

Danuta Plis
Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

WPLYW KLINÓW MAGNETYCZNYCH ZAMYKAJĄCYCH ŻŁOBKI STOJANA NA SKŁADOWE HARMONICZNE INDUKCJI W SZCZELINIE POWIETRZNEJ SILNIKA INDUKCYJNEGO

INFLUENCE OF THE MAGNETIC WEDGES CLOSING THE STATOR SLOTS ON THE AIR-GAP FLUX DENSITY HARMONICS IN THE INDUCTION MOTOR

Abstract: The problem of acoustic or audible noise, as often referred to, in electric machines is partly magnetic, partly mechanical and partly aerodynamic. The so called magnetic noise is the part of acoustic noise that originates from the action of magnetic forces in the magnetic circuit of an electrical machine. Magnetic noise comes into effect when the magnetic field is existed. The analysis influence of the magnetic wedges closing the stator slots on the air-gap flux density in the induction motors was conducted by means of a model being a representation of a fragment of the motor's circuit. As a subject of analysis, the area being a cross section in plane transversal to motor's axis and covering stator slot and rotor slot together with neighboring teeth has been adopted. The performed calculations proved that in the model, relative position of slots with respects to each other results in changes of distribution the air-gap flux density. The magnetic wedge closing the stator slot influence on the amplitude and phase value all the air-gap flux density harmonics. In this article there are shown the calculate resultates this dependence.

1. Wstęp

W maszynach elektrycznych wirujących drgania elektromagnetyczne są powodowane przez zjawisko magnetostrykcji oraz zmienne siły naciągu magnetycznego, działające pomiędzy stojanem a wirnikiem. Siły te powodują odkształcenia sprężyste elementów maszyny, a przede wszystkim rdzenia stojana i kadłuba, pobudzając te części do drgań. Drgania mechaniczne powierzchni kadłuba o bardzo małej amplitudzie około $1\mu\text{m}$, a nawet mniejszej mogą powodować fale dźwiękowe o dużym natężeniu. Dlatego rozpatrując hałas musimy uwzględnić także bardzo małe siły pochodzenia magnetycznego, z reguły pomijane w analizie innych zjawisk. Zakres częstotliwości sił magnetycznych jest szeroki, a ich liczba jest teoretycznie nieograniczona. Hałas magnetyczny ma największe znaczenie w maszynach indukcyjnych, w których ze względu na małą szczelinę powietrzną, udział wyższych harmonicznym w rozkładzie pola magnetycznego jest szczególnie duży. W obliczeniach poziomu hałasu operuje się gęstością powierzchniową siły, a więc siłą przypadającą na jednostkę powierzchni wewnętrznej rdzenia stojana. Zakładając, że przenikalność magnetyczna rdzenia $\mu_{Fe} = \infty$, chwilowe wartości obwodowego rozkładu gęstości powierzchniowej siły promieniowej działającej na przyszczelinową po-

wierzchnię wewnętrzną stojana lub zewnętrzną wirnika typowego silnika indukcyjnego z rdzeniem ferromagnetycznym można określić wzorem Maxwella:

$$p_r(\alpha, t) = \frac{b^2(\alpha, t)}{2\mu_0} \quad (1)$$

gdzie:

$b(\alpha, t)$ – chwilowe wartości obwodowego rozkładu indukcji w szczelinie w [T],

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]),

W szczelinie oprócz pola podstawowego, wytwarzającego użyteczny elektromagnetyczny moment obrotowy, powstają pola wyższych harmonicznym.

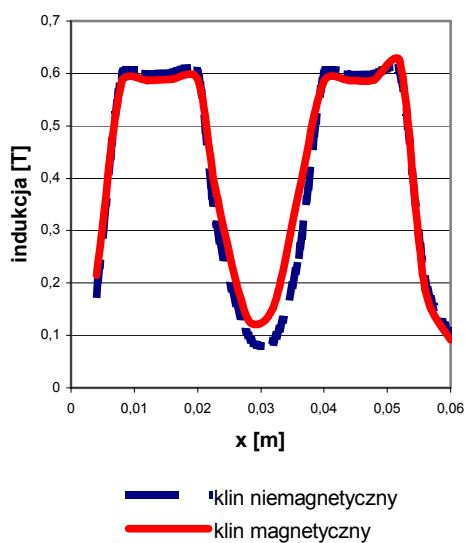
2. Wpływ klina magnetycznego zamykającego żłobek stojana na rozkład indukcji w szczelinie powietrznej

Zastosowanie klinów magnetycznych do zamknięcia żłobków stojana w silniku indukcyjnym wpływa na rozkład indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej, a tym samym na składowe harmonicznym. Obliczenia rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej w zależności od wzajemnego ułożenia żłobka stojana i wirnika względem siebie dla przy-

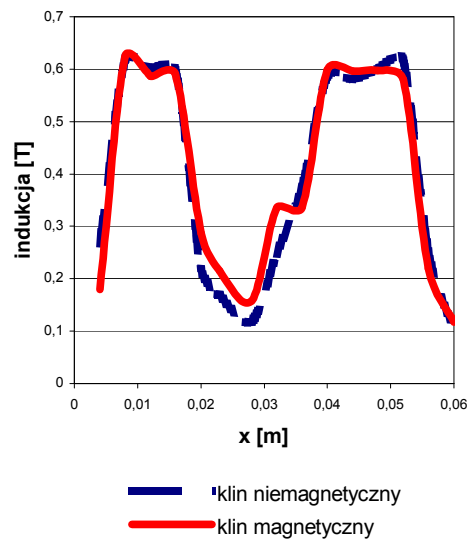
padku zamknięcia żłobka stojana klinem niemagnetycznym i klinem magnetycznym o względnej przenikalności magnetycznej $\mu_{rk}=5$, wykonano w oparciu o model odpowiadający układowi jednego żłobka silnika indukcyjnego trójfazowego SZJC EX 6 kV 320 kW. Do analizy przyjęto obszar będący przekrojem w płaszczyźnie poprzecznej do osi silnika obejmujący żłobek stojana oraz żłobek wirnika z sąsiadującymi zębami [6]. W celu uproszczenia geometrii modelu oraz ze względu na stacjonarność pola magnetycznego podczas analizy przyjęto następujące założenie upraszczające:

- kontury wirnika i stojana aproksymowano liniami prostymi,
- analizowano żłobki prostokątne zarówno w stojanie, jak i wirniku,
- rozpatrywano wzajemny układ jednego żłobka stojana i jednego żłobka wirnika.

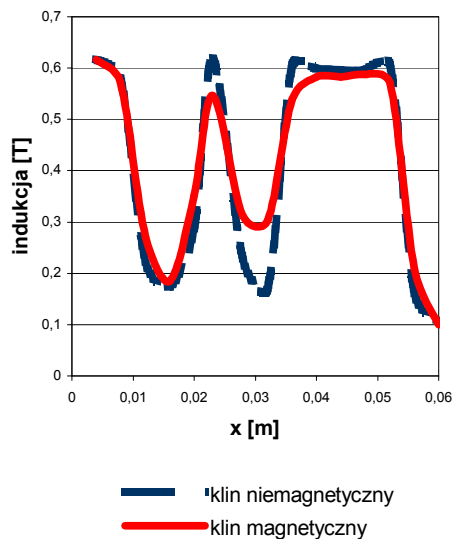
Rezultaty obliczeń rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej przedstawiono na rysunkach 1 a-c. Z wykonanych obliczeń wynika, że zastosowanie klina magnetycznego wpływa korzystnie na rozkład indukcji w szczelinie powietrznej powodując jej wygładzenie. Szczególnie duży wpływ daje się zauważyć w przypadku, gdy nad żłobkiem zamkniętym klinem magnetycznym znajduje się żelazo. Wzrost indukcji przy zamknięciu żłobka klinem magnetycznym o względnej przenikalności magnetycznej $\mu_{rk}=5$, wynosi około 0,02 T w stosunku do wartości indukcji z klinem niemagnetycznym.



Rys.1a. Rozkład indukcji w szczelinie powietrznej modelu dla przypadku ułożenia żłobka stojana i wirnika wzajemnie nad sobą



Rys.1b. Rozkład indukcji w szczelinie powietrznej modelu dla przypadku przesunięcia żłobka wirnika względem żłobka stojana o $\frac{1}{2}$ szerokości żłobka

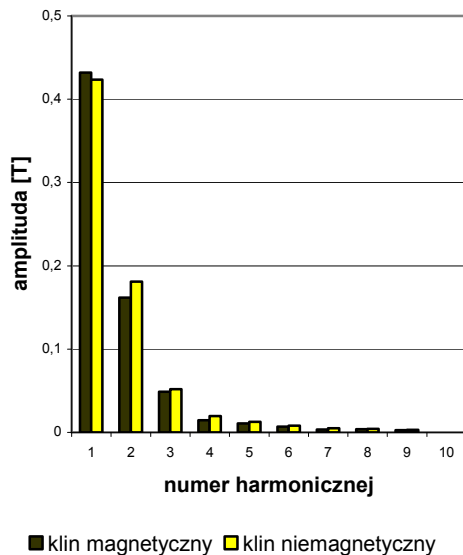


Rys.1c. Rozkład indukcji w szczelinie powietrznej dla przypadku przesunięcia żłobka wirnika względem żłobka stojana o całą szerokość żłobka

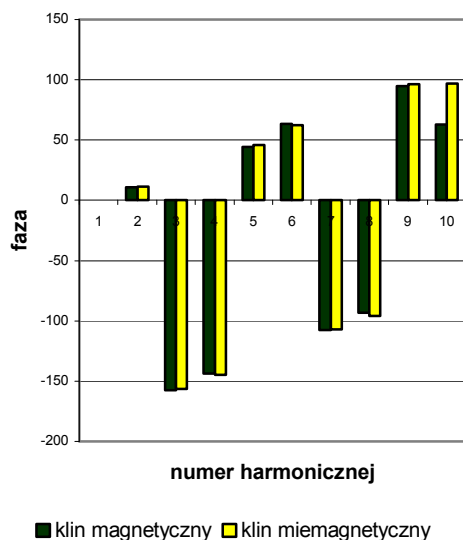
3. Rozkład indukcji na składowe harmoniczne przestrzenne na łuku podziałki żłobkowej

Rozkładu indukcji na składowe harmoniczne dokonano w oparciu o wyniki obliczeń indukcji w szczelinie powietrznej dla przypadków z klinem magnetycznym i klinem niemagnetycznym. Do analizy składowych harmonicznych wykorzystano program LabView. Otrzymano do porównania rozkłady amplitudy i fazy poszczegól-

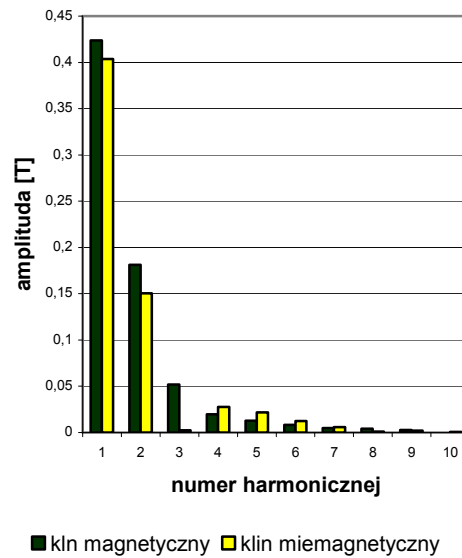
gólnych harmonicznych dla trzech przypadków wzajemnego ułożenia żłobka stojana i wirnika względem siebie przy zamknięciu żłobka stojana klinem niemagnetycznym i klinem magnetycznym o względnej przenikalności magnetycznej $\mu_{rk}=5$. Analizę ograniczono do 10 harmonicznej. Rezultaty przedstawiono na rysunkach 2 a, b – 4 a, b.



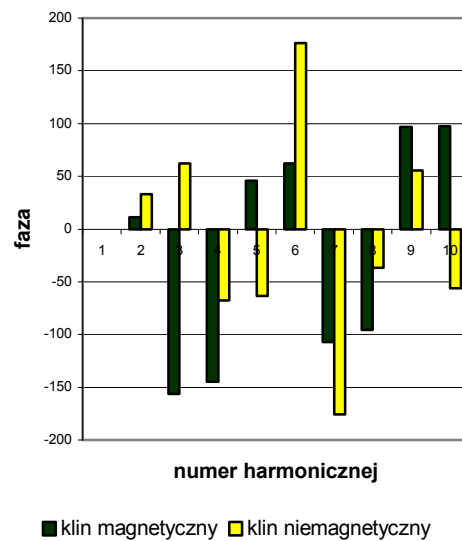
Rys.2a. Porównanie wartości amplitudy indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej dla przypadku ułożenia żłobka stojana i wirnika wzajemnie nad sobą w funkcji harmonicznych dla klina magnetycznego i niemagnetycznego



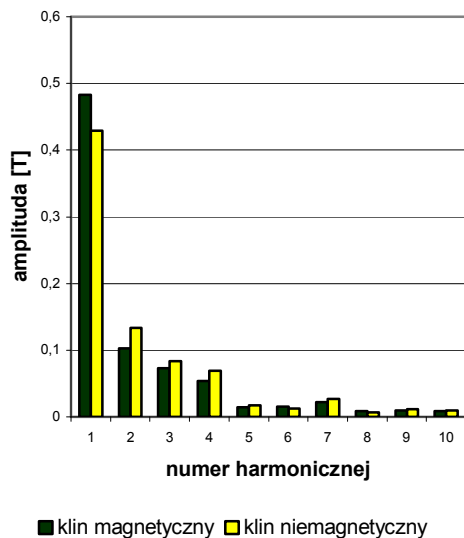
Rys.2b. Porównanie wartości fazy dla przypadku ułożenia żłobka stojana i wirnika wzajemnie nad sobą w funkcji harmonicznych dla klina magnetycznego i niemagnetycznego



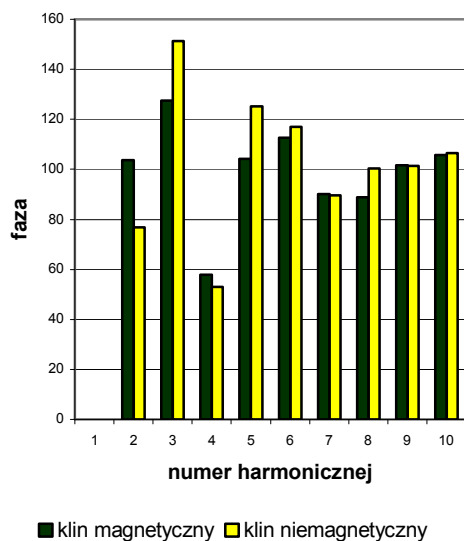
Rys.3a. Porównanie wartości amplitudy indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej dla przypadku przesunięcia żłobka wirnika względem żłobka stojana o $\frac{1}{2}$ szerokości żłobka w funkcji harmonicznych dla klina magnetycznego i niemagnetycznego.



Rys.3b. Porównanie wartości fazy dla przypadku przesunięcia żłobka wirnika względem żłobka stojana o $\frac{1}{2}$ szerokości żłobka w funkcji harmonicznych dla klina magnetycznego i niemagnetycznego.



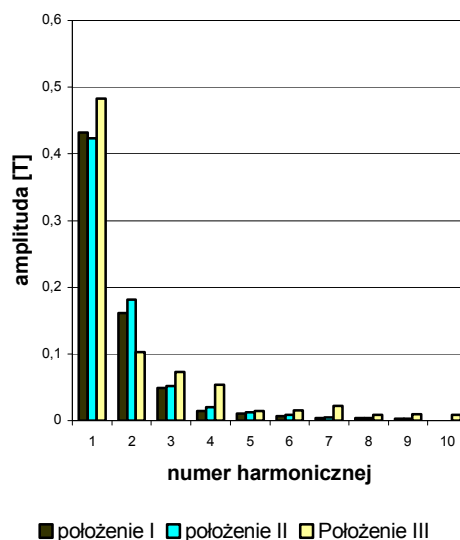
Rys.4a. Porównanie wartości amplitudy indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej dla przypadku przesunięcia żłobka wirnika względem żłobka stojana o $\frac{1}{2}$ szerokości żłobka w funkcji harmonicznych dla klina magnetycznego i niemagnetycznego



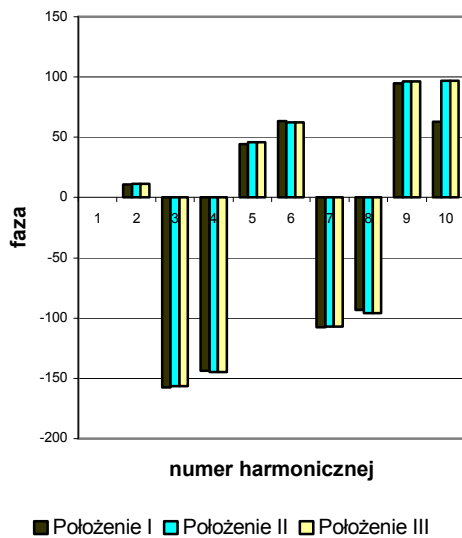
Rys.4b. Porównanie wartości fazy dla przypadku przesunięcia żłobka wirnika względem żłobka stojana o całą szerokość żłobka w funkcji harmonicznych dla klina magnetycznego i niemagnetycznego

Z porównania harmonicznych wynika, że klina magnetyczne wpływają korzystnie na zmniejszenie amplitudy niektórych harmonicznych. Odnosząc się do przypadku, w którym występuje ułożenie jednego żłobka nad drugim należy stwierdzić, iż amplituda pierwszej harmonicznej indukcji magnetycznej w szczelinie

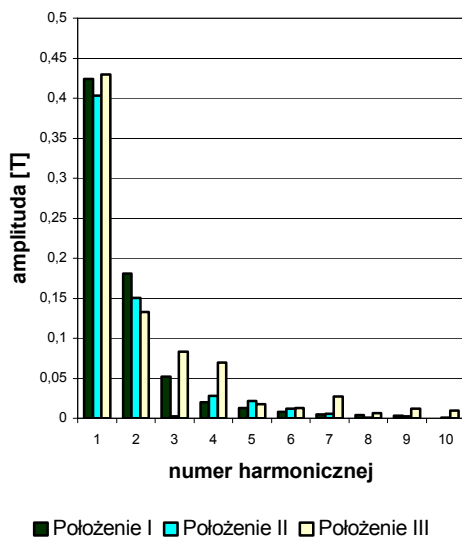
powietrznej osiąga wartość większą o 0,01 T dla żłobka zamkniętego klinem magnetycznym niż, gdy żłobek jest zamknięty klinem niemagnetycznym. Kolejne amplitudy składowych harmonicznych indukcji osiągają wartości mniejsze, gdy żłobek zamyka klin magnetyczny w porównaniu z odpowiednimi amplitudami harmonicznych dla klina niemagnetycznego. Należy zatem wnioskować, iż zastosowanie klina ma wpływ na zmniejszenie hałasu magnetycznego. Analizując amplitudy $n \cdot 9$ (gdzie $n=1,2,\dots,n$) harmonicznych rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej silnika indukcyjnego dla przypadku, gdy żłobek stojana zamknięty jest klinem wykonanym z materiału magnetycznego, należy zauważyć iż amplitudy tych harmonicznych mają bardzo małą wartość, która wynosi 0,00017 T. Dla porównania wartość amplitudy ósmej harmonicznej wynosi 0,0027T, zaś wartość dziesiątej harmonicznej amplituda ma wartość 0,0017 T. Dla klina niemagnetycznego amplituda dziewiątej harmonicznej ma wartość zbliżoną do zera. Na rysunkach 5, 6, 7 i 8 przedstawiono dla porównania wpływ wzajemnego ułożenia żłobka wirnika względem stojana na rozkład amplitudy i fazy harmonicznych indukcji w szczelinie powietrznej silnika indukcyjnego przy zamknięciu żłobka stojana klinem niemagnetycznym i klinem magnetycznym o względnej przenikalności magnetycznej $\mu_{rk}=5$.



Rys.5. Amplituda harmonicznych dla wszystkich trzech przypadków położenia żłobka wirnika względem żłobka stojana dla klina magnetycznego



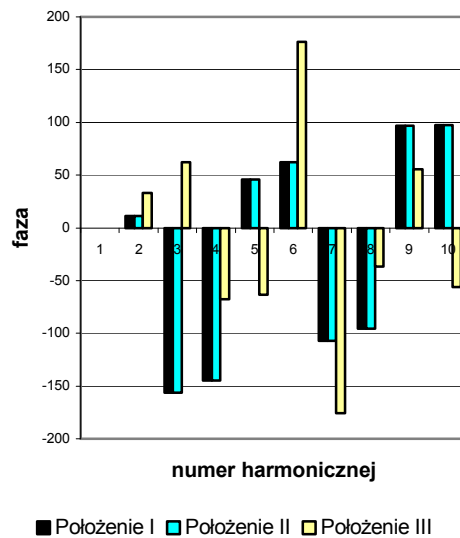
Rys.6. Faza dla wszystkich trzech przypadków położenia żłobka wirnika względem żłobka stojana dla klina magnetycznego



Rys.7. Amplituda harmonicznych dla wszystkich trzech przypadków położenia żłobka wirnika względem żłobka stojana dla klina niemagnetycznego

Z zaprezentowanych wykresów wynika, iż we wszystkich trzech przypadkach przemieszczenia żłobka wirnika względem żłobka stojana z zastosowaniem klina magnetycznego do zamknięcia żłobka stojana w porównaniu z klinem niemagnetycznym, amplitudy pierwszych harmonicznych osiągają wartości większe. Analizując wartości amplitud kolejnych harmonicznych z zastosowaniem klina magnetycznego do zamknięcia żłobka stojana ich wartości maleją w stosunku do wartości amplitud odpo-

wiednich harmonicznych składowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej gdy w żłobku umieszczony jest klin niemagnetyczny.



Rys.8. Faza dla wszystkich trzech przypadków położenia żłobka wirnika względem żłobka stojana dla klina niemagnetycznego

W przypadku analizy wzajemnego ułożenia względem siebie żłobków stojana i wirnika, największe wartości amplitud harmonicznych indukcji magnetycznej B w szczelinie powietrznej występują w przypadku, gdy ma miejsce przesunięcie o całą szerokość żłobka. Zatem nad żłobkiem zamkniętym klinem znajduje się żelazo. Występuje to zarówno dla klina magnetycznego jak i dla niemagnetycznego.

4. Podsumowanie

Zastosowanie klina magnetycznego w miejsce klina niemagnetycznego ma wpływ na hałas magnetyczny występujący w maszynach elektrycznych. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń pokazano, że zastosowanie klina magnetycznego zmniejsza wartość harmonicznych składowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej. Występowanie mniejszych wartości amplitud harmonicznych składowych rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej przy zastosowaniu klinów magnetycznych do zamknięcia żłobków stojana odpowiada mniejszym wartościom hałasu magnetycznego, gdyż harmoniczne te w głównej mierze są odpowiedzialne za zjawisko hałasu magnetycznego w silniku.

Aby w największym stopniu wyeliminować hałas magnetyczny należy stosować kliny magnetyczne o odpowiedniej przenikalności ma-

gnetycznej. Takie rozwiązanie zmniejsza wartość harmoniczných oraz eliminuje niektóre z nich.

5. Literatura

- [1]. Dąbrowski M.: *Pola i obwody magnetyczne maszyn elektrycznych*. WNT 1971.
- [2]. Dąbrowski M.: *Projektowanie maszyn elektrycznych prądu zmiennego*. WNT 1994
- [3]. Kwaśnicki S.: *Hałas magnetyczny silników indukcyjnych trójfazowych klatkowych*. KOMEL 1998
- [4]. Maliti K.C.: *An overview of magnetic noise – sources, risks, and control strategies*, Rozprawa doktorska, Sztokholm 2000
- [5]. Maliti K.C.: *Space harmonics in an induction motor*. Sztokholm 2000
- [6]. Nowak B.: *Wpływ klina magnetycznego na rozkład indukcji w silnikach indukcyjnych trójfazowych*. Praca magisterska, Rzeszów 2004
- [7]. Pliś D.: *Wpływ klinów magnetycznych na parametry elektromechaniczne maszyn elektrycznych*. Rozprawa doktorska, Gliwice 2002