

Miskolci Egyetem

Anyag- és Vegyészmérnöki Kar

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Mertinger Valéria



# RDF-ből előállított pirolízis koks komplex hasznosítása elgázosítással

Doktori (PhD) értekezés téziszfüzet

**Készítette:**

Sebe Emese

*okleveles anyagmérnök*

**Tudományos témavezető:**

Dr. Kállay András Arnold

*tudományos főmunkatárs*

Miskolc

2024.

## 1. Bevezetés

Hazánkban a települési hulladékok jelentős része napjainkban is lerakóba kerül, ami nem csak jelentős környezeti kockázatot rejt magában, de az emberi egészséget is veszélyezteti. A lerakóba kerülő hulladék nagy mennyiségben tartalmaz olyan komponenseket, amelyeknek nem valósítható meg az anyagában történő hasznosítása, ezáltal a lerakásuk csak úgy kerülhető el, ha sikerül más módot találni a hasznosításukra. Elterjedt gyakorlat a települési szilárd hulladékok kezelése során az RDF („refuse-derived fuel”), azaz másodtüzelőanyag előállítás, ami elősegíti a települési hulladékok hatékonyabb energetikai hasznosítását. Az égetésen túl egyre elterjedtebbek más termikus eljárások, mint a pirolízis, ami a hulladék nagy hőmérsékleten és oxigénszegény vagy -mentes környezetben történő bontását jelenti és lehetővé teszi pirolízis kokszt, pirolízis olajt és pirolízis gázok előállítását. Az ebben rejlő lehetőségeket felismerve Intézetünk néhány évvel ezelőtt részt vett egy RDF pirolízis technológia fejlesztésében, amely elsősorban pirolízis gáz termelésére irányult. Ennek eredményeként megépült egy megközelítőleg 120 kg/óra kapacitású kísérleti rendszer. A helyszíni tesztek eredményei alapján a gáztermelés szempontjából optimális paraméterek alkalmazásával az RDF tömegére vonatkoztatva 31 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>% pirolízis kokszt is képződött. Kutatásom ennek a kocsznak a hasznosítására irányult. PhD tanulmányaim alatt arra kerestem a választ, hogy az RDF kocszból történő szintézisgáz előállítás során a visszamaradt szilárd anyag alkalmazható-e aktív szénként? Amennyiben igen, milyen fenolmegkötő-képességgel rendelkezik? Adszorptívumként azért választottam a fenolt, mert a szintézisgázok tisztítása során keletkező szennyvíz fő komponensei is jellemzően fenolvegyületek. Szakirodalomkutatásom során egyetlen olyan tanulmánnyal találkoztam, amely RDF-ből előállított aktív szén fenolmegkötő-képességét vizsgálta. Ezt a kutatást Japánban végezték el, azonban az általuk vizsgált RDF alapanyagául szolgáló települési hulladék összetétele jelentősen eltérhet az Európában keletkezett hulladéktól, ami indokolja a további kutatások elvégzésének szükségességét.

## 2. Anyagok és módszerek

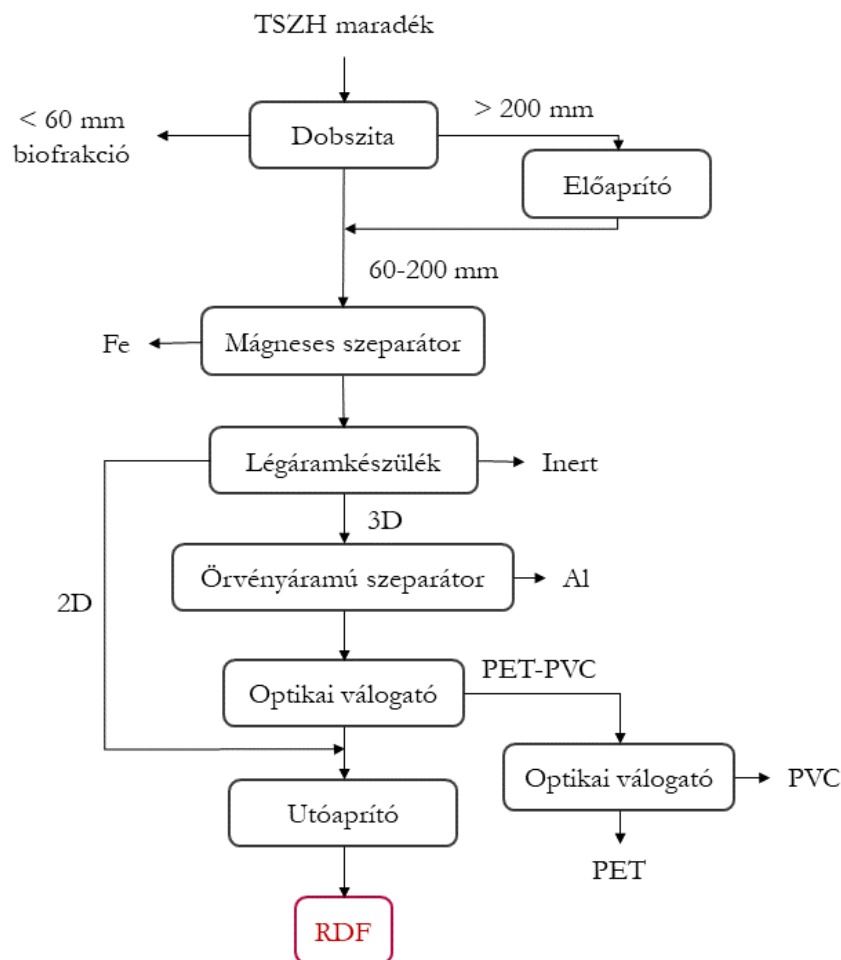
### 2.1. Vizsgált anyagok

Az RDF heterogén jellege kihívást jelent a kísérletek megismételhetősége és az általános érvényű következtetések levonása szempontjából. A reprodukálhatóság biztosítása érdekében a kísérletek során gyakran alkalmaznak kísérleti RDF keverékeket, amit meghatározott arányban összekevert hulladékkomponensekből állítanak elő. Azonban a valódi RDF összetételének komplexitása miatt, a laboratóriumi vizsgálatok során alkalmazott kísérleti RDF-ek előállításához az összetétel egyszerűsítése szükséges, ami azt eredményezheti, hogy a végső eredmények nem tükrözik a

valóságot. Ezért tartottam fontosnak, hogy az RDF kokszok adszorbensként történő alkalmazhatóságának vizsgálatát referencia RDF-fel is elvégezzem. A referencia RDF-fel végzett vizsgálatok során kapott eredmények megerősítették, hogy indokolt további kísérletek elvégzése, és egyúttal ezek az eredmények összehasonlítási alapként is szolgáltak a kísérleti RDF vizsgálata során. Az RDF-ből történő aktív szén és szintézisgáz előállítás során zajló folyamatok mélyebb megértése érdekében külön-külön is megvizsgáltam az RDF-ben leggyakrabban előforduló anyagokat, valamint ezek különböző arányú keverékeit.

### 2.1.1. Referencia RDF koksz

A kísérletek során alkalmazott referencia pirolízis koksz alapanyagául szolgáló RDF-et egy Zalaegerszeg határában, Búslakpusztán épült, 60 ezer tonna éves kapacitású hulladékválogató létesítményben állították elő vegyes gyűjtésű települési szilárd hulladékból. A technológia fő lépéseit az 1. ábra mutatja be.



1. ábra: Mechanikai-fizikai hulladékkezelés Búslakpusztán

Az általam vizsgált kokszot a Búslakpusztán előállított RDF pirolízisével állították elő 700 °C maximális hőmérsékletet alkalmazva egy kísérleti pirolízis üzemben. A rendszer megközelítőleg óránként 120 kg RDF pirolízisét teszi lehetővé. A 700 °C-on végzett kísérleteik során átlagosan 31 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>% koksz és 0,4 m<sup>3</sup>/kg pirolízis gáz képződött.

Az adszorpciós kísérleteket megelőzően a pirolízis kokszot osztályoztam és az elgázosítási kísérleteket 0,5-2 mm szemcseméretű pirolízis koksszal végeztem el. A finom frakció eltávolítására azért volt szükség, mert az elgázosítási kísérletek statikus rendszerben zajlottak és nagyobb szemcseméret mellett az anyagalmaz könnyebben átjárható a reagensként alkalmazott vízgőz számára.

### 2.1.2. Kísérleti RDF

A kísérleti RDF vizsgálata során összesen 2 anyagcsoport, azon belül 7 hulladék-komponens (2. ábra) vizsgálatát valósítottam meg az alábbiak szerint:

- cellulózalapú hulladékok (karton, papír, fa, pamut),
- és szintetikus műanyagok (PS, PP, HDPE).



2. ábra: A kísérleti RDF keverékekhez használt komponensek

Elvégeztem az egyes anyagok elemi összetételének és hamutartalmának vizsgálatát, ennek eredményeit foglalja össze az 1. táblázat. Ezt követően különböző keverékeket állítottam össze (2. táblázat). Az RDF1 összetételének meghatározása során egy Hejőpáiban végzett elemzés eredményeit vettem alapul azzal a céllal, hogy egy Magyarországon előállított RDF jellemző összetételét reprezentáló keveréket hozzak létre. Az RDF2 és RDF3 jelű keverékekben a

műanyagok mennyiségét 10-10 m/m%-kal növeltem, így lehetőségem nyílt megvizsgálni, hogy az RDF összetételének ezirányú változása mekkora hatást gyakorol a pirolízis és elgázosítás termékeinek minőségére és mennyiségére.

1. táblázat: A vizsgált anyagok elemi összetétele és hamutartalma

<b>Anyag</b>	<b>C</b> m/m%	<b>H</b> m/m%	<b>N</b> m/m%	<b>S</b> m/m%	<b>O</b> m/m%	<b>Hamu</b> m/m%
<b>Karton</b>	39,1	5,4	<0,3	<0,2	43,8	11,3
<b>Papír</b>	33,8	4,5	<0,3	<0,2	40,9	20,7
<b>Fa</b>	45,9	6,0	<0,3	<0,2	47,8	0,2
<b>Pamut</b>	51,9	5,3	<0,3	<0,2	42,1	0,4
<b>PP</b>	75,2	12,7	<0,3	<0,2	1,5	10,5
<b>PS</b>	86,1	7,4	<0,3	<0,2	0,8	5,6
<b>HDPE</b>	84,5	14,4	<0,3	<0,2	1,0	0,1

A kísérleti RDF-ek mellett egyszerűbb, 2-3 komponensű keverékeket is készítettem a papír (P), fa (F) és polisztirol (PS) felhasználásával, hogy feltárjam az RDF fő komponenseinek szerepét az aktív szén és szintézisgáz előállítás során.

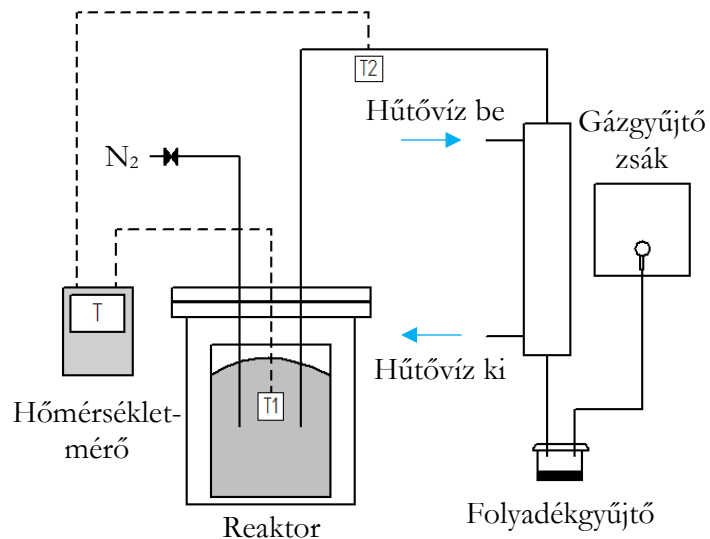
2. táblázat: A kísérleti keverékek összetétele

<b>Minta</b>	<b>Karton</b>	<b>Papír</b>	<b>PP</b>	<b>HDPE</b>	<b>PS</b>	<b>Fa</b>	<b>Pamut</b>
<b>RDF1</b>	9,00	49,50	5,50	16,50	5,50	10,00	4,00
<b>RDF2</b>	7,76	42,67	7,50	22,50	7,50	8,62	3,45
<b>RDF3</b>	6,52	35,84	9,50	28,50	9,50	7,24	2,90
<b>P/F</b>	-	83,20	-	-	-	16,80	-
<b>P/PS</b>	-	90,00	-	-	10,0	-	-
<b>F/PS</b>	-	-	-	-	35,50	64,50	-
<b>P/F/PS</b>	-	76,20	-	-	8,50	15,40	-

## 2.2. A kísérletsorozat felépítése és a kísérleti rendszerek bemutatása

### 2.2.1. Pirolízis rendszer

A kísérleti RDF vizsgálata során elsőként elvégeztem az egyes komponensek és keverékek pirolízisét egy üstreaktorban (3. ábra) annak érdekében, hogy kokszoikat állítsak elő.

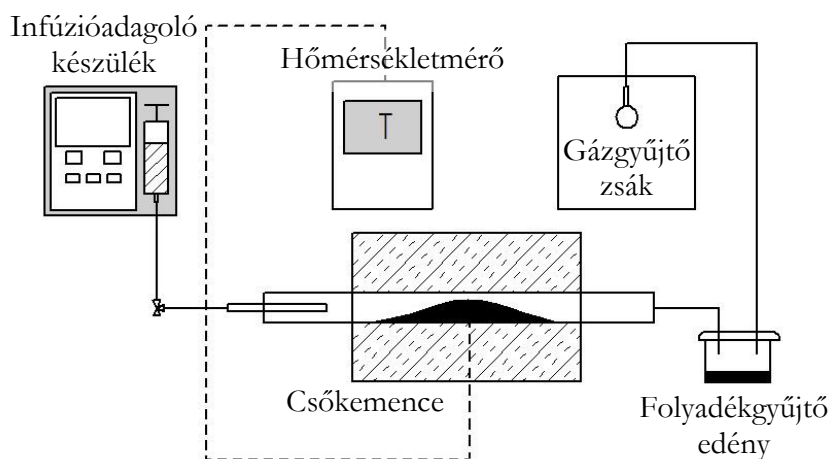


3. ábra: A pirolízis kokszoik előállítására alkalmazott reaktor

A kísérletek során hőmérsékletmérés 2 ponton történt: a reaktor belsejében, valamint a reaktort és a hőcserélőt összekötő csőszakaszon. A kísérleteket megelőzően a reaktort nitrogénnel átöblítettem. A kísérleteket követően megmértem a képződő kocsz és a folyadékgyűjtőben összegyűlt folyadék tömegét. A képződő gázt egy többretegű gázgyűjtő zsákban összegyűjtöttem.

### 2.2.2. Elgázosító rendszer

Az elgázosítást kettős céllal végeztem el: egyrészt, hogy szintézisgázt állítsak elő; másrészt, hogy aktiváljam a pirolízis során keletkező kocszoikat. Az elgázosító rendszert a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra: A kocszoik aktiválása során alkalmazott kísérleti rendszer

Reaktorként egy saválló acélcsövet alkalmaztam. A csőben kísérletenként 15 g pirolízis kokszt helyeztem el. A hőbontáshoz szükséges hőmérsékletet egy Hőker gyártmányú csőkemence biztosította. A reaktorcső kemencén kívül eső, szabad felületeit INSURFLAX kerámiapaplannal szigeteltem. A desztillált víz adagolása egy Spritzenpumpe Medfusion 2010 típusú infúzióadagoló készülék segítségével valósult meg. A kísérleteket megelőzően a rendszert nitrogénnel átöblítettem. A hőmérséklet nyomon követése érdekében a reaktorcső külső felületén a kemence középvonalában egy K-típusú hőelemet helyeztem el. A reaktorcsőből kilépő gázt egy vízzel hűtött edénybe vezettem, ami a kondenzálódó folyadékfázis gyűjtését szolgálta. A képződő gázokat többrétegű gázgyűjtő zsákokban összegyűjtöttem. Az aktiválást 900 °C-on végeztem el 5-10 cm<sup>3</sup>/h vízgőzadagolással. Az elgázosítás időtartama 30-120 perc között változott.

### 2.2.3. Adszorpciós kísérletek

A szakaszos („batch”) adszorpciós kísérletek során a mintaoldatok elkészítéséhez kristályos fenolt (Merck) és desztillált vizet alkalmaztam. A vizsgált adszorbensekből 100 mg-ot adtam hozzá 100 mL mintaoldathoz. A mintaoldatból minden elvégzett kísérlet során félretettem 100 mL-t, hogy pontosan meghatározhassam a kezdeti koncentrációt. A mintaoldatok és a vizsgált adszorbensek keverékeit irányváltós síkrázó készülékbe helyeztem, majd meghatározott idő elteltével leszűrtem. Az oldatok fenoltartalmának meghatározását az MSZ 1484-1:2009 „*Vízminőség 1. rész: A fenolindex meghatározása*” szabvány alapján végeztem el.

Az adszorpciós egyensúly eléréséhez szükséges idő meghatározása 2 mg/L kiindulási oldatkonzentráció mellett valósult meg. A mérési pontokra pszeudo-elsőrendű (1) és pszeudo-másodrendű (2) kinetikai modelleket illesztettem.

$$q_t = q_e (1 - e^{-K_1 \cdot t}) \quad (1)$$

$$q_t = \frac{K_2 \cdot t \cdot q_e^2}{1 + q_e \cdot K_2 \cdot t} \quad (2)$$

Ezekben az egyenletekben  $q_e$  az egyensúlyi adszorpciós kapacitás (mg/g),  $q_t$  az adszorpciós kapacitás meghatározott időpontban (mg/g),  $K_1$  a Lagergren-féle elsőrendű sebességi együttható (1/perc),  $K_2$  pedig a Lagergren-féle másodrendű sebességi együttható (g/perc·mg).

Az adszorpciós kísérleteket különböző kiindulási oldatkonzentrációk (2...600 mg/L) mellett is elvégeztem. A mérési pontokra Langmuir (3) és Freundlich (4) izotermákat illesztettem:

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot c_e}{1 + c_e \cdot K_L} \quad (3)$$

$$q_e = K_F \cdot c_e^{1/n} \quad (4)$$

ahol a  $q_e$  az adszorbeált fenol mennyisége (mg/g),  $c_e$  a fenol egyensúlyi koncentrációja az oldatban (mg/L),  $q_m$  a maximális adszorpciós kapacitás (mg/g),  $K_L$  az egyensúlyi Langmuir konstans (L/mg) és  $K_F$ , valamint  $n$  állandók. Az illesztéseket Levenberg-Marquardt iterációs algoritmus alkalmazásával számítottam Origin Pro 2018 szoftver segítségével.

Mivel a szakirodalomban fellelhető kapcsolódó publikációk eltérő körülmények között vizsgálják az adszorpciót, az RDF-alapú mintákkal végzett kísérletek eredményeit egy Thermo Fischer Scientific által forgalmazott  $\leq 2$  mm szemcseméretű és 969 mg/g jódszámú aktív szén esetén kapott értékekkel is összehasonlítottam.

#### 2.2.4. Egyéb vizsgálatok

A minták nedvességtartalmát egy Mettler Toledo HB43-S típusú nedvességmérő készülék segítségével határoztam meg 105 °C-on tömegállandóságig történő szárítással. A gázadszorpciós vizsgálatokat Ferenczi Tibor végezte el a Miskolci Egyetem Fémelőállítási és Öntészeti Intézetében egy TriStar 3000 típusú készülék segítségével. A hamutartalom vizsgálatát az MSZ EN ISO 21656:2021 „Hulladékokból kinyert szilárd tüzelőanyagok. A hamutartalom meghatározása” szabvány alapján végeztem el egy HK-45/12-V típusú izzítókemencében. A termoanalitikai vizsgálatok egy TG-DTG-DTA analízisre alkalmas MOM Derivatograph-C típusú készülék segítségével valósultak meg 10 °C/perc felfűtési sebességgel inert atmoszférában (8 L/h N<sub>2</sub>). Az RDF elemi összetételek meghatározását a Miskolci Egyetem Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézetében Koós Tamás végezte el egy Carlo Elba EA1108 típusú elemanalizátor segítségével. A hamu összetételének meghatározása egy Rigaku Supermini XRF berendezéssel valósult meg. A szilárd anyagok égéshőjének meghatározására egy Parr 6200 típusú izoperibolikus bombakalorimétert alkalmaztam. A szilárd minták szemcseméret-eloszlásának meghatározása egy Horiba LA-950 típusú lézeres szemcseméret elemző készülékkel valósult meg a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológia Intézetében. A kísérleti RDF-ből előállított aktív szénről készült pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket Kovács Árpád készítette a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében egy Zeiss EVO MA10 típusú mikroszkóppal. A gázok összetételét (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, szénhidrogének C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> és H<sub>2</sub>S) egy TCD detektorral és két kolonnával (PoraPLOT U, CP-CO<sub>x</sub>) felszerelt Agilent 490 Micro GC típusú gázkromatográfal határoztam meg.



### 3. Új tudományos eredmények

#### 1. tézis

Adszorpciók kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a nyugat-magyarországi régióra jellemző összetételű települési hulladékból előállított PVC- és PET-mentes RDF 700 °C-on történő pirolíziséből származó kokszt aktiválás nélkül is alkalmas fenol megkötésére. Az adszorpciók egyensúlyi állapot eléréséhez szükséges idő szobahőmérsékleten 2 mg/dm<sup>3</sup> kiindulási koncentrációjú fenololdatban 1 mg/mL adszorbens-oldat arányt alkalmazva megközelítőleg 64 óra.

#### 2. tézis

A 900 °C-on elvégzett elgázosítási kísérleteim során megállapítottam, hogy a nyugat-magyarországi régióra jellemző összetételű települési hulladékból előállított PVC- és PET-mentes RDF pirolízisével előállított kokszt vízgőzzel történő fizikai aktiválása során a fenolmegkötő-képesség szempontjából optimális időtartam 60±5 perc. A lézeres szemcseméret elemzés és a gázadszorpciók vizsgálatok eredményei alapján a vízgőz hozzájárul az új pórusok kialakításához és ezáltal a fajlagos felület növekedéséhez. Hosszabb kezelési idő esetén azonban az átlagos pórusátmérő és szemcseméret növekedése alapján a meglévő pórusok kiszélesedése és akár összenyílása, valamint a finomabb szemcsék agglomerizációja a fajlagos felület csökkenését eredményezi, ami az adszorpciók kapacitást negatívan befolyásolja.

#### 3. tézis

A kísérleti RDF keverékben a PP, PS és HDPE arányát 27,5 m/m%-ról 37,5 m/m%-ra, valamint 47,5 m/m%-ra növelve az RDF keverékből előállított aktív szenek esetén a fenolmegkötés hatékonysága 20 mg/L kiindulási fenolkoncentrációjú oldatban 1 mg/mL adszorbens-oldat arány mellett 47,0 %-ról rendre 53,0 %-ra és 56,2 %-ra növekedett. Ez alapján megállapítható, hogy 27,5 m/m%-tól 47,5 m/m%-ig terjedő tartományban a PP, PS, valamint HDPE arányának ±10 m/m%-os változása a kísérleti RDF keverékben ±4,6%-os adszorpciók kapacitás változást eredményez.

#### 4. tézis

Papír, PS és fa alapú keverékekkel 900 °C-on 3:1 kokszt-vízgőz arány mellett 1 órán keresztül zajló szakaszos elgázosítási kísérleteim során megállapítottam, hogy a papír jelenléte korlátozza az elgázosítási reakciók végbemenetelét, ami csökkent fajlagos felületet és adszorpciók kapacitást eredményez.

## Publikációs tevékenység

### Nemzetközi rangos folyóiratcikkek

- 1) **Emese Sebe**, Gábor Nagy, András Arnold Kállay: Steam gasification of char derived from refuse-derived fuel pyrolysis: adsorption behaviour in phenol solutions, *Environmental Technology* [2023], <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2283794>
- 2) Mai Duc Thuan, Tamás Koós, **Emese Sebe**, Zoltán Siménfalvi, András Arnold Kállay: Efficiency Enhancement of the Single Line Multi-Stage Gasification of Hungarian Low-Rank Coal: Effects of Gasification Temperature and Steam/Carbon (S/C) Ratio, *Energies*, Vol. 16. [2023] <https://doi.org/10.3390/en16114427>

### Folyóiratcikkek

- 1) **Sebe Emese**, Nagy Gábor, Kállay András Arnold: RDF pirolíziséből származó koksz és barnaszén elgázosításának vizsgálata laboratóriumi körülmények között, *International Journal of Engineering and Management Sciences/Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények* [2019], DOI: 10.21791/IJEMS.2019.4.21.
- 2) Mentés Dóra, **Sebe Emese**, Kállay András Arnold, Póliska, Csaba: The firing properties of the biofraction and RDF pellets, *Materials Science and Engineering: A Publication of University of Miskolc*, Vol. 44., No. 2. [2019], DOI: 10.32974.mse.2019.007
- 3) **Sebe Emese**, Nagy Gábor, Kállay András Arnold: Co-Gasification of Refuse Derived Fuel Char with Hungarian Brown Coal, *Materials Science and Engineering: A Publication of University of Miskolc*, Vol. 45., No. 1. [2020], DOI: 10.32974.mse.2020.026
- 4) Mai Duc Thuan, **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: The single-stage steam gasification of magnetite heavy suspension separated coal samples from hungarian brown coal, *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 74., No. 4., [2022], <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2022.23>
- 5) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Magyarországon előállított RDF frakcióinak termoanalitikai vizsgálata, *Doktorandusz Almanach*, Vol. 1., [2022]
- 6) Kurovics Emese, Ibrahim Jamal-Eldin, F. M. Tihtih Mohammed, **Sebe Emese**: Phase composition and microstructure of ceramics made from kaolin mineral, alumina, and corn starch, *Építőanyag: Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 74., No. 6., [2022], <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2022.34>
- 7) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Kommunális hulladék alapú alternatív tüzelőanyag termikus hasznosításának lehetőségei, *Doktorandusz Almanach*, Vol. 1., [2023]

- 8) **Sebe Emese**, Nagy Gábor, Kállay András Arnold: Development of lab-scale gasification systems for different possible applications, *Analecta Technica Szegedinensia*, Vol. 17., No. 4. [2023], <https://doi.org/10.14232/analecta.2023.4.25-33>
- 9) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Synthesis gas production by the co-gasification of RDF-based pyrolysis char and tar, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, Vol. 13., No. 1. [2023], <https://doi.org/10.35925/j.multi.2023.1.19>
- 10) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Aramid fiber recovery from waste composite by pyrolysis, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, Vol. 13., No. 2. [2023], <https://doi.org/10.35925/j.multi.2023.2.6>

#### **Nemzetközi konferenciakiadványban publikált cikkek**

- 1) **Emese Sebe**, Gábor Nagy, András Arnold Kállay: Laboratory Scale Pyrolysis of Organic Fraction and RDF from Municipal Solid Waste, *9th European Combustion Meeting*, Lisszabon, Portugália, 2019.04.14-17.

#### **Nemzetközi konferencia előadások**

- 1) **Emese Sebe**, Gábor Nagy, András Arnold Kállay: Laboratory Scale Pyrolysis of Organic Fraction and RDF from Municipal Solid Waste, *9th European Combustion Meeting*, Lisszabon, Portugália, 2019.04.14-17. (poszter)
- 2) **Emese Sebe**, Csenge Emese Tóth, András Arnold Kállay: Thermogravimetric Analysis of Hungarian Refuse Derived Fuel Under Inert Atmosphere, *11th European Combustion Meeting*, Rouen, Franciaország, 2023.04.26-28. (poszter)
- 3) **Emese Sebe**, John Kwame Bediako, Youssef El Ouardi: Activated carbon preparation from refuse-derived fuel via pyrolysis and steam gasification for phenol removal, *18th European Symposium on Comminution & Classification*, Miskolc, 2024.06.24-26. (poszter)
- 4) John Kwame Bediako, **Emese Sebe**, Brighton Emmanuel Maburutse, Eveliina Repo: Adsorptive treatment of potential mine tailings using bio-derived activated carbons, *18th European Symposium on Comminution & Classification*, Miskolc, 2024.06.24-26. (poszter)

#### **Egyéb konferencia előadások**

- 1) **Sebe Emese**, Nagy Gábor, Kállay András Arnold: Laboratóriumi elgázosító rendszer fejlesztése, *Környezetmérnöki Konferencia és Szakmai Nap*, Debrecen, 2019. november 7-8. (poszter)
- 2) **Sebe Emese**, Nagy Gábor, Kállay András Arnold: RDF pirolíziséből származó koks és barnaszén elgázosításának vizsgálata laboratóriumi körülmények között, *Környezetmérnöki Konferencia és Szakmai Nap*, Debrecen, 2019. november 7-8. (szóbeli előadás)

- 3) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Laboratory-scale steam gasification of char and oil obtained from RDF pyrolysis, *9th Interdisciplinary Doctoral Conference*, Pécsi Tudományegyetem, 2020.11.27. (online poszter)
- 4) Nagy Gábor, **Sebe Emese**, Dobó Zsolt, Kállay András Arnold: Gyors és rugalmas gázmintavételi és -elemzési módszer fejlesztése pirolizáló és elgázosító rendszerekhez, *METT25 - a Magyar Elváltástudományi Társaság jubileumi konferenciája*, Egerszalók, 2021. október 18-20. (poszter)
- 5) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Experimental Investigation of Syngas Production from Steam Gasification of Refuse Derived Fuel Char, *10th Interdisciplinary Doctoral Conference*, Pécs, 2021.11.12-13. (poszter)
- 6) **Sebe Emese**, Kállay András Arnold: Experimental Investigation of Syngas Production from Steam Gasification of Refuse Derived Fuel, *ICOSTEE 2022 - International Conference on Science, Technology, Engineering and Economy*, Szeged, 2022.03.24. (poszter)

## Summary

During my PhD research, I was focusing on the investigation of the complex utilization of RDF-based pyrolysis char via gasification. My aim was to develop a process that fits the concept of circular economy by providing a way of utilization for all the materials generated during the thermochemical conversion of RDF. I started my experimental work by examining a pyrolysis char from a pyrolysis pilot plant. This pilot plant was designed to convert RDF to pyrolysis gas, however, the utilization of the approximately 31 m/m% pyrolysis char (by weight of RDF) was not solved, and the wet gas cleaning process generated significant amounts of wastewater. These issues gave rise to the idea: what if pyrolysis char could be used to clean process wastewater? Based on this idea along my series of experiments I was looking for the answer to the question: **is it possible to produce activated carbon from RDF? If so, what is its adsorption capacity towards phenol?** Phenol was chosen as adsorbate, because the main components of the effluent from the purification of synthesis gases are typically different phenolic compounds.

In a series of experiments with real RDF-based pyrolysis char, I investigated the effects of gasification time and distilled water volume flow on the specific gas production, the composition of the synthesis gas and the adsorption properties of the residual char. Based on the results, I concluded that the char from the pyrolysis at 700 °C of PVC- and **PET-free RDF produced from municipal waste collected in West-Hungary is suitable for phenol removal**, even without activation. During physical activation **the optimal duration for the steam gasification of RDF-**

**based pyrolysis char at 900 °C and 5 cm<sup>3</sup>/h water volume flow is 60±5 min**, because this provides the maximum specific surface area and phenol uptake capacity.

Then, I also examined separately the most common materials in RDF (PP, PS, HDPE, paper, cardboard, cotton, wood) and their mixtures in different proportions. The production of activated carbon using the different feedstocks was carried out as follows:

1. Pyrolysis at 520 °C.
2. Physical activation with steam at 900 °C with 5 cm<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub>O and 15 g char for 1 hour.

Pyrolysis of the different mixtures resulted in secondary char formation when PS and cellulosic materials were co-pyrolyzed, which was revealed by an increased amount of residual char. During pyrolysis of the model RDF blends, an increase in the proportion of cellulosic components in the feedstock promoted the release of oxygen-containing components – including CO<sub>2</sub> – in the pyrolysis gas, leading to a decrease in the calorific value of the gas. While, the pyrolysis of plastics produced a hydrocarbon-rich gas, so the increase in the amount of plastics in the RDF essentially resulted in an increase in the calorific value of the product gas.

The order of the active carbons based on their uptake capacity was PP<PS<paper<cardboard <cotton<wood. This order was mainly determined by the specific surface area of the active carbons. **The presence of paper in the different mixtures inhibited the gasification reactions**, as confirmed by the higher than estimated amount of residual char and reduced specific surface area. During gasification, the synthesis gas production gradually decreased as the initial plastic content of the RDF mixture increased. In terms of synthesis gas, the composition of the RDF had a more significant effect on the amount of gas than its composition. **By increasing the proportion of plastics (PP, PS and HDPE) in the model RDF blend from 27.5 to 47.5 wt%, the phenol uptake capacity of the activated carbon produced from RDF increased from 9.4 to 11.2 mg/g.**