

Prof. dr hab. inż. Tomasz Heese  
Laboratorium Gospodarki Wodnej  
Wydział Inżynierii Lądowej,  
Środowiska i Geodezji  
Politechniki Koszalińskiej

Koszalin, 12 listopad 2020r.

Opinia na temat pracy doktorskiej pt.:

**„Zastosowanie akwaponiki w obiegach zamkniętych (RAS) jako przykład zintegrowanej akwakultury multitroficznej”**

autorstwa Pani mgr inż. Marleny Burdy

Podstawą opracowania opinii jest pismo Pana Prodziekana Wydziału Nauk o Żywności i Rybactwa dr hab. inż. Jacka Sadowskiego prof. ZUT z dnia 27 maja 2020r. informujące o decyzji Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie o powołania mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim pani mgr inż. Marleny Burdy.

Otrzymana do recenzji praca wpisuje się dokładnie w potrzeby gospodarki wodnej i ochrony zasobów wodnych. Mimo, że dorobek Nauki obejmujący zagadnienia akwakultury w obiegach zamkniętych jest już bardzo bogaty, to w połączeniu z akwaponiką, nadal do rozwiązania jest szereg zjawisk. Dotyczą one odnowy wody i jej powtórnego wykorzystania przy jednoczesnej dbałości o optymalne warunki wzrostu ryb i wykorzystywanych roślin. Zaopatrzenie w energię takich instalacji to kolejne wyzwania.

W ocenianej pracy skoncentrowano się na określeniu poziomu wykorzystania substancji biogenych, redukcji materii organicznej oraz właściwości buforujących w systemach akwakultury multitroficznej. Wybrano do testów dwa gatunki tilapię nilową *Oreochromis niloticus* (L.) i karpia (*Cyprinus carpio* L.) Przy okazji prawidłowy zapis skróconej nazwy łacińskiej tilapii nilowej to symbol „(L.)” winien być w nawiasie. Wskazuje na to, że Linnaeus oznaczył ją (nadał nazwę według nowych zasad) w 1758 roku jako pierwszy ale po późniejszej rewizji zaliczono ten gatunek do rodzaju *Oreochromis*. Do testów akwaponicznych zastosowano w pierwszym eksperymencie kilka gatunków z różnym skutkiem, a w drugim eksperymencie jedynie kalie, ale do tego zagadnienia jeszcze powrócę. Dobrze, że Autorka pracy doktorskiej nazwała kolejne działania badawcze jako doświadczenia a nie serię, gdyż mieliśmy w basenach inne gatunki ryb, zapewne inne dawki paszy, i różne gatunki roślin. Ostatecznie z tych dwóch doświadczeń wyciągano wspólne wnioski.

Oprócz zaplanowanych eksperymentów najczęściej zaangażowania poświęcono badaniom fizykochemicznym wody przepływającej przez oba systemy. Badań wykonano na pewno wystarczająco i były zaplanowane prawidłowo. Zwrócono uwagę, studiując rozdział 4.3 „Analizy fizykochemiczne wody”, na metodykę oznaczeń stężenia tlenu rozpuszczonego – oznaczenie wykonano metodą Winklera - czy ten nadmiar pracochłonności był czymś podyktowany czy tylko brakiem dostępu do dobrego tlenomierza. Można by się zastanowić nad oznaczeniami  $ChZT_{Cr}$ , a może w najbliższej przyszłości przy kolejnych badaniach nie wykorzystać metody manganowej  $ChZT_{Mn}$  tak zwanej „utlenialności”. Owszem przyjmuje się, że jest to jedynie około 30% wartości  $ChZT_{Cr}$  ale są to substancje najszybciej podlegające biodegradacji. No i podstawowe pytanie dlaczego nie oznaczano DOC. W dalszej części pracy przy omawianiu wyników wspomina się o stosunku węgla do azotu (str. 35, wiersz 4 od góry) gdzie porównanie w zasadzie dotyczy stosunku węgla nieorganicznego do azotu przy założeniu, że wszystkie formy układu węglanowego zostały oznaczone ( $CO_2$  – gazowy,  $CO_2$  – rozpuszczony w wodzie,  $H_2CO_3$ ,  $HCO_3^-$ , oraz węglany nierozpuszczalne w wodzie). Przyjęte metody statystyczne uznać można za prawidłowe. Brak pełnej randomizacji obu eksperymentów stwarzało pewne ograniczenia.

Po bardzo interesującym wstępie pracy na temat przyszłości akwakultury multitroficznej, na szczęście właściwie skróconym co się ceni, mamy kolejne rozdziały opracowane zgodnie z zasadami pisania prac doktorskich. Tak przy okazji jedną z zalet ocenianej pracy jest to, że nie rozciągano zbędnie informacji, która jest bądź powszechnie znana w gronie specjalistów lub znajduje się w łatwo dostępnej literaturze. Warto przy okazji podkreślić, że dobór literatury też jest prawidłowy i zbędnie nie został powiększony. Znalazły się tu prace sprzed praktycznie 50 lat i najnowsze jak to się mówi jeszcze „ciepłe”.

Przy omawianiu wyników brakuje mi nieco pogłębionej analizy dotyczącej kilku zagadnień i tak:

czy gatunek ryby miał wpływ na wyniki, szczególnie przemian azotowych, dalej czy pasza podawana rybom miała podobny skład no i metabolizm i termin zadawania paszy nie zbiegał się z poborem próbek do badań? Oczywiście przygotowanie tak złożonego eksperymentu wymagało od Autorki doktoratu wszechstronnych umiejętności, nie tylko chowu ryb i oceny ich kondycji i poprawnych zachowań świadczących o dobrej jakości środowiska wodnego ale też umiejętności typowo „ogrodniczych”. W pierwszym doświadczeniu zastosowano kilka gatunków roślin włącznie z hiacyntem wodnym zwanym w Ameryce Północnej „zarazą wodną”. W pracy pojawiają się wyniki opracowane wspólnie dla akwaponiki w basenach i zbiornikach wypełnionych perlitem. Czy miało to wpływ a jeśli tak to jaki? Dlaczego się do tego odnoszę, bo nie jest jasne do końca jakie wyniki zaprezentowano na rys. 23 – 26. Czy dotyczy to

połączenia wyników z obu doświadczeń, czy tylko z drugiego. Analiza statystyczna tych wyników wygląda bardzo ciekawie i może być podstawą do modyfikacji projektowania filtra mechanicznego i biologicznego bo tu wyniki mamy podobne co do tendencji w pojemnikach z rybami i wodzie po filtrach z jedynie słabo zaznaczona tendencje redukcji azotu amonowego. Dla jakości przemian fizjologicznych ryb a w tym ich przyrostów stężenia azotu azotynowego (azotanu III) powinno być jak najmniejsze. O wpływie tej mineralnej formy azotu Autorka doskonale wie. Trochę może dziwić proponowana w literaturze wysoka dopuszczalna wartość (norma) dla azotynów dla hodowli ryb ciepłolubnych jaką jest tilapia, aż do 5 mg N-NO<sub>2</sub>?

Przechodząc do dyskusji to uważam ją za bardzo dobrą. Słabszym fragmentem jest zakończenie w postaci wniosków, wiele cennych wynikający z dyskusji nie znalazły się w podsumowaniu. Zaletą dyskusji jest dobry układ i pokazywanie jednocześnie wad i zalet systemu akwakultury multitroficznej. Ważne obserwacje dotyczą zintegrowania potrzeb fizjologicznych roślin wynikający z ich rozwoju z dostarczaną w sposób ciągły ilością substancji biogenych. Przy ograniczeniach w zagospodarowaniu substancji biogenych przez system hydroponiczny to nagromadzony nadmiar tych związków będzie oddziaływał toksycznie na hodowle ryb. Warto by Autorka odpowiedziała na pytanie czy zaplanowane eksperymenty miały charakter zrównoważonych a jeśli nie to co w najbliższej przyszłości trzeba zrobić, udoskonalić czy zmodyfikować itd.

W dyskusji często pojawia się stwierdzenie, że nastąpiła stabilizacja stężeń jak np. azotu organicznego po dwóch miesiącach... Czy można uznać stabilizację systemu za równoznaczną z jego zrównoważeniem? Wracając do uwagi dotyczącej wykorzystania stężeń jonów wodorowęglanowych do obliczenia stosunku węgla do azotu to uważam za nieprecyzyjne o czym już pisałem. Więc nie można pisać o niepotwierdzeniu tezy Wanga i in. (2019) o uzależnieniu redukcji stężeń azotu organicznego od niskiego stosunku węgla do azotu. Być może w cytowanej pracy po dokładniejszym jej przestudiowaniu znajdzie się podpowiedź o przyczynach obserwowanych zjawisk.

Autorka pracy dysertacyjnej ma oczywiście szereg pomysłów na nowe eksperymenty. Dotyczy to warunków w tarasach hydroponicznych gdzie poprzez ograniczanie dostępu tlenu będziemy sprzyjać zachodzeniu procesu anammox (str. 38, wiersz 1-4 od dołu). Dalej przy przemianach fosforowych trzeba by nieco wprowadzić czytelnika na temat źródła fitynianów w systemach akwakultury multitroficznej. Czy przypadkiem, co oczywiście wymaga dalszych badań, źródłem fitynianów w wodzie nie są pasze dla ryb w skład których wchodzi otręby, roślin strączkowych itp. Podobnie na str. 41 (wiersz od 13 do 22), gdzie też się prosi bu Autorka ocenianej pracy zasugerowała jakieś rozwiązanie. Owszem wspomina o możliwości wprowadzenia do systemu mikroalg i roli mikroorganizmów co jednoznacznie wskazuje, że odpowiedź na

palące problemy akwaponiki zintegrowanej z hodowlą i chowem ryb są do rozwiązania z wykorzystaniem mikroorganizmów większym niż ma to obecnie miejsce. Dzisiaj fosfor jest pierwiastkiem o dużym deficycie w skali globalnej więc pełne jego odzyskanie jest bardzo ważne!

Jak wspomniałem dyskusja jest prowadzona bardzo dobrze, natomiast co do wniosków to mam kilka uwag. Wniosek pierwszy - dlaczego ... „w doświadczeniu drugim”..., a no bo w pierwszym tego nie zaplanowano. W tej sytuacji, w moim odczuciu, trzeba wnioski podzielić na trzy grupy. Wnioski dla pierwszego eksperymentu i drugiego osobno i trzecia grupa wniosków wspólnych dla obu doświadczeń.

Wniosek trzeci trochę nie uprawniony bo są to pewne przypuszczenia, można by sugerować, że między innymi taki proces mógł być odpowiedzialny za usuwanie nadmiaru azotu w eksperymencie drugim.

Z drobniejszych uwag ale może ważnych to zastosowana terminologia. Tarasy hydroponiczne są zakładane według dwóch sposobów czy technik i tak dla Deep Water Culture (DWC) zastosowanej w pierwszym doświadczeniu użyto terminy „metoda pływających tratw”. Natomiast dla Media Filled Beds (MFB) zastosowanej w drugim doświadczeniu nie zaproponowano polskiej terminologii – aż się prosi...

Pozwolę sobie w dalszej części recenzji na kilka uwag dyskusyjnych licząc na wyjaśnienie na publicznej obronie:

- na str. 6, tekst o zanieczyszczeniach generowanych przez OHR trochę odbiega od powszechnego przekonania, że woda do środowiska jest oddawana czystsza niż pobierana, oczywiście zgadzam się z poglądami prezentowanymi w pracy,
- str. 17, wiersz 3 od góry, str. 18, 3 wiersz od góry; często jednostki dla przepływów są podawane dla  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a innym razem w  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , zdaje sobie sprawę, z różnic zwykle podawanych przez producenta ale w przygotowując publikacje do druku należy tym jednostkom lepiej się przyjrzeć, dodatkowo sprawa hydrauliki w pracy nie została opisana ale rozumiem, że konstruktor stanowiska badawczego wprowadzał szereg zabezpieczeń by ograniczyć awarie systemu do minimum,
- str. 17, nie opisano skutków awarii i ich przyczyn,
- czy wiadomo jakie przyczyny spowodowały obumarcie hiacynta wodnego w pierwszym eksperymencie skoro pochodził z krajowej hodowli z Rybackiej Stacji Doświadczalnej w Nowym Czarnowie i był poniekąd zaadoptowany do warunków akwakultury,
- str. 21, wiersz 14 od góry; już o tym wspominałem, a dlaczego zrezygnowano z oznaczeń  $\text{BZT}_5$ ?
- str. 42, wiersz 4 od dołu; geosmina czy 2-metyloizoborneol, a szczególnie geosmina jest odpowiedzialna za błotnisty posmak ryb, więc jako

substancja w hodowli wysoce nie pożądana, co dla obiektów starszych i o obniżonej kulturze technicznej może stanowić problem jakości produkowanego surowca.

Po literaturze tekstu mam bardzo pozytywny odbiór. Sama redakcja jest bardzo dobra, udało się zauważyć zaledwie kilka literówek, oto przykłady:

- str. 19 , 3 wiersz od góry: jest ...”(Cyprinus Carpio L.)”..., winno być (*Cyprinus carpio* L.)
- str. 22, wiersz 11 od dołu; jest ...” tarach”..., winno być ...”tarasach”...

W cytowaniach nieco gorzej, choć jak wspomniałem, dobrze, że Autorka dysertacji nie cytowała zbędnych powtórzeń. Nieścisłości jest jednak kilka. Operowanie całym zbiorem literatury oceniam bardzo dobre.

- str. 5, wiersz 14 od góry; ..."Roosta 2014"... "a" czy "b", patrz poz. 75 i 76,
- str. 5, wiersz 3 od dołu; ..."Somerville i in., 2914"....; "a" czy "b" patrz pozycja 85 i 86, uwaga prawdopodobnie to ta sama pozycja!
- str. 8, wiersz 7 od dołu; ..."Lewis, 1978"..., w spisie literatury jest pod poz. 51 "Lewis i in., 1978",
- str. 10, wiersz 10 od góry; ..."Wongkiew, 2017"..., w spisie literatury jest pod poz. 109 "Wongkiew i in., 2017",
- str. 10, wiersz 16 od dołu; ..."Forchino, 2017"..., w spisie literatury pod poz. 25 jest "Forchino i in., 2017",
- str. 10, wiersz 6 od dołu; ..."Somerville i in., 2014".... uwaga jak wyżej ze str. 5,
- str. 12, wiersz 2 od dołu; ..."Duncan 2014"..., brak w spisie literatury,
- str. 13, wiersz 15 od dołu; ..."Verdegem, 2006"..., w spisie literatury pod poz. 104 jest "Verdegem i in., 2006",
- str. 14, wiersz 16 od dołu, ..., "Mchunu i in., 2018"..., w spisie literatury pod poz. 59 jest „Mchunu i in., 2017”,
- str. 14, wiersz 14 od dołu; ..."Massera i in., 1999"..., w spisie literatury jest "Masser i in., 1999",
- str. 14, wiersz 14 od dołu; ..."Schneider i in., 2010"..., czy jak w spisie literatury pod poz. 81 rok wydania to 2004?
- str. 14, wiersz 5 od dołu; ..."Schneider i in., 2005"..., brak w spisie literatury,
- brak cytowań w tekście kilku prac (może przeoczyłem) wymienionych w spisie literatury pod poz. 47, 48, 82 i 100, co zwykle dzieje się przy końcowej redakcji tekstu.

Podsumowując należy stwierdzić, że zaplanowany eksperyment był znacznie rozciągnięty w czasie i wymagał z jednej strony staranności przy analizach fizykochemicznych wody pobieranej w kilku kluczowych miejscach ważnych dla osiągnięcia zamierzonego celu ale i dbałości o jakość eksperymentu. Ciągła troska o to by system pracował poprawnie, by nie wyłączono zasilania by znów czegoś nie brakowało.... Czy wysiłek badawczy się opłacał. Na pewno tak! A czy wszystkie hipotezy badawcze zostały poparte wynikami? Więc drobny komentarz: hipotezy (str. 7) nr 1, 2, 5 i 6 zostały poparte wynikami i obserwacjami. Hipoteza 3 i 4 wymaga jeszcze dyskusji, do której zapewne Autorka pracy doktorskiej jest dobrze przygotowana. Pojawiają się pytania do hipotezy nr 3: o jakiej materii organicznej mówimy, czy pochodzącej z niezjedzonej paszy czy przemian fizjologicznych u ryb (odchody, mocz, śluz). Czy z upraw hydroponicznych nie mamy transportu węgla organicznego do systemu? W jakim stopniu kształtują się ryzosfera roślin hydroponicznych wraz z ich bakteriami i grzybami. Dalej przy hipotezie nr 4 wyczuwam pewien skrót. Jeśli chodzi o ortofosforany bezpośrednio pobierane przez rośliny to można się zgodzić, a o jakie formy azotu dokładnie chodzi?

Mimo tych pytań to zaprezentowana praca doktorska jest dobrze przygotowana a eksperyment prawidłowo przeprowadzony dający jednoznaczną odpowiedź na postawiony cel pracy. Cel pracy został osiągnięty. Określono poziom wykorzystania substancji biogennej i redukcji materii organicznej w systemie zintegrowanej akwakultury multitroficznej osiągając jednocześnie odpowiedni poziom właściwości buforujących wody w zaplanowanym doświadczeniu.

### **Wniosek Końcowy**

**Oceniana praca, mimo kilku uwag czy sugestii, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z obowiązującymi obecnie przepisami. Wnoszę o przyjęcie pracy doktorskiej pani mgr inż. Marleny Burdy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

