

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Lech

pt. „Wielostopniowa separacja membranowa wybranych białek sprzężona z procesami bioreaktorowymi ”

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej z dnia 24.08.2015r.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy.

Przedstawiona rozprawa doktorska została napisana w języku polskim i obejmuje 138 stron. Praca składa się ze spisu treści, siedmiu rozdziałów (każdy z kilkunastoma podrozdziałami), spisu literatury (147 pozycji oraz 5 stron internetowych) i spisu oznaczeń. W pracy zawarto łącznie 83 rysunki, schematy i fotografie oraz 12 tabel.

2. Tematyka, cele i zakres pracy.

Praca poświęcona jest opracowaniu zintegrowanego procesu zagospodarowania serwatki przemysłowej, pochodzącej z produkcji serów kozich. Medium badawcze jest złożone, charakteryzuje się pozostałością skrzepu kazeinowego, który stosunkowo łatwo daje się odseparować, nadal dużą zawartością cennych białek, laktozy oraz tłuszczów.

Z jednej strony jako produkt uboczny czy nawet ściek poprodukcyjny serwatka musi być poddana utylizacji, z drugiej zaś strony jest źródłem cennych substancji. I te dwa aspekty zostały w rozprawie uwzględnione.

Białka wyodrębnione z serwatki: WPC (*whey protein concentrates*) lub WPI (*whey protein isolates*), jako cenne składniki, mogą być wykorzystywane do odżywek, suplementacji środków spożywczych i dietetycznych.

W pracy Doktorantka postawiła następujący główny cel: **opracowanie zintegrowanego procesu zagospodarowania serwatki odpadowej**. Realizacja była wieloetapowa i obejmowała: odseparowanie białek serwatkowych za pomocą ciśnieniowych technik membranowych, prowadzenie procesu hydrolizy enzymatycznej białka serwatkowego do peptydów oraz poddanie procesowi biodegradacji strumieni ubocznych pozostających po odzysku białek.

Zakres pracy jest obszerny i dotyczy realizacji 9 zagadnień, m.in. jest to:

- budowa instalacji zaopatrzonej w odpowiednio dobrane membrany do MF i UF oraz określenie odpowiednich parametrów procesowych,
- opracowanie modelu kinetycznego opisującego hydrolizę białka w układzie pracującym okresowo i w systemie ciągłym,
- dobór membrany i parametrów procesowych do NF peptydów serwatkowych, aby w efekcie prowadzić zintegrowany proces hydrolizy białka z jednoczesnym odbiorem peptydów,
- dobór mikroorganizmów do procesu biodegradacji oraz określenie kinetyki wzrostu komórek wybranego szczepu w hodowli okresowej i ciągłej,

- opis matematyczny zależności szybkości przemiany laktozy i białek w zależności od ich stężenia.

Reasumując, tematyka pracy jest aktualna, zagadnienie ma charakter pracy naukowej i zawiera elementy nowości. Dobór tematu i zakres pracy ocenić należy wysoko.

3. Charakterystyka poszczególnych rozdziałów pracy.

W spisie treści występuje notacja uwzględniająca cyfry rzymskie i arabskie. W układzie takim pominięto rozdział 4 i 5. W dalszym omówieniu będą się odnosić do numeracji zawartej w tekście rozprawy, gdyż w spisie treści występują błędy.

We Wstępie I została scharakteryzowana serwatka pod względem zmienności składu z uwzględnieniem głównych białek. Kolejne rozdziały dotyczą przeglądu literaturowego związanego z tematyką pracy.

W rozdziale 1 Doktoranta przedstawia ciśnieniowe techniki membranowe stosowane w przemyśle mleczarskim z uwzględnieniem MF, UF i NF. Przedstawia produkcję koncentratów białkowych, separację laktozy, frakcjonowanie białek serwatkowych (UF), demineralizację, separację peptydów (NF), z jednoczesnym ujęciem historycznym, ekonomicznym i naukowo-technologicznym.

Rozdział 2 dotyczy chemicznej i enzymatycznej hydrolizy białek do peptydów. Zawiera równania opisujące stopień hydrolizy (DH), szybkość hydrolizy (V) i względną szybkość reakcji ($v/v(0)$).

W rozdziale II przedstawiono cele i zakres pracy.

W rozdziale III scharakteryzowano materiały i metody, w tym odczynniki, aparaturę i stosowane membrany.

Kolejne rozdziały 5.1÷5.8 poświęcono szerokiemu opisowi techniki i analityki przeprowadzonych eksperymentów. W rozdziałach 5.1÷5.5 omówiono wstępne przygotowanie serwatki, prowadzenie procesu MF i UF z wykorzystaniem membran ceramicznych (TiO_2 ; ZrO_2/TiO_2) i polimerowej (PES), z określeniem wpływu pH i siły jonowej. Przytoczono stosowane metody analityczne określania stężenia białek: spektrofotometrię, metodę Lowrego i chromatografię. Rozdział 5.6 dotyczy hydrolizy wytypowanego białka albuminy serum (SA) za pomocą enzymu termolizyny (TLN) w układzie okresowym i ciągłym. W rozdziale 5.7 opisano separację peptydów po hydrolizie białek w procesie NF. W kolejnym rozdziale 5.8 biodegradację strumieni odpadowych. Przedstawiono analitykę oznaczania biomasy i obecności kwasu mlekowego, dokonano doboru szczepu do prowadzenia procesu biodegradacji w bioreaktorze mikrobiologicznym.

Rozdział IV dotyczy omówienia uzyskanych wyników. Z tego powodu jest najbardziej obszerny. W rozdziałach 6.1 i 6.2 przedstawiono wyniki procesów membranowych MF i UF, uwzględniające wpływ takich parametrów, jak stężenie serwatki, pH roztworu, wartość siły jonowej. Obliczano zmianę całkowitego oporu hydraulicznego membrany dla poszczególnych eksperymentów oraz co istotne stopień retencji. Dokonano podziału składu białek na 4 frakcje: 1–immunoglobuliny, 2–albuminę i laktoferynę, 3– α -laktoalbuminę i β -laktoglobulinę oraz 4–glikomakropeptydy. Rozdział 6.3 został poświęcony hydrolizie (wytypowanego do badań białka) albuminy serum (SA) katalizowanej enzymem termolizyną (TLN). Przytoczono badania i wyniki prowadzone w

reaktorze działającym w układzie okresowym i ciągłym, uwzględniając takie parametry wpływające na kinetykę procesu jak stężenie enzymu oraz powstawanie inhibitora.

Omówiono dopasowanie równania kinetycznego do uzyskanych wyników. Na tym etapie pracy rozpatrzono możliwość występowania inhibicji niekompetycyjnej lub kompetycyjnej. W dalszych rozważaniach wskazano, że zachodziła inhibicja niekonkurencyjna. Dla tego przypadku, po uwzględnieniu równania Michaelis'a – Menten, w zależności od wartości stężenia substratu opracowano równania dla reakcji przebiegającej zgodnie z kinetyką zerowego ($S \gg K_m$) oraz pierwszego rzędu ($S \ll K_m$) w reaktorze okresowym. Oba modele hydrolizy SA zweryfikowano w reaktorze pracującym w trybie ciągłym, stwierdzając, że zaproponowana modyfikacja modelu Michealis'a – Menten z powodzeniem opisuje proces proteolizy albuminy serum termolizyną.

Rozdział 6.4 poświęcono opisowi nanofiltracji peptydów po hydrolizie SA oraz białek serwatkowych. Wyznaczono współczynniki retencji dla hydrolizatów "bez modyfikacji" oraz przy pH=5 i z dodatkiem 0,5M NaCl stosując 2-ie membrany polimerowe i 1-ną ceramiczną.

Wykazano, że stosowane membrany całkowicie zatrzymywały termolizynę.

Do dalszych badań wytypowano membrany: ceramiczną i polimerową o „cut off” odpowiednio 15 kDa i 1kDa. Badania prowadzono w reaktorze z ciągłym odbiorem produktu hydrolizy (Rozdział 6.5). Etapem końcowym było przeprowadzenie hydrolizy koziej serwatki przemysłowej w reaktorze z membraną polimerową (1 kDa). Analiza zmian składu substratu oraz permeatu została dokonana na drodze chromatograficznej. Stwierdzono, że zastosowanie membrany z PES pozwoliło na wstępną separację krótkich peptydów od substratu wyjściowego, produktów pośrednich oraz enzymu.

W rozdziale 6.6., co jest niezwykle ważne, przedstawiono biodegradację strumieni odpadowych. Wstępnie prowadzono badania aktywności rodzimych szczepów serwatki wyrażone spadkiem zawartości laktozy i białek. W dalszym etapie z dwóch szczepów grzybów (*Aspergillus niger* i *Aspergillus fumigatus*) oraz jednego bakteryjnego (*Bacillus licheniformis*) wytypowano szczep bakteryjny i dla niego opracowano kinetykę wzrostu na podłożu serwatkowym w hodowli okresowej. Dla stężenia laktozy poniżej 2g/dm^3 wykorzystano równanie Monoda. Stwierdzono, że powyżej stężenia 2g/dm^3 następuje spadek szybkości wzrostu wskutek inhibicji substratowej (laktozą i/lub białkiem) co opisano równaniem Lounga. Na podstawie uzyskanych wyników dobrano warunki do hodowli ciągłej.

Obliczono szybkości degradacji w warunkach pracy okresowej i ciągłej reaktora, które nie różniły się znacząco ($\mu=0,20\text{ h}^{-1}$ oraz $\mu=0,25\text{ h}^{-1}$) oraz podano zmiany zawartości białka i laktozy w strumieniach wlotowych i wylotowych z reaktora. Dla czasu przebywania substratu w reaktorze powyżej 37 h osiągnięto wartość ChZT zgodną z zaleceniami Ministra Ochrony Środowiska wynoszącą $7,6\text{ mgO}_2/\text{dm}^3$.

Pracę kończy **rozdział V** - Podsumowanie i wnioski. Rozdział ten jest bardzo dobrze napisany.

4. Język, stylistyka i szata graficzna.

Praca napisana jest poprawnym językiem. Rozprawę czyta się dobrze. Część teoretyczna jest bardzo zwięzła i konkretna, liczy zaledwie 30 str. Szatę graficzną pracy oceniam na średnio-wysokim poziomie. Tabele są czytelne, fotografie kontrastowe ale wszystkie wykresy mogłyby być w wersji kolorowej (jest to w tej chwili standard). Nomenklatura w większości przypadków jest poprawna, choć nie wszystkie symbole znajdują się w rozdziale Spis oznaczeń.

Zauważyłam niestety liczne błędy pisarskie, wynikające zapewne z pośpiechu przy redagowaniu ostatecznej wersji pracy.

1. Doktorantka stosuje zamiennie i niekonsekwentnie cytowania w pracy. Powinno być [Autor, rok]; [1Autor i 2Autor, rok] oraz [1Autor i in., rok]. W wielu przypadkach podany jest tylko pierwszy autor pracy, a pominięci pozostali. Jak dobrze wiemy kolejność nie zawsze świadczy o wkładzie pracy w artykuł. Jako przykład można podać: [Caron i in.,1997]; [Nigram i in., 2008]; [Marshall i in.,1993]; [Aimar i in., 1991]; [Konrad i in., 2012]; [Sanmartin i in., 2012]; [Vorob'ev i in., 2013]. Takich niekonsekwencji w pracy naliczyłam ok.40.
2. W rozdziale Literatura istnieją pozycje, które nie są cytowane w tekście: [Bugg i in., 2000]; [Carcic i in., 2000]; [Farrell i in., 2004]; [Gouedranche i in.,2000] lub cytowane w tekście a nie przytoczone w Literaturze [Carle i Swaisgood, 2000]; [Endo, 1962]; [Loung, 1986]. Ponadto zauważyłam błędy bibliograficzne – podane różne lata wydania w tekście i Literaturze lub błędy w nazwiskach lub datach wydania np.; [Pouliot i in., 2008] czy 2004?; [Meershon, 1989] czy Meerdhon?; [Cheang i Zydney, 2006] czy 2004?; [Atra i in. rok?]; [Rektor i Vati, 2004] czy Gyula?; [Dzuba i Fornal, 2009] czy Dziuba?; [Pujar i Sydney, 1998] czy 1994?
3. Niektóre błędy korektorskie

nr	strona	wiersz	błąd
1	Spis treści		Brak rozdziału 4
2	Spis treści		Rozdział 6.2- nie istnieje w tej postaci
3	Spis treści		Spis oznaczeń str 137
4	1	7g	San-Martin
5	9	9 i 12g	przy pomocy powinno być za pomocą
6	11	15g	Ciśnienia transmembranowe
7	11	16g	mnie mniejszych
8	14	22g	1.07 [g m ⁻² h ⁻¹]
9	14	26g	od β-LG
10	15	14g	politetersulfonowych
11	17	2d	odseparowanie
12	21	13d	Jest również bardzo silna – styl?
13	22	10d	zapewniająca
14	23	15d	konformacji
15	25	1g	zależny
16	25	4g	ze eksperymentalną
17	30	5g	Po za
18	30	7d	uwięzieniu
19	30	2d	poliureatnowej
20	31	17g	immobilizacja
21	31	19g	większa
22	33	8d	ciężko o znalezienie - styl
23	38	6d	wypełniony wodą z odwróconej osmozy - styl
24	39	3g	polietesulfonowej
25	40	12g	powstawaniem
26	41	4g	proporcjonalny
27	42	3g	strumień pompy - styl
28	47	7g	kalibracyjne
29	47	15g	<i>B.licheniformis</i>
30	47	10	Analiza jakościowa na kwas mlekowy - styl
31	50	3d	membrany były charakteryzowane na wodzie po odwróconej osmozie - styl
32	53	1d	. (Spadek) strumienia

33	54	2g	Rys.6.5 już był, brak w tekście rys.6.6 i 6.7
34	60	9g	przedstawia
35	75	2g	ich
36	75	11g	jego
37	77	1g	hydrolizowy
38	78	3d	wykazuje
39	84	8d i 3d	reakcją I-go rzędu – równaniem reakcji I-rzędu Zależność ... stopniem
40	90	3d	przeciwdziałaniu niekorzystnego zjawiska
41	100	1d	pozwalal
42	110	Rys.6.63	B.lucheniformis
43	111	9d i 10d	obserwuję ; świadczy
44	119	16d	nałożoną inhibicją
44	120	4d	laktozy...laktozy

Usterki choć tak liczne traktowałabym jednak jako drobne na tle poprawnej językowo pracy, choć stwarzają pewien dyskomfort przy jej czytaniu.

5. Ocena merytoryczna wybranych części rozprawy.

Uwagi ogólne:

W pracy nie zawarto w postaci tabel żadnych wyników eksperymentów (wyjątek Tab.6.7). Ilustracją ich przebiegu i dalszych obliczeń są zwykle podane wykresy zmian. Trudno więc zweryfikować poprawność obliczeń. Stosując zasadę zaufania przyjął, że Doktorantka zamieszcza właściwe wyniki obliczeń – nad poprawnością, których czuwała Pani Promotor.

Doktorantka stosuje w zapisie wymiaru różnych wielkości symbol l (litr), zgodnie z układem SI powinien pojawiać się w tych miejscach dm^3 , który *nota bene* w Spisie oznaczeń pojawia się. Również wartości ciśnienia transmembranowego winny być wyrażane w [Pa], choć niektórzy opisując ciśnieniowe techniki separacji membranowej stosują zapis [bar].

I. Wstęp

1. Rys.1.1 – Błąd w podpisie, gdyż dotyczy białek a nie laktozy. Nie podano źródła. A może rysunek jest opracowaniem własnym?

2. „Podstawowym parametrem membrany jest jej zdolność separacyjna, czyli wielkość porów...” – stwierdzenie dyskusyjne, gdyż jest to jeden z elementów. Pozostałe to np.: obecność grup funkcyjnych, hydrofobowość lub hydrofilowość, ładunek elektryczny etc.

3. Rozdz.1.1. – „Membrany MF są narażone na najintensywniejsze osadzanie się białka....., ponieważ pory membran tego typu są największych rozmiarów.” – proszę o wyjaśnienie.

4. Zgodnie z pozycją Bodzek M., Bohdziewicz J., Konieczny K. **Techniki membranowe w ochronie Środowiska.** „Zjawisko polaryzacji stężeniowej powoduje tworzenie się, w bezpośrednim sąsiedztwie membrany, warstwy granicznej roztworu o stężeniu przewyższającym średnie stężenie roztworu poddawanego separacji.” Polaryzację stężeniową modeluje się w kierunku prostopadłym do powierzchni membrany. Jej następstwem (po przekroczeniu pewnych stężeń) może być żelowanie czy scaling. Ze względu na geometrię aparatury (membrany rurkowe), u wlotu po pewnym czasie rzeczywiście następuje większa kumulacja zatrzymywanych składników.

5. W pracy kilkakrotnie pojawia się pojęcie „placka filtracyjnego” jest to zapewne przeniesienie z klasycznej filtracji. Zwykle mówi się o warstwie przymembranowej. Gdy podaje się różnice między klasyczną filtracją a procesami membranowymi, to jedną z nich jest brak placka

filtracyjnego. Występują tam wspomniane wcześniej warstwy związane z foulingiem lub /i scalingiem.

6. „...współczynnik (odcięcia) określa taki rozmiar cząstek, które przechodzą w największym stopniu...”. Stwierdzenie nieprecyzyjne, gdyż zgodnie z przyjętą definicją punkt odcięcia (cut-off) – jest to najmniejsza masa molekularna, przy której co najmniej 90% cząsteczek jest zatrzymywane na testowanej membranie.

7. Membrana „pozytywnie” i „negatywnie” naładowana. Zgrabniej jest operować językiem polskim i pisać ujemnie i dodatnio.

8. Dyplomantka stosuje skrót myślowy pisząc np.: w pH=5 etc. Powinno raczej być w roztworze o pH=5. Używa „odczyn pH” (nie ma takiego pojęcia) – powinno być w roztworze o pH=7.

9. Proszę o wyjaśnienie (str. 19) „wszystkie te następstwa zmiany pH są potwierdzeniem efektu Donnana i istotnego wpływu ładunku separowanych cząstek”.

10. Rozdz.2.2.2. Przedstawiony opis matematyczny, oprócz DH, nie został wykorzystany w dalszej części pracy. Jaka jest więc zasadność jego przytaczania w tekście? Stwierdzono, że względną szybkość reakcji $v/v(0)$ trudno wyznaczyć ze względu na ilość występujących stałych. Równania takie można już rozwiązywać stosując sztuczne sieci neuronowe czy algorytmy ewolucyjne. Warunek - potrzebna dość duża ilość danych.

II. Cel pracy

Rozdział ten jest bardzo dobrze napisany.

III. Materiały i metody

1. Zabrakło mi tu szerszej charakterystyki serwatki surowej np.: zawartości suchej masy, pH, składu białkowego (vide tab.1.1). Zabrakło informacji czy serwatka kozia była pobierana jednorazowo i przechowywana w celu wykonania wszystkich badań czy pochodziła z różnych szarż produkcji sera?

2. Rozdz.5.5. Informacja o zastosowaniu membran ceramicznych 7- i 1- kanałowych. Wcześniej w tabeli 5.1. podano ilość kapilar – 7. Proszę o wyjaśnienie.

3. Rys.5.1. Trzeba wprawnego oka, aby prześledzić na fotografii budowę aparatury i kierunki przepływu strumieni. Należało zamieścić schemat instalacji z zaznaczonymi miejscami kontroli mediów: T, pH, p i natężenia przepływu. Podobnie Rys.5.4. Natomiast dobrze przedstawiono schemat reaktora membranowego Rys.5.5.

4. Intensywność mieszania $2,3 \cdot 10^{-3}$ G. Proszę wyjaśnić pojęcie i symbol G. Czy jest to gradient prędkości $(P/\mu V)^{1/2}$? Zwykle intensywność mieszania wyraża się liczbą obrotów na jednostkę czasu.

IV. Wyniki i ich omówienie

1. Rys. 6.1÷6.3 brak komentarza do rysunków. Brak również w tym miejscu danych odnośnie powierzchni membrany. Objętościowy strumień permeatu liczy się $J_v = V/(A t)$ [$m^3/(m^2 h)$] stąd wymiarem może być [m/h] skąd zatem [l/h]?

2. Rozdz. 6.1. Należało zdefiniować pojęcie siły jonowej i wyjaśnić, że dla elektrolitów typu NaCl jest ona równa jego stężeniu molowemu.

3. Str. 52. Stwierdzono, „że wraz ze spadkiem stężenia roztworu serwatki, spadek wartości strumienia permeatu rośnie”. W pracy nie rozwinięto tego wątku.

4. Brak komentarza czy porównania Rys. 6.7 z Rys. 6.6.

5. Str.55. Proszę powiedzieć jak wyznaczano masę białka osadzonego na membranie i co oznacza stwierdzenie „masa białka osadzonego na membranie była mniejsza....., prawdopodobnie z racji procedury opisanej wcześniej” – jak to procedura?

6. Wzór 6.1. Czy przyjęto prawidłowy wymiar stosowanych wielkości? Ze wzoru wynika R [1/l], [1/dm³]. A opór membrany wyrażany jest w [1/m].

7. Pojawiają się rysunki 6.10÷6.13 bez wyraźnego do nich odniesienia.

8. Str.65. „Najlepsze z testowanych wynosi 3.3%...”. Proszę o wyjaśnienie, gdyż z rysunków zależności współczynnika retencji od składu i dla różnych stężeń to nie wynika. Preferowane jest stężenie 10%.

9. Rozdz. 6.2. Poprzednie wyniki dotyczyły serwatki 2; 3.3 i 10 %. Prezentowane 20-krotnie rozcieńczonej. Jakie to stężenie? W jaki sposób można skorelować uzyskane wyniki?

Rozdział kończy dobrze sformułowane krytyczne podsumowanie.

Interesująco przedstawiono kluczowy Rozdz. 6.3.

10. Proszę jednak podać zasadność wyboru termolizyny (Metaloproteazy) do hydrolizy białka albuminy serum. Dlaczego nie stosowano innych proteaz np.: serynowych, cysteinyłowych czy aspartylowych. Nie przedstawiono żadnej dyskusji ani uzasadnienia wyboru pod względem np. skuteczności działania, dostępności na rynku, ceny). Czy wybór nastąpił wskutek analizy literatury czy wynika z analizy innych badań przeprowadzonych przez Doktorantkę?

11. Rys.6.39 i 6.40 przedstawiają zależność $DH = f(t)$ dla reakcji zerowego i pierwszego rzędu. Gdyby nie łączono linią punktów doświadczalnych rysunki byłyby bardziej czytelne. Proszę wyjaśnić dlaczego krzywe modelowe nie obejmują całego zakresu doświadczalnego?

12. Dopasowanie danych eksperymentalnych i obliczonych z modelu wyrażono jedynie względnym błędem dopasowania. Zwykle podaje się również kwadrat współczynnika determinacji R^2 , sumę kwadratów odchyleń czy średni błąd kwadratowy, co pozwala na bardziej precyzyjną ocenę dopasowania modelu i danych eksperymentalnych.

13. Na tym etapie pracy sugerowano do dalszego zastosowania opis kinetyki równaniem reakcji I-go rzędu, choć właściwie ocena statystyczna dla obu równań wypadła podobnie. Zweryfikowano jednak oba modele w reaktorze pracującym w układzie ciągłym z produktową inhibicją niekompetycyjną. W tym wypadku, według Doktorantki, otrzymano lepszy opis matematyczny uzyskanych wyników za pomocą równania kinetycznego I-go rzędu. Choć wyniki dopasowania modeli i tym razem były podobne.

14. Str 90. Pojawia się wielkość - „gęstość strumienia permeatu” w [m/h]. Proszę o wyjaśnienie.

15. Str. 95. Skąd znano masę cząsteczkową enzymu 36,4 kDa. Jaka była masa cząsteczkowa albuminy serum?

16. Str.100. Proszę wyjaśnić dlaczego peptydy o niskich masach np.5,7 kDa mają właściwości prozdrowotne i co wcześniej zasugerowano są biologicznie czynne.

17. Str.103. Jakie było stężenie serwatki, którą użyto do rozcieńczeń? Ze względu na zawartość laktozy (patrz rysunki) dla 3-krotnego rozcieńczenia mamy 51 g/dm³, natomiast dla 6-krotnego 42 g/dm³. W podpisie Rys. 6.57 $C_{\text{białka}} = 3$ [g l⁻¹], natomiast stężenie początkowe białka na wykresie wynosi ok. 5[g/dm³]. Podobnie Rys. 6.59 stężenie początkowe wynosi ok. 9[g/dm³] i jest inne dla *Bacillus licheniformis*. Takie same uwagi do Rys.6.60 i 6.61.

18. Rys.6.62. Kolor zielony to $C_{\text{laktozy}} = 11[\text{g l}^{-1}]$ a nie $44[\text{g l}^{-1}]$. Z analizy rysunku wynika, że wyższą szybkość degradacji wykazywał szczep *A.niger* niż *B.licheniformis*, co zatem głównie przemówiło, że wybrano ten ostatni do dalszych badań?

19. Rys. 6.66. Dlaczego szybkość biodegradacji – punkty doświadczalne opisano równaniem 2 stopnia?

Podsumowanie i wnioski. W rozdziale tym można znaleźć wszystkie odpowiedzi na cele postawione w pracy.

Literatura. W spisie literatury pojawia się tylko jedna praca współautorstwa Doktorantki z adnotacją - w recenzji. Czy na tym etapie pracy naukowej nie ma innych artykułów?

Z najnowszej literatury tematu policzyłam 15 pozycji wydanych po 2010 roku (w tym jedna tylko z 2014 roku), a przecież elementy tematyki doktoratu są szeroko opisane w aktualnej literaturze krajowej i światowej.

6. Podsumowanie

Postawiony cel przedstawionej rozprawy doktorskiej - opracowanie zintegrowanego procesu zagospodarowania serwatki odpadowej - został w moim przekonaniu w pełni zrealizowany. Autorka poprawnie sformułowała problem naukowy, przedstawiła plan jego rozwiązania (kolejność i zakres pracy) i plan ten systematycznie realizowała. Wykazała się umiejętnościami samodzielnego prowadzenia badań naukowych o dużym stopniu złożoności oraz stosowania nowoczesnych technik eksperymentalnych.

W moim mniemaniu zabrakło przedstawienia, choćby jako schematu ideowego, całego „procesu zintegrowanego” z uwzględnieniem jego poszczególnych etapów, zresztą przedstawionych w pracy, poczynając od wstępnej obróbki serwatki (wirowanie, filtracja, klarowanie), przez kolejne omówione w pracy (separacja membranowa, procesy bioreaktorowe) po biodegradację strumieni odpadowych. Należało również zaznaczyć w takim zestawieniu procesy, dla których zostały opracowane modele.

Przedstawione powyżej uwagi nie umniejszają mojej pozytywnej i wysokiej oceny rozprawy doktorskiej. Mają one raczej na celu doprecyzowanie pewnych kwestii, jak też wskazanie Doktorantce potrzeby dokonania ewentualnych zmian w przyszłych publikacjach.

Przedstawiona rozprawa doktorska zawiera istotny element nowości. Doktorantka włożyła wiele wysiłku w analizę literatury zagadnienia, przeprowadzenie trudnych i czasochłonnych eksperymentów, opracowanie wyników, w tym dokonanie opisu matematycznego związanego z kinetyką prezentowanych procesów. W mojej opinii przedstawiona rozprawa doktorska wnosi oryginalny wkład do wiedzy o zintegrowanych procesach membranowych i bioreaktorowych.

Reasumując stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska autorstwa Pani mgr inż. Magdaleny Lach spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami).

W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony, a w przypadku jej pozytywnego przebiegu o nadanie Pani mgr inż. Magdalenie Lech stopnia doktora nauk technicznych.

Dr hab. inż. Elwira Tomczak

