

prof. dr hab. inż. Mariusz Jerzy Stolarski
Katedra Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców
Wydział Rolnictwa i Leśnictwa
Centrum Biogospodarki i Energii Odnawialnych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Olsztyn, 15.09.2026

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Aleksandry Modzelewskiej

pt.: „Potential for recovery of valuable bioactive compounds from spent hops”

wykonanej w Katedrze Inżynierii Bioprosesowej, Mikro i Nanoinżynierii, Wydziału
Chemicznego, Politechniki Wrocławskiej

pod kierunkiem promotorki

prof. dr hab. inż. Anny Trusek

Recenzję wykonano na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 14.07.2026 r., w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna (289/25/RDND05/2024-2028), zawiadomienia o powołaniu recenzenta (RDND05/203/2024-2028) i rozprawy doktorskiej w formie manuskryptu.

Chmiel uprawiany jest w klimacie umiarkowanym na całym świecie, gdzie zidentyfikowano około 300 odmian, przy czym niektóre z nich uprawiane są jedynie lokalnie (np. polska odmiana Lubelski). Z użytkowego punktu widzenia kluczowe są wyłącznie rośliny żeńskie, na których powstają szyszki chmielowe, które gospodarczo są najważniejszą częścią rośliny stanowiącą podstawowy surowiec dla piwowarstwa. W procesie warzenia piwa wykorzystywane mogą być całe szyszki, granulaty lub ekstrakt. Całe szyszki chmielowe to nieprzetworzone kwiatostany rośliny chmielu (świeże lub suszone). W tym rodzaju surowca zachowane zostają olejki chmielowe, ale zajmuje on dużo miejsca, jest bardziej podatny na

utlenianie i degradację, a także może powodować problemy technologiczne w nowoczesnych systemach browarniczych. Z kolei granulaty wytwarza się z wcześniej wysuszonych szyszek chmielu w procesie mielenia i granulowania, co pozwala na uwolnienie i równomierne rozmieszczenie lupuliny. Granulaty przechowuje się w workach pakowanych próżniowo, co ogranicza utlenianie kwasów alfa oraz lotnych związków aromatycznych. Natomiast ekstrakt chmielowy uzyskany metodą ekstrakcji nadkrytycznym dwutlenkiem węgla wykazuje większą stabilność i dłuższy okres trwałości niż inne formy chmielu. Ponadto zawartość kwasów alfa jest standaryzowana poprzez parametry procesu, co zapewnia powtarzalny potencjał goryczkowy, podczas gdy ilość substancji nadających goryczkę w różnych partiach szyszek czy granulatu może się różnić. Ekstrakt uzyskany metodą nadkrytycznego CO₂ zajmuje również znacznie mniej miejsca podczas przechowywania niż surowe szyszki czy granulaty. Należy podkreślić, że pozostałością po procesie ekstrakcji jest poekstrakcyjna biomasa szyszek chmielu, która to może dalej zawierać wartościowe składniki, jak frakcje polifenolowe i inne związki bioaktywne, w tym ksantohumol. Związek ten na szerokie spektrum potencjalnej aktywności biologicznej, w tym właściwości przeciwzapalne, przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe czy oddziaływanie na szlaki związane z metabolizmem komórkowym. W związku z powyższym ksantohumol to bardzo interesujący surowiec dla przemysłu farmaceutycznego, kosmetycznego, spożywczego i nutraceutycznego.

Dlatego też badania mgr inż. Aleksandry Modzelewskiej pt.: „Potential for recovery of valuable bioactive compounds from spent hops” należy uznać za wychodzące naprzeciw wyżej wymienionym wyzwaniom i zapotrzebowaniu, a tym samym są one aktualne i interesujące. W związku z tym należy stwierdzić, że przedstawiona w ocenianej rozprawie doktorskiej problematyka jest bardzo istotna zarówno ze względów badawczych jak również użytkowych.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska ma logiczny układ i obejmuje łącznie 154 strony maszynopisu, w tym 10 tabel i 45 rysunków. Od strony formalno-metodycznej dysertacja zawiera główne rozdziały występujące w tego typu opracowaniach. Z merytorycznego punktu widzenia wyszczególnionych zostało siedem rozdziałów pierwszego rzędu jak: 1. Wstęp; 2. Cele pracy i opis jej oddziaływania; 3. Materiały; 4. Metody analityczne; 5. Część eksperymentalna; 6. Podsumowanie i perspektywy na przyszłość; 7. Literatura. Wśród tych rozdziałów dodatkowo wyróżniono 23 rozdziały drugiego rzędu i 29 rozdziałów trzeciego rzędu. Ponadto w dysertacji uwzględniono przedmowę, streszczenia w języku polskim i angielskim, podziękowania, wykaz rysunków, wykaz tabel, załączniki i wykaz osiągnięć autorki. W wykazie literatury zamieszczono aż 325 pozycji literatury.

Po bardzo długim wstępie (ponad 40 stron maszynopisu) przedstawiono główny cel badań, którym było opracowanie i optymalizacja procesu technologicznego umożliwiającego efektywne odzyskiwanie ksantohumolu (XN) z pozostałości chmielowych, stanowiących produkt uboczny ekstrakcji chmielu nadkrytycznym CO₂. Badania koncentrowały się na przekształceniu niskowartościowego produktu ubocznego przemysłu piwowarskiego w wysokiej czystości ekstrakt bioaktywny z wykorzystaniem metod inżynierii zrównoważonej. W związku z tym wyznaczono trzy cele szczegółowe, które obejmowały: (1) Ocenę strategii wstępnego przygotowania surowca, w tym porównanie fizycznych, chemicznych i enzymatycznych technik wstępnego przygotowania w celu określenia ich skuteczności w zwiększaniu wydajności ekstrakcji XN. (2) Optymalizację parametrów ekstrakcji, w tym zbadanie wpływu składu i polarności rozpuszczalnika oraz stosunku fazy stałej do ciekłej na wydajność i selektywność procesu odzyskiwania XN. Określenie wpływu czynników środowiskowych – w szczególności światła i temperatury – na stabilność odzyskanego XN podczas operacji technologicznych i przechowywania. (3) Strategie wzbogacania i oczyszczania, w tym zaprojektowanie i ocena układu separacji trójfazowej służącego do frakcjonowania związków chmielowych i wzbogacania ekstraktu w XN. Ocena przydatności metod wytrącania antyrozpuszczalnikiem oraz chromatografii na żywicach makroporowatych do oczyszczania XN, a także weryfikacja profilu chemicznego i czystości uzyskanych frakcji za pomocą technik analitycznych, w odniesieniu do wzorców analitycznych.

Następnie przedstawiono praktyczne znaczenie przeprowadzonych badań podkreślając, że: (1) Badania te wskazują drogę do zagospodarowania zużytego chmielu – istotnego produktu ubocznego przemysłu piwowarskiego, traktowanego obecnie jako odpad o niskiej wartości. Przekształcenie tej biomasy w źródło cennych związków, w tym ksantohumolu (XN), wspiera model gospodarki o obiegu zamkniętym poprzez ograniczenie negatywnego wpływu przemysłowego przetwarzania chmielu na środowisko oraz minimalizację ilości odpadów rolniczych. (2) Wykazano wpływ różnych metod wstępnego przygotowania surowca na wydajność ekstrakcji XN oraz opracowano procedurę przechowywania i postępowania z materiałem, która zapobiega nieodwracalnej degradacji produktu. Opracowanie zoptymalizowanego procesu ekstrakcji i oczyszczania – z wykorzystaniem układów trójfazowych oraz chromatografii na żywicach makroporowatych – dostarcza sektorowi biotechnologicznemu skalowalną i opłacalną metodologię. Zastosowanie mieszanin wody i etanolu na etapie ekstrakcji pozwala zastąpić drogie i toksyczne rozpuszczalniki organiczne, co obniża koszty produkcji dla wytwórców farmaceutyków i suplementów diety. (3) Dzięki

zwiększeniu wydajności odzysku XN oraz czystości uzyskiwanego związku, badania te przyczyniają się do szerszej dostępności substancji znanej ze swoich istotnych właściwości przeciwnowotworowych, antyoksydacyjnych i przeciwzapalnych. To z kolei wspiera rozwój nowych środków terapeutycznych pochodzenia naturalnego oraz żywności funkcjonalnej.

W dalszej kolejności przedstawiono materiały i metody analityczne. Z kolei w rozdziale piątym zaprezentowano główną część eksperymentalną, która została podzielona na trzy podrozdziały: przygotowanie próbek, ekstrakcja i oczyszczanie, a w każdym z nich dodatkowo wydzielono część metodologiczną, wyniki i dyskusję oraz cząstkowe podsumowanie.

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz potencjału odzysku cennych związków bioaktywnych z biomasy chmielu po ekstrakcji nadkrytycznej na końcu rozprawy doktorskiej przedstawiono podsumowanie i przyszłe perspektywy, które stanowią odzwierciedlenie wyników badań i treści pracy. Do cennych osiągnięć dysertacji zaliczam stwierdzenia, że:

1. Biomasa „szyszek” chmielu po ekstrakcji nadkrytycznej może być uznawana za bogate źródło cennych związków, z możliwością otrzymania wysokiej czystości ksantohumolu (XN).
2. Zachowanie XN podczas wstępnego przygotowania surowca było w znacznym stopniu uzależnione od wybranej metody. Wykazano, że fizyczna metoda oparta na cyklach zamrażania i rozmrażania pozwalała zmaksymalizować uzysk, zapobiegając jednocześnie nieodwracalnej degradacji i izomeryzacji docelowego związku – zjawiskom występującym przy zastosowaniu innych metod wstępnego przygotowania (chemicznych, enzymatycznych czy wysokotemperaturowych).
3. Optymalizacja parametrów ekstrakcji wykazała, że polarność rozpuszczalnika była kluczowym czynnikiem decydującym o wydajności ekstrakcji związków fenolowych, flawonoidów oraz XN.
4. Wskaźnik polarności w zakresie 6,0–7,0 (uzyskiwany dzięki zastosowaniu mieszanin wodno-alkoholowych) zapewniał optymalną równowagę między odzyskiem XN a minimalizacją współekstrakcji niepożądanych, polarnych składników roślinnych.
5. Zastosowanie układu separacji trójfazowej (ciecz-ciecz-ciecz) stanowiło innowacyjną strategię intensyfikacji procesu, umożliwiającą jednoczesne frakcjonowanie białek, cukrów i flawonoidów w jednym etapie, a także łatwe skalowanie procesu.
6. Wytrącanie z użyciem antyrozpuszczalnika było opłacalną metodą wstępnego wzbogacania, jednak ograniczeniem były straty produktu podczas przetwarzania.

7. Obiecującą metodą końcowej izolacji produktu była chromatografia na złożu żywicy makroporowatej. Pozwala ona na ograniczenie strat rozpuszczalnika i materiału, zwłaszcza przy uwzględnieniu możliwości regeneracji żywicy. Ponadto wykazano opłacalność tej metody w odniesieniu do cen rynkowych XN.

Każda recenzja rozprawy naukowej winna również wskazać na kwestie dyskusyjne o charakterze polemicznym, które mają na celu zwrócenie uwagi Autorki na precyzję i ważność przygotowywania, opracowania, interpretacji i dyskusji badań naukowych na każdym etapie ich tworzenia. Ponadto mogą one być pomocne na etapie przygotowywania publikacji naukowych.

Uwagi:

1. Cała rozprawa doktorska powinna być napisana w czasie przeszłym, podczas gdy w tym zakresie występuje różnorodność i zmienność stosowanych form, np. strona 6: „jest światło”, a powinno być „było światło”; strona 7: „charakteryzuje się”, a powinno być „charakteryzowała się”; podobne sytuacje występują na stronach 55, 112 i innych.
2. W całej rozprawie doktorskiej należałoby doprecyzować jaka część morfologiczna chmielu była badana. Określenia: „zużyty chmiel”, „chmiel odpadowy”, „świeża biomasa” są zbyt ogólne i mogą wprowadzać w błąd. Pod względem morfologicznym roślina chmielu składa się z łodygi, liści, kwiatów, owoców, korzeni. Dlatego też w całej dysertacji należałoby używać konkretnego określenia rodzaju wykorzystywanej biomasy z rośliny chmielu, np. „biomasa poekstrakcyjna z szyszek chmielu”.
3. Rozdział „Wstęp” jest zbyt długi i raczej stanowi on przegląd literatury. Dlatego też korzystniejsze byłoby wyodrębnienie krótszego „Wstępu” (1-3 strony), a następnie utworzenie oddzielnego rozdziału „Przegląd literatury”.
4. Przy wszystkich rysunkach/fotografiach i tabelach należałoby podać źródło ich pochodzenia.
5. Na stronie 3, w trzecim akapicie konsekwentnie należałoby dodać w nawiasie metody enzymatyczne, analogicznie jak to zrobiono dla metod fizycznych i chemicznych.
6. Strona 10, w rozdziale 5 zbędne jest powtarzanie w nazwach podrozdziałów drugiego rzędu tych samych sformułowań, które są tytułami podrozdziałów pierwszego rzędu.
7. Cytowanie tej samej pozycji literatury po każdym kolejnym zdaniu jest zbędne, np. str. 19, 28, i inne.

8. Strona 20, błędnie zacytowana literatura „Magalhães et al. (2009)”, w spisie literatury jest 2010 rok.
9. Strona 27, błędnie zacytowana literatura „Karabin et al. (2017)”, w spisie literatury jest 2018 rok.
10. Strona 30, zbędne cytowanie pierwszej litery imienia autora „Kamiński, D. et al. (2017)”, zapis odmienny od stylu cytowania zastosowanego dla większości publikacji cytowanych w dysertacji. Podobna uwaga dotyczy stron: 44, 45, 48, 53, 62, 73, 79, 80, 81, 84 i inne.
11. Strona 44, błędnie zacytowana literatura „Bizaj, K. et al. (2022) (54)”, w spisie literatury pod numerem 54 jest „Haring...”.
12. Strona 48, błędnie zacytowana literatura „Grudniewska, A. et al. (2020)”, w spisie literatury jest 2023 rok.
13. Podrozdział 3.1, strona 57 - rysunek 20, ta raczej fotografia. Ponadto w tym rozdziale konieczny byłby bardziej dokładny opis wykorzystywanej biomasy chmielu (uwaga punkt 2). Ponadto np. kraj i rok pochodzenia biomasy, odmiana, stopień rozdrobnienia biomasy, ewentualnie informacja o barku takich danych.
14. Podrozdział 4.7, strona 64 – zdecydowanie zbyt skromny opis analiz statystycznych, który należałoby uszczegółowić w odniesieniu do przeprowadzonych badań. W tym również dodać informację w ilu powtórzeniach wykonywano poszczególne analizy/badania?
15. Strona 68, po tytule tabeli 5 zacytowano literaturę (272-274), a na stronie 145 w spisie tabel zacytowano inne pozycje (274-276).
16. Rozdział 5 – wyniki badań, rys. 23, strona 69 i dalej do strony 111. Brak zaprezentowania analizy statystycznej i jej wyników np. w postaci grup jednorodnych, które to wskazywałyby na istotne różnice, bądź ich brak. Bez wskazania wyników analizy statystycznej wątpliwe wydaje się używanie sformułowań „...significant decrease, significant factor, significantly lower, itp...”. Powyższa uwaga dotyczy wszystkich wyników badań.
17. W pracy występują inne drobne błędy redakcyjne, które nie umniejszają jej wartości merytorycznej, np. str. 11. brak spacji pomiędzy numeracją podrozdziałów rozdziału 10, a ich tytułami.

Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr inż. Aleksandry Modzelewskiej pt. „Potential for recovery of valuable bioactive compounds from spent hops” jest komplementarna i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna oraz dowodzi umiejętności prowadzenia samodzielnych badań naukowych. W związku z powyższym spełnia wymagania stawiane tego typu opracowaniom w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) i kwalifikuje Kandydatkę do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna. W związku z powyższym zwracam się do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr inż. Aleksandry Modzelewskiej do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

