

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

BIOMASSZA ALAPÚ HULLADÉKOK
ÉRTÉKNÖVELT ÁTALAKÍTÁSA SZINTÉZISGÁZZÁ

Készítette:
Zsinka Viktória
okleveles vegyészmérnök

Készült a Pannon Egyetem
Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola
keretében

Témavezető:
Dr. habil. Miskolczi Norbert
okl. vegyészmérnök,
egyetemi docens

Pannon Egyetem
Mérnöki kar
Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék

Veszprém
2024

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az éghajlatváltozás elleni küzdelem és a környezetterhelés mérséklésének sürgető igénye a fenntartható és környezetbarát alternatív energiaforrások feltárását jelentősen ösztönözi. Ezen alternatívák közül a biomassa, annak megújuló természete és az üvegházhatású gázok kibocsátásának jelentős csökkentésére való képessége miatt ígéretes megoldás.

Annak ellenére, hogy a biomassa megújuló energiaforrás, termesztése, gyűjtése és feldolgozása káros környezeti hatásokkal is járhat. Emellett a biomassa égetése során szennyező-, és a környezetre káros anyagok, pl. szilárd részecskék, nitrogén-oxidok és illékony szerves vegyületek szabadulhatnak fel. Ezen problémák megoldására a biomassa elgázosítása ígéretes technológia, ugyanakkor az eljárás során alkalmazott katalizátorok és adszorbensek kritikus szereppel rendelkeznek a folyamatok hatékonyságának növelésében és a káros anyagok kibocsátásának csökkentésében.

A biomassa elgázosítása során keletkező szén-dioxid megkötése érdekében különféle szorbenseket alkalmaznak. Az adszorbensek fizikai, vagy kémiai kölcsönhatások révén kötik meg a szén-dioxid molekulákat, megakadályozva azok légkörbe kerülését.

Doktori értekezésemben mezőgazdasági biomassa termikus és termo-katalitikus, vízgőzös és vízgőzmentes elgázosításával foglalkoztam, melynek célja a szintézisgáz hozam növelése és a szén-dioxid kibocsátás csökkentése volt. A kutatómunka során, a folyamathatékonyság növelése érdekében az alkalmazott katalizátorok újrafelhasználási lehetőségeit is vizsgáltam. Emellett a szén-dioxid tartalom további csökkentése érdekében, különböző adszorbenseket is vizsgáltam, melyek újrahasználhatóságát és hatásvizsgálatát regenerálási ciklusokon keresztül követtem nyomon.

2. KÍSÉRLETI TEVÉKENYSÉG

A kísérleti tevékenységem célja különböző eredetű biomasszák elgázosításakor keletkezett szintézisgáz összetételének vizsgálata, mennyiségének növelése és a szén-dioxid tartalom csökkentése volt. Ezen célból öt különböző alapanyag termikus degradációját vizsgáltam 200-800°C között, továbbá négy különböző adszorbens szén-dioxid megkötő képességét követtem nyomon modell gázelegy alkalmazásával. Az alapanyag vizsgálat során egy olyan anyag kiválasztása volt a célom, mely széleskörűen elérhető, megfelelő lignocellulóz tartalommal rendelkezik, valamint az elgázosításakor jelentős mennyiségű hidrogén és szén-monoxid keletkezik. Ezt követően, az alapanyag nedvességtartalmának termékösszetételre és energiaszükségletre gyakorolt hatását vizsgáltam, míg az adszorpciós vizsgálat során a leghatékonyabb adszorbenst kiválasztva, valós gázelegyből vizsgáltam a ciklikus szén-dioxid megkötő képességet.

Megvizsgáltam az elgázosítás főbb paramétereinek (vízgőz:alapanyag arány, hőmérséklet, katalizátorok) termékösszetételre, illetve a szintézisgáz hozamra gyakorolt hatását is. Kezdetben az alkalmazott csőreaktor első, majd második zónájának hőmérsékletét határoztam meg, ezt követően a vízgőz:alapanyag arány hatását vizsgáltam 0,2-1,8 közötti tartományban. Ezután kiválasztottam egy természetes, egy szintetikus, egy mezopórusos, valamint egy szén-dioxid megkötésére alkalmas hordozót, melyekre nedves impregnálással nikkelt vittem fel, és vizsgáltam az egyes katalizátorok hatását, illetve regenerálási ciklusait (Ni/Klinoptilolit (4,9 Si/Al arányú, 18 m²/g felület); Ni/ZSM-5 (18,6 Si/Al arányú, 335 m²/g felület); Ni/Al₂O₃ (0,6 m²/g felület); Ni/CaO (55 m²/g felület)).

A kísérletek során meghatároztam egy alacsony és egy magas hőmérsékletű mérési pontot, ahol vízgőz jelenlétében a szintézisgáz hozam egyaránt jelentős volt. Végül a két leghatékonyabb katalizátort kiválasztva, valamint a leghatékonyabb adszorbenst post-situ módon alkalmaztam az elgázosítási folyamatba. Ezáltal a szén-dioxid mennyiségének további csökkentése volt elérhető.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

3.1. Alapanyag nedvességtartalmának vizsgálata

Megállapítottam, hogy a vizsgált kukorica biomasszát és az alkalmazott Ni/ZSM-5 katalizátort összekeverve, vízgőz jelenlétében, alacsonyabb hőmérsékleten (200-500°C) végzett elgázosítás során, 0%, 20% és 40% nedvességtartalom mellett, a szén-dioxid és a C₂-C₅ szénhidrogének mennyisége volt a meghatározó. Továbbá megfigyeltem, hogy a legnagyobb hidrogén hozam 0% és 40% nedvességtartalmú alapanyagnál keletkezett, valamint 900°C-on a H₂/CO arány maximálható volt. Kimutattam, hogy azonos körülmények között, a nedvességtartalmat nem tartalmazó alapanyag és katalizátor összekeverése során keletkezett a legtöbb szintézisgáz, illetve ebben az esetben volt a legnagyobb a CO/CO₂ arány.

3.2. Adszorpció vizsgálatok

- a) Megállapítottam, hogy a nem referenciaként választott, vizsgált adszorbensek (0,03 Si/Al arányú, 15,9 m²/g fajlagos felületű NaX, 1,5 Si/Al arányú, 448,2 m²/g fajlagos felületű Zeosorb 5A, 3,9 Si/Al arányú, 16,5 m²/g fajlagos felületű Klinoptilolit) közül a klinoptilolit rendelkezett a legnagyobb CO₂ kapacitással; 0°C-on 1,5 mmol CO₂/g, 30°C-on 1,1 mmol CO₂/g, illetve 60°C-on 0,8 mmol CO₂/g értékkel. Kimutattam, hogy a vizsgált klinoptilolit (Ca-típusú, összegképlete: KNa₂Ca₂(Si₉Al₇)O₇₂•24H₂O) szerkezetében, a hőmérséklet hatására végbemenő szerkezetváltozás következtében a CO₂ megkötő kapacitás jelentősen változott. A vizsgált klinoptilolit kezdetben 44% klinoptilolitot, 8% krisztolbalitot, 24% szanidint, illetve 23% amorf fázist tartalmazott, melyben a hőmérséklet növelésével 200°C felett jelentős volt a klinoptilolit szerkezetében lévő kristályvíztartalom csökkenése, 500°C felett pedig a természetes zeolitban lévő klinoptilolit részaránya jelentősen csökkent, míg az amorf, valamint szanidin fázisoké pedig növekedett. A klinoptilolit szerkezetében lévő víztartalom hátrányos volt a CO₂ megkötő kapacitás szempontjából.
- b) Megfigyeltem, hogy a klinoptilolit kezelési hőmérsékletének növelésével, annak szén-dioxid kapacitása 400°C-ig a regenerálási ciklusok előrehaladtával folyamatos javulást mutatott (~60%-os kapacitásnövekedés), majd 600°C, illetve 800°C esetében a szerkezeti változások következtében, kapacitáscsökkenés volt kimutatható. Megállapítottam, hogy a szerkezetben bekövetkező változások mellett, a többszöri regenerálás hatására a vizsgált klinoptilolit CO₂ megkötő képessége az aprózódás

következtében bekövetkező fajlagos felület (különösen a mikropórusos) növekedés miatt javuló tendenciát mutatott.

3.3. Elgázosítási előkísérletek

- a) Megállapítottam, hogy a vizsgált kukorica biomassza, 200-800°C közötti termikus degradációja során a hidrogén hozama közel 25%-kal növekedett a hőmérséklet növelésével. 400°C első reaktorzóna hőmérséklet mellett, Ni/CaO és Ni/Klinoptilolit katalizátorok jelenlétében (második reaktorzóna hőmérséklete 700°C, vízgőz alkalmazása nélkül) volt a legnagyobb a hidrogénhozam, míg a legtöbb szén-monoxid és szintézisgáz tartalom a Ni/Klinoptilolit jelenlétében adódott.
- b) Kimutattam, hogy az alkalmazott mezőgazdasági biomassza alapanyag elgázosításakor vízgőz:alapanyag arány=1 értékig (első reaktorzóna hőmérséklete 400°C, második reaktorzóna hőmérséklete 700°C) a Ni/ZSM-5 mellett a szén-monoxid és a szén-dioxid mennyisége a vízgőz:alapanyag arány növelésével csökkent, míg a Ni/CaO alkalmazásával nagy mennyiségű szén-monoxid, valamint hidrogén keletkezett, a Ni/Klinoptilolit jelenlétében pedig a H₂/CO arány volt a legnagyobb.

3.4. Elgázosítási kísérletek

Kísérleti eredményeimmel igazoltam, hogy a vizsgált katalizátorok (Ni/ZSM-5, Ni/Al₂O₃, Ni/CaO és Ni/Klinoptilolit) elgázosítási reakciókban mutatott aktivitása jelentősen eltért egymástól, más részről a kifejtett hatást a reaktorzónák hőmérséklete és a regenerálási ciklusok is jelentősen befolyásolták.

- a) Megállapítottam, hogy 400°C első reaktorzóna és 700°C második reaktorzóna hőmérsékleteknél (vízgőz nélkül) a vizsgált Ni/ZSM-5 10 regenerálási cikluson keresztül szignifikánsan csökkentette a szén-dioxid mennyiségét. A szén-monoxid mennyisége a regenerálási ciklusokkal csökkent. A hidrogéntartalmat tekintve megállapítottam, hogy a Ni/ZSM-5 jelenlétében a 4-9. regenerálási ciklusokban növekvő tendencia volt megfigyelhető. Az alacsony hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során (vízgőz jelenlétében), a szén-monoxid mennyisége a 4. és 5. regenerálási ciklusoktól kezdve, míg a szén-dioxid a 2. ciklustól kezdve a ciklusok mindegyikében csökkent. A hidrogéntartalom a Ni/ZSM-5 jelenlétében az első regenerálási ciklusban növekedett. A magas hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során (vízgőz nélkül), a regenerálási ciklusok előrehaladtával a szén-dioxid és a hidrogén mennyisége csökkent, ugyanakkor a szén-monoxid mennyisége a regenerálási ciklusok mindegyikében növekedett. A magas

- hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során (vízgőz jelenlétében), a szén-dioxid tartalom a regenerálási ciklusok előrehaladtával nőtt, míg a szén-monoxid tartalom szignifikánsan csökkent. A többnyire csökkenő szén-dioxid tartalom, valamint a növekvő CO tartalom a katalizátor nagy Si/Al arányával, fajlagos felületével és savasságával, míg a növekvő hidrogéntartalom a katalizátor nikkeltartalmával és nagy Si/Al arányával magyarázható.
- b) Megállapítottam, hogy 400°C első reaktorzóna és 700°C második reaktorzóna hőmérsékleteknél (vízgőz nélkül) a vizsgált Ni/Al₂O₃ 10 regenerálási cikluson keresztül szignifikánsan csökkentette a szén-dioxid mennyiségét. A szén-monoxid mennyisége a regenerálási ciklusokkal csökkent. A hidrogéntartalom a 4-9. regenerálási ciklusokban növekvő tendencia szerint változott. Az alacsony hőmérsékletű katalitikus elgázosítás (vízgőzzel) során a szén-dioxid mennyisége a 4. és 5. regenerálási ciklusoktól kezdve csökkent, a hidrogéntartalom a regenerálási ciklusok mindegyikében növekedett. A magas hőmérsékletű katalitikus elgázosításnál (vízgőz nélkül) a szén-monoxid tartalom minden regenerálási ciklusban csökkent, míg a CO₂ tartalom növekedett. A hidrogéntartalom a 2-7. regenerálási ciklusban növekedett. A vízgőz jelenlétében végzett magas hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során a szén-dioxid tartalom az 1-2. ciklus között csökkent, míg a szén-monoxid és a hidrogén tartalom a katalizátor regenerálása során csökkent. A katalizátor enyhe hatásai a kis fajlagos felületével magyarázható, valamint a szinterelésével, azaz a mikropórusok kialakulásával magyarázható.
- c) Megállapítottam, hogy 400°C első reaktorzóna és 700°C második reaktorzóna hőmérsékleteknél vízgőz nélkül, a Ni/Klinoptilolit 10 regenerálási cikluson keresztül szignifikánsan csökkentette a szén-dioxid mennyiségét. A szén-monoxid mennyisége a 6. regenerálási ciklusig növekedett, utána pedig csökkent. A hidrogéntartalom A vízgőz jelenlétében végzett, alacsony hőmérsékletű katalitikus elgázosításnál megfigyeltem, hogy a szén-monoxid mennyisége az 5. regenerálási ciklustól, míg a szén-dioxid a regenerálási ciklusok mindegyikében szignifikánsan csökkent. A hidrogéntartalom a regenerálási ciklusok mindegyikében növekedett. Magas hőmérsékletű katalitikus elgázosításnál, vízgőz nélkül, a szén-dioxid mennyisége szignifikánsan csökkenthető, míg a CO tartalom a 3. regenerálási ciklusig növekedett, a hidrogéntartalom enyhén csökkent. Magas hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során megállapítottam, hogy vízgőz jelenlétében a szén-dioxid tartalom a regenerálási ciklusok mindegyikében növekedett, míg a CO tartalom csak a 7. regenerálási ciklusig nőtt. A hidrogéntartalom Ni/Klinoptilolit katalizátor jelenlétében csökkent értékeket mutatott. A csökkenő szén-

dioxid tartalom, valamint a növekvő CO tartalom a katalizátor nagy kvadrupólmomentumával és savasságával magyarázható.

- d) Megállapítottam, hogy 400°C első reaktorzóna és 700°C második reaktorzóna hőmérsékleteknél, vízgőz nélkül, a vizsgált Ni/CaO a harmadik regenerálási ciklusig csökkentette a szén-dioxid mennyiségét. A szén-monoxid és a hidrogén mennyisége a regenerálási ciklusokkal csökkent. A vízgőz jelenlétében végzett, alacsony hőmérsékletű katalitikus elgázosításnál megfigyeltem, hogy a szén-monoxid, a szén-dioxid és a hidrogén tartalom a ciklusok mindegyikében jelentősen csökkent. A magas hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során, vízgőz nélkül, a regenerálási ciklusok előrehaladtával a szén-dioxid és a hidrogén mennyisége szignifikánsan csökkent, míg a CO tartalom a 6. regenerálási ciklusig növekedett. Vízgőz alkalmazásával a magas hőmérsékletű katalitikus elgázosítás során kimutattam, hogy a szén-dioxid tartalom a 6. regenerálási ciklusig csökkent, a szén-monoxid és a hidrogén tartalom pedig a regenerálási ciklusok mindegyikében szignifikáns csökkenést mutatott. A Ni/CaO katalizátor jelenlétében megfigyelhető, hogy a szén-dioxid tartalom többnyire jelentősen csökkent, ami a CaO szén-dioxid megkötő sajátosságával magyarázható köszönhetően (kiváltképp vízgőzt és alacsony hőmérsékletet alkalmazva). Emellett megfigyelhető, a szén-dioxid megkötő tulajdonság javuló hatásfoka is, mely a katalizátor szinterelésének lehetett következménye (alacsony hőmérsékletet alkalmazva az első reaktorzónában).
- e) Kimutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű (400°C első reaktorzóna hőmérséklet) katalitikus elgázosítás során a vizsgált Ni/ZSM-5, a Ni/Al₂O₃ és a Ni/CaO esetében a szintézisgáz hozam a regenerálási ciklusok mindegyikében közel állandó értékű volt. Ugyanakkor a Ni/Klinoptilolit jelenlétében a 6. regenerálási ciklusig szignifikáns növekedés volt megfigyelhető. A vizsgált katalizátorok jelenlétében a H₂/CO arány 0,06-0,36 között, míg a CO/CO₂ arány 0,7-1,3 között változott. Fontos megemlíteni, hogy a legnagyobb H₂/CO arányt a regenerálási ciklusok mindegyikében a zeolit katalizátorok adták.
- f) Megállapítottam, hogy a vízgőz jelenlétében végzett, alacsony hőmérsékletű (400°C első reaktorzóna hőmérséklet) katalitikus elgázosítás során a szintézisgáz tartalom a Ni/Al₂O₃ és a Ni/CaO jelenlétében közel állandó volt, míg a 6. regenerálási ciklusig a zeolit katalizátorok kimagasló értékeket eredményeztek. A vizsgált zeolit katalizátorok jelenlétében a H₂/CO arány 0,01-0,15 között, míg a CO/CO₂ arány 1,2-1,9 között változott, ahol utóbbi alkalmas a metanol szintézis alapanyagként.

g) Megfigyeltem, hogy a magas hőmérsékletű (800°C első reaktorzóna hőmérséklet) katalitikus elgázosítás és a vízgőz jelenlétében végzett, a magas hőmérsékletű (800°C első reaktorzóna hőmérséklet) katalitikus elgázosítás során a vizsgált katalizátorok mindegyike az 5. regenerálási ciklusig enyhén, majd utána szignifikánsan csökkentette a szintézisgáz tartalmát. Emellett a katalizátorok jelenlétében a H₂/CO aránya 0,20-0,40 között, míg a CO/CO₂ aránya 1,09-2,1 között változott.

A katalizátorok között erősrendet felállítva:

- szén-dioxid tartalom csökkentésének mértéke: Ni/Klinoptilolit > Ni/CaO > Ni/ZSM-5 > Ni/Al₂O₃
- CO/CO₂ arány növelése: Ni/Klinoptilolit > Ni/ZSM-5 > Ni/CaO > Ni/Al₂O₃
- H₂/CO arány növelése: Ni/Klinoptilolit > Ni/ZSM-5 > Ni/CaO > Ni/Al₂O₃
- szintézisgáz hozam növelése: Ni/Klinoptilolit > Ni/CaO ~ Ni/Al₂O₃ > Ni/ZSM-5
- megfelelő szintézisgáz hozam, megfelelő gázösszetétellel: Ni/Klinoptilolit ~ Ni/ZSM-5 > Ni/CaO ~ Ni/Al₂O₃

3.5. Elgázosítási kísérletek post-situ adszorpcióval

- a) Megállapítottam, hogy a vízgőz jelenlétében végzett, alacsony hőmérsékletű (400°C első reaktorzóna hőmérséklet) katalitikus elgázosításkor a szén-monoxid tartalom a vizsgált, Ni/ZSM-5 jelenlétében az 5. regenerálási ciklusig növekedett, majd utána csökkent, míg az alkalmazott, Ni/Klinoptilolit mellett a regenerálási ciklusok előrehaladtával folyamatosan növekedett. Post-situ adszorpciót alkalmazva a vizsgált Ni/Klinoptilolit jelenlétében a szén-dioxid tartalom nagymértékben csökkenthető. Emellett a szintézisgáz hozam a vízgőz jelenlétében végzett, magas hőmérsékletű (800°C első reaktorzóna hőmérséklet) katalitikus elgázosítás során a Ni/Klinoptilolit jelenlétében közel 50%-kal, míg a Ni/ZSM-5 jelenlétében közel 45%-kal növelhető.
- b) Megállapítottam, hogy a regenerálási ciklusok előrehaladtával az adszorbeált szén-dioxid tartalom csökkent, mely fő oka az adszorbens szerkezetének átalakulása volt a regenerálás okozta hőterhelés (400°C) miatt. Mindez a szén-dioxid adszorpció hatásfokcsökkenését eredményezte. Emellett kimutattam, hogy a post-situ adszorbensként elhelyezett klinoptilolit jelenlétében a szén-dioxid tartalom közel felére csökkent, emellett a szén-monoxid tartalom akár 20-60%-kal, míg a hidrogéné pedig 25-65%-kal növekedett. Megállapítottam, hogy post-situ adszorpció esetén, a szintézisgáz hozam az első reaktorzónában (400°C) alacsony hőmérsékletet alkalmazva átlagosan 68-160%-kal, míg magas hőmérséklet (800°C) mellett, 10-53%-kal növekedett.

- c) Kimutattam, hogy az eljárásban elhelyezett post-situ adszorbenssel, valamint a vizsgált Ni/ZSM-5 és a Ni/Klinoptilolit katalizátorokkal, a regenerálási ciklusok mindegyikében 94-100%-kal csökkent a szén-dioxid kibocsátás értéke.

4. AZ EREDMÉNYEK IPARI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Kutatómunkám során elért eredmények nagymértékben hozzájárultak a 2019-1.3.1-KK-2019-00015 azonosítós számú, "Körforgásos gazdasági alapokon nyugvó fenntarthatósági kompetencia központ létrehozása a Pannon Egyetemen" című projektben célul kitűzött, nagylaboratóriumi komplex elgázosító reaktorrendszer vegyész-mérnöki és gépészmérnöki tervezéséhez. A reaktorrendszer különböző eredetű biomasszák 0,8-2 kg/h kapacitással, vízgőz jelenlétben vagy anélkül, 800-1000°C hőmérsékleten, 1-5 bar nyomástartományban történő elgázosítására alkalmas. A komplex reaktorrendszer az elgázosító és reformáló reaktorok mellett, adszorber-deszorber, illetve abszorber-deszorber műveleti egységeket és kémiai úton történő gázosító egységet is tartalmaz. Ezzel a reaktorrendszerrel lehetőség lesz az elgázosítási és terméktisztítási folyamatok valós alapanyagok felhasználásával történő méretnövelt vizsgálatára.

5. A DOKTORI DOLGOZAT TÉMAKÖRÉHEZ TARTOZÓ KÖZLEMÉNYEK

5.1. A PhD dolgozat alapját képező közlemények

Idegen nyelvű, külföldi folyóiratban megjelent közlemény:

1. **V. Zsinka**, B. L. Tarcsay, N. Miskolczi, (2024) Determination of kinetic and thermodynamic parameters of biomass gasification with TG-FTIR and regression model fitting. *Energies* 17, 1875. <https://doi.org/10.3390/en17081875>
2. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, (2024) Investigation of regeneration cycles with different catalysts on steam gasification of biomass. *Journal of the Energy Institute* 114, 101632. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2024.101632>
3. **V. Zsinka**, Sz. Tomasek, N. Miskolczi, (2023) Feasibility and economic issues of biomass pyrolysis-gasification: the effect of moisture content of raw material. *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 99, 73-78. 10.3303/CET2399013
4. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, T. Juzsakova, M. Jakab, (2022) Pyrolysis-gasification of biomass using nickel modified catalysts: The effect of the catalyst regeneration on the product properties. *Journal of the Energy Institute*, Vol. 105, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2022.08.003>

Nemzetközi, idegen nyelvű konferencia előadás teljes szövegű megjelenéssel:

1. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Investigation of regeneration cycles with different catalysts on steam gasification of biomass, 17th SDEWES, 06-10th of November, 2022. Paphos, Cyprus

Nemzetközi, idegen nyelvű konferencia előadás kivonatos megjelenéssel:

1. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Pyrolysis-gasification of waste biomass with post-situ carbon capture, 24th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis (Pyro2024), 19-23 May, **2024** Beijing, China
2. **V. Zsinka**, Sz. Tomasek, N. Miskolczi, Feasibility and economic issues of biomass pyrolysis-gasification: the effect of moisture content of raw material, ICheaP 16, 21-24 of May, **2023**. Naples, Italy
3. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Investigation of scale-up and sustainable aspects of biomass gasification for syngas production, iconBM, Naples, Italy, 5-8 June, **2022**.
4. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Adsorption based CO₂ capture with diverse featured zeolites, 27th Joint Annual Conference of the Chinese Society of Chemical Science and Technology in the UK and Society of Chemical Industry's Chinese UK Regional Group (CSCST-SCI), 11-12 September **2020**., Belfast, UK

Magyar nyelvű konferencia előadás kivonatos megjelenéssel:

1. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Biomassza elgázosítása laboratóriumi berendezésben, XXVIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Nagyvárad, október 27-29. **2022**.
2. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Kinetic study of biomass degradation using the TGA-FTIR method, Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, április 26-28. **2022**.

5.2. A PhD dolgozat tématerületét érintő közlemények

Idegen nyelvű, külföldi folyóiratban megjelent közlemény:

1. **V. Zsinka**, J. Bobek-Nagy, A. Egedy, N. Miskolczi, Sz. Tomasek, H. Yang, (**2022**) Techno-economical analysis of CO₂ capture from biomass-derived syngas. Chemical Engineering Transactions, Vol.92. <https://doi.org/10.3303/CET2292078>
2. N. Miskolczi, **V. Zsinka**, O. Tóth, Z. Eller, N. Gao, Q. Cui, J. Bobek, (**2020**) Co-pyrolysis- reforming of Biomass and Residues from Waste Polymer Pyrolysis for CO₂ Reduction and Syngas Enhancement, Chemical Engineering Transactions, 81, 1195-1200. <https://doi.org/10.3303/CET2081200>
3. B. Fekhar, **V. Zsinka**, N. Miskolczi, (**2020**) Thermo-catalytic co-pyrolysis of waste plastic and paper in batch and tubular reactors for in-situ product improvement. Journal of Environmental Management, 269, 110741. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110741>
4. B. Fekhar, **V. Zsinka**, N. Miskolczi, (**2019**) Value added hydrocarbons obtained by pyrolysis of contaminated waste plastics in horizontal tubular reactor: in situ upgrading of the products by chlorine capture. Journal of Cleaner Production, Volume 241, 118116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118116>
5. B. Fekhar, **V. Zsinka**, N. Miskolczi, (**2019**) Fuels by chemical recycling of waste plastic and biomass mixture and utilization of the products, Chemical Engineering Transactions, Volume 76, 1447-1452, <https://doi.org/10.3303/CET1976242>

Magyar nyelvű, hazai folyóiratban megjelent közlemény:

1. **Zsinka V.**, Nagy N. L., Miskolczi N., (**2020**) Műanyag-kompozitok és szintézisgáz előállítás Tetra Pak hulladékok újrahasznosításával, Polimerek VI. szám

Nemzetközi, idegen nyelvű konferencia előadás kivonatos megjelenéssel:

1. **V. Zsinka**, N. Miskolczi, Thermo-catalytic recycling of WEEE in one stage and two stage reactors FRPM 29 August – 1 September, Budapest **2021**.
2. B. Fekhar, **V. Zsinka**, N. Gao, C. Quan, J. Sója, N. Miskolczi, Thermo-catalytic pyrolysis of waste plastics and biomass mixtures using Ni/ZSM-5 and Ni/SAPO-11 based catalysts: a kinetic approach, 6th International Conference on Biomass Energy (ICBE 2018), Wuhan, 16- 19 October, China, **2018**
3. J. Sója, N. Miskolczi, **V. Zsinka**, 6th International Symposium on Gasification and its Application, Chengdu, China Valuable Gas and Liquid Hydrocarbon Products from Plastics Waste Pyrolysis over Different Modified Y-zeolite Catalysts, October 25-28, **2018**

Magyar nyelvű konferencia előadás kivonatos megjelenéssel:

1. **Zsinka V.**, Miskolczi N., Production of hydrogen/synthesis gas by catalytic pyrolysis reforming of multi-component polymer wastes from the packaging industry, XIV. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia és 62. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Balatonszárszó, SDG Családi Hotel és Konferencia-központ, **2019**. november 11-13.
2. M. Al-asadi, Miskolczi N., **Zsinka V.**, High temperature pyrolysis of real wastes polymers for hydrogen rich syngas production, Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, **2019**. április 16-18.
3. **Zsinka V.**, Fekhar B., Miskolczi N., Low-temperature thermocatalytic thermal decomposition of waste polymers: in-situ quality improvement of products, XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia, október 24-27., Szovátafürdő, Románia, **2018**

6. TUDOMÁNYMETRIAI ADATOK

A PhD dolgozat alapját képező közlemények száma:	4
összesített hatástényező:	14,3
A PhD dolgozat tématerületét érintő egyéb közlemények száma:	6
összesített hatástényező:	14,035
Folyóiratcikkek:	
- idegen nyelvű, külföldi folyóiratban megjelent lektorált közlemény:	9
- idegen nyelvű, magyar folyóiratban megjelent lektorált közlemény	1
Konferencia kiadványokban megjelent közlemények:	
- nemzetközi konferencia kiadványban megjelent idegen nyelvű közlemény:	1
- nemzetközi konferencia kiadványban megjelent idegen nyelvű kivonat:	6
- hazai konferencia kiadványban megjelent magyar nyelvű közlemény:	5
Összes közleményeinek száma:	10
Közlemények összes hatástényezője:	28,335
Független hivatkozások száma (Scopus alapján):	94
h-index:	4

Veszprém, 2024. szeptember 2.