

Politechnika Śląska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice

(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego, wybranego
do przeprowadzenia postępowania)

za pośrednictwem:

Rady Doskonałości Naukowej

pl. Defilad 1

00-901 Warszawa

(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Balal Yousaf

(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Politechnika Śląska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów

(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 02.04.2026 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych** w dyscyplinie¹ **inżynieria środowiska,
górnictwo i energetyka**.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia
doktora habilitowanego: cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie
z art. 219 ust. 1. pkt. 2b Ustawy, zatytułowany:

**„Innowacyjne technologie oparte na biowęglu do remediacji środowiska:
Optymalizacja produkcji, funkcjonalizacja i mechanistyczne ścieżki w łagodzeniu
zanieczyszczeń”**

**Tytuł angielski: „Innovative Biochar-Based Technologies for Environmental
Remediation: Optimized Production, Functionalization, and Mechanistic
Pathways in Pollution Mitigation”**

Wnioskuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

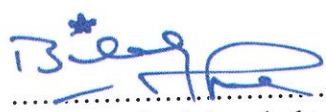
*Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)*


¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września
2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz.
1818).


² * Niepotrzebne skreślić.

Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 - 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html


.....
(podpis wnioskodawcy)


Signed by /
Podpisano przez:
Balal Yousaf
Politechnika Śląska
Date / Data: 2026-04-02 22:09



Załączniki:

1. Wniosek przewodni.
2. Dane wnioskodawcy.
3. Autoreferat.
4. Wykaz osiągnięć.
5. Oświadczenia habilitanta oraz współautorów prac.
6. Artykuły zaliczone do cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych.
7. Kopia dyplomu doktora.

Załącznik 3

AUTOREFERAT

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku,
osiągnięć naukowych, osiągnięć dydaktycznych,
współpracy naukowej i popularyzacji nauki**

dr inż. Balal Yousaf, Prof. PŚ

Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Politechnika Śląska, Gliwice

Gliwice, Kwiecień 2026

Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane stopnie naukowe	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2. Wprowadzenie	4
4.3. Termiczna konwersja biowęgla dla bezpieczeństwa i wydajności	10
4.4. Zaawansowana funkcjonalizacja biowęgla w celu zwiększenia skuteczności ograniczania zanieczyszczeń	17
4.5. Strategie remediacji zanieczyszczonych układów gleba-roślina oparte na biowęgla	29
4.6. Rola biowęgla w przemianach projektowanych nanocząstek	38
4.7. Podsumowanie	48
4.8. Pozostałe osiągnięcia naukowe	49
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	73
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	75
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej	76

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Balal Yousaf

Indeks Hirscha: 58; indeks i10: 118; liczba cytowań: ok. 8500 (badacz zaliczany do grona 2% najczęściej cytowanych naukowców na świecie)

Profile naukowe:

- Scopus: 57142523400
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57142523400>
- ORCID: 0000-0003-2732-2176
<https://orcid.org/0000-0003-2732-2176>
- Researcher ID: M-7567-2015
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/M-7567-2015>
- Google Scholar: Balal Yousaf
<https://scholar.google.com/citations?user=K2rfau4AAAAJ&hl=en>
- ResearchGate: Balal-Yousaf-2
<https://www.researchgate.net/profile/Balal-Yousaf-2>

2. Posiadane stopnie naukowe

Stopień doktora w zakresie nauk o środowisku i inżynierii środowiska (lipiec 2017)

CAS Key Laboratory of Crust-Mantle Materials and the Environments, School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, Chiny

Tytuł rozprawy doktorskiej: Matrycowe profilowanie chemiczne oraz analiza składu izotopów trwałych pirogenicznego węgla otrzymanego z biomasy i jego zastosowań środowiskowych

Tytuł zawodowy magistra z wyróżnieniem w zakresie gleboznawstwa i nauk o środowisku (wrzesień 2013)

Institute of Soil and Environmental Science, University of Agriculture Faisalabad, Pakistan

Tytuł pracy magisterskiej: *Sekwestracja węgla podczas rekultywacji gleby zanieczyszczonej kadmem z zastosowaniem dodatków organicznych*

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Profesor uczelni (lipiec 2023 – obecnie)

Katedra Technologii i Instalacji Gospodarki Odpadami, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, 44–100 Gliwice, Polska

Wyróżniający się profesor nadzwyczajny (lipiec 2019 – lipiec 2023)

nauki o środowisku i inżynieria środowiska, School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China (USTC), Hefei, Chiny

Główny naukowiec wizytujący (styczeń 2020 – grudzień 2022)

Program 2232 – International Fellowship for Outstanding Researcher (TÜBİTAK), Middle East Technical University, Ankara, Turcja

Adiunkt / CAS President’s International Fellow (lipiec 2017 – czerwiec 2019)

Key Laboratory of Crust-Mantle Materials and Environment, University of Science and Technology of China (USTC), Hefei, Chiny

Stypendysta badawczy CAS-TWAS President’s Research Fellow (wrzesień 2014 – lipiec 2017)

School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China (USTC), Hefei, Chiny

Zastępca kierownika ds. monitoringu środowiska (wrzesień 2013 – sierpień 2014)

Dział Badań i Rozwoju, Madina Group of Industries, Chiniot, Pakistan

Asystent dydaktyczny / stypendysta badawczy (sierpień 2011 – lipiec 2013)

Institute of Soil and Environmental Science, University of Agriculture Faisalabad (ISES-UAF), Pakistan

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Innowacyjne technologie oparte na biowęglu do remediacji środowiska: Optymalizacja produkcji, funkcjonalizacja i mechanistyczne ścieżki w łagodzeniu zanieczyszczeń

4.2. Wprowadzenie

Publikacje przedstawione w Tabeli 1 obejmują zestaw wieloautorskich artykułów naukowych (H1–H10), które stanowią podstawę niniejszego osiągnięcia habilitacyjnego i

koncentrują się na wytwarzaniu, optymalizacji, modyfikacji oraz zastosowaniu biowęgla w remediacji środowiska. Publikacje te dokumentują istotny wkład w rozwój dyscypliny, obejmując zagadnienia związane z wytwarzaniem i charakterystyką biowęgla, przemianami metaloidów i metali, oddziaływaniami nanocząstek oraz ograniczaniem zanieczyszczeń w złożonych układach środowiskowych.

Łączna wartość dwuletnia Impact Factor tych publikacji, według roku wydawniczego 2026, wynosi 92,15, co potwierdza wysoką rangę i jakość czasopism, w których zostały opublikowane. Łączna liczba punktów MEiN przypisana tym publikacjom wynosi 1460, co podkreśla ich uznanie akademickie w środowisku naukowym. Ponadto łączna liczba cytowań prac zgłoszonych jako osiągnięcie wynosi 587 według Google Scholar, 462 według Web of Science oraz 501 według Scopus (dane pozyskane 1 kwietnia 2026 r.), co wskazuje na ich znaczący wpływ oraz aktualność w obszarze nauk o środowisku i inżynierii środowiska.

Wśród tych publikacji znajdują się dwie prace zaliczane do grupy Top 1% według zestawienia Scopus oraz siedem prac należących do grupy Top 5% według zestawienia Scopus, co dodatkowo potwierdza znaczenie tego dorobku publikacyjnego w wysoko notowanych źródłach naukowych. Zakres tematyczny tych prac tworzy spójną i kompleksową podstawę osiągnięcia habilitacyjnego, koncentrując się na przemianach zanieczyszczeń, zastosowaniach biowęgla oraz oddziaływaniach projektowanych nanocząstek w systemach środowiskowych.

Tabeli 1. Wykaz publikacji zgłoszonych jako osiągnięcie.

H1) Cheema A., Amina , Ullah H., Munir M., Rehman A., Sarma H., Pikoń K., **Yousaf B*** (2024) Unraveling the mechanisms of free radicals-based transformation and accumulation of potentially toxic metal(loid)s in biochar- and compost-amended soil-plant systems, Journal of Cleaner Production, 449: 141767, 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141767>

Dwuletni Impact Factor (2026/2024): 10,0/9,7; punkty MEiN (2026/2024): 140/140; cytowania: 14

Wkład Wnioskodawcy: Jako autor korespondencyjny pozyskałem finansowanie oraz sprawowałem nadzór nad realizacją badań, kierując projektowaniem eksperymentów dotyczących roli biowęgla i kompostu w przemianach metali i metaloidów.

Uczestniczyłem w gromadzeniu danych dotyczących immobilizacji potencjalnie toksycznych metali oraz analizie wolnych rodników, a także dbałem o klarowną prezentację uzyskanych wyników.

H2) Abbas, Q., **Yousaf, B***., Mujtaba Munir, M.A., Cheema, A.I., Hussain, I., Rinklebe, J (2021) Biochar-mediated transformation of titanium dioxide nanoparticles concerning TiO₂NPs-biochar interactions, plant traits and tissue accumulation to cell translocation. Environ. Pollut. 270: 116077. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116077>

Dwuletni Impact Factor (2026/2021): 7,3/9,98; punkty MEiN (2026/2021): 100/100; cytowania: 25

Wkład Wnioskodawcy: Jako autor korespondencyjny pozyskałem finansowanie, nadzorowałem pracę badacza na stanowisku postdoctoral researcher oraz kierowałem badaniami dotyczącymi oddziaływań między biowęgłem a nanocząstkami ditlenku tytanu. Odpowiadałem za analizy biodostępności nanocząstek, ocenę ograniczania ich toksyczności wobec roślin oraz przygotowanie manuskryptu.

H3) Başer, B., **Yousaf, B***., Yetis, U., Abbas, Q., Kwon, E.E., Wang, S., Bolan, N.S., Rinklebe, J (2021) Formation of nitrogen functionalities in biochar materials and their role in the mitigation of hazardous emerging organic pollutants from wastewater. J. Hazard. Mater. 416: 126131 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126131>

Dwuletni Impact Factor (2026/2021): 11,3/14,224; punkty MEiN (2026/2021): 200/200; cytowania: 105

Wkład Wnioskodawcy: Jako autor korespondencyjny pozyskałem finansowanie oraz sprawowałem opiekę naukową nad studentem, kierując syntezą materiałów biowęglowych domieszkowanych azotem. Analizowałem skuteczność usuwania zanieczyszczeń z wód ściekowych oraz rolę azotowych grup funkcyjnych, zapewniając prawidłową realizację badań.

H4) **Yousaf, B#.**, Liu, G., Ubaid Ali, M., Abbas, Q., Liu, Y., Ullah, H., Imtiyaz Cheema, A (2021) Decisive role of vacuum-assisted carbonization in valorization of lignin-enriched (Juglans regia-shell) biowaste. Bioresour. Technol. 323. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124541>

Dwuletni Impact Factor (2026/2021): 9,0/11,889; punkty MEiN (2026/2021): 140/140; cytowania: 18

Wkład Wnioskodawcy: Kierowałem eksperymentami mającymi na celu optymalizację warunków pirolizy dla produkcji biowęgla z odpadów biologicznych. Nadzorowałem analizy wpływu wspomaganą próżniowo pirolizy na stabilizację węgla w biowęgłu

oraz jego właściwości związane z usuwaniem zanieczyszczeń.

H5) Abbas, Q., **Yousaf, B***., Ullah, H., Ali, M.U., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M., Rinklebe, J (2020) Biochar-induced immobilization and transformation of silver-nanoparticles affect growth, intracellular-radicles generation and nutrients assimilation by reducing oxidative stress in maize. J. Hazard. Mater. 390. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121976>

Dwuletni Impact Factor (2026/2020): 11,3/10,588; punkty MEiN (2026/2020): 200/200; cytowania: 65

Wkład Wnioskodawcy: Jako autor korespondencyjny pozyskałem finansowanie i sprawowałem nadzór nad badaniami dotyczącymi wpływu biowęgla na toksyczność nanocząstek srebra w glebach. Koordynowałem eksperymenty związane z ograniczaniem biodostępności nanocząstek oraz łagodzeniem stresu oksydacyjnego u roślin, kierując całym procesem badawczym.

H6) Abbas, Q#, Liu, G#, **Yousaf, B# (Co-first author)**., Ali, M.U., Ullah, H., Ahmed, R (2019) Effects of biochar on uptake, acquisition and translocation of silver nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to growth, photosynthetic traits and nutrients displacement. Environ. Pollut. 250, 728–736. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.083>

Dwuletni Impact Factor (2026/2020): 7,3/6,79; punkty MEiN (2026/2020): 100/100; cytowania: 78

Wkład Wnioskodawcy: Kierowałem eksperymentami dotyczącymi roli biowęgla w ograniczaniu pobierania i translokacji nanocząstek srebra w roślinach ryżu. Nadzorowałem gromadzenie danych dotyczących kondycji roślin, pobierania składników pokarmowych oraz ograniczania toksyczności nanocząstek.

H7) Ullah, H., Abbas, Q., Ali, M.U., Amina, Cheema, A.I., **Yousaf, B***., Rinklebe, J (2019) Synergistic effects of low-/medium-vacuum carbonization on physico-chemical properties and stability characteristics of biochars. Chem. Eng. J. 373, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.025>

Dwuletni Impact Factor (2026/2019): 13,2/10,652; punkty MEiN (2026/2019): 200/200; cytowania: 52

Wkład Wnioskodawcy: Jako autor korespondencyjny byłem odpowiedzialny za pozyskanie finansowania oraz nadzór nad pracą studentów. Kierowałem badaniami nad stabilnością termiczną biowęgla podczas pirolizy, nadzorując analizy zdolności adsorpcyjnej wobec zanieczyszczeń oraz uczestnicząc w interpretacji wyników.

H8) **Yousaf, B#.**, Liu, G., Abbas, Q., Ullah, H., Wang, R., Zia-ur-Rehman, M., Amina, Niu, Z (2018) Comparative effects of biochar-nanosheets and conventional organic-amendments on health risks abatement of potentially toxic elements via consumption of wheat grown on industrially contaminated-soil. *Chemosphere* 192, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.137>

Dwuletni Impact Factor (2024/2018): 8,15/5,108; punkty MEiN (2026/2018): 140/35; cytowania: 50

Wkład Wnioskodawcy: Kierowałem oceną wpływu nanosiatek biowęglowych oraz konwencjonalnych dodatków organicznych na biodostępność potencjalnie toksycznych pierwiastków. Uczestniczyłem w ocenie wzrostu roślin oraz analizie skuteczności remediacji gleb zanieczyszczonych.

H9) **Yousaf, B#.**, Liu, G., Abbas, Q., Ali, M.U., Wang, R., Ahmed, R., Wang, C., Al-Wabel, M.I., Usman, A.R.A (2018) Operational control on environmental safety of potentially toxic elements during thermal conversion of metal-accumulator invasive ragweed to biochar. *J. Clean. Prod.* 195, 458–469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.246>

Dwuletni Impact Factor (2026/2018): 10,0/6,395; punkty MEiN (2026/2018): 140/40; cytowania: 64

Wkład Wnioskodawcy: Prowadziłem eksperymenty dotyczące roli biowęgla w przemianach toksycznych metali podczas procesów konwersji termicznej. Kierowałem analizą immobilizacji metali oraz wpływu biowęgla na bezpieczeństwo środowiskowe w glebach zanieczyszczonych..

H10) **Yousaf, B#.**, Liu, G., Abbas, Q., Wang, R., Ullah, H., Mian, M.M., Amina, Rashid, A (2018) Enhanced removal of hexavalent chromium from aqueous media using a highly stable and magnetically separable rosin-biochar-coated TiO₂-C nanocomposite. *RSC Adv.* 8, 25983–25996. <https://doi.org/10.1039/c8ra02860e>

Dwuletni Impact Factor (2026/2018): 4,6/3,049; punkty MEiN (2026/2018): 100/35; cytowania: 30

Wkład Wnioskodawcy: Koordynowałem syntezę oraz charakterystykę kompozytów biowęgiel–TiO₂ przeznaczonych do usuwania Cr(VI) z roztworów wodnych. Kierowałem gromadzeniem danych i analizą zdolności adsorpcyjnej oraz katalitycznej degradacji chromu.

Przedstawiony dorobek naukowy powstawał na przestrzeni wielu lat i w ramach współpracy z różnymi ośrodkami naukowymi, odzwierciedlając istotny wkład w rozwój technologii biowęgla oraz remediacji środowiska. Badania realizowane w latach 2023–2024 prowadzono w Katedrze Technologii i Instalacji Gospodarki Odpadami, na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Prace badawcze z lat 2017–2019 były realizowane na University of Science and Technology of China, uczelni zaliczanej do grona 100 najlepszych uniwersytetów na świecie, natomiast badania prowadzone w latach 2020–2022 realizowano wspólnie na University of Science and Technology of China oraz na Middle East Technical University w Ankarze w Turcji.

Osiągnięcia naukowe przedstawione w omawianych publikacjach obejmują pełne spektrum technologii opartych na biowęglu stosowanych w remediacji środowiska, odnosząc się zarówno do podstawowych aspektów poznawczych, jak i do praktycznych zastosowań. Dorobek ten koncentruje się na optymalizacji wytwarzania biowęgla z wykorzystaniem zaawansowanych technik konwersji termicznej, ukierunkowanych na zwiększenie skuteczności i bezpieczeństwa w ograniczaniu zanieczyszczeń. Prace te szczegółowo analizują rolę biowęgla w przemianach oraz immobilizacji zanieczyszczeń, takich jak metale ciężkie i projektowane nanocząstki, zarówno w układach gleba–roślina, jak i w środowiskach hydroponicznych. Badania obejmują ponadto funkcjonalizację biowęgla azotem oraz innymi pierwiastkami, co w istotny sposób zwiększa jego skuteczność w usuwaniu złożonych zanieczyszczeń ze ścieków oraz środowisk wodnych. Analiza oddziaływań pomiędzy biowęgłem a nanocząstkami, a także ocena wpływu biowęgla na cechy roślin i dynamikę składników pokarmowych, pozwoliły na opracowanie kompleksowych strategii remediacji gleb i wód zanieczyszczonych. Tym samym badania te odpowiadają na istotne wyzwania globalne związane z zanieczyszczeniem środowiska oraz potrzebą rozwoju zrównoważonych praktyk agroekologicznych. Całość dorobku przedstawia nowatorskie i zintegrowane podejście do ograniczania zanieczyszczeń, podkreślając wszechstronność biowęgla jako zrównoważonego i wielofunkcyjnego materiału służącego rozwiązywaniu różnorodnych problemów środowiskowych.

Główne obszary badawcze obejmują:

- termiczną konwersję biowęgla ukierunkowaną na zwiększenie bezpieczeństwa i efektywności,

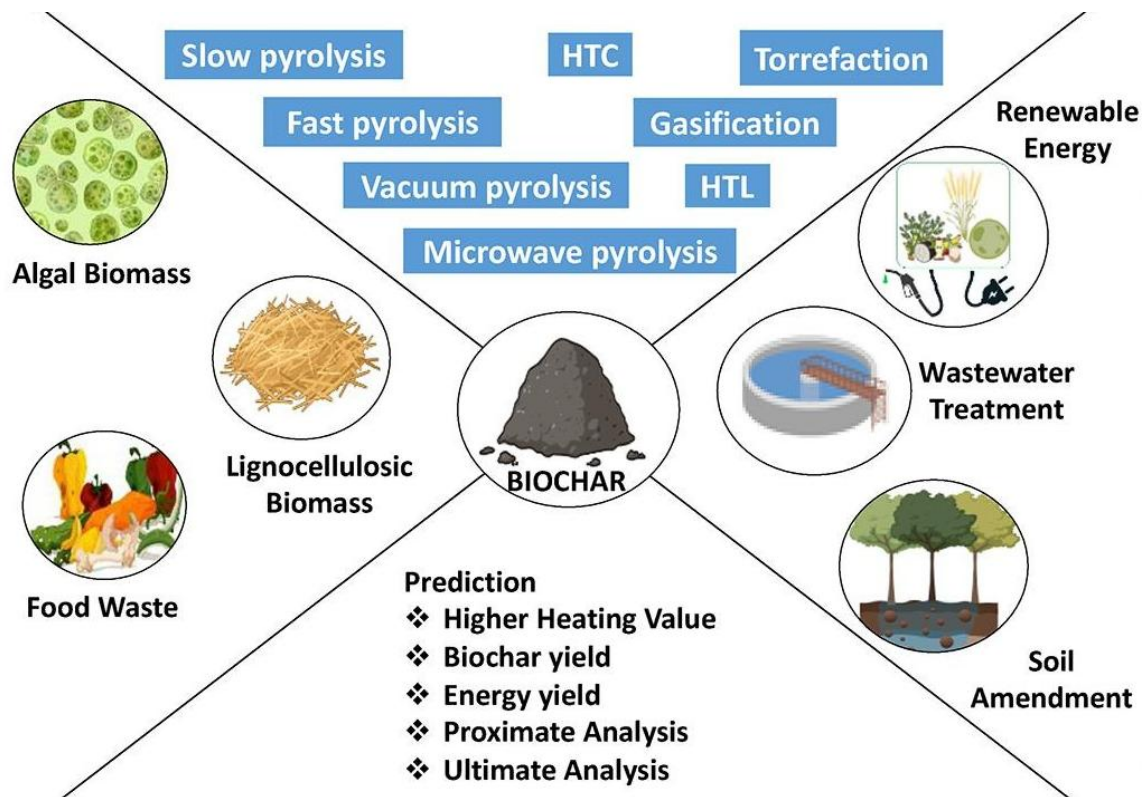
- zaawansowaną funkcjonalizację biowęgla w celu zwiększenia skuteczności ograniczania zanieczyszczeń,
- strategii remediacji zanieczyszczonych układów gleba-roślina z wykorzystaniem biowęgla,
- rolę biowęgla w przemianach projektowanych nanocząstek.

4.3. Termiczna konwersja biowęgla na potrzeby bezpieczeństwa i efektywności

Biowęgiel, otrzymywany w procesie termicznego rozkładu materiałów organicznych w warunkach ograniczonego dostępu tlenu, wzbudził znaczne zainteresowanie ze względu na jego potencjalne zastosowania w remediacji środowiska, sekwestracji węgla oraz rolnictwie (rys. 1). Proces konwersji termicznej odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu właściwości fizycznych i chemicznych biowęgla, które z kolei determinują jego skuteczność w różnych zastosowaniach (Yuwen i in., 2021). Nowoczesne techniki konwersji termicznej obejmują zarówno pirolizę niskotemperaturową, jak i bardziej zaawansowane procesy karbonizacji wspomaganą próżnią, z których każda oferuje określone korzyści w zakresie optymalizacji powierzchni właściwej, porowatości oraz grup funkcyjnych biowęgla (Kolli i in., 2023). Nadal jednak istnieją istotne wyzwania związane z precyzyjnym dostrojeniem tych procesów, tak aby otrzymany biowęgiel był jednocześnie bezpieczny i efektywny w długoterminowych zastosowaniach środowiskowych, zwłaszcza w sytuacjach, w których oddziałuje on z zanieczyszczeniami, takimi jak metale ciężkie, projektowane nanocząstki czy zanieczyszczenia organiczne.

Znaczenie konwersji termicznej wynika z jej bezpośredniego wpływu na stabilność biowęgla, jego zdolność do adsorpcji zanieczyszczeń oraz bezpieczeństwo środowiskowe (Hye-Bin i in., 2024). Przykładowo, niepełna karbonizacja może prowadzić do pozostawiania potencjalnie szkodliwych związków lotnych, natomiast konwersja prowadzona w wysokiej temperaturze może obniżać skuteczność biowęgla wskutek degradacji jego grup funkcyjnych (Nusrat i in., 2024). W związku z tym do kluczowych pytań badawczych w tym obszarze należą: w jaki sposób zoptymalizować proces konwersji termicznej, aby maksymalizować stabilność biowęgla i jego efektywność adsorpcyjną? Jakie aspekty bezpieczeństwa należy uwzględnić przy wytwarzaniu biowęgla na potrzeby wielkoskalowych zastosowań środowiskowych, w tym w szczególności w kontekście minimalizacji uwalniania zanieczyszczeń podczas procesu

konwersji? W jaki sposób metoda termiczna wpływa na długoterminową trwałość oraz efektywność środowiskową biowęgla?



Rys. 1. Metody wytwarzania biowęgla z różnych strumieni odpadów oraz jego zastosowania środowiskowe.

Badania w tym zakresie mają szczególne znaczenie dla zapewnienia, że biowęgiel może być wykorzystywany w sposób wiarygodny i bezpieczny w oczyszczaniu środowiska, rolnictwie oraz gospodarce odpadami, bez generowania nowych zagrożeń środowiskowych (Yuwen i in., 2021). Udzielenie odpowiedzi na powyższe pytania pozwala rozwijać technologie biowęglowe w kierunku zrównoważonych i skalowalnych rozwiązań służących kontroli zanieczyszczeń oraz poprawie jakości gleb. Prace przedstawione w publikacjach H7 i H9 szczegółowo analizują te zagadnienia, koncentrując się na metodach karbonizacji w warunkach niskiej i średniej próżni oraz na kontroli operacyjnej podczas termicznej konwersji biowęgla.

H7) Ullah, H., Abbas, Q., Ali, M.U., Amina, Cheema, A.I., Yousaf, B, Rinklebe, J (2019) Synergistic effects of low-/medium-vacuum carbonization on physico-chemical properties and stability characteristics of biochars. Chem. Eng. J. 373, 44–57*

Praca ta podejmuje kluczowy problem związany z wytwarzaniem biowęgla, jakim jest optymalizacja procesu karbonizacji w celu poprawy właściwości fizykochemicznych oraz długoterminowej stabilności biowęgla przeznaczonego do zastosowań środowiskowych. Tradycyjny proces pirolizy stosowany do wytwarzania biowęgla prowadzony jest najczęściej w atmosferze bogatej w azot, w zróżnicowanych zakresach temperatury (Yang i in., 2017). Jednak wpływ warunków niskiej i średniej próżni, które mogą potencjalnie zwiększać efektywność procesu oraz poprawiać właściwości otrzymywanego biowęgla, nie został dotychczas w pełni rozpoznany (Raquel i in., 2018).

W procesie produkcji biowęgla kluczowe znaczenie ma zachowanie równowagi pomiędzy wydajnością procesu a właściwościami funkcjonalnymi materiału, takimi jak stabilność węgla, powierzchnia właściwa oraz porowatość, które decydują o jego przydatności jako dodatku do gleb, materiału do sekwestracji węgla oraz środka do ograniczania zanieczyszczeń (Ju i in., 2018). Istotnym problemem pozostaje fakt, że tradycyjne techniki pirolizy nie zawsze prowadzą do uzyskania biowęgla o optymalnej stabilności i właściwościach fizykochemicznych, co ogranicza jego długoterminową skuteczność w wymienionych zastosowaniach (Yang i in., 2017). W związku z tym zasadniczym zagadnieniem podjętym w tej pracy było ustalenie, czy piroliza próżniowa, prowadzona w warunkach niskiego i średniego ciśnienia, może poprawić jakość biowęgla pod względem jego stabilności i funkcjonalności w porównaniu z metodami konwencjonalnymi.

Badanie to wykazało, że piroliza wspomagana próżnią może w istotny sposób przyczynić się do rozwoju technologii wytwarzania biowęgla, dowodząc, iż proces ten umożliwi otrzymanie materiału o zwiększonej stabilności oraz bardziej korzystnych właściwościach fizykochemicznych (rys. 2). Ma to szczególne znaczenie dla sektorów związanych ze zrównoważoną gospodarką odpadami, remediacją środowiska oraz łagodzeniem skutków zmian klimatu poprzez sekwestrację węgla. Warunki próżniowe mogą ponadto ograniczać zużycie energii niezbędnej do produkcji biowęgla, co dodatkowo zwiększa efektywność i zrównoważony charakter tego procesu (Shin i in., 2020). W kontekście rosnącego zainteresowania biowęgłem jako materiałem służącym poprawie jakości gleb oraz ograniczaniu zanieczyszczeń, badanie to dostarcza innowacyjnych wniosków, które mogą sprzyjać skuteczniejszemu wdrażaniu biowęgla w zastosowaniach wielkoskalowych.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że biowęgiel otrzymywany w warunkach niskiej i średniej próżni charakteryzował się istotnie korzystniejszymi

właściwościami niż biowęgiel wytwarzany w konwencjonalnych warunkach atmosfery azotowej. Stwierdzone różnice obejmowały przede wszystkim:

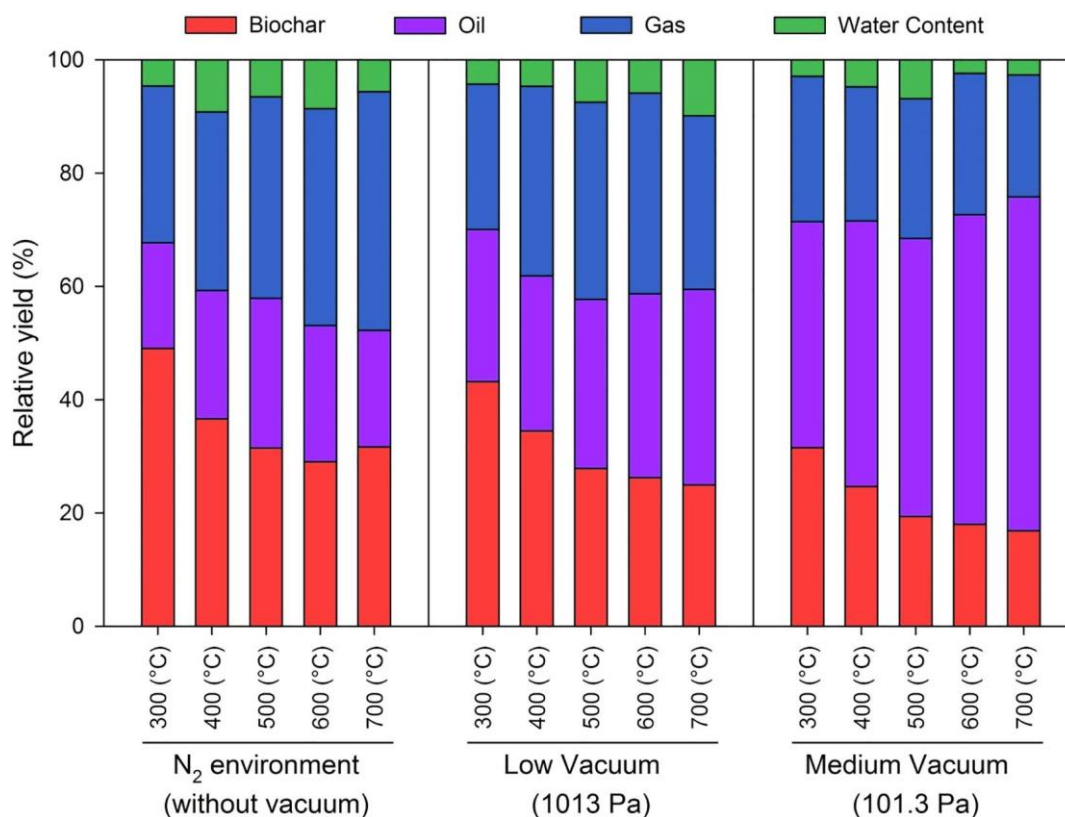
- uzyskanie biowęglu o wyższym stopniu aromatyczności, co ma kluczowe znaczenie dla jego długoterminowej zdolności do sekwestracji węgla,
- obecność bardziej aktywnych powierzchniowych grup funkcyjnych, zwiększających reaktywność materiału i jego skuteczność w remediacji środowiska,
- większą odporność na degradację oksydacyjną, co przekłada się na większą trwałość biowęglu w zastosowaniach środowiskowych, takich jak poprawa właściwości gleb.

Uzyskane wyniki podkreślają potencjał pirolizy próżniowej jako metody optymalizacji biowęglu do wysokowydajnych zastosowań środowiskowych, zwłaszcza w zakresie ograniczania zanieczyszczeń oraz poprawy jakości gleb.

Jako autor korespondencyjny Wnioskodawca odegrał kluczową rolę na każdym etapie realizacji badań. Brał zasadniczy udział w opracowaniu koncepcji pracy, sformułowaniu głównych pytań badawczych dotyczących optymalizacji produkcji biowęglu w warunkach próżniowych oraz zaprojektowaniu układu eksperymentalnego. Sprawował również nadzór nad realizacją badań doświadczalnych, zapewniając rzetelność gromadzenia danych oraz poprawność analiz. Jego rola obejmowała także interpretację wyników oraz kształtowanie ostatecznej wersji manuskryptu, w szczególności w zakresie omówienia znaczenia uzyskanych rezultatów dla rozwoju technologii biowęglowych. Odpowiadał ponadto za koordynację współpracy między członkami zespołu, nadzorował proces przygotowania i złożenia publikacji oraz uczestniczył w udzielaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów w toku procesu wydawniczego.

Najważniejszym rezultatem tej pracy było potwierdzenie, że piroliza próżniowa umożliwia otrzymywanie biowęglu o wyższej stabilności, większej gęstości grup funkcyjnych oraz większej odporności na utlenianie, co czyni go materiałem bardziej efektywnym i trwalszym w zastosowaniach środowiskowych, takich jak sekwestracja węgla, poprawa właściwości gleb oraz ograniczanie zanieczyszczeń. Praca ta otwiera również perspektywy dalszych badań nad pirolizą wspomaganą próżnią jako rozwiązaniem opłacalnym i skalowalnym dla produkcji biowęglu, zwłaszcza w zastosowaniach przemysłowych. Uzyskane wyniki mają bezpośrednie znaczenie aplikacyjne dla sektorów dążących do ograniczania oddziaływań środowiskowych przy

jednoczesnym efektywnym wykorzystaniu odpadów organicznych, wspierając tym samym globalne działania na rzecz zrównoważonego rozwoju i ochrony klimatu.



Rys. 2. Wydajność produktów (biowęgla, bio-oleju i gazu) podczas termicznej konwersji skórki pomarańczy w atmosferze N₂ (200 ml min⁻¹), w warunkach niskiej próżni (1013,2 Pa) oraz średniej próżni (101,3 Pa), w różnych temperaturach (300–700°C). Rysunek pochodzi z publikacji H7.

H9) Yousaf, B#, Liu, G., Abbas, Q., Ali, M.U., Wang, R., Ahmed, R., Wang, C., Al-Wabel, M.I., Usman, A.R.A (2018) Operational control on environmental safety of potentially toxic elements during thermal conversion of metal-accumulator invasive ragweed to biochar. *J. Clean. Prod.* 195, 458–469

Artykuł podejmuje istotne wyzwanie środowiskowe, jakim jest bezpieczne zagospodarowanie i stabilizacja potencjalnie toksycznych pierwiastków (PTE) podczas termicznej konwersji roślin akumulujących metale do biowęgla. Ambrozja bylicolistna (*Ambrosia artemisiifolia* L.), jako gatunek inwazyjny o wysokiej zdolności do akumulacji metali, stanowi poważne zagrożenie zarówno dla ekosystemów, jak i dla rolnictwa (Xu i in., 2027). Problem dotyczy procesu przemiany termicznej, w trakcie którego PTE obecne w biomase mogą zostać ponownie uwolnione do środowiska podczas pirolizy, niwecząc tym samym potencjalne korzyści wynikające z wykorzystania biowęgla jako materiału

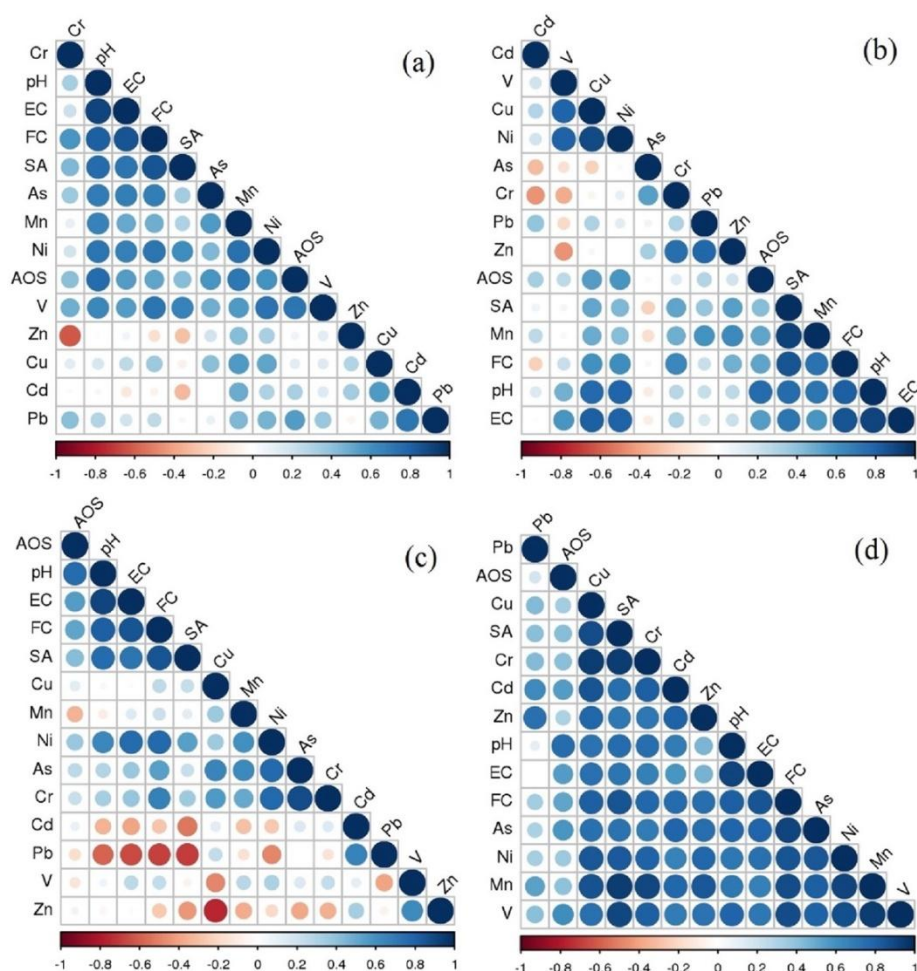
bezpiecznego środowiskowo i zrównoważonego (Anyika i in., 2026). Celem badania było określenie, w jaki sposób zoptymalizować proces pirolizy, aby zapewnić immobilizację i stabilizację PTE w biowęglu, ograniczając ich ryzyko środowiskowe oraz czyniąc uzyskany materiał bezpiecznym do długoterminowych zastosowań.

Zrównoważone zagospodarowanie gatunków inwazyjnych przy jednoczesnym ograniczaniu zagrożeń środowiskowych ma kluczowe znaczenie dla zapobiegania wtórnemu przedostawaniu się PTE do środowiska (Luo i in., 2015). Gatunki inwazyjne, takie jak ambrozja, nie tylko zagrażają rodzimym ekosystemom, lecz również akumulują szkodliwe metale z gleb zanieczyszczonych, co sprawia, że ich unieszkodliwienie i zagospodarowanie stanowi poważne wyzwanie. Poprzez przekształcenie tych roślin w biowęglie badanie to przedstawia strategię umożliwiającą przekształcenie problematycznego strumienia odpadowego w produkt o wartości użytkowej. Obecność PTE w biomase wymaga jednak ścisłej kontroli procesu pirolizy, aby zapobiec ponownemu uwalnianiu metali do środowiska (Luo i in., 2025). Badanie to ma istotne znaczenie dla optymalizacji parametrów pirolitycznych, pozwalających na bezpieczne przekształcenie tych metali w formy trwałe, a tym samym na jednoczesne rozwiązanie problemów związanych z gospodarką odpadami i kontrolą zanieczyszczeń (rys. 3).

Bardziej szczegółowo, badanie to dostarcza nowatorskich informacji dotyczących wpływu określonych warunków pirolitycznych, takich jak podwyższanie temperatury pirolizy (do 700°C), na immobilizację PTE w biowęglu (Wang i in., 2016). Wykazano, że w wyższych temperaturach metale, takie jak arsen, kadm, ołów i cynk, ulegają koncentracji w rezydualnych, stabilnych frakcjach biowęglu. Prowadzi to do ograniczenia biodostępnych i mobilnych form tych toksycznych pierwiastków, minimalizując ich potencjalne uwalnianie do środowiska. Analiza frakcjonowania wykazała, że większość PTE została skutecznie przekształcona w formy mniej podatne na wymywanie do gleby lub wód, co zwiększa bezpieczeństwo uzyskanego biowęglu w zastosowaniach środowiskowych. Dodatkowo zoptymalizowane warunki procesu umożliwiły otrzymanie biowęglu o korzystniejszych właściwościach fizykochemicznych, takich jak większa powierzchnia właściwa oraz wyższa zawartość węgla trwałego, co dodatkowo zwiększa jego przydatność w remediacji środowiska.

Wnioskodawca, jako pierwszy autor tej publikacji, odegrał kluczową rolę w opracowaniu koncepcji i zaprojektowaniu badań. Odpowiadał za sformułowanie pytań badawczych, przeprowadzenie prac eksperymentalnych oraz zapewnienie rzetelności naukowej gromadzenia i analizy danych. Jego wkład obejmował również interpretację

wyników eksperymentalnych, w ramach której przedstawił istotne wnioski dotyczące znaczenia uzyskanych rezultatów dla produkcji biowęgla oraz bezpieczeństwa środowiskowego. Był także w znacznym stopniu zaangażowany w przygotowanie manuskryptu, koordynację procesu pisania, odniesienie się do uwag recenzentów oraz dopracowanie ostatecznej wersji publikacji w taki sposób, aby w pełni oddawała nowatorski charakter uzyskanych wyników i ich znaczenie aplikacyjne. Jego wiedza specjalistyczna miała zasadnicze znaczenie dla powodzenia całego projektu badawczego.



Rys. 3. Zależność pomiędzy frakcjami PTE a właściwościami biowęgla: (a) F1+F2 (frakcja rozpuszczalna w wodzie + frakcja wymienna); (b) F3 (frakcja redukowalna); (c) F4 (frakcja utleniaalna) oraz (d) F5 (frakcja rezydualna/stabilna). Kolor od niebieskiego do czerwonego wskazuje zmianę charakteru zależności z dodatniej na ujemną, natomiast wielkość pęcherzyka odzwierciedla siłę tej zależności (silną lub słabą). Rysunek pochodzi z publikacji H9.

Do najważniejszych wyników tego badania należy określenie najbardziej efektywnych warunków pirolizy umożliwiających trwałą stabilizację potencjalnie

toksycznych pierwiastków (PTE) w biowęglu, a tym samym ograniczenie ich mobilności w środowisku oraz zmniejszenie biodostępności. Wykazano, że poprzez kontrolę temperatury i innych parametrów pirolitycznych możliwe jest wytwarzanie biowęglu przy minimalizacji ryzyka środowiskowego. Czyni to biowęgiel materiałem o wysokim potencjale aplikacyjnym w poprawie właściwości gleb, sekwestracji węgla oraz ograniczaniu zanieczyszczeń, zwłaszcza na obszarach dotkniętych problemem gleb skażonych metalami. Wyniki te dostarczają również praktycznych wskazań dla branż zajmujących się produkcją biowęglu, oferując zrównoważone rozwiązanie w zakresie zagospodarowania inwazyjnych gatunków roślin akumulujących metale oraz ich przekształcania w wartościowe i przyjazne środowisku produkty (Davi i Saroha, 2024).

4.4. Zaawansowana funkcjonalizacja biowęglu w celu zwiększenia skuteczności ograniczania zanieczyszczeń

Biowęgiel zyskał w ostatnich latach duże zainteresowanie ze względu na swój potencjał w ograniczaniu zanieczyszczeń środowiska, poprawie jakości gleb oraz sekwestracji węgla. Jednym z głównych ograniczeń surowego, niemodyfikowanego biowęglu pozostaje jednak jego stosunkowo niska reaktywność powierzchniowa oraz ograniczona zdolność adsorpcji zanieczyszczeń (Lijian i in., 2021). Ograniczenie to staje się szczególnie istotne w przypadku złożonych i wysoce toksycznych zanieczyszczeń, takich jak metale ciężkie, farmaceutyki, pestycydy oraz zanieczyszczenia organiczne. W celu maksymalizacji potencjału biowęglu w remediacji środowiska coraz wyraźniej dostrzega się potrzebę wzmacniania jego właściwości funkcjonalnych poprzez zastosowanie zaawansowanych metod modyfikacji (Muhammad i in., 2024). Funkcjonalizacja, polegająca na zmianie chemicznej i fizycznej struktury biowęglu, może w istotny sposób zwiększać jego zdolność do wychwytywania i neutralizacji różnorodnych zanieczyszczeń (Xu i in., 2024). Nadal jednak kluczowym wyzwaniem pozostaje określenie najbardziej efektywnych metod funkcjonalizacji biowęglu oraz zrozumienie, w jaki sposób wprowadzone modyfikacje wpływają na jego zdolność do ograniczania zanieczyszczeń (Muhammad i in., 2024).

Powszechnie wiadomo, że biowęgiel wykazuje naturalną zdolność do adsorpcji zanieczyszczeń, jednak jego efektywność pozostaje ograniczona, szczególnie w odniesieniu do niektórych klas zanieczyszczeń. Surowy biowęgiel zazwyczaj nie posiada wystarczającej powierzchni właściwej, odpowiedniej struktury porów ani grup funkcyjnych, które są niezbędne do skutecznego wiązania szerszego spektrum

zanieczyszczeń (Kolli i in., 2023). Ograniczenie to staje się jeszcze bardziej widoczne w przypadku tzw. zanieczyszczeń nowo pojawiających się, takich jak farmaceutyki i mikroplastiki, których efektywne usuwanie wymaga zastosowania materiałów o bardziej wyspecjalizowanych właściwościach. Ponadto warunki środowiskowe, w których biowęgiel jest stosowany, takie jak pH czy siła jonowa, mogą w znacznym stopniu wpływać na skuteczność adsorpcji. Bez ukierunkowanych modyfikacji biowęgiel może nie wykazywać wystarczającej efektywności w zróżnicowanych warunkach środowiskowych, co ogranicza jego przydatność w wielkoskalowych zastosowaniach środowiskowych (Nusrat i in., 2024).

W odpowiedzi na te wyzwania prowadziłem badania nad zaawansowanymi metodami funkcjonalizacji biowęglu, takimi jak aktywacja chemiczna, obróbka w atmosferze próżniowej oraz powlekanie nanomateriałami, w celu zwiększenia zdolności wiązania zanieczyszczeń przez otrzymywany biowęgiel. Modyfikacje te mają na celu zwiększenie powierzchni właściwej, poprawę porowatości oraz wprowadzenie reaktywnych grup funkcyjnych, takich jak grupy karboksylowe, hydroksylowe i aminowe. Wykazano, że tego rodzaju modyfikacje zwiększają zdolność biowęglu do adsorpcji metali ciężkich, związków organicznych oraz innych nowo pojawiających się zanieczyszczeń. Rozwój zaawansowanych, funkcjonalizowanych biowęgli stwarza perspektywę zasadniczej zmiany strategii ograniczania zanieczyszczeń, czyniąc z biowęglu materiał wysoce efektywny, zrównoważony i wszechstronny, możliwy do wykorzystania w remediacji zanieczyszczonych gleb, wód i powietrza. Ponadto prowadzone są dalsze badania mające na celu poznanie długoterminowych efektów stosowania funkcjonalizowanego biowęglu w zróżnicowanych systemach środowiskowych, a także optymalizację jego wytwarzania na potrzeby zastosowań wielkoskalowych.

H3) Başer, B., Yousaf, B, Yetis, U., Abbas, Q., Kwon, E.E., Wang, S., Bolan, N.S., Rinklebe, J (2021) Formation of nitrogen functionalities in biochar materials and their role in the mitigation of hazardous emerging organic pollutants from wastewater. J. Hazard. Mater. 416: 126131*

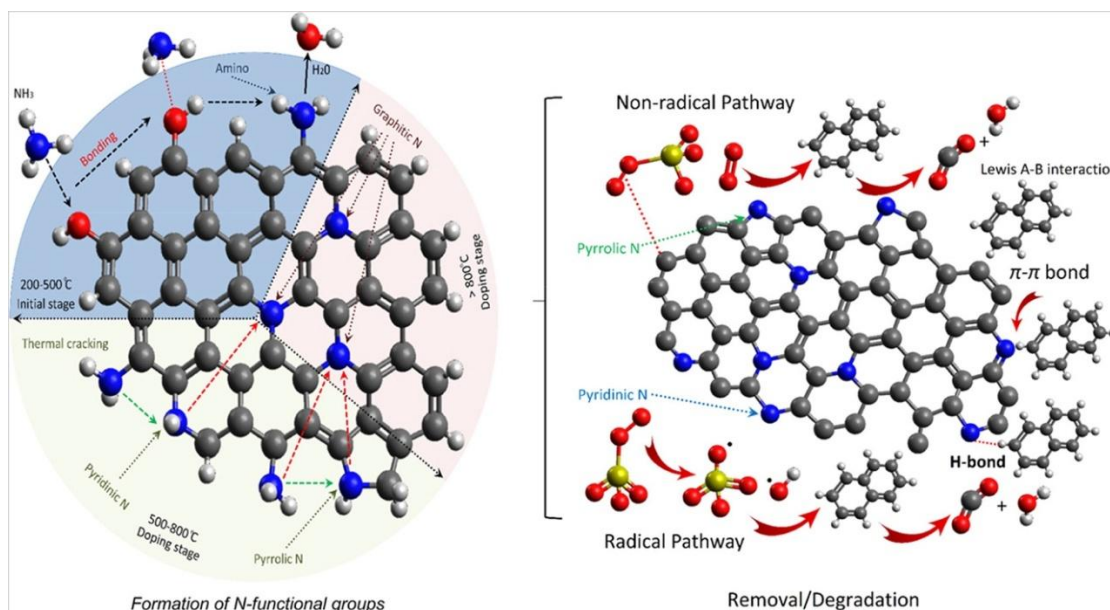
Przedstawiona praca podejmuje istotny problem środowiskowy, jakim jest utrzymująca się obecność niebezpiecznych, nowo pojawiających się zanieczyszczeń organicznych (EOPs) w systemach wodnych. Zanieczyszczenia te, obejmujące między innymi farmaceutyki, pestycydy oraz związki chemiczne pochodzenia przemysłowego, stanowią

poważne zagrożenie dla ekosystemów i zdrowia człowieka ze względu na ich odporność na degradację oraz nieskuteczność konwencjonalnych metod oczyszczania wód. Chociaż biowęgiel zyskał uznanie jako materiał o zdolności do adsorpcji zanieczyszczeń, jego skuteczność bywa często ograniczona przez właściwości powierzchniowe, które zmniejszają jego zdolność do usuwania złożonych i trwałych zanieczyszczeń organicznych (Yuwenn i in., 2021). W pracy tej przedstawiono nowatorskie podejście do przezwyciężenia tych ograniczeń, polegające na wprowadzeniu do struktury biowęglu ugrupowań azotowych w celu zwiększenia jego efektywności w usuwaniu tego typu zanieczyszczeń ze ścieków.

Domieszkowanie azotem uznawane jest obecnie za jedną z najbardziej obiecujących metod poprawy reaktywności i zdolności adsorpcyjnej biowęglu. Poprzez wprowadzanie do matrycy biowęglu grup funkcyjnych zawierających azot, takich jak azot pirydynowy, azot pirolowy oraz azot grafitowy, zmodyfikowany materiał wykazuje zwiększoną zdolność transferu elektronów oraz lepsze oddziaływanie z zanieczyszczeniami (Muhammad i in., 2024). Wcześniejsze badania wskazywały na potencjał biowęglu domieszkowanego azotem, jednak niniejsza praca pogłębia tę problematykę poprzez optymalizację procesu wprowadzania azotu oraz wyjaśnienie mechanizmów, dzięki którym azot zwiększa skuteczność ograniczania zanieczyszczeń (Yunchao i in., 2029). Badania koncentrowały się na zrozumieniu, w jaki sposób biowęgiel domieszkowany azotem katalizuje degradację nowo pojawiających się zanieczyszczeń organicznych, zwłaszcza w zaawansowanych procesach utleniania (AOP), oraz jaki jest udział poszczególnych form azotu w wiązaniu i rozkładzie zanieczyszczeń.

Wyniki tego badania mają charakter zarówno kompleksowy, jak i nowatorski, dostarczając szczegółowych informacji na temat mechanizmów powstawania ugrupowań azotowych podczas procesu wytwarzania biowęglu (Muhammad i in., 2024). Analizując zarówno wewnętrzne źródła azotu obecne w surowcu, jak i źródła zewnętrzne wprowadzane w trakcie procesu technologicznego, możliwe było określenie optymalnych warunków maksymalizacji zawartości azotu w biowęglu (rys. 4). Co szczególnie istotne, w badaniu wykazano, że określone grupy azotowe — w szczególności azot pirolowy oraz azot pirydynowy — w znaczącym stopniu zwiększają efektywność katalityczną materiału w procesie rozkładu zanieczyszczeń (Yunchao i in., 2029). Grupy te nie tylko zwiększają reaktywność powierzchniową biowęglu, lecz również sprzyjają zarówno rodnikowym, jak i nierodnikowym ścieżkom degradacji zanieczyszczeń, co prowadzi do wyższej

skuteczności ich usuwania oraz ograniczenia powstawania szkodliwych produktów ubocznych, często generowanych w innych metodach oczyszczania (Xu i in., 2024).



Rys. 4. Metoda domieszkowania azotem z wykorzystaniem aktywności odtuszczającej amoniaku na różnych etapach temperaturowych podczas pirolizy oraz rodnikowe i nierodnikowe ścieżki degradacji zanieczyszczeń z udziałem biowęgla. Rysunek pochodzi z publikacji H3.

Jako autor korespondencyjny odegrałem kluczową rolę w całościowej realizacji badań. Kierowałem opracowaniem koncepcji pracy oraz zespołem badawczym przy projektowaniu eksperymentów ukierunkowanych na zwiększenie zdolności biowęgla do ograniczania zanieczyszczeń poprzez jego funkcjonalizację azotem. Moje doświadczenie w zakresie modyfikacji biowęgla oraz analizy jego oddziaływań z zanieczyszczeniami było istotne przy opracowywaniu danych eksperymentalnych i interpretacji uzyskanych wyników, zwłaszcza w odniesieniu do zrozumienia mechanizmów oddziaływania ugrupowań azotowych z zanieczyszczeniami na poziomie molekularnym. Istotny był również mój udział w przygotowaniu manuskryptu oraz prowadzeniu pracy przez proces recenzyjny, co umożliwiło skuteczne przedstawienie tych nowatorskich wyników społeczności naukowej. Wiedza specjalistyczna w tym zakresie pozwoliła na uzyskanie przełomowych rezultatów, wykazujących, że biowęgiel domieszkowany azotem może w istotny sposób zwiększać efektywność usuwania zanieczyszczeń.

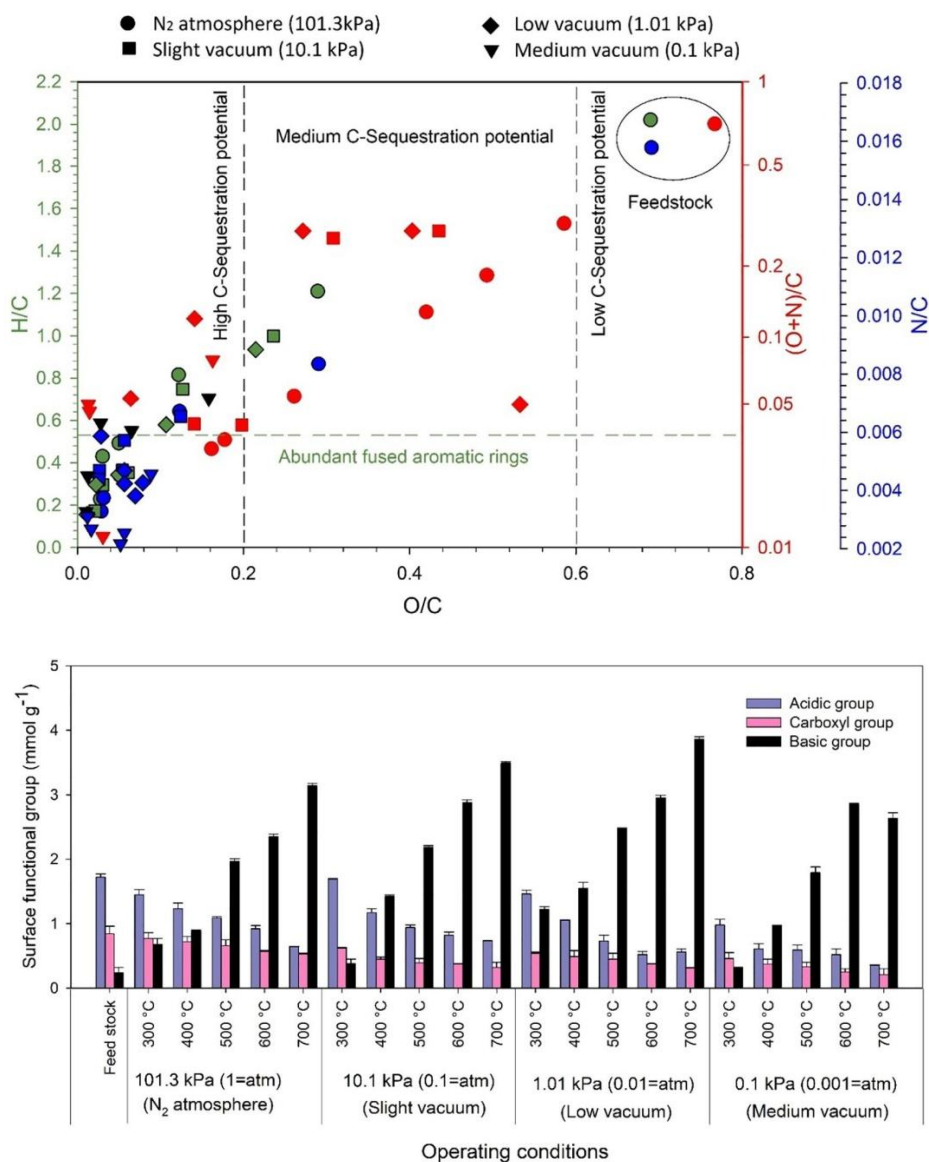
H4) Yousaf, B#, Liu, G., Ubaid Ali, M., Abbas, Q., Liu, Y., Ullah, H., Intiyaz Cheema, A (2021) Decisive role of vacuum-assisted carbonization in valorization of lignin-enriched (Juglans regia-shell) biowaste. Bioresour. Technol. 323: 124541

Badanie to podejmuje problem optymalizacji warunków pirolizy w celu poprawy wydajności oraz jakości biowęgla otrzymywanego z biomasy lignocelulozowej, w szczególności w warunkach próżniowych. Chociaż piroliza jest powszechnie uznawana za skuteczną metodę przekształcania biomasy w wartościowe produkty, takie jak biowęgiel, bio-olej i gazy, konwencjonalne procesy pirolityczne - zwykle prowadzone w atmosferze azotu - często skutkują ograniczoną wydajnością biowęgla oraz niewystarczającą stabilizacją zawartego w nim węgla (Yuwenn i in., 2021). Ograniczenia te utrudniają długoterminowe wykorzystanie biowęgla w takich obszarach, jak sekwestracja węgla, poprawa jakości gleb oraz remediacja środowiska, ponieważ stabilność i funkcjonalna efektywność biowęgla mają kluczowe znaczenie dla jego skuteczności w tych zastosowaniach.

Badanie koncentruje się na analizie pirolizy wspomaganiej próżnią, czyli metody mniej konwencjonalnej, która stwarza potencjał istotnej poprawy właściwości biowęgla. Wprowadzenie warunków próżniowych może wpływać na przebieg procesów termochemicznych zachodzących podczas pirolizy, potencjalnie prowadząc do zmniejszenia zawartości składników lotnych oraz zwiększenia udziału węgla w biowęgłu (Ju i in., 2018). Nadal jednak wpływ zróżnicowanych poziomów próżni na wydajność biowęgla, stabilność węgla oraz inne kluczowe cechy tego materiału pozostaje niewystarczająco rozpoznany (Ashish i Panwar, 2022). Celem niniejszego badania było wypełnienie tej luki poprzez systematyczną analizę wpływu różnych warunków pirolizy - w szczególności poziomu próżni i temperatury - na jakość biowęgla, tak aby możliwe było wytwarzanie materiału bardziej stabilnego i efektywnego w zrównoważonych zastosowaniach środowiskowych.

Szczegółowe wyniki badania dostarczyły szeregu nowatorskich informacji na temat tego, w jaki sposób zróżnicowany poziom próżni podczas pirolizy wpływa na wydajność biowęgla, stabilność zawartego w nim węgla oraz ogólną jakość produktu. Jednym z kluczowych ustaleń było wykazanie, że zastosowanie warunków próżniowych podczas pirolizy prowadziło do wyraźnego obniżenia zawartości składników lotnych w biowęgłu, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału frakcji bogatych w węgiel. W rezultacie otrzymano biowęgiel o większej stabilności i wyższej zawartości węgla w porównaniu z

materiałem wytwarzanym w warunkach konwencjonalnej pirolizy prowadzonej w atmosferze azotu (rys. 5). Większa stabilność ma zasadnicze znaczenie w zastosowaniach takich jak sekwestracja węgla oraz poprawa jakości gleb, gdzie długoterminowa trwałość biowęgla jest warunkiem jego skuteczności (Diego i in., 2022). Ponadto wykazano, że wydajność biowęgla była wyraźnie uzależniona zarówno od poziomu próżni, jak i od temperatury pirolizy. W szczególności wraz ze spadkiem ciśnienia próżniowego wydajność biowęgla nieznacznie malała, jednak jego jakość ulegała poprawie w związku ze zwiększonym udziałem węgla trwałego. Taki kompromis pomiędzy wydajnością a jakością wskazuje na nowatorskie podejście do optymalizacji produkcji biowęgla — polegające na poświęceniu niewielkiej części uzysku na rzecz otrzymania materiału o istotnie lepszych właściwościach dla zastosowań środowiskowych (Ju i in., 2018).



Rys. 5. Wykresy H/C względem O/C (diagram Van Krevelena), (O + N)/C względem O/C oraz N/C względem O/C dla lupin orzecha włoskiego i otrzymanych z nich próbek biowęgla wytwarzanych w różnych temperaturach i przy różnych poziomach próżni, a także zmiany w zawartości kwaśnych, karboksylowych i zasadowych grup funkcyjnych w próbkach biowęgla otrzymanego z lupin orzecha włoskiego poddanych pirolizie w zakresie temperatur 300–700°C w warunkach próżniowych (atmosfera N₂ — 101,3 kPa, lekka próżnia — 10,1 kPa, niska próżnia — 1,01 kPa oraz średnia próżnia — 0,1 kPa).

Rysunek pochodzi z publikacji H4.

Kolejnym nowatorskim wynikiem tego badania było stwierdzenie, że piroliza próżniowa sprzyja funkcjonalizacji biowęgla, zwłaszcza w odniesieniu do zwiększenia powierzchni właściwej i porowatości, które mają kluczowe znaczenie dla jego zdolności adsorpcji zanieczyszczeń. Biowęgiel otrzymany w warunkach średniej próżni charakteryzował się większą porowatością i wyższą reaktywnością powierzchniową, co czyniło go bardziej efektywnym w ograniczaniu zanieczyszczeń w systemach glebowych i wodnych. Ulepszone właściwości tego materiału wskazują, że piroliza próżniowa może prowadzić do wytwarzania biowęgla znacznie bardziej efektywnego w zastosowaniach związanych z remediacją środowiska niż biowęgiel otrzymywany metodami konwencjonalnymi (Diego i in., 2022).

Udział Wnioskodawcy w realizacji tego badania miał charakter zasadniczy, ponieważ odegrał on kluczową rolę w podejmowaniu i rozwiązywaniu najważniejszych problemów badawczych analizowanych w pracy. Jego wkład obejmował wiele aspektów badań - od opracowania koncepcji, przez realizację eksperymentów, analizę danych, aż po przygotowanie manuskryptu. Najważniejsze elementy jego udziału obejmowały:

- rozpoznanie potrzeby zbadania wpływu pirolizy wspomaganiej próżnią na właściwości biowęgla; jego dogłębna znajomość ograniczeń konwencjonalnych metod pirolizy doprowadziła do sformułowania hipotezy, że zróżnicowane poziomy próżni mogą optymalizować wydajność, stabilność i jakość biowęgla;
- zaprojektowanie protokołu eksperymentalnego, w tym dobór parametrów badawczych, takich jak poziomy próżni i temperatury pirolizy; jego wcześniejsze doświadczenie w zakresie procesów termochemicznych i nauki o materiałach umożliwiło trafne określenie zakresu eksperymentów i kontrolowanych zmiennych;
- wykorzystanie specjalistycznej wiedzy dotyczącej procesów pirolizy i konwersji termochemicznej, która była niezbędna do realizacji tych badań; doświadczenie to

pozwoili na dobór odpowiednich warunków pirolizy, w tym temperatur i poziomów próżni; opierając się na wynikach wcześniejszych badań, Wnioskodawca przewidywał, że obniżenie ciśnienia może sprzyjać zwiększeniu zawartości węgla i stabilności biowęgla, co okazało się kluczowe dla opracowania procesu prowadzącego do uzyskania materiału o lepszych właściwościach środowiskowych;

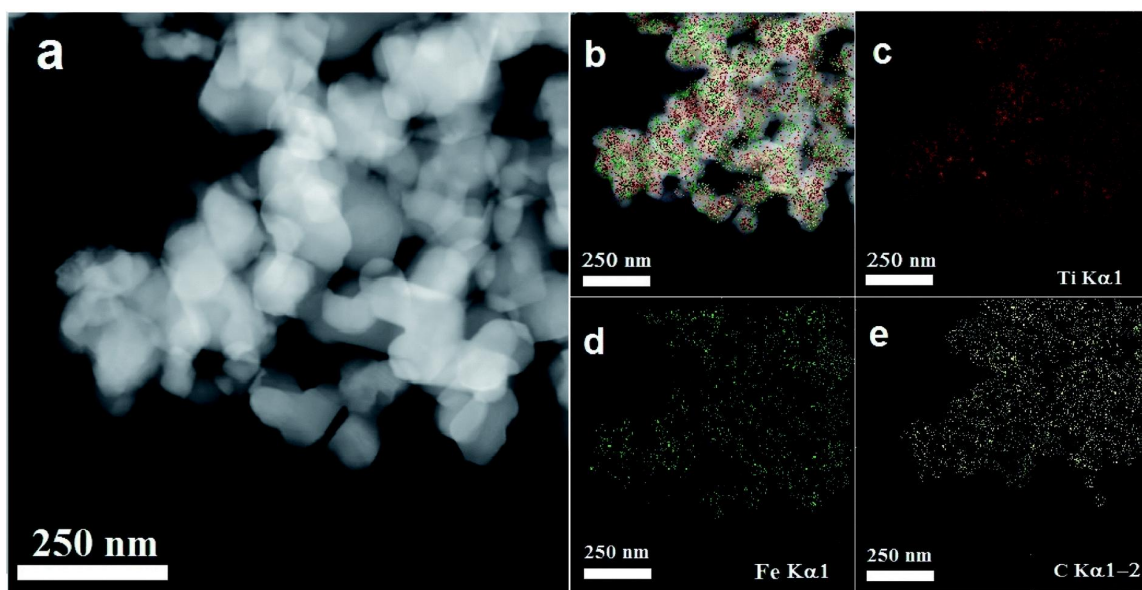
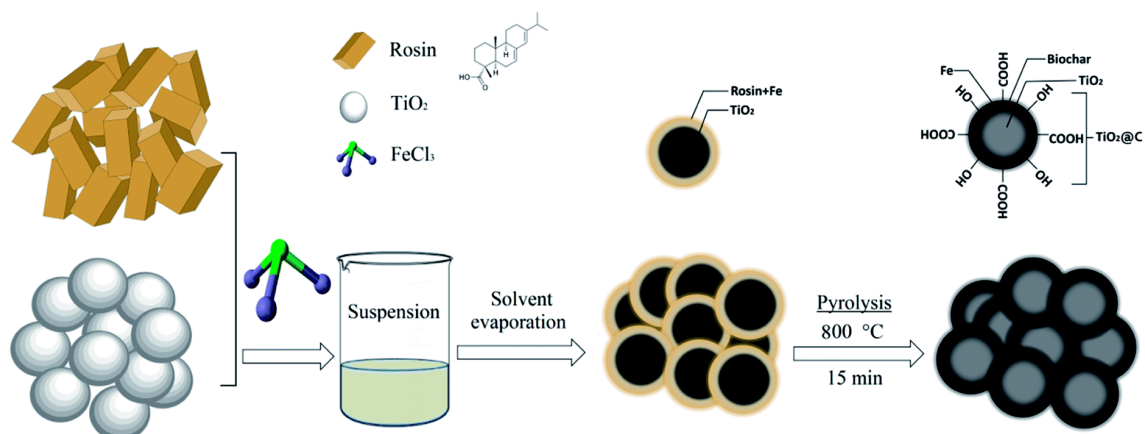
- analizę danych, w szczególności interpretację wpływu różnych warunków próżniowych na wydajność biowęgla i stabilność węgla; dzięki doświadczeniu w charakterystyce materiałów Wnioskodawca mógł właściwie ocenić skład biowęgla oraz jego przydatność do sekwestracji węgla i remediacji środowiska; zinterpretował również wpływ zwiększonego podciśnienia na udział węgla trwałego w biowęglu, co doprowadziło do wniosku, że piroliza próżniowa umożliwia otrzymanie materiału o lepszych długoterminowych właściwościach środowiskowych;
- przygotowanie manuskryptu oraz wiodącą rolę w jego opracowaniu poprzez syntetyczne przedstawienie wyników i wyjaśnienie nowatorskich aspektów pirolizy wspomagannej próżnią, a także wykazanie, w jaki sposób badanie to poszerza aktualny stan wiedzy w obszarze badań nad biowęgłem;
- udział w przygotowaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów oraz w niezbędnej rewizji manuskryptu; jego dogłębna znajomość tematyki pozwoliła na merytoryczne odniesienie się do kwestii technicznych i dalsze podniesienie jakości publikacji

H10) Yousaf, B#, Liu, G., Abbas, Q., Wang, R., Ullah, H., Mian, M.M., Amina, Rashid, A (2018) Enhanced removal of hexavalent chromium from aqueous media using a highly stable and magnetically separable rosin-biochar-coated TiO₂-C nanocomposite. RSC Adv. 8: 25983–25996

Tradycyjne adsorbenty węglowe wykazują istotne ograniczenia, takie jak niska pojemność adsorpcyjna, słaba możliwość ponownego wykorzystania oraz konieczność stosowania złożonych lub kosztownych procesów regeneracji (Yuwen i in., 2021). Połączenie biowęgla z zaawansowanymi nanomateriałami stanowi obiecujące rozwiązanie tego problemu, jednak sam biowęgiel, w swojej konwencjonalnej postaci, nie posiada wystarczającej reaktywności powierzchniowej, stabilności ani efektywności niezbędnej do usuwania trwałych zanieczyszczeń (Amali i in., 2022). Wobec tych

wyzwań zaistniała pilna potrzeba opracowania nowych materiałów, które umożliwiałyby skuteczne usuwanie zanieczyszczeń ze skażonych środowisk, przy jednoczesnym zachowaniu opłacalności, przyjazności dla środowiska oraz łatwości regeneracji. W tym kontekście celem badania było opracowanie nowego materiału kompozytowego, łączącego wysoką pojemność adsorpcyjną nanomateriałów ze stabilnością i łatwością użytkowania zapewnianą przez biowęgiel. Zaproponowane w pracy innowacyjne rozwiązanie polegało na syntezie nanokompozytu $\text{TiO}_2@\text{C}$ powlekanego biowęgłem otrzymanym z kalafonii ($\text{RBC-TiO}_2@\text{C}$), który łączy zalety właściwości powierzchniowych biowęgla z możliwością separacji magnetycznej dzięki obecności żelaza oraz z właściwościami fotokatalitycznymi i adsorpcyjnymi ditlenku tytanu (rys. 6). Materiał ten został zaprojektowany w celu uzyskania zwiększonej efektywności adsorpcji, szczególnie w warunkach kwaśnych, w których usuwanie Cr(VI) jest najbardziej skuteczne. Przewyciężając problemy związane z aglomeracją nanocząstek oraz niską zdolnością adsorpcyjną, nanokompozyt $\text{RBC-TiO}_2@\text{C}$ stanowi potencjalnie przełomowe rozwiązanie w technologiach uzdatniania wody ukierunkowanych na usuwanie metali ciężkich (Ziqi i in., 2023).

Inspiracją do opracowania tej metody była potrzeba zwiększenia zdolności adsorpcyjnych biowęgla przy jednoczesnym wykorzystaniu zalet właściwości magnetycznych oraz aktywności fotokatalitycznej. Zastosowanie kalafonii, jako naturalnej żywicy, zapewniło niskokosztowy i przyjazny środowisku prekursor, natomiast TiO_2 dostarczył właściwości fotokatalitycznych istotnych z punktu widzenia zastosowań środowiskowych. Wprowadzenie chlorku żelazowego zapewniło otrzymanemu materiałowi właściwości magnetyczne, umożliwiające łatwe oddzielenie kompozytu od roztworu wodnego po adsorpcji zanieczyszczeń. Połączenie tych składników - kalafonii, chlorku żelazowego i TiO_2 - wywołało efekt synergiczny, dzięki czemu otrzymany nanokompozyt wykazał znaczący potencjał w usuwaniu zanieczyszczeń zarówno na drodze adsorpcji, jak i fotokatalizy (Jian-Fei i in., 2027).



Rys. 6. Schemat przedstawiający syntezę BC-TiO₂@C oraz morfologię powierzchni i mapowanie pierwiastkowe TEM-EDS nanokompozytu RBC-TiO₂@C (a–e). Mapowanie EDS wskazuje na dobre rozmieszczenie (d) Fe oraz (e) C na powierzchni nanokompozytu RBC-TiO₂@C. Rysunek pochodzi z publikacji H10.

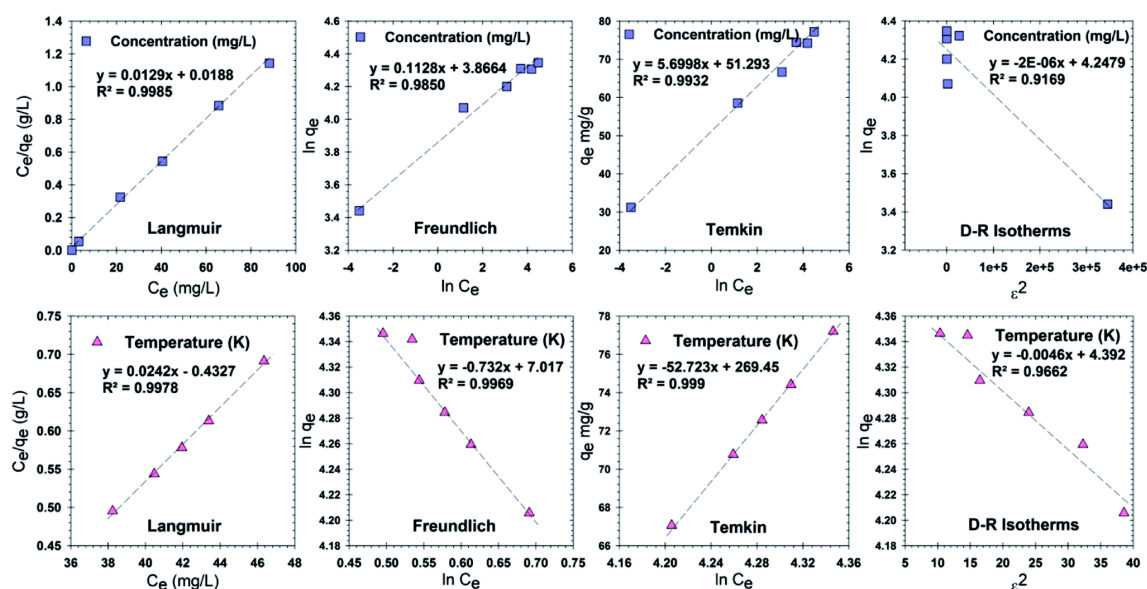
Opracowany materiał kompozytowy odpowiada na potrzebę:

- zwiększenia powierzchni właściwej i reaktywności materiału dzięki połączeniu biowęgla i TiO₂, co przekłada się na większą zdolność wiązania jonów Cr(VI);
- łatwego odzyskiwania kompozytu z oczyszczanej wody przy użyciu pola magnetycznego dzięki obecności żelaza, co upraszcza proces oczyszczania i ogranicza potrzebę stosowania złożonych metod filtracji;
- wykorzystania właściwości fotokatalitycznych TiO₂, które sprzyjają rozkładowi zanieczyszczeń pod wpływem światła, zwiększając ogólną

skuteczność procesu oczyszczania, zwłaszcza w warunkach ekspozycji na światło słoneczne lub sztuczne;

- zastosowania kalafonii jako prekursora biowęgla, co stanowi rozwiązanie opłacalne i przyjazne środowisku, zwiększając potencjał wdrożeniowy kompozytu w wielkoskalowym oczyszczaniu wód.

Nowatorski nanokompozyt został przebadany pod kątem zdolności adsorpcji Cr(VI) w szerokim zakresie warunków, obejmujących różne wartości pH, temperatury oraz stężenia jonów metalu. Szczegółowo przeanalizowano efektywność adsorpcji, kinetykę procesu oraz jego parametry termodynamiczne w celu określenia optymalnych warunków usuwania Cr(VI) (rys. 7).



Rys. 7. Modele izoterm adsorpcji (Langmuira, Freunda, Temkina oraz Dubinina–Raduszkiewicza (D–R)) dla adsorpcji Cr(VI) na nanokompozycie RBC-TiO₂@C przy różnych początkowych stężeniach (mg kg⁻¹) i temperaturach (K). Rysunek pochodzi z publikacji H10.

Wyniki badań wykazały, że nanokompozyt RBC-TiO₂@C osiągał wysoką skuteczność usuwania, przekraczającą 95% już w pierwszej minucie procesu adsorpcji, znacząco przewyższając tradycyjny biowęgiel oraz wiele innych adsorbentów. Ponadto materiał wykazywał korzystne właściwości termodynamiczne, przy czym ujemne wartości energii swobodnej Gibbsa wskazywały na spontaniczny i efektywny przebieg adsorpcji w szerokim zakresie temperatur. Innowacyjne zastosowanie kalafonii jako prekursora biowęgla, w połączeniu z właściwościami magnetycznymi i katalitycznymi wynikającymi z obecności TiO₂ i Fe, umożliwiło otrzymanie stabilnego i

regenerowalnego adsorbentu zdolnego do przeciwdziałania jednej z najbardziej trwałych i niebezpiecznych form zanieczyszczenia wód.

Indywidualny wkład Wnioskodawcy w realizację tej pracy obejmował:

- kierowanie opracowaniem koncepcji i projektu badań, ze szczególnym uwzględnieniem syntezy i zastosowania nanokompozytu RBC-TiO₂@C do usuwania Cr(VI) z roztworów wodnych;
- nadzorowanie procesu eksperymentalnego związanego z przygotowaniem nanokompozytu, w tym doboru materiałów, takich jak kalafonia, chlorek żelazowy i ditlenek tytanu, oraz zapewnienie kontrolowanych warunków pirolizy;
- odegranie kluczowej roli w opracowaniu metodyki badania efektywności adsorpcji nanokompozytu, obejmującej optymalizację takich parametrów, jak pH, temperatura i początkowe stężenie Cr(VI);
- analizę właściwości termodynamicznych procesu adsorpcji, interpretację wartości energii swobodnej Gibbsa oraz wyjaśnienie spontanicznego charakteru usuwania Cr(VI) z wykorzystaniem nanokompozytu;
- istotny wkład w analizę danych, w szczególności w interpretację roli poszczególnych grup funkcyjnych nanokompozytu w osiągnięciu wysokich szybkości adsorpcji oraz skuteczności ograniczania zanieczyszczeń;
- kierowanie charakterystyką nanokompozytu z wykorzystaniem technik takich jak analiza powierzchni właściwej BET, dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego (XRD) oraz skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), w celu poznania struktury i funkcjonalności materiału;
- nadzorowanie oceny właściwości fotokatalitycznych i magnetycznych materiału, tak aby wykazać jego potencjał do praktycznych zastosowań w oczyszczaniu wód;
- kierowanie przygotowaniem manuskryptu, syntetyczne opracowanie wyników oraz udział w udzielaniu odpowiedzi na uwagi recenzentów w celu zwiększenia przejrzystości i wartości naukowej publikacji;
- koordynację współpracy zespołu badawczego w całym okresie realizacji pracy, tak aby eksperymenty były prowadzone zgodnie z założonymi celami badawczymi, a uzyskane wyniki pozostawały spójne z zakresem i celami opracowania.

4.5. Strategie remediacji zanieczyszczonych układów gleba–roślina oparte na biowęgłu

Rosnące obawy związane z zanieczyszczeniem gleb metalami ciężkimi, pestycydami oraz odpadami przemysłowymi spowodowały wzrost zapotrzebowania na zrównoważone i skuteczne strategie remediacji. W tym kontekście biowęgiel został uznany za rozwiązanie przyjazne środowisku i opłacalne, umożliwiające immobilizację zanieczyszczeń w glebie, ograniczenie ich biodostępności, a tym samym zapobieganie ich pobieraniu przez rośliny. Jego zdolność do poprawy struktury gleby, stymulowania aktywności mikroorganizmów oraz zatrzymywania składników pokarmowych dodatkowo zwiększa jego znaczenie w zastosowaniach rolniczych i środowiskowych (Yi i in., 2024).

Znaczenie strategii remediacyjnych opartych na biowęgłu w oczyszczaniu zanieczyszczonych układów gleba–roślina wynika z ich potencjału do jednoczesnego przeciwdziałania dwóm poważnym problemom: degradacji gleb oraz zanieczyszczeniu środowiska. Zanieczyszczenia, takie jak metale ciężkie, związki organiczne oraz nadmiar składników pokarmowych, stwarzają poważne zagrożenie dla wzrostu roślin, bezpieczeństwa żywności oraz zdrowia ekosystemów. Gdy występują one w glebach użytkowanych rolniczo, mogą być pobierane przez rośliny uprawne, wprowadzane do łańcucha pokarmowego i tym samym stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Biowęgiel może wiązać te zanieczyszczenia, ograniczając ich mobilność i dostępność dla roślin (Muhammad i in., 2022). Dodatkowo biowęgiel poprawia żyzność gleby poprzez zwiększenie retencji wody, wspieranie rozwoju korzystnych społeczności mikroorganizmów oraz usprawnienie obiegu składników pokarmowych, co ma kluczowe znaczenie dla utrzymania zdrowia gleby w środowiskach zanieczyszczonych. Ta podwójna funkcja biowęgla - jako materiału immobilizującego zanieczyszczenia oraz jednocześnie poprawiającego właściwości gleby - czyni go wszechstronnym i zrównoważonym narzędziem w strategiach remediacji gleb (Ramsha i in., 2023).

Ponadto długoterminowa stabilność biowęgla w glebie sprawia, że efekty jego działania mają trwały charakter, co czyni go atrakcyjnym rozwiązaniem w wielkoskalowych projektach remediacji gleb. Poprzez wspieranie czystszej i bezpieczniejszej produkcji rolniczej oraz ochronę ekosystemów przed zanieczyszczeniem, strategie oparte na biowęgłu mogą w istotny sposób przyczynić się do globalnych działań na rzecz zrównoważonego gospodarowania gruntami i ochrony

środowiska (Jun i in., 2022). Dodatkowo rola biowęglu w łagodzeniu zmian klimatu poprzez sekwestrację węgla w glebie nadaje jego zastosowaniom jeszcze większe znaczenie. Szerokie wdrożenie biowęglu może zasadniczo zmienić podejście do remediacji gleb, przesuując punkt ciężkości z metod konwencjonalnych, często intensywnie wykorzystujących środki chemiczne, w kierunku bardziej naturalnego i zrównoważonego rozwiązania, które nie tylko ogranicza zanieczyszczenie, lecz również poprawia ogólny stan i produktywność gleb (Arthur i in., 2024).

H1) Cheema A., Amina , Ullah H., Munir M., Rehman A., Sarma H., Pikoń K., Yousaf B (2024) Unraveling the mechanisms of free radicals-based transformation and accumulation of potentially toxic metal(loid)s in biochar- and compost-amended soil-plant systems, Journal of Cleaner Production, 449: 141767, 1-13*

Badanie to dotyczy potencjału biowęglu - materiału bogatego w węgiel, otrzymywanego w procesie pirolizy odpadów organicznych - w rozwiązywaniu istotnego problemu zanieczyszczenia układów gleba-roślina potencjalnie toksycznymi metalami i metaloidami (PTM). W ostatnich latach biowęgiel zyskał duże zainteresowanie ze względu na swoją zdolność do poprawy jakości gleb, sekwestracji węgla oraz immobilizacji zanieczyszczeń (Jun i in., 2022). Jednak mimo że jego właściwości fizyczne i chemiczne - takie jak duża powierzchnia właściwa i porowatość - zostały szeroko zbadane, rola wolnych rodników generowanych przez biowęgiel, w szczególności rodników hydroksylowych, w przemianach i stabilizacji PTM w glebach zanieczyszczonych nadal pozostaje niewystarczająco poznana. Zagadnienie to stanowi jeden z nowych kierunków badań nad biowęglem, w ramach którego zrozumienie oddziaływań pomiędzy biowęglem, wolnymi rodnikami oraz metalami i metaloidami może otworzyć nowe możliwości w zakresie remediacji gleb i zarządzania zanieczyszczeniami.

Obecność wolnych rodników w układach z udziałem biowęglu otwiera nowe możliwości w zakresie przemian zanieczyszczeń. Wolne rodniki, zwłaszcza te powstające po aplikacji biowęglu do gleby, są reaktywnymi formami zdolnymi do inicjowania reakcji chemicznych prowadzących do detoksykacji szkodliwych metali i metaloidów poprzez zmianę ich form chemicznych (rys. 8). Tego rodzaju przemiany mogą prowadzić do przekształcania wysoce mobilnych i biodostępnych form PTM, takich jak arsen czy ołów, w bardziej trwałe i obojętne formy, mniej podatne na pobieranie przez rośliny. Pomimo tych obiecujących możliwości dokładne mechanizmy oddziaływania wolnych rodników

generowanych przez biowęgiel z PTM, a także ich wpływ na mobilność, biodostępność i ostateczny los tych pierwiastków w układach gleba-roślina, pozostają nadal słabo poznane (Muhammad, 2023).

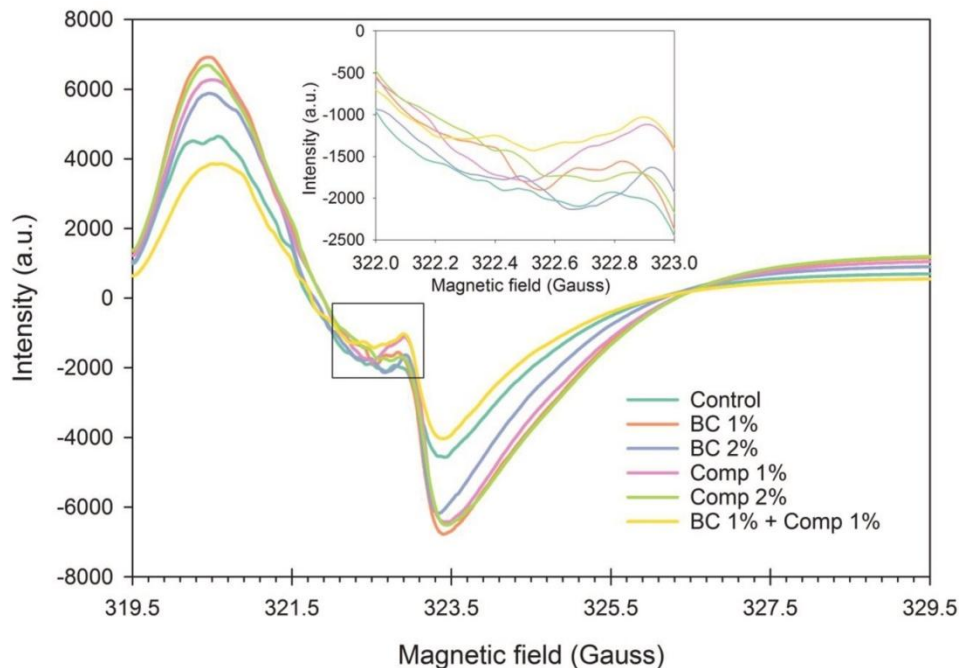
Badania te miały na celu udzielenie odpowiedzi na kluczowe pytania dotyczące tego, w jaki sposób właściwości biowęgla, zwłaszcza jego zdolność do generowania wolnych rodników, mogą być optymalizowane na potrzeby remediacji środowiska. W szczególności przedmiotem badań było:

- a) określenie, w jaki sposób wolne rodniki generowane przez biowęgiel wpływają na przemiany i stabilizację PTM w glebach zanieczyszczonych, ze szczególnym uwzględnieniem reakcji prowadzących do ograniczenia biodostępności tych toksycznych pierwiastków;
- b) wyjaśnienie roli strukturalnych i chemicznych modyfikacji biowęgla w nasilaniu generacji reaktywnych wolnych rodników, z uwzględnieniem wpływu warunków pirolizy oraz rodzaju substratu na zdolność biowęgla do immobilizacji PTM;
- c) określenie oddziaływań pomiędzy biowęgłem a dodatkami organicznymi, takimi jak kompost, oraz ocena, czy ich łączne stosowanie może wywoływać efekt synergiczny, zwiększający skuteczność remediacji gleb poprzez dalszą stabilizację PTM w wyniku reakcji chemicznych inicjowanych przez wolne rodniki.

Koncentrując się na tych oddziaływaniach i mechanizmach, badanie miało na celu pogłębienie wiedzy na temat tego, w jaki sposób biowęgiel - poza swoimi właściwościami adsorpcyjnymi - może być strategicznie wykorzystywany do remediacji gleb zanieczyszczonych PTM. Oczekiwano, że uzyskane wyniki stworzą podstawy do opracowania bardziej efektywnych technologii remediacyjnych opartych na biowęglu, zdolnych zarówno do ograniczania zanieczyszczenia gleb, jak i do poprawy wzrostu roślin w środowiskach skażonych.

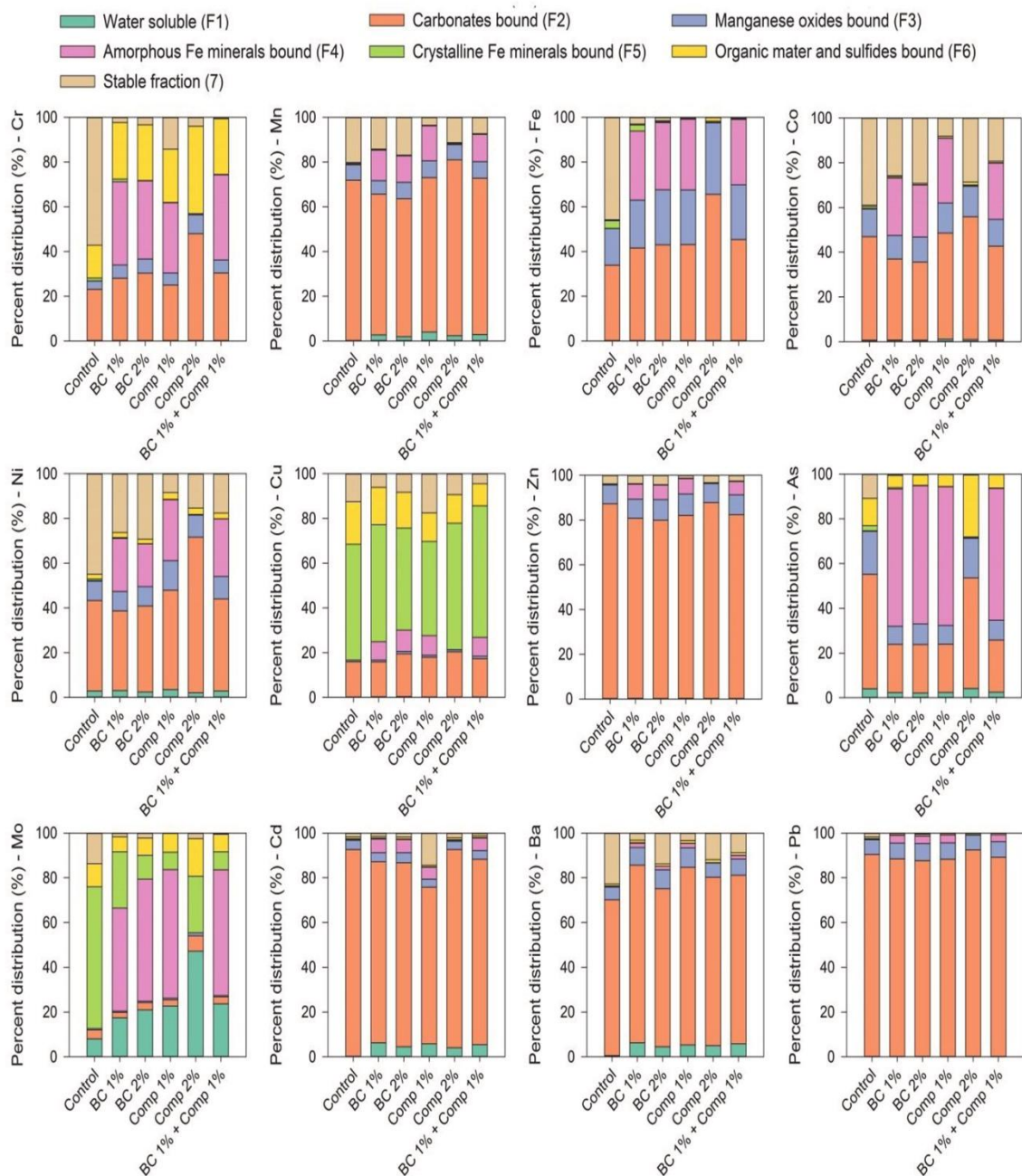
Badanie obejmowało serię uporządkowanych podejść eksperymentalnych mających na celu analizę geochemicznych przemian potencjalnie toksycznych metali i metaloidów (PTM) w glebach zanieczyszczonych pod wpływem dodatku biowęgla (BC) i kompostu (Comp). Próbkę gleby pobrano z terenu zanieczyszczonego, a następnie poddano działaniu różnych dawek biowęgla (1% i 2%) oraz kompostu (1% i 2%), a także ich mieszaniny (BC 1% + Comp 1%). Dodatki te zastosowano w doświadczeniu wazonowym, którego celem była ocena skuteczności badanych wariantów w ograniczaniu biodostępności PTM oraz poprawie funkcjonowania układu gleba-roślina. Ponadto zastosowano ekstrakcję sekwencyjną w celu określenia specjacji oraz potencjalnych przemian PTM w matrycy

glebowej w różnych warunkach doświadczalnych (rys. 9). Wolne rodniki generowane w układach glebowych i roślinnych wykrywano z użyciem spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR), aby ocenić ich rolę w przemianach PTM (Muhammad i in., 2023).



Rys. 8. Wpływ biowęglu i kompostu na powstawanie wolnych rodników w glebie poddanej różnym wariantom doświadczalnym. Rysunek pochodzi z publikacji H1.

Najbardziej nowatorskie wyniki badania wykazały, że biowęgiel, zwłaszcza stosowany łącznie z kompostem, był wysoce skuteczny w ograniczaniu frakcji PTM rozpuszczalnych w wodzie, takich jak nikiel, kadm i ołów, a tym samym w zmniejszaniu ich mobilności i biodostępności. Stwierdzono również, że łączny wariant BC 1% + Comp 1% wykazywał efekt synergiczny, prowadząc do większej immobilizacji PTM niż poszczególne dodatki stosowane oddzielnie. Wyniki wykazały o 25% większe ograniczenie frakcji rozpuszczalnych w wodzie przy zastosowaniu kombinacji dodatków, przy jednoczesnym istotnym zwiększeniu udziału frakcji krystalicznych związanych z Fe dla metali takich jak Mn i Ni, co dodatkowo potwierdza zwiększoną skuteczność immobilizacji przy łącznym stosowaniu obu materiałów.



Rys. 9. Geochemiczny rozkład potencjalnie toksycznych metali w glebie pod wpływem oddzielnego oraz łącznego stosowania biowęglu i kompostu. Rysunek pochodzi z publikacji H1.

Uzyskane wyniki mają szczególnie nowatorski charakter, ponieważ wskazują na potencjał biowęglu i kompostu do wspólnego działania na rzecz stabilizacji PTM w glebach zanieczyszczonych. Możliwość ograniczania biodostępności PTM oraz poprawy wzrostu roślin dzięki lepszemu pobieraniu składników pokarmowych i zmniejszeniu stresu oksydacyjnego stanowi obiecujące podejście w strategiach remediacji gleb (Edita i in., 2022). Badanie podkreśla znaczenie łączenia biowęglu z dodatkami organicznymi, takimi jak kompost, w celu osiągnięcia bardziej efektywnych rezultatów remediacyjnych.

Indywidualny wkład Wnioskodawcy w realizację tej pracy obejmował:

- udział w opracowaniu koncepcji badania, ze szczególnym uwzględnieniem synergistycznego wykorzystania biowęglu i kompostu do ograniczania zanieczyszczenia układów gleba-roślina potencjalnie toksycznymi metalami i metaloidami;
- zaprojektowanie i koordynację doświadczenia wazonowego, w tym dobór odpowiednich stężeń biowęglu, kompostu oraz ich mieszanin w celu oceny ich wpływu na immobilizację metali i wzrost roślin;
- kierowanie charakterystyką biowęglu i kompostu z wykorzystaniem zaawansowanych technik analitycznych, takich jak BET, FTIR i XRD, w celu określenia powierzchni właściwej, grup funkcyjnych oraz składu mineralogicznego, co było kluczowe dla zrozumienia oddziaływań pomiędzy dodatkami a PTM;
- opracowanie metodyki ekstrakcji sekwencyjnej w celu określenia specjacji i przemian PTM w różnych wariantach doświadczalnych, co umożliwiło szczegółowe poznanie wpływu biowęglu i kompostu na stabilizację metali w glebie;
- kierowanie analizą danych i interpretacją wyników dotyczących specjacji PTM, ze szczególnym uwzględnieniem przemian od form rozpuszczalnych w wodzie do bardziej stabilnych, krystalicznych form związanych z metalami takimi jak Mn i Ni, co wskazywało na ograniczenie biodostępności;
- istotny udział w nadzorowaniu zastosowania spektroskopii EPR do wykrywania i analizy wolnych rodników generowanych przez biowęgiel i kompost, co przyczyniło się do lepszego poznania mechanizmów wpływu tych rodników na przemiany PTM w glebie;
- koordynację badań nad łącznym wpływem biowęglu i kompostu na wzrost roślin oraz pobieranie składników pokarmowych, w tym analizę próbek tkanek roślinnych w celu oceny, w jaki sposób ograniczenie biodostępności PTM wpływało na poprawę kondycji roślin i redukcję stresu oksydacyjnego;
- zapewnienie rzetelnego i kompleksowego przedstawienia wyników eksperymentalnych w manuskrypcie, w tym udział w przygotowaniu, strukturyzacji i finalizacji publikacji oraz opracowaniu wizualizacji danych i materiałów graficznych.

H8) Yousaf, B#, Liu, G., Abbas, Q., Ullah, H., Wang, R., Zia-ur-Rehman, M., Amina, Niu, Z (2018) Comparative effects of biochar-nanosheets and conventional organic-amendments on health risks abatement of potentially toxic elements via consumption of wheat grown on industrially contaminated-soil. Chemosphere 192, 161–170

Praca ta koncentruje się na istotnym problemie zanieczyszczenia gleb potencjalnie toksycznymi pierwiastkami (PTE), takimi jak kadm (Cd), ołów (Pb) i nikiel (Ni), które stają się coraz poważniejszym zagrożeniem, zwłaszcza na obszarach użytkowanych rolniczo (Kolli i in., 2023). Wraz ze wzrostem działalności przemysłowej pierwiastki te przedostają się do gleby, prowadząc do ich pobierania przez rośliny uprawne, takie jak pszenica, a w konsekwencji do skażenia żywności. Problem ten ma charakter nie tylko środowiskowy, ale również stanowi istotne zagrożenie dla zdrowia publicznego. Konwencjonalne metody remediacji gleb są stosowane od wielu lat, jednak wiele z nich okazuje się zbyt kosztownych lub niewystarczająco skutecznych w ograniczaniu długoterminowego ryzyka stwarzanego przez te zanieczyszczenia. W tym kontekście biowęgiel jawi się jako rozwiązanie zrównoważone i opłacalne, wykazujące znaczny potencjał w przewyżnianiu tego rodzaju wyzwań.

Biowęgiel, otrzymywany w procesie pirolizy materiałów organicznych, charakteryzuje się takimi właściwościami, jak duża powierzchnia właściwa, porowatość oraz obecność grup funkcyjnych, które sprzyjają immobilizacji PTE w glebie. Nadal jednak wiele kwestii dotyczących oddziaływań pomiędzy biowęglem a PTE pozostaje niewyjaśnionych, zwłaszcza w sytuacjach, gdy biowęgiel jest stosowany łącznie z innymi materiałami organicznymi (Jun i in., 2022). W niniejszym badaniu skoncentrowano się na zastosowaniu nanokarbonowych arkuszy biowęglowych (BCNs) w celu oceny ich skuteczności w porównaniu z bardziej tradycyjnymi dodatkami organicznymi w remediacji gleb zanieczyszczonych PTE. Założeniem zastosowania BCNs było to, że mogą one stanowić bardziej zaawansowaną i efektywną metodę unieruchamiania tych toksycznych pierwiastków w glebie, ograniczając ich pobieranie przez rośliny oraz przedostawanie się do łańcucha pokarmowego. Dotychczas jednak brakowało kompleksowych badań porównujących BCNs z konwencjonalnymi dodatkami organicznymi (COAs), dlatego niniejsza praca miała na celu wypełnienie tej luki badawczej.

Badanie to zostało ukierunkowane na udzielenie odpowiedzi na kilka kluczowych pytań badawczych:

- a) w jakim stopniu BCNs są skuteczniejsze od COAs w immobilizacji PTE i ograniczaniu ich biodostępności w glebie;
- b) jaki wpływ wywierają BCNs na wzrost oraz cechy fizjologiczne roślin pszenicy uprawianych w glebach zanieczyszczonych;
- c) w jaki sposób BCNs wpływają na ryzyko zdrowotne człowieka związane ze spożywaniem pszenicy uprawianej na glebach skażonych.

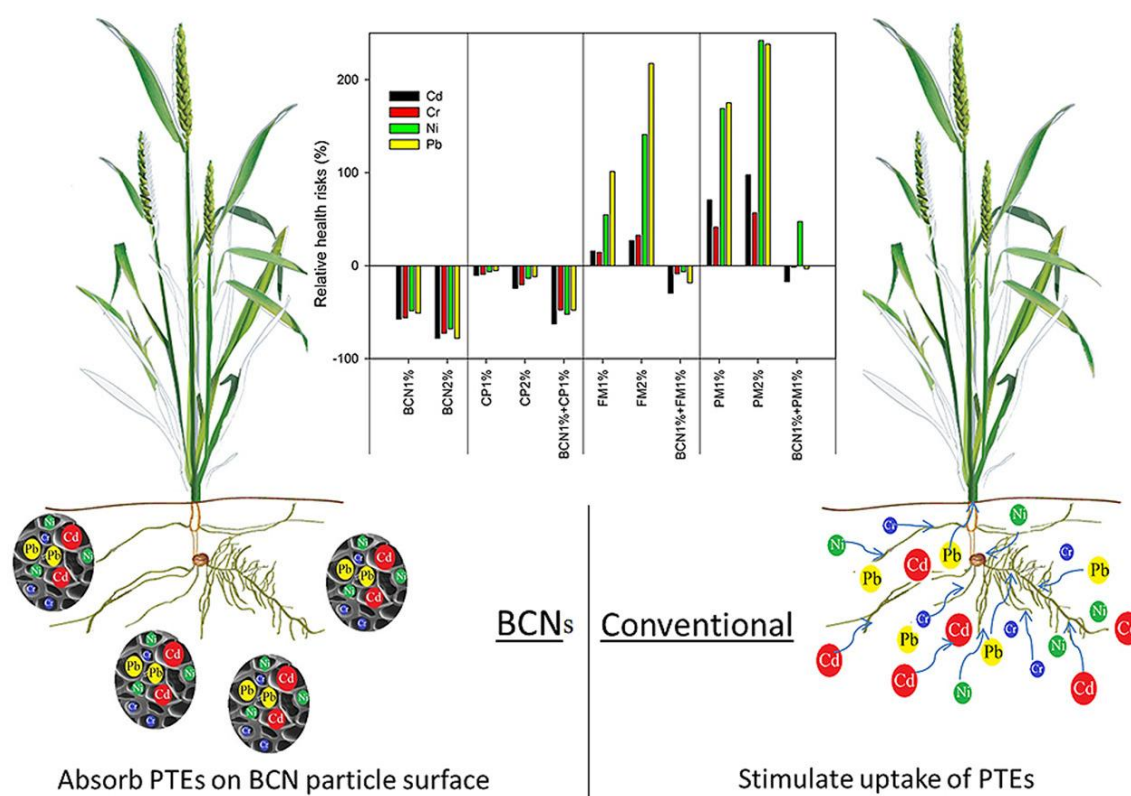
Udzielenie odpowiedzi na powyższe pytania pozwala na lepsze zrozumienie, w jaki sposób biowęgiel, zwłaszcza w postaci nanokarbonowych arkuszy, może zwiększać skuteczność działań remediacyjnych w glebie, a jednocześnie ograniczać ryzyko zdrowotne związane z obecnością toksycznych pierwiastków w żywności.

W ramach doświadczenia biowęgiel wytworzono w procesie pirolizy, a następnie przekształcono do postaci nanokarbonowych arkuszy (BCNs); równolegle przygotowano konwencjonalne dodatki organiczne (COAs). Następnie przeprowadzono doświadczenie wazonowe w układzie losowanych bloków, w którym do gleb zanieczyszczonych zastosowano różne warianty obejmujące BCNs, COAs oraz ich kombinacje.

Wyniki badań ujawniły szereg nowatorskich obserwacji. Zastosowanie BCNs prowadziło do istotnego ograniczenia biodostępności PTE, przy czym w porównaniu z COAs stwierdzano niższe stężenia metali zarówno w glebie, jak i w tkankach roślinnych. W szczególności wykorzystanie BCNs powodowało wyraźne zmniejszenie frakcji metali rozpuszczalnej w wodzie, takich jak kadm (Cd), ołów (Pb) i arsen (As), co wskazuje, że BCNs skutecznie immobilizują te zanieczyszczenia (rys. 10). Ponadto połączenie BCNs z COAs wykazywało efekt synergiczny, wzmacniając stabilizację PTE w glebie i dodatkowo ograniczając ich mobilność. Rośliny kukurydzy traktowane dodatkami opartymi na BCN charakteryzowały się lepszymi parametrami wzrostu, w tym większą długością części nadziemnych i korzeni oraz większą biomasą, w porównaniu z roślinami traktowanymi wyłącznie COAs. Wskazuje to, że BCNs nie tylko ograniczają biodostępność PTE, lecz także poprawiają kondycję roślin poprzez łagodzenie stresu wywołanego obecnością metali (Muhammad, 2022).

Jednym z najbardziej nowatorskich elementów badania było wykrycie wolnych rodników w tkankach roślinnych, co uwidocznilo rolę stresu oksydacyjnego w odpowiedzi roślin na skażenie metalami. Zastosowanie BCNs w istotny sposób

ograniczało wytwarzanie wolnych rodników w porównaniu z COAs, co wskazuje, że BCNs mogą skutecznie łagodzić uszkodzenia oksydacyjne wywoływane przez PTE. Wynik ten potwierdza, że BCNs są bardziej efektywne w zwiększaniu odporności roślin rosnących w środowiskach zanieczyszczonych. Całościowo uzyskane rezultaty wskazują, że BCNs stanowią bardziej skuteczne i zrównoważone rozwiązanie w remediacji gleb zanieczyszczonych PTE niż konwencjonalne dodatki organiczne (Muhammad, 2023). Wyniki te mają istotne znaczenie dla poprawy jakości gleb oraz produktywności rolniczej na obszarach dotkniętych zanieczyszczeniem przemysłowym.



Rys. 10. BCNs ograniczają przedostawanie się PTE do łańcucha pokarmowego poprzez wpływ na ich biodostępność. Rysunek pochodzi z publikacji H8.

Indywidualny wkład Wnioskodawcy w realizację tej pracy obejmował:

- kierowanie procesem otrzymywania i przygotowania nanokarbonowych arkuszy biowęglowych (BCNs), z zapewnieniem ich odpowiedniej jakości i funkcjonalności na potrzeby badań eksperymentalnych;
- zarządzanie harmonogramem badań oraz nadzór nad prawidłową realizacją wszystkich wariantów doświadczalnych w układzie losowanych bloków;

- prowadzenie szczegółowego monitoringu kondycji roślin, w tym zbieranie i analizę danych dotyczących parametrów wzrostu, takich jak biomasa oraz długość części nadziemnych i korzeni;
- odegranie istotnej roli w doborze zaawansowanych technik analitycznych służących oznaczaniu stężeń PTE w glebie i tkankach roślinnych, w tym koordynację analiz z wykorzystaniem ICP-MS;
- ukierunkowanie interpretacji wyników wykrywania wolnych rodników z użyciem spektroskopii EPR w celu oceny stresu oksydacyjnego u roślin;
- udział w analizie statystycznej i walidacji wyników, potwierdzających istotność efektów działania BCNs w porównaniu z konwencjonalnymi dodatkami organicznymi;
- wspieranie współpracy w zespole badawczym w zakresie wizualizacji danych i wyników, tak aby zostały one przedstawione w manuskrypcie w sposób przejrzysty i czytelny.

4.6. Rola biowęgla w przemianach projektowanych nanocząstek

Biowęgiel zyskał w ostatnich latach duże zainteresowanie jako wszechstronny i zrównoważony materiał, zdolny do przeciwdziałania różnorodnym wyzwaniom środowiskowym, w szczególności związanym z przemianami i stabilizacją projektowanych nanocząstek (ENPs) (Narges i in., 2020). Powszechne wykorzystanie ENPs w wielu sektorach przemysłu, w tym w rolnictwie, kosmetyce, elektronice i medycynie, doprowadziło do coraz większego uwalniania tych cząstek do środowiska. Po przedostaniu się do gleb i systemów wodnych nanocząstki te mogą wykazywać nieprzewidywalne zachowanie z uwagi na niewielkie rozmiary, wysoką reaktywność powierzchniową oraz specyficzne właściwości chemiczne, co stwarza potencjalne zagrożenie dla ekosystemów i zdrowia człowieka (Guocheq i in., 2018). Biowęgiel stanowi obiecujące rozwiązanie w ograniczaniu ryzyka związanego z ENPs poprzez przekształcanie tych nanocząstek w formy mniej reaktywne i mniej mobilne, a tym samym poprzez ograniczanie ich biodostępności i toksyczności (Qumber i in., 2020).

Znaczenie biowęgla wynika z jego właściwości fizycznych i chemicznych, które czynią go materiałem szczególnie przydatnym w remediacji środowiska. Otrzymywany w procesie pirolizy materiałów organicznych w wysokiej temperaturze i w warunkach braku tlenu, biowęgiel charakteryzuje się silnie porowatą strukturą, dużą powierzchnią

właściwą, obecnością licznych grup funkcyjnych oraz wysoką zdolnością adsorpcyjną (Yi i in., 2024). Właściwości te umożliwiają oddziaływanie biowęgla z ENPs w sposób prowadzący do ich immobilizacji lub przemian. Przykładowo, biowęgiel może adsorbować nanocząstki na swojej powierzchni, ograniczając ich swobodne przemieszczanie się w środowisku glebowym i wodnym (Guocheng i in., 2018). Zmniejsza to prawdopodobieństwo pobierania ENPs przez rośliny lub ich wymywania do wód gruntowych, gdzie mogłyby powodować zanieczyszczenie. Ponadto biowęgiel może indukować zmiany chemiczne w nanocząstkach, wpływając na ich ładunek powierzchniowy lub stopień agregacji, co może prowadzić do zmniejszenia ich szkodliwości lub zwiększenia stabilności w matrycach środowiskowych (Qumber i in., 2020).

Zastosowanie biowęgla ma kluczowe znaczenie w przemianach ENPs, ponieważ stanowi rozwiązanie opłacalne, zrównoważone i przyjazne środowisku w zarządzaniu rosnącą obecnością nanocząstek w ekosystemach naturalnych. Zdolność biowęgla do immobilizacji i przekształcania ENPs może w istotny sposób ograniczać ich mobilność środowiskową i toksyczność, zapobiegając ich kumulacji w łańcuchach pokarmowych oraz długoterminowym negatywnym skutkom ekologicznym (Anwuli i in., 2024). Ponadto wielofunkcyjna rola biowęgla, obejmująca stabilizację zanieczyszczeń, poprawę jakości gleby, a potencjalnie także sekwestrację węgla, czyni go szczególnie atrakcyjnym materiałem do wykorzystania w wielkoskalowych projektach remediacji środowiska ukierunkowanych na ograniczanie skutków zanieczyszczenia nanocząstkami. Tym samym biowęgiel jawi się jako istotne narzędzie w zrównoważonym zarządzaniu projektowanymi nanocząstkami w środowisku.

H2) Abbas, Q., Yousaf, B, Mujtaba Munir, M.A., Cheema, A.I., Hussain, I., Rinklebe, J (2021) Biochar-mediated transformation of titanium dioxide nanoparticles concerning TiO₂ NPs-biochar interactions, plant traits and tissue accumulation to cell translocation. Environ. Pollut. 270: 116077*

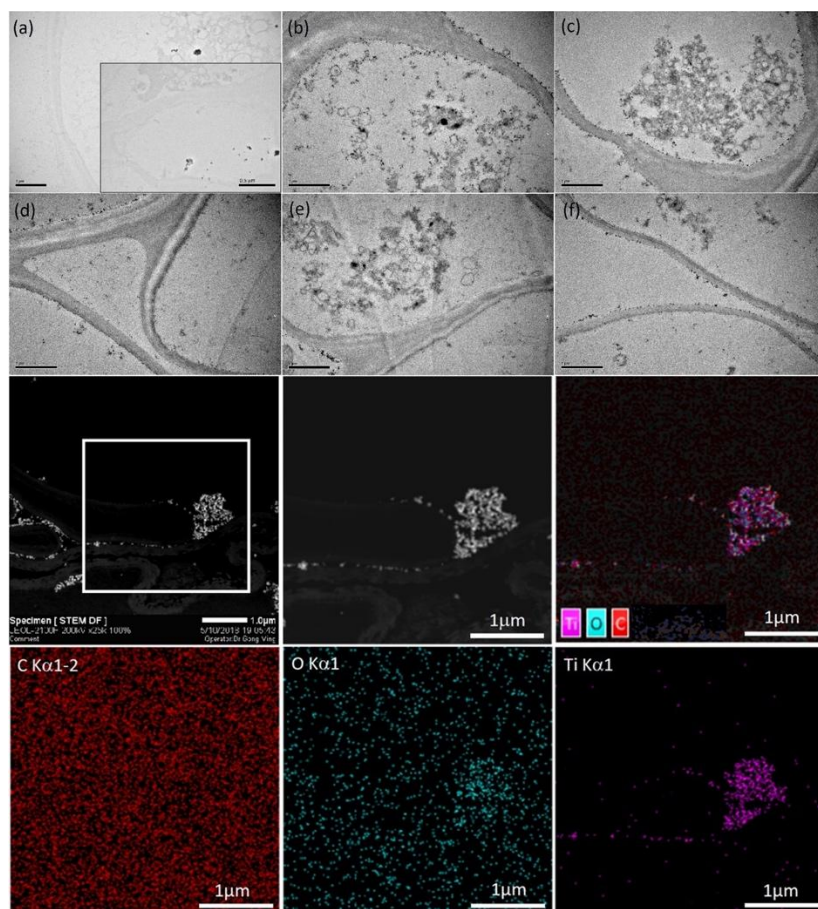
Praca ta dotyczy narastającego wyzwania środowiskowego wynikającego z powszechnego stosowania projektowanych nanocząstek (ENPs), w szczególności nanocząstek ditlenku tytanu (TiO₂ NPs), oraz ich oddziaływań z układami roślinnymi. Wraz z rozszerzaniem zastosowań ENPs w różnych produktach przemysłowych, takich jak kosmetyki, farby czy dodatki do żywności, cząstki te nieuchronnie przedostają się do środowiska glebowego i wodnego, budząc obawy dotyczące ich długofalowego wpływu

na ekosystemy i rolnictwo (Paramita, 2023). W warunkach rolniczych rośliny narażone na działanie tych nanocząstek mogą wykazywać zmiany wzrostu, pobierania składników pokarmowych, a nawet objawy toksyczności, zależnie od stężenia i charakteru nanocząstek. W pracy tej skoncentrowano się na roli biowęgla w ograniczaniu negatywnego wpływu nanocząstek TiO_2 na układy roślinne. Chociaż wcześniejsze badania dotyczyły zdolności biowęgla do adsorpcji metali i zanieczyszczeń organicznych, nadal niewiele wiadomo na temat tego, w jaki sposób biowęgiel wpływa na zachowanie, przemiany i toksyczność nanocząstek, takich jak TiO_2 , w układach glebowych i roślinnych (Ali i in., 2020).

Problem badawczy podjęty w tej pracy dotyczył niepewności związanej z mechanizmami oddziaływania biowęgla z ENPs, zwłaszcza w kontekście modyfikowania ich biodostępności oraz ograniczania ich potencjalnie szkodliwego wpływu na rośliny. Biowęgiel, dzięki dużej powierzchni właściwej, porowatości oraz obecności grup funkcyjnych, wykazuje unikalny potencjał do immobilizacji tych nanocząstek, ograniczając ich pobieranie przez rośliny. Nadal jednak mechanizmy, za pośrednictwem których biowęgiel może zmieniać interakcje pomiędzy nanocząstkami TiO_2 a roślinami, a także jego zdolność do ograniczania stresu indukowanego przez nanocząstki, nie zostały w pełni wyjaśnione (Paramita, 2023). W związku z rosnącą obecnością ENPs w glebach rolniczych, wynikającą z ich szerokiego zastosowania przemysłowego, zrozumienie roli biowęgla w ograniczaniu tych zagrożeń ma kluczowe znaczenie dla opracowania zrównoważonych praktyk zarządzania glebą. Dlatego też w pracy tej badano wpływ biowęgla na oddziaływanie pomiędzy nanocząstkami TiO_2 a układami roślinnymi (rys. 11), ze szczególnym uwzględnieniem zdolności biowęgla do ograniczania akumulacji nanocząstek w roślinach oraz łagodzenia stresu oksydacyjnego (Fu i in., 2023).

Układ eksperymentalny obejmował uprawę roślin w systemach hydroponicznych traktowanych różnymi stężeniami nanocząstek ditlenku tytanu (TiO_2 NPs) w celu zbadania ich oddziaływań z biowęgłem. Biowęgiel dodawano do roztworów hydroponicznych w różnych dawkach, aby ocenić jego wpływ na mobilność TiO_2 NPs, ich biodostępność oraz pobieranie przez rośliny. Eksperyment zaprojektowano tak, aby porównać wzrost roślin i ich odpowiedzi fizjologiczne w układach z dodatkiem biowęgla i bez jego dodatku; wykonano szczegółowe pomiary biomasy roślin, długości korzeni i pędów oraz stężenia TiO_2 NPs w tkankach roślinnych. Dodatkowo przeprowadzono testy

mające na celu ocenę poziomu stresu oksydacyjnego u roślin, aby określić potencjalną rolę biowęgla w łagodzeniu stresu wywoływanego przez nanocząstki.



Rys. 11. Obrazy TEM tkanek korzeni roślin przy różnych rozdzielczościach (panel 1) oraz mapowanie pierwiastkowe korzeni zawierających nanocząstki tytanu (panel 2). Rysunek pochodzi z publikacji H2.

Najbardziej nowatorskim wynikiem badania było wykazanie, że biowęgiel może w istotny sposób ograniczać biodostępność i toksyczność nanocząstek ditlenku tytanu (TiO₂ NPs) w układach roślinnych. Uzyskane wyniki wykazały, że dodatek biowęgla do systemu hydroponicznego prowadził do wyraźnego ograniczenia pobierania TiO₂ NPs przez korzenie i części nadziemne roślin, co wskazuje, że biowęgiel działa jako bariera immobilizująca te nanocząstki w otaczającym środowisku (rys. 11). Potwierdzały to niższe stężenia TiO₂ NPs w tkankach roślinnych w obecności biowęgla w porównaniu z grupą kontrolną bez jego dodatku. Ponadto wykazano, że biowęgiel łagodził stres oksydacyjny u roślin wywołany przez TiO₂ NPs, na co wskazywały obniżone poziomy

reaktywnych form tlenu (ROS) w roślinach eksponowanych na działanie biowęglu (Fu i in., 2023).

Badanie wykazało również, że biowęgiel poprawiał wzrost roślin w warunkach stresu wywołanego nanocząstkami, co przejawiało się wydłużeniem korzeni i pędów oraz zwiększeniem biomasy u roślin traktowanych biowęglem. Wyniki te wskazują, że biowęgiel nie tylko zapobiega szkodliwej akumulacji nanocząstek w roślinach, lecz także pomaga ograniczać powodowane przez nie uszkodzenia oksydacyjne, prowadząc do poprawy kondycji roślin. Ta podwójna rola biowęglu - jako fizycznej bariery oraz czynnika łagodzącego stres - stanowi kluczowy element nowatorstwa niniejszego badania i podkreśla jego potencjał jako zrównoważonego narzędzia służącego do zarządzania zanieczyszczeniem nanocząstkami w środowiskach rolniczych.

Indywidualny wkład Wnioskodawcy w realizację tej pracy obejmował:

- kierowanie projektowaniem i realizacją badań dotyczących oddziaływań biowęglu z nanocząstkami ditlenku tytanu (TiO₂ NPs) w układach roślinnych;
- nadzorowanie przygotowania i stosowania biowęglu w systemach hydroponicznych wykorzystywanych w doświadczeniach ekspozycyjnych na nanocząstki;
- przeprowadzenie szczegółowej analizy danych dotyczących mobilności nanocząstek oraz ich pobierania przez rośliny w obecności biowęglu;
- nadzorowanie oceny kondycji roślin, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu biowęglu na łagodzenie stresu wywoływanego przez nanocząstki;
- udział w przygotowaniu i redakcji manuskryptu, zapewniający jasne przedstawienie roli biowęglu w przemianach oraz ograniczaniu toksyczności TiO₂ NPs w roślinach.

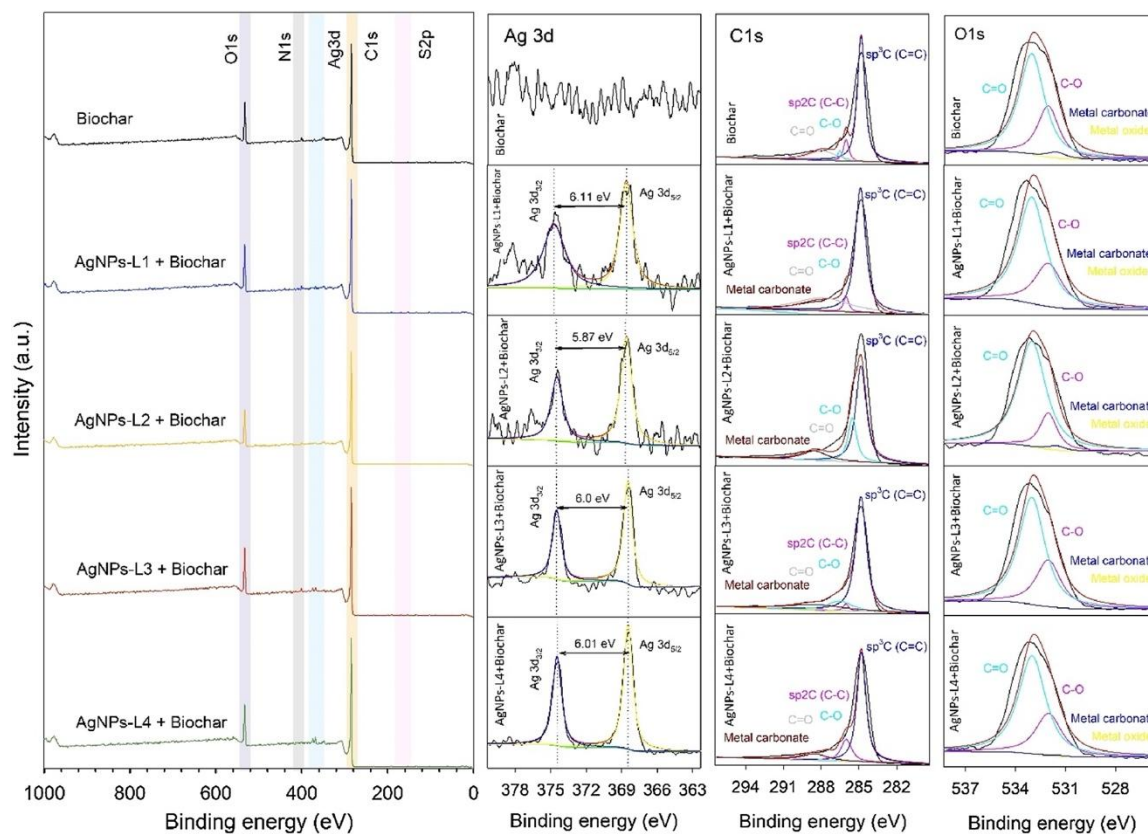
H5) Abbas, Q., Yousaf, B, Ullah, H., Ali, M.U., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M., Rinklebe, J (2020) Biochar-induced immobilization and transformation of silver-nanoparticles affect growth, intracellular-radicles generation and nutrients assimilation by reducing oxidative stress in maize. J. Hazard. Mater. 390: 121976*

Praca ta dotyczy narastających obaw związanych z wpływem nanocząstek srebra (AgNPs) na środowisko, zwłaszcza w kontekście systemów rolniczych, do których cząstki te mogą trafiać za pośrednictwem różnych produktów, takich jak nawozy, pestycydy czy ścieki. Nanocząstki srebra, znane ze swoich właściwości

przeciwdrobnoustrojowych, są coraz szerzej wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu, co prowadzi do ich nieuniknionego uwalniania do środowiska (Hongye i in., 2024). Chociaż korzyści wynikające z zastosowania AgNPs są dobrze udokumentowane, ich niekontrolowane wprowadzanie do gleb rolniczych stwarza istotne zagrożenia środowiskowe i zdrowotne. Po przedostaniu się do gleby nanocząstki srebra mogą być pobierane przez rośliny, potencjalnie zakłócając ich fizjologię i wzrost, a także prowadząc do bioakumulacji toksycznych form srebra w tkankach roślinnych. Taka sytuacja zagraża nie tylko zdrowiu roślin, lecz również stwarza ryzyko dla łańcucha pokarmowego, co może prowadzić do dalszych zaburzeń ekologicznych.

W odpowiedzi na te zagrożenia praca koncentruje się na roli biowęgla w ograniczaniu negatywnego wpływu AgNPs w układach gleba-roślina. Biowęgiel, będący materiałem otrzymywanym w procesie termicznego rozkładu materii organicznej, jest powszechnie uznawany za skuteczny środek poprawiający właściwości gleby i immobilizujący zanieczyszczenia. Dzięki dużej porowatości, rozwiniętej powierzchni właściwej oraz obecności reaktywnych grup funkcyjnych biowęgiel posiada zdolność oddziaływania z AgNPs w sposób mogący ograniczać ich szkodliwe skutki. Nadal jednak brakuje szczegółowej wiedzy na temat mechanizmów, za pomocą których biowęgiel może immobilizować AgNPs i łagodzić ich toksyczność w środowisku gleba-roślina (Md Anwarul i in., 2022). Celem tej pracy było zatem zbadanie, w jaki sposób biowęgiel może zmieniać zachowanie nanocząstek srebra w glebie (rys. 12), ograniczać ich mobilność i potencjalnie zapobiegać ich pobieraniu przez rośliny.

W celu pogłębionej analizy tego zagadnienia badanie zostało ukierunkowane na kilka kluczowych pytań. Obejmowały one określenie, w jaki sposób biowęgiel wpływa na fizyczne i chemiczne przemiany AgNPs w glebach zanieczyszczonych. Analizowano również, czy biowęgiel może ograniczać stres oksydacyjny wywoływany przez AgNPs u roślin poprzez modyfikowanie dostępności i reaktywności tych nanocząstek. Ponadto oceniano, w jaki sposób obecność biowęgla wpływa na ogólną kondycję roślin, ich wzrost oraz pobieranie składników pokarmowych w glebach zanieczyszczonych AgNPs. Poprzez analizę tych zagadnień praca dostarcza istotnych informacji na temat możliwości wykorzystania biowęgla jako skutecznego narzędzia do zarządzania zanieczyszczeniem nanocząstkami w systemach rolniczych, wspierając zarówno zrównoważenie środowiskowe, jak i produktywność rolniczą (Kusum i in., 2024).



Rys. 12. Widma XPS $Ag3d$, $C1s$ oraz $O1s$ dla biowęgla i kompleksów biowęgla–AgNP po 20 dniach doświadczenia hydroponicznego. Rysunek pochodzi z publikacji H5.

Praca ta przedstawia nowatorskie wyniki, wykazując skuteczność biowęgla w ograniczaniu szkodliwego wpływu nanocząstek srebra (AgNPs) w układach gleba–roślina, oferując nowe spojrzenie na rolę biowęgla jako środowiskowego zabezpieczenia przed zanieczyszczeniem nanocząstkami. Jednym z najważniejszych wyników badania było wykazanie, że biowęgiel w istotny sposób ogranicza biodostępność AgNPs w glebach zanieczyszczonych, skutecznie zapobiegając ich pobieraniu przez rośliny. Efekt ten wynika z dużej powierzchni właściwej i porowatości biowęgla, które umożliwiają adsorpcję i immobilizację AgNPs, a tym samym ograniczenie ich mobilności oraz oddziaływania z systemem korzeniowym roślin. Immobilizacja ta ma kluczowe znaczenie, ponieważ zapobiega przenikaniu nanocząstek do tkanek roślinnych i zmniejsza ich ogólną toksyczność wobec roślin (Fu i in., 2023).

Kolejnym ważnym i nowatorskim wynikiem było ograniczenie stresu oksydacyjnego obserwowanego u roślin eksponowanych na AgNPs w obecności biowęgla w glebie. Badanie wykazało, że biowęgiel nie tylko fizycznie adsorbuje nanocząstki, lecz również ogranicza uszkodzenia oksydacyjne wywoływane przez te cząstki w komórkach roślinnych. Potwierdziły to niższe poziomy reaktywnych form

tlenu (ROS) w roślinach traktowanych biowęglem, co wskazuje, że biowęgiel wspiera ochronę zdrowia roślin poprzez ograniczanie toksycznych skutków ekspozycji na AgNPs (Hongye i in., 2024).

Znaczenie tych wyników jest trudne do przecenienia. W warunkach rosnącego wykorzystania nanocząstek w rolnictwie i innych sektorach przemysłu kluczowe staje się zrozumienie sposobów zarządzania ryzykiem środowiskowym związanym z ich obecnością. Praca ta wskazuje biowęgiel jako rozwiązanie opłacalne, zrównoważone i praktyczne w przeciwdziałaniu zanieczyszczeniu nanocząstkami, oferując skuteczną metodę zapobiegania szkodliwej akumulacji nanocząstek w roślinach uprawnych i w środowisku. Badanie to nie tylko poszerza wiedzę na temat oddziaływań biowęgla z nanocząstkami, ale również dostarcza cennych wskazówek dla dalszego rozwoju dodatków glebowych opartych na biowęglu, ukierunkowanych na poprawę zrównoważenia produkcji rolniczej oraz ochronę ekosystemów przed niezamierzonymi skutkami rozwoju nanotechnologii.

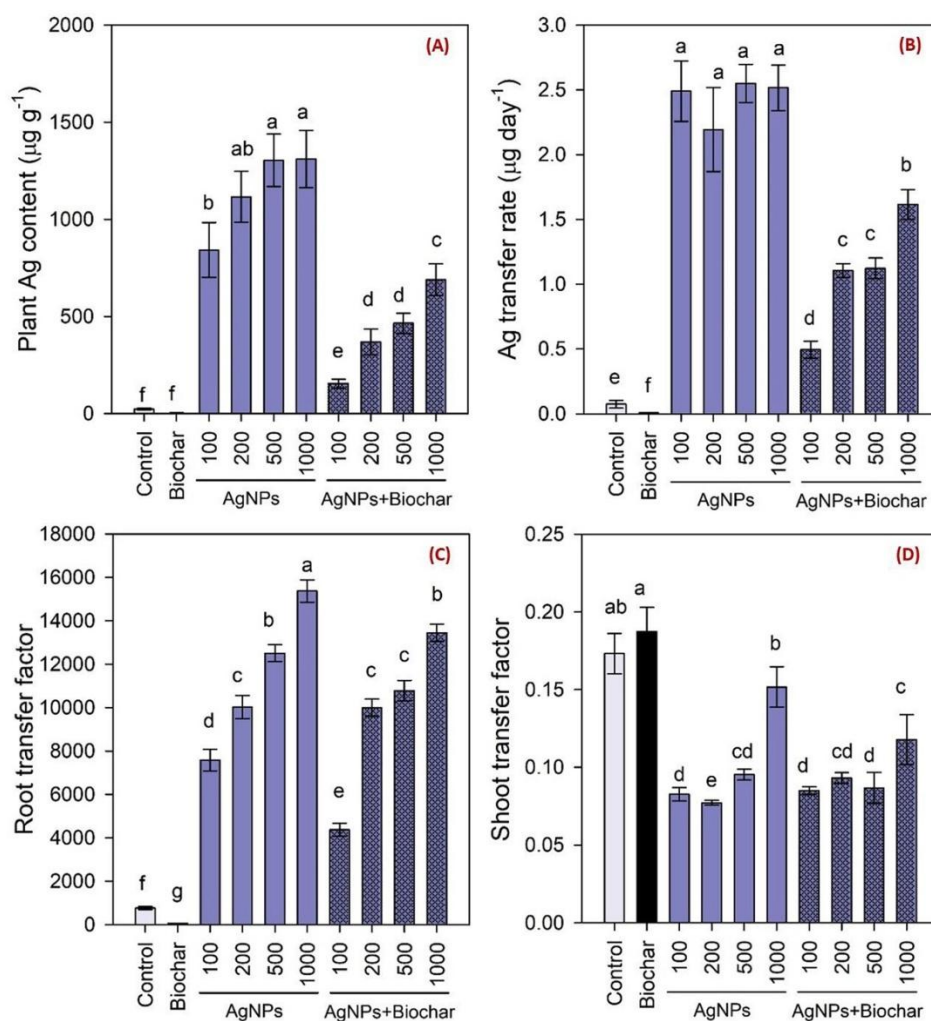
Indywidualny wkład Wnioskodawcy w realizację tej pracy obejmował:

- zaprojektowanie oraz nadzorowanie przygotowania biowęgla do badań, z zapewnieniem odpowiednich warunków pirolizy oraz jednorodnej jakości materiału;
- organizację i prowadzenie badań ekspozycyjnych z udziałem roślin uprawianych w glebach traktowanych nanocząstkami srebra i biowęglem, w celu monitorowania wpływu tych czynników na wzrost roślin;
- przeprowadzenie interpretacji danych dotyczących przemian nanocząstek w obecności biowęgla, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu biowęgla na stabilność nanocząstek;
- aktywny udział w analizie wskaźników kondycji roślin i stresu fizjologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem roli biowęgla w łagodzeniu negatywnych skutków działania nanocząstek;
- udział w opracowaniu wyników badań i współtworzeniu dyskusji dotyczącej potencjału biowęgla w praktycznych zastosowaniach środowiskowych związanych z remediacją zanieczyszczeń nanocząstkami.

H6) Abbas, Q#, Liu, G#, Yousaf, B#, Ali, M.U., Ullah, H., Ahmed, R (2019) Effects of biochar on uptake, acquisition and translocation of silver nanoparticles in rice

(Oryza sativa L.) in relation to growth, photosynthetic traits and nutrients displacement. Environ. Pollut. 250, 728–736

Praca ta koncentruje się na oddziaływaniach pomiędzy biowęglem a nanocząstkami srebra (AgNPs) w systemach rolniczych, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu biowęgla na pobieranie, translokację oraz toksyczność AgNPs u roślin ryżu. W pracy przeanalizowano, w jaki sposób biowęgiel wpływa na przemieszczanie się nanocząstek srebra w obrębie rośliny oraz na ich oddziaływanie na fizjologię roślin. Badanie dotyczy skuteczności biowęgla w ograniczaniu biodostępności AgNPs oraz łagodzeniu ich toksycznych efektów u roślin ryżu, które są wrażliwe na zanieczyszczenie nanocząstkami (Md Anwarul i in., 2022). Praca ta przedstawia wyniki odnoszące się bezpośrednio do translokacji nanocząstek srebra w tkankach roślinnych, wykazując, że biowęgiel w istotny sposób ogranicza przemieszczanie się AgNPs z korzeni do części nadziemnych (rys. 13).



Rys. 13. (A) stężenie srebra w roślinach ($\mu\text{g g}^{-1}$), (B) tempo transferu Ag ($\mu\text{g dzień}^{-1}$), dwuletni transferu w korzeniach (C) oraz w częściach nadziemnych (D) u roślin ryżu po

20 dniach ekspozycji na nanocząstki. Wartości przedstawiono jako średnia \pm SE ($n = 4$). Istotne statystycznie różnice pomiędzy wariantami doświadczalnymi oznaczono różnymi literami ($p \leq 0,05$). Rysunek pochodzi z publikacji H6.

Wynik ten odróżnia niniejszą pracę od publikacji H5, która koncentruje się przede wszystkim na immobilizacji nanocząstek w glebie lub w systemach hydroponicznych, bez szczególnego uwzględnienia ich wewnętrznego transportu w roślinach. Badanie wykazało ponadto, że biowęgł poprawia pobieranie składników pokarmowych przez rośliny ryżu uprawiane w środowisku zanieczyszczonym AgNPs, co stanowi nową obserwację, nieakcentowaną w pozostałych pracach. Zwiększona asymilacja składników pokarmowych częściowo kompensuje negatywny wpływ AgNPs na wzrost roślin (Ali i in., 2020). Dodatkowo wykazano, że biowęgł nie tylko ogranicza toksyczność nanocząstek, lecz także poprawia wydajność fotosyntetyczną ryżu, przyczyniając się do lepszej ogólnej kondycji roślin oraz większej produkcji biomasy, co stanowi szczególnie istotny i wyraźnie podkreślony rezultat tej pracy.

Indywidualny wkład Wnioskodawcy w realizację tej pracy obejmował:

- istotny udział w opracowaniu projektu eksperymentalnego, zwłaszcza w doborze stężeń nanocząstek srebra (AgNPs) oraz dawek biowęgla stosowanych w badaniach z udziałem roślin ryżu;
- kierowanie przygotowaniem biowęgla oraz jego zastosowaniem w układzie gleba–roślina, z zapewnieniem spójności metodycznej we wszystkich wariantach doświadczalnych;
- odegranie kluczowej roli w nadzorowaniu poboru prób roślinnych oraz w analizie translokacji AgNPs w roślinach ryżu, ze szczególnym uwzględnieniem przemieszczania się nanocząstek z korzeni do części nadziemnych;
- analizę danych dotyczących wpływu biowęgla na fizjologię roślin ryżu, zwłaszcza w odniesieniu do pobierania składników pokarmowych oraz wydajności fotosyntetycznej, z zachowaniem wysokiej rzetelności interpretacyjnej;
- aktywny udział w przygotowaniu oraz redakcji manuskryptu, zapewniający jasne przedstawienie roli biowęgla w ograniczaniu toksyczności nanocząstek i wspomaganiu wzrostu roślin;
- wniesienie specjalistycznej wiedzy dotyczącej oddziaływań gleba–roślina oraz toksyczności nanocząstek, co miało istotne znaczenie dla interpretacji

mechanizmów, za pomocą których biowęgiel poprawia kondycję roślin w środowiskach zanieczyszczonych.

4.7. Podsumowanie

Publikacje (H1–H10) wchodzące w skład osiągnięcia naukowego ukazują wieloaspektową rolę biowęgla w przeciwdziałaniu zanieczyszczeniu środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem optymalizacji jego wytwarzania, charakterystyki oraz zastosowań w remediacji gleb i wód. Ten kompleksowy dorobek badawczy obejmuje cztery zasadnicze obszary.

Po pierwsze, badania dotyczą wytwarzania biowęgla, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu różnych substratów oraz warunków pirolizy na jego właściwości fizykochemiczne, które mają kluczowe znaczenie dla skuteczności usuwania zanieczyszczeń. Po drugie, istotne miejsce zajmuje charakterystyka biowęgla, prowadzona z wykorzystaniem zaawansowanych technik analitycznych umożliwiających poznanie jego struktury powierzchniowej, porowatości oraz grup funkcyjnych odpowiedzialnych za adsorpcję zanieczyszczeń, takich jak metale ciężkie i związki organiczne. Po trzecie, przedstawiono strategię remediacji gleb oparte na biowęglu, koncentrując się zwłaszcza na jego zdolności do immobilizacji metali ciężkich oraz poprawy jakości gleb w środowiskach zanieczyszczonych. W tej części podkreślono rolę biowęgla w ograniczaniu biodostępności toksycznych pierwiastków dla roślin, a tym samym w ochronie bezpieczeństwa żywności i zwiększaniu produktywności rolniczej. Wreszcie, badania dostarczają mechanistycznych wyjaśnień dotyczących przemian zanieczyszczeń, w tym projektowanych nanocząstek, ukazując, w jaki sposób biowęgiel oddziałuje z zanieczyszczeniami w układach wodnych, w tym jego zdolność do adsorpcji i przekształcania szkodliwych zanieczyszczeń, takich jak nanocząstki oraz metale ciężkie. Analiza ta obejmuje zarówno chemiczne, jak i fizyczne procesy warunkujące skuteczność biowęgla, dostarczając szczegółowych informacji na temat jego roli w ograniczaniu mobilności i toksyczności zanieczyszczeń w środowisku wodnym.

Całość przedstawionego osiągnięcia naukowego ukazuje w sposób kompleksowy potencjał biowęgla w remediacji środowiska, obejmując zarówno zagadnienia związane z jego wytwarzaniem, jak i mechanizmy funkcjonalne decydujące o jego skuteczności. Dorobek ten potwierdza, że biowęgiel stanowi nowatorskie i zrównoważone rozwiązanie w ograniczaniu zanieczyszczenia gleb i wód.

4.8. Pozostałe osiągnięcia naukowe

W przebiegu swojej działalności naukowej Balal Yousaf konsekwentnie rozwija badania w obszarze nauk o środowisku, koncentrując się w szczególności na technologiach opartych na biowęglu, remediacji gleb i wód oraz przemianach nanocząstek. Jego zainteresowania badawcze obejmują zrównoważone przekształcanie odpadów w biowęglie i inne materiały środowiskowe, wykorzystanie biowęgla do ograniczania zanieczyszczenia gleb i wód, a także poznanie mechanizmów oddziaływania pomiędzy projektowanymi nanocząstkami a biowęgłem.

Jest autorem lub współautorem 135 wysoko punktowanych publikacji indeksowanych w bazie SCI oraz współautorem trzech rozdziałów w monografiach naukowych, które odzwierciedlają jego konsekwentne zaangażowanie w rozwiązywanie istotnych problemów środowiskowych. Jego dorobek naukowy spotkał się z szerokim uznaniem w środowisku akademickim, o czym świadczy łączna liczba 7213 cytowań w bazie Web of Science oraz 8569 cytowań w bazie Scopus. Uznanie to potwierdza znaczenie badań Wnioskodawcy w zakresie opracowywania innowacyjnych rozwiązań opartych na biowęglu na potrzeby zrównoważonego rozwoju środowiskowego.

Zakres prowadzonych przez niego badań obejmuje wiele obszarów, w tym adsorpcję zanieczyszczeń, funkcjonalizację biowęgla w celu zwiększenia skuteczności remediacji, a także bezpieczne unieszkodliwianie i przekształcanie odpadów w użyteczne zasoby.

a) Osiągnięcia naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora

Dorobek naukowy Wnioskodawcy sprzed uzyskania stopnia doktora obejmuje czternaście wysokiej jakości publikacji naukowych (N1–N14), w tym siedem prac, w których był pierwszym autorem, oraz siedem prac, w których występował jako współautor. Łączna wartość dwuletnia Impact Factor tych publikacji w roku ich opublikowania wynosiła 63,75, natomiast według danych na rok 2026 wzrosła do 92,7. Na tym etapie działalności naukowej prace Wnioskodawcy opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora były cytowane 968 razy w bazie Web of Science, 1382 razy w Google Scholar oraz 1138 razy w bazie Scopus. Badania te stworzyły podstawy jego specjalistycznej wiedzy w zakresie zastosowania biowęgla w remediacji środowisk zanieczyszczonych oraz jego roli w zrównoważonej gospodarce odpadami.

Wykaz publikacji naukowych przed uzyskaniem stopnia doktora:

<p>N1) Yousaf, B#., Liu, G., Wang, R., Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Zia-ur-Rehman, M., Qadir, A., & Si, Y. (2016). The importance of evaluating metal exposure and predicting human health risks in urban-periurban environments influenced by emerging industry. <i>Chemosphere</i>, 150, 79–89. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.007 Dwuletni Impact Factor: 8,1; CiteScore: 15,8; punkty MEiN: 140</p>
<p>N2) Yousaf, B#., Liu, G., Wang, R., Imtiaz, M., Zia-ur-Rehman, M., Munir, M. A. M., & Niu, Z. (2016). Bioavailability evaluation, uptake of heavy metals and potential health risks via dietary exposure in urban-industrial areas. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 23(22), 22443–22453. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7449-8 Dwuletni Impact Factor: 5,6 (2023); CiteScore: 8,7; punkty MEiN: 100</p>
<p>N3) Yousaf, B#., Liu, G., Wang, R., Qadir, A., Ali, M. U., Kanwal, Q., Munir, B., & Abbas, Z. (2016). Bisphenol A exposure and healing effects of <i>Adiantum capillus-veneris</i> L. plant extract (APE) in bisphenol A-induced reproductive toxicity in albino rats. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 23(12), 11645–11657. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6330-0 Dwuletni Impact Factor: 5,6 (2023); CiteScore: 8,7; punkty MEiN: 100</p>
<p>N4) Yousaf, B#., Liu, G., Wang, R., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M. S., Imtiaz, M., Murtaza, G., & Shakoor, A. (2016). Investigating the potential influence of biochar and traditional organic amendments on the bioavailability and transfer of Cd in the soil–plant system. <i>Environmental Earth Sciences</i>, 75(5), 1–10. https://doi.org/10.1007/s12665-016-5285-2 Dwuletni Impact Factor: 2,8; CiteScore: 5,1; punkty MEiN: 50</p>
<p>N5) Niu, Z., Liu, G., Yin, H., Zhou, C., Wu, D., Yousaf, B., & Wang, C. (2016). In-situ FTIR study of reaction mechanism and chemical kinetics of a Xundian lignite during non-isothermal low temperature pyrolysis. <i>Energy Conversion and Management</i>, 124, 180–188. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.019 Dwuletni Impact Factor: 9,9; CiteScore: 19,0; punkty MEiN: 200</p>
<p>N6) Imtiaz, M., Mushtaq, M. A., Rizwan, M. S., Arif, M. S., Yousaf, B., Ashraf, M., Shuanglian, X., Rizwan, M., Mehmood, S., & Tu, S. (2016). Comparison of antioxidant enzyme activities and DNA damage in chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) genotypes exposed to vanadium. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 23(19), 19787–19796. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7192-1 Dwuletni Impact Factor: 5,6 (2023); CiteScore: 8,7; punkty MEiN: 100</p>
<p>N7) Rehman, M. Z.-U., Rizwan, M., Ali, S., Fatima, N., Yousaf, B., Naeem, A., Sabir, M., Ahmad, H. R., & Ok, Y. S. (2016). Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (<i>Zea mays</i> L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake. <i>Ecotoxicology and</i></p>

<p><i>Environmental Safety</i>, 133, 218–225. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.023 Dwuletni Impact Factor: 6,2; CiteScore: 12,1; punkty MEiN: 100</p>
<p>N8) Wang, R., Yousaf, B., Sun, R., Zhang, H., Zhang, J., & Liu, G. (2016). Emission characterization and $\delta^{13}\text{C}$ values of parent PAHs and nitro-PAHs in size-segregated particulate matters from coal-fired power plants. <i>Journal of Hazardous Materials</i>, 318, 487–496. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.030 Dwuletni Impact Factor: 12,2; CiteScore: 25,4; punkty MEiN: 200</p>
<p>N9) Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Yousaf, B., Saeed, D. A., Rizwan, M., Nawaz, M. A., Mehmood, S., & Tu, S. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review. <i>Journal of Environmental Management</i>, 183, 521–529. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.009 Dwuletni Impact Factor: 8,0; CiteScore: 13,7; punkty MEiN: 200</p>
<p>N10) Khan, M. A., Butt, S. J., Khan, K. A., Nadeem, F., Yousaf, B., & Javed, H. U. (2017). Morphological and physico-biochemical characterization of various tomato cultivars in a simplified soilless media. <i>Annals of Agricultural Sciences</i>, 62(2), 139–143. https://doi.org/10.1016/j.aos.2017.10.001 Dwuletni Impact Factor: 3,5; CiteScore: 12,6; punkty MEiN: 70</p>
<p>N11) Yousaf, B., Liu, G., Abbas, Q., Wang, R., Imtiaz, M., & Zia-ur-Rehman, M. (2017). Investigating the uptake and acquisition of potentially toxic elements in plants and health risks associated with the addition of fresh biowaste amendments to industrially contaminated soil. <i>Land Degradation and Development</i>, 28(8), 2596–2607. https://doi.org/10.1002/ldr.2821 Dwuletni Impact Factor: 3,6; CiteScore: 7,7; punkty MEiN: 200</p>
<p>N12) Yousaf, B., Liu, G., Abbas, Q., Wang, R., Ubaid Ali, M., Ullah, H., Liu, R., & Zhou, C. (2017). Systematic investigation on combustion characteristics and emission-reduction mechanism of potentially toxic elements in biomass- and biochar-coal co-combustion systems. <i>Applied Energy</i>, 208, 142–157. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.059 Dwuletni Impact Factor: 10,1; CiteScore: 21,2; punkty MEiN: 200</p>
<p>N13) Yousaf, B., Liu, G., Wang, R., Abbas, Q., Imtiaz, M., & Liu, R. (2017). Investigating the biochar effects on C-mineralization and sequestration of carbon in soil compared with conventional amendments using the stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$) approach. <i>GCB Bioenergy</i>, 9(6), 1085–1099. https://doi.org/10.1111/gcbb.12401 Dwuletni Impact Factor: 5,9; CiteScore: 10,3; punkty MEiN: 140</p>
<p>N14) Abbas, Q., Yousaf, B., Liu, G., Zia-ur-Rehman, M., Ali, M. U., Munir, M. A. M., & Hussain, S. A. (2017). Evaluating the health risks of potentially toxic elements through wheat consumption in multi-industrial metropolis of Faisalabad, Pakistan. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 24(34), 26646–26657.</p>

b) Osiągnięcia naukowe po uzyskaniu stopnia doktora

Dorobek naukowy Balala Yousafa po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje trzy rozdziały w monografiach naukowych (C1–C3), w których analizowano środowiskowe korzyści wynikające z zastosowania biowęgla w immobilizacji toksycznych metali oraz jego potencjał w poprawie jakości gleb, a także sto jedenaście (111) wysokiej jakości publikacji naukowych (N15–N125). Łączna wartość dwuletnia Impact Factor tych publikacji w roku ich opublikowania wynosiła 618,94, natomiast według danych na rok 2026 wzrosła do 813,13.

Wnioskodawca wniósł również istotny wkład w badania dotyczące synergii pomiędzy biowęgłem a projektowanymi nanocząstkami, koncentrujące się na immobilizacji zanieczyszczeń, ograniczaniu toksyczności nanocząstek oraz rozwoju technologii opartych na biowęglu na potrzeby zrównoważonej remediacji. Badania te spotkały się z szerokim uznaniem, czego wyrazem jest 5317 cytowań w bazie Web of Science, 6857 cytowań w Google Scholar oraz 6287 cytowań w bazie Scopus. Ten etap działalności naukowej Wnioskodawcy istotnie przyczynił się do pogłębienia wiedzy na temat możliwości wykorzystania biowęgla jako zrównoważonego rozwiązania problemu zanieczyszczenia nanocząstkami, wspierającego zarówno poprawę jakości środowiska, jak i zwiększanie produktywności rolniczej. Poprzez tę działalność badawczą Wnioskodawca dąży do wniesienia wkładu w globalne działania na rzecz doskonalenia praktyk gospodarowania odpadami oraz rozwoju przyjaznych środowisku materiałów przeznaczonych do remediacji środowiska.

Rozdziały w monografiach naukowych opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora:

C1. Abbas Q., Liu G., Ali M., Han J., El-Naggar A., **Yousaf B***: Nanomaterials in environment: release, compartmental transformation, and nanotoxicity, In: Handbook of nanomaterials. Vol. 2, Biomedicine, environment, food, and agriculture / Malik Muhammad Imran, Hussain Dilshad, Shah Muhammad Raza (eds.), 2024, Elsevier, ISBN 978-0-323-95513-3, pp. 745-789
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95513-3.00010-1>

Punkty MEiN (2024): 80

C2. El-Naggar A., Mosa A., El-Eyuooun A A., Yang X., **Yousaf B**, El-Naggar A. H., Cai Y., Chang S.X., Chapter 18 - Biochar for remediation of alkaline soils contaminated with toxic elements, Biochar in Agriculture for Achieving

<p>Sustainable Development Goals, Academic Press, 2022, Pages 223-240, ISBN 9780323853439, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85343-9.00029-X Punkty MEiN (2024): 50</p>
<p>C3) Ali, M.U., Yu, R., Ali, S., Munir, M.A.M., Yousaf, B., Abass, Q., & Adnan, M. (2025). Heavy Metals in Food Products: An Insight into Food Security as a Global Problem. In Ecological and Human Health Impacts of Contaminated Food and Environments (pp. 78–100). DOI: 10.1201/9781003492115-8 https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003492115-8/heavy-metals-food-products-insight-food-security-global-problem-muhammad-ubaid-ali-ruilian-yu-sajid-ali-mehr-ahmed-mujtaba-munir-balal-yousaf-qumber-abass-muhammad-adnan Punkty MEiN (2024): 20</p>

Wykaz publikacji naukowych po uzyskaniu stopnia doktora:

<p>2017</p>
<p>N15) Ali, M. U#, Liu, G., Yousaf, B#., Abbas, Q., Ullah, H., Munir, M. A. M., & Fu, B. (2017). Pollution characteristics and human health risks of potentially (eco)toxic elements (PTEs) in road dust from metropolitan area of Hefei, China. <i>Chemosphere</i>, 181, 111–121. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.061 Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N16) Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Yousaf, B., Ashraf, M., Ali, M., Yousuf, A., Rizwan, M., Din, M., Dai, Z., Xiong, S., Mehmood, S., & Tu, S. (2017). Interactive effects of vanadium and phosphorus on their uptake, growth and heat shock proteins in chickpea genotypes under hydroponic conditions. <i>Environmental and Experimental Botany</i>, 134, 72–81. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.11.003 Dwuletni Impact Factor: 4.5, Cite Score: 9.3, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N17) Ullah, H., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., & Zhou, C. (2017). Combustion characteristics and retention-emission of selenium during co-firing of torrefied biomass and its blends with high ash coal. <i>Bioresource Technology</i>, 245, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.144 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N18) Wang, R., Sun, R., Liu, G., Yousaf, B., Wu, D., Chen, J., & Zhang, H. (2017). A review of the biogeochemical controls on the occurrence and distribution of polycyclic aromatic compounds (PACs) in coals. <i>Earth-Science Reviews</i>, 171, 400–418. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.011 Dwuletni Impact Factor: 10.8, Cite Score: 21.7, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N19) Ali, M. U., Rashid, A., Yousaf, B., & Kamal, A. (2017). Health outcomes of</p>

<p>road-traffic pollution among exposed roadside workers in Rawalpindi City, Pakistan. <i>Human and Ecological Risk Assessment</i>, 23(6), 1330–1339. https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1308814 Dwuletni Impact Factor: 3, Cite Score: 9.6, Punkty MEiN: 40</p>
<p>2018</p>
<p>N20) Hussain, M., Liu, G., Yousaf, B., Ahmed, R., Uzma, F., Ali, M. U., Ullah, H., & Butt, A. R. (2018). Regional and sectoral assessment on climate-change in Pakistan: Social norms and indigenous perceptions on climate-change adaptation and mitigation in relation to global context. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 200, 791–808. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.272 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N21) Munir, M. A. M., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., & Abbas, Q. (2018). Enrichment and distribution of trace elements in Padhrar, Thar and Kotli coals from Pakistan: Comparison to coals from China with an emphasis on the elements distribution. <i>Journal of Geochemical Exploration</i>, 185, 153–169. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.009 Dwuletni Impact Factor: 3.4, Cite Score: 7.4, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N22) Rashid, A., Irum, A., Malik, I. A., Ashraf, A., Rongqiong, L., Liu, G., Ullah, H., Ali, M. U., & Yousaf, B. (2018). Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 170, 362–368. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.186 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N23) Ullah, H., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., Munir, M. A. M., & Mian, M. M. (2018). Developmental selenium exposure and health risk in daily foodstuffs: A systematic review and meta-analysis. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 149, 291–306. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.056 Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N24) Wang, R., Liu, G., Sun, R., Yousaf, B., Wang, J., Liu, R., & Zhang, H. (2018). Emission characteristics for gaseous- and size-segregated particulate PAHs in coal combustion flue gas from circulating fluidized bed (CFB) boiler. <i>Environmental Pollution</i>, 238, 581–589. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.051 Dwuletni Impact Factor: 7.6, Cite Score: 16, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N25) Ullah, H., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., Zhou, C., & Rashid, A. (2018). Hydrothermal dewatering of low-rank coals: Influence on the properties and combustion characteristics of the solid products. <i>Energy</i>, 158, 1192–1203. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.052 Dwuletni Impact Factor: 9, Cite Score: 15.3, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N26) Si, X., Wu, K., Si, Y., & Yousaf, B. (2018). Synergistic effects and mechanisms of hydroxyl radical-mediated oxidative degradation of sulfamethoxazole by Fe(II)-</p>

<p>EDTA catalyzed calcium peroxide: Implications for remediation of antibiotic-contaminated water. <i>Chemical Engineering Journal</i>, 353, 80–91. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.07.078 Dwuletni Impact Factor: 13.3, Cite Score: 21.7, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N27) Rehman, M. Z. U., Rizwan, M., Khalid, H., Ali, S., Naeem, A., Yousaf, B., Liu, G., Sabir, M., & Farooq, M. (2018). Farmyard manure alone and combined with immobilizing amendments reduced cadmium accumulation in wheat and rice grains grown in field irrigated with raw effluents. <i>Chemosphere</i>, 199, 468–476. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.030 Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N28) Munir, M. A. M., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., & Ullah, H. (2018a). Enrichment of Bi-Be-Mo-Cd-Pb-Nb-Ga, REEs and Y in the Permian coals of the Huainan Coalfield, Anhui, China. <i>Ore Geology Reviews</i>, 95, 431–455. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.037 Dwuletni Impact Factor: 3.2, Cite Score: 6.5, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N29) Ali, M. U., Liu, G., Yousaf, B., Abbas, Q., Ullah, H., Munir, M. A. M., & Zhang, H. (2018). Compositional characteristics of black-carbon and nanoparticles in air-conditioner dust from an inhabitable industrial metropolis. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 180, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.161 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N30) Rehman, M. Z., Rizwan, M., Ali, S., Naeem, A., Yousaf, B., Lui, G., Khalid, H., Hafeez, F., & Azhar, M. (2018). A field study investigating the potential use of phosphorus combined with organic amendments on cadmium accumulation by wheat and subsequent rice. <i>Arabian Journal of Geosciences</i>, 11(19). https://doi.org/10.1007/s12517-018-3961-0 Dwuletni Impact Factor: 0.406, Cite Score: 2.4, Punkty MEiN: 20</p>
<p>N31) Munir, M. A. M., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., & Ullah, H. (2018b). Reply to “Enrichment of Bi-Be-Mo-Cd-Pb-Nb-Ga, REEs and Y in the Permian coals of the Huainan Coalfield, Anhui, China: Discussion.” <i>Ore Geology Reviews</i>, 102, 940–948. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.04.029 Dwuletni Impact Factor: 3.2, Cite Score: 6.5, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N32) Mian, M. M., Liu, G., Yousaf, B., Fu, B., Ullah, H., Ali, M. U., Abbas, Q., Mujtaba Munir, M. A., & Ruijia, L. (2018). Simultaneous functionalization and magnetization of biochar via NH₃ ambiance pyrolysis for efficient removal of Cr (VI). <i>Chemosphere</i>, 208, 712–721. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.021 Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N33) Liu, R., Liu, G., Yousaf, B., & Abbas, Q. (2018). Operating conditions-induced changes in product yield and characteristics during thermal-conversion of peanut shell to biochar in relation to economic analysis. <i>Journal of Cleaner</i></p>

<p><i>Production</i>, 193, 479–490. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.034 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N34) Imtiaz, M., Ashraf, M., Rizwan, M. S., Nawaz, M. A., Rizwan, M., Mehmood, S., Yousaf, B., Yuan, Y., Ditta, A., Mumtaz, M. A., Ali, M., Mahmood, S., & Tu, S. (2018). Vanadium toxicity in chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) grown in red soil: Effects on cell death, ROS and antioxidative systems. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 158, 139–144. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.022 Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N35) Abbas, Q., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Ullah, H., Munir, M. A. M., & Liu, R. (2018). Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars. <i>Journal of Analytical and Applied Pyrolysis</i>, 134, 281–292. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.06.018 Dwuletni Impact Factor: 5.8, Cite Score: 9.1, Punkty MEiN: 100</p>
<p>2019</p>
<p>N36) Ali, M. U., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Abbas, Q., & Munir, M. A. M. (2019). A systematic review on global pollution status of particulate matter-associated potential toxic elements and health perspectives in urban environment. <i>Environmental Geochemistry and Health</i>, 41(3), 1131–1162. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0203-z Dwuletni Impact Factor: 3.2, Cite Score: 6.9, Punkty MEiN: 100</p>
<p>37) Hussain, M., Butt, A. R., Uzma, F., Ahmed, R., Islam, T., & Yousaf, B*. (2019). A comprehensive review of sectorial contribution towards greenhouse gas emissions and progress in carbon capture and storage in Pakistan. <i>Greenhouse Gases: Science and Technology</i>, 9(4), 617–636. https://doi.org/10.1002/ghg.1890 Dwuletni Impact Factor: 2.7, Cite Score: 4.9, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N38) Ullah, H., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Irshad, S., Abbas, Q., & Ahmad, R. (2019). A comprehensive review on environmental transformation of selenium: recent advances and research perspectives. <i>Environmental Geochemistry and Health</i>, 41(2), 1003–1035. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0195-8 Dwuletni Impact Factor: 3.2, Cite Score: 6.9, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N39) Niu, Z., Liu, G., Yin, H., Zhou, C., Wu, D., Yousaf, B., & Wang, C. (2019). Effect of pyridine extraction on the pyrolysis of a perhydrous coal based on in-situ FTIR analysis. <i>Journal of the Energy Institute</i>, 92(3), 428–437. https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.05.005 Dwuletni Impact Factor: 5.6, Cite Score: 10.6, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N40) Mahfooz, Y., Yasar, A., Sohail, M. T., Tabinda, A. B., Rasheed, R., Irshad, S., & Yousaf, B*. (2019). Investigating the drinking and surface water quality and associated health risks in a semi-arid multi-industrial metropolis (Faisalabad),</p>

<p>Pakistan. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 26(20), 20853–20865. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05367-9 Dwuletni Impact factor: 5.6 (2023), Cite Score: 8.7, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N41) Ali, M. U., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Abbas, Q., Munir, M. A. M., & Irshad, S. (2019). Biomonitoring and health risks assessment of trace elements in various age- and gender-groups exposed to road dust in habitable urban-industrial areas of Hefei, China. <i>Environmental Pollution</i>, 244, 809–817. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.084 Dwuletni Impact Factor: 7.6, Cite Score: 16, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N42) Irshad, S., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Ali, M. U., & Rinklebe, J. (2019). Estimating the pollution characteristics and health risks of potentially toxic metal(loid)s in urban-industrial soils in the Indus basin, Pakistan. <i>Environmental Monitoring and Assessment</i>, 191(12). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7909-y Dwuletni Impact Factor: 2.9, Cite Score: 4.7, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N43) Ubaid Ali, M., Liu, G., Yousaf, B., Ullah, H., Irshad, S., Ahmed, R., Hussain, M., & Rashid, A. (2019). Evaluation of floor-wise pollution status and deposition behavior of potentially toxic elements and nanoparticles in air conditioner dust during urbanistic development. <i>Journal of Hazardous Materials</i>, 365, 186–195. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.005 Dwuletni Impact Factor: 12.2, Cite Score: 25.4, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N44) Mian, M. M., Liu, G., Yousaf, B., Fu, B., Ahmed, R., Abbas, Q., Munir, M. A. M., & Ruijia, L. (2019). One-step synthesis of N-doped metal/biochar composite using NH₃-ambiance pyrolysis for efficient degradation and mineralization of Methylene Blue. <i>Journal of Environmental Sciences (China)</i>, 78, 29–41. https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.06.014 Dwuletni Impact Factor: 5.9, Cite Score: 13.7, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N45) Khelifi, F., Besser, H., Ayadi, Y., Liu, G., Yousaf, B., Harabi, S., Bedoui, S., Zighmi, K., & Hamed, Y. (2019). Evaluation of potentially toxic elements' (PTEs) vertical distribution in sediments of Gafsa–Metlaoui mining basin (Southwestern Tunisia) using geochemical and multivariate statistical analysis approaches. <i>Environmental Earth Sciences</i>, 78(2). https://doi.org/10.1007/s12665-019-8048-z Dwuletni Impact Factor: 2.8, Cite Score: 5.1, Punkty MEiN: 50</p>
<p>N46) Hussain, M., Butt, A. R., Uzma, F., Ahmed, R., Rehman, A., Ali, M. U., Ullah, H., & Yousaf, B*. (2019). Divisional disparities on climate change adaptation and mitigation in Punjab, Pakistan: local perceptions, vulnerabilities, and policy implications. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 26(30), 31491–31507. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06262-z Dwuletni Impact factor: 5.6 (2023), Cite Score: 8.7, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N47) Ali, S., Rizwan, M., Hussain, A., Zia ur Rehman, M., Ali, B., Yousaf, B., Wijaya,</p>

<p>L., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2019). Silicon nanoparticles enhanced the growth and reduced the cadmium accumulation in grains of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.). <i>Plant Physiology and Biochemistry</i>, 140, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.041 Dwuletni Impact Factor: 6.1, Cite Score: 11.1, Punkty MEiN: 70</p>
<p>2020</p>
<p>N48) Abbas, Q., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Ullah, H., Mujtaba Munir, M. A., Ahmed, R., & Rehman, A. (2020). Biochar-assisted transformation of engineered-cerium oxide nanoparticles: Effect on wheat growth, photosynthetic traits and cerium accumulation. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 187. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109845 Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N49) Mujtaba Munir, M. A., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., & Ullah, H. (2020). Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (<i>Zea mays</i> L.) in coal-mining contaminated soil. <i>Chemosphere</i>, 240. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124845 Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N50) Cheema, A. I., Liu, G., Yousaf, B., Abbas, Q., & Zhou, H. (2020). A comprehensive review of biogeochemical distribution and fractionation of lead isotopes for source tracing in distinct interactive environmental compartments. <i>Science of the Total Environment</i>, 719. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135658 Dwuletni Impact Factor: 8.2, Cite Score: 17.6, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N51) Jama, O. M., Liu, G., Diriye, A. W., Yousaf, B., Basiru, I., & Abdi, A. M. (2020). Participation of civil society in decisions to mitigate environmental degradation in post-conflict societies: evidence from Somalia. <i>Journal of Environmental Planning and Management</i>, 63(9), 1695–1715. https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1685957 Dwuletni Impact Factor: 4.4, Cite Score: 9.1, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N52) Hussain, M., Butt, A. R., Uzma, F., Ahmed, R., Irshad, S., Rehman, A., & Yousaf, B*. (2020). A comprehensive review of climate change impacts, adaptation, and mitigation on environmental and natural calamities in Pakistan. <i>Environmental Monitoring and Assessment</i>, 192(1). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7956-4 Dwuletni Impact Factor: 2.9, Cite Score: 4.7, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N53) Mahfooz, Y., Yasar, A., Guijian, L., Yousaf, B., Sohail, M. T., Khan, S., Tabinda, A. B., Rasheed, R., Mahmood, S., & Khan, M. (2020). An assessment of wastewater pollution, treatment efficiency anmanagement in a semi-arid urban area of Pakistan. <i>Desalination and Water Treatment</i>, 177, 167–175.</p>

<p>https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24949 Dwuletni Impact Factor: 1, Cite Score: 2.2, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N54) Abbas, Q., Yousaf, B*, Ullah, H., Ali, M. U., Ok, Y. S., & Rinklebe, J. (2020). Environmental transformation and nano-toxicity of engineered nano-particles (ENPs) in aquatic and terrestrial organisms. <i>Critical Reviews in Environmental Science and Technology</i>, 50(23), 2523–2581. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1705721 Dwuletni Impact Factor: 11.4, Cite Score: 27.3, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N55) Ijaz, M., Rizwan, M. S., Sarfraz, M., Ul-Allah, S., Sher, A., Sattar, A., Ali, L., Ditta, A., & Yousaf, B. (2020). Biochar Reduced Cadmium Uptake and Enhanced Wheat Productivity in Alkaline Contaminated Soil. <i>International Journal of Agriculture and Biology</i>, 24(6), 1633–1640. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85092484693&partnerID=40&md5=dd2817de86bf43a0ea41d02cf68c5dac Dwuletni Impact Factor: 0.822, Cite Score: 1.7, Punkty MEiN: 40</p>
<p>N56) Liu, Y., Liu, G., Yousaf, B., Zhang, J., & Zhou, L. (2020). Carbon fractionation and stable carbon isotopic fingerprint of road dusts near coal power plant with emphases on coal-related source apportionment. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 202. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110888 Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N57) Mujtaba Munir, M. A., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Cheema, A. I., Rashid, M. S., & Rehman, A. (2020). Bamboo-biochar and hydrothermally treated-coal mediated geochemical speciation, transformation and uptake of Cd, Cr, and Pb in a polymetal(oid)s-contaminated mine soil. <i>Environmental Pollution</i>, 265. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114816 Dwuletni Impact Factor: 7.6, Cite Score: 16, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N58) Amina., Si, X., Wu, K., Si, Y., & Yousaf, B. (2020). Mechanistic insights into the reactive radicals-assisted degradation of sulfamethoxazole via calcium peroxide activation by manganese-incorporated iron oxide–graphene nanocomposite: Formation of radicals and degradation pathway. <i>Chemical Engineering Journal</i>, 384. https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123360 Dwuletni Impact Factor: 13.3, Cite Score: 21.7, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N59) Sohail, M. I., Zia ur Rehman, M., Rizwan, M., Yousaf, B., Ali, S., Anwar ul Haq, M., Anayat, A., & Waris, A. A. (2020). Efficiency of various silicon rich amendments on growth and cadmium accumulation in field grown cereals and health risk assessment. <i>Chemosphere</i>, 244. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125481 Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N60) Munir, M. A. M., Liu, G., Yousaf, B., Mian, M. M., Ali, M. U., Ahmed, R., Cheema, A. I., & Naushad, M. (2020). Contrasting effects of biochar and</p>

<p>hydrothermally treated coal gangue on leachability, bioavailability, speciation and accumulation of heavy metals by rapeseed in copper mine tailings. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 191. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110244 Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N61) Abbas, Q., Yousaf, B*, Ali, M. U., Munir, M. A. M., El-Naggar, A., Rinklebe, J., & Naushad, M. (2020). Transformation pathways and fate of engineered nanoparticles (ENPs) in distinct interactive environmental compartments: A review. <i>Environment International</i>, 138. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105646 Dwuletni Impact Factor: 10.3, Cite Score: 21.9, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N62) Ahmed, R., Liu, G., Yousaf, B., Abbas, Q., Ullah, H., & Ali, M. U. (2020). Recent advances in carbon-based renewable adsorbent for selective carbon dioxide capture and separation-A review. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 242. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118409 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>2021</p>
<p>N63) Ahmed, R., Liu, G., Yousaf, B., Rehman, A., Munir, M. A. M., Irshad, S., Rashid, M. S., & Cheema, A. I. (2021). Understanding the synergy between N-doped ultra-microporous carbonaceous adsorbent and nitrogen functionalities for high performance of CO₂ sorption. <i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i>, 9(1). https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104646 Dwuletni Impact Factor: 7.4, Cite Score: 11.4, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N64) Rehman, A., Liu, G., Yousaf, B., Ahmed, R., Rashid, M. S., Irshad, S., Shakoor, A., & Farooq, M. R. (2021). Morpho-chemical characterization and source apportionment of potentially toxic metal(oid)s from school dust of second largest populous city of Pakistan. <i>Environmental Research</i>, 196. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110427 Dwuletni Impact Factor: 7.7, Cite Score: 12.6, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N65) Ali, M. U., Lin, S., Yousaf, B., Abbas, Q., Munir, M. A. M., Ali, M. U., Rasihd, A., Zheng, C., Kuang, X., & Wong, M. H. (2021). Environmental emission, fate and transformation of microplastics in biotic and abiotic compartments: Global status, recent advances and future perspectives. <i>Science of the Total Environment</i>, 791. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148422 Dwuletni Impact Factor: 8.2, Cite Score: 17.6, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N66) Mujtaba Munir, M. A., Yousaf, B., Ali, M. U., Dan, C., Abbas, Q., Arif, M., & Yang, X. (2021). In situ synthesis of micro-plastics embedded sewage-sludge co-pyrolyzed biochar: Implications for the remediation of Cr and Pb availability and enzymatic activities from the contaminated soil. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 302. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127005</p>

<p><i>Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N67) Rizwan, M. S., Imtiaz, M., Zhu, J., Yousaf, B., Hussain, M., Ali, L., Ditta, A., Zahid Ihsan, M., Huang, G., Ashraf, M., & Hu, H. (2021). Immobilization of Pb and Cu by organic and inorganic amendments in contaminated soil. <i>Geoderma</i>, 385. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114803 <i>Dwuletni Impact Factor: 5.6, Cite Score: 11.8, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N68) Munir, M. A. M., Irshad, S., Yousaf, B., Ali, M. U., Dan, C., Abbas, Q., Liu, G., & Yang, X. (2021). Interactive assessment of lignite and bamboo-biochar for geochemical speciation, modulation and uptake of Cu and other heavy metals in the copper mine tailing. <i>Science of the Total Environment</i>, 779. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146536 <i>Dwuletni Impact Factor: 8.2, Cite Score: 17.6, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N69) Liu, Y., Liu, G., Yousaf, B., Zhou, C., & Shen, X. (2021). Identification of the featured-element in fine road dust of cities with coal contamination by geochemical investigation and isotopic monitoring. <i>Environment International</i>, 152. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106499 <i>Dwuletni Impact Factor: 10.3, Cite Score: 21.9, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N70) Ashraf, A., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Ahmed, R., Irshad, S., Cheema, A. I., Rashid, A., & Gulzaman, H. (2021). Recent trends in advanced oxidation process-based degradation of erythromycin: Pollution status, eco-toxicity and degradation mechanism in aquatic ecosystems. <i>Science of the Total Environment</i>, 772. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145389 <i>Dwuletni Impact Factor: 8.2, Cite Score: 17.6, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N71) Khanna, K., Kohli, S. K., Handa, N., Kaur, H., Ohri, P., Bhardwaj, R., Yousaf, B., Rinklebe, J., & Ahmad, P. (2021). Enthralling the impact of engineered nanoparticles on soil microbiome: A concentric approach towards environmental risks and cogitation. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 222. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112459 <i>Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N72) Arif, M., Liu, G., Yousaf, B., Ahmed, R., Irshad, S., Ashraf, A., Zia-ur-Rehman, M., & Rashid, M. S. (2021). Synthesis, characteristics and mechanistic insight into the clays and clay minerals-biochar surface interactions for contaminants removal- A review. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 310. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127548 <i>Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N73) Irshad, S., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Ahmed, R., Rehman, A., Rashid, M. S., & Mahfooz, Y. (2021). Geochemical fractionation and spectroscopic fingerprinting for evaluation of the environmental transformation of potentially toxic metal(oid)s in surface–subsurface soils. <i>Environmental Geochemistry and Health</i>, 43(10), 4329–4343. https://doi.org/10.1007/s10653-021-00932-z</p>

<p><i>Dwuletni Impact Factor: 3.2, Cite Score: 6.9, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N74) Ali, M. U., Siyi, L., Yousaf, B., Abbas, Q., Hameed, R., Zheng, C., Kuang, X., & Wong, M. H. (2021). Emission sources and full spectrum of health impacts of black carbon associated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban environment: A review. <i>Critical Reviews in Environmental Science and Technology</i>, 51(9), 857–896. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1738854 <i>Dwuletni Impact Factor: 11.4, Cite Score: 27.3, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N75) El-Naggar, A., Ahmed, N., Mosa, A., Niazi, N. K., Yousaf, B., Sharma, A., Sarkar, B., Cai, Y., & Chang, S. X. (2021). Nickel in soil and water: Sources, biogeochemistry, and remediation using biochar. <i>Journal of Hazardous Materials</i>, 419. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126421 <i>Dwuletni Impact Factor: 12.2, Cite Score: 25.4, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N76) Ali, M. U., Yu, Y., Yousaf, B., Munir, M. A. M., Ullah, S., Zheng, C., Kuang, X., & Wong, M. H. (2021). Health impacts of indoor air pollution from household solid fuel on children and women. <i>Journal of Hazardous Materials</i>, 416. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126127 <i>Dwuletni Impact Factor: 12.2, Cite Score: 25.4, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>2022</p>
<p>N77) Anwar-ul-Haq, M., Ibrahim, M., Yousaf, B., Al-Huqail, A. A., & Ali, H. M. (2022). Role of Bacterial Consortium and Synthetic Surfactants in Promoting the Phytoremediation of Crude Oil-Contaminated Soil Using <i>Brachiaria mutica</i>. <i>Frontiers in Energy Research</i>, 10. https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.874492 <i>Dwuletni Impact Factor: 2.6, Cite Score: 3.9, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N78) Amina., Abbas, Q., Shakoor, A., Naushad, M., & Yousaf, B*. (2022). In-situ oxidative degradation of sulfamethoxazole by calcium peroxide/persulfate dual oxidant system in water and soil. <i>Process Safety and Environmental Protection</i>, 164, 696–705. https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.06.052 <i>Dwuletni Impact Factor: 6.9, Cite Score: 11.4, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N79) Wang, X., Liu, X., Yang, X., Wang, L., Yang, J., Yan, X., Liang, T., Hansen, H. C. B., Yousaf, B., Shaheen, S. M., Bolan, N., & Rinklebe, J. (2022). In vivo phytotoxic effect of yttrium-oxide nanoparticles on the growth, uptake and translocation of tomato seedlings (<i>Lycopersicon esculentum</i>). <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>, 242. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113939 <i>Dwuletni Impact Factor: 6.2, Cite Score: 12.1, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N80) Saqib Rashid, M., Liu, G., Yousaf, B., Song, Y., Ahmed, R., Rehman, A., Arif, M., Irshad, S., & Cheema, A. I. (2022). Efficacy of rice husk biochar and compost amendments on the translocation, bioavailability, and heavy metals speciation in contaminated soil: Role of free radical production in maize (<i>Zea mays</i> L.). <i>Journal</i></p>

<p>of <i>Cleaner Production</i>, 330. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129805 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N81) Ali, M. U., Lin, S., Yousaf, B., Abbas, Q., Munir, M. A. M., Rashid, A., Zheng, C., Kuang, X., & Wong, M. H. (2022). Pollution characteristics, mechanism of toxicity and health effects of the ultrafine particles in the indoor environment: Current status and future perspectives. <i>Critical Reviews in Environmental Science and Technology</i>, 52(3), 436–473. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1831359 Dwuletni Impact Factor: 11.4, Cite Score: 27.3, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N82) Ashraf, A., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Ahmed, R., Rashid, A., Riaz, L., & Rashid, M. S. (2022). Phyto-mediated photocatalysis: a critical review of in-depth base to reactive radical generation for erythromycin degradation. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 29(22), 32513–32544. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19119-9 Dwuletni Impact factor: 5.6 (2023), Cite Score: 8.7, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N83) Rashid, M. S., Liu, G., Yousaf, B., Hamid, Y., Rehman, A., Arif, M., Ahmed, R., Ashraf, A., & Song, Y. (2022). A critical review on biochar-assisted free radicals mediated redox reactions influencing transformation of potentially toxic metals: Occurrence, formation, and environmental applications. <i>Environmental Pollution</i>, 315. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120335 Dwuletni Impact Factor: 7.6, Cite Score: 16, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N84) Basiru, I., Liu, G., Arkorful, V. E., Lugu, B. K., Yousaf, B., Hussain, M., & Jama, O. M. (2022). Indigenous Perceptions of Factors Influencing Behavioral Intentions Towards Climate Change Mitigation: An Assessment. <i>International Journal of Public Administration</i>, 47(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/01900692.2022.2078838 Dwuletni Impact Factor: 1.8, Cite Score: 4.7, Punkty MEiN: 40</p>
<p>N85) El-Naggar, A., Cai, Y., Chang, S. X., El-Naggar, A. H., Mosa, A., Amin, A. E.-E., Yang, X., & Yousaf, B. (2022). Biochar for remediation of alkaline soils contaminated with toxic elements. In <i>Biochar in Agriculture for Achieving Sustainable Development Goals</i> (pp. 223–240). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85343-9.00029-X</p>
<p>N86) Khelifi, F., Mokadem, N., Liu, G., Yousaf, B., Zhou, H., Ncibi, K., & Hamed, Y. (2022). Occurrence, contamination evaluation and health risks of trace metals within soil, sediments and tailings in southern Tunisia. <i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>, 19(7), 6127–6140. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03531-8 Dwuletni Impact Factor: 3, Cite Score: 5.6, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N87) Liu, R., Liu, G., Yousaf, B., Niu, Z., & Abbas, Q. (2022). Novel investigation of pyrolysis mechanisms and kinetics for functional groups in biomass matrix. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>, 153. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111761</p>

<p><i>Dwuletni Impact Factor: 16.3, Cite Score: 31.2, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N88) Mohamed, B. A., Fattah, I. M. R., Yousaf, B., & Periyasamy, S. (2022). Effects of the COVID-19 pandemic on the environment, waste management, and energy sectors: a deeper look into the long-term impacts. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 29(31), 46438–46457. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20259-1</p> <p><i>Dwuletni Impact factor: 5.6 (2023), Cite Score: 8.7, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N89) El-Naggar, A., Mosa, A., Ahmed, N., Niazi, N. K., Yousaf, B., Sarkar, B., Rinklebe, J., Cai, Y., & Chang, S. X. (2022). Modified and pristine biochars for remediation of chromium contamination in soil and aquatic systems. <i>Chemosphere</i>, 303. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134942</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N90) Arif, M., Liu, G., Zia ur Rehman, M., Yousaf, B., Ahmed, R., Mian, M. M., Ashraf, A., Mujtaba Munir, M. A., Rashid, M. S., & Naeem, A. (2022). Carbon dioxide activated biochar-clay mineral composite efficiently removes ciprofloxacin from contaminated water - Reveals an incubation study. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 332. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130079</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N91) Ashraf, A., Liu, G., Arif, M., Mian, M. M., Rashid, A., Yousaf, B., Khawar, M. I., Riaz, L., & Safeer, R. (2022). Insights into the synthesis and application of biochar assisted graphene-based materials in antibiotic remediation. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 361. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132211</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N92) Bhat, R. A., Singh, D. v, Qadri, H., Dar, G. H., Dervash, M. A., Bhat, S. A., Unal, B. T., Ozturk, M., Hakeem, K. R., & Yousaf, B*. (2022). Vulnerability of municipal solid waste: An emerging threat to aquatic ecosystems. <i>Chemosphere</i>, 287. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132223</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N93) Ali, M. U., Liu, Y., Yousaf, B., Wong, M. H., Li, P., Liu, G., Wang, R., Wei, Y., & Lu, M. (2022). Morphochemical investigation on the enrichment and transformation of hazardous elements in ash from waste incineration plants. <i>Science of the Total Environment</i>, 828. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154490</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 8.2, Cite Score: 17.6, Punkty MEiN: 200</i></p>
<p>N94) Sonawane, H., Shelke, D., Chambhare, M., Dixit, N., Math, S., Sen, S., Borah, S. N., Islam, N. F., Joshi, S. J., Yousaf, B., Rinklebe, J., & Sarma, H. (2022). Fungi-derived agriculturally important nanoparticles and their application in crop stress management – Prospects and environmental risks. <i>Environmental Research</i>, 212. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113543</p>

<p><i>Dwuletni Impact Factor: 7.7, Cite Score: 12.6, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N95) Rashid, M. S., Liu, G., Yousaf, B., Hamid, Y., Rehman, A., Munir, M. A. M., Arif, M., Ahmed, R., & Song, Y. (2022). Assessing the influence of sewage sludge and derived-biochar in immobilization and transformation of heavy metals in polluted soil: Impact on intracellular free radical formation in maize. <i>Environmental Pollution</i>, 309. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119768 <i>Dwuletni Impact Factor: 7.6, Cite Score: 16, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>2023</p>
<p>N96) Hidouri, N., Missaoui, R., Jraba, A., Yousaf, B., Sleimi, N., & Hamed, Y. (2023). Assessing the Vertical Distribution and Health Risks of Trace Metal Elements in Phosphogypsum-Enriched Agricultural Soils of Typical Peri-Urban Areas in Southwestern Tunisia. <i>Water, Air, and Soil Pollution</i>, 234(6). https://doi.org/10.1007/s11270-023-06335-3 <i>Impact Factor: 3.8, Cite Score: 4.5, Punkty MEiN: 70</i></p>
<p>N97) Sarma, H., Basumatary, T., Yousaf, B., & Narayan, M. (2024). Nanoplastics and lithium accumulation in soil–plant systems: Assessing uptake, toxicological effects, and potential synergistic interactions. <i>Current Research in Biotechnology</i>, 7. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2023.100170 <i>Dwuletni Impact Factor: 3.6, Cite Score: 6.7, Punkty MEiN: 20</i></p>
<p>N98) Rehman, A., Liu, G., Yousaf, B., Ijaz, S., Irshad, S., Cheema, A. I., Riaz, M. U., & Ashraf, A. (2023). Spectroscopic fingerprinting, pollution characterization, and health risk assessment of potentially toxic metals from urban particulate matter. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 30(40), 92842–92858. https://doi.org/10.1007/s11356-023-28834-w <i>Dwuletni Impact factor: 5.6 (2023), Cite Score: 8.7, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N99) Jabeen, F., Manzoor, M., Ibrahim, M., Mahmood, A., Adrees, M., Aslam, A., Kanwal, U., Vithanage, M., & Yousaf, B. (2023). Assessment of health risks associated with the consumption of wastewater-irrigated vegetables in urban areas. <i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>, 20(7), 7367–7376. https://doi.org/10.1007/s13762-022-04449-5 <i>Dwuletni Impact Factor: 3, Cite Score: 5.6, Punkty MEiN: 70</i></p>
<p>N100) Mortada, W. I., El-Naggar, A., Mosa, A., Palansooriya, K. N., Yousaf, B., Tang, R., Wang, S., Cai, Y., & Chang, S. X. (2023). Biogeochemical behaviour and toxicology of chromium in the soil-water-human nexus: A review. <i>Chemosphere</i>, 331. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138804 <i>Dwuletni Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N101) Rashid, M. S., Liu, G., Yousaf, B., Hamid, Y., Rehman, A., Arif, M., Ahmed, R., Song, Y., & Ashraf, A. (2023). Role of biochar-based free radicals in</p>

<p>immobilization and speciation of metals in the contaminated soil-plant environment. <i>Journal of Environmental Management</i>, 325. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116620 Dwuletni Impact Factor: 8, Cite Score: 13.7, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N102) Arif, M., Liu, G., Zia ur Rehman, M., Mian, M. M., Ashraf, A., Yousaf, B., Rashid, M. S., Ahmed, R., Imran, M., & Munir, M. A. M. (2023). Impregnation of biochar with montmorillonite and its activation for the removal of azithromycin from aqueous media. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 30(32), 78279–78293. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27908-z Dwuletni Impact factor: 5.6 (2023), Cite Score: 8.7, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N103) Cheema, A. I., Liu, G., Yousaf, B., Ashraf, A., Lu, M., Irshad, S., Pikon, K., Mujtaba Munir, M. A., & Rashid, M. S. (2023). Influence of biochar produced from negative pressure-induced carbonization on transformation of potentially toxic metal(loid)s concerning plant physiological characteristics in industrially contaminated soil. <i>Journal of Environmental Management</i>, 347. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119018 Dwuletni Impact Factor: 8, Cite Score: 13.7, Punkty MEiN: 200</p>
<p>2024</p>
<p>N104) Haider, M. I. S., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Aziz, K., Ashraf, A., Safeer, R., Ijaz, S., & Pikon, K. (2024). Synergistic interactions and reaction mechanisms of biochar surface functionalities in antibiotics removal from industrial wastewater. <i>Environmental Pollution</i>, 356. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124365 Dwuletni Impact Factor: 7.6, Cite Score: 16, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N105) Abbas, Q., Zia-ur-Rehman, M., Ullah, H., Mujtaba Munir, M. A., Ali, M. U., Ali, A., Pikon, K., & Yousaf, B*. (2024). Recent advances in the detection and quantification of manufactured nanoparticles (MNPs) in complex environmental and biological matrices. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 471. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143454 Dwuletni Impact Factor: 9.7, Cite Score: 20.4, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N106) Ali, A., Naveed, A., Maroń, A., Younis, M. A., Moradian, J. M., Yousaf, B., Aziz, T., Ali, R. N., Ahmad, N., Alomar, S. Y., Zheqiang, F., & Guo, L. (2024). Copolymerization of ethylene and isoprene via silicon bridge metallocene [rac-Me₂Si(2-Me-4-Ph-Ind)₂ZrCl₂] catalyst: A new way to control the composition and microstructure of copolymers. <i>Chemosphere</i>, 347. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140700 Dwuletni Im Impact Factor: 8.1, Cite Score: 15.8, Punkty MEiN: 140</p>
<p>N107) Ashraf, A., Liu, G., Arif, M., Yousaf, B., Akhtar, P., Rashid, A., Gulzaman, H., Safeer, R., Rashid, M. S., & Haider, M. I. S. (2024). The development of plastic waste and sewage sludge co-pyrolyzed biochar composites with improved</p>

<p>interfacial characteristics for the effective removal of ciprofloxacin. <i>Process Safety and Environmental Protection</i>, 184, 766–781. https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.02.035 Dwuletni Impact Factor: 6.9, Cite Score: 11.4, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N108) Rashid, M. S., Wang, Y., Yin, Y., Yousaf, B., Jiang, S., Mirza, A. F., Chen, B., Li, X., & Liu, Z. (2024). Quantitative Soil Characterization for Biochar–Cd Adsorption: Machine Learning Prediction Models for Cd Transformation and Immobilization. <i>Toxics</i>, 12(8). https://doi.org/10.3390/toxics12080535 Dwuletni Impact Factor: 3.9, Cite Score: 4.5, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N109) Safeer, R., Liu, G., Yousaf, B., Ashraf, A., Haider, M. I. S., Cheema, A. I., Ijaz, S., Rashid, A., Sikandar, A., & Pikoń, K. (2024). Insights into the biogeochemical transformation, environmental impacts and biochar-based soil decontamination of antimony. <i>Environmental Research</i>, 251. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118645 Dwuletni Impact Factor: 7.7, Cite Score: 12.6, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N110) Wang, S., Liu, G., Liu, R., Wu, H., Shen, M., Yousaf, B., & Wang, X. (2024). COVID-19 lockdown measures affect polycyclic aromatic hydrocarbons distribution and sources in sediments of Chaohu Lake, China. <i>Science of the Total Environment</i>, 951. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175608 Dwuletni Impact Factor: 8.2, Cite Score: 17.6, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N111) Yu, G., Ullah, H., Yousaf, B., Pikoń, K., Antoniadis, V., Prasad, M. N. v, Bolan, N., Rinklebe, J., Zepeng, R., Shaheen, S. M., & Liu, L. (2024). Microbe-assisted phytoremediation of toxic elements in soils: Present knowledge and future prospects. <i>Earth-Science Reviews</i>, 255. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104854 Dwuletni Impact Factor: 10.8, Cite Score: 21.7, Punkty MEiN: 200</p>
<p>2025</p>
<p>N112) Amina, Ullah, H., Abbas, Q., El-Naggar, A., Badr, A.M., Pikoń, K., & Yousaf, B. (2025). Synergistic interactions and mechanism of calcium peroxide-driven radicals-based advanced oxidative degradation of antibiotics. <i>Journal of Water Process Engineering</i>, 70, 106994. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.106994 Dwuletni Impact Factor: 6.7, CiteScore: 9.6, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N127) Gulzar, M.Z., Liu, G., Yousaf, B., Imran, M., Arif, M., Nauman, M., Haider, M.I.S., Sattar, B., Safeer, R., Ijaz, S., & Liu, R. (2025). Hydrothermal integrated chemical treatment of microplastics for efficient degradation: Mechanistic insight and degradation behavior. <i>Journal of Water Process Engineering</i>, 74, 107809. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107809 Dwuletni Impact Factor: 6.7, CiteScore: 9.6, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N113) Ijaz, S., Liu, G., Rehman, A., Haider, M.I.S., Safeer, R., Sattar, B., Gulzar, M.Z., Nosheen, S., & Yousaf, B. (2025). Organic matter and microplastics nexus:</p>

<p>A comprehensive understanding of the synergistic impact on soil health. <i>Science of the Total Environment</i>, 978, 179420. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179420 Dwuletni Impact Factor: Not available, CiteScore: 16.4, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N114) Qureshi, W.A., Haider, S.N.-U.-Z., Qaiser, M.A., ...Yousaf, B., Liu, Q.Q., & Yang, J. (2025). Breakthrough in plasmonic enhanced MOFs: Design, synthesis, and catalytic mechanisms for various photocatalytic applications. <i>Environmental Research</i>, 277, 121257. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121257 Dwuletni Impact Factor: 7.7, CiteScore: 14.7, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N115) Sattar, B., Liu, G., Yousaf, B., ... Haider, M.A., & Aziz, K. (2025). Microplastic contamination in agricultural soils from mulch films and organic amendments: Transformation mechanism, soil-Biota toxicity, and future perspectives. <i>Waste Management</i>, 205, 115032. Dwuletni Impact Factor: 7.1, CiteScore: 15.1, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N116) Ashraf, A., Liu, G., Akhtar, P., Yousaf, B., Arif, M., & Rehman, A. (2025). An environmentally friendly solution against waste: upcycling single-use plastic waste and biomass for antibiotic remediation. <i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>, 22(12), 11741–11760. https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-025-06347-y Dwuletni Impact Factor: 3.4, CiteScore: not available, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N117) Haider, M.I.S., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Ashraf, A., Safeer, R., Ijaz, S., & Liu, R. (2025). Functionalized biochar with enhanced interfacial properties for synergistic adsorption and photodegradation mechanisms of levofloxacin in industrial effluents. <i>Process Safety and Environmental Protection</i>, 202, 107798. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107798 Dwuletni Impact Factor: 7.8, CiteScore: 12.5, Punkty MEiN: 100</p>
<p>N118) Irshad, S., Liu, G., Abbas, Q., Rehman, A., Arif, M., Ashraf, A., Cheema, A.I., Mahfooz, Y., Pikon, K., & Yousaf, B. (2025). Integrated geochemical speciation and isotopic fingerprinting of anthropogenic lead across agro-urban and industrial soil systems. <i>Environmental Technology and Innovation</i>, 40, 104610. https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104610 Dwuletni Impact Factor: 7.1, CiteScore: 16.1, Punkty MEiN: 70</p>
<p>N119) Abbas, Q., Arif, M., Ullah, H., Fazal, T., Ali, M.U., Irshad, S., Ashraf, A., Pikon, K., & Yousaf, B. (2025). Carbon capture through alkaline solvents coupled with conversion into bioplastics via microalgae: Towards a sustainable bioconversion pathway. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>, 223, 115999. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115999 Dwuletni Impact Factor: 16.3, CiteScore: 38.0, Punkty MEiN: 200</p>
<p>N120) Arif, M., Liu, G., Zia-ur-Rehman, M., Abbas, Q., Ashraf, A., Rashid, M.S., Pikon, K., & Yousaf, B. (2025). High-performance clay and K₂CO₃-Modified sludge biochar for efficient reactive black-5 Removal: Mechanistic insights and alleviation of phytotoxicity. <i>Biomass and Bioenergy</i>, 202, 108235. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108235</p>

<p><i>Dwuletni Impact Factor: 5.8, CiteScore: 11.0, Punkty MEiN: 100</i></p>
<p>N121) Hoang, V.-H., Nguyen, M.-K., Hoang, T.-D., Nguyen, H.L., Lin, C., Yousaf, B.,... Chang, S.W., & Nguyen, D.D. (2025). Global Occurrence and Environmental Fate of Microplastics in Stormwater Runoff: Unlock the In-depth Knowledge on Nature-Based Removal Strategies. <i>Reviews of Environmental Contamination and Toxicology</i>, 263(1), 5. https://link.springer.com/article/10.1007/s44169-025-00078-4</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 6.6, CiteScore: 12.8, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N122) Mohammadi Moradian, J., Ali, A., Yan, X., Pei, G., Zhang, S., Naveed, Ahmed., Shehzad, K., Shahnavaz, Z., Ahmad, F., & Yousaf, B. (2025). Sensors Innovations for Smart Lithium-Based Batteries: Advancements, Opportunities, and Potential Challenges. <i>Nano-Micro Letters</i>, 17(1), 279. https://link.springer.com/article/10.1007/s40820-025-01786-1</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 36.3, CiteScore: 53.1, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N123) Mansoor, M., Tao, G., Mirza, A.F., Yousaf, B., Irfan, M., & Chen, W. (2025). FTLNet: federated deep learning model for multi-horizon wind power forecasting. <i>Discover Internet of Things</i>, 5(1), 21. DOI: 10.1007/s43926-025-00112-w</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: not available, CiteScore: 8.4, Punkty MEiN: 5</i></p>
<p>2026</p>
<p>N124) Ali, M.U., Munir, M.A.M., Yu, R., Hu, G., Yousaf, B., Ali, S., Adnan, M., Liping, C., Pan, X., & Wong, M.H. (2026). Novel Styrofoam-sludge biochar for Pb and Zn adsorption: Bioavailability and reduction in maize-cultivated contaminated soils. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 544, 147548. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.147548</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 10.0, CiteScore: 20.7, Punkty MEiN: 140</i></p>
<p>N125) Haider, M.I.S., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Aziz, K., Sattar, B, Gulzar, M.Z., Chand, H., & Liu, R. (2026). Synergistic photo-assisted AOPs using acid-modified biochar: Enhanced micropollutant levofloxacin degradation in industrial wastewater. <i>Desalination</i>, 624, 119900. DOI: 10.1016/j.desal.2026.119900</p> <p><i>Dwuletni Impact Factor: 9.8, CiteScore: 14.3, Punkty MEiN: 200</i></p>

Bibliografia

- Ali Daryabeigi Zand, Alireza Mikaeili Tabrizi, Azar Vaezi Heir (2020) Co-application of biochar and titanium dioxide nanoparticles to promote remediation of antimony from soil by Sorghum bicolor: metal uptake and plant response. *Heliyon*, 6, e04669, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04669>
- Amali Herath, Chanaka Navarathna, Shannon Warren, Felio Perez, Charles U. Pittman, Todd E. Mlsna (2022) Iron/titanium oxide-biochar (Fe₂TiO₅/BC): A versatile adsorbent/photocatalyst for aqueous Cr(VI), Pb²⁺, F⁻ and methylene blue. *Journal of Colloid and Interface Science*, 614, 603-616, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.01.067>

- Anwuli U. Osadebe, Chimezie J. Ogugbue, Gideon C. Okpokwasili (2024) Biochar and Iron oxide nanoparticle-impregnated alginate beads as adsorbents for enhanced ex situ bioremediation of petroleum-contaminated freshwater. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 6, 42-50, <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2024.01.002>
- Anyika, C., Majid, Z.A., Rashid, M., Isa, A.B., Ismail, N., Zakaria, M.P., Yahya, A (2016) Toxic and nontoxic elemental enrichment in biochar at different production temperatures. *Journal of Cleaner Production*. 131, 810e821. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.043>
- Arthur Gross, Tobias Bromm, Steven Polifka, Daniel Fischer, Bruno Glaser (2024) Long-term biochar and soil organic carbon stability – Evidence from field experiments in Germany. *Science of The Total Environment*, 954, 176340, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176340>
- Ashish Pawar, N.L. Panwar (2022) A comparative study on morphology, composition, kinetics, thermal behaviour and thermodynamic parameters of Prosopis Juliflora and its biochar derived from vacuum pyrolysis. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101053, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101053>
- Devi P, Saroha A.K (2014) Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals. *Bioresource Technology*. 162, 308e315. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.093>
- Diego Dusso, Jhoan F. Téllez, Valeria C. Fuertes, Juan M. De Paoli, E. Laura Moyano (2022) Vacuum pyrolysis of chia flour residues: An alternative way to obtain omega-3/omega-6 fatty acids and calcium-enriched biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 161, 105379, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105379>
- Edita Baltrėnaitė-Gedienė, Slawomir Lomnicki, Chuqi Guo (2022) Impact of biochar, fertilizers and cultivation type on environmentally persistent free radicals in agricultural soil. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102755, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102755>
- Fu Chen, Yuhang Li, Muhammad Atif Irshad, Afzal Hussain, Rab Nawaz, Muhammad Farooq Qayyum, Jing Ma, Muhammad Zia-ur-Rehman, Muhammad Rizwan, Shafaqat Ali (2023) Effect of titanium dioxide nanoparticles and co-composted biochar on growth and Cd uptake by wheat plants: A field study. *Environmental Research*, 231, 116057, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116057>
- Guocheng Liu, Hao Zheng, Zhixiang Jiang, Zhenyu Wang (2018) Effects of biochar input on the properties of soil nanoparticles and dispersion/sedimentation of natural mineral nanoparticles in aqueous phase. *Science of The Total Environment*, 634, 595-605, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.019>
- Hongye Li, Xiaojun Zhou, Ruixing Huang, Qiang He, Zhengsong Wu, Yuheng Huang, Zhiheng Li, Yu Liu, Xiaoliu Huangfu (2024) Combined toxicity of biochar with nanoplastics or silver nanoparticles toward *Chlorella vulgaris*. *Algal Research*, 78, 103418, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103418>
- Hye-Bin Kim, Jong-Gook Kim, Daniel S. Alessi, Kitae Baek (2024) Temporal changes in the mobility of As, Pb, Zn, and Cu due to differences in biochar stability caused by lignin

content. Chemical Engineering Journal, 493, 152567,
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152567>

- Jian-Fei Huang, Qing-Shan Shi, Jin Feng, Ming-Jie Chen, Wen-Ru Li, Liang-Qiu Li (2017) Facile pyrolysis preparation of rosin-derived biochar for supporting silver nanoparticles with antibacterial activity. *Composites Science and Technology*, 145, 89-95, <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.03.042>
- Ju YM, Oh KC, Lee KY, Kim DH (2018) Performance Analysis of a Vacuum Pyrolysis System. *Journal of Biosystems Engineering*, 43, 14–20. <https://doi.org/10.5307/JBE.2018.43.1.014>
- Jun Meng, Henglei Zhang, Zhonghua Cui, Haipeng Guo, Ondřej Mašek, Binoy Sarkar, Hailong Wang, Nanthi Bolan, Shengdao Shan (2022) Comparative study on the characteristics and environmental risk of potentially toxic elements in biochar obtained via pyrolysis of swine manure at lab and pilot scales, *Science of The Total Environment*, 825, 153941, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153941>
- Kolli Venkata Supraja, Himanshu Kachroo, Gayatri Viswanathan, Vishal Kumar Verma, Bunushree Behera, Tharaka Rama Krishna C. Doddapaneni, Priyanka Kaushal, Sk. Ziauddin Ahammad, Vijai Singh, Mukesh Kumar Awasthi, Rohan Jain (2023) Biochar production and its environmental applications: Recent developments and machine learning insights. *Bioresource Technology*, 387, 129634, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129634>
- Lijian Leng, Qin Xiong, Lihong Yang, Hui Li, Yaoyu Zhou, Weijin Zhang, Shaojian Jiang, Hailong Li, Huajun Huang (2021) An overview on engineering the surface area and porosity of biochar. *Science of The Total Environment*, 763, 144204, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144204>
- Luo L, Xu C, Chen Z, Zhang S (2015) Properties of biomass-derived biochars: combined effects of operating conditions and biomass types. *Bioresource Technology*. 192, 83e89. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.054>
- Md Anwarul Islam, Tewodros Kassa Dada, Mst Irin Parvin, Arun K. Vuppaladadiyam, Ravinder Kumar, Elsa Antunes (2022) Silver ions and silver nanoparticles removal by coffee derived biochar using a continuous fixed-bed adsorption column. *Journal of Water Process Engineering*, 48, 102935, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102935>
- Muhammad Azeem, Sabry M. Shaheen, Amjad Ali, Parimala G.S.A. Jeyasundar, Abdul Latif, Hamada Abdelrahman, Ronghua Li, Mansour Almazroui, Nabeel Khan Niazi, Ajit K. Sarmah, Gang Li, Jörg Rinklebe, Yong-Guan Zhu, Zenqqiang Zhang (2022) Removal of potentially toxic elements from contaminated soil and water using bone char compared to plant- and bone-derived biochars: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 427, 128131, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128131>
- Muhammad Irtaza Sajjad Haider, Guijian Liu, Balal Yousaf, Muhammad Arif, Kiran Aziz, Aniqah Ashraf, Rabia Safeer, Samra Ijaz, Krzysztof Pikon (2014) Synergistic interactions and reaction mechanisms of biochar surface functionalities in antibiotics removal from industrial wastewater. *Environmental Pollution*, 356, 124365, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124365>

- Muhammad Saqib Rashid, Guijian Liu, Balal Yousaf, Yasir Hamid, Abdul Rehman, Muhammad Arif, Rafay Ahmed, Yu Song, Aniqah Ashraf (2023) Role of biochar-based free radicals in immobilization and speciation of metals in the contaminated soil-plant environment. *Journal of Environmental Management*, 325, 116620, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116620>
- Narges Hemati Matin, Mohsen Jalali, Wolfram Buss (2020) Synergistic immobilization of potentially toxic elements (PTEs) by biochar and nanoparticles in alkaline soil. *Chemosphere*, 241, 124932, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124932>
- Nusrat Rezwana Binte Razzak, Nicholas A. Milne, Ellen M. Moon (2024) Conversion of municipal garden waste to activated carbon: Laboratory production and characterization comparing production parameters. *Chemical Engineering Science*, 299, 120487, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120487>
- Paramita Chakravarty, Hemen Deka, Devasish Chowdhury (2023) Anthracene removal potential of green synthesized titanium dioxide nanoparticles (TiO₂-NPs) and *Alcaligenes faecalis* HP8 from contaminated soil. *Chemosphere*, 321, 138102, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138102>
- Qumber Abbas, Guijian Liu, Balal Yousaf, Muhammad Ubaid Ali, Habib Ullah, Mehr Ahmed Mujtaba Munir, Rafay Ahmed, Abdul Rehman (2020) Biochar-assisted transformation of engineered-cerium oxide nanoparticles: Effect on wheat growth, photosynthetic traits and cerium accumulation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109845, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109845>
- Ramsha Khan, Saurabh Shukla, Manish Kumar, Antonio Zuurro, Ashok Pandey (2023) Sewage sludge derived biochar and its potential for sustainable environment in circular economy: Advantages and challenges. *Chemical Engineering Journal*, 471, 144495, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144495>
- Raquel Escrivani Guedes, Aderval S. Luna, Alexandre Rodrigues Torres (2018) Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: a review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 129 134-149, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.11.019>
- Shin Ying Foong, Noor Syazana Abdul Latiff, Rock Keey Liew, Peter Nai Yuh Yek, Su Shiung Lam (2020) Production of biochar for potential catalytic and energy applications via microwave vacuum pyrolysis conversion of cassava stem. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 728-733, <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.08.002>
- Wang X, Li C, Zhang B, Lin J, Chi Q, Wang Y (2016) Migration and risk assessment of heavy metals in sewage sludge during hydrothermal treatment combined with pyrolysis. *Bioresource Technology*. 221, 560e567. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.069>
- Xu Dong, Yue Chu, Zhou Tong, Mingna Sun, Dandan Meng, Xiaotong Yi, Tongchun Gao, Minghua Wang, Jinsheng Duan (2024) Mechanisms of adsorption and functionalization of biochar for pesticides: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 272,116019, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116019>
- Xu T, Xu F, Hu Z, Chen Z, Xiao B (2017) Non-isothermal kinetics of biomass-pyrolysis-derived-tar (BPDT) thermal decomposition via thermogravimetric analysis. *Energy*

Conversion and Management, 138, 452e460.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.013>

Yang An, Arash Tahmasebi, Jianglong Yu (2017) Mechanism of synergy effect during microwave co-pyrolysis of biomass and lignite. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 128, 75-82, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.10.023>

Yi Wu, Yuhang Yan, Zongwei Wang, Zhongxin Tan, Tuo Zhou (2024) Biochar application for the remediation of soil contaminated with potentially toxic elements: Current situation and challenges. *Journal of Environmental Management*, 351, 119775, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119775>

Yunchao Li, Bo Xing, Xiaoliu Wang, Kaige Wang, Lingjun Zhu, Shurong Wang (2019) Nitrogen-Doped Hierarchical Porous Biochar Derived from Corn Stalks for Phenol-Enhanced Adsorption. *Energy & Fuels*, 33, 12459–12468, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b02924>

Yuwen Zhou, Shiyi Qin, Shivpal Verma, Taner Sar, Surendra Sarsaiya, Balasubramani Ravindran, Tao Liu, Raveendran Sindhu, Anil Kumar Patel, Parameswaran Binod, Sunita Varjani, Reeta Rani Singhnia, Zengqiang Zhang, Mukesh Kumar Awasthi (2021) Production and beneficial impact of biochar for environmental application: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 337, 125451, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125451>

Ziqi Guo, Chaonan Zhang, Hanfeng Jiang, Lingli Li, Zhonghua Li, Lei Zhao, Haoming Chen (2023) Phosphogypsum/titanium gypsum coupling for enhanced biochar immobilization of lead: Mineralization reaction behavior and electron transfer effect. *Journal of Environmental Management*, 345, 118781, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118781>

Kusum Kumari, Neelam Rani, Vinita Hooda (2024) Silver nanoparticles and silver/silica nanocomposites: Impacts on *Z. mays* L. growth, nutrient uptake and soil health. *Plant Nano Biology*, 7, 100064, <https://doi.org/10.1016/j.plana.2024.100064>

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

1) University of Science and Technology of China, Hefei, Chińska Republika Ludowa

Okres aktywności: wrzesień 2014 – lipiec 2017 (doktorant), lipiec 2017 – lipiec 2023 (adiunkt oraz profesor nadzwyczajny)

Forma aktywności: zatrudnienie na podstawie umowy

Opis: Prowadziłem intensywne badania nad technologiami opartymi na biowęglu na potrzeby remediacji środowiska, koncentrując się na ograniczaniu zanieczyszczenia gleb i wód. Analizowałem przemiany potencjalnie toksycznych metali oraz nanocząstek w

układach glebowych. Opracowywałem zaawansowane metody charakterystyki materiałów, służące lepszemu poznaniu roli biowęgla w immobilizacji zanieczyszczeń. Współpracowałem przy realizacji interdyscyplinarnych projektów badawczych w ramach CAS-Key Laboratory.

2) *Middle East Technical University, Ankara, Turcja*

Okres aktywności: styczeń 2020 – grudzień 2022

Forma aktywności: naukowiec wizytujący

Opis: Prowadziłem badania nad oddziaływaniem biowęgla otrzymywanego z osadów ściekowych w procesach usuwania pestycydów organofosforowych z układów wodnych, wnosząc wkład w rozwój badań z zakresu remediacji środowiska. Opracowywałem materiały oparte na biowęglu przeznaczone do zastosowań w uzdatnianiu wody. Prowadziłem eksperymenty dotyczące adsorpcji zanieczyszczeń oraz uczestniczyłem we wspólnych badaniach nad zrównoważonymi praktykami gospodarowania odpadami.

3) *Institute of Soil and Environmental Science, University of Agriculture Faisalabad, Pakistan*

Okres aktywności: marzec 2022 – czerwiec 2022

Forma aktywności: staż badawczy w ramach współpracy naukowej

Opis: Uczestniczyłem we wspólnym projekcie badawczym poświęconym wpływowi biowęgla na jakość gleby oraz produktywność rolniczą. Analizowałem rolę biowęgla w ograniczaniu zanieczyszczeń glebowych oraz zwiększaniu pobierania składników pokarmowych w systemach rolniczych. Brałem udział w projektowaniu doświadczeń oraz analizie wyników ukierunkowanych na opracowanie zrównoważonych strategii gospodarowania glebą.

4) *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Chiny*

Okres aktywności: lipiec 2017 – czerwiec 2020

Forma aktywności: naukowiec wizytujący

Opis: Prowadziłem badania nad zanieczyszczeniem gleb i osadów, koncentrując się na oddziaływaniach pomiędzy metalami ciężkimi a biowęgłem. Analizowałem procesy geochemiczne wpływające na zachowanie zanieczyszczeń w glebach lessowych. Opracowywałem metody stabilizacji gleb z wykorzystaniem biowęgla oraz uczestniczyłem we wspólnych międzynarodowych projektach badawczych dotyczących remediacji środowiska.

5) *Politechnika Śląska, Gliwice, Polska*

Okres aktywności: lipiec 2023 – obecnie

Forma aktywności: profesor uczelni

Opis: Kieruję badaniami w obszarze technologii gospodarki odpadami, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania biowęgla otrzymywanego z bioodpadów do ograniczania

zanieczyszczeń oraz odzysku zasobów. Sprawuję opiekę naukową nad doktorantami i stażystami podoktorskimi w Katedrze Technologii i Instalacji Gospodarki Odpadami. Wnoszę wkład w rozwój innowacyjnych zastosowań biowęgla w inżynierii środowiska oraz w opracowywanie zrównoważonych rozwiązań w zakresie przetwarzania odpadów.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Balal Yousaf aktywnie prowadził zajęcia dydaktyczne w różnych instytucjach akademickich. Na University of Science and Technology of China (USTC) prowadził przedmioty takie jak Environmental Chemodynamics oraz Sustainable Waste Management, koncentrujące się na przemianach chemicznych w środowisku oraz technikach gospodarowania odpadami. Na Middle East Technical University (METU) prowadził natomiast takie przedmioty, jak Advanced Environmental Chemistry, Environmental Pollution Control Technologies oraz Laboratory Techniques in Environmental Engineering, obejmujące zaawansowane zagadnienia środowiskowe oraz ich praktyczne zastosowania. Wykaz prowadzonych przedmiotów przedstawiono w poniższej tabeli.

University of Science and Technology of China (USTC)

- wrzesień 2015 – czerwiec 2017

Stanowisko: asystent dydaktyczny

1) Zajęcia laboratoryjne z chemii środowiska

Wspomagałem prowadzenie zajęć laboratoryjnych, instruując studentów w zakresie wykonywania doświadczeń praktycznych z chemii środowiska, obejmujących analizę zanieczyszczeń oraz procesy chemiczne zachodzące w ekosystemach.

- wrzesień 2017 – grudzień 2019

Stanowisko: prowadzący zajęcia

1) EN 783.01: Environmental Chemodynamics (semestr jesienny/wiosenny 2017, 2018, 2019)

Prowadziłem przedmiot poświęcony losom, transportowi oraz przemianom substancji chemicznych w środowisku.

2) EN 785.03: Sustainable Waste Management (semestr jesienny/wiosenny 2017, 2018, 2019)

Prowadziłem przedmiot dotyczący technik gospodarowania odpadami, w tym recyklingu oraz zastosowań biowęgla.

➤ wrzesień 2022 – lipiec 2023

Stanowisko: prowadzący zajęcia

1) *EN 785.03: Sustainable Waste Management (semestr jesienny/wiosenny)*

Prowadziłem przedmiot dotyczący technik gospodarowania odpadami, w tym recyklingu oraz zastosowań biowęgla.

Middle East Technical University (METU)

➤ styczeń 2020 – grudzień 2021

Stanowisko: prowadzący zajęcia

1) *ENVE 538: Advanced Environmental Chemistry*

Prowadziłem przedmiot w semestrze wiosennym i jesiennym, obejmujący zaawansowane zagadnienia z zakresu chemii środowiska, w tym badanie reakcji i procesów chemicznych zachodzących w środowisku.

2) *ENVE 540: Environmental Pollution Control Technologies*

Prowadziłem przedmiot poświęcony różnym technologiom kontroli zanieczyszczeń powietrza, wody i gleby.

3) *ENVE 506: Laboratory Techniques in Environmental Engineering*

Prowadziłem zajęcia laboratoryjne obejmujące metody eksperymentalne oraz aparaturę stosowaną w inżynierii środowiska.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Balal Yousaf kierował wieloma projektami badawczymi o istotnym znaczeniu naukowym, koncentrującymi się na remediacji środowiska z wykorzystaniem biowęgla oraz waloryzacji odpadów. Jako kierownik projektu zrealizował kilka przedsięwzięć badawczych, w tym prestiżowy projekt pt. „Interfacial Modification of Sewage Sludge Derived-Biochar for Enhanced Removal of Organophosphorus Pesticides from Water” finansowany przez TÜBİTAK o wartości 0,591 mln USD. Prowadził również badania dotyczące przemian pierwiastków toksycznych w roślinach hiperakumulujących oraz zanieczyszczeń metalicznych występujących w pobliżu elektrowni węglowych w Chinach. Obecnie kieruje dwoma dużymi projektami badawczymi: (1) MAESTRO 15 o wartości 3,4 mln PLN oraz (2) DAINA 3 o wartości 0,999 mln PLN, finansowanymi

przez Narodowe Centrum Nauki w Polsce. Wykaz zrealizowanych oraz aktualnie prowadzonych projektów, w których pełni funkcję kierownika, przedstawiono poniżej.

Zrealizowane projekty:

styczeń 2020 – grudzień 2022	Interfacial Modification of Sewage Sludge Derived-Biochar for Enhanced Removal of Organophosphorus Pesticides (OPPs) from Water The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK), Turcja Wartość projektu: 0,591 mln USD Funkcja: kierownik projektu
styczeń 2019 – grudzień 2020	Study on Transformation Mechanism Toxic Elements during Thermal-conversion of Hyper-accumulators to Bioenergy and Environmental Materials Youth Innovation Research Fund for Central Universities, Chiny Wartość projektu: 102 000 juanów Funkcja: kierownik projektu
lipiec 2018 – lipiec 2019	Environmental Geochemistry and Source Identification of Metallic Pollutants in Contaminated Soils around Coal Fire Power Plants China Postdoctoral Science Foundation Research Fund Wartość projektu: 50 000 juanów Funkcja: kierownik projektu
styczeń 2018 – grudzień 2020	Investigating the Transformation Mechanism of Engineered Nanoparticles in Biochar Amended Soil System Chinese Academy of Sciences, Chiny Wartość projektu: 300 000 juanów Funkcja: kierownik projektu

Ongoing/running projects:

lipiec 2024 – czerwiec 2028	Biorefinerie zintegrowane z pirolizą do holistycznego upcyklingu odpadów MAESTRO 15, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (NCN), Polska Wartość projektu: 3,4 mln PLN Funkcja: kierownik projektu Numer projektu: UMO-2023/50/A/ST8/00512 Numer wewnętrzny: 08/030/PBU24/0141
styczeń 2025 – styczeń 2028	Odkrywanie mechanizmów funkcjonalizowanego biowęgla w (im)mobilizacji i transformacji potencjalnie toksycznych metali(loidów) w układach gleba-roślina na rzecz odporności na zmiany klimatyczne DAINA 3, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (NCN), Polska

	Wartość projektu: 0,999 mln PLN Funkcja: kierownik projektu Numer projektu: UMO-2024/52/L/ST10/00263 Numer wewnętrzny: 08/030/PMN25/0152
--	---

Aktywność redakcyjna w czasopismach naukowych:

- 1) Członek Rady Redakcyjnej – BMC Chemistry
<https://bmcchem.biomedcentral.com/about/editorial-board>
- 2) Członek Rady Redakcyjnej – BMC Environmental Science
<https://bmcenvsci.biomedcentral.com/about/editorial-board>
- 3) Redaktor zarządzający numerem specjalnym
 Environmental pollution under climate change scenarios: Impact on biosphere and remediation strategies
<https://www.sciencedirect.com/journal/ecotoxicology-and-environmental-safety/about/call-for-papers#environmental-pollution-under-climate-change-scenarios-impact-on-biosphere-and-remediation-strategies>
- 4) Redaktor numeru specjalnego – Resources (MDPI)
 Thermochemical Conversion of Bioresources: Pathways to Circular Economy
https://www.mdpi.com/journal/resources/special_issues/67H1FZ2M53
- 5) Redaktor numeru specjalnego – Sustainability
 Biochar Stability and Long-Term Carbon Storage
https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/Biochar_SCS
- 6) Redaktor numeru specjalnego – Soil Systems (MDPI)
 Emerging Contaminants in Soil and Water: Sources, Behaviour, and Environmental and Human Health Risks
https://www.mdpi.com/journal/soilsystems/special_issues/EmergingContaminants_SoilWater_SourcesBehaviourEnvironmentalHumanHealthRisks
- 7) Redaktor numeru specjalnego – Machines (MDPI)
 Smart UAV Machines for Detection and Classification: Advancements and Applications in Renewable Energy Technologies
https://www.mdpi.com/journal/machines/special_issues/8R59XN9475
- 8) Redaktor numeru specjalnego – Discover Sustainability
 Enhancing Renewable Energy Sustainability: AI-Driven Forecasting, Maintenance and Quality Assessment for Efficient Operations of green technologies
<https://link.springer.com/collections/dcgbfiddic>

Wykaz recenzowanych artykułów naukowych:

Nazwa czasopisma	Liczba recenzowanych artykułów
Environmental Science and Pollution Research	32
Arabian Journal of Geosciences	23
Journal of Cleaner Production	23

Chemosphere	17
Ecotoxicology and Environmental Safety	12
Environmental Pollution	12
Science of the Total Environment	8
RSC Advances	6
Environmental Technology & Innovation	5
Applied Water Science	4
Journal of Environmental Management	4
Bioenergy Research	3
International Journal of Environmental Science and Technology	3
Journal of Hazardous Materials	3
Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences & Engineering	3
Pakistan Journal of Agricultural Research	3
Plos One	3
Royal Society Open Science	3
Journal of Soils and Sediments	2
Scientific Reports	2

Wykaz członkostwa w organizacjach międzynarodowych:

- The Energy Institute – członek pełny
- The Institution of Environmental Sciences – członek pełny
- British Society of Soil Science – członek pełny
- The Geological Society of America – członek
- Soil Science Society of Pakistan – członek pełny
- International Biochar Initiative – członek profesjonalny

Dane bibliometryczne:

	Dwuletni Impact Factor	
	w roku publikacji	2026
Prace zgłoszone jako osiągnięcie naukowe	88.383	92.15
Pozostałe prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora	618.94	813.13
Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora	63.75	92.7
Suma	771.073	997.98

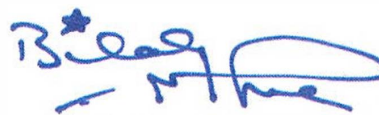
Dane pozyskano dnia 2 kwietnia 2026 r.

Liczba cytowań	
Web of Science	Scopus

Prace zgłoszone jako osiągnięcie naukowe	462	501
Pozostałe prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora	5408	5333
Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora	968	1138
Suma	6838	6972
Łączna liczba cytowań bez autocytowań:	7213	8569

Dane pozyskano dnia 2 kwietnia 2026 r.

Pozostałe informacje i osiągnięcia, w tym dodatkowe opisy projektów, publikacji oraz wkładu naukowego, przedstawiono w Załączniku 4.



Podpis Wnioskodawcy

Signed by /
Podpisano przez:



Balal Yousaf
Politechnika Śląska

Date / Data: 2026-
04-23 00:58

