 minta forróvizes kivonatának fényelnyelésének különbsége a kifolyási idő és a hullámhossz függvényében

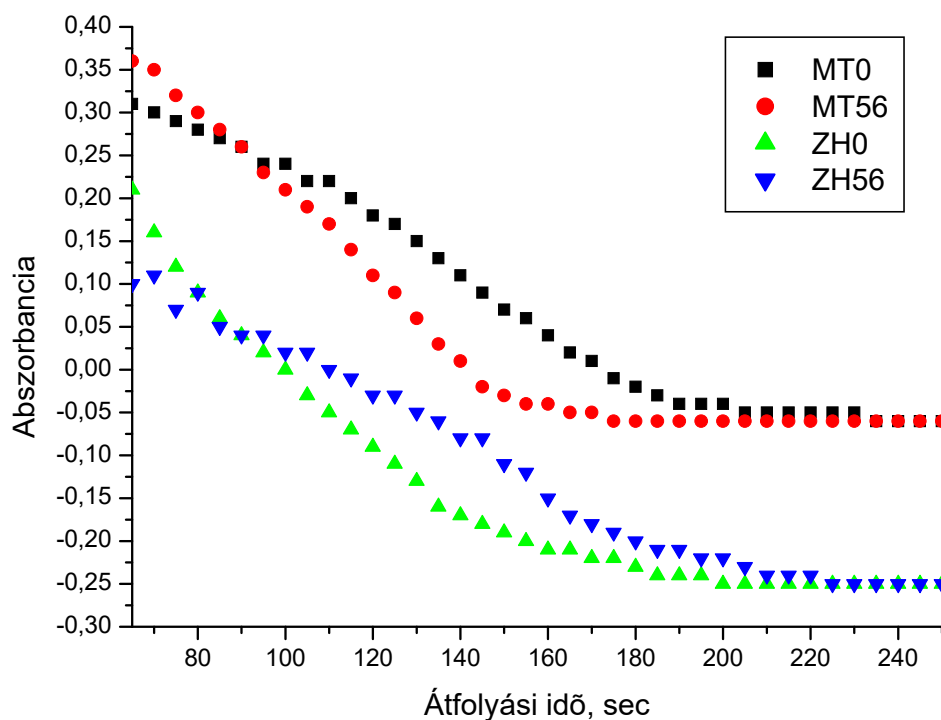
\*ZH56-Zöldhulladék 56. napi minta, ZH0-Zöldhulladék 0. napi minta

Zöldhulladék esetében is kiszámítottam a kioldódás során mért alapanyag és az érett komposzt közötti spektrumok különbségét. A görbék lefutása azt mutatja, hogy a kezdeti szakaszban (a kioldási folyamat elején) a komposzt kisebb fényelnyelés értékeket mutat, mint az alapanyag, ez az érettebb komposzt és alapanyag szervesanyagainak kioldásához szükséges időtartam eltérével támasztható alá, majd egy enyhe növekedés következik a kioldási időtartam középső részén. Ez után a kétféle érettségű anyag között mérhető optikai különbségek fokozatosan eltűnnek (10. ábra).

### A forróvizes kioldás kinetikájának optikai vizsgálata

A vizsgálatokat a folyamatosan átfolyó forróvíz fényelnyelés-változásának vizsgálatával végeztem az átfolyási idő, közvetve az átfolyó forróvíz mennyiségének függvényében. Minden mért hullámhosszon egymáshoz hasonló lefutású, de eltérő nagyságú lefutást kapunk az abszorbanciában a hullámhossz függvényében.

A fényelnyelés változását 660 nm-es hullámhosszon, az alapanyag és a teljesen érett (56 napos komposzt) elemzésével mutatom be.



11. ábra A vizsgált komposztok (illetve nyersanyagok) abszorbancia változása az idő függvényében 660 nm-en

\*MT-Marhatrágya, ZH-Zöldhulladék, 0-0, napon vett minta, 56-56. napon vett minta

A 11. ábrán látható, hogy a görbék lefutása egymáshoz hasonló, azonban egymástól különböznek, ami alapján megállapíthatjuk, hogy mind az alapanyag, mind a komposztálás befolyásolja a fényelnyeléssel rendelkező anyagok forróvízes kioldását.

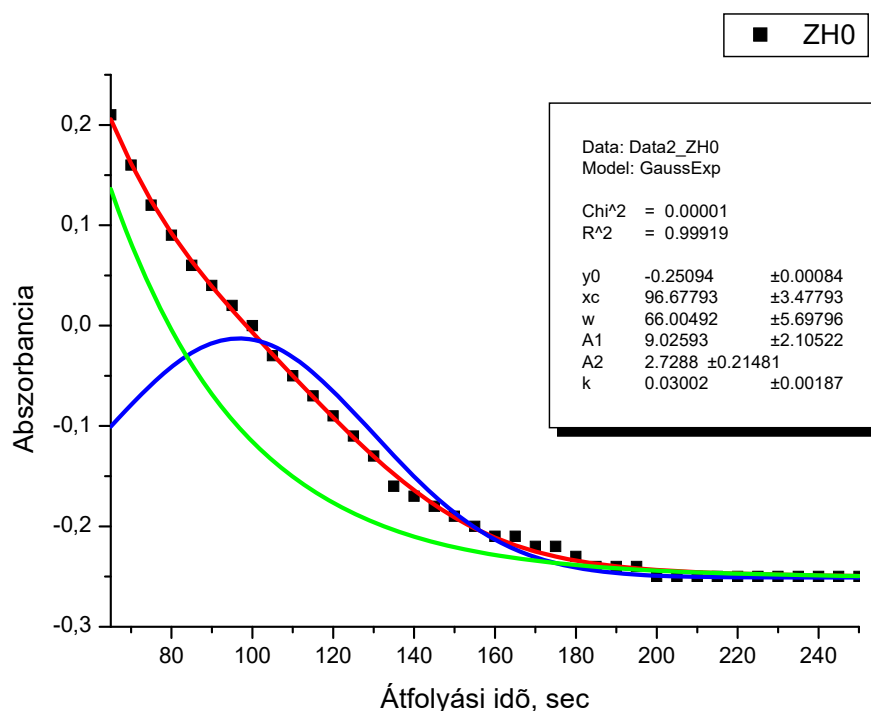
Elméletileg ezeknek a görbéknek egy exponenciális csökkenést kellene mutatnia, ugyanis amennyiben egy véges mennyiségű oldható, fényelnyelő összetevőt tartalmazó bármely anyagot folyamatosan kilúgozunk, azt a folyamatot elsőrendű kinetikai, vagyis exponenciális függvénnyel lehet leírni (Czinkota, 1994).

Jelen esetben azonban az látszik, hogy bár a görbék monoton csökkennek, de nem mutatják a tisztán elsőrendű kinetika lefutását. Fel kell tételezni valamilyen másik folyamatot, mely befolyásolja a kilúgozást. Feltételeztem, hogy egy olyan folyamat zajlik le a kilúgozással párhuzamosan, mely esetben hosszabb idejű főzés hatására keletkezik valamilyen fényelnyelő anyag, melynek igen hasonló fényelnyelési görbéje van, mint a humuszjellegű anyagoknak. Erre az lehet a magyarázat, hogy a szemcsék, vagy nyersebb komposztok esetében elsősorban az eredeti rostok belsejében levő ilyen típusú, fulvosav jellegű anyagok csak akkor tudnak kioldódni, ha már kellő mértékben megduzzadt a tartalmazó szemcse vagy rost. A szemcsék és rostok mérete nyilván nem egyforma, viszont feltételezem, hogy a szemcsék mérete a Gauss féle normális eloszlást követik, mivel természetes körülmények és aprítás útján keletkeztek. Ennek alapján feltételezhető, hogy a szemcseméretetek a szemcsék teljes duzzadását, vagyis a belül levő anyagok oldhatóságát is befolyásolják, vagyis egy Gauss függvény segítségével leírhatjuk ezeket a folyamatokat.

Ennek alapján a teljes folyamatot a szabad és oldható szerves molekulák exponenciálisan csökkenő kioldásának és a duzzadó szemcsék belsejéből, Gauss függvénnyel leírható módon kioldódásának összegével tudjuk leírni. Az illesztett függvény r<sup>2</sup> értéke minden esetben nagyobb volt 0,99-nél, ami szoros korrelációra utal. Az alkalmazott függvény a következő egyenlettel írható le:

$$Y = y_0 + \frac{A1}{w \cdot \sqrt{\pi/2}} \cdot e^{-2 \cdot \left(\frac{x-x_c}{w}\right)^2} + A2 \cdot e^{-k \cdot x}$$

A fenti függvény a 12. ábrán látható grafikusán, a ZH0 eredeti mért pontokat (feketével) a teljes függvényt (pirossal), és komponenseit a Gauss jellegű függvényt (kékkel), az exponenciálisat (zölddel) jelölve.



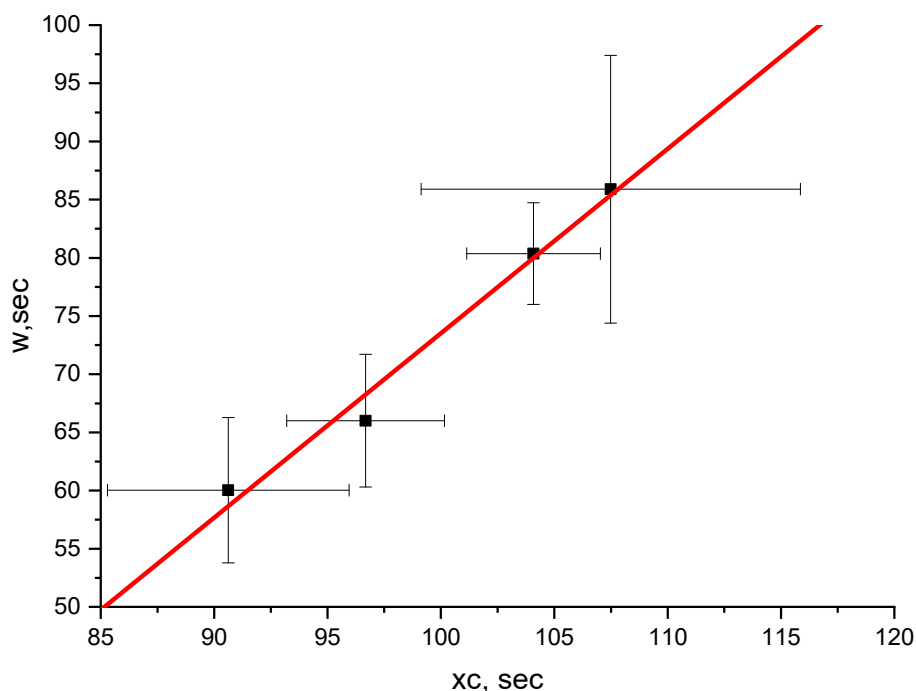
12. ábra Az eredetileg mért pontokra illesztett exponenciális függvény és Gauss féle oldódási függvény, illetve ezek összegéből készült illesztett függvény ZH0 minta esetén, 660 nm-en.

\*ZH0-0. napon vett zöldhulladék minta

Megvizsgálva az illesztési paramétereket azt találtam, hogy az alapanyag és a komposztálás az exponenciális függvény paramétereiben nem okozott szignifikáns eltérést, ami azt jelenti, hogy a könnyen oldható szervesanyag frakció nem függ sem a komposztálástól, sem az alapanyagtól.

A Gauss függvény paraméterei azonban mutatnak szignifikáns különbségeket.

A két grafikon hasonlatossága alapján adódik, hogy egymással regresszióanalízissel elemezzük az értékeket. Ennek eredménye látható a következő ábrán:



13. ábra Az egyes minták kioldási görbéjére illesztett Gauss görbe  $w$  és  $x_c$  paramétereinek regressziója

\* $x_c$ -Gauss görbe kioldási késleltetés értéke,  $w$ -Gauss görbe szórásértéke

Jól látható a 13. ábrán és a paraméterek értékein, hogy igen szoros a korreláció a mért Gauss paraméterek között, azaz minél nagyobb az oldódás késleltetése, annál nagyobb a szórása is. A 0,99-es korreláció igen szoros, és az 1.58-as meredekség azt fejezi ki, hogy kb. másfélszeres szórás változáshoz tartozik egységnyi várakoztatás.

## Új tudományos eredmények

1. Az egyes komposztminták 0. és 56. napon vett mintáiból lúgos kivonással készített spektrumok a humuszanyagokra jellemző exponenciális csökkenést mutatják a növekvő hullámhossz (400-900 nm) függvényében. Az illesztés korrelációs koefficiense minden esetben nagyobb 0,99-nél. A komposztálás hatására nő az abszorbancia.

2. A spektrumból az  $e^{\frac{200}{\tau_1}}$  képlettel számolt  $E_4/E_6$  arány az elvárt csökkenő tendenciát mutatja a komposztálás előrehaladtával, míg a közvetlen mérési adatokból osztással számoltaknál ez a szabályszerűség nem figyelhető meg.

3. Az egyes komposztok 0. és 56. napos forróvízzel kivont mintájának 660 nm-en mért abszorbanciájából megállapítható, hogy mind az alapanyag, mind a komposztálás befolyásolja a forróvízzel kioldható anyagok fényelnyelését.



4. A forróvizes kivonás 660 nm-en, a kifolyási időben mért abszorbancia görbéjének leírására kidolgoztam egy függvényt, amely exponenciális görbével jellemzi a könnyen oldható HWP frakciót és Gauss függvénnyel a kioldás során az átalakulás hatására bekövetkező oldódást. A függvény  $r^2$  értéke minden esetben nagyobb, mint 0,99, ami szoros korrelációra utal. Az exponenciális függvény illesztési paramétereiben sem az alapanyag sem a komposztálás nem okoz szignifikáns eltérést, ami szerint a könnyen oldható szervesanyag frakció nem függ sem a folyamattól sem az alapanyagtól, míg a Gauss függvény paraméterei ( $w$ ,  $x_c$ ) szignifikáns különbségeket mutatnak. Igen szoros a korreláció (0,99) a fenti paraméterek között. Ez azt mutatja, hogy az alapanyag elsősorban a HWP során oldhatóvá váló szerves anyag frakciót befolyásolja.

## Következtetések, javaslatok

A zöldhulladék és a marhatrágya komposztálási folyamatának vizsgálata során meghatározott (klasszikus és fotometriai) paraméterekből megállapítható, hogy azok az alapanyagtól és a komposztálási időtől egyaránt függenek, de eltérő módon.

Hazánkban csak néhány kutató foglalkozott a komposztok fotometriai elemzésével, a meghatározott folyamatok kinetikai értékelésével, matematikai modellezésével. Külföldön is csak bizonyos részterületeit érintették a témának.

Kutatásaim során 2 különböző alapanyag esetében vizsgáltam a komposztálás folyamatát, az alaptulajdonságok nyomkövetése mellett lúgos, illetve forróvizes HWP kivonatból határoztam meg azok spektroszkópiai tulajdonságainak változását.

A forróvizes (HWP) és a lúgos kivonással kapott oldatok spektrofotometriai elemzését érdemes lenne elvégezni egyéb anyagfélések (állati eredetű melléktermék, élelmiszeripari hulladék, szennyvíziszap, kommunális, vegyes hulladék szerves frakciója, stb.) komposztálása során nyert mintákból.

A folyamatos HWP kivonás elemzését tökéletesíteni lehetne az extrakció során képződő és a mérést zavaró, mikrobuborékok képződének megelőzésével vagy a minta ennek érdekében tett utókezelésével. Ennek érdekében a forróvízzel készített oldatot bizonyos szakaszon nyílt rendszerben kellene vezetni és a küvettába érkezésig jelentősen le kellene csökkenteni annak hőmérsékletét. Ezáltal alacsonyabb (pl. 440 nm) hullámhosszokon is értékelhető mérést lehetne végezni.

Érdemes lenne a vizsgálathoz alkalmazott hullámhosszak spektrumának szélesítése is.

A spektrofotometriai módszer mellett hasznos információkat lehetne nyerni a minták más, korszerű analitikai módszerekkel végzett vizsgálatával (GC, HPLC). Így akár a módszer validálása is elvégezhető lenne.

## Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

1.1.1. Hazai kiadású

1.1.2. Külföldi kiadású

1.2. Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

1.2.1. Hazai kiadású

Kovács D., Kardos Gy., Füleky Gy.

Effects of acid treatment and composting on bones used as fertilizer

ACTA AGRONOMICA HUNGARICA 55. szám p.115-123. (2007) **(7 pont)**

Kovács D., Rózsáné Szűcs B., Füleky Gy.

Determination of the maturity of composts based on oxygen consumption, carbon-dioxid production and a self-heating test

BULLETIN OF THE SZENT ISTVÁN UNIVERSITY

Editor: Dr. Mézes M., Gödöllő ISSN 1586-4502, 100-113. pp. (2007) **(7 pont)**

Kovács D., Aleksza L., Füleky Gy.

Determination of compost maturity using the hot water percolation (HWP) method.

COLUMELLA Vol. 4. Number 2. 41-46. pp. (2017) **(7 pont)**

Független idéző: 1 Összesen: 1

Hunyadi G., Tamás J. (2010): Hőfelvételek és interpolációs eljárások alkalmazhatósága komposzt-prizmák felszíni hőmérsékletének vizsgálatára, Acta Agraria Kaposváriensis, Vol 14 No 3, 293-302 pp. **(1 pont)**

1.2.2. Külföldi kiadású

1.3. Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

Kovács D., Kardos Gy., Füleky Gy.

A feltárás és a komposztálás hatása a csontok trágyaszerként történő alkalmazhatóságára

AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 54. száma. p. 427-439. (2005) **(5 pont)**

Kovács D., Rózsáné Szűcs B., Füleky Gy.

Komposztok érettségének meghatározása oxigénfogyasztás, szén-dioxid termelés mérésével és önhevülési teszttel

AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 56. kötet, 2 szám p. 301-317. (2007) **(5 pont)**

Kovács D., Füleky Gy.

A komposztérettség és meghatározásának módszerei (szemle)

AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 65. kötet, 1 szám p. 135-160. (2016) **(5 pont)**

2. Szakmai folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), teljes szövegű szakmai, népszerűsítő közlemény, tanulmány

2.1. Szakmai folyóiratban megjelent közlemény

Kovács D.

A komposztálás háttérpára

HULLADÉKSORS III. évfolyam 12. szám. p. 13-14. (2002) **(2 pont)**

Kovács Dénes

A komposztálás gépészeti háttere

BIOHULLADÉK I. évf. 1. szám. 21-23. oldal (2006) **(2 pont)**

Kovács Dénes

Komposzt-tea szerves alapú termésknövelő anyag

BIOHULLADÉK I. évf. 3. szám. 24-27. oldal (2006) **(2 pont)**

Kovács Dénes

A komposzt-szerű frakció

BIOHULLADÉK II. évf. 1. szám. 26-31. oldal (2007) **(2 pont)**

Kovács D., Rózsáné Szűcs B., Füleky Gy.

Komposztok érettségének meghatározása oxigénfogyasztás, szén-dioxid termelés mérésével és önhevülési teszttel

BIOHULLADÉK Tudományos melléklet 2 évf. 3 szám. 20-24. (2007) **(2 pont)**

Kovács D., Kiss Zs. L., Gulyás M., Füleky Gy.

A komposzt érettség vizsgálata forróvizes extrakcióval (HWP)

BIOHULLADÉK Tudományos melléklet 7. évf. 1. szám 15-17. (2007) **(2 pont)**

György Füleky, Dénes Kovács, László Aleksza

Evaluation of compost maturity using hot water extracted (HWP) carbon and nitrogen

BIOHULLADÉK Tudományos melléklet 10. évf. 2. szám 17-20. (2016) **(2 pont)**

4. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan)

4.1. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

Aleksza L., Dér S., Kovács D., Füleky Gy.

Soil improvement composted agricultural waste materials, poster

ESSC 4. nemzetközi konferencia. Budapest (2004) **(5 pont)**

Kovács D., Füleky Gy.

Nutrient release from compost material with hot water percolation (HWP) method, poster

10. International Symposium on Soil and Plant Analysis conference. Budapest. (2007) **(5 pont)**

György Füleky and Dénes Kovács

Evaluation of compost maturity by hot water extracted (HWP) carbon

8th International conference ORBIT, Rennes, 6 pages (2012) **(5 pont)**

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

5. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – nem hitelesített kiadványokra vonatkozóan)

5.1. Teljes szövegű közlemény idegen nyelven

5.2. Teljes szövegű közlemény magyar nyelven

5.3. Egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló

Kovács D.

Comparative examination of composts made by different treatment TDK dolgozat - absztrakt

XXV. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció előadásainak összefoglalói, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron p. 236. (2001)

**(1 pont)**

Füleky, Gy., Kovács, D., Aleksza L., Dér S.

Use of the hot water percolation (HWP) method for compost analysis, Poster Innovatív hulladékgazdálkodási technológiák – Követelmények az Európai Unió tagállamai és a csatlakozni kívánó országok részére c. konferencia Gödöllő. (2002) **(1 pont)**

Füleky Gy., Kovács D.

Composting of boneflour and chemicaly, biologicaly testing of it's end product

Lippay János - Ormos Imre – Vas Károly scientific symposium, section of natural resources p. 587. (2003) **(1 pont)**

Füleky Gy., Kovács D., Aleksza L., Dér S.

Use of hot water percolation (HWP) method for compost analysis, abstract, ORBIT conference p. 267-275. (2003) **(2 pont)**

Aleksza L., Dér S., Kovács D., Füleky Gy.

Soil improvement composted agricultural waste materials, poster abstract ESSC 4. international conference p. 274-277. (2004) **(2 pont)**

Füleky Gy. – Kovács D.

Composting of boneflour and chemicaly, biologicaly testing of it's end product, abstract,

VI. Nemzetközi élelmiszertudományi konferencia, Szeged, 2004 06 20-21. (2004)

**(1 pont)**

Aleksza L., Kovács D.

Investigation of the biodegradability of paper sludge, abstract

COST Action E26 Effective solutions to reduce the impact of waste arisings from papaermaking program, Solid waste management in the papermaking prevention, creation of new products and energy recovery workshop. (2005) **(2 pont)**

Kovács D. - Füleky Gy.

Nutrient release from compost material with hot water percolation (HWP) method, poster abstract

10. International Symposium on Soil and Plant Analysis, Budapest. p. 143. (2007)

**(2 pont)**

Kovács D.

Különböző eljárással készült komposztok összehasonlító vizsgálata TDK dolgozat - absztrakt

XXV. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció előadásainak összefoglalói, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron p. 258. (2001) **(1 pont)**

Fülek Gy., Kovács D.

A csontliszt komposztálása és a komposztok kémiai és biológiai tesztelése, előadás absztrakt

Szent István Egyetem, Budai Élelmiszertudományi, Kertészettudományi és Tájépítészeti, - védelmi és -fejlesztési karai által szervezett Lippay János - Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak p. 586. (2003) **(1 pont)**

### Felhasznált irodalom

Bannick, C.G. und W. Ziechmann (1991): Huminstoffbildung während der Kompostierung. Z. Pflanzenernähr. Bodenkund. 154:233-236.

Bernal, M. P., Navarro, A. F., Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A. és Cegarra, J., (1998): Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. Soil Biology and Biochemistry. 30: (3) 305–313.

Brewer, L. J. & Sullivan, D. M., (2001): A quick look at quick compost stability test. Biocycle. 42. 53–55.

Butler, T. A., Sikora, L. J., Steinhilber, P. M. & Douglass, L. W., (2001): Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. Journal of Environmental Quality. 30. 2141–2148.

Chen, Y., N. Senesi, And M. Schnitzer (1977): Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. Soil Sci. Am. J. 41:352-358 p

Czinkota I. (1994): A talajok forróvizes extrakciója. Egyetemi doktori értekezés. Gödöllő.

Inbar, Y.,Y. Chen, Y. Hadar. (1989): Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J.53:1695-1701.

Jakusné Sári Sz. – Forró E. (2006): Composted and natural organic materials as potential peat-substituting media in green pepper growing. International Journal of Horticultural Science 12 (1): 31-35.

Jiménez, E. I. & Garcia, V. P., (1989): Evaluation of city refuse compost maturity. A Review. Biological Wastes. 27. 115–142.

Kovács, D. és Fülek Gy. (2016): A komposztérettség és meghatározásának módszerei, Szemle. Agrokémia és Talajtan. 65. 135-160.

Laga, (1984): Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müllklarschlamm. (Quality criteria and application recommendations for compost from waste and sludge) Merkblatt 10 der Landerarbeitsgemeinschaft Abfall. Erich Schmidt Verlag. Berlin.

Nagy, P. T., Kátai, J., Szabó, Z., Nyéki, J. (2008): A talaj felvehető nitrogén-, foszfor- és káliumkészletének változása integrált almaültetvényben beállított talajtakarásos kísérletben, Talajvédelem különszám 481-488.

Said-Pullicino, D., Kaiser, K., Guggenberger, G. & Gigliotti, G., (2007): Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. Chemosphere. 66. 2166–2176.

Scheffer, F., (1954): Neuere Erkenntnisse in der Humusforschung. Congr. Sebők, A., Czinkota, I., Nyiri, B., Bosnyákovics, G., Gulyás, M., Dálnoki, A. B. (2018): A talaj szervesanyag minőségének vizsgálata UV-VIS spektrumban – az exponenciális illesztés módszere (EFA), Növénytermelés 67. 59-71.

Sellami, F., Hachisha, S., CHtourou, M., Medhioub, K., Ammar, E., (2008): Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters, Bioresource Technology 99: 6900-6907.

Song C., Li M., Xi B., Wei Z., Zhao Y., Jia X., Qi H., (2015): Characterisation of dissolved organic matter extracted from the bio-oxidative phase of co-composting of biogas residues and livestock manure using spectroscopic method. International Biodeterioration & Biodegradation. 103. 38-50.

Stentiford, E., (2002): The Specific Oxygen Uptake Rate (SOUR) – the English practice. In: The Biological Treatment of Biodegradable Waste – Technical aspects. April 8–April 10. Brussels.

The Composting Association, (2001): Large-Scale Composting. A practical manual for the UK.

Welte, E., (1955): Neuere Ergebnisse der Humusforschung. Angewandte Chemie. 67: 153-155.

Xi, B.D., He, X.S., Wei, Z.M., Jiang, Y.H., Li, M.X., Li, D., Li, Y., Dang, Q.L., (2012): Effect of inoculation methods on the composting efficiency of municipal solid wastes. Chemosphere 88, 744-750.

http1. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0300023.kvv> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 23/2003 kvvm Lekérdezés időpontja: 2019.02.11.

http2. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0600036.FVM> Keresőprogram: Google. Kulcsszavak: 36/2006 fvm Lekérdezés időpontja: 2019.02.11.