



Kraków, 9 września 2025

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Michała Sińczuka, zatytułowanej:
„Termometria *in vivo* mózgu z wykorzystaniem widma Spektroskopii Rezonansu Magnetycznego
(MRS) pojedynczego woksela”

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Sińczuka dotyczy zastosowania Spektroskopii Magnetycznego Rezonansu Jądrowego (ang. Magnetic Resonance Spectroscopy - MRS) do nieinwazyjnego pomiaru temperatury mózgu w warunkach *in vivo*. Metoda ta, znana jako termometria MRS (MRSt), opiera się na zależności temperaturowej częstotliwości wybranych linii w widmach protonowych metabolitów w mózgu. W pracy prowadzącej do powstania rozprawy, Autor podjął się opracowania i oceny nowatorskiej metody pomiaru temperatury, polegającej na wykorzystaniu widm kalibracyjnych MRS wody (tzw. widma bez tłumienia/supresji wody). Widma takie są standardowo wykonywane przed właściwym pomiarem diagnostycznym w celu ustawienia optymalnych parametrów pracy aparatury. Widma diagnostyczne wykonywane są w warunkach tłumionego sygnału wody (z supresją wody), w celu wyeksponowania mniejszego o kilka rzędów wielkości sygnału od metabolitów.

Rozprawa doktorska, zawarta na 104 stronach, podzielona jest na dwie części: pierwszą zawierającą wprowadzenie i przegląd literaturowy (rozdziały 1-3) oraz drugą poświęconą badaniom własnym (rozdziały 4-6). Ponadto zawiera Streszczenie w języku polskim i angielskim, Spis treści, Bibliografię (106 pozycji), Wykaz skrótów, Spis rysunków oraz Spis tabel.

Rozprawa ma charakter doświadczalny. We wstępie do jej pierwszej części, Autor jasno sformułował tezę, zakładając że niestłumiony pik wody z widm kalibracyjnych sekwencji MRS – PRESS, może zostać wykorzystany do pomiarów *in vivo* temperatury mózgu z substopniową dokładnością. Ponadto wskazał na kilka pośrednich celów pracy, prowadzących do potwierdzenia założonej tezy, takich jak:

- opracowanie metodyki wykorzystania dostępnych klinicznych zestawów danych MRS-PRESS,
- opracowanie procedury kalibracyjnej pozwalającej na pomiar temperatury w jednostkach bezwzględnych,
- przeprowadzenie pomiarów z zastosowaniem zaproponowanej metodyki z wykorzystaniem danych uzyskanych z badań *in vivo*.

W rozdziale drugim tej części rozprawy, Autor przybliżył podstawy oraz aspekty techniczne metody spektroskopii zlokalizowanej rezonansu magnetycznego (MRS), zaś w rozdziale trzecim przedstawił obszerny i szczegółowy przegląd dotychczasowej literatury dotyczącej opartej na MRS termometrii (MRSt) oraz wskazał zasadnicze formuły matematyczne pozwalające na wyliczenie wartości liczbowych temperatury, na podstawie analizy przesunięć chemicznych linii wody i metabolitów



w widmach protonowych mózgu *in vivo*. O ile analiza literatury dotyczącej MRSt świadczy o dogłębnym zapoznaniu się Doktoranta z tą tematyką, to podrozdział poświęcony podstawom MRS jest sformułowany dość powierzchownie, zawiera nieścisłości merytoryczne, a w wielu miejscach użyte są sformułowania potoczne lub żargonowe. Również w części poświęconej przedstawieniu formuł matematycznych wykorzystanych do analizy danych można znaleźć sporo usterek w tekście jak i niekonsekwencji w oznaczeniach. W śledzeniu tej części tekstu nie pomaga brak listy używanych symboli.

W części poświęconej badaniom własnym, w rozdziale czwartym Autor omawia kolejne etapy służące do realizacji wymienionych we Wstępie poszczególnych celów pracy, a mianowicie: uruchomienie autorskiej aplikacji TermoM do obróbki i analizy widm MRS w kontekście wyznaczenia temperatury, opracowanie fantomu i procedury kalibracji wzorcowych widm MRS wybranych metabolitów oraz procedury realizacji pomiarów zmian temperatury mózgu podczas długotrwałych badań fMRI, a także pomiarów temperatury w zmianach nowotworowych w mózgu. W rozdziale piątym przedstawia zwięźle wyniki swoich prac dotyczących analizy danych kalibracyjnych uzyskanych z wykorzystaniem fantomu, a także dotyczących wpływu pomiarów fMRI oraz obecności zmian nowotworowych na temperaturę mózgu. W zwięzłym rozdziale szóstym Autor dokonał podsumowania wyników pracy i przedstawił wnioski końcowe. Zawartość tej części rozprawy wskazuje że Autor przeprowadził zaplanowane prace metodologiczne i badawcze, dzięki którym otrzymał wyniki uzasadniające postawioną tezę o możliwości wykorzystania protonowych widm MRS bez supresji wody oraz wybranych linii (NAA, Cr, Cho) z widm metabolitów mózgowych z supresją wody, do wyznaczenia temperatury mózgu w warunkach *in vivo*. Możliwość taką zilustrował na dwu zagadnieniach merytorycznych: pierwszym wskazującym na zauważalne obniżenie temperatury mózgu podczas długotrwałych sesji fMRI z udziałem ochotników, oraz drugim gdzie wykazał wyraźnie podwyższoną temperaturę w obszarze guzów nowotworowych mózgu u pacjentów klinicznych.

Oryginalny wkład Autora polegał na wykorzystaniu w tym celu piku wody w widmach bez supresji (kalibracyjnych), co jest istotną nowością w stosunku do wcześniejszych prac, które już od szeregu lat wskazywały na możliwość wykorzystania techniki MRSt do wyznaczenia temperatury mózgu *in vivo*. Ponadto wkład Autora polegał na przygotowaniu odpowiedniego oprogramowania do wczytania, wstępnego przetworzenia i właściwej analizy danych, pozwalającej na podstawie względnych zmian przesunięć chemicznych linii widmowych, wyliczyć temperaturę wybranego obszaru mózgu, opracowaniu fantomu i wykonania kalibracji, i ostatecznie przeanalizowaniu uzyskanych wcześniej wyników MRS z dwu eksperymentów.

Uzyskane wyniki przedstawione są w sposób bardzo skrótowy. W mojej opinii zbyt skrótowy, nie pozwalając jasno przedstawić wszystkich aspektów wynikających z przeprowadzonej analizy.



W tekście rozprawy Autor skupił się przede wszystkim na zaakcentowaniu potwierdzenia tezy pracy, bez wchodzenia w bardziej dogłębną dyskusję uzyskanych wyników. W większości rozpraw zazwyczaj po rozdziale przedstawiającym wyniki następuje osobny rozdział w którym są one szczegółowo dyskutowane, również w kontekście wcześniejszych prac. Tutaj, bezpośrednio po rozdziale z zamieszczonymi wynikami, Autor zamieścił krótki rozdział zawierający podsumowanie i wnioski końcowe. Elementy dyskusji są wprawdzie obecne w tekście, ale w mojej opinii są one dość ograniczone.

W związku z tym mam do Autora szereg uwag dotyczących kilku zagadnień, które wymagają korekty lub dopracowania.

1. Uwagi do podrozdziału 5.1 – Przetwarzanie i analiza danych z fantomu MRS

Pierwsza uwaga dotyczy jednostek częstości, zarówno w tekście, jak i na rys. 22. Powinny być w “ppm” zamiast “Hz”, aby dyskutowane wartości miały sens oraz były spójne z innymi fragmentami tekstu np. rys. 16. Ponadto, stwierdzenie dotyczące znaczącej różnicy średniej szerokości połówkowej (FWHM) linii wody w widmach WU i WS, nie ma oparcia w podanych wartościach liczbowych oraz w wykresach pudełkowych (*box plots*) na rys. 22. Czy wykresy te przedstawiają wartości mediany, kwartyli i ekstremów rozkładu wartości? Pomimo pewnych niewielkich różnic, widać znaczne pokrywanie się rozkładów dla widm WU i WS. Z tekstu zaś wynika że odchylenie standardowe SD (jak rozumiem z kontekstu, jest to odchylenie standardowe wartości średniej), wynoszące ok. 0,01ppm jest na poziomie ok. 25% wartości średniej FWHM, która wynosi ok. 0,039ppm i 0,041ppm, odpowiednio dla widm WU i WS. Różnica średnich wartości FWHM pomiędzy widmami WU i WS jest zatem na poziomie ok. 5%, a więc znacznie mniej niż SD. Sama wartość SD powinna być w tym wypadku podana z dokładnością do co najwyżej 2 cyfr znaczących.

W tekście podana jest informacja o silnej korelacji danych. Czy chodzi o korelację wartości FWHM oraz częstości centralnej- f_0 , pomiędzy widmami WU i WS? Znacznym ułatwieniem oceny takiego stwierdzenia byłoby przedstawienie wyników tych wielkości (FWHM oraz f_0) na wykresach korelujących ich wartości dla poszczególnych metabolitów, dla widm WU i WS (czyli wykresach o osiach odpowiednio $FWHM_{WU}$ i $FWHM_{WS}$, oraz f_{0WU} i f_{0WS}). W przypadku wysokiej korelacji wyniki powinny układać się w pobliżu prostej o nachyleniu 45° .

Na rys. 23 i 24, oraz w tab. 3 i 4 przedstawione są wyniki regresji liniowej dla kalibracji wiążącej wyznaczaną temperaturę z odpowiednią różnicą przesunięć chemicznych. Standardowym sposobem graficznej prezentacji regresji liniowej jest przyjęcie osi poziomej dla zmiennej niezależnej (w tym przypadku przesunięcia chemicznego), zaś osi pionowej dla zmiennej zależnej (w tym przypadku temperatury, jako wartości wyliczanej na podstawie wartości zmiennej niezależnej). Taki sposób przedstawienia regresji liniowej byłby bardziej adekwatny do wyników przedstawionych w tab. 3 oraz tab. 4.



W tab. 3 brakuje wartości niepewności wyliczonych parametrów regresji liniowej. Pojawiają się one w tab. 4, ale ich wartości w przypadku parametru A (tożsamego z parametrem α z tab. 3) powinny być zapisane z dokładnością do co najwyżej 2 miejsc znaczących, i stosownie do tego powinna zostać zmniejszona liczba miejsc znaczących wartości parametru A. Ponadto zamieszczenie obydwu tabel, z wynikami różniącymi się tylko wyborem wartości referencyjnej przesunięcia chemicznego w formule regresji nie jest konieczne, wystarczyłaby tab. 4.

W podsumowaniu wyników kalibracyjnych uzyskanych z wykorzystaniem fantomu, Autor uszeregował dokładność wyznaczenia temperatury osobno dla widm wody z i bez saturacji, w zależności od wyboru odpowiedniego piksu metabolitu (NAA, Cr, Cho). Z rys. 25 widać natomiast dość wyraźnie że, czynnikiem różnicującym dokładność wyznaczenia temperatury jest to czy wykorzystano widmo wody z saturacją czy bez saturacji, natomiast wybór konkretnego metabolitu, dla wybranej linii wody nie ma dużego znaczenia. Powinno to zostać w rozprawie omówione oraz przedyskutowane możliwe powody tej różnicy.

2. Uwagi do podrozdziału 5.2 – Wpływ długotrwałych badań fMRI na temperaturę mózgu

W rozdziale tym Autor raportuje wyniki MRSt dla 146 ochotników (w tym 69 kobiet), uzyskane przed oraz po badaniu fMRI. Podobnie jak w rozdziale poprzednim Autor błędnie używa “Hz” zamiast “ppm” jako jednostek częstości. Należy to poprawić. Porównując wartości średnie szerokości połówkowej linii wody WU i WS, stwierdza że różnią się one “znacznie”, co nie ma potwierdzenia w podanych wartościach liczbowych średniej oraz odchylenia standardowego FWHM. Z kolei w analogicznym stwierdzeniu dotyczącym położenia częstotliwości centralnej używa określenia “znacząca” różnica, w sytuacji gdzie obydwie średnie są takie same w granicach odchylenia standardowego. Również przedstawienie graficzne wyników pokazuje że różnice są relatywnie niewielkie, pomimo dość szerokiego zakresu wartości otrzymanych wyników pomiarowych. Jak się domyślam, Autor ma tu na myśli statystyczną istotność uzyskanych różnic, ponieważ podaje też wartość p . Jak wiadomo wartość p powinna zawierać się między 0 a 1, tymczasem z tekstu wynika że jest mniejsza od 0. Ze względu na to że próba badawcza była stosunkowo duża, można spodziewać się niskiej wartości p , ale nie może być ona mniejsza od 0. Autor wspomina też o silnej korelacji wyników. Ze względu na stosunkowo szeroki zakres ich wartości pomiarowych (rys. 26) warto byłoby przedstawić graficznie tę korelację.

W związku z tym powinny zostać doprecyzowane następujące zgadnienia:

- czy podane wartości SD dotyczą wartości średnich czy szerokości rozkładu wartości danego parametru?



- co Autor rozumie pod pojęciem “znacznie”, “znacząco”, czy chodzi tu o istotność statystyczną, czy rzeczywiście znaczącą zmianę wartości danego parametru (w stosunku do jego wartości lub odchylenia standardowego)?
- jaki poziom istotności statystycznej został przyjęty w tym badaniu?
- jaka jest prawdziwa wartość p , czy podany wynik to efekt pomyłki, czy być może przyjętej a nieobjaśnionej konwencji?

W kolejnym fragmencie tego podrozdziału Autor przedstawia końcowe wyniki analizy danych, ilustrujących zmiany temperatury podczas badania fMRI, wykorzystując linie wody WS oraz WU dla poszczególnych metabolitów. We wszystkich przypadkach Autor stwierdził spadek temperatury, który określił jako “znaczny”, a wynoszący odpowiednio ok. 0,19 °C dla WU i ok. 0,28 °C dla WS. Stwierdził przy tym znaczne różnice (dochodzące do 2,72 °C) w wyznaczeniu absolutnych wartości temperatur, przy wykorzystaniu linii pochodzących od różnych metabolitów. W tabeli 5 wyniki pomiaru temperatur przedstawione są wraz z niepewnościami oraz odchyleniem standardowym (SD). Brak jest wyjaśnienia jak zostały otrzymane wartości SD i dlaczego są wyraźnie wyższe niż niepewności pomiaru. Wartości niepewności (a tym bardziej SD) są tego samego rzędu co wyznaczona różnica temperatur. Zatem, na podstawie przedstawionych danych można wyciągnąć wniosek że metoda MRSt umożliwia w tym przypadku stwierdzenie zmiany temperatury, jednakże jest ona na granicy możliwości racjonalnego zastosowania.

W rozdziale tym brakuje również choćby przykładowych widm, otrzymanych w warunkach *in vivo* które były poddane analizie, jak również wyników tabelarycznych otrzymanych wartości. Całość (lub reprezentatywną szerszą część) wyników można było umieścić w Dodatku do rozprawy.

3. Uwagi do podrozdziału 5.3 – Pomiary temperatury zmian nowotworowych mózgu

W rozdziale tym Autor omawia wyniki pomiarów MRSt u pacjentów z guzami mózgu. Podobnie jak dla badań fMRI, Autor stwierdził znaczne różnice wyznaczonych bezwzględnych wartości temperatur, w zależności od wybranego metabolitu. W przeciwieństwie do wyników fMRI, wyraźnie większe i uznane za istotne statystycznie zostały różnice temperatur między zdrową tkanką mózgu a guzem uzyskane dla widm bez saturacji (zależnie od metabolitu wynoszące pomiędzy 1,55°C a 2,41°C). Wyniki dla widm z saturacją wody wskazują na dużo mniejsze różnice temperatur (tab. 6, rys. 30) i nie zostały wskazane jako statystycznie istotne. W przypadku tych pomiarów, liczba przypadków jest znacznie mniejsza niż dla badań fMRI, stąd też spodziewane wartości p są większe, ale pozostaje pytanie jaki został przyjęty poziom istotności statystycznej?

W rozdziale tym również brakuje choćby po jednym reprezentatywnym widmie tkanki zdrowej i nowotworowej, a także szczegółowych tabelaryzowanych danych będących wynikiem analiz. Ponadto na rys. 6 w opisie skali wykresu FWHM jednostka omyłkowo jest podana w Hz zamiast ppm,



zaś w tab. 6, brak jest podanej różnicy temperatur, co zapewne wynika z faktu że w przypadku widma Cho nominalnie wyliczona średnia temperatura w obszarze guza jest niższa.

Oprócz wskazanych wcześniej uchybień, w rozprawie brakuje wyodrębnionego rozdziału w którym całościowo zostałyby przedyskutowane otrzymane wyniki. W szczególności, brak jest dyskusji porównującej precyzję otrzymanych danych w poszczególnych przypadkach (to jest pomiarów z wykorzystaniem fantomu, fMRI oraz mózgów pacjentów z guzem), która byłaby tu cennym uzupełnieniem skrótowego przedstawienia uzyskanych wyników. Przykładowo, porównując średnią FWHM linii od wody, zależącej wprost od jednorodności pola magnetycznego w badanym obszarze, a więc uwarunkowań aparaturowych, widać jest że jest ona najmniejsza dla fantomu, zaś największa dla mózgów pacjentów z guzem. Dla precyzji pomiaru wyjściowych danych a co za tym idzie dla dalszej ich analizy może to mieć znaczenie. Warto by też przyjrzeć się dokładniej źródłom niepewności w procedurze kalibracji metody z użyciem fantomu, bo tu może się kryć przyczyna wyraźnie większego rozrzutu danych dla widm bez saturacji przedstawionych na rys. 25, a także przedyskutować czy i ewentualnie w jaki sposób te różnice wyników kalibracyjnych wpływają na wyniki w analizach *in vivo*.

Uzyskane wyniki są potencjalnie bardzo wartościowe z punktu widzenia praktycznych aspektów wykorzystania termometrii MRS, ale brak w rozprawie solidnej, krytycznej dyskusji dotyczącej uwarunkowań eksperymentalnych zastosowania tej metody, umniejsza wartość rozprawy jako całości.

Ostatni rozdział rozprawy zawiera zgrabnie zredagowane zwięzłe podsumowanie i wnioski końcowe, w tym również krótkie odniesienie uzyskanych wyników *in vivo* do literatury. W szczególności w ostatnim zdaniu Autor przywołuje dwie pozycje literaturowe w których jest współautorem, stwierdzając że “Oryginalne artykuły [nr 105 i 106 w Bibliografii] i aktualna rozprawa otwierają możliwość innym badaczom do retrospektywnego użycia techniki MRSt w poprzednio zakończonych badaniach MRS dodając temperaturę jako dodatkowy biomarker mogący tłumaczyć zmiany zachodzące w mózgu.” Można by zakładać że prace te są związane z przedstawioną rozprawą i zawierają spójne z nią konkluzje. Jednakże z drugiego z artykułów (Rogała *et. al.* w *Frontiers in Human Neuroscience*, 2024), opisującego zastosowanie termometrii MR w fMRI, wynika że podczas opisanych tam badań fMRI, istotną zmianę temperatury stwierdzono tylko w mózgach mężczyzn, w przeciwieństwie do mózgów kobiet. Tymczasem na stronie 79 rozprawy, Autor podaje informację że wykonanych przez niego analizach: “nie stwierdzono istotnych różnic w zmianach temperatury między płciami”. Jaki zatem jest związek pomiędzy tymi pracami, w których obu Autor uczestniczył. Powinno być to w rozprawie przedyskutowane.



Ponadto rozprawa w wielu fragmentach zredagowana jest niezbyt starannie. W tekście stwierdziłem szereg potknięć językowych, niespójności oraz zwyczajnych pomyłek, których część już wskazałem przy ocenie aspektów merytorycznych. Z obowiązku recenzenckiego dokumentuję pozostałe które zauważyłem na kolejnych stronach:

s. 5 i 8: jest 0,01 °C/ppm powinno być 0,01 ppm/°C

s. 11: zamiast „w silnym polu magnetycznym jądra emitują sygnały zależne od” właściwsze jest „oddziaływanie jąder atomowych z zewnętrznym, silnym polem magnetycznym zależy od”

s.13: rys. 2 jest błędny i niezgodny z wzorem 6, stany $\pm 1/2$ powinny być odwrotnie, spinowa liczba kwantowa to $I = 1/2$, zaś $\pm 1/2$ to magnetyczne liczby kwantowe

s. 17: we wzorze 11 brak jest czynnika normalizującego liczbę spinów ($N_{\text{góra}} + N_{\text{dół}}$)

w tekście poniżej: dla $N_{\text{góra}} = N_{\text{dół}}$ poziom polaryzacji byłby równy 0, zapewne chodzi o nieznaczną różnicę a nie równość

s. 20, wzór 17, 18: niezgodność oznaczeń z podpisami

s.21: widmo NMR zazwyczaj składa się z linii dla jednego określonego typu jądra np. ^1H , a nie różnych typów jąder

s.23: podstawą MRS, podobnie jak innych technik opartych na zjawisku rezonansu magnetycznego nie jest emisja energii z jąder tylko indukcja siły elektromotorycznej wskutek ewolucji magnetyzacji wynikającej z uporządkowanego stanu spinów w polu magnetycznym

s. 24: zamienić „jednorodny shimming” na „jednorodne pole magnetyczne”

s. 28: zmienić tytuł rozdziału na „Korekta pola magnetycznego”

s. 29: „shimy,, to w żargonie cewki korekcyjne lub funkcje potęgowe opisujące przestrzenny kształt pola magnetycznego generowany przez te cewki, więc zamiast „pewnych procesów znanych jako shimy” należy napisać że stosuje się korektę pola magnetycznego, lub stosuje się cewki korekcyjne. Pole magnetyczne od cewek korekcyjnych w czasie eksperymentu jest stałe, nie zmienne, choć może być zmieniane dla uzyskania optymalnych wartości w danych warunkach. Należałoby przeredagować odpowiedni fragment tekstu

s. 31: „na połowie maksimum szczytu” zamienić na „połówkowa linii”; FID w języku polskim to „sygnał swobodnej precesji”; operacje przetwarzania nie zawsze są bez wpływu na jakość danych, np. apodyzacja wygładza szumy ale zwiększa szerokość połówkową linii

s. 34: „objętość przecinana przez wszystkie trzy impulsy” zamienić na „objętość wybrana przez trzy prostopadłe wzbudzone warstwy”

s.36: „pełny obrót”, „pełna rotacja” zamienić na „pełna wymiana”

s. 37: niezrozumiałe określenie: „zwiększony obrót błon komórkowych”

s. 50: chmura elektronowa nie „stara się osłonić” ale „ekranuje”



- s. 51: niewłaściwe odwołanie do równania nr 12
- s. 52: wzory 28, 29, 32, 33: niezrozumiałe, niekonsystentne użycie oznaczenia współczynnika α ; dla konsystencji z tabelą 1, zostawić jak we wzorze nr 33
- s.52: nie ma potrzeby zmiany oznaczeń pomiędzy równaniami 33 i 34, jeśli byłby jakiś powód należałoby to wyjaśnić
- s. 55: niewłaściwe odwołania do numerów rozdziałów, w tym do nieistniejącego rozdziału 8
- s. 57: niewłaściwa numeracja podrozdziału
- s. 60 rys. 15: niewłaściwie (zbyt wysoko) zaznaczony poziom szerokości połówkowej linii Lorentza
- s. 70: czy wartość $TE = 2968$ ms jest poprawna? Jaki rodzaj sekwencji został tu użyty?
- s. 84 niewłaściwe odwołanie do tabeli 8 zamiast 7
- s. 99 brak zestawienia symboli i oznaczeń

W konkluzji, stwierdzam że, przedstawiona przez mgr inż. Marcina Michała Sińczuka, rozprawa doktorska zatytułowana „Termometria *in vivo* mózgu z wykorzystaniem widma Spektroskopii Rezonansu Magnetycznego (MRS) pojedynczego woksela”, w przedstawionym mi do recenzji stanie, nie spełnia zwyczajowych i ustawowych wymagań, stawianych rozprawom doktorskim ze względu na liczne uchybienia wymagające poprawy lub uzupełnienia. Uchybienia te nie dotyczą wyboru tematyki, koncepcji i wykonanych prac rozwojowych oraz badań, które oceniam pozytywnie, ale braku pogłębionej, krytycznej dyskusji otrzymanych wyników, niedostatecznej ich prezentacji oraz licznych niedoskonałości redakcyjnych, które wskazałem w recenzji. Uważam, że dopiero w tak poprawionej rozprawie inni badacze będą mogli znaleźć motywację i pomoc do wykorzystania techniki MRSt do własnych badań.

Wnioskuje zatem o skierowanie rozprawy do poprawy przez Autora oraz do ponownej recenzji po poprawie.

Dr hab. Władysław Węglarz, prof. IFJ PAN