

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. Łukasza Jałowieckiego

pt.: „*Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych*”

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Łukasza Jałowieckiego pt. „*Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych*” wykonana w Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach pod kierunkiem Promotora rozprawy prof. dr hab. Grażyny Płazy, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji było pismo nr NOP.000.25.2025.RN Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego, Jarosława Zagórowskiego z dnia 05.03.2025 roku w związku z powołaniem mnie przez Radę Naukową GIG – PIB na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana Łukasza Jałowieckiego pt. „*Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych*”.

3. Podstawa prawna opracowania recenzji

Recenzję sporządzono zgodnie z wymaganiami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. 2020 r. poz. 85 z późn. zm.). Zgodnie z Art. 187 Ustawy:

- 3.1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.
- 3.2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

3.3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.

4. Informacja o formie rozprawy doktorskiej

Praca doktorska „Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych” jest pracą badawczą przygotowaną **na bazie cyklu sześciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych** opublikowanych w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Cykl publikacji został podzielony na 4 artykuły wiodące i 2 artykuły uzupełniające:

Artykuły wiodące:

1. **Jałowiecki Ł.**, Borgulat J., Strugała-Wilczek A., Jastrzębski J., Matejczyk M., Płaza G. *Insights into bacterial diversity in industrial post-processing water from underground coal gasification (UCG) process*. Archives of Environmental Protection. 2024, 50(2), 32–41.
<https://doi.org/10.24425/aep.2024.150550> (IF₂₀₂₄ = 1,5; MEiN = 100).
2. **Jałowiecki Ł.**, Strugała-Wilczek A., Ponikiewska K., Borgulat J., Płaza G., Stańczyk K. *Constructed wetland as a green remediation technology for the treatment of wastewater from underground coal gasification process*. PLoS ONE. 2024, 19(3): e0300485
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300485> (IF₂₀₂₄ = 2,9; MEiN = 100).
3. **Jałowiecki Ł.**, Borgulat J., Strugała-Wilczek A., Glaser M., Płaza G. *Searching of phenol-degrading bacteria in raw wastewater from underground coal gasification process as suitable candidates in bioaugmentation approach*. Journal of Ecological Engineering. 2024, 25(2), 62-71.
<https://doi.org/10.12911/22998993/176143> (IF₂₀₂₄ = 1,3; MEiN = 100).
4. **Jałowiecki Ł.**, Borgulat J., Strugała-Wilczek A., Stańczyk K., Jastrzębski J., Babis W., Płaza G. *A look at biofilm on the coal waste-derived adsorbent enhanced wetland system*. Ecohydrology & Hydrobiology. 2025, <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2024.12.005> (IF₂₀₂₄ = 2,7; MEiN = 100).

Artykuły uzupełniające:

5. Borgulat J., Ponikiewska K., **Jałowiecki Ł.**, Strugała-Wilczek A., Płaza G. *Are wetlands as an integrated bioremediation system applicable for the treatment of wastewater from underground coal gasification processes?* Energies 2022, 15: 4419. <https://doi.org/10.3390/en15124419> (IF₂₀₂₄ = 3.0; MEiN = 140).

6. Strugała-Wilczek A., **Jałowiecki Ł.**, Szul M., Borgulat J., Płaza G., Stańczyk K. *A hybrid system based on the combination of adsorption, electrocoagulation, and wetland treatment for the effective remediation of industrial wastewater from underground coal gasification (UCG)*. Journal of Environmental Management. 2024, 371: 123180. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123180> (IF₂₀₂₄ = 8.0; MEiN = 200).

Wskaźniki publikacji:

- 4 opublikowane wiodące prace oryginalne o łącznym IF = 8,4 oraz o sumie pkt. MEiN= 400
- 2 opublikowane prace uzupełniające o łącznym IF = 11.0 oraz o sumie pkt. MEiN = 340. Doktorant podaje sumę IF jako 13, ale $3 + 8 = 11$.

Wymienione prace opublikowano w latach 2022-2025 z tym, że pierwsza praca przeglądowa ukazała się w 2022 r. a pozostałe w latach 2024-2025. W czterech publikacjach (wiodących) Doktorant jest pierwszym autorem (z udziałem 75%), a w dwóch (uzupełniających) drugim i trzecim (z udziałem odpowiednio 35% i 30%). Deklarowane przez Doktoranta udziały procentowe zostały potwierdzone przez współautorów. Wszystkie prace są wieloautorskie (od 5 do 7 autorów). Wkład merytoryczny doktoranta obejmował koncepcję i projekt, analizę danych, przygotowanie manuskryptu i edycję tekstu, opracowanie wyników, napisanie artykułu. Czasopisma, w których opublikowano wymienione prace należą do wyróżniających się na świecie wydawnictw prezentujących wyniki badań z zakresu dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

5. Zasadność podjęcia tematu rozprawy doktorskiej

Proces podziemnego zgazowania węgla (PZW) uważany jest za jedną z perspektywicznych technologii wykorzystania zasobów węgla nie nadających się do eksploatacji metodami tradycyjnymi. W procesie tym, w warunkach *in situ*, z węgla powstaje syngaz, który jest mieszaniną metanu, wodoru i tlenków węgla. Syngaz po wydobyciu na powierzchnię może mieć zastosowanie w energetyce, a także przemyśle chemicznym, m.in. do produkcji paliw, energii elektrycznej, ciepła oraz jako surowiec chemiczny. Ryzyko środowiskowe technologii PZW związane jest między innymi z potencjalnym negatywnym wpływem procesu na wody podziemne oraz wody powierzchniowe. W procesie podziemnego zgazowania węgla powstają i przechodzą do środowiska wodnego, w tym do wód poprocesowych, liczne zanieczyszczenia organiczne oraz nieorganiczne. Ścieki z PZW, wytwarzane głównie podczas parowania i pirolizy węgla, chłodzenia gazu i procesów oczyszczania gazu, mają podobny skład do ścieków koksowniczych i wymagają złożonych procesów oczyszczania.

Na podstawie analizy literatury naukowej Doktorant stwierdził, że spośród różnych procesów fizycznych, fizykochemicznych i biologicznych, metody biologiczne, w głównej mierze oparte na naturalnych procesach biochemicznych okazały się skuteczne w usuwaniu wielu zanieczyszczeń

zawartych w różnego rodzaju ściekach i odpadach przemysłowych. Szczególną uwagę zwrócił na holistyczne podejście wykorzystujące aktywność mikroorganizmów oraz różnych gatunków roślin lądowych i wodnych (połączenie fitoremediacji i bioremediacji) do biodegradacji różnych zanieczyszczeń przemysłowych. Ponadto, wetlandy wzbudzają ostatnio duże zainteresowanie badaczy w zakresie oczyszczania i usuwania antropogenicznych zanieczyszczeń ze ścieków. Uważane są za nisko-kosztowe, łatwe w obsłudze i przyjazne dla środowiska technologie bazujące na procesach zachodzących w naturze, przy czym w wielu przypadkach skuteczne w usuwaniu różnych zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych.

W swoich badaniach Doktorant postanowił skupić się na wykorzystaniu do oczyszczania ścieków z PZW obiekty techniczne z roślinnością hydrofitową (tzw. wetlandy). Obiekty te ze względu na swoje specyficzne właściwości, m.in.: szerokie spektrum usuwanych zanieczyszczeń, odporność na wahania składu i ilości ścieków, wydają się być ogromną szansą również dla rozwiązania problemów oczyszczania ścieków poprzemysłowych, w tym z PZW. Analiza literatury wykazała również, że oczyszczalnie wetlandowe tylko w nielicznych przypadkach były wykorzystywane do oczyszczania ścieków i odpadów z przemysłu węglowego. Ponadto, jak stwierdził Doktorant, pomimo szerokiego zainteresowania wetlandami, dokładniejsze informacje o funkcjonowaniu i procesach zachodzących w wetlandach są nadal nieznane. Stąd potrzebna jest wiedza na temat projektowania i funkcjonowania wydajnych i skutecznych systemów wetlandowych w oczyszczaniu ścieków przemysłowych. Doktorant zauważył także, że wysokie stężenia niektórych zanieczyszczeń, które często towarzyszą procesowi PZW, np. WWA, mogą wymagać opracowania nowych parametrów technologicznych, takich jak: dodatkowe napowietrzenie systemu czy też wydłużenie czasu retencji hydraulicznej.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania należy uznać, że **wybór tematyki pracy doktorskiej jest trafnie dobrany i wpisuje się w aktualne trendy badań w obszarze dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.**

6. Ogólne omówienie rozprawy doktorskiej

Doktorant w ramach rozprawy przedstawił **cel badawczy** w brzmieniu: „*Ocena efektywności układu wetlandowego w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych z wód poprocesowych z podziemnego zgazowania węgla (PZW)*” oraz **cel użytkowy**: „*Opracowanie procesu oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla (PZW) przy wykorzystaniu skutecznego i efektywnego systemu wetlandowego, zdolnego do usuwania szerokiego spektrum zanieczyszczeń zarówno związków organicznych i nieorganicznych, przy ograniczeniu zużycia energii i zasobów naturalnych*”.

Dodatkowo Doktorant sformułował **7 celów szczegółowych** oraz **5 pytań badawczych**.

Na końcu Doktorant przedstawił **hipotezę badań** w brzmieniu: „***Możliwe jest oczyszczenie ścieków z podziemnego zgazowania węgla (PZW) metodami biologicznymi***”.

Na podstawie sformułowanych celów oraz przedstawionej hipotezy Doktorant zaplanował i przeprowadził badania, których wyniki przedstawił w cyklu publikacji.

Cykl tematycznie spójnych publikacji otwiera praca przeglądowa w czasopiśmie *Energies* (**publ. nr 5 w rozdz. 4**), w której wyjaśniono, jak działają systemy bioremediacji, takie jak wetlandy oraz przeanalizowano czy systemy te nadają się do usuwania zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych z silnie zanieczyszczonych ścieków przemysłowych, takich jak ścieki z podziemnego zgazowania węgla (PZW). Przedstawiono też przykłady ścieków przemysłowych oczyszczanych przez różne systemy mokradeł oraz właściwości fizykochemiczne ścieków z różnych zgazowań węgla, uzyskane podczas własnych eksperymentów. W artykule usystematyzowano najnowszą wiedzę i osiągnięcia w zakresie oczyszczania ścieków przemysłowych w ekosystemach bagiennych. Na tej podstawie wysnuto wnioski, że sztuczne mokradła mogą być wieloskładnikowym podejściem remediacyjnym do oczyszczania ścieków przemysłowych. Odpowiednio zaprojektowane systemy wetlandowe mogą oczyszczać ścieki z PZW, jednak z uwagi na występujące w nich wysokie stężenia niektórych zanieczyszczeń, np. WWA, mogą wymagać dodatkowego napowietrzania systemu bagiennego i wydłużenia czasu retencji hydraulicznej.

W kolejnej publikacji (**publ. nr 1 w rozdz. 4**), prezentującej wyniki badań, dokonano analizy fizykochemicznej, mikrobiologicznej i toksykologicznej trzech wód poprocesowych pochodzących z 3 procesów podziemnego zgazowania węgla zrealizowanych w instalacji eksperymentalnej w kopalni doświadczalnej „Barbara” należącej do Głównego Instytutu Górnictwa, w warunkach *ex situ*. Procesy te różniły się rodzajami zastosowanego węgla oraz czynnikami zgazowania (powietrze nasycone tlenem i czysty tlen). Zróżnicowanie stężeń zanieczyszczeń takich jak fenol, BTEX i WWA istotnie wpłynęło na różnice w składzie mikrobiologicznym ścieków surowych z PZW. Dodatkowo, wykazano, że głównym czynnikiem różnicującym strukturę bakterii i ich różnorodność w ściekach może być czynnik zgazowujący. Uzyskane wyniki badań zwiększają wiedzę na temat różnorodności mikrobiologicznej w ekstremalnych środowiskach, takich jak ścieki przemysłowe silnie zanieczyszczone węglowodorami, a także dowodzą, że zrozumienie struktury mikrobiologicznej w zanieczyszczonych środowiskach jest niezbędne do rozwoju technologii remediacji, zwłaszcza bioremediacji wspomaganej bioaugmentacją.

W rezultacie uzyskanych wyników, a także wiedzy teoretycznej, w przedstawionych dwóch publikacjach, Doktorant zrealizował kolejne badania mające na celu opracowanie i wykonanie układu kolumn wetlandowych z pionowym przepływem, który następnie wykorzystał do biologicznego oczyszczania trzech, wcześniej analizowanych, rodzajów wód poprocesowych (**publ. nr 2 w rozdz. 4**). Pojedyncza kolumna o średnicy 30 cm była od góry wypełniona warstwami kompostu (15 cm), piasku i

żwiru (po 30 cm), nad którymi utrzymywano stały poziom ścieków i obsadzona monokulturą trzciny pospolitej. System hydrofitowy składał się ponadto ze zbiornika ze ściekami z recyrkulacją wewnętrzną (w celu mieszania) oraz recyrkulacją zewnętrzną ścieków przez kolumnę hydrofitową i zbiornik ścieków. Po 14 dniach procesu oczyszczania tej samej porcji ścieków uzyskano ponad 95% obniżenie stężenia zanieczyszczeń BTEX, WWA i fenoli. Zaobserwowano również redukcję stężenia dla cyjanków i niektórych metali, przy czym dla Cd, Cu i Ni odnotowano skuteczność odpowiednio, 99,3%, 99,5% i 86,3%. Również po 14 dniach pracy kolumny znacznie obniżyła się toksyczność trzech rodzajów ścieków poprocesowych odpowiednio o 74%, 77% i 99%, co było związane z biodegradacją toksycznych zanieczyszczeń zawartych w ściekach surowych do mniej toksycznych produktów końcowych lub produktów pośrednich procesu biodegradacji. Ponadto, otrzymane wyniki toksyczności korelowały z niektórymi związkami organicznymi, np. BTEX, WWA i nieorganicznymi, np. cyjankami i związkami azotowymi. Na podstawie uzyskanych wyników badań Doktorant wnioskował, że zastosowany system hydrofitowy posiada potencjał do oczyszczania zanieczyszczonych wód poprocesowych, zarówno związkami organicznymi jak i nieorganicznymi, jak również innych ścieków przemysłowych o podobnym charakterze, np. ścieków koksowniczych. Ponadto Doktorant stwierdził, że zastosowany system hydrofitowy ma potencjał oczyszczenia wód poprocesowych do takiego stopnia, że mogą być one ponownie wykorzystane w postaci użytecznej wody z recyklingu.

Kolejnym etapem realizacji pracy doktorskiej był skringing bakterii wyizolowanych z zanieczyszczonych wód poprocesowych, w celu oceny ich zdolności do degradacji fenolu i potencjalnego zastosowania w bioaugmentacji (**publ. nr 3 w rozdz. 4**). Wśród zidentyfikowanych szczepów, najwięcej należało do rodzaju *Bacillus*, *Paenibacillus* i *Oceanobacillus*. Do dalszych badań wybrano trzy szczepy bakterii o największym potencjale degradacyjnym: *Paenibacillus pasadensis* SAFN-007, *Paenibacillus humicus* Au34, and *Staphylococcus warneri* DK131. Szczepy te charakteryzowały się wysoką zdolnością do rozkładu fenolu (efektywność ponad 90% przy stężeniu fenolu 565 mg/dm³).

Następnie, wybrane szczepy bakteryjne wykorzystano w procesie bioaugmentacji do oczyszczania ścieków koksowniczych w bioreaktorze BIOFLO 415 o objętości 19 dm³. W trakcie badań, stwierdzono zmniejszenie stężenia fenolu z efektywnością 47%. Toksyczność ścieków obniżyła się z klasy V do IV. Wyniki badań potwierdziły, że wyizolowane szczepy bakteryjne mogą być wykorzystane w procesie bioaugmentacji do oczyszczania środowisk zanieczyszczonych fenolem (**Jałowiecki Ł., Borgulat J., Glaser M., Marchlewicz A., Płaza G. Zastosowanie bioaugmentacji w oczyszczaniu ścieków koksowniczych: badania bioreaktorowe. VIII Ogólnopolskie Sympozjum Mikrobiologiczne, Metagenomy różnych środowisk, 17-18.06.2024. Lublin. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13959170>**). Wymieniona

przez Doktoranta pozycja literaturowa **nie została jednak zaliczona do cyklu publikacji będących podstawą uzyskania stopnia naukowego doktora.**

Doktorant w ramach końcowego etapu badań skupił się na skonstruowaniu i przetestowaniu układów hybrydowych stanowiących kombinacje metod fizykochemicznych i biologicznych: adsorpcji, elektrokoagulacji i kolumny wetlandowej do oczyszczania ścieków przemysłowych z PZW. Proces elektrokoagulacji testowano w Instytucie Technologii Energetycznych i Przetwórstwa Paliw w Zabrzu. Jako adsorbent wykorzystano karbonizat - odpad z procesu PZW. Wyniki przedstawiono w kolejnej publikacji (**publ. nr 6 w rozdz. 4**). Przetestowano cztery różne konfiguracje systemów oczyszczania: (1) kolumna wetlandowa, (2) elektrokoagulacja/kolumna wetlandowa, (3) adsorbent/kolumna wetlandowa oraz (4) elektrokoagulacja/adsorbent/kolumna wetlandowa. Wykazano, że oczyszczanie wstępne za pośrednictwem elektrokoagulacji nie jest konieczne do późniejszego stosowania kolumn wetlandowych. Prowadzenie oczyszczania przez 45 dni okazało się wystarczającym czasem do właściwego przebiegu procesu. Porównując skuteczność usuwania zanieczyszczeń w samej kolumnie wetlandowej i kolumnie wetlandowej z adsorbentem nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy tymi układami. Dodanie adsorbentu do systemu biologicznego zwiększyło tylko nieznacznie wydajność procesu oczyszczania. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant stwierdził, że wykorzystanie kolumn wetlandowych okazało się skuteczną i efektywną metodą oczyszczania wód poprocesowych.

Jednym z celów badań było również scharakteryzowanie tworzącego się na powierzchni adsorbentu biofilmu, (**publ. nr 4 w rozdz. 4**). Karbonizat jako adsorbent stanowił specyficzne, ekstremalne siedlisko dla wzrostu, kolonizacji i aktywności bakterii oraz jako źródło mikroorganizmów o potencjalnych zastosowaniach biotechnologicznych. Mikroorganizmy takich siedlisk posiadają bogaty i bardzo często unikalny potencjał biochemiczny/metaboliczny, dzięki czemu mogą prowadzić szereg procesów biotechnologicznych, m.in. w przemyśle węglowym, od produkcji po remediację terenów zanieczyszczonych.

7. Elementy nowości naukowej

Za istotne elementy nowości naukowej ocenianej pracy doktorskiej należy uznać:

- Dokonanie kompleksowej charakterystyki wód poprocesowych z podziemnego zgazowania węgla z uwzględnieniem parametrów fizykochemicznych, toksykologicznych oraz mikrobiologicznych.
- Wykazanie możliwości zastosowania systemów wetlandowych do oczyszczania wód poprocesowych z podziemnego zgazowania węgla, zanieczyszczonych zarówno związkami organicznymi jak i nieorganicznymi.

- Wykazanie, że karbonizat będący odpadem z procesu podziemnego zgazowania węgla, zastosowany jako adsorbent stanowi siedlisko dla wzrostu specyficznych bakterii, co umożliwia wyizolowanie mikroorganizmów o potencjalnych zastosowaniach biotechnologicznych, jak również wykorzystanie w procesie bioaugmentacji wyizolowanych szczepów bakteryjnych do oczyszczania ścieków koksowniczych.

8. Uwagi krytyczne i szczegółowe

Recenzowana praca jest wartościowa merytorycznie. Stosunkowo dużo jest jednak drobnych usterek stylistycznych oraz tzw. literówek, co nie wpływa oczywiście na ocenę merytoryczną rozprawy. Ponadto, odnośnie artykułu w czasopiśmie *Energies*, Doktorant podaje IF z roku 2024 równy 3,0, kiedy IF w 2022 roku wynosił 3,2. Poniżej wymieniam kilka uwag krytycznych, które nasunęły się w trakcie czytania rozprawy – czyli tzw. przewodnika do cyklu publikacji.

1. Zdaniem recenzenta Doktorant niepotrzebnie podzielił cykl publikacji na artykuły wiodące oraz uzupełniające, zwłaszcza, że jedna z publikacji uzupełniających ma najwyższy IF i największą punktację ministerialną. Uważam, że wszystkie publikacje cyklu są istotne z punktu widzenia osiągnięcia celów badawczych. Ponadto, w opisie całej rozprawy Doktorant cytuje poszczególne publikacje w innej kolejności niż wymienione na początku rozprawy (str. 7), co w pewnym stopniu wprowadza chaos.
2. Zarówno temat, jak i postawiona hipoteza powinny być bardziej uszczegółowione. W obydwu przypadkach Doktorant pisze o metodach biologicznych, co sugeruje, że przebadał kilka różnych metod biologicznego oczyszczania ścieków, a okazuje się, że dotyczy to tylko systemu wetlandów. Hipoteza powinna być bardziej precyzyjna czyli np. zawierać kryterium pozwalające na stwierdzenie, że badane ścieki można oczyszczać daną metodą. Oczyszczać można każdy rodzaj ścieków, ale istotny jest cel i według jakiego kryterium chce się go uzyskać.
3. W opisie badań (przewodniku do cyklu publikacji) Doktorant często używa bardzo ogólnikowych stwierdzeń dotyczących np. parametrów technicznych czy technologicznych. Czytelnik zmuszony jest do poszukiwania tych informacji w publikacjach, a właśnie te konkretne, ważne informacje powinny znaleźć się już w opisie badań. Jako jeden z przykładów można zacytować fragment ze str. 29, cyt. *„Do tego sukcesu przyczyniły się odpowiednio zaprojektowana budowa kolumny wetlandowej i odpowiednio dobrane parametry techniczne jej funkcjonowania”*. Pytanie, jakie parametry i jakie są wartości tych parametrów.
4. Pierwszy cel szczegółowy dotyczy określenia gatunków roślin najlepiej przystosowanych do różnych warunków środowiskowych i rodzajów zanieczyszczeń, zdolnych do efektywnego usuwania tych zanieczyszczeń i tworzenia korzystnych warunków dla rozwoju

mikroorganizmów. Odnosi się wrażenie, że ten cel będzie przedmiotem badań Doktoranta, ale okazuje się, że w zaprojektowanym systemie wetlandowym Doktorant zastosował tylko jeden rodzaj roślinności, a mianowicie monokulturę trzciny pospolitej. Można się domyślać, że monokultura trzciny pospolitej została dobrana na podstawie analizy literaturowej, ale jeśli tak, to powinno być to jasno wyartykułowane.

5. Na stronie 27 Doktorant pisze, że wybrane szczepy bakteryjne wykorzystano w procesie bioaugmentacji (czasem używa pojęcia bioagumentacji) do oczyszczania ścieków koksowniczych w skali półtechnicznej, tj. w 19 L bioreaktorze BIOFLO 415. Zdecydowanie wykorzystanie reaktora o pojemności 19 L trudno uznać za skalę półtechniczną!

Recenzent ma nadzieję, że przedstawione uwagi krytyczne będą pomocne w udoskonaleniu formy prezentowania przyszłych wyników badań przez Doktoranta.

9. Zagadnienia wymagające wyjaśnienia

Poniżej przytaczam pytania, na które będę oczekiwał odpowiedzi:

1. W „Celu użytkowym” Doktorant pisze, cyt.: *„Opracowanie procesu oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla (PZW) przy wykorzystaniu skutecznego i efektywnego systemu wetlandowego, zdolnego do usuwania szerokiego spektrum zanieczyszczeń zarówno związków organicznych i nieorganicznych, przy ograniczeniu zużycia energii i zasobów naturalnych”*. Na czym polegało to ograniczenie zużycia energii i zasobów naturalnych?
2. Na str. 12, odnośnie procesu PZW, Doktorant pisze: *„jest to proces przyjazny środowisku”* a na str. 13, cyt.: *„negatywny wpływ na środowisko naturalne obejmujące zanieczyszczenie warstw wodonośnych produktami spalania oraz osiadanie powierzchni terenu, działanie trujące i własności wybuchowe powstających substancji gazowych”*, a także *„Ryzyko środowiskowe technologii PZW związane jest głównie z potencjalnym negatywnym wpływem procesu na wody podziemne oraz wody powierzchniowe. Zagrożenie środowiska występuje zarówno w czasie prowadzenia procesu, jak i po jego zakończeniu, gdzie powstają liczne zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne”*. Proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do tej sprzeczności.
3. Zgodnie z wynikami badań po 14 dniach oczyszczania tej samej porcji ścieków Doktorant uzyskał w kolumnach wetlandowych ponad 95% obniżenia stężeń związków organicznych typu BTEX, WWA i fenoli oraz znaczne obniżenie toksyczności ścieków, a w przypadku testowania czterech różnych konfiguracji systemów hybrydowych nawet po 45 dniach, cyt.: *„Prowadzenie oczyszczania przez 45 dni okazało się wystarczającym czasem do właściwego przebiegu procesu. Dłuższy czas oczyszczania wód poprocesowych nie miał pozytywnego wpływu na niektóre parametry fizykochemiczne. Co więcej, stwierdzono niekorzystny wpływ w przypadku, np.: ChZT, OWO i niektórych metali...”*. Czy Doktorant uważa, że czasy procesu niezbędne do efektywnego oczyszczenia ścieków z PZW pozwolą na wdrożenie tej technologii w warunkach

rzeczywistych? Zwłaszcza, że Doktorant na str. 29 pisze, cyt.: „Wyniki badań w skali laboratoryjnej mogą być podstawą do zaprojektowania systemu oczyszczania na dużą skalę, który będzie skuteczny, opłacalny i przyjazny dla środowiska”.

4. W aspekcie punktu 3, jaka według Doktoranta mogła być przyczyna obniżania się efektywności oczyszczania ścieków po czasie 45 dni?
5. W zastosowanych kolumnach do oczyszczania ścieków Doktorant zastosował monokulturę trzciny pospolitej w ilości 12 kłosów na 1 hodowlę. Na jakiej podstawie przyjęto akurat tę roślinę i stopień zagęszczenia kłosów?
6. Co było powodem wybrania do układu hybrydowego procesu elektrokoagulacji? Czy Doktorant rozpatrywał inne metody, jak np. procesy pogłębionego utleniania (AOPs)?

10. Podsumowanie i wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska posiada wysoki poziom merytoryczny, obejmuje aktualną i ważną tematykę naukową oraz wnosi nowe elementy poznawcze w zakresie oceny możliwości wykorzystania systemów wetlandowych do oczyszczania ścieków z procesu podziemnego zgazowania węgla. Praca zawiera ciekawe i cenne naukowo wyniki badań, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, obrazuje znaczną wiedzę ogólną Doktoranta, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Niego badań naukowych.

Pomimo przedstawionych uwag krytycznych uważam, że należy docenić bardzo szeroki zakres badań, wykazane przeze mnie elementy nowości naukowej oraz opublikowanie wyników tych badań w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Istotny również jest fakt, że w większości artykułów (w 4 z 6 składających się na cykl publikacji) Doktorant był wiodącym autorem (pierwszym i z największym udziałem procentowym poświadczonym przez współautorów), co potwierdza umiejętność pracy zespołowej Doktoranta.

Podsumowując ocenę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej stwierdzam, że **spełnia ona wymagania formalne w odniesieniu do prac doktorskich** oraz odpowiada wymogom zawartym w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2020 poz. 85 z późn. zm.), art. 187, dotyczącym ubiegania się o stopień naukowy doktora, a także klasyfikuje się do dyscypliny Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. **Dlatego wnioskuję o dopuszczenie Pana Łukasza Jałowieckiego do publicznej obrony przed Radą Naukową Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego.**