

Prof. dr hab. Tomasz Jankowski
Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 48
60-627 Poznań

Poznań, 12 lutego 2015

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Drosta
**pt.: „*Separacje membranowe w regeneracji odpadowych kąpeli marynujących z
przetwórstwa rybnego*”**

(Wykonana na zlecenie Rady Wydziału Nauk o Żywności i Rybactwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Przyrodniczego w Szczecinie, stosownie do Uchwały z dnia 17 grudnia 2014 r.)

Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została wykonana pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Arkadiusza Nędzarka w Zakładzie Sozologii Wód na Wydziale Nauki o Żywności i Rybactwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Przyrodniczego w Szczecinie.

Opiniowana rozprawa obejmuje 124 strony, a jej zasadniczą treść zawarto w 6 rozdziałach, a ponadto umieszczono w niej zestawienie wykorzystanej literatury (140 pozycji autorów polskich i zagranicznych), spis wykorzystanych norm, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz załączniki zawierające tabele ze szczegółowymi wynikami badań właściwości fizykochemicznych kąpeli marynujących na różnych etapach oczyszczania. Praca ma charakter doświadczalny i zawiera wszystkie elementy, które z formalnego punktu widzenia, powinny wejść w skład rozprawy doktorskiej, w tym wprowadzenie przedstawiające obszar nauki, w której lokuje się problem badawczy rozprawy, dalej przegląd stanu opracowania zagadnienia, sformułowanie celu i zakresu pracy, metody i narzędzia badawcze, omówienie wyników, ich dyskusję oraz wnioski.

Ocena innowacyjności problemu badawczego i celów rozprawy

Problem badawczy, którego dotyczy oceniana praca, jest osadzony w grupie procesów separacji membranowych, dynamicznie rozwijającego się działu inżynierii procesowej. Pomimo, że pierwszą, skomercjalizowaną techniką membranową była odwrócona osmoza, w literaturze przedmiotu najwięcej uwagi poświęcano i nadal poświęca się mikro- i ultrafiltracji. Te dwie techniki umożliwiają bowiem zatrzymanie substancji koloidalnych oraz jonowych i niejonowych związków organicznych o wielkości odpowiadającej granicznej przepuszczalności membrany. Obie techniki znalazły szereg praktycznych zastosowań w różnych branżach przemysłu, w tym także w przemyśle spożywczym, o czym dość obszernie pisze Pan mgr inż. Arkadiusz Drost we wstępie swojej rozprawy.

Projektując proces separacji membranowej trudno jest przewidzieć właściwości transportowe danej membrany oraz to, czy dany związek będzie przez nią zatrzymywany. Decydują o tym stosunek wymiarów cząstek separowanych związków do wymiarów porów

membrany, a ponadto polarność tych związków i ładunek membrany, hydrofobowość czy hydrofilowość powierzchni membrany i inne właściwości, w tym m.in. interakcje między składnikami separowanej mieszaniny. Bardzo ważnym zjawiskiem, decydującym o wydajności procesu, jest proces zanieczyszczania membrany, czy to na skutek zatykania porów, odkładania się warstwy osadu lub adsorpcji różnych związków na jej powierzchni, czy powstawania tzw. polaryzacji stężeniowej. Biorąc pod uwagę te wszystkie czynniki, przy projektowaniu procesu separacji membranowej jest niezbędne wykonanie testów laboratoryjnych i pilotażowych.

Należy sądzić, że tymi zaleceniami kierował się Pan mgr inż. Drost projektując proces regeneracji kąpieli marynujących, uciążliwego ścieku powstającego w przetwórnicy ryb. Należy także sądzić, że wybór tematyki badań i koncepcja ich wykonania jest wynikiem rozeznania Autora w literaturze przedmiotu, a także wcześniejszych doświadczeń zespołu pracowników Zakładu Zoologii Wód.

Problematyka regeneracji zużytych kąpieli marynujących i solanek rybnych była już przedmiotem badań w kraju i za granicą, a głównym celem tych prac badawczych było zmniejszenie szkodliwości ścieków przemysłowych. Nie jest to zatem zagadnienie nowe. Jednakże, jak dotąd nie rozpatrywano tego procesu w aspekcie możliwości ponownego użycia oczyszczonych kąpieli po wykonanym procesie oczyszczania, przy zagwarantowaniu mikrobiologicznego bezpieczeństwa produkcji, w której użyta będzie zregenerowana kąpiel. Ten właśnie cel był motywem do podjęcia się badań przez Pana mgr inż. Drosta. Uważam go za zasadny, gdyż łączy w sobie elementy postępu technologicznego oraz dbałości o środowisko. Przyznać trzeba, że postawione przez Autora zadanie badawcze jest ambitne i trudne, z uwagi na dużą liczbę zmiennych wielkości mających wpływ na proces oczyszczania kąpieli marynujących za pomocą technik membranowych. Należy także zaznaczyć, że zaplanowane prace mają zarówno charakter badań podstawowych (właściwości fizykochemiczne i mikrobiologiczne), jak i badań technicznych o praktycznej przydatności.

Merytoryczna ocena rozprawy

Prezentacja genezy tematu rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Arkadiusza Drosta jest zawarta w części wstępnej rozprawy, gdzie w pierwszym rzędzie Autor ogólnie przedstawił operacje związane z utrwalaniem produktów rybnych, podkreślając niekorzystny wpływ odpadów kierowanych do środowiska, w tym głównie kąpieli stosowanych do marynowania ryb. Ścieki te, o dużym ładunku substancji organicznych i mineralnych, a także kwaśnym odczynie, są trudne do utylizacji, a przed odprowadzeniem do ścieków komunalnych wymagają wstępnego oczyszczenia obciążającego zakład produkcyjny. Autor stawia tu tezę o możliwości oczyszczania kąpieli marynujących z użyciem membranowych procesów separacyjnych w celu ponownego ich wykorzystania.

W rozdziale 1 pt. „Przegląd literatury” Autor ogólnie scharakteryzował surowce rybne oraz szczegółowo omówił metody utrwalania ryb poprzez ich marynowanie „na zimno”. Doktorant przedstawił składniki marynat i ich funkcje w procesie utrwalania oraz zwrócił uwagę na zagrożenia zdrowotne wynikające z obecności w tkankach ryb amin biogennych, w tym przede wszystkim histaminy. W kolejnej części przeglądu literatury Doktorant obszernie i wyczerpująco omówił techniki separacji membranowej. Autor scharakteryzował tu ciśnieniowe procesy membranowe pod względem cech użytkowych, budowy i właściwości przegród oraz zaprezentował konfigurację najczęściej wykorzystywanych modułów. Następnie Autor przybliżył zjawiska obniżania się sprawności membran porowatych w procesach separacji wywołane ich zanieczyszczeniem (nazywane przez wielu autorów

„foulingiem”). Opis zjawiska zanieczyszczania membran Doktorant omówił na podstawie matematycznego modelu oporów przepływu cieczy przez warstwy porowate, gdzie składowe całkowitego oporu hamującego przepływ filtratu stanowi suma oporów hydraulicznych czystej membrany, opór wywołany zanieczyszczeniami trwałymi i opór zanieczyszczeń dających się usunąć w procesie mycia (regeneracji) membrany. W tym miejscu rozprawy Doktorant cytuje źródła literaturowe, w których wykorzystano podobny model, choć jedna z cytowanych prac (Huisman i in. 2000) została chyba ujęta przez pomyłkę, gdyż dotyczy całkowicie innego zagadnienia. W ostatniej części przeglądu literatury Autor zaprezentował współczesne kierunki zastosowania technik separacji membranowych w przetwórstwie żywności, gdzie najczęściej uwagi poświęcił pracom badawczym w obrębie przetwórstwa ryb i owoców morza. Należy podkreślić bardzo dobrą orientację Autora w tej problematyce, gdzie przyczyną sięgania po separacje membranowe były kłopoty z utylizacją ciekłych odpadów, obciążających środowisko, m.in. kąpieli marynujących. Rozdział ten kończy się krótkim podsumowaniem, w którym Autor uzasadnia potrzebę dalszych badań tej problematyki, szczególnie w aspekcie ponownego zagospodarowania kąpieli oczyszczonych z użyciem membran. Uważam, że rozdział poświęcony przeglądowi zagadnień związanych z tematyką badań jest opracowany bardzo starannie i wskazuje na bieżące śledzenie przez Doktoranta treści czasopism naukowych.

W rozdziale 2 przedstawiono tezy i cel pracy. Poza wspomnianym już wcześniej, głównym zamiarem Autora, tj. regeneracji kąpieli marynujących w trzystopniowym procesie separacji, złożonym z filtracji wstępnej z użyciem filtra workowego z folii polipropylenowej oraz dwóch modułów ultrafiltracji, sformułowano tu także kilka zadań szczegółowych. Do najważniejszych z nich, zaliczyłbym dobór optymalnych parametrów procesu ultrafiltracji kaskadowej na dwóch ceramicznych membranach o granicznej przepuszczalności molekularnej 150 kDa i 1 kDa oraz określenie poziomów retencji niektórych składników kąpieli marynujących w procesie trójstopniowego oczyszczania.

W rozdziale 3, pt. „Materiał i metody badań”, Doktorant w pierwszej kolejności opisał materiał badawczy wykorzystywany w doświadczeniach modelowych oraz cztery rodzaje kąpieli marynujących, pochodzące z dwóch zakładów przetwórstwa rybnego. Następnie Autor przedstawił metodykę badań procesu oczyszczania poprodukcyjnych kąpieli marynujących, opisał stanowisko badawcze wyposażone w ceramiczną membranę rurową o powierzchni filtracyjnej 0,35 m² oraz podał warunki, w jakich wykonywano doświadczenia, tj. prędkość przepływu nadawy i wielkości ciśnień transmbranowych. Pomimo dokładnego opisu metodyki badań, niektóre jej szczegóły są przedstawione niejasno. Nie jest na przykład jasne, dlaczego przyjęto właśnie taką prędkość przepływu nadawy i taki zakres ciśnień. Czy wynikały one z wstępnych badań, czy też pochodziły z innych źródeł, np. literaturowych? Czy przyjęta prędkość stycznego przepływu nadawy w kanale membrany umożliwia burzliwy ruch cieczy, zalecany dla uniknięcia gromadzenia się warstwy osadu (placka) na jej powierzchni? Te zagadnienia wymagają wyjaśnienia. Wątpliwości nasuwa także sposób ustalania przez Autora prędkości przepływu nadawy na podstawie spadku ciśnienia na długości membrany, przy wykorzystaniu wykresu $u=f(\Delta p)$ dostarczonego przez producenta. Wykres ten wykonano dla wody, zaś wiadomo, że spadek ciśnienia cieczy poruszającej się w kanale jest funkcją m.in. lepkości. Czy lepkość cieczy modelowej lub kąpieli marynujących (w 20°C) była zbliżona do wody (w 25°C)?

W dalszych rozdziałach Doktorant opisał metody analityczne obejmujące szereg analiz fizykochemicznych, w tym oznaczenia zawartości białka, tłuszczu, kwasu octowego, chlorku sodu oraz histaminy, a także badanie mas cząsteczkowych białek, mętności i suchej

pozostałości oraz dwóch wskaźników środowiskowych, jak BZT i ChZT. Badania procesu regeneracji kąpieli marynujących uzupełniono analizą zanieczyszczeń mikrobiologicznych przed i po kolejnych stopniach ultrafiltracji, przy czym obejmowały one wszystkie grupy drobnoustrojów, które z uwagi na zagrożenia zdrowotne nie powinny znajdować się w żywności w liczbie przekraczającej wielkości ustalone normami sanitarnymi. Należy przyznać, że wybór metod analitycznych dokonany przez Autora jest właściwy i w większości jest oparty na normach międzynarodowych, zaś opis etapów badań dostatecznie szczegółowy. Ponadto, tam, gdzie było to uzasadnione Autor zastosował statystyczne oceny istotności różnicowania wyznaczonych wielkości.

Rozdział 4 Pan mgr inż. Drost poświęcił omówieniu wyników doświadczeń. W pierwszym rzędzie, przedstawił wyniki badań ultrafiltracji modelowej kąpieli marynującej z użyciem membrany 150 kDa, gdzie poza określeniem wpływu ciśnienia transmembranowego na strumień objętości permeatu, Autor wyznaczył wielkości oporów hydraulicznych wynikających z zanieczyszczeń trwałych, tj. nieusuwalnych po myciu wodą i zanieczyszczeń odwracalnych usuwanych w procesie płukania membrany. Interesującą obserwacją było stwierdzenie wpływu ciśnienia transmembranowego na proporcję zanieczyszczeń trwałych do odwracalnych oraz wykazanie, że modelowe białko – albumina krwi bydlęcej, jest całkowicie zatrzymywana w retentacie. Zdaniem oceniającego w tym fragmencie rozprawy brakuje jednak szczegółowego wyjaśnienia pojęcia „*stan pseudoustalony*” odnoszącego się do zjawiska zmniejszania się strumienia objętości permeatu w czasie. Pojęcie to jest inaczej definiowane w procesach ruchu ciepła, inaczej w reakcjach enzymatycznych, itd.

Podobny sposób prezentacji wyników doświadczeń użył Autor w odniesieniu do filtrowanych, przemysłowych kąpieli marynujących, gdzie trwałe i odwracalne składowe oporów hydraulicznych były zróżnicowane dla kąpieli różnego typu. Jednakże, z prezentowanych na ryc. 22 i 24 wielkości oporów hydraulicznych wynika, że opór czystej membrany 150 kDa był większy od tego samego parametru membrany 1 kDa. Jak wyjaśnić te obserwacje, gdy w Tab. 6 podano większą przepuszczalność membrany 150 kDa, zaś przepuszczalność jest definiowana jak odwrotność oporu hydraulicznego. Ponadto, jak rozumieć sformułowanie Autora na str. 62, cyt. „*opór początkowy membrany względem wody ultraczystej...*” Czy oznacza to, że opór czystej membrany zależał od czasu?

Wyniki kolejnych doświadczeń, omówione w rozprawie, dotyczą wielkości charakteryzujących skład fizykochemiczny poszczególnych strumieni uzyskanych po filtracji wstępnej, następnie ultrafiltracji 150 kDa oraz 1 kDa i obejmują zarówno permeat, jak i retentat. Wyniki te jednoznacznie wskazują na stopniową eliminację frakcji tłuszczowej, obniżanie się zawartości białka, zmniejszanie się wskaźników ChZT i BZT oraz prawie całkowite usunięcie mętności, po kolejnych etapach oczyszczania kąpieli marynujących. Jednocześnie, doświadczenia wykazały tylko nieznaczne zmniejszenie się stężenia kwasu octowego i chlorku sodu – niskocząsteczkowych składników roztworów. Powyższe obserwacje Autor potwierdził obliczając selektywność poszczególnych etapów procesu oczyszczania oraz w odniesieniu do białek przy użyciu chromatografii żelowej.

Z kolei, badania mikrobiologiczne wykazały znaczną redukcję wszystkich grup drobnoustrojów obecnych w kąpielach marynujących pobranych z zakładów już po pierwszym etapie ultrafiltracji i całkowitą ich eliminację po ultrafiltracji na membranie 1 kDa. Interesującą obserwacją jest ta, że w permeacie po ultrafiltracji 150 kDa w ogóle stwierdzono obecność drobnoustrojów. W biotechnologii przemysłowej „zimną sterylizację” pożywek mikrobiologicznych wykonuje się z użyciem mikrofiltracji na membranach o średnicy porów 0,2 μm .

Rozdział 5 Pan mgr inż. Drost poświęcił dyskusji wyników własnych badań, odnosząc je do rezultatów otrzymanych w pracach innych autorów zajmujących się zagadnieniem membranowej separacji różnych układów ciekłych, w tym przede wszystkim ciekłych pozostałości po procesie przetwórstwa ryb, owoców morza, drobiu i mięsa. Autor szczegółowo dyskutuje kolejne etapy badań prezentując swoje osiągnięcia, a jednocześnie potwierdzając, a w niektórych zagadnieniach wnosząc nowe informacje odnoszące się do dotychczasowej wiedzy o specyfice procesów separacji membranowej. Za szczególnie wartościowe należy uznać część dyskusji poświęconą interpretacji wielkości oporów hydraulicznych wyznaczonych dla różnego rodzaju surowca. Autor bardzo umiejętnie i przekonująco wyjaśnił to zagadnienie w nawiązaniu do właściwości surowca rybnego i specyfiki procesu marynowania, jednocześnie wskazując, po filtracji których kąpieli należy częściej regenerować membrany. Z kolei, za słabszy fragment dyskusji uważam ten dotyczący nefelometrycznej oceny czystości permeatów otrzymanych po trójstopniowej separacji (str. 88). Autor uważa, że nefelometryczny pomiar mętności może być wskaźnikiem zanieczyszczeń mikrobiologicznych i sugeruje wykorzystanie tego wskaźnika jako krytycznego punktu kontroli. Stwierdzenie to jest dyskusyjne, gdyż obecność niewielkiej liczby drobnoustrojów nie zostanie wykryta przez nefelometr.

Podsumowując część rozprawy poświęconą dyskusji wyników badań uważam, że mgr inż. Drost pokazał w niej dojrzałość naukową i wszechstronna znajomość zagadnienia problematyki membranowej separacji różnych rodzajów ciekłych odpadów produkcyjnych, a w niektórych elementach dyskusji, krytyczne spojrzenie na osiągnięcia innych autorów.

Kolejny rozdział „Podsumowanie i wnioski” prezentuje krótkie omówienie najważniejszych etapów badań oraz 10 wniosków. Treść wniosków jest merytorycznie poprawna, syntetycznie przedstawia naukowe i praktyczne osiągnięcia rozprawy i w całości wynika z wykonanych badań.

Ocena formy językowej i technicznej strony opracowania

Pisownia Autora rozprawy jest ogólnie poprawna, a użyte nazewnictwo, poza nielicznymi wyjątkami, prawidłowe. Praca została przygotowana starannie, zarówno pod względem przejrzystości treści, jak również w zakresie materiałów ilustracyjnych, czytelnych i dobrze opisanych legendami.

Do najważniejszych uwag natury językowej należą te, odnoszące się do specjalistycznego nazewnictwa stosowanego w procesach separacji membranowej. Nadużywane, nie tylko przez Autora rozprawy słowo „*fouling*”, to po polsku „*zanieczyszczenie*” lub „*zanieczyszczanie*”. Z kolei, określenia takie jak „*foulingotwórczy*” czy „*przeciwfoulingowy*” to już jest żargon naukowy. Podobne zastrzeżenia budzi częste użycie słowa „*cut-off*”, które ma polski odpowiednik jako „*punkt odcięcia*” lub „*graniczna przepuszczalność molekularna*” oraz określenia „*cross-flow*”, co tłumaczy się jako „*przepływ styczny*” lub „*przepływ poprzeczny*”, a w odniesieniu do procesu filtracji membranowej, jako „*poprzednią filtrację dynamiczną*”. Przypominać trzeba jednak, że w krajowej literaturze specjalistycznej wielu autorów bezkrytycznie powieliła formy anglojęzyczne terminologii membranowej, choć nie ma ku temu specjalnego uzasadnienia.

Nieliczne, drobne uchybienia językowej i edytorskie Autora to:

- na str. 39, w. 4g. „*sowim*”, powinno być „*swoim*”,
- na str. 46, w.2g. oraz rys. 26 „*próby*”, powinno się nazywać „*próbkami*”,
- na str. 59, w.4g. „*inicjalny*” = „*początkowy*”,
- Tab. 13, co oznacza „*kierunek oznaczeń mikrobiologicznych*”?

- str. 92, cytowaną poz. literatury *Szaniawska i Kuca* wydano w 2010 r. [poz. 127 w spisie]
- str. 102, dwukrotnie zamieszczono tę samą pozycję literatury [61].

Ocena wartości naukowej i praktycznej rozprawy

Biorąc pod uwagę cel pracy i szczegółowe zadania badawcze, jaki zaplanował Pan mgr inż. Arkadiusz Drost, należy przyznać, że zostały one osiągnięte. Doktorant wszechstronnie opracował stan wiedzy w oparciu o aktualną literaturę przedmiotu badań, samodzielnie zrealizował postawione zadania planując oraz realizując doświadczenia w sposób zgodny z wymaganiami nauki, przy zastosowaniu metod odpowiadających jej współczesnemu poziomowi, a ponadto opracował dane pomiarowe oraz przeprowadził klarowną analizę wyników swoich badań. Do najważniejszych osiągnięć Jego pracy doktorskiej zaliczam:

- wykazanie, że trójstopniowy proces separacji, w instalacji złożonej z polipropylenowego, wstępnego filtra workowego oraz dwóch ceramicznych modułów membranowych UF o punktach odcięcia 150 kDa i 1 kDa, skutecznie oczyszcza zużyte kąpiele marynujące z pozostałości materii organicznej, a oczyszczone kąpiele mogą być ponownie użyte w procesie produkcyjnym po nieznacznych modyfikacjach,

- wykazanie, że opory hydrauliczne wynikające z zanieczyszczenia membrany przez składniki kąpieli marynujących zależą od rodzaju filtrowanej kąpieli, co z kolei jest rezultatem zróżnicowania surowca rybnego poddawanego marynowaniu, a także zastosowanego procesu technologicznego.

- wykazanie, że w czasie filtracji kąpieli marynujących główne zanieczyszczenia membran mają charakter trwałe i są usuwalne dopiero po umyciu membran środkami chemicznymi.

Jak już wcześniej wspomniano, badania wykonane przez Autora są w dużej części nakierowane na praktyczne zastosowanie. W prezentowanym opracowaniu, Doktorant nie poprzestał na badaniach modelowych z użyciem „kalibrowanego” roztworu białka lecz sięgnął po uciążliwe do utylizacji przemysłowe odpady poprodukcyjne. W rezultacie Pan mgr inż. Drost przygotował kompletny proces regeneracji kąpieli marynujących, spełniająca wymogi systemu HACCP. Wykorzystanie zaproponowanego rozwiązania w praktyce może przyczynić się do wymiernych oszczędności jego użytkownikowi, zmniejszy ilość odpadów i pozytywnie wpłynie na środowisko.

Jednakże, pewien niedosyt oceniającego rozprawę powoduje pominięcie przez Autora problematyki zagospodarowania pozostałości (retentatu), po procesie regeneracji zużytych roztworów marynujących. Jak wynika z danych liczbowych zamieszczonych w Tab. 8, po filtracji 50 l roztworu, objętość retentatu stanowiła łącznie po dwóch stopniach separacji od 44 do 50% początkowej objętości nadawy, w zależności od pochodzenia kąpieli marynującej. Ciekła pozostałość po procesie separacji zawierała, w porównaniu z nadawą, zwiększoną zawartość tłuszczu i białka oraz większe, liczbowe wskaźniki ChZT i BZT (Tab. 7 i 9). Z tego punktu widzenia była więc bardziej „uciążliwa” do utylizacji, niż wyjściowy roztwór pozostały po marynowaniu. Czy koszty utylizacji pozostałości po filtracji membranowej, a ponadto koszty czynników myjących, w tym dużej ilości wody, nie wpłyną na opłacalność procesu? Myślę, że w czasie publicznej dyskusja nad rozprawą doktorską, Autor ustosunkuje się do powyższych uwag.

Uwaga końcowa

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Arkadiusza Drosta pt. „*Separacje membranowe w regeneracji odpadowych kąpieli marynujących z przetwórstwa rybnego*” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku, jest bowiem samodzielnym dorobkiem naukowym, wnosi do nauki dużo elementów poznawczych i ma duże znaczenie dla praktyki. Autor dowiódł w pracy, że dysponuje dużą wiedzą teoretyczną i praktyczną z technologii i inżynierii żywności, w tym szczególnie przetwórstwa surowców rybnych, wykazuje się inwencją naukową i techniczną przy planowaniu zadań i kształtowaniu warunków doświadczeń w stopniu zapewniającym możliwość samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Proszę Wysoką Radę Wydziału Nauk o Żywności i Rybactwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Przyrodniczego w Szczecinie o przyjęcie pracy i dopuszczenie Pana mgr inż. Arkadiusza Drosta do publicznej obrony.

Handwritten signature in blue ink, reading "T. Pauluk".