



**FENNTARTHATÓ NYERSANYAG-GAZDÁLKODÁSI  
HALLGATÓI ÉS OKTATÓI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA  
ABSZTRAKT KÖTET**

**Pécs - 2020. november 5.**

**SZÉCHENYI 2020**



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Szociális  
Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**





**FENNTARTHATÓ NYERSANYAG-GAZDÁLKODÁSI  
HALLGATÓI ÉS OKTATÓI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA  
ABSZTRAKT KÖTET**

**Szerkesztők:  
dr. Kiss Tibor,  
Dolgosné dr. Kovács Anita,  
Vér Csaba,  
Máthé Péter**

**Kiadja a Pécsi Tudományegyetem  
Műszaki és Informatikai Kar**

**ISBN 978-963-429-610-2**

**2020**



Ajánlott hivatkozás:

Kiss T. – Dolgosné Kovács A. – Vér Cs. – Máthé P. (szerk.) (2020):  
Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Hallgatói és Oktatói  
Tudományos Konferencia. Absztrakt Kötet.  
Pécs, Hungary 2020. e-book 43 p.

## Tartalomjegyzék

1. Megfogások és a leválogatott anyagok arányának vizsgálata egy lakossági vegyes szelektív hulladékot válogató kézi válogatóműben.....	8
Jakab Réka – Győrfi Alexandra – Leitol Csaba – Kiss Tibor .....	
2. Szemcseméret és anyagfajta eloszlása a lakossági szelektív hulladékban .....	10
Mogyorósi Marcell – Győrfi Alexandra – Leitol Csaba – Kiss Tibor.....	
3. Hulladékból származtatott tüzelőanyag szemcsemérete és nehézfém tartalma közötti összefüggés vizsgálata ..	12
Rostás Alexa Katalin – Győrfi Alexandra – Leitol Csaba – Kiss Tibor.....	
4. Extenzív zöldtető vízminőségi paramétereinek vizsgálata a fenntartható vízgazdálkodás figyelembevételével	14
Fischer Eszter – Somfai Dávid – Dolgosné Kovács Anita – Dittrich Ernő.....	
5. A zöldtetők víz megtartó képességének vizsgálata a fenntartható vízgazdálkodás tükrében .....	15
Gárdonyi Ádám – Somfai Dávid – Dolgosné Kovács Anita – Dittrich Ernő.....	
6. Az evapotranszpiráció és a csapadék hatása a gyökérszomszomszág víz háztartására a fenntartható vízgazdálkodás szemszögéből.....	16
Havas Kitti – Somfai Dávid – Dittrich Ernő .....	
7. Fenntartható vízgazdálkodás egyik lehetséges eszköze a zöldtetők alkalmazása .....	17
Somfai Dávid – Dittrich Ernő – Dolgosné Kovács Anita .....	
8. Kofermentációs biogáz technológia üzemeltetésének nyomonkövetése enzimvizsgálatokkal .....	18
Kósa Dániel – Somfai Dávid – Dittrich Ernő.....	
9. Növényi termékek és másodlagos nyersanyagok laboratóriumi vizsgálata szennyvíziszap ko-fermentációs adalékként .....	20
Suhajda Erzsébet – Somfai Dávid – Dittrich Ernő.....	
10. Módosított Cole-Cole modell alacsony frekvenciás Elektromos Impedancia Spektroszkópiás mérések kiértékelésére .....	21
Győrfi Nina Rubina – Vizvári Zoltán .....	
11. Egzakt séma közönséges, másodrendű differenciálegyenletek megoldására .....	22
Vizvári Zoltán .....	
12. Elektromos Impedancia Spektroszkópiával gyűjtött adatok feldolgozása klaszteranalízissel.....	23
Nagy Dávid György – Vizvári Zoltán.....	
13. Elektromos impedancia spektrum mérőeszköz validálása .....	25
Tenzlinger Kristóf – Vizvári Zoltán.....	
14. Cole-Cole paraméterek kinyerése az elektromos impedancia spektrum mérés adataiból saját fejlesztésű adatgyűjtési eljárással .....	26
Nádasdi Lili – Vizvári Zoltán .....	
15. Fenntartható flexibilis lakóépületszerkezetek .....	28
Gazdag Gábor <sup>1</sup> – Kondor Tamás <sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita <sup>2</sup> .....	
16. Újrahasznosított anyagok fenntartható építészeti alkalmazása.....	29
Juhász Hajnalka <sup>1</sup> – Kondor Tamás <sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita <sup>2</sup> .....	
17. Innovatív megoldások, természetes anyagok a fenntartható építészetben.....	30
Szigony János Gergely <sup>1</sup> – Kondor Tamás <sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita <sup>2</sup> .....	
18. Passzív energiatermek .....	31
Szücs Evelin <sup>1</sup> – Kondor Tamás <sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita <sup>2</sup> .....	

19. Építési anyagok újrahasznosítási lehetőségei .....	33
Havasi Zoltán <sup>1</sup> – Kárpáti Kinga <sup>1</sup> – Orbán Zoltán <sup>1</sup> – Vér Csaba <sup>2</sup> .....	
20. Beton reneszánsza az újrahasznosítás terén .....	34
Huzina Gábor <sup>1</sup> – Kárpáti Kinga <sup>1</sup> – Orbán Zoltán <sup>1</sup> – Vér Csaba <sup>2</sup> .....	
21. Beton törmelék újrahasznosítása szerkezeti betonként .....	35
Héjjas Ádám <sup>1</sup> – Kárpáti Kinga <sup>1</sup> – Orbán Zoltán <sup>1</sup> – Vér Csaba <sup>2</sup> .....	
22. Építési, bontási hulladékok újrahasznosíthatósága.....	36
Kollár Péter <sup>1</sup> – Kárpáti Kinga <sup>1</sup> – Orbán Zoltán <sup>1</sup> – Vér Csaba <sup>2</sup> .....	
23. Lerakóbányászati potenciál Magyarországon a 2016 előtt elhelyezett hulladékáramok alapján .....	37
Vér Csaba.....	
24. A pécsi kistérség szerves hulladék kezelése környezeti hatásának becslése LCA módszerrel .....	39
Vér Csaba.....	

# 1. Megfogások és a leválogatott anyagok arányának vizsgálata egy lakossági vegyes szelektív hulladékot válogató kézi válogatóműben

Jakab Réka – Győrfi Alexandra – Leitöl Csaba – Kiss Tibor

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Leitöl Csaba, [leitol.csaba@mik.pte.hu](mailto:leitol.csaba@mik.pte.hu)

A szelektív hulladék feldolgozása Magyarországon a leggyakrabban kézi úton történik. A kutatás során két dolgot vizsgáltunk a válogatással kapcsolatban. Először a válogatókabinok kamerafelvételein vizsgáltuk meg a munkások által megfogott anyagok arányát. A vizsgálathoz 14 nap kamerafelvételét vettük alapul, melyet két válogatószalagon, két műszakban figyeltünk meg, műszakonként 3 időintervallumban.

A megfigyelések alapján megállapítható, hogy a ledobónyílásokba és a zsákokba kerülő anyagok átlagos aránya 80 % és 20 % körül van, a két kabin és a két műszak között nincs nagy eltérés. A válogatók átlagosan 1 óra alatt közel 4000 megfogást végeznek, ami másodpercenként több mint egy megfogás. Az első 5 időszáv megfogás-számai hasonlóan alakultak, de a 6. időszáv megfogási száma rendszeresen kevesebb volt a többinél. Ezeknek 41 %-át a PET palackok és 21 %-át a vegyespapír, 14 %-át az LDPE fólia, további 14 %-át a vegyes műanyag, az alumínium, az italos karton és a karton együtt adja a teljes megfogásoknak, a maradék 10 %-ot sajnálatos módon a zavaró anyagok teszik ki.

A megfigyelésből megállapítható, hogy a legtöbb anyagot, ami a ledobó nyílásba kerül az első és a negyedik helyen állók fogják meg. Az első helyen állók a megfogások átlagosan 35 %-át produkálják, míg a negyedik helyen állók átlagosan a 27 %-át. A második és a harmadik helyen állók a megfogások 20 és 18 %-át teszik ki. Célszerű a jobban válogató embereket az első és negyedik helyre állítani, mert ezeken a helyeken több a ledobónyílásba dobható anyagok mennyisége. Megfigyelhető még, hogy ha a válogatószalagon kihagynak egy helyet, akkor az a következő helyen álló munkást terheli le a több anyaggal. Mivel az első helyen a PET-et már



megfogják, így a második és harmadik helyen egyre kevesebb a maximálisan megfogható PET. Ezen a két helyen a ledobónyításba dobható anyagok aránya eltér, csak 50-70 % körül kerülnek az anyagok a ledobónyításba.

A szelektíven gyűjtött hulladék mennyiségi változásait elemezve elmondható, hogy a beérkező hulladék mennyisége lineárisan nőtt a vizsgált évek során. A leválogatott haszonanyag legnagyobb mennyiségét a papír és műanyag teszi ki. A megfigyelésből megállapítható, hogy a hidegebb és melegebb évszakok váltakozásai nagyban befolyásolják a beérkező szelektív anyag összetételét, illetve nyáron és ősszel a téli és tavaszi mennyiségekhez képest jelentősen nagyobb mennyiségű hulladék kerül begyűjtésre. A melegebb hónapokban megfigyelhető a gyakori italos csomagolóanyagok növekedése (PET, alumínium), azonban ez a növekedés az italoskartonnál nem figyelhető meg egyik évszakban sem. Az üveg mennyisége a téli hónapokban a legtöbb, majd folyamatosan csökken, ez valószínűleg az karácsony és a szilveszter miatt következik be. A fólia esetében a karácsony előtti időszakban van megnövekedett mennyiségi változás. A papír és PET mennyisége télen a legkevesebb, mivel a hidegebb hónapokban a vidéki településeken az emberek ezeket az anyagokat elégetik az otthoni tüzelőberendezésekben. Összefoglalóan elmondható, hogy a beérkező anyagmennyiség függ az évszakok változásától és a különböző eseményektől az év során (ünnepek, fesztiválok, nyaralás), és ez a változás a leválogatott anyagok összetételi mennyiségénél is egyértelműen megfigyelhető.

## 2. Szemcseméret és anyagfajta eloszlása a lakossági szelektív hulladékban

Mogyorósi Marcell – Győrfi Alexandra – Leitol Csaba – Kiss Tibor

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Leitol Csaba, [leitol.csaba@mik.pte.hu](mailto:leitol.csaba@mik.pte.hu)

A 2015 óta működő Mecsek Dráva program keretében a dél-dunántúli régió hulladékgazdálkodási rendszere jelentős fejlődésen ment keresztül. A program egyik célja a lakosság tudatos hulladékgyűjtésre nevelése és az ezt kiszolgálni képes infrastruktúra kiépítése volt. Az általunk végzett kutatás arra irányult, hogy megvizsgáljuk, ez miként valósul meg napjainkra, mennyire hatékony, illetve, az eltelt évek hogyan változtatták meg a lakosság szokásait a szelektív hulladékgyűjtés területén.

Kutatásunkat a kökényi regionális központ válogatóművében végeztük, ahol az egész régió, mintegy 420 ezer ember hulladékát kezelik. Projektünk a szelektíven gyűjtött lakossági hulladék vizsgálatára fókuszált, amelyet a lakosság a családi házaknál kihelyezett 240 literes, a társasházaknál található 1100 literes edényekben, illetve a gyűjtőszigeteken és a hulladékudvarokban helyezhet el. Vizsgáltuk az elkülönítve gyűjtött hulladék összetételét, mind szemcseméretet mind anyagfajta szerint. A mintákat minden alkalommal kétszer 1100 liter szelektív hulladék képezte, amit kézzel szétválogatva anyagfajtákra és különböző mérettartományokra szortíroztunk. A mintákat – a tervezett gépi fejlesztés miatt – három különböző méretre válogattuk, a legkisebb frakciót a 70 mm-nél kisebb hulladékok, a középest 70-350 mm közötti méretűek, míg a legnagyobbat a 350 mm-nél nagyobb darabok alkották. Az így kapott minták tömegét egyesével lemértük és feljegyeztük.

A 70 mm-nél kisebb hulladékot nem válogattuk szét anyagfajta szerint, erre a kézi és a gépi válogatás sem ad lehetőséget, így válogatási maradékba kerülnek. Ezek többnyire apró csomagolások voltak, vagy nagyobb hulladékok kis darabjai, amelyek átlagban a hulladék

tömegének 22,78 %-át tették ki. Méréseink alapján a kökényi válogatóműbe beszállított szelektív hulladék tömegének mintegy 58,18 %-a a 70-350 mm között közepes frakcióból származott. Ebbe a mérettartományba tartoznak a 1,5 literes PET palackok is, amit nagy mennyiségben találunk. Az újságpapír és reklámmagazinok mennyisége is jelentősen részt képvisel ebben a frakcióban. A 350 mm feletti anyagáramban a legnagyobb tömeget a kartonpapír teszi ki, amit az emberek nagyobb darabokban tesznek a kukákba. Ebben a mérettartományban találni a hasznosításra alkalmatlan anyagok nagyobb részét is, amiket a szabályok ellenére tettek a szelektív gyűjtőkbe. Ez a mérettartomány átlagban a hulladék tömegének 19,04 %-át tette ki.

A kutatás során minden esetben találtunk a szelektív hulladék közé nem illő szemetet. Ebből arra következtettünk, hogy a lakosság egy része még nincs teljesen tisztában azzal, hogy mely anyagtípusok gyűjthetők a vegyes szelektív kukában. A másik magyarázat a figyelmetlenség és a nemtörődömség lehet. A közterületen elhelyezett szelektívgyűjtő edényeknél sajnos megfigyelhető az illegális hulladék elhelyezés is, amikor egyesek így kívánnak megszabadulni a kommunális, vagy lomhulladéuktól. Mivel az emberekre közvetlenül nem hat vissza a hulladékgyűjtési szokásuk, így sokan nem is törődnek vele. Európai példák alapján motiválná az embereket, ha a maradék hulladék kezelése nagyobb anyagi terhet róna rájuk, így terelve Őket, a minél nagyobb arányú szelektív hulladékgyűjtés felé. Ugyanakkor fontos a lakosság környezettudatos nevelése is.

### **3. Hulladékból származtatott tüzelőanyag szemcsemérete és nehézfém-tartalma közötti összefüggés vizsgálata**

Rostás Alexa Katalin – Gyórfi Alexandra – Leitol Csaba – Kiss Tibor

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Leitol Csaba, [leitol.csaba@mik.pte.hu](mailto:leitol.csaba@mik.pte.hu)

Az Európai Unióban a hulladékról szóló 2008/98/EK irányelv foglalja magába a hulladékgazdálkodás témakörét. Fő cél a hulladék mennyiségének csökkentése, amelyre különböző módszerek állnak rendelkezésünkre: újrahasználat, újrafeldolgozás és az olyan nem anyagában hasznosítási módszerek, mint az energetikai hasznosítás. Ezeknek a módszereknek az a feladatuk, hogy a hulladékká vált anyagokat vissza forgassák az ipari folyamatokba és így amennyire csak lehetséges csökkentsék a lerakásra kerülő hulladék mennyiségét.

A kutatás során megvizsgáltuk a hulladékból származtatott tüzelőanyag (RDF/SRF) szemcseméret eloszlás szerinti nehézfém-tartalmát. Erre azért van szükség, mert ezt az anyagot erőművekben és cementgyárakban együttégetéssel hasznosítják, így fontos a környezetre gyakorolt hatás csökkentése.

A méréseket 12 elemre végeztük el ICP-OES készülékkel. A vizsgálat elvégzéséhez az RDF/SRF-t először szemcseméret szerint osztályoztuk egy síkrosta segítségével, így a következő tartományokat kaptuk: <10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm és >40 mm. A méret szerint osztályozott részekből három párhuzamos mintasort készítettünk, melyeket 105 °C-on 24 órán keresztül szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottunk. Homogenizálás után a mintákat nagy tisztaságú vegyszerekkel oldatba vittünk kémiai roncsolással, amihez sósavat (HCl), salétromsavat (HNO<sub>3</sub>) és hidrogén-peroxidot (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) használtunk. Utóbbi szükséges ahhoz, hogy a szerves részek könnyebben kiváljanak a mintából. A roncsolás után kapott oldatokat hígítottuk ultra tiszta vízzel és ezekre végeztük el ICP-OES készülékkel a vizsgálatot. A következő elemek koncentrációját néztük meg: antimon (Sb), arzén (As), kadmium (Cd), króm (Cr), kobalt (Co), réz (Cu), ólom (Pb), mangán (Mn), higany (Hg), nikkel (Ni), tallium (Tl) és vanádium (V).

Vizsgálataink szoros összefüggést mutattak az összes nehézfém-tartalom és a szemcseméret között, e szerint minél kisebb az RDF/SRF szemcsemérete annál több nehézfémet tartalmaz. Ugyanezt a tendenciát mutatja a króm, kobalt, higany, mangán, nikkel, ólom és vanádium. Legnagyobb arányban a króm, nikkel, réz, ólom és mangán van jelen a mintákban. Ennek oka, hogy ezen elemek felhasználása nagyon sokrétű. A krómvegyületeket főként korrózió- és saválló speciális ötvözetekhez használják, de fellelhető festékpátronokban, textíliákban. A nikkel jó ötvöző anyag és mágnesezhető, így felhasználják elemek-, evőeszközök-, gyújtógyertyák-, festékek gyártásához. A kis fajsúlya és viszonylag kicsi mérete miatt nem mindig kerülnek leválasztásra a réz tartalmú anyagok, ami miatt magas koncentrációban van jelen a mérések során. Szintén használják ötvözőelemként az ólmot, illetve burkolatot készítenek belőle csövekre és kábelekre. Mangánvegyületeket használnak a száraz elemek- és a kerámiagyártáshoz. Ezen kívül majdnem minden acél tartalmaz mangánt, ugyanis növeli annak szilárdságát.

Az elvégzett kísérlet eredményeiből megállapítható, hogy fordított arányosság van a nehézfém-tartalom és a szemcseméret között. Ebből következik, hogy ha a technológiai sorba bevezetnénk még egy leválasztási lépést, amivel kiostálnánk a 20 mm-nél kisebb részeket, akkor minőségbeli javulást tapasztalnánk, viszont ez a keletkező tüzelőanyag mennyiségbeli csökkenését is eredményezné a minőségbeli javulás mellett.

## 4. Extenzív zöldtető vízminőségi paramétereinek vizsgálata a fenntartható vízgazdálkodás figyelembevételével

Fischer Eszter – Somfai Dávid – Dolgosné Kovács Anita – Dittrich Ernő

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,*

*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Dolgosné Kovács Anita, Somfai Dávid

[kovacs.anita@mik.pte.hu](mailto:kovacs.anita@mik.pte.hu), [somfai.david@mik.pte.hu](mailto:somfai.david@mik.pte.hu)

A zöldtetők vízvisszatartó képességük miatt alkalmasak a villámárvizekből eredő csapadékcsúcsok csökkentésére, azonban kevés irodalom foglalkozik a vízminőségi komponenseinek csatornahálózatra gyakorolt hatásával. A kutatás, fő témájaként az extenzív zöldtetőkön áthaladó csapadékvizek minőségi paramétereinek vizsgálatát tűzte ki célul. A legfontosabb kérdéseként felmerült, hogy a zöldtető a szakirodalmak által meghatározott módon szűrő-, mosogató-, vagy komponens kibocsátó szerepet lát-e el, valamint megfigyelhető-e a rajta átszivárgó csapadékvízre a „semlegesítő“ hatása. A kísérletek alapjául 9 mintavételi pontról (4 zöldtető mintavételi, 4 kontrolltető mintavételi, valamint egy csapadékmintavételi pont) vett minták kerültek elemzésre. Laboratóriumi vizsgálatok során megmértük a csapadékminták pH és vezetőképesség értékét, megbecsültük az általános vízkémiai paramétereket, illetve ICP-OES elemanalizátor készülékkel megmértük a vízminták nyomelem és nehézfém tartalmát.

A vizsgálatok alapján azon következtetésre jutottunk, hogy az extenzív zöldtető nagy mértékű foszforkibocsátó, a legmagasabb mért érték elérte az 5,08 mg/l-t, továbbá a növények gyökerében nitrifikáció megy végbe, amely az ammónium-nitrogén fokozatos csökkenéséből, valamint a nitrát-nitrogén fokozatos növekedéséből magyarázható. Továbbá a 6,9-es átlagos csapadék pH-hoz képest mért 7,46-os pH értékből kikövetkeztethető, hogy az extenzív zöldtető a rajta átszivárgó csapadékvízre nézve „semlegesítő” hatással is rendelkezik.

## **5. A zöldtetők vízmegtartó képességének vizsgálata a fenntartható vízgazdálkodás tükrében**

Gárdonyi Ádám – Somfai Dávid – Dolgosné Kovács Anita – Dittrich Ernő

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Dittrich Ernő, Somfai Dávid

[dittrich.erno@mik.pte.hu](mailto:dittrich.erno@mik.pte.hu), [somfai.david@mik.pte.hu](mailto:somfai.david@mik.pte.hu)

A klímaváltozás hatására kialakuló szélsőségek a csapadékesemények esetében villámárvizek formájában jelennek meg, melyeket a természeti és az épített környezet védelme céljából meg kell fékezni. Kutatásunk során egy nyáron keresztül vizsgáltuk a lehullott csapadék mennyiségét, a csapadékesemények időtartamát és azt, hogy miképpen járulnak hozzá az extenzív zöldtetők az elfolyó csapadékvíz mennyiségének csökkentéséhez.

Vizsgálataink teréül a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karának „C” épületének tetején található zöld-és kontrolltető szolgált, melyről a lefolyó csapadékvíz vízszintmérővel ellátott gyűjtőtartályokba került. Nivison rendszer segítségével másodperc pontossággal tudtunk megállapításokat tenni a zöldtetők vízvisszatartó és a csapadékvíz áttörés késleltető hatásával kapcsolatban, a csapadékmennyiségek függvényében. Ennek köszönhetően 45 csapadékeseményt regisztráltunk, melynek harmadát a zöldtető vissza tudta tartani, ezzel közel 7000 literrel csökkentve az elfolyó vízmennyiséget.

## **6. Az evapotranszspiráció és a csapadék hatása a gyökérszívás műtárgyak vízháztartására a fenntartható vízgazdálkodás szemszögéből**

Havas Kitti – Somfai Dávid – Dittrich Ernő

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Dittrich Ernő, Somfai Dávid

[dittrich.erno@mik.pte.hu](mailto:dittrich.erno@mik.pte.hu), [somfai.david@mik.pte.hu](mailto:somfai.david@mik.pte.hu)

Környezetmérnök hallgatóként lehetőségem adódott, hogy részt vegyek egy nem hétköznapi kutatásban, melynek témájaként az evapotranszspiráció és a csapadék hatásait vizsgáltam egy gyökérszívás műtárgyon. Köztudott, hogy a klímaváltozás problémái folyamatosan jelen vannak, különösen a CO<sub>2</sub> kibocsátás, melynek redukálására tökéletesen alkalmasak a természetközeli szennyvíztisztítási technológiák. Kutatómunkám alapját a gyökérszívás rendszerek képezték, melyek vízháztartási viszonyait vizsgáltam, figyelembe véve a csapadék hígító, továbbá az evapotranszspiráció töményedést okozó hatásait.

Méréseimet a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karának “C” épülettömbje mellett kialakított gyökérszívás szennyvíztisztító kutatótelep vízszintes átfolyású műtárgyán végeztem. Az adatok dokumentálása egy beépített monitoring rendszer segítségével történt, ami az evapotranszspiráció műtárgyra gyakorolt hatásának számításaihoz szükséges adatokat nyújtotta számomra. Eredményeim között előfordult, hogy a csapadékmentes, forró nyári napokon az evapotranszspiráció következtében közel 7 mm-t csökkent a tavasszal növényesített műtárgy vízszintje.



## 7. Fenntartható vízgazdálkodás egyik lehetséges eszköze a zöldtetők alkalmazása

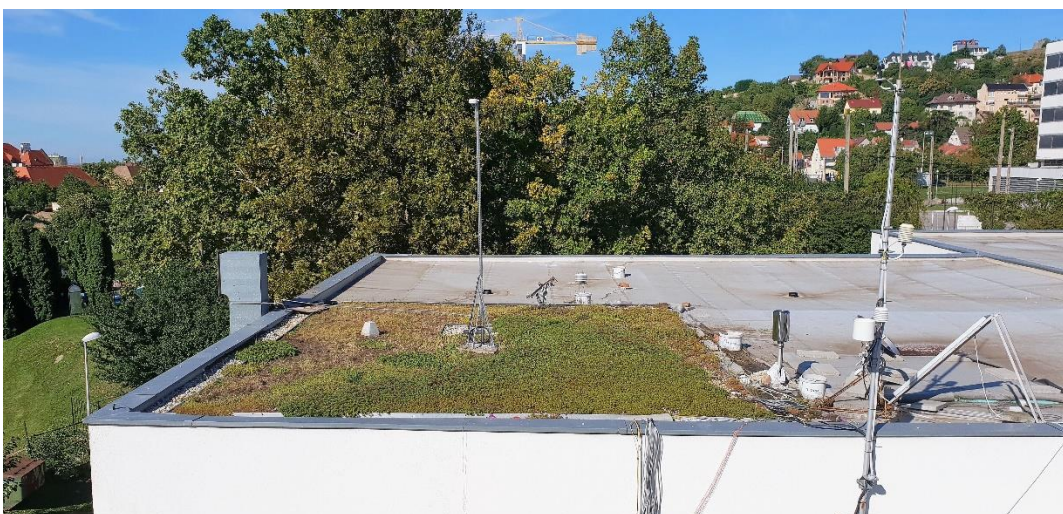
Somfai Dávid – Dittrich Ernő – Dolgosné Kovács Anita

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Dittrich Ernő, [dittrich.erno@mik.pte.hu](mailto:dittrich.erno@mik.pte.hu)

Kutatásainkat a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar „C” épületének tetején található zöldtetőn és kontroll tetőn végezzük. A kísérleti extenzív zöldtető lehetőséget nyújt az ilyen típusú vegetatív tetők energetikai, vízgazdálkodási (vízmennyiségi, vízminőségi) viszonyainak komplex monitorizálására, ezáltal az általa nyújtott előnyök számszerű, hazai klimatikus viszonyok közötti bizonyítására.

Vízgazdálkodási szempontból az egyik kutatási irány a zöldtetők vízvisszatartó képességének a vizsgálata, másik irány a zöldtető hatásának vizsgálata a rajta átszivárgó csapadékvíz minőségére. Vizsgáljuk, hogy mely komponensek esetében zajlik le tisztulási, s mely komponensek esetében szennyeződési folyamat a csapadékvíz zöldtetőközegen való átszűrődés során.



## 8. Kofermentációs biogáz technológia üzemeltetésének nyomonkövetése enzimvizsgálatokkal

Kósa Dániel – Somfai Dávid – Dittrich Ernő

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Dittrich Ernő, Somfai Dávid

[dittrich.erno@mik.pte.hu](mailto:dittrich.erno@mik.pte.hu), [somfai.david@mik.pte.hu](mailto:somfai.david@mik.pte.hu)

Az üzemi biogáz termelés biokémiai folyamatai egy tökéletesen kevert reaktorban egymással egyidőben, párhuzamosan mennek végbe, ezért nincs olyan paraméter, amely egymagában alkalmas lenne a teljes folyamat nyomon követésére. Az anaerob fermentáció klasszikus ellenőrző paraméterei a hőmérséklet, pH, lúgosság, illó szerves sav tartalom, fajlagos szervesanyag terhelés és a biogáz kihozatal.

A Tettye Forrásház Zrt. Pellérdi Biogáz üzemében új utakat kerestünk az üzemellenőrzés bővítésére. Az üzemi körülmények változásának megfelelően elfordul, hogy alkalmanként az egyensúly megbomlik és ennek következtében a fermentációs savtermelés vagy a metántermelés kerül túlsúlyba. A szerves vegyületek aránya sohasem állandó a szennyvízben, így a szennyvíziszapban sem, ez megnehezíti üzemi körülmények között a fermentációs folyamatok kézbentartását. Az üzemeltetés feladata, hogy a két baktériumpopuláció kényes egyensúlyát biztosítsa. A lebontási folyamatok nyomon követésére enzimaktivitás mérések alkalmazhatók. Néhány korai közlést kivéve az anaerob fermentációra vonatkozó enzimaktivitás mérési adatot alig találunk a szakirodalomban.

Munkánk során először a sejtek összes aktivitását jellemző dehidrogenáz aktivitást(DHA) vizsgáltuk. Az anaerob biogáz fermentor minták DHA mérésére Karaffa L. és munkatársai fotometriás egyedi módszerét alkalmaztuk, 2,3,5-trifenil-tetrazólium kloridot alkalmazva elektron akceptorként. A vizsgált időszakban a minták átlagos DHA értéke 1,085 mg formazán/g iszap/ 24 óra volt. A fermentáló cellulózbontó aktivitásának mérését Lee

és munkatársai módszerével, a mintához könnyen bomló cellulózszármazékot, karboximetil-cellulózt (CMC) adva.

Összehasonlítva az üzemellenőrzés során mért paraméterekkel megállapítottuk, hogy a fermentleiben mért DHA eredmények szoros korrelációban vannak az illékony szerves sav(VOA) értékekkel, és a kofermentációs üzemelés esetén a hidrolízis folyamatok intenzitásának követésére jól alkalmazhatók. A mezőgazdasági melléktermékkel üzemelő Bicsérdi Biogáz üzem fermentleiben a cellulózbontó aktivitás értéke nyolcszorosa volt a szennyvíziszappal üzemelő biogáz üzemben mért értékekhez képest.

Megállapítottuk, hogy a hidrolitikus enzimaktivitás mérésekkel kiegészült ellenőrző paraméterek segítségével komplexebb képet kaphatunk a reaktorban bekövetkező változásokról.

## **9. Növényi termékek és másodlagos nyersanyagok laboratóriumi vizsgálata szennyvíziszap ko-fermentációs adalékként**

Suhajda Erzsébet – Somfai Dávid – Dittrich Ernő

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Dittrich Ernő, Somfai Dávid

[dittrich.erno@mik.pte.hu](mailto:dittrich.erno@mik.pte.hu), [somfai.david@mik.pte.hu](mailto:somfai.david@mik.pte.hu)

Munkánk során a biogáztermelésben felhasználható különböző szubsztrátok gázkihozatalát, illetve a biogáz hozam növelésének lehetőségeit vizsgáltuk irodalomkutatással és laboratóriumi kísérletekkel. Laboratóriumi kísérleteink során különböző másodlagos nyersanyagok biogáz szubsztrátként való felhasználhatóságát vizsgáltuk. Mezofil körülmények között, nyomáskülönbségen alapuló méréseket végeztünk légmentesen lezárt, 1 literes batch üvegfermentorokban, szennyvízalapú biogáz üzem kirohasztott iszapját felhasználva oltóiszapként. Az állókultúrában 4-6 nap alatt kialakuló nyomáskülönbség a lezajló biológiai folyamatok eredménye. Az oltóiszapban megtalálható baktériumkultúra eltérő mértékben képes lebontani és hasznosítani a felhasznált szubsztrátokat, ez okozza a nyomásváltozás maximális értékében és az ennek eléréséhez szükséges időben megfigyelhető eltéréseket. Önálló szubsztrátként silózott kukoricát, mikrokristályos cellulózt, sűrített szennyvíziszapot és települési szilárd hulladék szerves frakcióját vizsgáltuk, amelyek szubsztrát száraz-, szerves- és szárazanyag szervesanyagtartalma is meghatározásra került. A biogáz hozam növelési lehetőségek közül a ko-fermentációs eljárásokat teszteltük laboratóriumi körülmények között sűrített szennyvíziszap, silózott kukorica és cellulóz különböző arányú keverékeivel. A sűrített szennyvíziszap önálló gázkihozatalát is regisztráltuk. Méréseinkhez WTW Oxitop mérőfejeket és kontrollereket használtunk. Kísérleteink értékes információt nyújtanak a ko-fermentációs technológia felhasználhatóságáról szennyvízalapú biogáz üzemek esetén, különös tekintettel a növényi eredetű mezőgazdasági termékek és szerves hulladékok szubsztrátként vagy ko-fermentációs adalékként való bevezetésének lehetőségére.

## 10. Módosított Cole-Cole modell alacsony frekvenciás Elektromos Impedancia Spetroszkópiás mérések kiértékelésére

Győrfi Nina Rubina – Vizvári Zoltán

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Vizvári Zoltán, [vizvari.zoltan@mik.pte.hu](mailto:vizvari.zoltan@mik.pte.hu)

Az elektromos impedancia spektroszkópia (EIS) egy viszonylag új és hatásos módszer számos anyag tulajdonságainak vizsgálatára. Gyorsasága, egyszerűsége és költséghatékonysága miatt széles körben alkalmazzák, a legnagyobb előnye, hogy a vizsgált anyag kémiai összetételét jellemzi. Az EIS-adatokat általában az egyenértékű elektromos áramkör-modellhez való illesztéssel elemzik.

Kutatócsoportunk elsősorban ultra-alacsony frekvenciás (<100 Hz) mérésekre specializálódott, azonban ebben a frekvencia tartományban a legtöbb modell korlátozottan alkalmazható, így a csoport a Cole-Cole modell módosításával kifejlesztette a mérésekhez leginkább illeszkedő modellt. Előadásomban amellet, hogy összehasonlítom az EIS mérésekhez használt ekvivalens modelleket és a kutatócsoportunk által módosított Cole-Cole modellt, olyan kísérleti méréseket is bemutatok, amelyekkel alátámasztom, hogy a saját fejlesztésű technikáink alkalmasak az ultra-alacsony frekvencián rögzített EIS mérési adatainak kiértékelésére.

## 11. Egzakt séma közönséges, másodrendű differenciálegyenletek megoldására

Vizvári Zoltán

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*  
[vizvari.zoltan@mik.pte.hu](mailto:vizvari.zoltan@mik.pte.hu)

Kutatócsoportunk célja, hogy a matematikai modellekkel történő munka során, a modellalkotás hibája jelentős mértékben minimalizálható legyen. Ezen kutatási feladat során elért első jelentős eredményünket kívánjuk bemutatni előadásunkban. Ennek során azokkal a fizikai folyamatokkal foglalkozunk, amelyek a következő közönséges, másodrendű, inhomogén differenciálegyenlettel (ODE) írhatók le:

$$-\frac{d}{dx} \left( \kappa(x) \frac{d}{dx} u(x) \right) = f(x)$$

ahol

$x$  az egydimenziós tartományhoz tartozó koordináta,

$\kappa(x)$  a vezetési tényező függvény ( $\kappa(x) > \kappa_0 > 0$ ),

$f(x)$  a forrás tag, valamint

$u(x)$  a potenciál függvény.

A Kutatócsoportunk kifejlesztette azt az analitikus sémát, amely az  $u(x)$  potenciál függvény pontos értékeit adja az egydimenziós tartomány tetszőleges felbontása mellett. Az analitikus megoldó eljárás hatékonyan és robusztusan működik mind Dirichlet-, mind pedig Neumann-peremfeltételek figyelembevételével.

Annak ellenére, hogy az új eljárás hiba nélkül megoldja a fenti problémát, lényegében magában foglalja a korábbi közelítő eljárások egyes tulajdonságait. Előadásunkban egyszerű példa segítségével szemléltetjük az eljárás hatékonyságát.

## 12. Elektromos Impedancia Spektroszkópiával gyűjtött adatok feldolgozása klaszteranalízissel

Nagy Dávid György – Vizvári Zoltán

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Vizvári Zoltán, [vizvari.zoltan@mik.pte.hu](mailto:vizvari.zoltan@mik.pte.hu)

Az Elektromos Impedancia Spektroszkópia egy olyan roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás, amely széles körben alkalmazható elsősorban az olcsó eszközigénye, könnyen kivitelezhetősége és a vizsgálatok gyorsasága és költséghatékony anyagigénye miatt. A technika igen komoly kutatási lehetőségeket kínál a geofizikai anyagvizsgálatoktól kezdve egészen az egészségügyi alkalmazásokig. A módszer legsarkalatosabb pontjának tekinthető mérés technikai kérdések megoldásának előrehaladtával kutatócsoportunk egy új nagy pontosságú metodikát fejlesztett ki, amely alkalmazásával a zavaró impedancia hatásokat tudjuk ignorálni. Ennek eredményeképpen lehetőségünk adódik az anyagjellemzőkre következtetni az adott alkalmazási területek esetében. Az alkalmazásfejlesztések során igen nagy számú adatot veszünk fel, amelyet különböző módszerek segítségével kívánunk feldolgozni.

A munka jelen szakaszában a mérési adatok felxibilis feldolgozását segítő szoftveres megoldások elkészítésére, az adatfeldolgozáshoz használt különböző módszerek moduláris implementációjára fókuszáltunk. Itt olyan megoldások fejlesztése történt, amelyek lehetővé teszik a nagy mennyiségű speciális szerkezetű mérési adat automatizált feldolgozását, valamint a kapcsolódó előfeldolgozási műveletek elvégzését egy olyan moduláris struktúrában, amelyben az egyes modulok egy-egy fontos feldolgozási, vagy előfeldolgozási lépést jelentenek. Az előfeldolgozás első lépése során a mérési adatok statisztikai és függvénytulajdonságokon alapuló szűrésre és leválogatásra kerülnek, majd egy modell alapú illesztés következik (különböző modellek beépítésének és tesztelésének lehetőségével), amely után az osztályozási lépés klaszteranalízissel történik. Az elkészült implementáció bővíthető módon alkalmas a klaszteranalízissel történő adatfeldolgozás lépéseinek elvégzésére, az eredmények vizualizációjára és az eredmények elemzésének támogatására. A modulok

fejlesztése Python környezetben történt a különböző – mesterséges intelligencián és gépi tanuláson alapuló – magas szintű algoritmusok későbbi potenciális bevonásának okán.

Természetesen, mivel jelenleg maga a módszer is fejlesztési fázisban van, valamint a forrásadatok is korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre, egyelőre a legfontosabb szempont a flexibilitás és a moduláris felépítés volt, a későbbiekben azonban az optimális elemzési módszerek ismeretében egy a potenciális – a fejlesztési fázisbeli igényektől tipikusan nagyban eltérő – felhasználói igényeket kielégítő alkalmazás fejlesztése is a célok között szerepel.



### 13. Elektromos impedancia spektrum mérőeszköz validálása

Tenzlinger Kristóf – Vizvári Zoltán

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Vizvári Zoltán, [vizvari.zoltan@mik.pte.hu](mailto:vizvari.zoltan@mik.pte.hu)

A kutatómunkám során elektromos impedancia spektrummérő műszer validálásával foglalkoztam. Feladatom célja a vizsgált anyagok elektromos tulajdonságainak, illetve ezen keresztül fizikai-kémiai jellemzése volt. Az általam alkalmazott módszer a Vizvári Z. et al. által kidolgozott négyelektródás technika volt, amely által széles frekvenciatartományban is képesek vagyunk az elektromos impedancia spektrum mérések hatékonyságát és pontosságát növelni.

A validálás során 1% tűréshatárú ellenállásokon mért adatokat hasonlítottam össze elméleti, névleges értékű ellenállásokon számolt adatokkal. A számolt adatokon abszolút, illetve relatív hibát számoltam. A mért és számolt adatokat Bode-diagramon szemléltettem, illetve amin a relatív hibákat is feltüntettem. Egy egyedi algoritmus alapján megbizonyosodhattam arról, hogy a mért értékek a tolerancia határán belül vannak, tehát az eszköz megfelelően működik. A jövőben szeretném, hogy összetettebb mérőkörökön is tesztelhessem a műszert.

## 14. Cole-Cole paraméterek kinyerése az elektromos impedancia spektrum mérés adataiból saját fejlesztésű adatgyűjtési eljárással

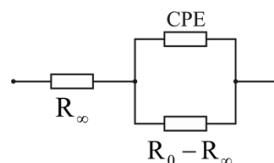
Nádasdi Lili – Vizvári Zoltán

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Vizvári Zoltán, [vizvari.zoltan@mik.pte.hu](mailto:vizvari.zoltan@mik.pte.hu)

Kutatócsoportunk tevékenységének fontos szegmensét képezi az Elektromos Impedancia Spektroszkópia, így amellet, hogy saját fejlesztésű célműszerrel rendelkezünk, saját fejlesztésű adatgyűjtési eljárást is alkalmazunk a mérések kivitelezéséhez. Ezen technikák alkalmazása a Cole-Cole modell paraméterek kinyerését hatékonyabb és robusztusabb módon teszi lehetővé.

A Cole-Cole modell az Elektromos Impedancia Spektroszkópia alapvető matematikai modellje. A mérések során rögzített adatok többségének kiértékelésére használható. A Cole-Cole modell elektromos RC-kapcsolás analógiát kihasználó, nem-lineáris modell. A sokfrekvenciás elektromos impedancia méréseknél a modelltől és a kapott adatokból egymással jól illeszkedő függvényt kapunk.



1.ábra: Cole-Cole modell biológiai mérések esetében

A 1. ábrán látszik, hogy megjelenik benne a mért elektrolit diffúziós jelenségeit figyelembe vevő, nem-lineáris, ekvivalens áramköri elem (CPE) és ezen kívül két ellenállás:  $R_\infty$  és  $R_0 - R_\infty$ . Itt a 0 index a DC-n mért ellenállást, míg a  $\infty$  a végtelen frekvencián mért ellenállást jelenti. A kapcsolás impedanciájának matematikai reprezentációját a következő komplex függvény jelenti:

$$Z(j\omega) = R_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + (j\omega\tau)^\alpha}$$

Az általunk bemutatott eredmények bizonyítják a berendezés képességeit és hatékonyságát, valamint az adatgyűjtési módszer erősségeit is. Az impedancia nagyságának maximális relatív hibája (a mérés teljes frekvenciatartományára kiszámítva) 0,83 %. A mért fázisértékeknel a maximális relatív hiba 0,42 % a vizsgáló áramkörben.

A szakirodalmi áttekintés alapján nagy igény van az előzőekben említett Cole-Cole modell alkalmazására. Számos metodika található a modell paramétereinek értékelésére, illesztésére és kinyerésére, de egy megbízható, pontos módszer hiánypótló lenne. E célból egy saját fejlesztésű, komplex elektromos impedancia spektroszkópiás adatrögzítési és értékelési eljárást vezettünk be. A bemutatott módszer magában foglalja a javasolt mérési eljárás minden szükséges elemét a mért adatok vizsgálatához, megjelenítéséhez, összegyűjtéséhez és kiértékeléséhez. A spektroszkópiás képességek és a javasolt módszerek tulajdonságainak bemutatására egy validáló áramkört készítettünk. Az ezen áramkörökön végzett teszteredmények bizonyítják a rendszer pontosságát és megbízhatóságát. A kutatás jövőbeni célja az, hogy lehetővé tegye konkrét alkalmazását e módszer jellemzőinek felhasználásával.

## 15. Fenntartható flexibilis lakóépületszerkezetek

Gazdag Gábor<sup>1</sup> – Kondor Tamás<sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Építész Szakmai Intézet, Építészeti és Várostervezési Tanszék, Pécs*

<sup>2</sup>*Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Kondor Tamás, [kondor.tamas@mik.pte.hu](mailto:kondor.tamas@mik.pte.hu)

A klímaváltozás jelen generációnk legnagyobb problémája. Ez egy sokösszetevős folyamat, melynek egyik legnagyobb komponense az építőipar. A tőke áramlása, a munkafolyamat és maga az elkészült épület is kihatással van környezetünkre. Ezen változók alakításával lehet szabályozni a természetre gyakorolt káros hatását. A fő építészeti koncepciót úgy érdemes kialakítani, hogy az épület élettartama lehetőség szerint maximalizálva legyen úgy, hogy a komfort és a társadalmi elvárások lehető legkevésbé sérüljenek. Fontos az ökológiai lábnyom és az üzemeltetési költség minimalizálása. Erre megoldást nyújt a szerkezeti optimalizáció, ez a szerkezeti elemek- és anyagok (fa, acél, beton, vasbeton) megfelelő mértékben való alkalmazását jelenti. A lokális tényezők figyelembe vételével törekedni kell a primer tartószerkezetek környezetbarát kombinációjára úgy, hogy az épület teljes élettartama a lehető leghosszabb legyen. Figyelni kell arra, hogy lehetőség szerint a szerkezeti rendszere adaptálható legyen. Ez az üzemeltetés fázisában is lényeges, mert ebben a fázisban jöhet el, hogy az épület funkcióváltásra kerül. Fontos, hogy a primer tartószerkezetek változtatása vagy annak minimális változtatása elegendő legyen az új funkció átalakíthatóságához, így meg tudjuk hosszabbítani az épület teljes élettartamát, amivel gazdaságosabbá és energiatakarékosabbá válik az építési folyamat. A kutatás témája azoknak a rugalmas épületszerkezeti megoldásoknak és anyagoknak a felkutatása illetve kombinációja, melyek az ökológikusan tudatos építés tükrében lehetővé teszik a környezetre gyakorolt káros hatások lecsökkentését. Ezzel hozzájárulhatunk az építőipar CO<sub>2</sub> kibocsájtásának a csökkentéséhez.

## 16. Újrahasznosított anyagok fenntartható építészeti alkalmazása

Juhász Hajnalka<sup>1</sup> – Kondor Tamás<sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Építész Szakmai Intézet, Építészeti és Várostervezési Tanszék, Pécs*

<sup>2</sup>*Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Kondor Tamás, [kondor.tamas@mik.pte.hu](mailto:kondor.tamas@mik.pte.hu)

Napjainkban a vegyes kulturális jegyek megjelenése, kimutatható hatással van az élet számos területén, ahogyan az építészetben is. Az említett jegyek nem kizárólag a külsőségek terén hangsúlyosak, hanem az egyes építési módokban is elkülöníthetően feltűnnek. A 2019-ben megrendezésre került Solar Decathlon nemzetközi innovációs házépítő verseny európai és afrikai versenyépületeinek vizsgálata során, a nemzeti identitás megjelenésének kérdését helyeztük fókuszba.

A megvalósult minta-házaknál alkalmazott építészeti megoldások eltérő módon, de az elveikben mégis összehasonlíthatóan, a passzív energia-rendszerek lehetőségeit használták, visszanyúlva a helyi tradicionális építészeti módokhoz. Tanulmányunkban a fenntarthatóság és újrahasznosítás elveit lekövetve vázoljuk azokat a helyi építészethez köthető elemeket, melyek alkalmazásra kerültek a HUNGARIAN NEST+ projekt során, továbbá a Solar Decathlon Africa 2019 versenyépületeinél is releváns példát mutattak.

## 17. Innovatív megoldások, természetes anyagok a fenntartható építészetben

Szigony János Gergely<sup>1</sup> – Kondor Tamás<sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Építész Szakmai Intézet, Építészeti és Várostervezési Tanszék, Pécs*

*<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Kondor Tamás, [kondor.tamas@mik.pte.hu](mailto:kondor.tamas@mik.pte.hu)

Napjainkban számos szabályozási javaslat születik a környezettudatos építésre, egyre inkább előtérbe kerül az építés során felhasznált anyagok elő- és utóélete, annak környezetre gyakorolt hatása nem csak a burkolati anyagok szintjén, de a szerkezeti megoldások tekintetében is.

A Solar Decathlon Europe építészeti innovációs verseny keretében létrehozott HUNGARIAN NEST+ project a fenntartható építészet tervezési és gyakorlati sajátosságait ötvözi. A ház prototípusának kidolgozásánál egy interdiszciplináris közeg dolgozott folyamatosan a fenntartható innovációs módszereken, ahol a környezettudatos anyaghasználat és az adaptálhatóság kiemelt jelentőséget kapott, mind a tervezésben, mind a kivitelezésben egyaránt.

A meglévő épületállományaink rekultivációja éppúgy elengedhetetlen feladata lenne a jelen kor építészeinek, mint a természetes építőanyagok fejlesztése és használata. A versenyépület egy családi ház prototípus, amely innovatív megoldásainak köszönhetően lehetőséget ad Magyarországon, a 20. század második felében elterjedt kádár-kocka épületeink újragondolására is. A produktum egy megvalósult könnyűszerkezetes épület adaptálhatósági lehetőségekkel, természetes anyaghasználatú szerkezetekkel, ősi és innovatív módszerek ötvözéséből létrehozott újító megoldásokkal.

## 18. Passzív energiateretek

Szücs Evelin<sup>1</sup> – Kondor Tamás<sup>1</sup> – Dolgosné Kovács Anita<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Építész Szakmai Intézet, Építészeti és Várostervezési Tanszék, Pécs*

<sup>2</sup>*Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Kondor Tamás, [kondor.tamas@mik.pte.hu](mailto:kondor.tamas@mik.pte.hu)

„A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy csökkentené a jövő generációk képességét, hogy kielégítsék a saját szükségleteiket.”  
(1987, Brundtland Commission of the United Nations)

Az emberi energiafelhasználás növekedésével és a fosszilis energiaforrások rendelkezésre álló mennyiségének csökkenésével a fenntarthatóság nélkülözhetetlen szempont épített környezetünk tervezésekor. Ezen a ponton utalnék a korábban idézett gondolatra. Az általunk tervezett épületek utánunk a jövő nemzedékeit szolgálják, így a mi generációnk hibáiból vagy hanyagságából adódó problémákkal őket állítjuk még nagyobb kihívások elé. A téma kutatását a Solar Decathlon 2019-es versenye kapcsán kezdtem. Itt a cél egy közel nulla energiaigényű épület megvalósítása volt, amely természetes vagy újrahasznosított építőanyagokból, korszerű építési és üzemeltetési technológiák integrálásával a fenntarthatóság szellemében.

Magyarországon a lakossági energiafogyasztás legnagyobb részét a fűtésre és hűtésre elhasznált energia adja. Emellett épületállományunk hozzávetőlegesen 90 %-a energetikai besorolását tekintve CC-vagy annál rosszabb minőségűbe tartozik.<sup>1</sup>

A passzív szolár építészet gondolkodásmód, energiatudatosság, tervezési eszköz, harmónia a természettel.<sup>2</sup> Passzív megoldásokkal nem csak a gépészet mértékét csökkenthetjük, de a fűtési energiaigény fedezésére napenergiát használva a CO<sub>2</sub> kibocsátás mértéke is nagymértékben csökkenthető, ideális esetben megszüntethető, és aktív zöld felületek

---

<sup>1</sup> <https://orszagos-tanusito-kozpont.hu/szamitas-besorolas>

<sup>2</sup> FÜLÖP L. (2014): *Napenergia hasznosítása épületekben*, pp. 82, Debrecen, ZENFE kiadó CSOKNAI T., ZÖLD A. (2013): *Épületenergetika*, pp. 105, Budapest, TERC Kft.

révén O<sub>2</sub> termelhető. A Passzív energiatervek létrehozásakor fontos szerepet játszik a formaképzés, az anyagválasztás, a tájolás, a gépészeti rendszerek kapcsolata az épületszerkezetekkel, és még számos tényező. Mindezt egy jobb komfortérzet, egészséges körülmények, költséghatékonyság, energiahatékony működés érdekében, magas esztétikai minőség mellett tűzzük ki célul építésként.



## 19. Építési anyagok újrahasznosítási lehetőségei

Havasi Zoltán<sup>1</sup> – Kárpáti Kinga<sup>1</sup> – Orbán Zoltán<sup>1</sup> – Vér Csaba<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Méternöki és Smart Technológiák Intézet, Építőmérnök Tanszék, Pécs*

*<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Méternöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Orbán Zoltán, [urban.zoltan@mik.pte.hu](mailto:urban.zoltan@mik.pte.hu)

Az építési anyagok közül van, amit újra felhasználhatunk vagy visszaforgathatunk így környezetbarátnak véljük. De egy hosszú folyamatból kiragadott intervallum vizsgálatával nem lehet egy anyag ökolábnymát mérni. Csak teljes kontextusban érdemes gondolkodnunk, mikor energiabarát, öko vagy zöld névvel címkézzük. Ebbe a folyamatba beletartozik az előállítás környezet károsító hatásától kezdve az újrahasznosíthatósága és az újrahasznosítás folyamata is (pl. szállítás, kohászati technológia, stb.) S nem szabad kihagyni számolásunkból a létrehozott építmény használati idejét sem, hisz nem mindegy, hogy időről időre újra és újra pótolnunk kell, vagy kiállja az idő vas fogát is akár 2000 éven keresztül. Körülnézve látható, hogy közvetlen környezetünk épített létesítményekből áll össze. Bár nem gondolunk bele, de a megszokott komfortzónánkhoz hozzátartoznak a nagy kiterjedésű, szem előtt elrejtett objektumok, mint a közművek, alapok, utak is. Az építőiparban legnagyobb mennyiségben használt anyag a beton. A beton felhasználási volumene akkora, hogy komoly gazdasági tényezőt is jelent egy adott ország befektetési tőkéjében. A fentiekből látható, hogy az építőipari környezettudatos gondolkodás egyik legjelentősebb ágazata a beton „zöldebb” létrehozására, időtállóságára és újra hasznosítására való törekedés. Munkánk során, mi az újrahasznosítás területével foglalkoztunk. Gondolatmenetünk alapján arra kerestünk először választ, hogy különböző létesítmények esetén milyen a törmelékek anyagának az arányban a bontási folyamat után. Milyen lehetőségek vannak a szétválasztásukra, van-e lehetőség a helyszíni újrahasznosításra. A bontott anyag minősége lehetővé teszi-e jó minőségi osztály elérését és nem utolsó sorban állandó minőség előállítására van e lehetőség.

## 20. Beton reneszánsza az újrahasznosítás terén

Huzina Gábor<sup>1</sup> – Kárpáti Kinga<sup>1</sup> – Orbán Zoltán<sup>1</sup> – Vér Csaba<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Méternöki és Smart Technológiák Intézet, Építőmérnök Tanszék, Pécs*

*<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Méternöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Orbán Zoltán, [urban.zoltan@mik.pte.hu](mailto:urban.zoltan@mik.pte.hu)

A beton törmelékek és építési hulladék újbóli felhasználása nem újkeletű gondolat. Építkezéseknél felhasználták feltöltésekhez, útalapokhoz illetve a kő szerű tömböket úsztatott beton alapokhoz, megtakarítva ezzel erőforrást és szállítási költségeket. Az építőiparban a megfeleltetés szigorú szabványrendszerekre és minősítő eljárásokra épül. A szabványok változásával, folyamatos szigorításával nehezedik az bontott anyagok minősített építőanyagként való újbóli beépítése.

Hazánkban a bontott kőszerű anyagok aprítás utáni felhasználása utak esetén már használt technológia, de a helyszínen újrahasznosított beton még mindig elenyésző mennyiségű. A darálás utáni nagy szemcseméretű a szerkezeti betonok D<sub>max</sub> méretéhez képest sokkal nagyobbak, így alkalmatlan, bedolgozhatatlan vasalt szerkezetekben. További nehézséget jelent még az építési hulladék szétválasztása és tisztítása is. A törmelék téglán, üvegen, műanyagokon kívül szerves és kémiai szennyeződések is tartalmazhat, mivel a betonok felhasználása nagyobb százalékban történik helyszíni bedolgozással és sokkal kisebb százalékban van a kész vagy félkésztermékként vásárolható elemek (előregyártott szerkezetek, térkövek stb), nagyon lényeges az adalékanyagok használt zúzalék pontos ismerete, a vázként használt zúzott beton alapminősége erősen befolyásolja a frissbeton és megszilárdult beton tulajdonságait. Kísérleteinkben a betonreceptúra változóinak minimalizálása érdekében, állandó cementminőséggel azonos víz-cement tényezővel és ismert helyről származó beton hulladékkal dolgoztunk, csak a homokos-kavics ill. a zúzalékból előállított frakciók mennyiségének változtatására fókuszáltunk.

## 21. Beton törmelék újrahasznosítása szerkezeti betonként

Héjjas Ádám<sup>1</sup> – Kárpáti Kinga<sup>1</sup> – Orbán Zoltán<sup>1</sup> – Vér Csaba<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Méternöki és Smart Tecnológiák Intézet, Építóméternök Tanszék, Pécs*

*<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Méternöki és Smart Tecnológiák Intézet, Környezetméternök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Orbán Zoltán, [urban.zoltan@mik.pte.hu](mailto:urban.zoltan@mik.pte.hu)

A kutatás során két részfeladatot teljesítettünk. Az egyik során normál előregyártott, térkövek törmelékéből kinyert adalékanyagot használtunk, míg a második részfeladat során a pécsi volt Magasház bontásából származó törmelék anyagokat. Kiválasztottuk a kutatás során felhasznált adalékanyagokat és törmelékeket, melyeket betonüzemi illetve hulladékgazdálkodással foglalkozó telepek depóiból szereztünk be. Ezután elvégeztük rajtuk a szükséges vizsgálatokat (szemeloszlás, testsűrűség, vízfelvétel). A törmelékek egyenletesen növekvő logaritmikus szemmegoszlású görbékét írtak le. A kezdeti vízfelvételük többszöröse egy normál adalékanyagának, ami nagyüzemi gyártásnál problémát okozhat, viszont az anyagok előnedvesítésével ez a probléma orvosolható. Az adalékanyag keverékek megtervezése után elkészült a beton keverékek összetétel terve. Fejlesztésünk célja, hogy növeljük az újrahasznosított betontörmelékből előállítható betonszerkezetek teljesítőképességét azáltal, hogy az adott hulladék alapanyag mérhető tulajdonságaiból kiindulva adott felhasználási területekre optimalizáljuk a betonkeverék összetételét. Ennek fontos eszköze olyan adalékok hozzáadása (pl. szintén ipari hulladékból) amelyek kedvezően változtatják meg mechanikai, tartóssági tulajdonságait. Megfelelő adalékokkal és előkészítő eljárásokkal fokozható a törmelék alapanyag tapadása a cementkőhöz, javítható a bedolgozhatósága, növelhető a megszilárdult beton energia-elnyelő képessége vagy akár az alakváltozási tényezője „állítható be” az adott alkalmazás szempontjából legkedvezőbb értékre. További kedvező eredmény lehet az alacsonyabb cementszükséglet, a betontermék élettartamának javulása a vegyi hatásoknak való magasabb ellenállóképesség, vagy az alacsonyabb repedési hajlam révén.

## 22. Építési, bontási hulladékok újrahasznosíthatósága

Kollár Péter<sup>1</sup> – Kárpáti Kinga<sup>1</sup> – Orbán Zoltán<sup>1</sup> – Vér Csaba<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Építőmérnök Tanszék, Pécs*

*<sup>2</sup>Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar,*

*Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

Témavezető: Orbán Zoltán, [urban.zoltan@mik.pte.hu](mailto:urban.zoltan@mik.pte.hu)

Korábban épült beton-és vasbeton anyagú épületeink és építményeink egy része mára annyira korszerűtlenné, elavulttá vagy károsodottá vált, hogy rehabilitációjuk gazdaságosan, a mai igényeknek megfelelően már nem valósítható meg. Ilyen esetekben nem marad más választás, mint az épület lebontása és az építési törmelék elszállítása valamilyen lerakóhelyre. Jó esetben a törmelék egy része újrahasznosításra kerülhet, azonban a jelenlegi betontechnológiai megoldások általában a jó minőségű alapanyag esetében is csak az alacsonyabb minőségű osztályú beépítéseket teszik lehetővé újrahasznosított adalékanyagként.

A betonhulladékok újrahasznosításának megoldása egyre nagyobb fontossággal bír a társadalom számára. Az építési hulladék tárolása az egyik legnagyobb környezetvédelmi problémává lépett elő, évről évre növekszik az építőiparból származó deponált hulladék mennyisége. A betonkészítéshez hagyományosan használt adalékanyag egyre nehezebben érhető el, ugyanis nem megújuló nyersanyag, készletei kimerülőben vannak, kitermelése egyre nagyobb ráfordítással és környezetkárosítással oldható csak meg. A beton a legelterjedtebb építőanyag, az előállításához szükséges cement gyártása az egyik legnagyobb felelős a Föld klímáját károsító CO<sub>2</sub> emisszióért. A betonhulladék újrahasznosítása révén jelentősen csökkenthető az építési folyamatokhoz szükséges cement mennyisége, így a cement előállítása során felhasznált energia is. A fenntarthatóság szempontjából legkedvezőbb eredmény eléréséhez a beton újrahasznosítási folyamatát optimalizálni kell. Ehhez azonban az építőipar szereplőinek általános hozzáállása mellett fejleszteni szükséges a jelenlegi tervezési eljárást valamint a betontervezést megelőző vizsgálati módszertant.

## 23. Lerakóbányászati potenciál Magyarországon a 2016 előtt elhelyezett hulladékáramok alapján

Vér Csaba

*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*

[ver.csaba@mik.pte.hu](mailto:ver.csaba@mik.pte.hu)

A hulladéklerakókra hulladéktól való megszabadulás minimális költséggel történő megoldásaként tekintettek évtizedeken át. Emiatt az EU területén mintegy 150.000-500.000 történelmi, illetve aktív hulladéklerakó jött létre, ennek mintegy 90 %-a az 1999-ben kiadott hulladéklerakókra vonatkozó Irányelv hatályba lépése előtt. E lerakók gyakran nem rendelkeznek védelemmel, ezért a környezeti és egészségügyi problémák elkerülése érdekében folyamatos beavatkozást igényelnek. Gyakran kommunális hulladékkal töltötték meg ezeket, beleértve olyan hulladékokat is, amelyeket ma már hasznosítanak (pl. alumínium, műanyagok) az új jogszabályoknak megfelelően. Ebből következően a lerakók — különösen a régiek — kiaknázatlan nyersanyagforrást jelentenek.

Véges mennyiségben rendelkezésre álló nyersanyagok, kritikus nyersanyagok, ritkaföldfémek (SRM, CRM, REE) kerültek a lerakókba a hulladékkal együtt. Például a globálisan lerakóba helyezett réz mennyiségét a még rendelkezésre álló készletekkel azonos szintűre becsülik. Ezen anyagokat egyrészt jelenleg EU-n kívüli forrásokból szerezzük be, másrészt egyre növekvő igény mellett egyre kevésbé hozzáférhetőek.

A hulladéklerakó-bányászat lehetőséget ad e források kiaknázására, lehetővé téve a nyersanyagok visszanyerését, piaci értékesítését, illetve a régen hulladéknak tekintett anyagok gazdasági körforgásba visszavezetését a körforgásos gazdaság elveinek megfelelően. Ugyanakkor lerakó kapacitás szabadul fel, amit a városiasodó, gyorsan növekedő populáció későbbiekben használhat. A lerakóbányászat elősegíti a fenntartható hulladékgazdálkodást: csökkenti a lerakóban elhelyezett hulladék mennyiségét, illetve – korlátozott mennyiségben – a hulladékból termék állítható elő újrahasznosítás révén.

A hulladék kitermelésre kerül a lerakóból, majd frakciókra válogatják. Míg egyes frakciók közvetlenül hasznosíthatók, vagy újrahasználhatók, ezért értékesítésre kerülhetnek

másodnyersanyagként, primer nyersanyagok kiváltására, addig más frakciókat előzetesen fel kell dolgozni. Az égethető hulladékok felhasználásával energia nyerhető, míg a nem hasznosítható hulladékokat későbbi hasznosításra újra el kell helyezni a lerakóban.

A lerakóbányászat során alkalmazható technológiák ismeretében a kitermelt anyagmennyiség kb. 25 %-a használható fel energetikai célokra, és további 1,5%-2 % fém kerülhet újrahasznosításra.

A magyarországi potenciális helyszínek kiválasztásakor méretgazdasági megfontolásokat célszerű figyelembe venni, így az „EWC 20 03 01 egyéb települési hulladék, ideértve a vegyes települési hulladékot is” kód alatt lejelentett, 200.000 tonnát meghaladó összesített hulladékmennyiséget meghaladó lerakókat érdemes vizsgálni. Természetesen a TSZH lerakók az EWC 20 03 01-es mellett számos más hulladéktípust befogadnak (pl. építési-bontási hulladékot), a kibányászandó anyagmennyiség ezért jóval nagyobb lehet. Egyes lerakókban ez a többlet csak 20-30 %, de más esetekben 100 %-ot is eléri.

RDF előállítás szempontjából különösen érdekesek lehetnek azok az anyagáramok, amelyeket az elmúlt egy évtizedben létesített mechanikai, vagy mechanikai-biológiai kezelő komplexumokban állítottak elő, mint másodlagos tüzelőanyagot, azonban az országos hasznosítási rendszer anomáliái miatt az utóbbi 1-2 évben deponálni kellett. A lerakóknak a visszabányászatra alkalmasságát korlátozhatja, ha a közelmúltban olyan beruházást végeztek annak felszínén (pl. ha burkolt komposztáló vagy stabilizáló teret, tároló teret, stb. alakítottak ki), ami évekig, esetleg évtizedekig nem számolható fel.

## 24. A pécsi kistérség szerves hulladék kezelése környezeti hatásának becslése LCA módszerrel

Vér Csaba

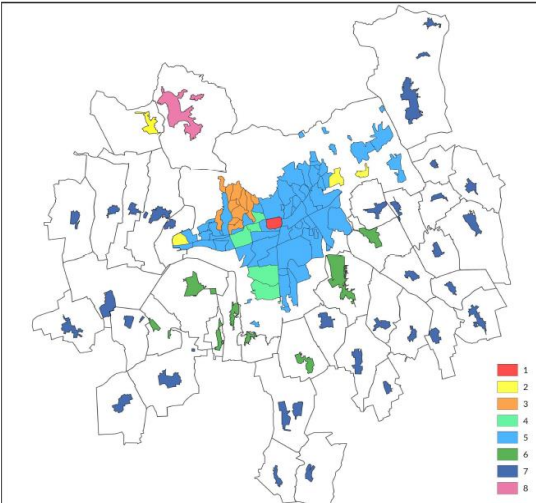
*Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar,  
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Környezetmérnök Tanszék, Pécs*  
[ver.csaba@mik.pte.hu](mailto:ver.csaba@mik.pte.hu)

A vizsgált kistérség Pécs városát és további 40 Baranya megyei települést foglal magába, melyben 82.227 háztartás található. A térségben a háztartásokban és kisebb üzletekben keletkező hulladék gyűjtését az NHKV tanúsítványával rendelkező Dél-Kom NKft. végzi, míg az éttermi és közétkeztetésből származó ételmaradékot független vállalkozások gyűjtik be. A lakosság részére nyújtott gyűjtési módok alapján 3 fő kategóriát lehet megkülönböztetni:

1. települési szilárd hulladék vegyes gyűjtése
2. települési szilárd hulladék vegyes gyűjtése + kerti zöld hulladék szelektív gyűjtése
3. települési szilárd hulladék vegyes gyűjtése + kerti zöld hulladék házi komposztálása

A gyűjtési módok és gyakoriság alapján 8 körzetre lehet osztani a térséget, amit az alábbi térkép szemléltet.

District categories	MSW door-to-door	Packaging waste	Green waste	Collection islands	Civic amenity sites (waste yards)
1	>2/week	door-to-door	door-to-door	available	available
2	1/week	no	no	available	available
3	2/week	no	home composting	available	available
4	2/week	door-to-door	no	available	available
5	2/week	door-to-door	door-to-door	available	available
6	1/week	door-to-door	door-to-door	available	available
7	1/week	door-to-door	no	available	available
8	1/week	no	door-to-door	available	available



Szerves hulladékok közé került besorolásra a vegyesen gyűjtött települési szilárd hulladék szerves frakciója (kb. 12.200 t/év), a kerti és parkkezelési zöld hulladék (kb. 9.300 t/év), az eladatlan élelmiszer (piacokon és üzletekben, kb. 2.700 t/év), az éttermi és közétkeztetésből származó ételmaradék (kb. 16 t/év), továbbá a karácsonyfák (kb. 26 t/év). Az elemzésnek nem tárgya a mezőgazdaságban keletkező hulladék, sem a kommunális szennyvíz. A környezeti hatások becsléséhez az openLCA szoftver 1.10.2-es verziója, ill. az ecoinvent v3.5 adatbázis került felhasználásra. A vizsgálatok egységesítése és összehasonlíthatóság érdekében a modellben a számítások ún. funkcionális egysége (functional unit = FU) 1 tonna szerves hulladék, mely a fenti hulladékok eltérő kezelési módjainak súlyozásával jön létre.

<b>Kezelési mód</b>	<b>Tömeg (kg)</b>
Mechanikai-biológiai kezelés	554,34
Komposztálás	421,23
Kierjesztés biogáz üzemben	23,25
Tüzelés	1,18
Összesen	1.000

A modellben primer adatként került bevitelre a gyűjtés és szállítás, valamint a táblázatban szereplő kezelő üzemek működési paraméterei, az egyes folyamatokhoz társítható fajlagos emissziós értékeket a nemzetközi kutatói közösség által elfogadott ecoinvent adatbázis biztosította.

A pécsi kistérség szerves hulladék kezeléséhez köthető környezeti hatásokat az alábbi táblázat foglalja össze.



Indicator	Stq
Ecotoxicity - USEtox (default)	1.27748e-1
Fine particulate matter formation - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	7.52343e-2
Fossil resource scarcity - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	3.71199e+0
Freshwater eutrophication - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	-3.43058e-3
Human toxicity, cancer - USEtox (default)	-7.84597e-10
Human toxicity, non - cancer - USEtox (default)	7.23672e-12
Ionizing radiation - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	-5.03097e-1
IPCC GWP 100a - IPCC 2013 GWP 100a	9.78521e+1
Land use - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	1.26284e+1
Marine eutrophication - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	-7.40262e-4
Ozone formation, Human health - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	4.81653e-2
Stratospheric ozone depletion - ReCiPe 2016 Midpoint (H)	1.10846e-3
Water use - AWARE	5.77821e+1

A jelenlegi helyzet számos beavatkozásra nyújt lehetőséget, pl. az élelmiszer hulladékok mennyiségének csökkentése, a konyhai szerves hulladék elkülönített gyűjtése. Az alapállapot és az egyes jövőbeni forgatókönyvek (gyűjtési és kezelési kombinációk) LCA modelljeinek összevetése megmutathatja, hogy mely beavatkozások milyen szempontból jelentenek előnyt, és milyen hátrányokat eredményeznek környezeti szempontból.



