



Pannon Egyetem
Vegyeszmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

**Innovatív technológiai fejlesztések a lakossági szilárd hulladék lerakótól történő
eltérítésének, valamint a hulladékhasznosítási arányok növelésének érdekében –
a körforgásos gazdaság támogatása**

DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

Sarkady Attila
Okleveles környezetmérnök

Témavezetők:

Dr. Kurdi Róbert
Egyetemi docens
Dr. Egedy Attila
Egyetemi docens

Pannon Egyetem
Mérnöki Kar
Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

2025

Bevezetés

A modern társadalmak működését az ipari forradalom óta a folyamatos gazdasági növekedés és technológiai fejlődés határozza meg, amely jelentős környezeti terhelést eredményezett. Az egyre növekvő népesség, a nyersanyagok intenzív kitermelése és felhasználása, valamint a termelési és fogyasztási szokások átalakulása komoly kihívásokat jelentenek. A korábbi lineáris gazdasági modell, amelyben az anyagok „kitermelés–gyártás–fogyasztás–hulladék” útvonalat követik, hosszú távon fenntarthatatlannak bizonyult, hiszen kimeríti az erőforrásokat és egyre nagyobb mennyiségű hulladékot termel. A körforgásos gazdasági modell ezzel szemben egy olyan megközelítés, melyben az anyagok a gazdasági körforgásban maradnak, újra hasznosulnak, minimalizálva ezzel a hulladéklerakás szükségességét. Fenti célok elérésének érdekében nemzetközi stratégiák kerültek megfogalmazásra, ahol a hangsúly a megelőzésen van, azonban egyéb lehetőségek is (újrahasználat, újrahasznosítás, energetikai hasznosítás) rendelkezésre állnak a lerakás – mint elkerülendő gyakorlat – minimalizálására, hosszú távú megszüntetésére.

Kutatói munkám célja a hulladékgazdálkodás korszerűsítésére és fejlesztésére irányuló lehetőségek vizsgálata, különös tekintettel a hulladéklerakás minimalizálására. Ennek érdekében különböző technológiai megoldásokat és rendszereket dolgoztam ki, illetve vizsgáltam, amelyek hozzájárulhatnak a hazai hulladékgazdálkodási célkitűzések eléréséhez, különösen a 2035-re előírányzott 10% alatti lerakási arány teljesítéséhez.

Munkám során egy mechanikai és biológiai hulladékkezelő technológiát terveztem a vegyesen gyűjtött lakossági hulladék lerakóra kerülő hányadának csökkentése érdekében. Emellett egy innovatív kiegészítő technológiát dolgoztam ki a biológiailag bomló hulladék hasznosítására, ami használati mintaoltalmat kapott. Vizsgáltam továbbá a betétdíjas visszaváltási rendszerek (DRS) hatékonyságát, különös tekintettel a rendszerhasználati hajlandóságra és a gyűjtési infrastruktúrára. Végül egy moduláris szimulátorrendszert hoztam létre, amely lehetőséget biztosít a hulladékkezelési technológiák modellezésére és optimalizálására.

A dolgozat eredményei hozzájárulhatnak a hulladékgazdálkodás fejlesztéséhez, a körforgásos gazdaság hazai megvalósításához, valamint a fenntarthatóbb, erőforrás-hatékonyabb hulladékkezelési stratégiák kidolgozásához.

Alkalmazott módszerek

A komplex megközelítés hasonló komplexitást kívánt az alkalmazott módszerek tekintetében. Az általam alkalmazott módszerek a különböző hulladéklerakást szolgáló kutatásaim vonatkozásában az alábbiak:

- A mechanikai és biológiai hulladékkezelő rendszerek tervezése a piaci szükségletek és a fűtőanyag-kritériumok vizsgálatán alapul. Ehhez külföldi (német és osztrák) gyakorlati tapasztalatokat, valamint hazai kutatásokat és kísérleteket vettem alapul. A tervezés során a hazai átvevőpiac igényeit figyelembe véve határoztam meg a minőségi paramétereket és a megfelelő technológiai megoldásokat, megismertem a legújabb elérhető eszközöket és berendezéseket miközben a pénzügyi források korlátait is figyelembe vettem.
- A biológiai bomló (B) frakció új módszerrel történő hasznosításának érdekében a leválasztási pontokat, valamint a szükséges technológiai lépéseket határoztam meg. A technológiai berendezéseket üzemi méretben biztosítottam a vizsgálatokhoz. Az így előállított hulladékfrakciót a hulladékanalízis szabványos módszereivel vizsgáltam. A stabilizált hulladék vizsgálatára kézi válogatás és NIR optikai válogatóberendezés is rendelkezésre állt. A tüzelőanyag minősítése szabvány alapján történt, mely az égéshő, nedvességtartalom és klórtartalom paramétereit alapján végeztem. A mérések során légkeveréses szárítószelekt, kalorimétert és klóranalizátort használtam.
- Magyarország 2024. július 1-től bevezette a kötelező visszaváltási rendszert (DRS) az üveg, PET és alumíniumdobozokra. Ennek lakossági elfogadottságát vizsgálatát végeztem el 2020 nyarán online kérdőíves felmérés formájában, amelyben 20 430 válaszadó vett részt. Az elemzés során 16 magyarázandó és 23 magyarázó változót definiáltak, majd statisztikai módszerekkel vizsgáltam azok kapcsolatát azzal a céllal, hogy az eredmények segítsék a döntéshozókat a visszaváltási rendszer hatékony kialakításában.
- A hulladékkezelő technológiák felülvizsgálatára, a változó hulladékösszetétel változásainak hatásainak vizsgálatára szimulációs megoldást alkalmaztam. Az általam fejlesztett modell moduláris felépítésű, így lehetővé teszi a technológiai lépések egyedi vizsgálatát és az adatok validálását, segítenek optimalizálni a meglévő technológiákat és támogatják az új rendszerek tervezését. A szimulációhoz szakértői kérdőíveket alkalmaztam, és Monte Carlo szimulációval csökkentettem a mérések hiányából fakadó bizonytalanságot. Az eredmények ezen módszerrel segítenek képesek optimalizálni a meglévő technológiákat és támogatják az új rendszerek tervezését.

Tézisek

- I. Az Észak-Balaton Régióban vegyesen gyűjtött lakossági hulladék mennyiségi és minőségi összetételének megfelelően:
 - megterveztem egy 140.000 ezer tonna TSZH kezelésére alkalmas korszerű, robosztus mechanikai és biológiai hulladékkezelő létesítményt, mely rugalmasan képes megfelelni a magyarországi alternatív tüzelőanyag piaci változó igényeinek két féle (14-16 MJ/kg, 18-22 MJ/kg) termék gyártásával;
 - a tervezést követően a felügyeltem a kivitelezést, próbaüzemet, ami biztosította, hogy tervezési és kivitelezési fázisban az elvárt paraméterek biztosítva legyenek.

- II. Azonosítottam az Észak-Balaton Hulladékgazdálkodási rendszerben üzemeltetett 120.000 tonna/év kapacitású MBH üzemben kezelt mintegy 60-70.000 tonna/év mennyiségben keletkező „B” frakcióban rejlő energetikai lehetőségeket. Megterveztem egy új technológiát, ami további, mintegy 18-20.000 tonna/év RDF/SRF tüzelőanyag előállításra alkalmas. A technológia használati mintaoltalmat kapott.

- III. Magyarországi jogszabályi változásokat megelőzően 24 kérdésből álló kérdőíves felmérést végeztem a DRS rendszer bevezetésének elfogadottságával kapcsolatban. 20.430 fő adatnak elemzéséből megállapítottam, hogy:
 - a korrelációk vizsgálata alapján a DRS rendszer bevezetésének van létjogosultsága Magyarországon,;
 - az egyének demográfiai jellemzői és környezeti attitűdjei egyaránt befolyásolják a tervezett új DRS rendszer használatát, azonban a végzettség nem befolyásolja jelentősen ennek hajlandóságát;
 - a legkisebb választható díjtételnél is (10-20,- Ft) jelentős a hajlandóság a használatra, ami a díj emelkedésével növekszik;
 - a rendszer iránt leginkább nyitottak a városban élő felsőfokú végzettséggel rendelkező nő;.
 - a hatékonyság érdekében a bevásárlóközpontokban és nagyobb üzleteknél szükséges az elhelyezést elsősorban biztosítani.

- IV. Kifejlesztettem egy moduláris szimulátorrendszert, amelynek segítségével gazdaságos módon tervezhetővé válnak a mennyiségi és minőségi viszonyokhoz illeszthető hulladékválogatási technológiák. Az általam vizsgált modell válogató technológia kapcsán az optimális 3000 darabszámú ciklusokat lefuttatva megállapítottam, hogy a szimulációval nyert kihozatali százalékos eredmények mediánja minden esetben a szakértők által megadott intervallumokban helyezkedett el, ezzel validáltam az általam kifejlesztett eszközt.

Publikációs lista

Tézispontokat érintő publikációk

- Sarkady, A., Egedy, A., Kurdi, R., & Tóth, E. (2024). Towards a Circular Economy—Changing Needs and Solutions for Waste Management Systems. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 52(1), 45-53.
- Bárkányi, Á., Egedy, A., Sarkady, A., Kurdi, R., & Abonyi, J. (2022). Expert-Based Modular Simulator for Municipal Waste Processing Technology Design. *Sustainability*, 14(24), 16403.
- Boros, A., Kurdi, R., Lukács, Z. P., Sarkady, A., & Banász, Z. (2021). Opinion of the Hungarian population on the reform of beverage packaging deposit-refund system. *Sustainability*, 13(11), 6373.
- Sarkady, R. Kurdi (2015) Waste To Energy In Hungary: New Trends In The North-Balaton Regional Waste Management System Of Hungary In: Al-Kayiem H H, Brebbia C A, Zubir S S (szerk.) *Energy and Sustainability V: Special Contributions*. Konferencia helye, ideje: Kuala Lumpur, Malajzia, 2014.12.16-2014.12.18. Southampton; Boston: WIT Press, 2015. pp. 287-294. (ISBN:978-1-78466-095-6)
- A Sarkady, R Kurdi, B Morvai, Cs Leitöl (2015) Diverting Muncipal Solid Waste from Landfill: New Methods in Hungarian Waste Management, In: Al-Kayiem H H, Brebbia C A, Zubir S S (szerk.) *Energy and Sustainability V: Special Contributions*. Konferencia helye, ideje: Kuala Lumpur, Malajzia, 2014.12.16-2014.12.18. Southampton; Boston: WIT Press, 2015. pp. 303-314. (ISBN:978-1-78466-095-6) .
- Sarkady, A., Kurdi, R., & Rédey, Á. (2014). RDF—refuse derived fuel, possibilities in the North-Balaton Regional waste management system. *Pollack Periodica*, 9(Supplement-1), 23-30.
- Sarkady, A., Yuzhakova, T., Dióssy, L., Kurdi, R., & Rédey, Á. (2013). NEW TRENDS IN COMMUNAL WASTE MANAGEMENT AT THE REGIONAL LEVEL: WASTE TREATMENT PLANTS IN HUNGARY AND PRACTICAL APPLICATIONS. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 12(8).
- Sarkady, A., Dióssy, L., Yuzhakova, T., Kurdi, R., Utasi, A., & Rédey, Á. (2013). INDUSTRIAL AND COMMUNAL SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN HUNGARY. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 12(8).

Szabadalmi mintaoltalom

Aktaszám: 137139-3046 EV/E/MGP Használati mintaoltalmi bejelentés száma: U2300217

Címe: Hulladékkezelő rendszer vegyesen gyűjtött lakossági hulladék szétválogatására

Beadvány: Sarkady Attila, Kurdi Róbert, Kertai László

Egyéb publikációk

- Rózsenberszki, T., Koók, L., Bakonyi, P., Nemestóthy, N., Logroño, W., Pérez, M., Urquiza, G., Recalde, C., Kurdi, R., Sarkady, A. (2017). Municipal waste liquor treatment via bioelectrochemical and fermentation (H₂+ CH₄) processes: Assessment of various technological sequences. *Chemosphere*, 171, 692-701.
- Rózsenberszki, T., Koók, L., Hutvágner, D., Nemestóthy, N., Bélafi-Bakó, K., Bakonyi, P., Kurdi, R., Sarkady, A. (2015). Comparison of anaerobic degradation processes for bioenergy generation from liquid fraction of pressed solid waste. *Waste and biomass valorization*, 6, 465-473.

Konferencia előadás megjelenéssel:

- Sarkady Attila, Egedy Attila, Kurdi Róbert: Úton a körforgásos gazdaság felé - változó igények és megoldási javaslatok a hulladékgazdálkodási rendszerek kapcsán– Előadás MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK Veszprém, Veszprém 2023. április 18-20.
- Sarkady Attila, Bárkányi Ágnes, Egedy Attila, Kurdi Róbert: Moduláris szimulátor fejlesztése a települési csomagolási hulladék feldolgozási technológiájához– Előadás MŰSZAKI KÉMIAI NAPOK Veszprém, 2022. április
- Sarkady, A. Hulladékgazdálkodási projekt az Észak-balatoni térségben „HULLADÉKBÓL HASZON” szakmai konferencia Innovatív megoldások a hulladékgazdálkodásban 2012. június 5. kedd, 09:30 Pannon Egyetem Veszprém, Egyetem u. 10. Konferenciaterem (B épület, 2. em.)

Poszter

- J. Bobek-Nagy, E. Tóth, F. Róbert, K.Berta, A. Sarkady R. Kurdi „OFMSW as a potential secondary raw material for chemical recycling” – August 27, 2023, 15th European Congress on Catalysis. Prague, Czech Republic
- Sarkady, A. Szent-Györgyi Albert Konferencia “Szelektív hulladékválogatás technológiai műveleteinek moduláris szimulációja” - 2021. április 17. Poszter csatorna